



# **De grafische methode : haar aanwending in de statistiek en staathuishoudkunde op industrieel, handels- en natuurwetenschappelijk gebied en in 't bijzonder in de geneeskunde en de physiologie**

<https://hdl.handle.net/1874/235321>

DE  
**GRAFISCHE METHODE.**

HAAR AANWENDING IN DE  
STATISTIEK EN STAATHUISHOUDKUNDE

OP

**Industrieel, Handels- en Natuurwetenschappelijk gebied**

EN IN 'T BIZONDER IN DE

**GENEESKUNDE EN PHYSIOLOGIE.**

NAAR HET FRANSCH VAN

**E. J. M A R E Y**

BEWERKT EN VERMEERDEED MET EEN AANTAL VOORBEELDEN

BETREFFENDE DE

Grafische Statistiek van Nederland

DOOR

**F. M. J A E G E R,**

Leernar aan het Gymnasium van 's Gravenhage.

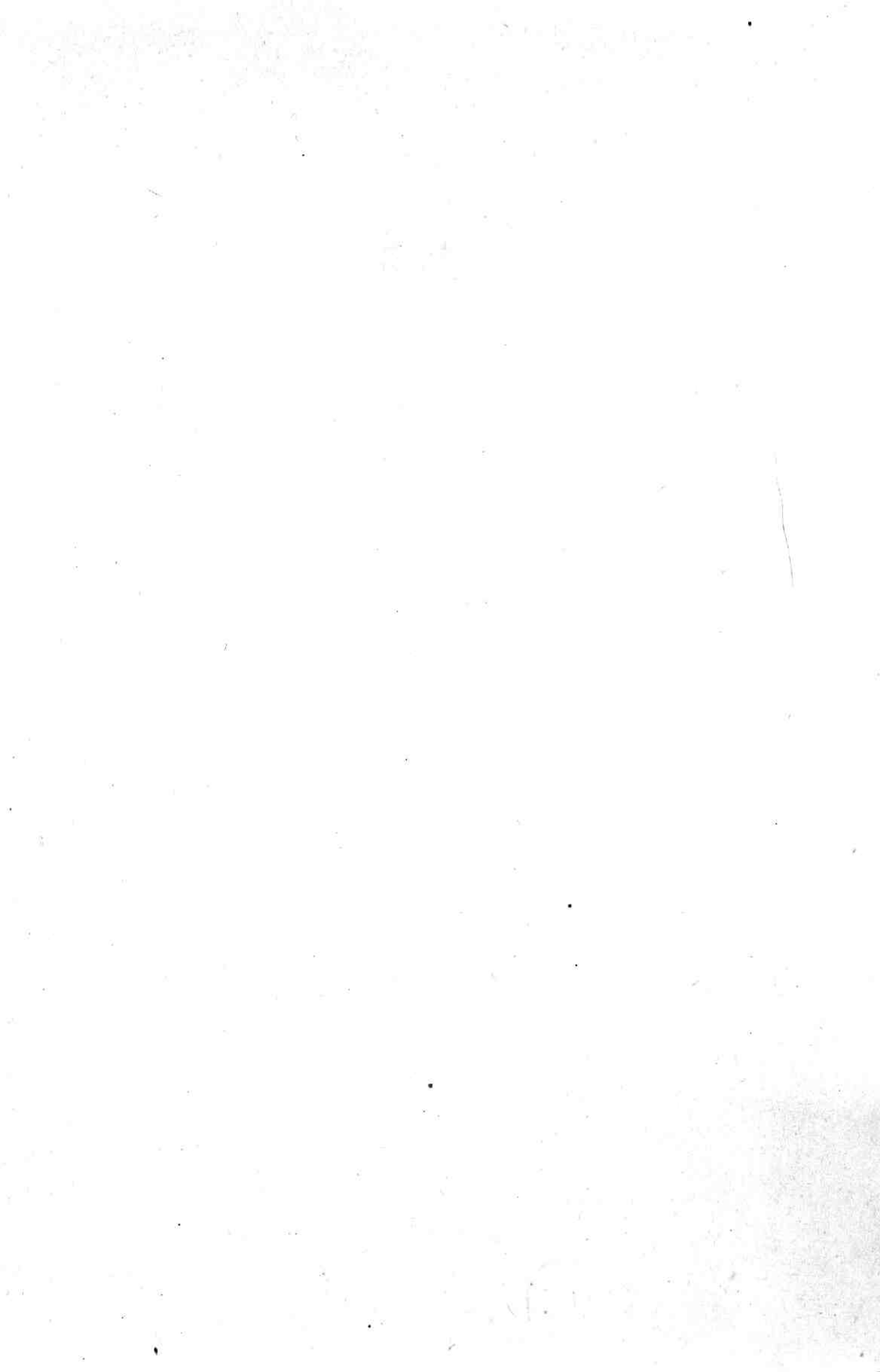
---

'S HAGE. — HENRI J. STEMBERG. — 1883.

mm 12144

Q. oct.

**1338**





DE

GRAFISCHE METHODE.

---

Gedrukt bij G. J. Thieme, te Arnhem.

**RIJKSUNIVERSITEIT UTRECHT**



**0958 0907**

Q. oct. 1330

Q. 8° 1338 (c. 3366)

DE  
**GRAFISCHE METHODE.**

HAAR AANWENDING IN DE  
STATISTIEK EN STAATHUSHOUDKUNDE

OP

**Industrieel, Handels- en Natuurwetenschappelijk gebied**

EN IN 'T BIZONDER IN DE

**GENEESKUNDE EN PHYSIOLOGIE.**

NAAR HET FRANSCH VAN

**E. J. M A R E Y**

BEWERKT EN VERMEERDERD MET EEN AANTAL VOORBEELDEN

BETREFFENDE DE

Grafische Statistiek van Nederland

DOOR

**F. M. J A E G E R,**

Leeraar aan het Gymnasium van 's Gravenhage.



's HAGE. — HENRI J. STEMBERG. — 1883.





## VOORWOORD VAN DEN BEWERKER.

---

Aangezien in het prospectus, waarmede dit werk voor eenigen tijd werd aangekondigd, uitvoerig de redenen zijn vermeld, waarom een Nederlandsche bewerking van *de Méthode Graphique* van MAREY mij hoogst belangrijk en wenschelijk voorkwam, en bovendien door den schrijver zelf in zijn inleiding, die ik eenigszins verkort heb weergegeven, het noodige wordt gezegd over de strekking van het werk en de wijze waarop de verschillende onderwerpen hierin worden behandeld, kan ik hier met een enkel woord volstaan.

Ik behoef wel niet te zeggen dat door het veelomvattend gebied waarop de schrijver zich beweegt, aan deze bewerking groote moeielijkheden waren gesteld en niet zonder schroom aanvaardde ik de in vele opzichten zoo zware taak om een werk in onze taal over te brengen, waarin onderwerpen van den meest verschillenden aard, wel is waar allen tot het gebied der waarneming, maar ook tevens tot de meest verschillende takken van wetenschap behoorend, worden behandeld. Daarbij kwam nog dat ik het niet voldoende achtte om mij vooral daar, waar statistische onderwerpen ter sprake kwamen, tot het origineel te bepalen; de belangrijke strekking der grafische methode moest zich ook hier openbaren in de voorstelling van eenige merkwaardige verschijnselen, die ons eigen land betreffen; een krachtige prikkel voor het meer algemeen aanwenden der grafische methode in Nederland zou toch, meende ik, voor een groot deel daarin gelegen zijn dat een tal van zaken, waarbij alle Nederlanders zonder onderscheid belang hebben en die toch aan de aandacht der meesten ontgaan, met de meest eenvoudige hulpmiddelen in een helder licht werden geplaatst. Ik had dus veel voorlichting, veel raad en hulp noodig.

Die hulp nu is mij ruimschoots geworden; van zoo velerlei zijden heb ik een tal van belangrijke aanwijzingen en inlichtingen of gewichtige bijdragen in den vorm van betrouwbare opgaven of figuren ontvangen; menig belangstellende heeft mij met vriendelijken raad ter zijde gestaan en de

behelpzame hand geboden om mij de bezwaren, die aan een bewerking als deze verbonden waren, te helpen overwinnen. Het is mij dan ook een behoefte om hierbij aan allen, die mij hunne belangstelling door welwillende medewerking en belangrijke bijdragen hebben getoond, mijn oprechten dank te betuigen.

Zoo heb ik de in het oorspronkelijk werk voorkomende meteorologische lijnen kunnen verrijken met eenige belangrijke figuren, mij door den Hoogleeraar BUYS BALLOT welwillend toegezonden, en ontworpen naar de waarnemingen te Utrecht gedaan; voor de Nederlandsche statistiek ontving ik menige juiste aanwijzing van den heer Mr. DE BOSCH KEMPER, en werden mij aan de verschillende Departementen de meest volledige inlichtingen en opgaven welwillend verstrekt; een paar met zorg bewerkte figuren werden door de heeren GUICHART en Dr. CARSTEN aan het werk afgestaan; en terwijl op medisch en physiologisch gebied de opmerkingen van Dr. HUS en Dr. VOSMAER mij zeer ten nutte waren, stelde Prof. MAREY zelf mij in de gelegenheid die verbeteringen in de beschrijving van een tal van experimenten op te nemen, welke sedert de verschijning van zijn werk door hem zijn aangebracht.

Terwijl alzoo het werk op velerlei punten aanmerkelijk werd vermeerderd, kwam het mij noodzakelijk voor zoowel hier en daar bekor-tingen aan te brengen, als mij ter geschikter plaatse enkele bijvoegingen en opmerkingen te veroorloven. Ik geloof dat hierdoor het werk nog aan duidelijkheid zal gewonnen hebben en voor alle lezers, zonder onderscheid, gemakkelijk verstaanbaar zal zijn. Alle plaatsen, die aldus aan het werk ter uitbreiding of verduidelijking zijn toegevoegd, zijn tusschen \* \* geplaatst.

Neem ik ten slotte in aanmerking hoe het gebruik der grafische methode in het buitenland steeds meer en meer veld wint en hoe men juist door haar meerdere aanwending van de ontzaglijk groote voordeelen, die zij in ontelbare gevallen boven elke andere andere uitdrukkingswijze bezit, meer overtuigd wordt, dan mag ik met grond verwachten dat zij ook in ons land spoedig die waardeering zal ondervinden, die zij ten volle verdient, en durf ik vertrouwen dat mijn arbeid niet te vergeefs zal zijn geweest.

den Haag, Juli, 1881.

F. M. JAEGER.

# INLEIDING.

---

Elke wetenschap ontmoet op haar weg steeds twee hinderpalen die haar voortgang aanmerkelijk vertragen: vooreerst de onvolkomenheid onzer zintuigen om de waarheden uit te vorschen, ten tweede de ontoereikendheid van de taal om de verkregen waarheden volkomen duidelijk meedeelen en voortstellen. Terwijl alle wetenschappelijke methoden er naar streven die hinderpalen uit den weg te ruimen, wordt dit tweeledig doel door de Grafische Methode meer dan door elke andere bereikt. Bij de fijnste en meest nauwgezette onderzoekingen geeft zij de geringste veranderingen en verschillen in toestand, welke aan elke andere waarnemingsmethode zouden ontsnappen, met volkomen zekerheid aan; zij alleen stelt ons den loop van een verschijnsel in zijn verschillende fasen voor met een duidelijkheid, die de gewone schrijftaal ten eenenmale niet bezit.

De onvolkomenheid onzer zintuigen openbaart zich niet alleen daarin, dat zeer veel verschijnselen aan onze waarneming ontsnappen, maar wij kunnen zelfs wijzen op een tal van vergissingen die eenvoudig het gevolg zijn geweest van het al te veel vertrouwen op onze zintuigen.

De oude zinspreuk van de materialistische filosofie: *Nihil est in intellectu quod non fuerit in sensu*, die den waren oorsprong van onze denkbeelden aangeeft, wijst ook tevens de oorzaak van onze dwalingen aan. Tegenwoordig weet iedereen dat men op het gezicht, het gehoor of het gevoel niet te veel mag vertrouwen. Hoe wordt toch dit vertrouwen niet beschaamd door den bolvorm der aarde, door haar dagelijksche beweging, door de onmetelijke afstanden en de grootte der vaste sterren, kortom door onze ge-

heele astronomische kennis! Hetzelfde kunnen wij zeggen van een tal van physische en mechanische verschijnselen, zooals de zwaarte der lucht, de discontinuïteit van het geluid en het licht. De gewaarwordingen van koude of warmte, die het gevoel ons geeft, hebben hare volstreckte beteekenis verloren en zijn voor ons alleen nog een betrekkelijke en vaak bedriegelijke beoordeeling van de temperatuur der lichamen. De physiologie van den gezichtszin heeft, door ons de funktie van het oog te verklaren, de grenzen aangegeven buiten welke dit orgaan ons geen nauwkeurige indrukken meer kan geven; de optische werktuigen zooals het mikroskoop, de teleskoop, de stereoskoop, die samengesteld zijn met het doel om ons een schijnbeeld te geven van de grootte, van den afstand en van het relief der lichamen, hebben ons geleerd het schijnbare van het reële te onderscheiden.

Het physiologisch onderzoek van de overige gewaarwordingen, ofschoon minder ver gevorderd dan dat van den gezichtszin, is daarom niet minder belangrijk. Zoo zou het zinsbedrog van het gehoor en van het gevoel aanleiding kunnen geven tot een belangwekkende studie op filosofisch gebied, die tot deze gevolgtrekking van de moderne physiologie zou voeren: dat alle denkbeelden die wij ons van de uitwendige wereld maken, het gevolg zijn van een langdurige en onbewuste oefening onzer zintuigen en van een voortdurende controle die de gewaarwordingen op elkaar uitoefenen.

Na het geloof aan de onfeilbaarheid der zintuigen te hebben laten varen en na overtuigd te zijn dat men hunne aanwijzingen steeds moet wantrouwen, heeft de wetenschap naar andere middelen omgezien om de waarheid op te sporen en heeft die gevonden in toestellen, die steeds met nagenoeg volkomen juistheid de verschijnselen waarnemen en tevens die waarnemingen met even groote nauwkeurigheid aan den experimentator mededeelen. Reeds sedert langen tijd bezat de wetenschap de middelen om de afmetingen, het gewicht, de samenstelling, kortom alle bizonderheden van de lichamen in hun statischen toestand nauwkeurig te bepalen; nu begint zij de krachten te bestudeeren in den dynamischen toestand. Bewegingen, electriche stroomen, veranderingen in zwaarte of in temperatuur, ziedaar het veld dat bearbeid moet worden. Hierbij kunnen onze zintuigen ons niet meer helpen; de grafische

methode komt hun onvermogen te hulp en openbaart ons de geheimen van een geheel nieuwe wereld. De registreerwerktuigen meten de oneindig kleine tijddeeltjes; de meest snelle en zwakke bewegingen, de minste veranderingen in krachten kunnen hun niet ontgaan; zij dringen door tot de meest innige verrichtingen der organen, waar het leven zich schijnt te openbaren in een onophoudelijke bewegelijkheid.

De grafische methode geeft ons al die veranderingen in de werking van krachten zoo duidelijk aan en is hierin zoo verveeften boven elke andere wijze van mededeeling, dat men haar met recht *de taal der verschijnselen* zou kunnen noemen; het valt dan ook niet te betwijfelen of elke wijze van uitdrukking zal door de grafische methode worden verdrongen in al die gevallen, waar sprake is van het voorstellen van beweging of van verandering van toestand. De taal, die toch is ontstaan vóórdát de wetenschap bestond, is vaak ongeschikt om nauwkeurige bepalingen of zeer nauwe betrekkingen met juistheid uittedrukken.

In het verst verleden van het menschedom geschiedde de gedachtenwisseling alleen door middel van teekens; dit gebruik, dat gewijzigd werd naar omstandigheid van plaats en tijd, zal verder geleid hebben tot het maken van gebaren en het uiten van geluiden, waaraan een conventioneele beteekenis werd toegekend. Deze manier van uitdrukking, die vele dieren in den rudimentairen staat bezitten, moest zich bij den mensch langzamerhand volmaken en leidde eindelijk tot de verschillende talen.

Een nog hoogere trap van beschaving riep de grafische uitdrukking in het leven; niet alleen die bewonderenswaardige uitvinding van het schrift, waardoor de conventioneele teekens van de taal op papier of op steen werden afgebeeld — maar het natuurlijk schrift, dat in alle tijden en bij alle volken de verschillende dingen op gelijksoortige wijze heeft voorgesteld en dat ons veroorlooft op de Egyptische gedenkteekenen de tooneelen van een voormalige beschaving te volgen. Deze grafische uitdrukking zou, indien zij zoowel voor het uitdrukken van denkbeelden als voor het afbeelden van voorwerpen werd gebruikt, inderdaad een algemeene wereldtaal kunnen worden.

In de 17<sup>e</sup> eeuw werd door DESCARTES de grafische voorstelling dienstbaar gemaakt aan het uitdrukken van denkbeelden. Het

duurde niet lang of men begon deze methode aan te wenden om de afwisselingen in bepaalde verschijnselen op het gebied der staathuishoudkunde op een gemakkelijke wijze voor te stellen. In Engeland en ook later in Frankrijk begon men door grafische figuren de veranderingen in de bevolking, den toestand van den handel, het overzicht over de landbouwvoortbrengselen enz. te publiceeren; ook begon men volgens dezelfde methode afbeeldingen te maken van den loop van epidemische ziekten, van de dagelijksche en jaarlijksche veranderingen in temperatuur en barometerstand; ook de natuur- en scheikunde begonnen deze methode van uitdrukking te volgen, en nu in de laatste jaren breidt de grafische methode haar gebied al verder en verder uit, wordt aangewend voor het voorstellen van verschijnselen van den meest verschillende aard en overal waar zij wordt aangewend, bevordert zij nauwkeurigheid, beknoptheid en duidelijkheid. — Men houde daarbij in het oog, dat de behoefte aan een wetenschappelijke uitdrukkingwijze, die duidelijk en tevens geschikt is om in alle landen gebruikt en verstaan te worden, met elken dag dringender wordt. De bibliotheken raken toch overstelpt met wetenschappelijke werken, die in verschillende talen zijn geschreven; veel tijd en moeite moet ten koste gelegd worden aan het klassificeeren van werken, die uit verschillende oorden afkomstig zijn, en zelden brengt men het tot het samenstellen van een goed ingerichten en geordenden catalogus. Vaak is men verplicht bij het onderzoek naar een of andere zaak zijn toevlucht te nemen tot oorspronkelijke werken en zoo wordt menig geleerde genoodzaakt zich te beperken tot een speciaal en dikwijls zeer ondergeschikt gedeelte eener wetenschap; een ruim en volledig overzicht wordt daardoor dikwijls onmogelijk.

In al deze moeilijkheden komt de grafische methode te hulp; zij stelt de feiten, die zij uitdrukt, in hun onderling verband voor en maakt het vergelijkend overzicht gemakkelijk.

Het doel van dit werk zal zijn op een duidelijke wijze uiteen te zetten welke machtige hulpmiddelen de grafische methode aanbiedt en te wijzen op hare toekomstige ontwikkeling en haar onbegrensde uitbreiding en toepassing. Wij zullen daarbij steeds in het oog houden dat zij, zooals reeds boven is gezegd, aan twee behoeften voldoet: zij is *een middel van uitdrukking* en *een*

*middel van onderzoek*; wij zullen haar achtereenvolgens uit beide oogpunten beschouwen.

---

In de *Eerste Afdeling* van dit werk zal aangetoond worden hoe door de grafische methode de meest verschillende verschijnselen worden voorgesteld; hoe zij vaak de duistere statistische opgaven in een helder licht stelt en hoe zij met een enkelen oogopslag een groot aantal feiten en waargenomen verschijnselen doet overzien.

In elke wetenschap bestaat het streven om uit een tal van gegevens, waarnemingen en proefnemingen, het ware verband tusschen oorzaken en gevolgen te leeren kennen; over hoe meer gegevens men beschikken kan, des te meer vertrouwen kan men hechten aan de uitkomsten van het wetenschappelijk onderzoek, maar ook des te moeilijker wordt het vergelijken en het overzigt: het verband, dat men opspoort, is uit die oopenhooping van gegevens vaak niet meer te ontwarren. Maar neemt men de moeite, die gewoonlijk vrij gering is, om de gegevens grafisch voor te stellen en al de gedane waarnemingen in een lijn samen te dringen, dan vertoont zich het gezochte verband duidelijk en klaar, dikwijls worden wij verrast door een of andere betrekking van afhankelijkheid, die wij niet vermoedden, of wij vinden een numerieke wet klaar en ondubbelzinnig uitgedrukt.

Zijn de waarnemingen foutief of de proeven gebrekkig genomen dan zullen wij door den zonderlingen vorm der lijn of door hare onverwachte buigingen opmerkzaam gemaakt worden op de vermoedelijke fouten, of, indien geen eenvoudige betrekking tusschen de verzamelde gegevens bestaat, wordt ons dit door de lijn terstond aangetoond en wij behoeven niet langer te zoeken naar een betrekking, die duidelijk blijkt niet te bestaan. Alleen deze voordeelen van de grafische methode zouden reeds voldoende zijn om haar in alle wetenschappen van waarneming en proefneming aan te wenden.

Indien wij deze methode in hare meest verschillende toepassingen volgen, zullen wij gevallen ontmoeten waarin zij niet alleen den onderzoekenden geest leidt en het geheugen te hulp komt, maar ook waarin zij voert tot nieuwe begrippen, die vóór haar aanwending volkomen onbereikbaar waren. Hiertoe rekenen



wij de meteorologische lijnen en figuren, waardoor men in staat gesteld wordt om op een gegeven oogenblik den toestand van den dampkring over de geheele beschaafde wereld te kennen. Elk land zendt zijne bijdragen om deze figuren te helpen voltooiën: opgaven van regenachtig of helder weêr, van barometerstand, temperatuur, windrichting, enz.; van alle kanten stroomen de berichten toe, de gegevens worden steeds talrijker en hoopen zich meer en meer op. Worden nu de aanwijzingen en opgaven van elk observatorium zorgvuldig in teekening gebracht, dan behoeft men niet te vreezen dat door dit tal van gegevens eenige verwarring zal ontstaan; integendeel, hoe meer gegevens men heeft, in des te eenvoudiger vorm zal het geheel te voorschijn komen; ontelbare punten geven aanleiding tot eenige weinige lijnen, die duidelijker en meer volmaakt zijn naargelang de elementen talrijker zijn.

In de eerste afdeeling van dit werk wordt met de eenvoudigste toepassingen der grafische methode begonnen om vervolgens langzamerhand tot de meer samengestelde op te klimmen. De voorbeelden zijn genomen uit de meest verschillende wetenschappen; natuur- en scheikunde, statistiek of demografie, geneeskunde, burgerlijke en militaire bouwkunde, meteorologie, enz. verschaffen ons een tal van modellen en typen, die ruim voldoende zijn om in andere takken van wetenschap overgebracht en met vrucht aangewend te worden.

---

In de *Tweede Afdeeling* wordt de grafische methode beschouwd als middel van onderzoek.

De registreerwerktuigen maken het experimenteeren zeer eenvoudig, daar zij zelf de lijnen opteekenen, die de verschijnselen in hunne opvolgende fasen moeten voorstellen. Die toestellen zijn geduldige en nauwgezette waarnemers, die in het bezit zijn van organen, welke ver boven de onzen verheven zijn zoowel wat aantal als wat gevoeligheid betreft, en daardoor ijverig medewerken aan het gebouw der wetenschap; met een voorbeeldige getrouwheid verschaffen zij ons een tal van gegevens, waarvan het onderling vergelijken niet moeilijk valt en die gemakkelijk in het geheugen blijven. Om ook hier, evenals in de eerste afdeeling,

aan een zekere klassificatie getrouw te blijven, zullen hier allereerst de verschillende middelen en toestellen behandeld worden, die dienen voor het registreeren van bewegingen, aangezien de betrekking tusschen ruimte en tijd toch als type kan dienen om de overige betrekkingen grafisch voor te stellen; eerst later zullen dan de toepassingen der grafische methode op andere werkingen, door krachten voortgebracht, worden besproken.

---

De *Derde Afdeling* heeft dan betrekking op het grafisch voorstellen van krachten. De kracht vertoont zich in de drie hoofdvormen: mechanische arbeid, warmte en electriciteit, of in den statischen, of in den dynamischen toestand. Zoo stellen de zwaarte van een rustend lichaam, de veerkracht van een gespannen veer, de spanning van een gas, de mechanische kracht in statischen toestand voor. De temperatuur van een lichaam, dat niet warmer of kouder wordt, vertegenwoordigt den statischen toestand der warmte. De electriciteit van een lichaam, dat, van een electriche lading voorzien, geïsoleerd is, verkeert in statischen toestand.

Om de krachten in dezen toestand te meten bezitten wij bekende werktuigen: de balans, den manometer, den thermometer, den electrometer. Verkeeren echter de krachten in den dynamischen toestand, m. a. w. veroorzaken zij beweging, dan kan men de grootte dier krachten alleen bepalen door de beweging die zij voortbrengen. Nu is de grafische methode bijzonder geschikt om met de meest mogelijke juistheid een beweging in hare verschillende fasen te leeren kennen. Daar nu elke beweging het produkt is van twee factoren: ruimte en tijd, zoo zal men de beweging van een lichaam alleen dan nauwkeurig kennen, wanneer men weet welke standen het in de opvolgende kleine tusscheeltes heeft ingenomen. De registreer-apparaten geven die juiste aanwijzing in alle bijzonderheden aan.

Nu volgt echter uit de juiste kennis der beweging nog niet die van de kracht, die haar voortbracht; dezelfde kracht toch, die aan een kleine massa een snelle beweging zou meedeelen, zou aan een groote massa slechts een langzame verplaatsing kunnen geven; of ook ziet men somtijds onder de werking eener zelfde kracht de snelheid naar gelang van den uitwendigen weerstand

aanmerkelijk veranderen. De juiste bepaling van de grootte eener kracht kan dus eigenlijk alleen bestaan in de bepaling van de hoeveelheid verrichten *mechanischen arbeid*, d. i. in het meten van de grootte der weerstanden, die zij kunnen overwinnen en van de lengte der wegen, waarover die weerstanden worden verplaatst.

Wel is waar kan men dezen verrichten arbeid gemakkelijk vinden door berekening in de eenvoudige gevallen waarin de in beweging zijnde massa en de aard der beweging bekend zijn; maar de grafische methode geeft deze bepaling onmiddellijk aan, doordat zij de afbeelding der krachten, die elk oogenblik worden aangewend, vereenigt met die der doorloopen wegen. J. WATT was de eerste die op het denkbeeld kwam den verrichten arbeid grafisch voor te stellen; hij paste die methode toe op den zuiger van een stoommachine. PONCELET gaf een meer algemeene oplossing voor deze vraag en heeft een methode uitgedacht die tegelijk voor de beweegmachines en voor den arbeid, die aan het voorttrekken der voertuigen op de spoorwegen wordt besteed, is aan te wenden.

Deze wijze om den arbeid grafisch voor te stellen dient nog meer uitgebreid en overal ingevoerd te worden waar mechanische krachten in het spel treden. Niets kan de grafische voorstelling van den mechanischen arbeid vervangen: de berekening mag daarvan de totale of gemiddelde waarde aangeven, — de grafische figuur alleen stelt den arbeid voor in den vorm waarin hij is voortgebracht.

Wat de warmte betreft, zoo weten wij dat een vermeerdering of vermindering daarvan zich verraadt door de beweging van de kwikkolom in den thermometer, en hier laten zich oorzaak en gevolg zoo geheel in een begrip vereenigen, dat men gewoon is in het dagelijksch leven te zeggen dat de temperatuur stijgt of daalt naarmate zulks met het kwik van den thermometer het geval is.

Het zal dan ook wel niet moeilijk zijn de juiste beteekenis van een temperatuurslijn te vatten; in al hare punten kan men haar vergelijken met de veranderingen van een mechanische kracht, bijv. met die van een registreerenden dynamometer.

Maar toch geven de verschillende phasen van die verandering ons nog geen klaar begrip van de warmteverschijnselen; men krijgt eerst een meer grondige kennis daarvan door de bepaling

van de *hoeveelheid* warmte, die door een lichaam is opgenomen of afgestaan; deze laatste nu komt weer geheel overeen met een zekere hoeveelheid mechanischen arbeid. In de natuurkunde drukt men toch de warmtehoeveelheden in caloriën uit, die weer tot arbeidseenheden te herleiden zijn; men zal dus het aantal der gewonnen of verloren caloriën grafisch moeten voorstellen om de juiste voorstelling van een thermisch verschijnsel te hebben. Het beginsel van deze methode, die een groote toekomst belooft, zal hier worden uiteengezet.

Op overeenkomstige wijze zullen de electriche verschijnselen moeten worden voorgesteld; de veranderingen van een electriche spanning zullen overeenkomen met die van een drukking of temperatuur, terwijl de hoeveelheid arbeidsvermogen, opgeleverd door een electriche stroom, overeen zal komen met een hoeveelheid mechanischen arbeid of warmte. Wel is waar is men nu hierin nog niet geheel geslaagd; maar de bemoedigende resultaten, die reeds langs dezen weg zijn verkregen, doen hopen dat ook dit doel spoedig zal bereikt zijn.

---

In de *Vierde Afdeling* zullen die verschijnselen behandeld worden waarmeê men alleen bekend kan worden door middel van het veelvoudig registreeren; wij zullen hier onderscheiden de *gelijktijdige* en de *achtereenvolgende registraties*.

Tot de eersten brengen wij vooreerst die gevallen waarin gelijksoortige werkingen op verschillende plaatsen worden voortgebracht; bijv. de voortplanting van de beweging van vloeistoffen, de verdeling van warmte in het levend organisme; vervolgens worden de gevallen beschouwd waarin werkingen van verschillenden aard op dezelfde plaats geschieden, zooals de uitzettingen in verband met de temperatuursveranderingen der lichamen; de volumeveranderingen der lichamen die onderworpen worden aan drukking of aan trekkrachten. Ook zal hier worden aangetoond hoe samengestelde werkingen kunnen worden ontleed, bijv. de hartslag, de veranderingen die de drukking en de snelheid van het bloed in een slagader ondergaan. Eindelijk zullen de meer samengestelde gevallen worden besproken waarin werkingen van verschillenden

aard tegelijkertijd op verschillende plaatsen geschieden, zooals de temperatuursveranderingen in verband met de spierbewegingen, de vleugelbewegingen van vogels gedurende de vlucht met de daarbij plaatshebbende reacties enz.

De methode van het achtereenvolgend registreeren leidt in enkele gevallen tot uitkomsten die men volgens geen andere methode zou kunnen verkrijgen. Wanneer bijv. een beweging van zeer korten duur periodiek plaats heeft en de toestellen, die haar moeten teruggeven, zijn niet bewegelijk genoeg om haar in de verschillende fasen getrouw te volgen, dan ontbindt men deze beweging in een reeks van onderdeelen die juist plaats hebben in gelijke opvolgende tijddeeltjes en men laat dan elk van die onderdeelen der beweging door de toestellen registreeren. Waarschijnlijk is de oorsprong van deze eigenaardige methode gelegen in de merkwaardige proeven van PLATEAU betreffende de Stroboscopie.

Deze methode bestaat daarin dat men een lichaam, dat zeer snelle periodieke bewegingen volbrengt die wij onmogelijk met het oog kunnen volgen, alleen op enkele oogenblikken, die allen door gelijke tijdruimten van elkaar zijn gescheiden, zichtbaar maakt, waardoor de beweging veel langzamer, of zelfs geheel opgehouden schijnt te zijn. Vooral in Duitschland heeft men deze methode op ruime schaal aangewend. Zij kan niet alleen dienen om de fout van het oog, die daarin bestaat dat de lichtindrukken na het wegnemen der oorzaak nog een korten tijd voortduren, te verhelpen, maar ook om de gebreken van enkele toestellen te helpen verbeteren.

Verder zullen hier worden besproken de proefnemingen van GUILLEMIN over het meten en grafisch voorstellen van den veranderlijken toestand van electriche stroomen; die van BERNSTEIN over de electriche veranderingen der zenuwen en spieren, terwijl eindelijk zal aangetoond worden hoe de verschillende fasen van een electriche verandering kunnen worden geregistreerd, door deze methode met het gebruik van den electrometer van LIPPMANN te verbinden.

---

In de *Vijfde Afdeeling*, getiteld: *Techniek*, zal de waarde van elken toestel worden besproken, terwijl tevens enkele historische bijzonderheden daarbij zullen worden aangegeven. Bij de beschrijving van elken toestel zal telkens een proef worden vermeld, die als model kan dienen om een duidelijk begrip van het gebruik van den toestel te geven.

---

# DE GRAFISCHE METHODE.

---

## EERSTE AFDEELING.

### GRAFISCHE VOORSTELLING VAN VERSCHIJNSELEN.

---

#### EERSTE HOOFDSTUK.

##### GRAFISCHE VOORSTELLING VAN GROOTHEDEN EN VAN HARE ONDERLINGE VERHOUDINGEN.

Elke grootheid kan door een lengte worden voorgesteld. — Het gebruik van schalen: voorstelling van getallen, afstanden, tijdruimten, krachten, enz. — Vergelijkende chronologie. — Grafische voorstelling van ruimteverhoudingen: coördinatenstelsels. — Denkbeeld van Descartes: lijnen die de betrekking tusschen twee veranderlijke grootheden uitdrukken. — Grafische statistiek. — Figuren van Playfair.

#### **Elke grootheid kan door een lengte worden voorgesteld.**

Alles wat voor vergelijking en meting vatbaar is: getallen, afstanden, tijdruimten, krachten, enz. kan door middel van grafische figuren zoo beknopt en duidelijk mogelijk worden uitgedrukt en voorgesteld.

Naast de conventioneele voorstelling van getallen door middel van cijfers kan men een andere uitdrukkingswijze plaatsen die eigenlijk veel natuurlijker is. Neemt men bijv. als eenheid aan een recht lijntje dat 1 mm. lang is, dan zullen rechte lijnen van 3, 7 of 15 mm. lengte aan ieder een duidelijke voorstelling van de getallen 3, 7 of 15 geven.

Op dezelfde wijze nu kan men een willekeurige grootheid, een afstand, een gewicht, een temperatuur, enz. indien men deze vergelijkt met een grootheid van dezelfde soort, die als eenheid

wordt aangenomen, in een getal en daardoor weer in een lijn van meerdere of mindere lengte uitdrukken.

Om te doen zien in hoever het vergelijken en overzien van een reeks van getallen vereenvoudigd kan worden door een dergelijke wijze van uitdrukking nemen wij als voorbeeld figuur 1, waarin een vergelijkend overzicht van de zeil- en stoomschepen van de verschillende mogendheden is gegeven 1). Deze begrooting is opgemaakt naar den tonneninhoud der schepen; in de figuur vindt men een rij van kolommen, wier hoogten evenredig zijn met de hoeveelheden tonnen, die het aantal schepen van elk der twaalf staten kan inhouden. Van de linker naar de rechter zijde volgens de betrekkelijke grootte gerangschikt, neemt de zeemacht van Engeland den eersten, die van Oostenrijk den laatsten rang in; het totaal aantal tonnen leest men op een schaal aan de linkerzijde der figuur af. Het gearceerde gedeelte van het rechthoekig oppervlak van elke dezer kolommen geeft het bedrag der zeilschepen aan, terwijl het gedeelte, dat niet gearceerd is, den tonneninhoud der stoomschepen uitdrukt.

Een dergelijke figuur is bijzonder geschikt om de opgaven lang in het geheugen te bewaren; men behoeft zich slechts voor een oogenblik de figuur voor den geest te roepen en met één oogopslag overziet men de betrekkingen, die daarin worden voorgesteld en die door cijfers niet zoo sprekend kunnen worden uitgedrukt.

In deze kleine figuur is de statistiek der zeemacht van de geheele wereld in hoofdzaak voorgesteld; zij toont ons aan dat Engeland meer stoomschepen bezit dan de andere mogendheden te samen; dat Frankrijk met betrekking tot den totalen tonneninhoud van zijn vloot den zesden, maar ten opzichte van zijne stoomschepen den derden rang inneemt. Een nadere omschrijving van een dergelijke figuur is niet alleen onnoodig, maar men zou zelfs daardoor aan haar beknoptheid en klaarheid te kort doen. Figuren van deze soort worden veel gebruikt voor het onderling vergelijken van grootheden van allerlei aard; bijna iedereen kent deze soort van grafische voorstellingen om bijv. de verhouding der hoogten van verschillende gebouwen of van de voornaamste

1) Deze figuur is ontleend aan het werk van Reclus: *Nouvelle Géographie de la France*.



bergen der aarde uit te drukken; op dezelfde wijze kan men de betrekking tusschen de dichtheden der verschillende lichamen,

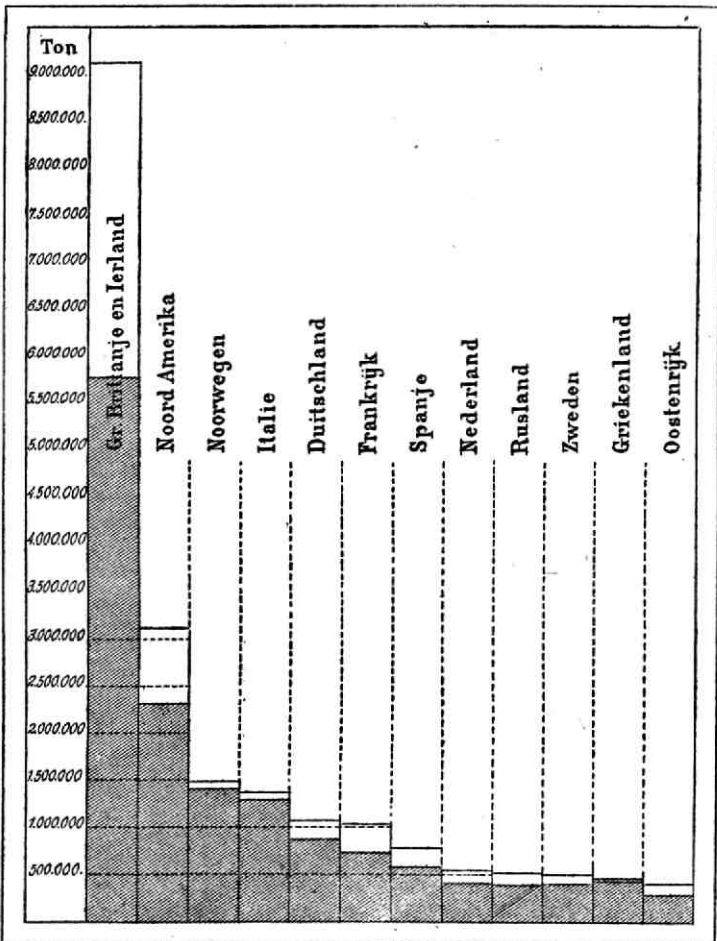


Fig. 1. Vergelijkend overzicht van de zeil- en stoomschepen naar het bedrag van den tonneninhoud.

tusschen de gemiddelde lichaamslengten in verschillende landen, enz. voorstellen. —

### Schalen.

Bij de beschouwing van fig. 1 bemerkt men dat elke kolom twee verschillende aanwijzingen geeft: ten eerste den tonneninhoud der

zeil-, ten tweede dien der stoomschepen. Dergelijke figuren verschaffen ons dus een dubbele basis van vergelijking, want elke kolom stelt niet alleen een volstrekt aantal, maar bovendien nog de betrekking voor tusschen waarden, uit wier som zij bestaat. In enkele omstandigheden kan deze wijze van grafische voorstelling met veel voordeel aangewend worden. Wil men bijv. in de medische statistiek de sterfte op verschillende leeftijden grafisch voorstellen, dan kan men elke kolom, die de totale sterfte uitdrukt, weer in kleinere kolommen verdeelen, die door hare hoogten het aantal sterfgevallen ten gevolge van bepaalde ziekten aangeven; op deze wijze wordt het totaalcijfer der sterfte ontbonden in een reeks van getallen, die elk voor zich op een bijzondere sterfte wijzen, zooals die welke bijv. het gevolg is van toring, pokken, beroerte, enz. De levensverzekering-maatschappijen geven hiervoor zeer belangrijke grafische voorstellingen, ontleend aan bijzondere geneeskundige verslagen; door deze figuren krijgt men een juisten blik op de verhouding der sterfgevallen, die het gevolg zijn van een of andere ziekte, tot de totale sterfte in een land. Weer elders stelt men door figuren van deze soort het aantal sterfgevallen voor elke ziekte op verschillenden leeftijd voor 1); de beteekenis van deze figuren wordt dikwijls nog veel duidelijker gemaakt door de aanwending van verschillende kleuren.

Ook de tijd kan op deze wijze voorgesteld worden. Moge het ook al waar zijn dat de tijd, zooals de empirici zeggen, geen absoluut bestaan heeft, in alle geval openbaart hij zich aan ons door de verschijnselen die zich daarin voordoen; op deze wijze kan men hem meten naar het aantal der regelmatig terugkeerende verschijnselen van dezelfde soort, zooals de schijnbare beweging der sterren, het regelmatig uitloopen van den zandlooper, de beweging van een slinger, enz. Zoo kan men den tijdsduur in getallen en daardoor weer in lijnen uitdrukken. Er zijn enkele verschijnselen die direkt een korter of langer tijdsverloop in den vorm van doorloopen lengten of afstanden aangeven: als zoodanig kunnen wij de bewegingen der hemel-

---

1) Als model voor grafische voorstellingen van de sterfte kunnen wij noemen de figuren, die gepubliceerd worden door de Levensverzekeringmaatschappij te New-York: „Mortuary experience of the mutual Life 1843 to 1874”

lichamen aanhalen of die welke wij ons verschaffen door bepaalde werktuigen, zooals clepsydra's en klokken. — Een eigenaardig voorbeeld van grafische uitdrukking van tijd geeft ons het muzikaal notenschrift, daar hierbij de tijd in gelijke deelen of *maten* wordt verdeeld, die worden aangegeven door gelijke tusschenruimten, op de notenbalken afgezet. Deze manier van voorstelling is reeds tamelijk grof, want zodoende wordt de duur der maten niet altijd juist door haar lengte uitgedrukt, terwijl ook het versneld of vertraagd tempo eener geschreven melodie daardoor niet wordt aangegeven; maar in de onderverdeling der maten wordt de voorstelling van tijdduur zelfs volkomen conventioneel: om den duur (*de waarde*) van de noot aan te geven, geeft men haar een bizonderen vorm; evenzoo is het gesteld met de *pauseringen*, de *zwijs-* en *rustteekens*, enz. deze worden allen zuiver kunstmatig voorgesteld.

Niets zou heden ten dage gemakkelijker zijn dan een notenschrift te ontwerpen dat veel meer natuurlijk is dan het bestaande, waarin men het gebruik der notenbalken kon behouden voor de hoogte der tonen, terwijl de waarde van de noot door de lengte, en de duur der noot door de dikte van een streepje kon worden voorgesteld. Aangezien men moeilijk met oude gewoonten breekt, is het niet waarschijnlijk dat binnenkort de oude schrijfwijze door deze nieuwe zal worden vervangen; maar het is boven allen twijfel verheven dat men te eeniger tijd de voordeelen zal inzien van een notenschrift, dat veel gemakkelijker te leeren is dan het oude en dat onder het gebied valt van een methode, waarvan iedereen althans een algemeen begrip zal hebben.

### Vergelijkende chronologie.

De grafische chronologie, ofschoon nog weinig algemeen bekend, is tot een hoogen trap van volmaaktheid opgevoerd, waardoor haar gebruik zeker niet lang meer zal uitblijven.

Fig. 2 is ontleend aan een grafische figuur die in Engeland indertijd is verschenen 1) en die ons zeer belangrijk voorkwam;

---

1) Chronological, historical and statistical Diagram from the year 1600 to the present time, by J. Russell Sowray.

bij gebrek aan ruimte kan daarvan hier slechts een gedeelte, en wel een tijdsverloop van 200 jaar, van 1660—1860, worden gegeven. In deze figuur wordt voorgesteld de duur van de regeering der vorsten uit het huis van Hannover van Georg I af tot aan Victoria. Een gearceerde strook stelt den levensduur van elk der vorsten voor; de strook begint bij den datum der geboorte dien men op een der lijnen afeest, waarop de tijdvakken bij tientallen van jaren zijn afgezet, en eindigt bij den datum van overlijden.

De duur van de regeering is telkens door een zwarte strook aangegeven. Op deze wijze valt de geslachtslijst gemakkelijk in het oog, want de strook, die den levensduur van elken vorst voorstelt, ontwikkelt zich uit die, welke het leven zijns vaders uitdrukt, evenals de tak ontspruit aan den boom.

Men ziet uit deze figuur dat sedert de troonsbestijging van Georg I tot die van Victoria de troonsopvolging steeds in rechte linie heeft plaats gehad; dat de beide zoons van Georg III beurtelings hebben geregeerd, en dat een regentschap van 10 jaar de laatste jaren van Georg III heeft gekenmerkt. De verhouding tusschen den duur der regeering van elk der vorsten valt direkt in het oog; nauwkeurig kan men nagaan op welken leeftijd een vorst aan de regeering komt en hoe lang hij heeft geregeerd tot op het oogenblik waarop hem een zoon geboren wordt. De strook, die het leven van koningin Victoria voorstelt, is niet verbonden aan die der voorafgegane vorsten, aangezien zij wel een kleindochter van Georg III maar ook een dochter is van den hertog van Kent, die niet geregeerd heeft.

De historische herinneringen zullen ongetwijfeld door het beschouwen van deze grafische figuur een meerdere juistheid en zekerheid erlangen. In dezelfde oorspronkelijke figuur had men de opvolging der verschillende lord-kanseliers gedurende hetzelfde tijdperk, verder alle veranderingen van de staatsschuld, van den in- en uitvoer en van het budget der ontvangsten en uitgaven van den staat voorgesteld. Ten slotte (en wij hebben dit gedeelte der figuur ook hier als een der meest belangrijke overgenomen) geeft een horizontale strook, in deelen van verschillende grootte verdeeld, de afwisselingen en den duur van vrede en oorlog voor Engeland gedurende het beschouwde tijdperk aan. Met eenige op-



helderende woorden is in het origineel aangegeven welke mogendheden in die oorlogen waren gemengd, evenals hier in de geslachtslijst der vorsten de naam van ieder hunner bij zijn levenskolom is geschreven.

Dit uittreksel geeft slechts een zeer flauw denkbeeld van de teekening waaraan het ontleend is, welke door kleurendruk nog meer duidelijkheid heeft gekregen; het bijzonder groot aantal van verschillende zaken, die het origineel voorstelt en in een enkel chronologisch overzicht vereenigt is een der grootste voordeelen, die in dit klein formaat niet konden worden weergegeven.

Van de eenvoudige begrippen van op zich zelfstaande grootheden, zooals wij hier beschouwd hebben, komt men door combinatie gemakkelijk tot meer samengestelde begrippen zooals die van oppervlak, beweging, verandering. Ook deze samengestelde begrippen vinden in de grafische methode hun meest volmaakte uitdrukking.

#### **Grafische voorstelling van ruimteverhoudingen.**

Ons begrip van ruimte gaat gepaard met de voorstelling van drie afmetingen: lengte, breedte en hoogte (dikte of diepte); nu kan de grafische methode, om dit drievoudig begrip uit te drukken, slechts over twee afmetingen beschikken: lengte en breedte, voorgesteld door een blad papier of door het vlak van teekening; toch zijn die twee hulpmiddelen in een groot aantal gevallen voldoende om de drie afmetingen der ruimte voor te stellen, dank zij de handelwijze der Beschrijvende Meetkunde of de leer der Perspectief.

Wij hebben gezien hoe het eenvoudig begrip van lengte of duur door een lijn kan worden uitgedrukt; dit zal dus de grafische voorstelling zijn van de ruimte *beschouwd volgens ééne afmeting* d. w. z. van den afstand die twee punten scheidt. Het gebruik van den passer, nonius of mikrometer geeft een bewonderenswaardige juistheid in het meten en vergelijken van afstanden, die nu eens in hun werkelijke grootte worden voorgesteld, dan weer volgens een behoorlijke schaal worden vergroot of verkleind. Wanneer alzoo de al te groote of kleine afstanden naar een ver-

kleinde of vergroote schaal zijn afgebeeld, 't geen voor een klaar begrip daarvan noodzakelijk is, zullen wij bij het schatten of vergelijken van deze grootheden veel meer nauwkeurig oordeelen naar deze geteekende lijnen dan wij bij het zien der afstanden zelve zouden doen.

De ruimte beschouwd volgens twee afmetingen geeft ons het begrip van een vlak. De verschillende richtingen van het vlak worden ons aangeduid door de lijnen die wij in het vlak kunnen trekken; eindelijk kan een gedeelte van een vlak, dat geheel door lijnen is begrensd, ons tot maat dienen bij het meten van oppervlakken. Vooral bij het uitmeten van zeer onregelmatige oppervlakken is de grafische constructie onmisbaar en in dat geval door niets hoegenaamd te vervangen.

De landmeter heeft eerst een nauwkeurig begrip van het terrein, dat hij heeft opgemeten, wanneer hij het op zijn papier in teekening gebracht heeft. De geograaf die alleen door woorden den vorm van den omtrek van een land, zijn ligging, den betrekkelijken afstand van verschillende plaatsen enz. zou willen uitdrukken, zou niet begrepen worden, terwijl op een kaart alles duidelijk wordt en men hieruit zeer gemakkelijk de vormen van verschillende landen, den loop der stroomen, de betrekkelijke uitgestrektheid van landen en zeeën leert kennen en in zich opneemt. In de vroege oudheid gebruikten dan ook de Grieken reeds geografische kaarten; \* men beweert dat Hipparchus reeds een projectie ontwierp die door anderen, o. a. door Claudius Ptolemaeus, verder werd voltooid. \*

Wanneer een oppervlak een rechthoekige gedaante heeft, dan wordt de inhoud daarvan door het produkt van twee ongelijke grootheden, n.l. van de beide in een hoekpunt samenkomende zijden, uitgedrukt. De gebruikelijke uitdrukking: *het vierkant van een getal* in plaats van de tweede macht van het getal, m. a. w. het produkt van dit getal met zich zelf, bewijst duidelijk hoe natuurlijk het is om sommige rekenkundige bewerkingen door een dergelijke grafische uitdrukking te vervangen. Door een rechthoek wordt dus het produkt van twee ongelijke factoren uitgedrukt. Later zullen wij zien hoe bij vele grafische voorstellingen van verschijnselen de bepaling van de grootte van oppervlakken of anders gezegd van *inhouden*,

met behulp van den planimeter 1) verricht, op een snelle en zekere wijze getallenuitkomsten geeft, die anders op een vrij omslachtige manier zouden moeten verkregen worden.

De ruimte, beschouwd volgens drie afmetingen, geeft ons het volkomen begrip van lichamen of van de vormen die in de natuur voorkomen. Bij gebrek aan gesneden en gehouwen beeldwerk, waardoor wij de meest volmaakte uitdrukking van deze vormen krijgen, kan men de vaste lichamen in de ruimte ook grafisch voorstellen.

Voorceerst leert de Beschrijvende Meetkunde door hare projectiemethoden hoe men de buiten het vlak van teekening gelegen afmetingen der lichamen in dit vlak kan voorstellen; maar er is nog een wijze van voorstelling, die, al is zij ook minder streng en niet zoo volmaakt als de eerste, toch een groote waarde bezit uit hoofde van de gemakkelijkerheid waarmee men haar kan vertolken en verstaan: wij bedoelen de methode der perspectief. Van onze jeugd af aan zijn wij door de schilderijen en teekeningen, die wij overal zien, aan deze wijze van voorstelling gewend, en wij begrijpen met het meeste gemak den vorm en de verhouding tusschen de afmetingen der lichamen, die op deze wijze zijn afgebeeld. Daarenboven kunnen wij, dank zij de schoone uitvinding van Wheatstone, uit de vlakke figuren de volkomen duidelijke voorstelling van het relief verkrijgen; bezien wij namelijk door den stereoskoop twee beelden, die volgens een verschillende perspectief zijn afgebeeld, overeenkomende met de twee verschillende beelden die elk onzer oogen opvangt wanneer wij ze beiden tegelijk op een zelfde voorwerp richten, dan krijgen wij denzelfden indruk alsof het voorwerp in werkelijkheid voor ons stond en onze oogen, beiden op dit voorwerp gericht, de verschillende deelen daarvan nauwkeurig beschouwden. 2)

---

1) \* Een werktuig dat gebruikt wordt voor de bepaling van de uitgebreidheid van vlakke figuren; het werd uitgevonden te Parijs door Ernst \*.

2) De stereoskopische beelden geven ons zelfs den indruk van het relief in gevallen waarin onze oogen, ongewapend, daarin te kort schieten. Wanneer wij naar een ver verwijderd voorwerp zien, zal de hoek van onze oogassen soms te klein geworden zijn om nog voor elk der oogen een genoegzaam verschillend beeld van het voorwerp op te leveren. Wanneer men nu photographiën van een of ander voorwerp heeft, die op twee



### Plaatsbepaling van punten in een vlak.

In de aardrijkskunde leert men de ligging van een plaats bepalen door middel van lengte en breedte, d. i. door de beide afstanden waarop deze plaats van twee elkaar snijdende lijnen (den eersten meridiaan en den evenaar) is verwijderd. Op geheel overeenkomstige wijze bepaalt men in een vlak de betrekkelijke ligging van punten t. o. van elkaâr door de afstanden aantegeven, waarop die punten verwijderd zijn van twee in het vlak aangenomen elkaar snijdende lijnen; de afstanden worden *coördinaten*, de aangenomen snijdende lijnen *coördinatenassen* of kortweg *assen* genoemd. \* Gewoonlijk laat men deze assen een rechten hoek met elkaar maken, daar dit om velerlei redenen tot meerdere eenvoudigheid leidt; in dat geval spreekt men dan van *rechthoekige coördinaten* en van *rechthoekig coördinatenstelsel*. Het snijpunt der assen noemt men *oorsprong*.

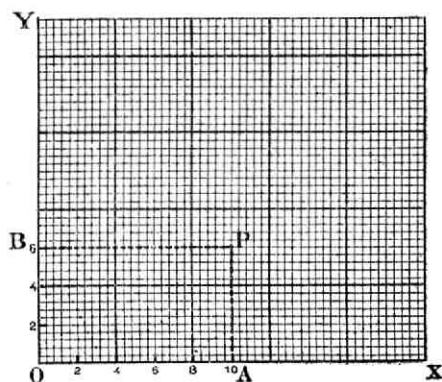


Fig. 3. Plaatsbepaling van een punt in een vlak door middel van coördinaten.

Zijn bijv. in Fig. 3 uit den oorsprong O de rechthoekige assen OX en OY getrokken, dan zal de plaats van een punt P in het

ver van elkaar verwijderde plaatsen zijn genomen, dan doet zich bijv. een dorp aan ons als een verzameling van huisjes voor zooals wij die bij kinderspeelgoed aantreffen. Stereoskopische photographiën van Saturnus met zijn ring op verschillende tijdstippen genomen, zoodat de planeet onder twee verschillende hoeken werd waargenomen, deden in den stereoskoop bekeken den ring geheel afgezonderd van de planeet zoo duidelijk uitkomen, dat men gemeend zou hebben den ring met de hand te kunnen grijpen.

vlak geheel bepaald zijn wanneer wij weten op welke afstanden, in lengte-eenheden uitgedrukt, dit punt van de beide assen is verwijderd. In de figuur is P op een afstand OA gelijk aan 10 lengte-eenheden verwijderd van de as OY en op een afstand OB gelijk aan 6 lengte-eenheden van de as OX. De snijding der lijnen BP en AP, uit B en A evenwijdig aan de beide assen getrokken, geeft dan het bepaalde punt. De afstand BP krijgt den naam van *abscis*, de afstand PA dien van *ordinaat*. Deze wijze van plaatsbepaling is de basis waarop de zoogenaamde *Leerwijze der coördinaten* steunt. Men is hierin gewoon de grootte van de abscissen en ordinaten, die dus door middel van een aangenomen lengte-eenheid altijd in getallen zijn uitgedrukt, voortstellen door de letters x en ij. Voor het punt P is dus  $x = 10$  en  $ij = 6$ . Daar blijkbaar OA even groot is als BP en OB gelijk is aan AP, zoo wordt de as OX de *abscissen-as* of kortweg *x-as*, OY de *ordinaten-as* of *y-as* genoemd. \*

Daar nu elke lijn beschouwd kan worden als te bestaan uit een aaneenschakeling van punten, zal men een lijn in hare richting en verschillende wendingen in een vlak kunnen voorstellen door de plaats van elk harer punten op bovengenoemde wijze te bepalen.

Gesteld bijv. dat men den loop van een beek met hare verschillende kronkelingen nauwkeurig in teekening wil brengen: op het terrein bakent men dan twee elkaar rechthoekig snijdende lijnen af; laten in fig. 4 OX en OY deze lijnen voorstellen; men neemt bij voorkeur, om de bepaling der punten zoo gemakkelijk mogelijk te maken een vel papier zooals in de figuren 3 en 4 is voorgesteld, waarin namelijk een net van lijnen is aangebracht die op onderling gelijke afstanden van bijv. 1 mm. evenwijdig aan beide assen getrokken zijn.

Zij nu bijv. een eerste punt van de beek gelegen op het terrein op 2 meter afstand van de x-as en op 12 meter van de y-as; verkleinen wij nu deze afmetingen op één duizendste, dan krijgt men in fig. 4 het punt 1 door het snijpunt te zoeken van een ordinaat gelijk aan 2 en van een abscis gelijk aan 12 mm.; een tweede punt dat op het terrein op 5 meter van de x-as en op 15 meter van de y-as is verwijderd geeft het punt 2 in de figuur; zoo voortgaande krijgt men een reeks van punten van de beek.

De lijn over deze punten getrokken zal natuurlijk des te nauwkeuriger den loop der beek voorstellen, naar gelang men een grooter aantal dicht bij elkaar gelegen punten in teekening brengt. 1)

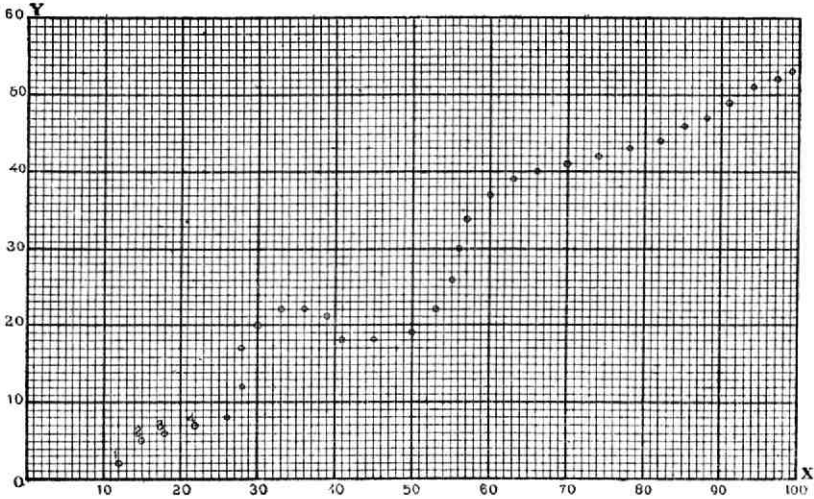


Fig. 4. Constructie van een lijn in een vlak door middel van punten.

Op deze wijze van plaatsbepaling van punten berust de zoogenaamde *Analytische Meetkunde*, waaraan door DESCARTES het aanzijn werd geschonken; dit zoo bijzonder gewichtig gedeelte der meetkunde leidt tot de kennis van een tal van belangrijke eigenschappen van de meest merkwaardige kromme lijnen, terwijl dan de betrekkingen tusschen de coördinaten van de punten dier lijnen gewoonlijk door zeer eenvoudige vergelijkingen kunnen worden uitgedrukt. Hierdoor moesten de grafische voorstellingen natuurlijkerwijze een hogere en meer uitgebreide beteekenis krijgen; in plaats van alleen ruimteverhoudingen voor te stellen, kouden de kromme lijnen nu aangewend worden voor het uitdrukken van de betrekkingen die tusschen grootheden van verschillende aard kunnen bestaan.

1) Steeds geschiedt de plaatsbepaling van punten in een vlak op dezelfde wijze; alleen kunnen de benamingen der coördinaten verschillen; in plaats van abscis en van ordinaat, spreekt de geograaf van lengte en breedte, de sterrekundige van rechte klimming en declinatie, van azimuth en hoogte, enz.

**Het voorstellen van de betrekking tusschen twee veranderlijke grootheden door een lijn.**

In het bovenstaande voorbeeld werden door de lijn in elk harer punten alleen ruimteverhoudingen voorgesteld; door de grafische methode kan men echter betrekkingen van allerlei aard uitdrukken. Het is dan ook niet noodig dat de deelen die op de ordinaten-as en die, welke op de abscissen-as worden afgemeten, gelijkslachtige grootheden voorstellen. Veronderstellen wij bijv. dat de deelen op de x-as met tijdruimten, die op de y-as met een andere grootte overeenkomen, dan zal de in teekening gebrachte lijn de opvolgende veranderingen van deze grootte met betrekking tot den tijd aangeven; of mathematisch gesproken, zoodoende construeert men de lijn die de veranderingen van een grootte in functie van den tijd uitdrukt.

**Statistische figuren van W. Playfair.**

In 1789 kwam Playfair op het denkbeeld om door lijnen de veranderingen aan te geven, die in de staatsschuld van Engeland van jaar tot jaar hadden plaats gegrepen gedurende het tijdsverloop van 1688 tot 1786. Deze teekening, in fig. 5 voorgesteld, toont ons een lijn die van de linker- naar de rechterzijde onregelmatig stijgt, 't geen wil zeggen dat de schuld na verloop van tijd steeds is aangegroeid. De deelen op de ordinaten-as geven het bedrag der schuld aan, terwijl de stukken afgemeten op de abscissen-as, overeenkomen met de grootte der opvolgende tijdvakken. Elk punt van de ontworpen lijn, zal dus door zijn bepaalde plaats terstond het bedrag der schuld op een gegeven oogenblik aanduiden. Daar de schrijver zich tot een publiek richt, waarvoor deze wijze van voorstelling nog geheel nieuw is, verklaart hij zeer uitvoerig hoe men een som geld door een rechte lijn kan voorstellen. Stellen wij ons, zegt hij, een bepaalde som voor geheel in specie, in den vorm van opgestapelde livres tournois 1); de hoogten der geldstapels zullen nu natuurlijk evenredig zijn aan het aantal geldstukken, d. i. aan het bedrag der som;

---

1) \* Een oude Fransche munt,  $\frac{1}{5}$  minder in waarde dan de Parijsche livre. \*

trekt men nu rechte lijnen wier lengten zich verhouden als de hoogten der stapels, dan is het zeer natuurlijk dat het bedrag der sommen door die lijnen wordt uitgedrukt.

Verder weidt Playfair bijzonder uit over de klaarheid van deze wijze van voorstelling; om aan te toonen dat alleen de lijnen in staat zijn om de beteekenis der statistische opgaven duidelijk te doen uitkomen, bericht hij hoe gedurende een langen tijd tal van valsche geruchten omtrent den toestand van den Engelschen handel in omloop zijn geweest, die niet werden weersproken niettegenstaande de valsheid van die berichten uit de statistische documenten, die algemeen verspreid waren, had kunnen aangetoond worden. 1)

Uit deze voorbeelden zal nu duidelijk genoeg gebleken zijn hoe men de betrekkingen tusschen twee grootheden grafisch kan

1) In 1769, een jaar waarin de uit- en invoer van Engeland grooter was dan ooit te voren, berichtte JUNIUS (pseudoniem van een Engelsch schrijver uit dien tijd) dat de Engelsche handel zeer was achteruitgegaan. Deze bewering, die even onjuist als brutaal was, werd door niemand tegengesproken, ofschoon de schrijver toch zeer veel tegenstanders had. Toch waren de registers van de in- en uitgaande rechten in handen van velen, die bij deze zaak belang hadden en waaruit men de valsheid der bewering van Junius had kunnen aantoonen; men vergete daarbij niet dat de rekeningen, door de beambten in Engeland opgeemaakt, zeer zorgvuldig worden nagegaan en onderzocht.

Zien wij hoe de schrijver zelf de voordeelen bespreekt van deze wijze van voorstelling, door hem uitgedacht.

„De oplettende beschouwing der figuren,” zegt Playfair, „zal een vrij juist en sterken indruk achterlaten, die den beschouwer lang blijft zonder veel te verflauwen; men krijgt daardoor een juist en eenvoudig begrip van een zaak in haar geheel.

Een tal van lieden, de hooger geplaatsten en zij, die hun tijd aan belangrijke zaken moeten wijden, zullen over 't algemeen een zaak alleen gaarne in haar geheel overzien, terwijl het aandachtig nagaan van de bijzonderheden alleen nuttig is voorzoover de kennis van deze bijzonderheden kan leiden tot een juist begrip van het geheel.”

Op een andere plaats geeft de schrijver, getroffen door de ontzaggelijke toename der staatschuld en als 't ware verschrikt door hetgeen de figuur, die hij geconstrueerd had, hem openbaarde, zich aan de volgende zedelijke overdenking over naar aanleiding van de niet geamortiseerde staatsleeningen :

„Terwijl wij nu bijzonder tevreden zijn nu wij zooveel geld gevonden hebben, laten wij het eenvoudig aan het nageslacht over dit terug te betalen; wij hebben ons dus als staatslichaam gedragen op een wijze, waarvoor elk particulier, die op een dergelijke wijze in zijn zaken te werk ging, als een eerlooze zou worden uitgekreten”

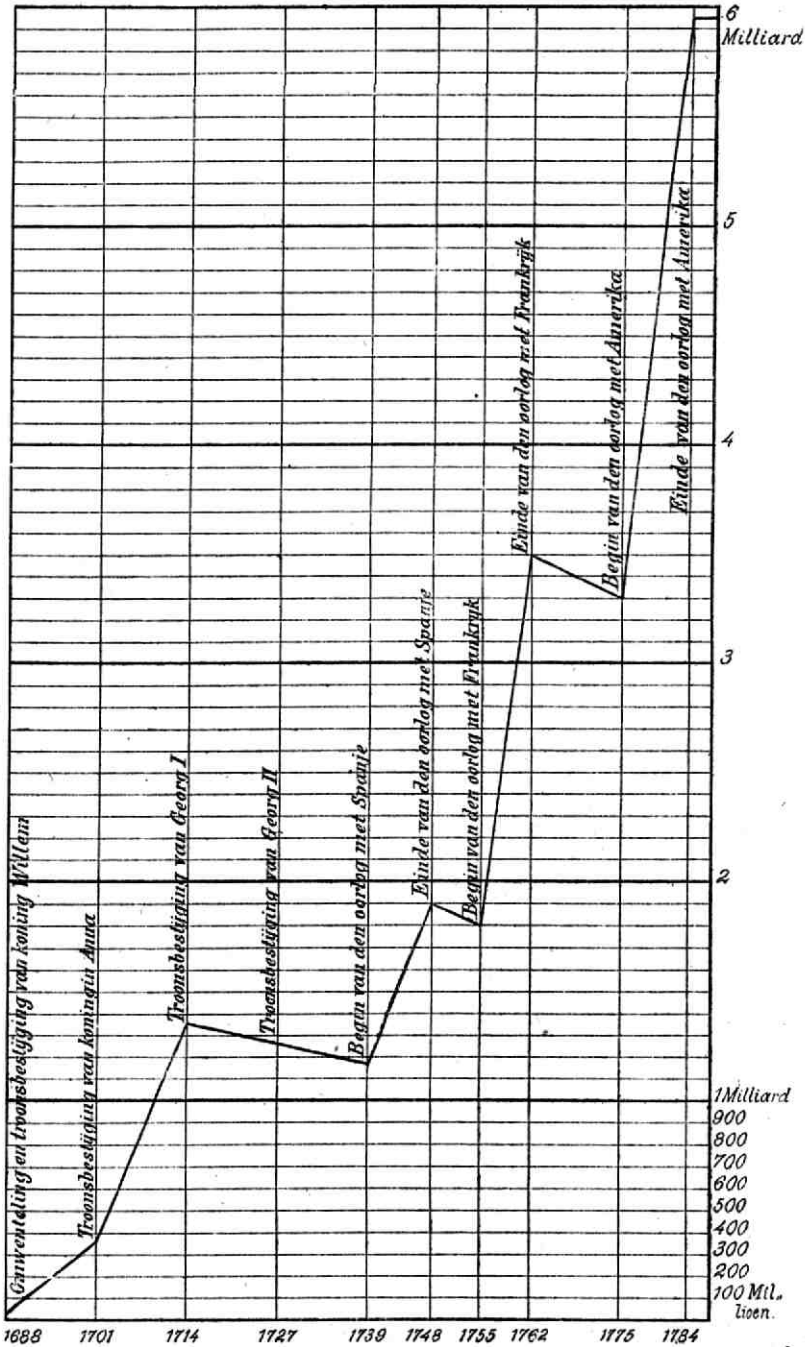


Fig. 5. Grafische voorstelling van de vermeerdering der Engelse staatschuld, naar W. Playfair.

voorstellen; wij zullen nu verder de voornaamste toepassingen der grafische methode vermelden en om met de eenvoudigste te beginnen zullen wij eerst de gevallen nemen waarin de tijd een der beschouwde veranderlijke grootheden is. Later gaan wij dan over tot lijnen, die de betrekkingen tusschen grootheden van anderen aard uitdrukken zonder den tijd daarbij in aanmerking te nemen; terwijl nog verder, wanneer wij overgaan tot meer samengestelde begrippen, zal aangetoond worden hoe met de grafische voorstelling van de ruimte, beschouwd wordende volgens twee afmetingen zooals bij het meten van oppervlakken, die van een derde veranderlijke grootheid kan gecombineerd worden.

## TWEEDE HOOFDSTUK.

### GRAFISCHE VOORSTELLING VAN GROOTHEDEN WAARBIJ DE TIJD EEN DER VERANDERLIJKEN UITMAAKT.

Grafische voorstelling van een rechtlijnige beweging; de eenparige beweging; de richting der beweging; de veranderlijke beweging. — Toepassingen: grafische voorstellingen van den loop der verschillende treinen op spoorweglijnen. — Voorstelling van langsame bewegingen: toename in grootte en gewicht van het kind op verschillende leeftijden. — Lijnen die de fasen van een willekeurige verandering met betrekking tot den tijd voorstellen. Grafische statistiek: Overzicht van den toestand der Nederlandsche geldmiddelen, van de toename der bevolking in Nederland; grafische voorstelling van enkele opgaven van de medische, gerechtelijke, onderwijs- en handelsstatistiek. — Meteorologische lijnen. — Aanwending van grafische lijnen in de geneeskunde. — Lijnen die de uurlijksche veranderingen van de temperatuur en van de gemiddelde frequentie van den pols voorstellen. — Grafische voorstelling van de richting en van de fasen van elektrische stroomen.

Bij de grafische voorstelling van verschijnselen als die welke wij hier zullen nagaan en waarvan natuurlijk het aantal legio is, zullen wij den tijd beschouwen als een grootheid die regelmatig toeneemt, om met deze gelijkmatige veranderingen van den tijd de opvolgende waarden van de tweede veranderlijke grootheid in verband te brengen. Om meer overeenstemming en éénheid in deze figuren te brengen zullen wij als regel aannemen, *dat de tijddeelen steeds op de x-as, d. i. op de horizontale as worden afgezet*. De tijd wordt bij deze grafische voorstellingen steeds als een onafhankelijk veranderlijke grootheid beschouwd.

### Grafische voorstelling van een rechtlijnige beweging.

Beweging en de betrekking tusschen ruimte en tijd zijn twee dingen die zich direkt in een begrip laten vereenigen. De *rechtlijnige beweging*, die wij hier zullen beschouwen, zal kunnen worden voorgesteld door een lijn, die in elk harer punten de plaats aanduidt, die het in beweging zijnde lichaam op een bepaald oogenblik inneemt.

Gesteld dat men op deze manier wil uitdrukken dat een rijtuig zich met een snelheid van 3 meter in de sekonde verplaatst; nemen wij dan evenals in de vroegere voorbeelden rechthoekige assen  $OX$  en  $OY$  (fig. 6) met de noodige lijnen uit de deelpunten van beide assen evenwijdig daarmede getrokken; stellen wij dat elk deel, op de  $x$ -as gemeten, overeenkomt met één sekonde, terwijl elk deel op de  $y$ -as een doorloopen weg van één meter aangeeft.

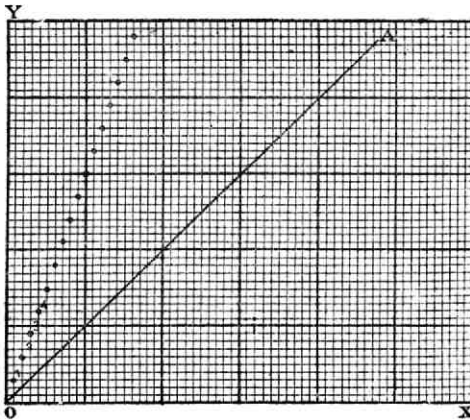


Fig. 6. Grafische voorstelling van de eenparige beweging.

Wanneer nu het rijtuig 3 meter per sekonde aflegt, dan zal het zich na verloop van de eerste sekonde op de eerste deellijn van den tijd en op de derde van den weg bevinden, d. w. z. in het punt 1; na verloop van de tweede sekonde zal de plaats van het rijtuig worden voorgesteld door punt 2 en zoo vervolgens door de punten 3, 4 enz. Vereenigt men deze opvolgende standen, dan krijgt men een rechte lijn die vrij snel stijgt en die duidelijk aangeeft dat het aantal afstandseenheden voor elk punt steeds driemaal grooter is dan het aantal tijdseenheden.



De snelheid van één meter per sekonde zou worden uitgedrukt door de rechte lijn OA die, daar zij de diagonaal wordt voor de vierkanten in de figuur, duidelijk aanwijst dat de aangroeiing der wegen nu steeds gelijk is aan die der tijden. Kortom, elke rechte lijn, die uit het punt O als oorsprong in een of andere richting wordt getrokken, zal een zekere snelheid van verplaatsing uitdrukken, welke snelheid des te grooter zal zijn naargelang de lijn sneller stijgt en dus meer tot den vertikalen stand nadert. 1) Omgekeerd zal de beweging des te langzamer zijn naarmate de lijn meer naar OX overhelt. \* De lijn OX zelf stelt dus den toestand van volkomen rust voor. \*

#### **Voorstelling van de richting eener beweging.**

Men ziet uit het bovenstaande dat door de verschillende hellingen der in teekening gebrachte lijnen niet de verschillen in richting worden aangegeven, waarin de beweging plaats heeft, maar dat zij alleen de verschillende snelheden uitdrukken.

Welke ook de richting zij waarin een beweging in werkelijkheid plaats heeft, men onderstelt bij deze soort van voorstelling dat zij steeds evenwijdig is aan de as OY. Neemt men aan dat door de richting van O naar Y te volgen de geteekende lijn een beweging in een bepaalden zin, bijv. een stijgende beweging, aangeeft, dan zal een tegengestelde of dalende beweging worden uitgedrukt door een lijn die uit Y onder een meer of minder groote helling, afhankelijk van de snelheid, naar OX loopt.

#### **Voorstelling van een veranderlijke beweging.**

Fig. 6 toont ons alleen een rechte lijn, die altijd een *eenparige* beweging voorstelt d. i. een zoodanige beweging, waarbij in gelijke tijden gelijke wegen worden afgelegd. De veranderlijke beweging daarentegen, waarbij dus in gelijke tijden ongelijke wegen worden doorlopen, zijn direkt kenbaar aan de krommingen, die overeenkomen met de veranderingen in snelheid. Het is toch duidelijk

1) De snelheid van een beweging wordt dus uitgedrukt door de helling van de rechte lijn, die deze beweging voorstelt t. o. van de lijn OX, of mathematisch uitgedrukt: door den tangens van den hoek, dien de lijn van beweging met de x-as maakt.

dat wanneer de helling verandert volgens de snelheid der daardoor voorgestelde beweging, ook omgekeerd een veranderlijke beweging steeds zal voorgesteld worden door een lijn met een veranderlijke helling. In fig. 7 wordt door OA een *eenparig vertraagde* beweging voorgesteld, d. i. een zoodanige waarbij de snelheid in de opvolgende tijden regelmatig afneemt; door AX wordt dan een *eenparig versnelde* beweging uitgedrukt; geeft OA een stijgende beweging aan, dan wordt door AX een dalende aangeduid. De kromme lijn OAX zal dus bijv. de beide fasen van beweging uitdrukken van een lichaam, dat, vertikaal opgeworpen zijnde, zijn hoogste punt bereikt en nu weer onder de werking der zwaartekracht naar beneden valt.

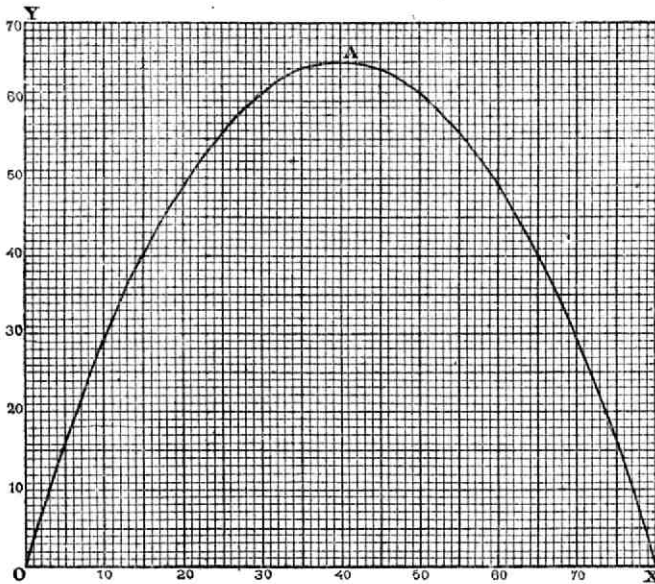


Fig. 7. Grafische voorstelling van een veranderlijke beweging (OA een eenparig vertraagde, AX een eenparig versnelde beweging.)

Bekend is 't dat een lichaam, 't welk vertikaal opgeworpen wordt, terugvallende in elk punt van zijn baan een even groote snelheid zal hebben als het bij zijn klimmende beweging had. Die wet wordt door de figuur duidelijk uitgedrukt.

**Toepassingen. — Grafische voorstellingen van den loop der verschillende treinen op spoorweglijnen.**

Van de boven aangetoonde wijze, om doorloopen ruimten in functie van den tijd uit te drukken, wordt met veel vrucht partij getrokken bij de spoorwegen om den loop der treinen te regelen. Met behulp van deze grafische voorstellingen kan een beambte het oogenblik waarop de verschillende treinen zich in elk punt der spoorweglijn bevinden, de plaats waar twee treinen elkaar kruisen, den duur van hun loop of oponthoud aan de verschillende stations, de uren van aankomst en vertrek, enz. terstond nauwkeurig weten. Fig. 8 geeft ons een dergelijke voorstelling van den loop der treinen tusschen Parijs en Lyon heen en terug.

*Verklaring van fig. 8.*

Wanneer men de figuur voor zich plaatst dan leest men aan den linkerkant, op de ordinaten-as, de opvolgende stations af, m. a. w. de deelen der te doorloopen ruimten; die deelen op de y-as zijn evenredig genomen aan de afstanden der opvolgende stations. De deelen op de horizontale of abscissen-as stellen de opvolgende uren voor, die elk weer in onderdeelen van 10 minuten zijn verdeeld. De breedte der figuur is zoodanig dat op de x-as het geheele aantal van 24 uren is aangegeven, aanvangende met 6 uur in den morgen.

Om nu aan te geven dat een trein zich op een zeker oogenblik op een bepaald punt van de lijn bevindt, bepaalt men het snijpunt van twee lijnen, die uit de bepaalde deelpunten der assen evenwijdig aan deze getrokken zijn; dit aldus gevonden punt voldoet dan aan de beide gestelde voorwaarden. In de volgende oogenblikken zal de plaats van den trein weer telkens door andere punten van de figuur worden aangewezen; door nu deze punten te vereenigen ontstaat een lijn, die in schuine richting van de linker naar de rechter zijde naar beneden loopt voor de treinen, die van Parijs komen, terwijl zij in denzelfden zin onder een helling zal stijgen voor de treinen, die naar Parijs vertrekken.

Door een lijn, die aldus den loop van een der treinen voorstelt, worden duidelijk aangegeven: de uren van vertrek en aankomst, de betrekkelijke en volstreckte snelheden van den trein, het oogenblik waarop zij voorbij elk der stations gaan en den tijd van oponthoud.

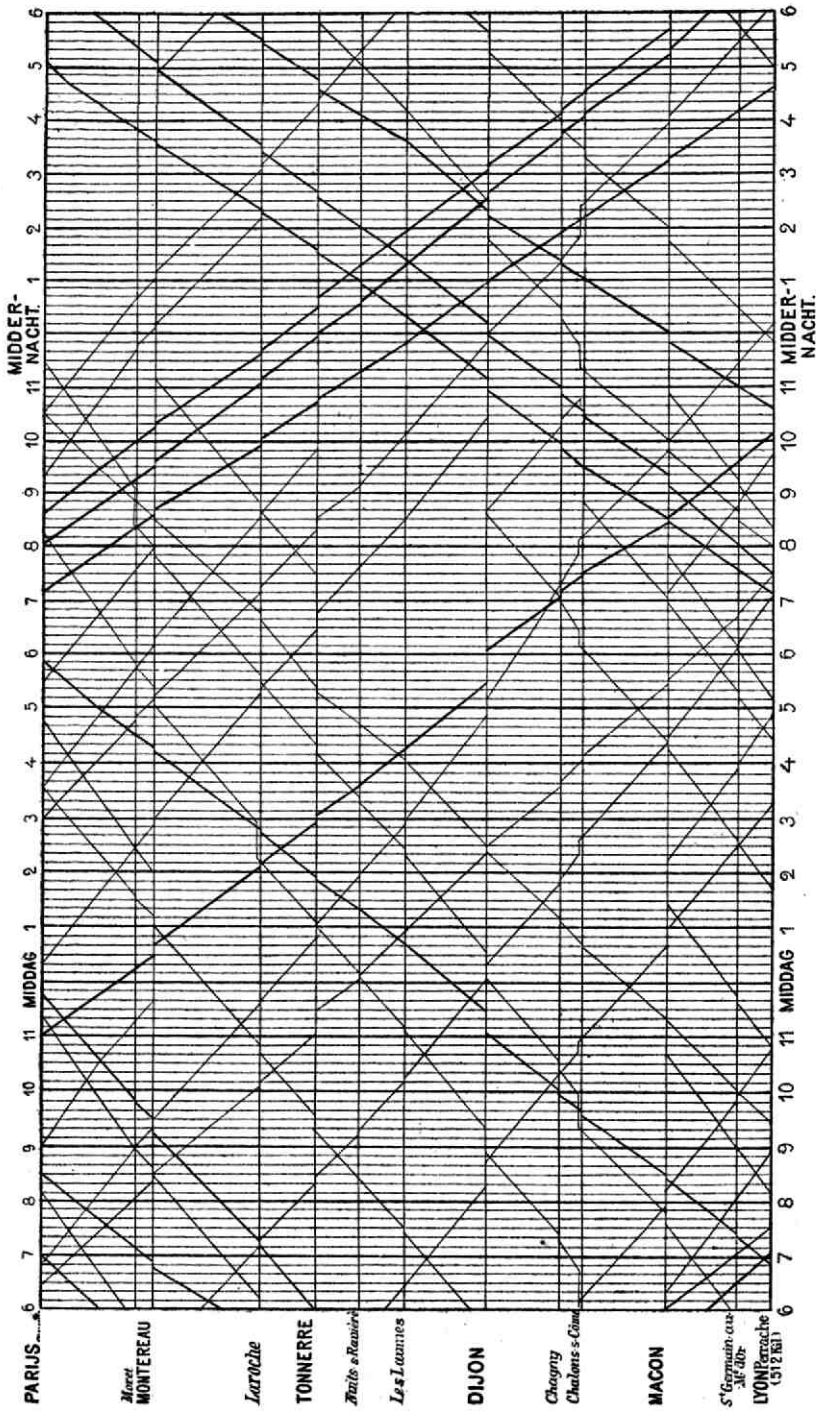


Fig 8. Grafische voorstelling van den loop der treinen op een spoorweglijn, volgens de methode van Ibrý.

Volgen wij in de figuur bijv. den loop van een der treinen, dan zien wij dat om elf uur in den morgen een trein van *Parijs* vertrekt, die na zevenmaal opgehouden te zijn des avonds om tien minuten over tien in *Lyon* aankomt; daar de afstand der eindstations 512 kilometer bedraagt, volgt daaruit een gemiddelde snelheid van 46 kilometer per uur. Een oponthoud wordt in de figuur terstond uitgedrukt door een verplaatsing van de lijn volgens den tijd, maar niet volgens den doorloopen weg, m. a. w. door de horizontale richting der lijn; de lengte van dit horizontale gedeelte geeft den duur van oponthoud aan, terwijl de verlenging van dit gedeelte in de richting van de y-as tertond het station aanwijst waar het oponthoud plaats heeft. Evenzoo ziet men dat de trein, die des morgens ten 6-55 uit *Lyon* vertrekt, 's avonds ten 6 uur te *Parijs* aankomt. Deze lijn snijdt die welke wij zoo even beschouwden tusschen de stations *Tonnerre* en *Laroche*; in dit punt kruisen dus de beide exprestreinen elkaar. De betrekkelijke snelheden der treinen zijn met een enkelen blik waar te nemen; zij worden namelijk uitgedrukt door de meerdere of mindere helling der lijnen; hoe meer deze tot den vertikalen stand naderen, des te grooter is snelheid. Bovendien zijn hier de sneltreinen door eenigszins dikkere lijnen voorgesteld.

\*Wij geven in fig. 9 een dergelijke grafische voorstelling van den loop der treinen Amsterdam—Rotterdam en Haarlem—Uitgeest zooals die bij de Hollandsche IJzeren Spoorweg-Maatschappij gebruikt wordt. 1)

Na de verklaring der vorige figuur zal deze wel terstond begrepen worden. In het oorspronkelijk model, naar 't welk deze figuur verkleind is overgenomen, was elke lijn bovendien nog voorzien van een cijfer, dat het nummer van den trein aanduidde, terwijl bij de verschillende snijpunten nog kleinere cijfers waren geplaatst die de oogenblikken van vertrek, van aankomst en den tijd van oponthoud in minuten nauwkeurig aangaven.\*

Wij kunnen den lezer zeer aanbevelen deze figuren oplottend na te gaan; hij zal dan bespeuren dat zij niet zoo samengesteld zijn als zij bij den eersten aanblik wel schijnen en dat men na

---

1) Deze figuur werd door den heer GUICHART, Inspecteur bij de Hollandsche IJzeren Spoorweg-Maatschappij, welwillend voor dit werk afgestaan.

eenige oefening het geheel gemakkelijk begrijpt. Heeft hij zich eenmaal met deze wijze van voorstelling gemeenzaam gemaakt, dan zal hem de beteekenis en verklaring van de volgende figuren, die over 't algemeen eenvoudiger zijn, zeer gemakkelijk vallen.

**Langsame bewegingen. — Toename in grootte en gewicht van het kind op verschillende leeftijd.**

Om duidelijk te laten zien dat de grafische voorstelling van bewegingen zoowel voor zeer snelle als voor zeer langsame verplaatsingen is aan te wenden, zullen wij nu, als tegenstelling met het voorgaande, een beweging beschouwen, die zóó gering is, dat het alleen mogelijk is haar op te merken wanneer men waarnemingen doet met zeer groote tusschenpoozen. De groei der kinderen wordt sedert een twintigtal jaren in Frankrijk met veel zorg bestudeerd en men kan zich gemakkelijk overtuigen dat hierbij de gezondheids- of ziekte-toestand, de invloed van een goed of slecht voedingssysteem zich terstond verraden door een versnelling of een vertraging in den groei. Bij tijdelijke ziekten staat zelfs de groei nu en dan geheel stil. Het gewicht der kinderen ondergaat gewoonlijk nog meer verandering, daar dit gedurende een ziekte niet alleen langzamer kan toenemen, maar zelfs kan verminderen, waardoor de lijn, die de vermeerdering in gewicht voorstelt, in die gevallen zal terugloopen.

In 1871 gaf QUETELET een werk uit getiteld: *Anthropometrie* 1), waaraan wij figuur 10 ontleenen.

Deze figuur stelt voor de gemiddelde toename in lengte van den mensch van de geboorte af tot zijn twintigste jaar toe. Uit de kromming der lijn blijkt dat het kind het snelst groeit, zoolang het zich in den moederschoot bevindt; dat na de geboorte de groei gedurende het eerste jaar het sterkst is en dan vrij regelmatig minder wordt tot het vijfde jaar, vervolgens eenparig voortgaat tot de negentienjarige leeftijd is bereikt, waarna de groei snel vermindert en spoedig stilstaat.

Deze figuur is volkomen in overeenstemming met de vorige

1) *Anthropométrie ou mesure des différentes facultés de l'homme*, door A. QUETELET, directeur van het observatorium te Brussel, 1871. Reeds veel vroeger en wel ongeveer in 1835 gaf Quetelet een en ander over dit onderwerp in het licht.

wat betreft de wijze, waarop een beweging is voorgesteld. Wel hebben wij in het eerste geval met de snelle beweging van een trein, in het laatste met de langzame stijging van het hoofd van een grooter wordend kind te doen; maar het eenige verschil is dat de verdeelingen op de assen in het eerste geval minuten en kilometers, in het laatste daarentegen jaren en millimeters voorstellen.

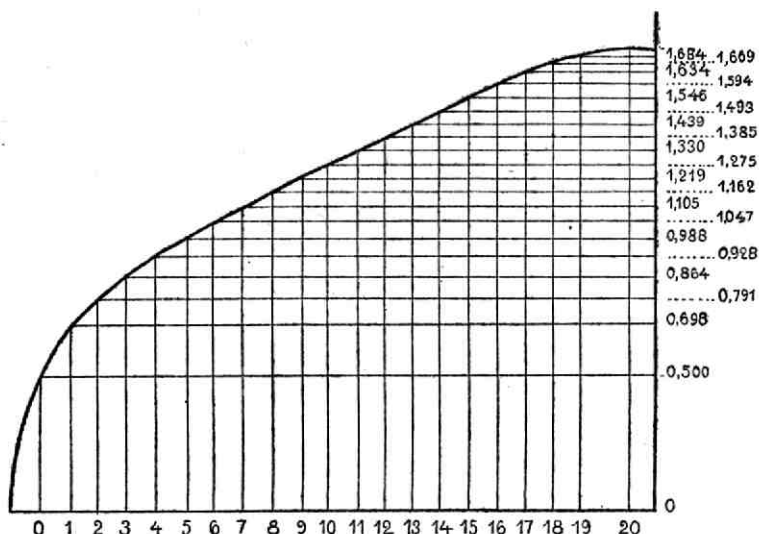


Fig. 10. Lijn die de gemiddelde toename in lengte van den mensch volgens den leeftijd voorstelt, volgens de Anthropometrie van QUETELET.

De lijnen, die de vermeerdering in lichaamslengte voorstellen, worden vooral dán belangrijk, wanneer zij volgens een grootere schaal worden geconstrueerd, d. w. z. wanneer zij de beweging over een korter tijdsverloop voorstellen. Zoo had de hoogleeraar LORAIN, doordrongen als hij was van het groot gewicht der grafische methode zoowel voor de gezondheidsleer als voor de geneeskunde, de gewoonte om altijd zorgvuldig in grafische lijnen de toename in lengte en in gewicht van zijn kinderen voor te stellen; wij kunnen hier tevens bijvoegen dat vele zijner patienten zijn voorbeeld hebben gevolgd. Men kan op deze manier gemakkelijk aantoonen dat de geringste invloed in staat is de ontwikkeling der kinderen te vertragen of te versnellen. Wij geven hier in fig. 11 de lijn van ontwikkeling van een zijner kinderen. De bovenste lijn

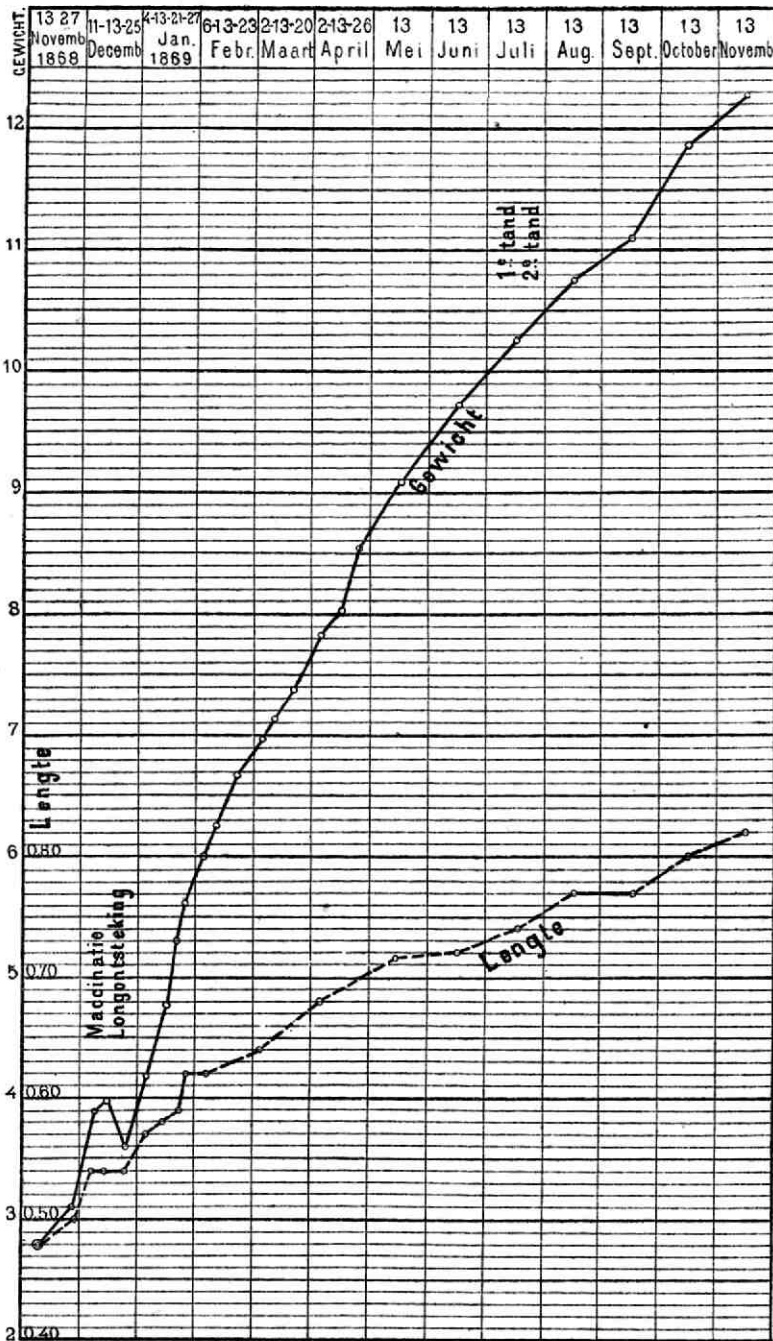


Fig. 11. Lijnen van de toename in grootte en in gewicht van een jongen (J. L.) gedurende zijn eerste levensjaar.



stelt de vermeerdering in lichaamsgewicht, de onderste die in lengte voor. De buigingen in deze lijnen wijzen aan dat de ontwikkeling van het kind niet regelmatig heeft plaats gehad. Zoo merken wij in de tweede maand eerst vertraging en daarna een geruimen stilstand in den groei op, terwijl tegelijkertijd het gewicht snel afneemt; nu werd het kind den 11<sup>den</sup> gevaccineerd en tengevolge daarvan een weinig ongesteld; maar den 13<sup>den</sup> Dec. kreeg hij een hevige longontsteking, zoodat men voor zijn leven vreesde; zijn gewicht nam toen in twaalf dagen met vierhonderd gram af, terwijl de lengte dezelfde bleef; toen de ziekte geweken was namen de lijnen weer haar gewonen loop. Tusschen den 20<sup>en</sup> en 27<sup>en</sup> Januari merkt men een vermeerdering in grootte van 3 cm. op; een dergelijke groei schijnt voor het tijdsverloop van een week wel wat overdreven en wij moeten hier gelooven aan een vergissing, die waarschijnlijk bij het meten is begaan. Gedurende den tijd van het doorbreken der tanden worden kleine vertragingen in den groei zoowel als in het gewicht opgemerkt; verder geven beide lijnen duidelijk aan dat het kind zich over 't algemeen snel en vrij regelmatig heeft ontwikkeld.

In fig. 12 zien wij een dergelijke voorstelling van de toename in gewicht en grootte van een meisje. De groei van dit kind is veel minder snel geweest dan in het voorgaande voorbeeld, want de lijn komt overeen met een tijdduur van twee jaren en niet-tegenstaande het gewicht van beide kinderen bij de geboorte even groot was, zoo blijkt het meisje bij het einde van het tweede jaar weinig grooter en tamelijk veel minder zwaar te zijn dan het knaapje op het einde van zijn eerste jaar. 1) Men bemerkt in beide lijnen een tal van buigingen, die wijzen op kleine storingen in den gezondheidstoestand van het kind, maar de datums en de aard van deze ongesteldheden zijn niet opgeteekend.

Bij deze lijnen, evenals bij allen, waardoor veranderlijke bewegingen worden uitgedrukt, wordt de snelheid van den groei op een bepaald oogenblik aangegeven door den tangens van den

---

1) Door gebrek aan ruimte waren wij genoodzaakt de schaal der tijddeelen in deze figuur kleiner te nemen dan in de voorgaande; waren beide schalen gelijk genomen dan zou de ongelijke ontwikkeling der beide kinderen eerst recht duidelijk zijn uitgekomen.

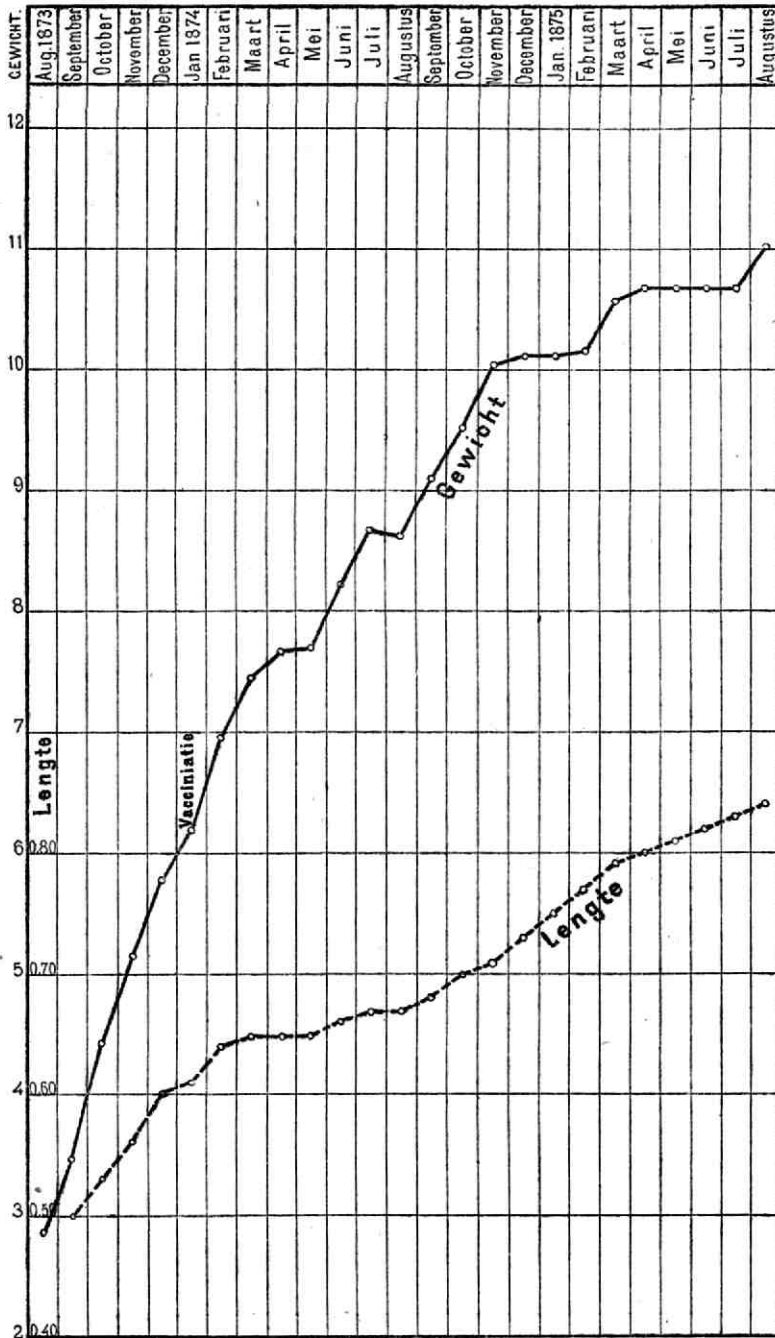


Fig. 12. Lijnen van de toename in grootte en in gewicht van een meisje (J. R.) gedurende de twee eerste levensjaren.

hoek, dien de raaklijn aan een bepaald punt der kromme met de x-as maakt. Men kan nu ten slotte uit de lijn, die de opvolgende vermeerderingen in lengte aangeeft, de lijn, die de snelheid van groei op verschillende oogenblikken uitdrukt, door een meetkundige constructie vinden. 1)

In Amerika, waar men van grafische figuren in de statistiek zeer veel gebruik schijnt te maken, heeft BOWDITCH, professor in de physiologie te Boston, een tabel opgemaakt van de lengten van een groot aantal kinderen van verschillenden leeftijd; de metingen werden om een bepaalden tijd gedaan. Naar deze tabel heeft hij de lijnen van gemiddelden groei voor kinderen van beide seksen in teekening gebracht en heeft daaruit aangetoond dat er

---

1) Constructie van de lijn der snelheden. Wanneer een lichaam zich gedurende den tijd  $t$  eenparig met de snelheid  $v$  beweegt, zal de in dien tijd doorloopen weg  $s$  gelijk zijn aan het product van snelheid en tijd, dus is  $s = v \times t$  en ook  $v = \frac{s}{t}$ . De snelheid is dus het quotient van weg en tijd. Wij hebben reeds bij fig. 6 opgemerkt dat de snelheid eener eenparige beweging werd uitgedrukt door den tangens van den hoek dien de lijn, welke de beweging voorstelt, met de x-as maakt, d. i. door het quotient van de ordinaat ( $s$ ) van een bepaald punt dier lijn en de daarbij behoorende abscis ( $t$ ); daar dit quotient alleen voor een rechte lijn altijd gelijk blijft, volgt daaruit dat een eenparige beweging dus alleen door een rechte lijn kan worden uitgedrukt. Verandert daarentegen dit quotient, zooals bij de veranderlijke beweging het geval is, dan zal ook de helling der lijn veranderen: de meerdere of mindere stijging der lijn maakt dan het quotient  $v$  grooter of kleiner; bij de veranderlijke beweging moet dus de lijn gebroken of krom zijn.

Om nu in dit geval de lijn der snelheden te construeren, trekt men aan de kromme lijn, die de veranderlijke beweging voorstelt, in het punt waarvoor men de snelheid wil kennen, de raaklijn en verlengt die tot zij de x-as snijdt. Uit dit snijpunt als middelpunt beschrijft men met een willekeurigen straal een cirkelboog tusschen de beenen van den hellingshoek; de tangens van dezen boog, dus ook van dezen hoek, geeft dan de waarde der snelheid aan. Deze handelwijze herhaalt men voor een tal van punten der kromme lijn, steeds zorg dragende de stralen, waarmede men de bogen beschrijft, allen gelijk aan den eerst gebezigten straal te nemen. Op deze wijze krijgt men een aantal tangenten, die de snelheden in de bepaalde punten der kromme en dus op bepaalde oogenblikken vertegenwoordigen, en met behulp waarvan men nu de lijn der snelheden met een zekeren graad van nauwkeurigheid in teekening kan brengen; want men behoeft nu slechts uit de verschillende punten der x-as, die de oogenblikken aangeven waarvoor men de snelheden (tangenten) heeft geconstrueerd, loodlijnen op te richten en de lengten hiervan evenredig aan die der gevonden tangenten te nemen, dan zal de lijn, over de aldus bepaalde punten getrokken, de gevraagde zijn.

een aanmerkelijk verschil bestaat tusschen de groeiverschijnselen bij jongens en die bij meisjes. Ook merkte hij op dat wanneer men kinderen, geboren uit ouders van verschillende naties, met elkaar vergelijkt, de groei alsdan naar hun oorsprong verschillend is. Eindelijk heeft Bowditch nog den invloed nagegaan dien de fabrieksarbeid op de ontwikkeling der kinderen uitoefent. 1)

Al deze lijnen zijn hoogst belangrijk en het zou wel te wenschen zijn dat de onderzoekingen van BOWDITCH in vele landen navolging vonden.

**Lijnen die de fasen van een willekeurige verandering met betrekking tot den tijd voorstellen.**

Al de voorbeelden, die wij hierboven gaven, hadden betrekking op veranderingen in doorloopen ruimten ten opzichte van den tijd, m. a. w. op werkelijke bewegingen.

---

1) De arbeid van BOWDITCH \*) leidt tot deze gevolgtrekkingen:

1. De groei is het snelst gedurende de eerste levensjaren.
2. Gedurende de eerste 12 jaren zijn de jongens een à twee duim grooter dan de meisjes van gelijken leeftijd.
3. Omstreeks den 12 $\frac{1}{2}$ -jarigen leeftijd beginnen de meisjes veel sneller te groeijen dan de jongens en gedurende het 14e jaar zijn zij ongeveer een duim grooter dan jongens van denzelfden leeftijd.
4. Op den leeftijd van 14 $\frac{1}{2}$  jaar worden de jongens op nieuw grooter dan de meisjes en terwijl de laatsten omtrent dezen tijd hun vollen wasdom bereikt hebben, neemt de lengte der jongens nog vrij snel toe tot den 19-jarigen leeftijd.

De groeilijnen, door QUETELET ontworpen, toonen aan dat in *België* de meisjes in geen enkel tijdperk van hun leven grooter zijn dan de jongens, maar dat op 12-jarigen leeftijd het lichaamsgewicht voor beide seksen gelijk is.

De waarnemingen te *Manchester* en *Hockport* gedaan bij kinderen van de volksklasse toonen aan dat gedurende het 13e en 14e levensjaar de jongens in grootte en gewicht door de meisjes overtroffen worden.

Het zou belangrijk zijn om door middel van meer uitgebreide waarnemingen te bepalen bij welke geslachten en in welke klimaten de groei der meisjes tegen den tijd van huwbaarheid het sterkst is; langs dezen weg zou het mogelijk zijn de redenen op te sporen, waardoor de physische minderheid, welke men bij de Amerikaansche vrouw onderstelt, zich zou kunnen laten verklaren.

---

\*) BOWDITCH. The Growth of Children (Boston, 1877) from the Eighth annual report of the state Board of Health of Massachusetts.

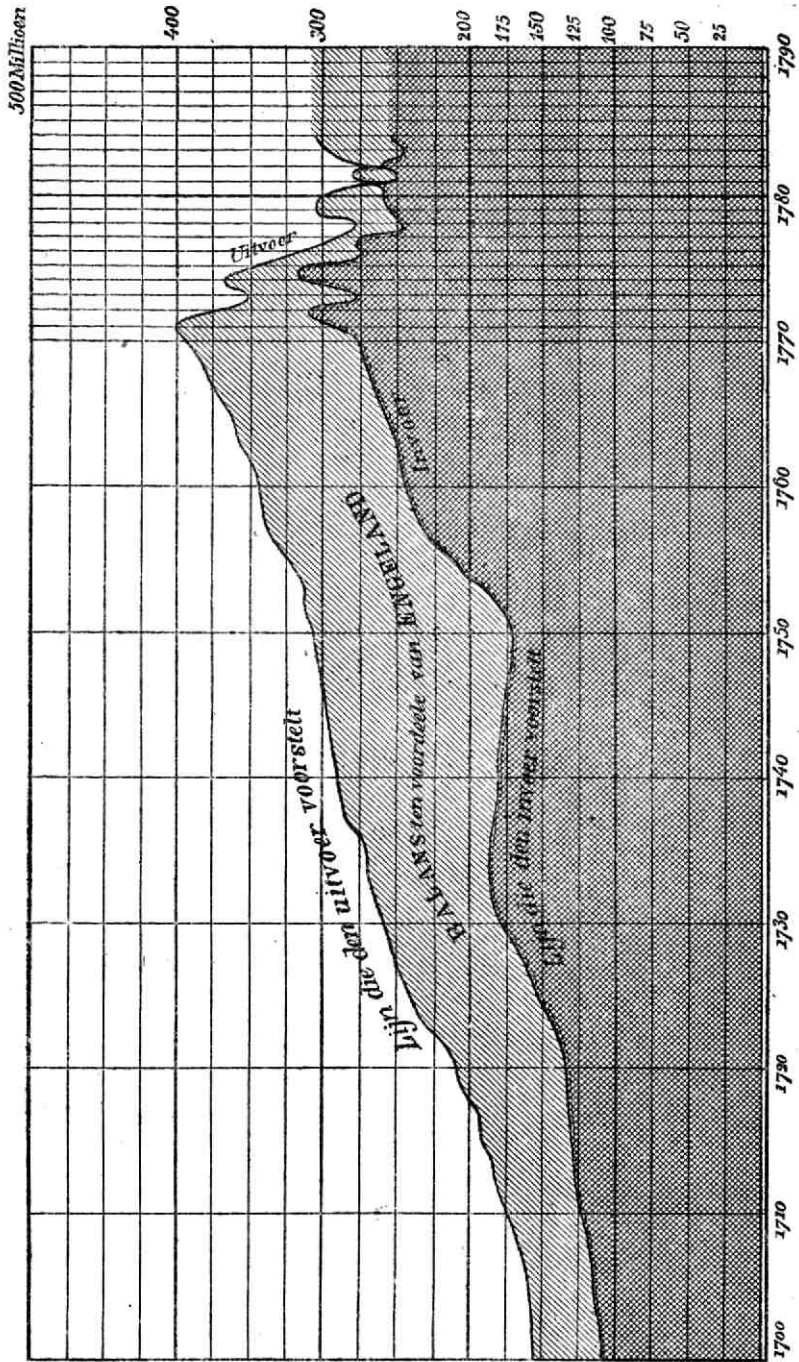


Fig. 13. „Balans van den handel van Engeland, naar PLAYFAIR.

Naast deze groep van verschijnselen zullen wij een reeks van andere verschijnselen plaatsen, die in figuurlijken zin even goed bewegingen kunnen genoemd worden; zoo kan men bijv. spreken van de beweging in den handel, in de produkten van den landbouw, in de bevolking enz. om daarmede aan te geven welke veranderingen in het tijdsverloop van een dag, van een week of van een jaar in de statistiek van deze verschillende zaken hebben plaats gegrepen.

Reeds hebben wij een enkel voorbeeld van deze soort van grafische voorstellingen ontmoet in de figuur van PLAYFAIR betreffende de veranderingen in de Engelsche staatsschuld (zie fig. 5); dezelfde schrijver heeft ook in lijnen de veranderingen uitgedrukt van den in- en uitvoer van Engeland gedurende het tijdsverloop van 1700 tot 1790. Fig. 13 stelt deze teekening voor; de tijddeelen zijn op de x-as in tientallen van jaren afgezet tot het jaar 1770; daar van dat tijdstip af de handelsbewegingen aan veel snellere afwisselingen onderhevig waren, heeft men vervolgens de deelen per jaar afgemeten om daardoor de veranderingen beter te kunnen nagaan.

De invoer wordt door de onderste, de uitvoer door de bovenste lijn voorgesteld; de buigingen, die wij in beide lijnen opmerken, wijzen aan dat het totaalbedrag van den in- en uitvoer elk jaar verschillend is geweest.

Wij zien dat voor beide lijnen bij elk jaar een ordinaat van verschillende hoogte behoort. Om de vergelijking van PLAYFAIR te gebruiken: het is alsof hier geldstapels van verschillende hoogten *naast* elkaar zijn geplaatst. Vergelijkt men deze figuur met n<sup>o</sup>. 5, waarin de toename der Engelsche staatsschuld is voorgesteld, dan zou men deze kunnen beschouwen als te zijn opgebouwd uit geldstapels die niet naast, maar *boven* elkaar zijn geplaatst.

In Fig. 13 zien wij terstond hoeveel in elk punt (dus op elk tijdstip) de uitvoer den invoer overtreft; dit verschil wordt namelijk door het verschil der ordinaten van twee punten, die bij eenzelfde abscis behooren, voorgesteld; het totaal van den invoer wordt door den vlakke-inhoud van het deel der figuur, begrensd door de onderste lijn en de x-as, dat van den uitvoer door den inhoud der figuur voorgesteld, die tusschen de bovenste lijn en de x-as is begrepen; de eerste oppervlakte heeft PLAYFAIR

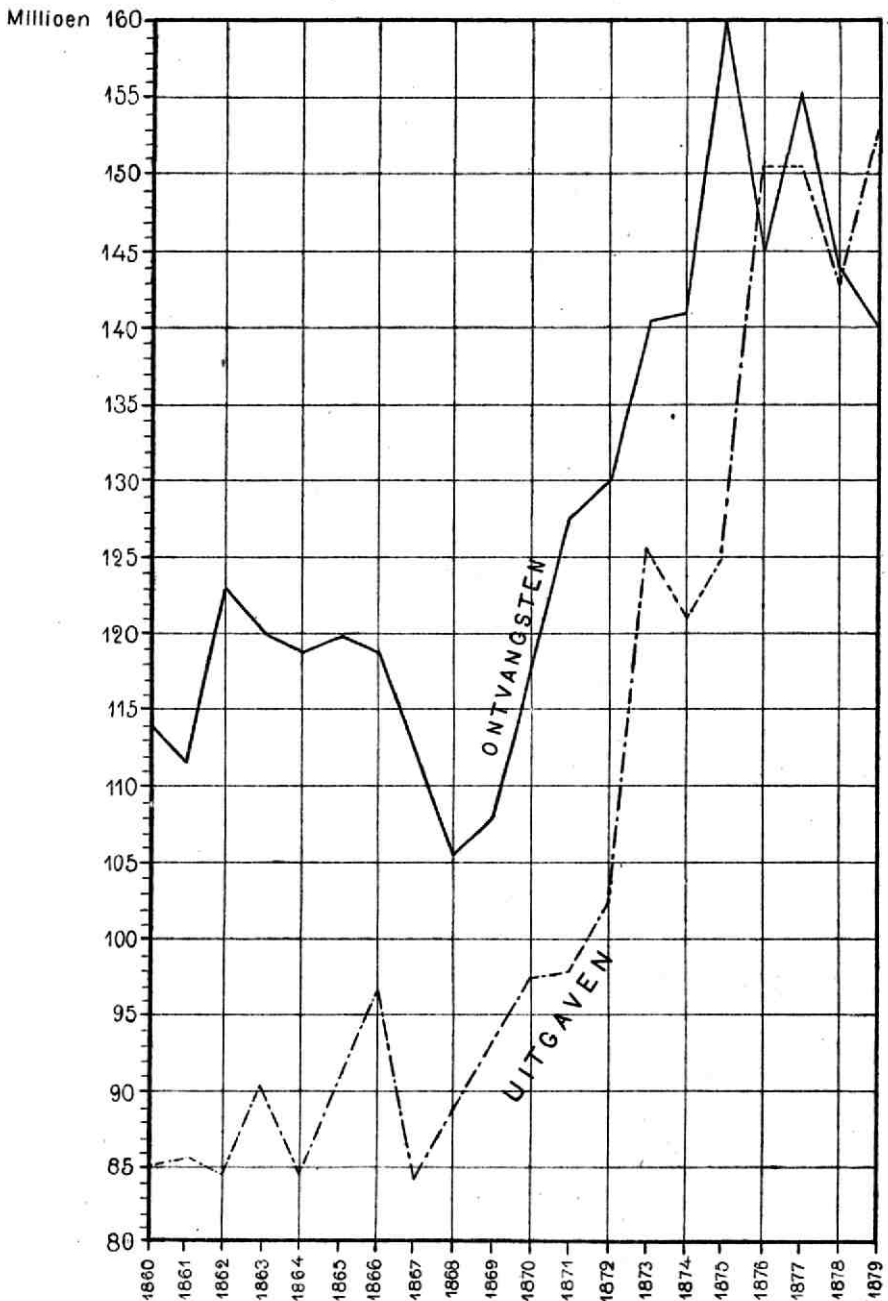


Fig. 14. Grafische voorstelling van het totaal der ontvangsten en uitgaven in Nederland en Ned.-Indië van het jaar 1860—1879. 1)

1) \* Deze figuur is ontworpen naar de opgaven van de *Bescheiden betreffende de geldmiddelen* uitgegeven door het Departement van Financiën. \*

voorzien van schuine arceeringen, loopende van de linker- naar de rechterzijde, de oppervlakte van den uitvoer van arceeringen in tegengestelden zin. Voor zoover beide oppervlakken elkaar bedekken krijgt men dus een gedeelte met dubbele arceeringen; dit gedeelte geeft dus de gelijke sommen aan die zijn ontvangen en uitgegeven en die elkaar dus neutraliseeren. Voor zoover de vlakke-inhoud van den uitvoer dien van den invoer overtreft krijgt men een strook met enkele arceeringen, die door PLAYFAIR de balans ten voordeele van Engeland wordt genoemd. Waar zich echter de arceeringen in die strook in tegengestelden zin vertoonen, zooals voor het jaar 1781—1782, ontwaart men een nadeelige balans.

\* In navolging van deze figuur geven wij in fig. 14 een grafische voorstelling van het totaal der ontvangsten en uitgaven in Nederland en Ned.-Indië van het jaar 1860 tot 1879. Na de verklaring van de voorgaande figuur zal deze wel geen verdere uitlegging behoeven; de deelen op de ordinaten-as geven de sommen in millioentallen aan; het verschil der ordinaten van twee punten der beide lijnen, die tot eenzelfde abscis behooren, geeft weer het saldo voor dit jaar. De arceeringen zijn hier weggelaten; daarentegen zijn de lijnen, die de ontvangsten en uitgaven voorstellen, duidelijk van elkaar te onderscheiden. Een dergelijke figuur geeft ons direkt een juist beeld van den toestand onzer geldmiddelen gedurende een tijdsverloop van twintig jaar. Wij bespeuren hier steeds een voordeelig saldo tot het jaar 1867 toe; in dit jaar verheft zich de lijn der uitgaven boven die der ontvangsten en wij ontwaren een nadeelig saldo van ruim 5 millioen; deze ongunstige toestand herhaalt zich in 1879 in nog sterker mate. \*

Het heeft vrij lang geduurd eer de handelwijze van PLAYFAIR meer algemeen navolging vond; in het begin van onze eeuw werden door FRISSARD, een Fransch bouwkundig ingenieur, eenige figuren ontworpen, die de veranderingen in den koers der Fransche staatspapieren en ook van de renten voorstelden. Zijn teekening beslaat 3 groote bladen en loopt over het tijdvak van 1789 tot 1807; in fig. 15 is een gedeelte van deze teekening op zeer verkleinde schaal voorgesteld.

\* Het kwam ons belangrijk voor ook nog een grafische voorstelling te geven van de rijzing en daling in koers van enkele



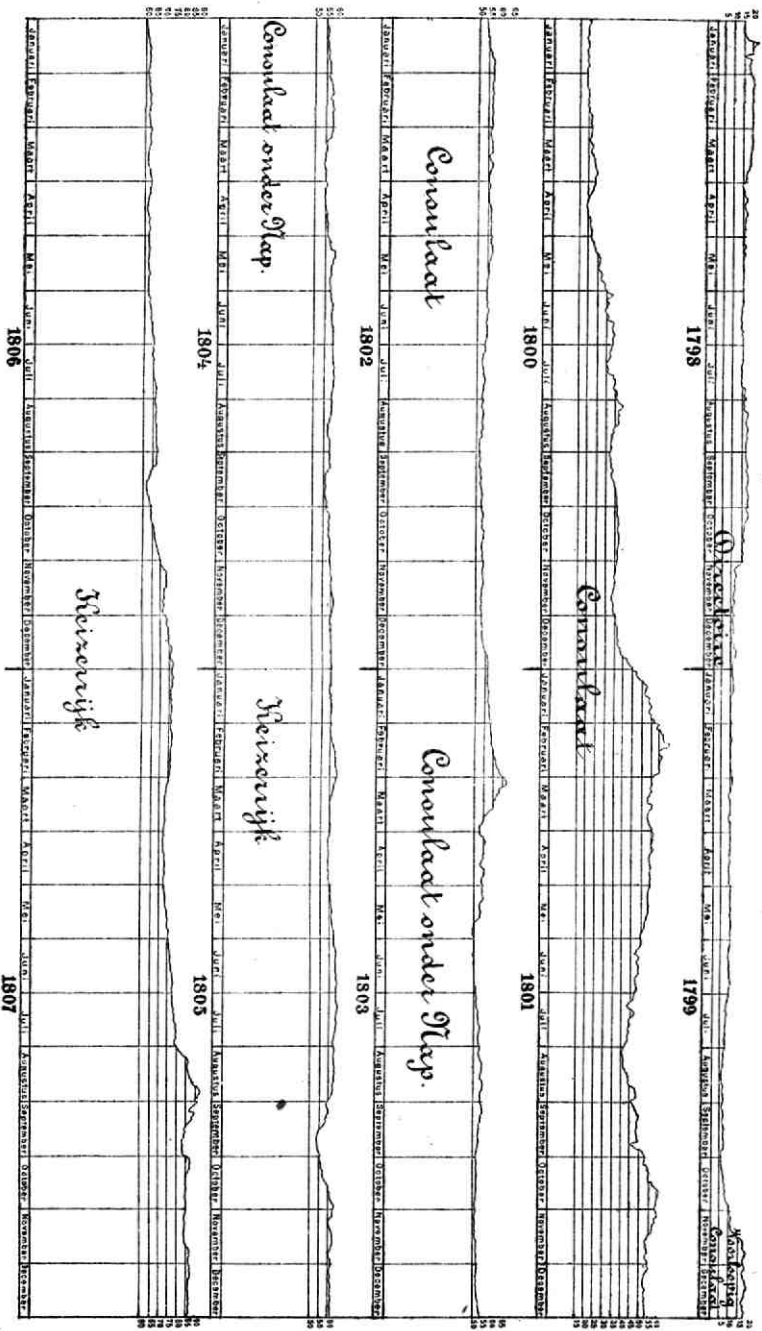


Fig. 15. Veranderingen in de Fransche renten, naar Frissard.

effekten 1) (zie de figuren 16 en 17). De getrokken lijnen stellen den hoogsten koers (H K), de gestippelde lijnen den laagsten koers

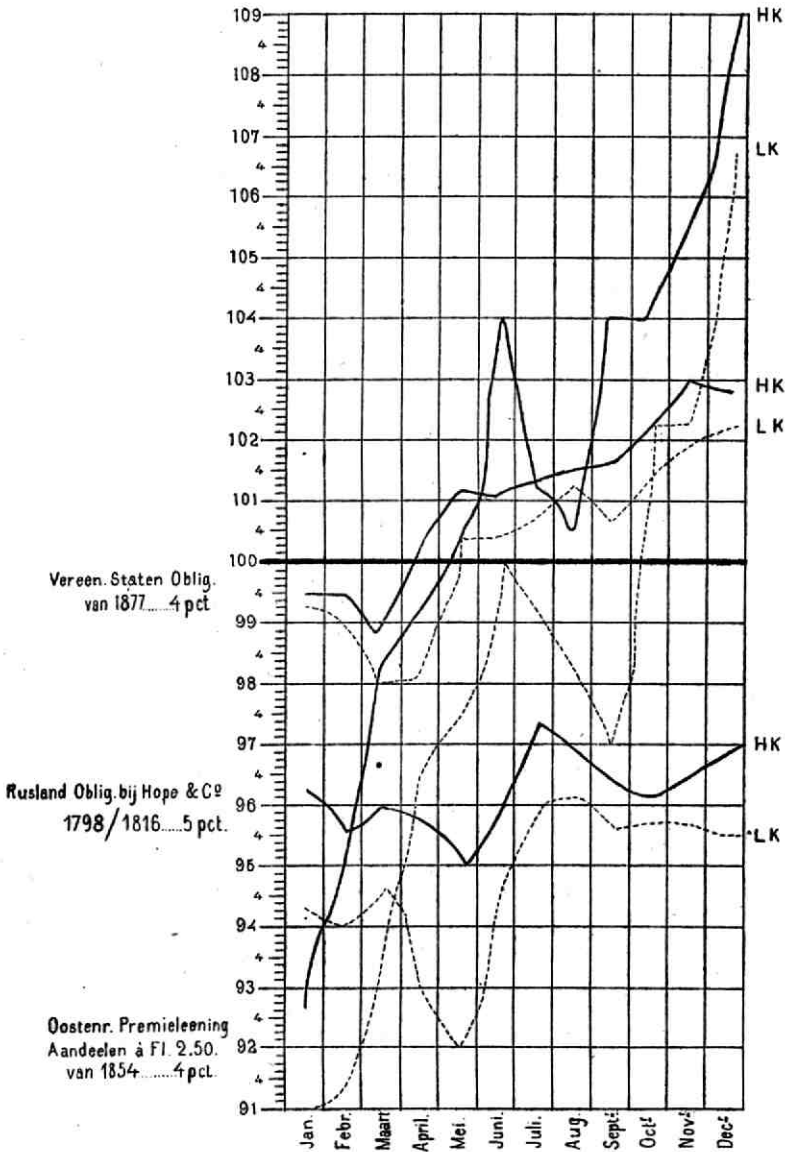


Fig. 16. Grafische voorstelling van de rijzing en daling in koers van eenige effekten.

1) \* De figuren zijn outworpen naar het Verslag van de Kamer van Koophandel. \*

(L K) voor van de in de figuren genoemde effecten voor de opvolgende maanden van het jaar 1879; de gemiddelde koers is hieruit gemakkelijk te vinden; men behoeft dan slechts de som van de ordinaten te nemen van twee punten, die een zelfde abscis hebben, en deze som door 2 te deelen. De verschillende waarden van den koers zijn op de ordinaten-as afgezet met gelijke opklimming van  $\frac{1}{2}$ ; om den stand boven en beneden pari duidelijk te doen uitkomen is in fig. 16 de lijn bij de verdeling 100 iets dikker getrokken. Deze figuren geven een snel en duidelijk overzicht van den stand der effecten gedurende een geheel jaar; gaan wij bijv. in fig. 16 de Oostenr. Premieleening (Aand. à Fl. 250 van 1854.... 4 pct.) na, dan zien wij dat terwijl in Januari 1879 de hoogste koers  $92\frac{3}{4}$  is, deze in Mei van hetzelfde jaar pari staat om zelfs in December 109 te bereiken, na in Juni tot  $104\frac{1}{2}$  gestegen en in Augustus weer tot  $100\frac{1}{2}$  gedaald te zijn. De beweging van dit effect vormt dus een merkbaar contrast met die van de beide andere in deze figuur voorgestelde effecten. De snijpunten der lijnen doen ons verder direkt het tijdstip kennen waarop voor twee effecten bijv. de hoogste of laagste koers gelijk was; waar een getrokken lijn een der gestippelde lijnen snijdt, worden wij op het oogenblik opmerkzaam gemaakt waarop de hoogste koers van het eene effect juist den laagsten stand van het andere uitdrukt.

Wij meenen dat een dergelijk grafisch overzicht van den loop der effectenkoersen door geen andere wijze van voorstelling in klaarheid en gemakkelijke overtroffen wordt; indien zulke figuren nu bovendien voorzien worden van enkele korte bijschrijvingen, zooals in fig. 5, die de voornaamste gebeurtenissen vermelden welke op den stand der fondsen invloed uitoefenen, dan zullen deze grafische voorstellingen in den effectenhandel, alsmede voor allen, die bij den stand der effecten belang hebben, van het grootste gewicht kunnen zijn.

Het is wel bijna onnoodig te zeggen dat het aantal toepassingen der grafische methode op het gebied der statistiek onbegrensd is. Reeds PLAYFAIR bespreekt het groote nut en de voordeelen der grafische statistiek; de grafische figuur is ongetwijfeld de meest aantrekkelijke en meest beknopte wijze om de uitkomsten der statistische onderzoekingen mede te deelen; wanneer zij met zorg is ontworpen bezit zij al de voordeelen eener getallenopgave die

voor zoo menig een afschrikwekkend en niet sprekend genoeg is; zij blijft lang en duidelijk in het geheugen; zij bezit in één woord een tal van voordeelen zoowel voor den wetenschappelijken onderzoeker zelf als voor allen die in de uitkomsten van de onderzoekingen belang stellen. \* 1)

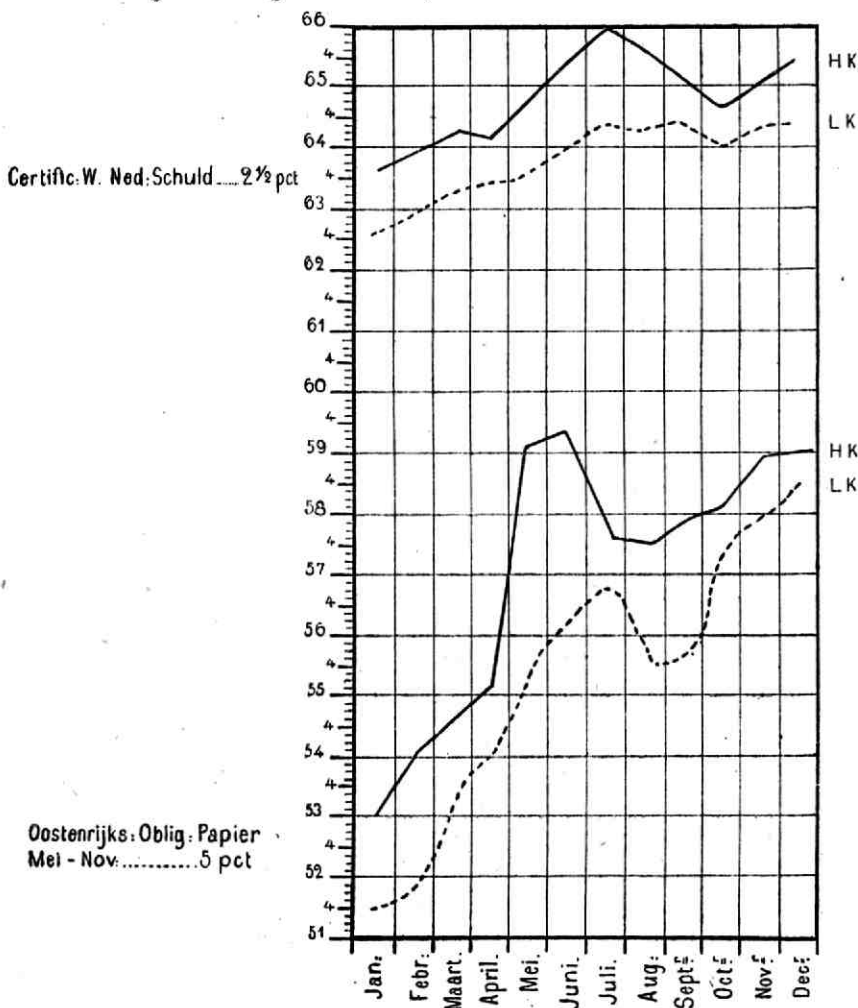


Fig. 17. Grafische voorstelling van de rijzing en daling in koers van enkele effecten.

1) \* De groote voordeelen der grafische statistiek zijn meer uitvoerig besproken in een stuk: *Het belang van de grafische methode voor de statistiek* voorkomende in het Mengelwerk van het Staatkundig en Staathuishoudkundig Jaarboekje voor 1881 nitgegeven door de Vereeniging voor de Statistiek in Nederland. \*

In het buitenland is dan ook de grafische statistiek zeer veel in gebruik. Hongarije geeft de statistische opgaven van al zijn voortbrengselen in den vorm van grafische figuren 1); ook in Amerika wordt deze methode algemeen aangewend. In verschillende landen neemt de regeering haar toevlucht tot grafische voorstellingen als zij klaarheid wil brengen in den finantiëelen toestand. Wil men den loop der ontwikkeling van eene of andere onderneming goed volgen, dan kan men niet beter doen dan een lijn te ontwerpen, die de phasen van deze ontwikkeling voorstelt. Zoo is in fig. 18 de toename van het gebruik van stoommachines in Frankrijk gedurende het tijdperk 1840—1869 voorgesteld; deze figuur is ontleend aan het werk van Reclus: *Nouvelle Géographie universelle*.

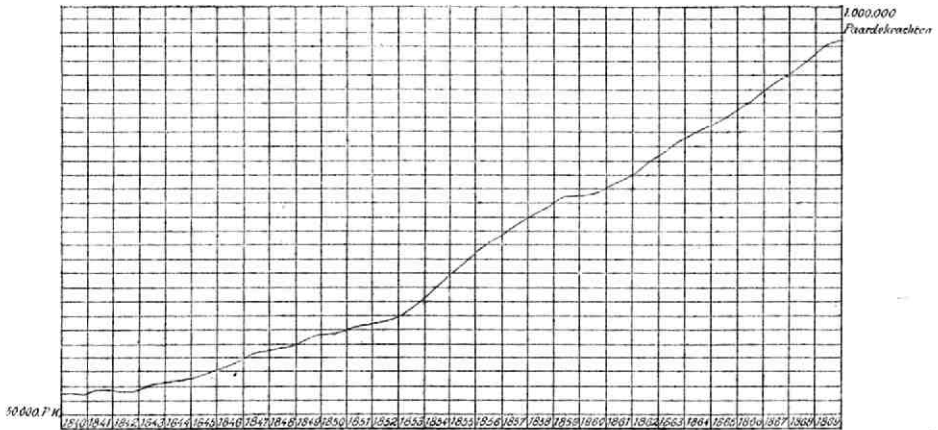


Fig. 18. Lijn die de toename van het gebruik van stoommachines in Frankrijk van 1840—1869 voorstelt (het bedrag der in gebruik zijnde machines is uitgedrukt in *paardekrachten* op de ordinaten-as).

Deze snelle verandering van het gebruik van stoomwerktuigen geeft ten naastenbij de maatstaf aan voor de ontwikkeling der industrie gedurende een tijdsverloop van 30 jaar. Ook in administratieve zaken kan de grafische methode van veel dienst zijn; zoo vindt men in Italië op elk telegraafbureau een tekening, die

1) „Grafische Tabellen zu dem Werke: *Beiträge zur Geschichte der Preise ungarischer Landesproducte*. Herausgegeben von der Budapester Handels- und Gewerbekammer.

de geheele ontwikkelingsgeschiedenis der Italiaansche telegrafie duidelijk en beknopt voorstelt: de lengten der telegraaflijnen, de vertakkingen der draden, het aantal der beambten, der toestellen, der algemeene en bijzondere berichten, de werkelijke opbrengsten en de gewone uitgaven der lijn, enz., alles vervolgd en bijgehouden van jaar tot jaar over het tijdperk 1861—1875.

\*Wij laten hier nog eenige belangrijke figuren volgen waardoor de lezer verder in kennis gesteld wordt met eenige merkwaardige opgaven betreffende de statistiek van Nederland. Al deze figuren zijn volgens hetzelfde beginsel ontworpen; de tijddeelen zijn steeds op de x-as (horizontale as) afgemeten; na al het voorgaande vereischen zij geen van allen eenige bijzondere opheldering. Fig. 19 geeft ons een overzicht van de toename der bevolking in Nederland gedurende het tijdperk 1830—1880; zij is ontworpen naar de officiële opgaven waarin de uitkomsten der volkstellingen zijn vermeld. De lijnen geven de toename der bevolking van elke provincie aan: de getallen bij de deelpunten der ordinaten-as geven het bedrag der bevolking in duizendtallen aan. Om de snelheid te vinden waarmee de bevolking eener provincie in een zeker tijdsverloop is toegenomen, zou men volgens de opmerking op pag. 39 de lijn der snelheden voor elke provincie afzonderlijk moeten construeren. De volgorde der provinciën naar de grootte der bevolking is sedert 1830 blijikbaar veranderd; Limburg in 1830 boven Overijsel en Groningen staande, staat nu daar beneden. Uit het punt waar twee lijnen elkaar snijden kan men terstond het tijdstip vinden waarop twee provinciën even sterk bevolkt waren. Neemt men voor al de lijnen de som der ordinaten van de verschillende punten, die tot een zelfde abscis behooren, dan vindt men de bevolking van het geheele rijk voor dat tijdstip.

Wij gelooven dat dergelijke afbeeldingen o. a. in leerboeken en werken der geografie niet meer mogen ontbreken; na een oplettende beschouwing van deze soort van figuren, waarin werkelijk veel te lezen valt, blijft het beeld ons lang in het geheugen; men behoeft zich hierbij niet zoo te kwellen met het van buiten leeren en onthouden van lange getallen, wier verhouding ons toch niet zoo duidelijk voor den geest staat, zoolang zij niet in teekening zijn gebracht.

In figuur 20 is de jaarlijksche productie van beetwortelsuiker

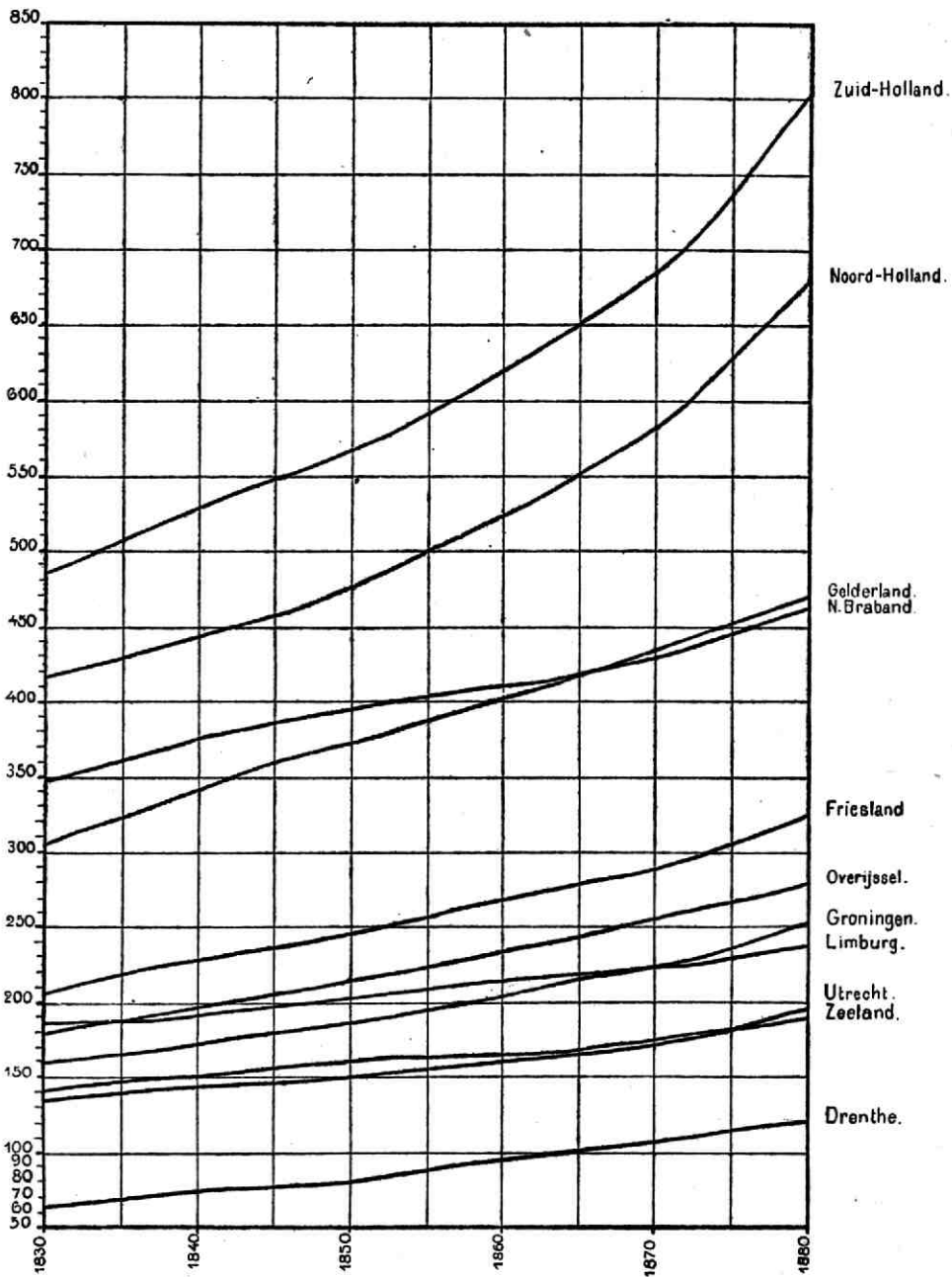


Fig. 19. Grafische voorstelling van de toename der bevolking van de verschillende provinciën van Nederland van 1830—1880.

en het aantal der beetwortelsuikerfabrieken in Nederland van 1864—1879 voorgesteld. De getrokken lijn geeft de suikerproductie, de gestippelde het aantal fabrieken aan; de getallen bij de ordinaten-as geschreven duiden in *éenheden* het aantal fabrieken, in *millioentallen* de hoeveelheden suiker in kilogrammen aan. Zoo is bijv. in het jaar 1872 het aantal fabrieken tot 31, de hoeveelheid suiker tot 21 millioen kilogram gestegen.

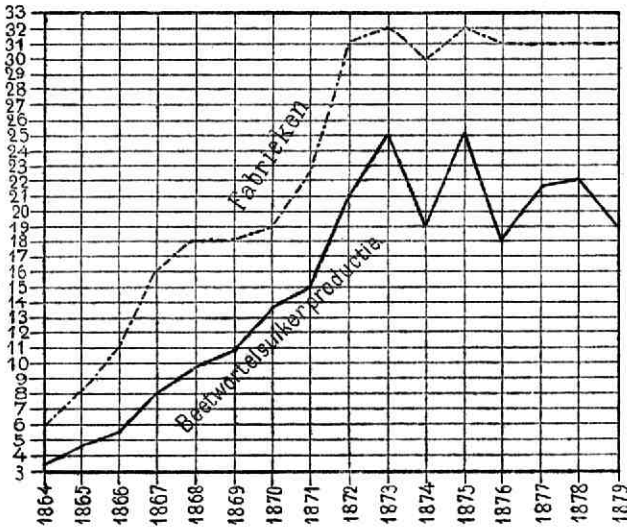


Fig. 20. Lijnen van de Productie van Beetwortelsuiker en van het aantal der beetwortelsuikerfabrieken in Nederland van 1864—1879.

(De getallen bij de ordinaten-as geven in *éenheden* het aantal fabrieken, in *millioentallen* de kilogrammen suiker aan).

De volgende figuur (fig. 21) geeft ons een overzicht van de hoogste en laagste prijzen van het rundvleesch per kilo te Amsterdam van 1863—1879; deze figuur is naar zeer betrouwbare opgaven, gedeeltelijk naar de opgaven der Provinciale verslagen van Noord-Holland ontworpen. De prijzen per kilo, in centen uitgedrukt, zijn op de ordinaten-as aangegeven.

Naar de opgaven van de onderwijsstatistiek is fig. 22 ontworpen. Zij geeft het gemiddeld aantal leerlingen der lagere scholen (zoowel openbare als bijzondere) op één onderwijzer aan, gedurende het tijdperk 1868—1878. Het gemiddeld aantal wordt door de



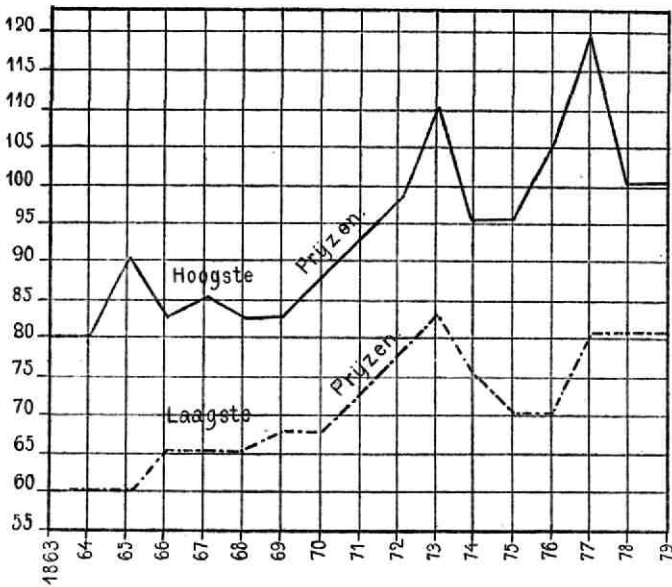


Fig. 21. Lijnen van de hoogste en laagste prijzen van het rundvleesch per kilo te Amsterdam van 1863--1879 (de getallen bij de ordinaten-as drukken in centen den prijs per kilo uit).

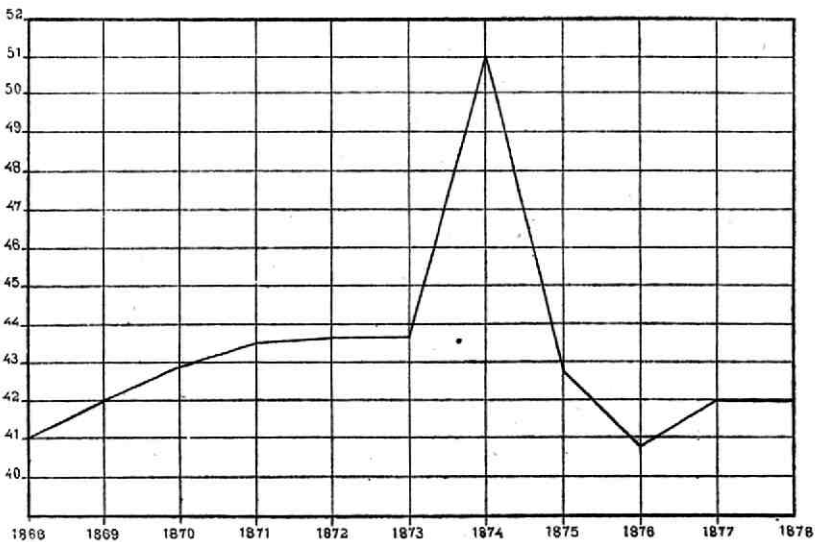


Fig. 22. Grafische figuur van het gemiddeld aantal leerlingen der lagere scholen op één onderwijzer (de kweekelingen zijn onder de onderwijzers meegerekend) in Nederland van 1868—1878.

getallen bij de ordinaten-as aangeduid; hoe meer de lijn hier stijgt, des te ongunstiger is de verhouding; elke daling van de lijn

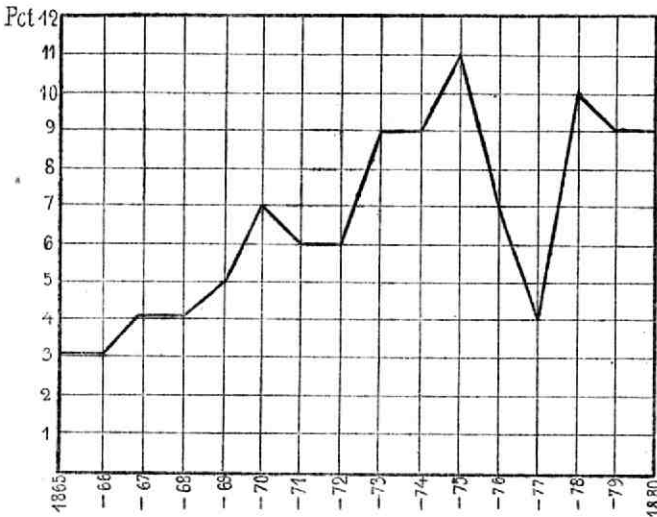


Fig. 23. Percentsgewijze verhouding van de recidivisten tot de veroordeelden bij de *Arrondissements-rechtbanken* in Nederland van 1865—1880.

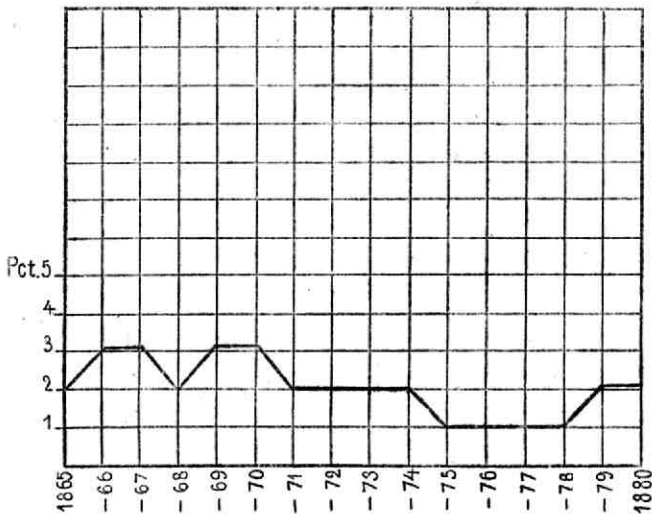


Fig. 24. Percentsgewijze verhouding van de recidivisten tot de veroordeelden bij de *Kantongerechten* in Nederland van 1865—1880.

daarentegen wijst op een vooruitgang in den toestand van het onderwijs; de figuur zegt ons echter duidelijk dat de toestand nog

op den duur ver van gunstig is te noemen, vooral als men in aanmerking neemt dat hier onder de onderwijzers ook de kweekelingen zijn meegerekend.

De figuren 23, 24 en 25 zijn ontworpen naar de opgaven der *Gerechtelijke Statistiek van het Koninkrijk der Nederlanden*.

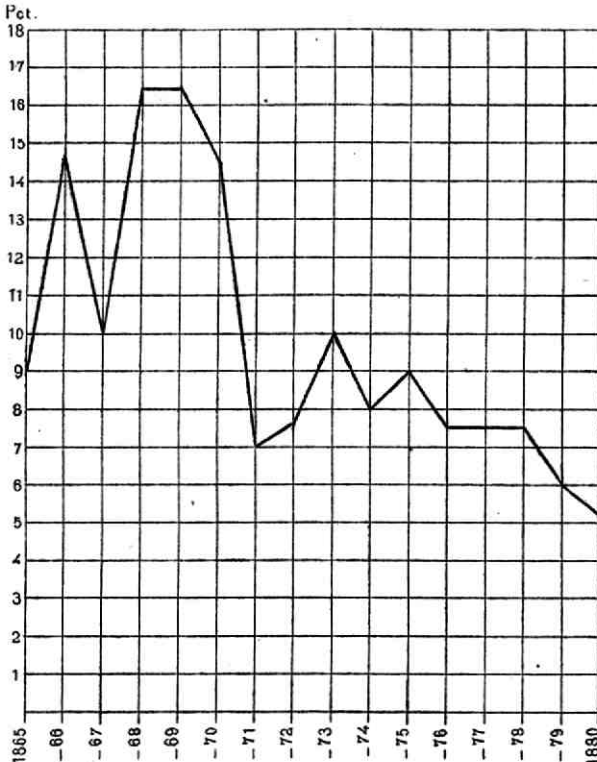


Fig. 25. Percentsgewijze verhouding van de recidivisten tot de veroordeelden bij de *Provinciale Gerechtshoven* in Nederland van 1865—1880.

Wij krijgen door deze figuren een overzicht gedurende een vijftiental jaren over het aantal van diegenen welke voor herhaling van misdrijf zijn veroordeeld. De getallen bij de ordinaten-as in deze figuren geplaatst geven het aantal recidivisten percentsgewijze aan.\*

#### **Grafische Statistiek der sterfte.**

De grootte der sterfte, vooral die, welke het gevolg is van een of andere epidemische ziekte, wordt veelal in grafische lijnen uitgedrukt, waardoor men een sprekend en duidelijk overzicht ver-

krijgt over den loop eener epidemie. Zoo ontwierp in 1833 FARBÉ een lijn, die de sterfte voorstelt tengevolge van de cholera die in 1832 heeft geheerscht (zie fig. 26). Het snel toenemen, het verminderen, het weer toenemen en eindelijk merkbaar verminderen en langzamerhand verdwijnen van de epidemie kan men in zulk een lijn van dag tot dag nauwkeurig volgen, zonder dat het noodig is met een enkel woord verdere bijzonderheden daarbij te vermelden. Door den geheelen vlakke-inhoud der figuur te meten verkrijgt men de totale sterfte.

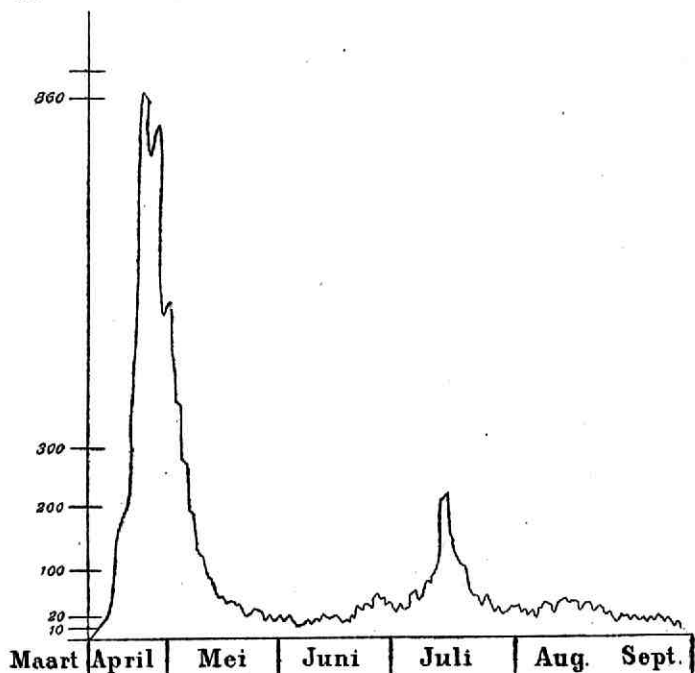


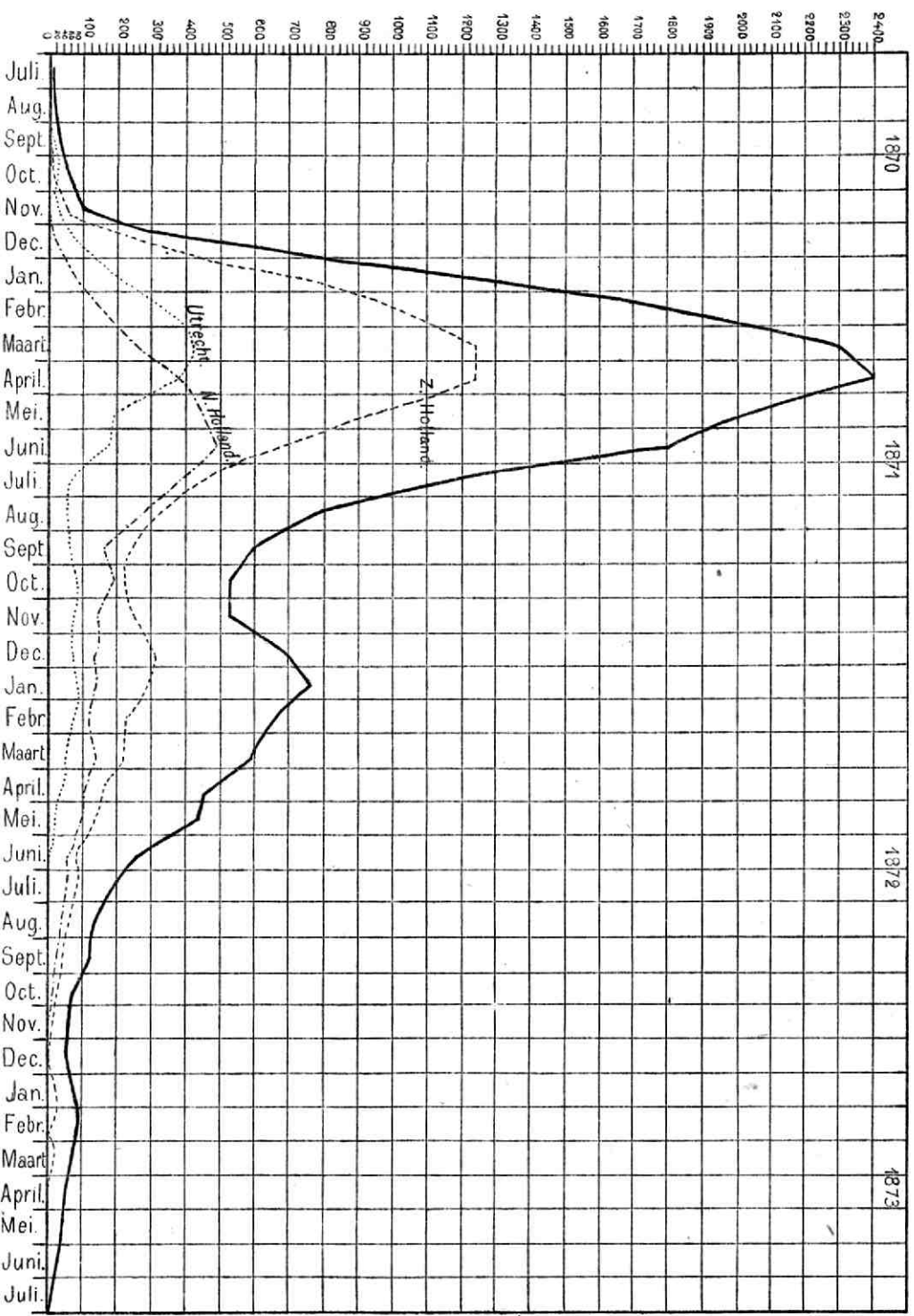
Fig. 26. Statistiek van de cholera in 1832.

\*In fig. 27 geven wij nog een grafische voorstelling van de sterfte in Nederland tengevolge der pokkenepidemie, die in de jaren 1870—73 ons land teisterde. 1)

1) \* Deze figuur is gekopieerd naar een grootere teekening, die indertijd door Dr. CARSTEN, Adjunct-Inspecteur van het Geneeskundig Staatstoezicht in Zuid-Holland, werd ontworpen en ter overname voor dit werk werd afgestaan.

In de oorspronkelijke figuur was de sterfte voor elke provincie bovendien door lijnen van verschillende kleur voorgesteld; in dit verkleind formaat zijn echter slechts drie van die lijnen, om onduidelijkheid te vermijden, overgenomen. \*

Fig. 27. Gruische voorstelling van de sterfte tengevolge der pokkenepidemie in Nederland van Juli 1870 tot Juli 1873. De getallen zijn voor het gehele rijk, de andere lijnen zijn respectievelijk ordinstaten-as duiden het aantal overledenen aan. De getrokken lijn is voor het gehele rijk, de andere lijnen zijn respectievelijk



VERKLARING:

Het Rijk.

Z-Holland.

N-Holland.

Utrecht.

De lijn geeft nauwkeurig aan het aantal slachtoffers van deze ziekte gedurende elke maand. Zoo stierven in ons land in de maand April van het jaar 1871 alleen aan de pokken 2400 personen; de provinciën, waar de sterfte het grootst was, zijn Zuid-Holland, Noord-Holland en Utrecht; wij hebben daarom ook de lijnen die het bedrag der sterfte in deze verschillende provinciën aanduiden, in deze figuur opgenomen. — Laat men deze grafische statistiek der pokkenepidemiën gepaard gaan met lijnen die een overzicht geven over het aantal gevaccineerden in een zeker tijdsverloop, dan worden deze figuren vooral hoogst belangrijk. Hoeveel sterker spreekt niet een dergelijke lijn tot ons dan de eenvoudige statistische opgave der overledenen in getallen, die ons een enkel oogenblik met schrik kunnen vervullen, maar wier verhouding en ware beteekenis ons eerst duidelijk en onvergetelijk door een grafisch beeld worden voorgesteld!\*

### **Meteorologische lijnen.**

Bij de meteorologische waarnemingen wordt voortdurend aantekening gehouden van den thermometer- en barometerstand, van de hoeveelheid regen, van de richting en sterkte van den wind enz.; alleen door het gebruik van lijnen is het mogelijk alle storingen en veranderingen in den dampkring gemakkelijk te volgen en met elkaar te vergelijken. Daar echter de meesten van die lijnen door eigenaardige toestellen zelf worden opgeteekend, zullen wij ze in een later gedeelte van dit werk meer uitvoerig beschouwen.

Wij zullen voorloopig maar een enkel voorbeeld geven van meteorologische lijnen waaruit duidelijk kan blijken hoe men alleen door de aanwending van grafische lijnen en door hare onderlinge vergelijking in staat wordt gesteld om de betrekkingen, die tusschen Kosmische verschijnselen bestaan, goed in 't oog te doen vallen.

Voor ongeveer vijftig jaren vond HEINRICH SCHWABE te *Dessau*, na een langdurige en regelmatige waarneming der zonnevlekken, dat het aantal van deze vlekken van jaar tot jaar afwisselde en om een bepaalden tijd een maximum en een minimum bereikte. Die getallen nemen namelijk gedurende vijf achtereenvolgende jaren regel-

matig toe, om dan weer gedurende vijf achtereenvolgende jaren regelmatig af te nemen. Uit de onderzoekingen van den Hoogleeraar WOLFF te ZÜRICH bleek verder dat het gemiddeld bedrag van het tijdperk, waarin de afwisselingen der zonnevlekken plaats hebben, op ongeveer elf jaar moest worden gesteld. Nu werd door LAMONT en SABINE een dergelijke elfjarige periode in de storingen van de aardmagneetkracht en wel bijzonder in de declinatie van de magneetnaald opgemerkt, terwijl eindelijk de waarnemingen betreffende den meerder of minder regelmatigen terugkeer van het noorderlicht eveneens tot een elfjarige periode deden besluiten. Het samentreffen van de veranderingen die in de zonnevlekken, de magnetische declinatie en het noorderlicht in een gelijk tijdsverloop ongeveer gelijktijdig plaats grijpen, leidde tot de zeer gegronde onderstelling dat tusschen deze verschijnselen een nauwe betrekking moest bestaan. LOOMIS kwam op het denkbeeld deze betrekking door grafische lijnen, ontworpen naar tabellen en catalogussen die van verschillende waarnemers afkomstig waren, voor te stellen. In fig. 28 zijn deze grafische lijnen voorgesteld.

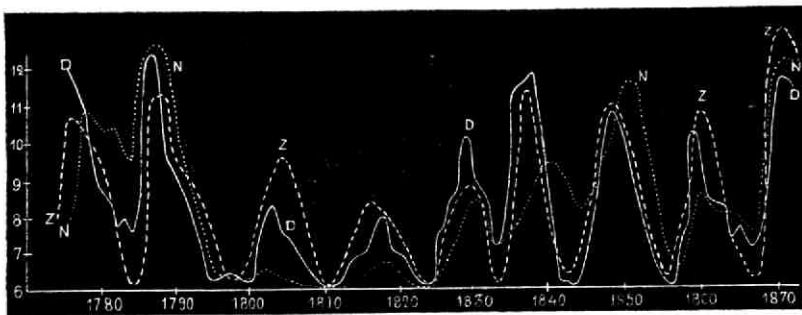


Fig. 28. Grafische voorstelling van de betrekking die tusschen de periodieke veranderingen van de zonnevlekken (lijn Z), van het noorderlicht (lijn N) en van de magnetische declinatie (lijn D) bestaan.

Niet lang geleden is van BALFOUR STEWART een nieuwe verhandeling over dit onderwerp verschenen 1); hij behandelt daarin de voornaamste hypothesen volgens welke het samentreffen van deze verschijnselen zou zijn te verklaren. Hoogst waarschijnlijk

1) Zie *La Nature*, pag. 107, 140 en 163.

zullen in de sterrekunde en in de meteorologie nog zeer belangrijke ontdekkingen op dit gebied worden gedaan; wij bevestigen hier alleen dat het nieuwe veld, dat hiermede ter bearbeiding voor de wetenschap is opengesteld, hoofdzakelijk is aangewezen door de grafische methode, die alleen in staat is een helder licht te werpen op dergelijke zonderlinge betrekkingen.

Telkens wanneer zich veranderingen in een verschijnsel vertoonen, is het belangrijk de lijn van die veranderingen te ontwerpen, om daardoor te weten te komen of deze bij hare herhaling ook onderworpen zijn aan een of andere nog onbekende wet. Zoo kunnen de geneesheeren met veel voordeel partij trekken van de grafische methode, zooals wij zullen zien, om het verloop van een ziekte voor te stellen, d. w. z. om de opvolging en het verband tusschen de veranderingen van pols, ademhaling, temperatuur enz. gedurende de verschillende fasen van een ziekte nauwkeurig na te gaan.

#### **Het gebruik van grafische lijnen in de geneeskunde.**

In de geneeskunde kan men de geschreven rapporten over het verloop en de behandeling van ziekten in enkele gevallen door grafische lijnen doen vervangen; in elk geval kunnen die lijnen dienen om het rapport verder aan te vullen en het overzicht gemakkelijker te maken. In de hospitalen zijn namelijk altijd staten voorhanden, volgens een bepaald model ingericht, die door den geneesheer of door de studenten, aldaar werkzaam, met zorg van dag tot dag worden ingevuld. De frequentie van den pols, de temperatuur van den zieke, uitwaseming en ontlasting, geneesmiddelen, dranken, alles moet met de uiterste zorgvuldigheid worden opgeteekend om zodoende de noodige bouwstoffen te leveren voor de geneeskundige statistiek. Op deze wijze krijgt men stapels van staten die met zorg worden geklassificeerd en waar-  
meê men geheele kamers kan opvullen. Maar hoeveel van die stukken zien het licht en worden met vrucht geraadpleegd?

Vooraf was het LORAIN, dien wij reeds vroeger noemden, die het denkbeeld, om die staten te doen vergezellen of vervangen door de grafische figuur van het ziekte-proces, met ijver en vuur ondersteunde; in die grafische figuren moeten dan de frequentie van



den pols, de temperatuur, het lichaamsgewicht van den zieke, soms het gewicht der urine enz. met de voorkomende veranderingen nauwkeurig zijn aangegeven. Eenige woorden, ter opheldering bij een of andere zonderlinge buiging van de lijn geplaatst, verklaren dan daarvan de oorzaak en zoo krijgt men uit dit geheel een beeld van de ziekte, waardoor haar verloop klaar en juist wordt voorgesteld. 1)

1) In een nog onuitgegeven nagelaten werk zegt Lorain het volgende over de gewichtige rol, die de grafische lijnen in de geneeskunde spelen:

De langwijlige beschrijving van het verloop eener ziekte, in de gewone taal volgens de hedendaagse theorie uitgedrukt, heeft altijd zooveel duisters en onbepaalds dat zij onmogelijk op ééne lijn kan gesteld worden met de zuivere, juiste, meetbare figuur, die zich in den vorm eener lijn als een geheel aan ons vertoont. Bovendien kunnen de elementen van een dergelijke figuur nooit aanleiding geven tot eenigen twijfel of eenig verschil in opvatting: het is 't feit zelf, dat men daar zonder eenigen commentaar voor zich ziet; het zijn de veranderingen van een functie, die ons door een registreerapparaat zijn aangegeven. En wanneer men die verschillende lijnen aanschouwt, die, allen aan een zelfde wet gehoorzamen, evenwijdig loopen, in denzelfden zin stijgen of dalen, of ten opzichte van elkaar een zoodanigen stand innemen dat zij steeds dezelfde figuur vertoonen, geeft ons dan die overeenstemming van feiten niet een veel grootere zekerheid door een aldus uitgeoefende twee-, drie-, viervondige controle? De ervaring toont aan dat een ziekte, gedurende haar verloop, een nagenoeg constante figuur oplevert en dat de aard der ziekteverschijnselen zich direkt door den vorm der lijn verraad, zoodat men, wanneer een groot aantal lijnen, geheel toevallig samengenomen, met elkaar vergeleken worden, onmiddellijk ziet dat deze in bepaalde groepen kunnen verdeeld worden; die groepen zijn nu juist de verzamelingen van bijzondere waarnemingen die op eenzelfde ziekte betrekking hebben. In al die bijzondere waarnemingen is dan een algemeene vorm te herkennen; eindelijk kan men deze weer splitsen in groepen, die overeenkomen met individueele veranderingen. Zoo ontwikkelt zich ten slotte het type, de grondvorm. Welke beschrijving valt nu te vergelijken met dit procesverbaal van een ziekte, dat in een figuur ligt opgesloten? Wel is waar kan men die figuren niet tot zuiver meetkundige figuren terugbrengen, maar het verschil in soort verrad zich zoo duidelijk dat zelfs iemand, die niet bijzonder bedreven is in het vak, bij den eersten oogopslag zegt: dit is een typhoïde-koorts, die andere figuur stelt een longontsteking voor; en om te zien of het verloop der ziekte al of niet normaal is kan men de perioden en den afloop der ziekte daaruit geheel nagaan. Zelfs de behandeling der ziekte laat zich uit de storingen of veranderingen in de lijn opmaken.

Noch een stalen geheugen, noch de meest zorgvuldige aanteeekeningen zijn in staat om de fasen en het verloop van een ziekte of van een of ander verschijnsel met die volmaaktheid terug te geven, zooals door de grafische voorstelling geschiedt. Zij is

Deze figuren worden o. a. ook bij het klinisch onderwijs vaak met de beste resultaten gebruikt. Door BROUARDEL werden volgens deze methode de belangrijke veranderingen aangegeven die het aantal der witte bloedbolletjes gedurende de verschillende fasen der ziekten ondergaat; hij toonde onder anderen aan dat het openen van een absces steeds gepaard gaat met een plotselinge vermindering in de verhouding van deze lichaampjes.

Wij ontleenen aan het werk van LORAIN enkele voorbeelden waaruit genoegzaam kan blijken hoe deze lijnen worden geconstrueerd en hoe deze van enkele kenteekenen der ziekte een levendige voorstelling geven.

Aan de linkerzijde der figuur zijn twee schalen aangebracht, zooals die in de meeste figuren van LORAIN voorkomen en die dienen om de beteekenis der lijnen aan te geven. De kolom P geeft het aantal polsslagen, G de graden van den honderddeeligen thermometer aan. Alleen deze laatste kolom heeft men bij deze figuur te raadplegen, omdat hier alleen temperatuurslijnen zijn

---

als 't ware een methode van onderzoek. Men kan de minste afwijkingen of verplaattingen van de belangrijkste functiën gadeslaan en zien of zij op het gewenschte oogenblik en op de gewone wijze voorkomen, of zij een genoegzamen tijd duren of de gewone maat overschrijden; men kan ook daardoor de werking der geneesmiddelen nagaan, ja zelfs zien of de gewone hoeveelheid is toegediend. Zoo is het ons dikwijls voorgekomen dat wij de temperatuur naar willekeur verlaagden door de werking van digitalis, of dat een aanval van tusschenpoozende koorts werd verminderd of vertraagd door een kleine dosis quinine, of dat zelfs de koorts door een sterkere dosis geheel werd weggenomen.

En niet alleen ligt hier in de aanwending der grafische methode het middel opgesloten om een ziekte te analyseeren, maar ook kunnen wij een ziekte hierdoor in haar geheel voorstellen en deze figuur tot een bekende lijn terugbrengen, die voor alle regelmatige gevallen van dezelfde ziekte steeds aan zich zelf gelijk blijft. Alle normale gevallen van een zelfde ziekte moeten op deze wijze een zelfde type opleveren, en dit blijkt inderdaad waar te zijn, behoudens zeer kleine uitzonderingen. Steeds kan men dan nog wel eenige verscheidenheden in de soort ontdekken, maar die zijn zeer beperkt in aantal; door ondervinding kunnen wij die leeren kennen en wanneer wij eenmaal verzamelingen zullen bezitten waarin alle typen behoorlijk geklassificeerd zijn, zullen wij, als zich een of ander bijzonder geval voordoet, terstond zijn evenbeeld in een van onze typen kunnen terugvinden. Op deze wijze zal men er in slagen om de verschillende vormen der ziekten te leeren bepalen en een degelijken grondslag te leggen voor de nog zoo onzekere prognostiek en therapeutiek. — LORAIN, *de la Température dans les maladies*, door bemiddeling van den geneesheer BROUARDEL in 't licht gegeven.

geteekend. De temperatuur is elken dag op drie verschillende plaatsen van het lichaam opgenomen, des morgens en des avonds, en volgens deze waarnemingen zijn de drie lijnen opgemaakt. De thermometer werd aangebracht in den mond, in den endeldarm en onder den oksel; deze temperaturen worden achtereenvolgens voorgesteld door de lijn die doorgetrokken is, door die welke met streepjes en die met streepjes en punten is voorgesteld.

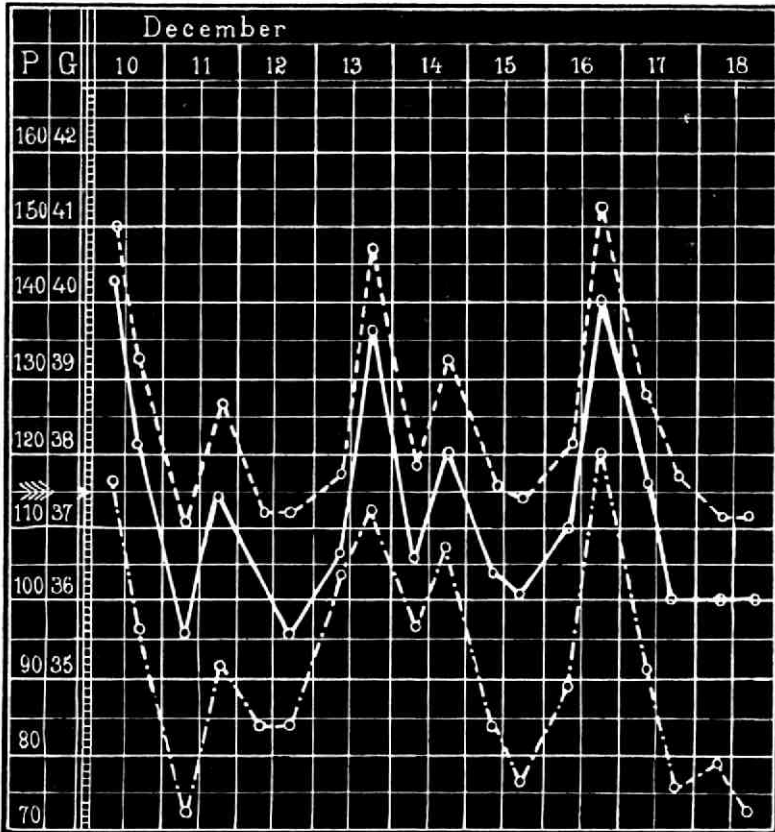


Fig. 29. Temperatuurslijnen bij een derdendaagsche koorts, volgens LORAIN.

Wij merken in deze lijnen evenwijdige krommingen op; bij de aanvallen van koorts heeft men overal stijging van temperatuur, maar niet in dezelfde mate; bij elken aanval van koorts keeren de verschijnselen periodiek terug, totdat tengevolge van de werking van zwavelzure quinine de koorts ophoudt.

Naast dit type plaatsen wij fig. 30, eveneens aan het werk van LORAIN ontleend, waarin de temperatuurslijnen van een anderdaagsche koorts zijn voorgesteld.

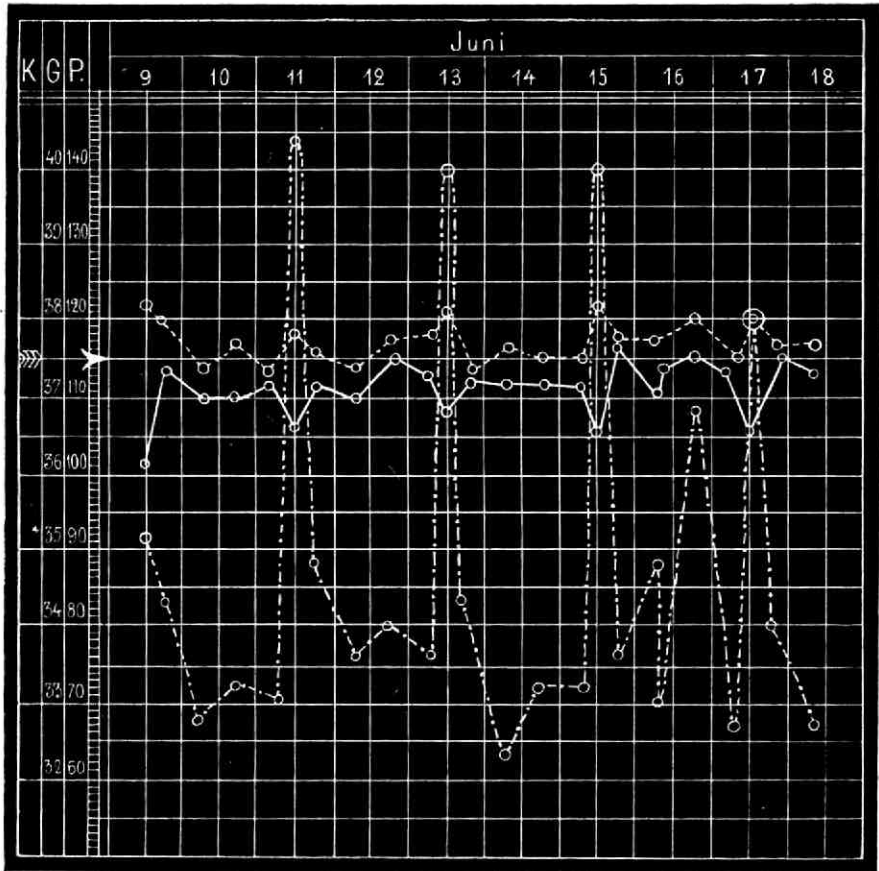


Fig. 30. Lijnen die de temperatuursveranderingen bij een anderdaagsche koorts aangeven, naar LORAIN.

Terwijl in de vorige figuur de drie lijnen in denzelfden zin veranderen, merkt men hier veranderingen in tegengestelden zin op bij de temperatuurslijn van den mond (volle lijn) en die van den oksel en van den endeldarm. Deze tegengestelde veranderingen van de in- en uitwendige temperatuur kunnen tot een verschillend bedrag toenemen; men bestempelt deze verschijnselen met den

naam van algiditeit; dit verschijnsel bereikt zijn maximum bij de cholera waarvan wij later nog eenige voorbeelden zullen geven. Ook in deze figuur openbaart zich, evenals in de vorige de therapeutische werking der quinine zeer duidelijk. Op den 17<sup>den</sup> Juni werd deze toegediend; wij zien terstond de aanvallen van den 11<sup>den</sup>, 13<sup>den</sup> en 15<sup>den</sup> ophouden. 1)

Bij de hier beschouwde lijnen werd de temperatuur slechts tweemaal per dag opgenomen: 's morgens en 's avonds. Voor de verschijnselen die zich op de verschillende uren van den dag voordoen, kunnen dus deze lijnen niet geraadpleegd worden; daarvoor zou het noodig geweest zijn meer waarnemingen te doen en men zou dan natuurlijk niet zulke scherphoekige vormen hebben verkregen, als in deze figuren voorkomen. Toch toonen deze lijnen, hoe onvolmaakt zij dan ook zijn, door den periodieken terugkeer en de veranderingen van temperatuur duidelijk het bestaan van een tusschenpoozende koorts aan en geven ons daarvan een type.

Om meer nauwkeurige figuren te krijgen die op een meer volkomen wijze het type van de voorgestelde ziekte uitdrukken, zou men meer herhaaldelijk waarnemingen moeten doen. De vraag doet zich nu voor of men, bij gebrek aan een groot aantal punten van waarneming, ook een lijn kan construeeren die dichter bij de waarheid komt dan de scherphoekige lijn, getrokken over de enkele punten, die door waarneming zijn bepaald. De geneesheer PROMPT heeft getracht deze vraag te beantwoorden door de *vermoedelijke lijn* van de pols- en temperatuursveranderingen te construeeren, hetgeen gegrond is op de volgende geneeskundige waarneming: in den normalen toestand is zoowel de frequentie van den pols als de lichaamstemperatuur voortdurend aan veranderingen

---

1) LORAIN zegt naar aanleiding van deze figuur:

Deze lijnen zijn outworpen in het hospitaal *St. Antoine te Parijs*. De koorts van dezen zieke (een 19-jarig soldaat) schijnt onregelmatig, het type is echter eerst herkend na het construeeren der temperatuurslijnen. De onzekerheid kwam daaruit voort dat elken dag de aanval van koorts door een geringeren aanval werd voorafgegaan, die als de zwakke nawerking van den voorgaanden is te beschouwen. Wij kunnen deze koorts beschouwen als naderend tot de derdendaagsche, maar zij is niet regelmatig; in vroegeren tijd zou men getracht hebben die twee ongelijke aanvallen met een bijzonderen naam bestempelen. De lijn geeft echter het type ondubbelzinnig aan.

onderhevig; deze veranderingen schijnen nu, ofschoon in sterker mate, zich ook weer bij koortslidders te vertoonen. Om den normalen vorm te bepalen van de lijnen die de frequentie van den pols en de lichaamstemperatuur van uur tot uur volgen en een tal van waarnemingen aangeven, en om vervolgens deze *normale lijn* te gebruiken voor het construeeren van de *vermoedelijke lijn* dezer zelfde verschijnselen bij den zieke, is het voldoende om over de punten, die men door waarneming heeft verkregen, een lijn te trekken, wier krommingen, in meerdere of mindere mate vergroot, met die der normale lijn overeenkomen.

Velen hebben zich bezig gehouden met het ontwerpen van lijnen die de dagelijksche veranderingen aangeven, waaraan de temperatuur en de frequentie van den pols bij den mensch onderhevig zijn.

**Lijnen die de uurlijksche <sup>1)</sup> veranderingen van de gemiddelde frequentie van den pols voorstellen.**

Bovengenoemde arbeid werd onder anderen door PROMPT ondernomen en heeft hem de lijn opgeleverd, zooals die in fig. 31 is voorgesteld.

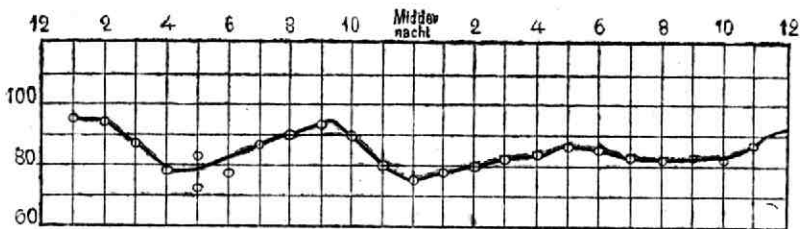


Fig. 31. Uurlijksche veranderingen van de frequentie van den pols, volgens de waarnemingen van Dr. PROMPT op zichzelf genomen.

Men bemerkt hier twee voorname maxima in de vierentwintig uren; het eene maximum valt op ongeveer 12 uur des middags, het andere op 10 uur des avonds. Echter schijnt de vorm van deze lijnen sterk gewijzigd te worden door individueele invloeden; want

1) \*In overeenstemming met het gevoelen van onze Nederlandsche taalgeleerden meenden wij het woord *uurlijksche*, ofschoon in onze taal niet gebruikelijk, toch te moeten invoeren, ten einde lastige omschrijvingen te vermijden. Wij zullen dit woord dus gebruiken naast de uitdrukkingen *dagelijksche*, *wekelijksche*, enz.\*

PROMPT heeft naar de getallen, die voorkomen in een werk dat door BOERENSPRUNG in 1840 in 't licht is gegeven, de polslijn geconstrueerd, die in fig. 32 is voorgesteld. Ook hier zien wij twee maxima, maar nu doet zich het eene maximum ten 9 uur des morgens en het andere ongeveer ten 6 uur des avonds voor.

Nu doet zich natuurlijk deze belangrijke vraag voor: is het verschil tusschen deze twee lijnen alleen te wijten aan een indi-

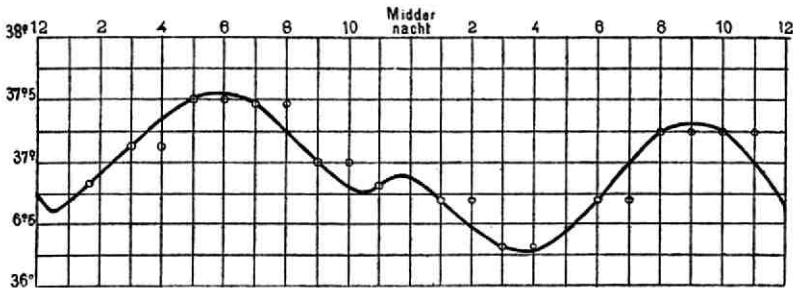


Fig. 32. Lijn van de uurlijksche veranderingen van de frequentie van den pols, door Dr. PROMPT ontworpen naar de opgaven van BOERENSPRUNG.

vidueele oorzaak; is het een gevolg van een verschil in levenswijze of in etenstijd bij twee verschillende volken? Deze vragen zijn alleen te beantwoorden door verdere waarnemingen; zeker is het dat zij wel een bijzondere studie waardig zijn.

Welke waarde men nu ook moge toekennen aan de lijnen, die PROMPT volgens zijne persoonlijke waarnemingen heeft verkregen — in de geneeskunde heeft deze methode hare toepassing gevonden. In het werk van LORAIN vindt men met betrekking tot de cholera figuren, die de veranderingen voorstellen, welke de temperatuur op verschillende plaatsen van het lichaam ondergaat; de lijnen die de punten van waarneming vereenigen zijn niet recht, maar stellen de vermoedelijke lijn der dagelijksche veranderingen van de temperatuur voor 1).

#### Lijn van de uurlijksche veranderingen van de temperatuur bij den mensch.

Het belangrijkste werk over dit onderwerp is waarschijnlijk wel dat van Prof. FOREL te *Lausanne* in 1872 uitgegeven 2).

1) P. LORAIN. *Le choléra observé à l'hôpital Saint-Antoine*. Parijs, 1868.

2) A. FOREL. *Expériences sur la température du corps humain dans l'acte d'ascension des montagnes*.

Een ontzaglijk groot aantal waarnemingen heeft dezen geleerde in staat gesteld de lijn van de uurlijksche veranderingen te ontwerpen die in fig. 33 is voorgesteld.

Men bemerkt daaruit een verschil van ongeveer  $\frac{1}{10}$  graad tusschen de minima die zich voordoen tegen drie uur in den morgen

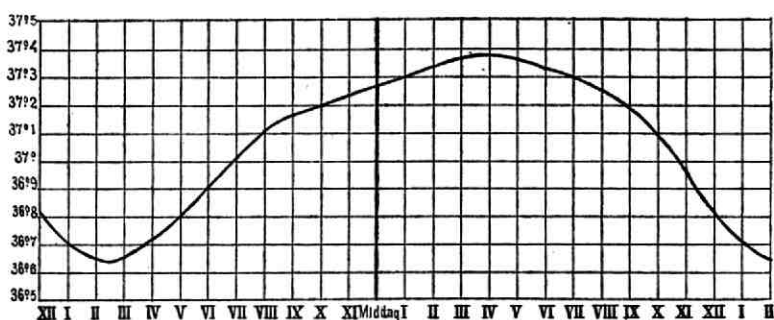


Fig. 33. Grafische voorstelling van de uurlijksche veranderingen van de temperatuur van den mensch, volgens FOREL.

en de maxima van ongeveer vier uur in den namiddag. Deze stijging van temperatuur in den namiddag en deze daling in den morgen worden ook zeer duidelijk bij de meeste gevallen van koorts waargenomen.

#### **Grafische voorstelling van de richting en van de fasen van electriche stroomen.**

In de natuurkunde bedient men zich van lijnen, theoretisch geconstrueerd, om de intensiteit, de richting en den duur der electriche stroomen voor te stellen. De aldus verkregen figuren geven een duidelijken totaalindruk van vrij samengestelde verschijnselen. In fig. 34 zien wij vier lijnen boven elkaar geteekend; deze stellen voor de inductieverschijnselen in een reeks van windingen die op elkaar een induceerende werking uitoefenen.

Door de bovenste lijn worden de fasen van den veranderlijken induceerenden stroom en wel het beginnen door OIM, het ophouden daarvan door M'JP voorgesteld. De buigingen van deze lijn wijzen op de vermeerdering of vermindering van intensiteit van den stroom. De tweede lijn komt overeen met den inductiestroom van de eerste orde en toont aan dat bij het sluiten van den indu-



ceerenden stroom een inductiestroom in tegengestelde, bij het openen van den induceerenden stroom een inductiestroom in dezelfde richting ontstaat; deze richtingen worden duidelijk door de kromming  $i M_1 i'$ , behorende bij negatieve ordinaten en door de positieve buiging  $i M_1' j'$  voorgesteld.

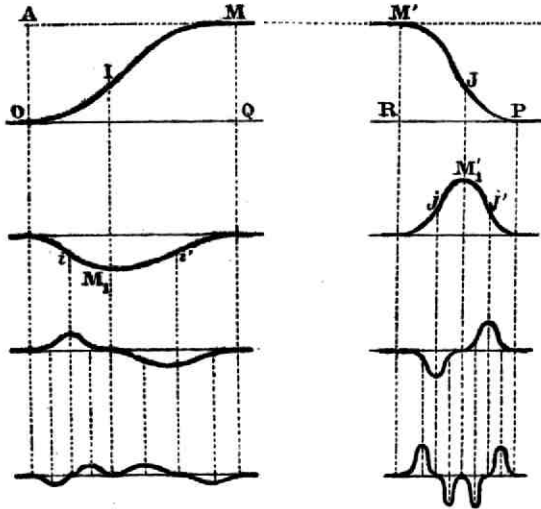


Fig. 34. Grafische voorstelling van den duur, de richting en de verschillende fasen van inductiestroom van verschillende orde.

Deze inductiestroom van de eerste orde wekken in de volgende winding weer inductiestroom van de tweede orde op; deze worden door de derde lijn in de figuur aangeduid; men kan zoo voortgaande de inductiestroom van elke willekeurige orde voorstellen; steeds is het aantal stroom van eenige orde gelijk aan het dubbel van dat der voorafgaande orde; terwijl echter hun aantal toeneemt, vermindert hun intensiteit.

Zonder een dergelijke figuur zou het vrij moeilijk zijn een juiste voorstelling te krijgen van een zoo samengestelde werking en van den loop van een inductiestroom van een bepaalde orde.

## DERDE HOOFDSTUK.

### BETREKKINGEN TUSSCHEN GROOTHEDEN WAARBIJ DE TIJD BUITEN BESCHOUWING BLIJFT.

Grafische voorstelling van het verband tusschen oorzaken en gevolgen; invloed van de temperatuur op de spanning van dampen en op de oplosbaarheid van zouten. — Voortplanting der warmte in een metaalstaaf; lijnen die de betrekking tusschen de intensiteiten van de warmte-, licht- en scheikundig werkzame stralen in de verschillende deelen van het zonnenspectrum voorstellen. — Lijnen die de drukking voorstellen, welke een uitstroomende vloeistof in de verschillende punten van een afvoerbuis uitoefent. — Lijnen van veerkracht. — Lijnen die het accommodatievermogen van het oog op verschillende leeftijd voorstellen. — Lijnen die de verhouding aangeven tusschen gewicht en lengte van kinderen. — Grafische voorstelling van de verhouding der hoeveelheden van verschillende materialen benodigd voor den bovenbouw van metalen bruggen. — Lijnen die het handelsverkeer op de verschillende deelen van een spoorweglijn voorstellen.

In al de verschillende gevallen, die in de voorgaande hoofdstukken zijn behandeld, vervult de onderzoeker alleen de rol van waarnemer; hij kan onmogelijk eenige wijziging brengen in de opvolging of in de intensiteit der meteorologische of statistische verschijnselen en teekent alleen den toestand van een verschijnsel op verschillende oogenblikken op, om te trachten in de natuurlijke opeenvolging dier verschijnselen een bepaalde wet te ontdekken.

Geheel anders is het gesteld wanneer de onderzoeker als experimentator optreedt en de veranderingen, die hij bestudeert, zelf opwekt en bestuurt om zodoende verband tusschen oorzaken en gevolgen op te sporen; in die gevallen blijft de tijd vaak buiten beschouwing en wordt daarmee geen rekening gehouden bij het grafisch voorstellen van de verkregen resultaten.

Op deze wijze bestudeert de natuurkundige de verschijnselen, die zich voordoen, wanneer men de lichamen aan de werking van meetbare krachten onderwerpt; hij onderzoekt bijvoorbeeld de veranderingen die het volume van een vast lichaam, van een vloeistof of van een gas onder den invloed van verschillende temperaturen of drukkingen ondergaat. Al deze veranderingen kunnen weer grafisch worden voorgesteld; een reeks van getallen, die de uitzettings-coëfficiënten van een lichaam aangeven dat van nul tot  $n$  graden verwarmd wordt, kan altijd met veel voordeel door een lijn worden vervangen; die grafische voorstelling zal

nog belangrijker worden, wanneer men daaruit de werking der warmte op verschillende lichamen kan opmaken, want brengt men dan in de figuur de lijnen boven elkaar aan, dan ziet men terstond de ongelijkheid die in de uitzettingen der lichamen bestaat.

Bij het in teekening brengen van deze lijnen handelt men als in de vroeger beschouwde gevallen, behalve dat men nu in plaats van tijddeelen, bijv. de deelen der warmtevermeerdering (gewoonlijk in graden) op de x-as afzet.

Aan REGNAULT hebben wij verscheidene figuren van deze soort te danken; een der merkwaardigste is die waarin de spankracht van waterdamp, de uitzetting van kwik, de samendrukbaarheid van lucht en van stikstof bij verschillende temperaturen worden voorgesteld; ook worden nog in dezelfde figuur de correcties aangegeven, die men bij luchtthermometers naar den aard van hun bekleedsel moet aanbrengen. Uit hoofde van de groote afmetingen van deze figuur was het niet mogelijk hier ook maar een gedeelte daarvan op te nemen. Echter kan het beginsel, waarnaar deze figuur is ontworpen en de klaarheid waarmêe genoemde betrekkingen zijn voorgesteld, genoegzaam blijken uit fig. 35. Hierin is de oplosbaarheid van verschillende zouten in water bij verschillende temperaturen voorgesteld. De temperaturen, gerekend in graden van den honderddeeligen thermometer, zijn op de x-as voorgesteld, terwijl de deelen op de y-as de hoeveelheden zout, oplosbaar in één liter water, in grammen uitgedrukt, aangeven. Wegens gebrek aan ruimte moeten wij de temperatuursaanwijzingen der figuur tot 90° beperken.

Bij den eersten oogopslag ziet men 1<sup>e</sup> of de oplosbaarheid van een zout evenredig is met de temperatuursverhooging, dan wel of die op een onregelmatige wijze verandert; 2<sup>e</sup> hoeveel zout bij elke temperatuur in een liter water oplost; 3<sup>e</sup> de verhouding van oplosbaarheid van twee zouten bij een bepaalde temperatuur; 4<sup>e</sup> door het snijpunt van twee lijnen de temperatuur waarbij de oplosbaarheid van twee verschillende zouten even groot is. Wij zien dat terwijl de oplosbaarheid van chloornatrium (keukenzout) voor verschillende temperaturen nagenoeg onveranderd blijft, die van chloorkalium en van kaliumsulfaat evenredig is met de temperatuursverhooging (ten minste binnen de grenzen van 0° tot 90°), ofschoon in ongelijk bedrag, want deze rechte lijnen loopen

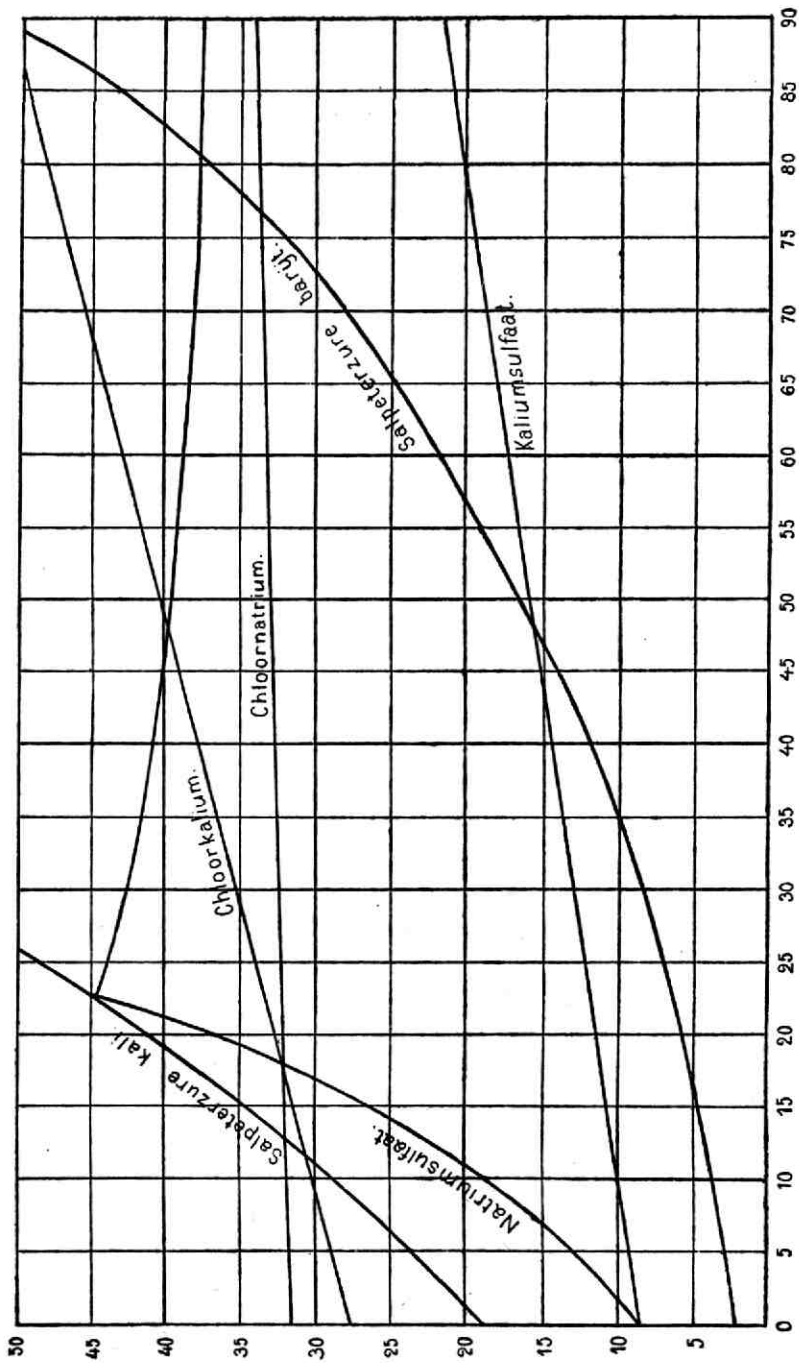


Fig. 35. Grafische voorstelling van de oplosbaarheid van eenige zouten in water bij verschillende temperaturen, naar REOXVULT.

niet evenwijdig; verder blijkt de oplosbaarheid van salpeterzure kali (salpeter) zeer snel toe te nemen met de vermeerdering van temperatuur, terwijl die van natriumsulfaat bij ongeveer 23° haar maximum bereikt en bij verdere temperatuursverhooging langzaam vermindert 1). Een dergelijke figuur geeft ons dus een snel overzicht en leidt spoedig tot het maken van vergelijkingen 't geen uit een getallenreeks vrij moeielijk is.

Fig. 36 stelt de hoeveelheid waterdamp voor die bij verschillende temperaturen bevat is in een kub. meter lucht.

Het is wel te voorzien dat eenmaal de natuurkundige verslagen hoofdzakelijk uit grafische voorstellingen zullen bestaan, wier lijnen, op allerlei wijzen met elkaar vergeleken ons betrekkingen zullen aantoonen, wier bestaan men nog niet kan vermoeden.

In enkele gevallen is de temperatuur de veranderlijke grootheid, die met betrekking tot een andere veranderlijke en wel tot een *afstand* moet bepaald worden.

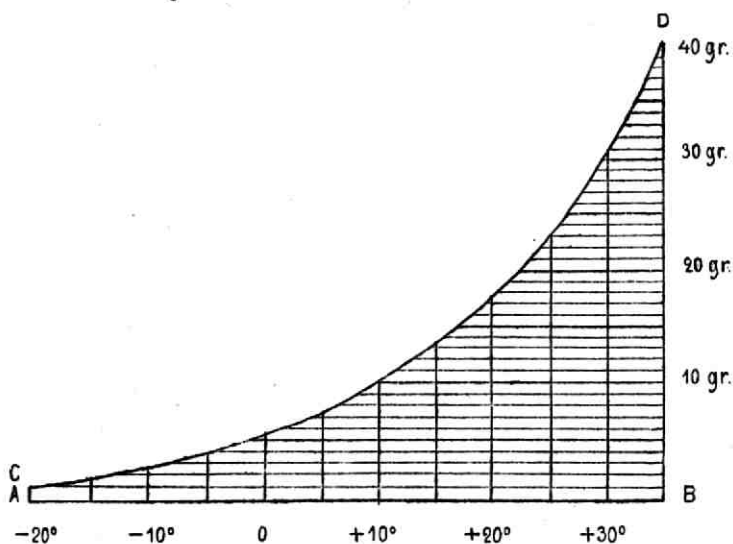


Fig. 36. Grafische voorstelling van de hoeveelheid waterdamp die een kub. meter lucht bij verschillende temperaturen kan bevatten, naar de *Traité de Météorologie* van MARIÉ-DAVY.

1) \*In de *Beginselen der Algemeene Scheikunde* van Prof. J. W. GUNNING komt ook een dergelijke figuur voor. Deze verschilt echter wat betreft de aanwijzingen van temperaturen en van de hoeveelheden opgelost zout hier en daar aanmerkelijk van de figuur van REGNAULT.\*

Wil men bijv. aangeven hoe de temperatuur verandert in de verschillende punten van een metaalstaaf, wier eene uiteinde verwarmd wordt, dan veronderstelt men dat deze staaf is verdeeld in deelen van gelijke lengte en dat de temperatuur achtereenvolgens van elk dier deelen is bepaald.

**Voorstelling van de wijze waarop de warmte zich in een metaalstaaf voortplant.**

Men kan bij deze bepaling de lengte beschouwen als een grootheid die regelmatig toeneemt en men zet deze als onafhankelijk ver-

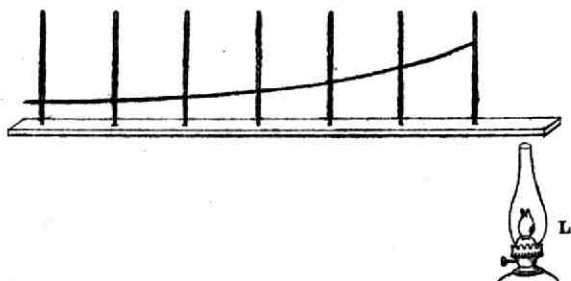


Fig. 37. Voortplanting der warmte in een metaalstaaf, wier eene uiteinde verwarmd wordt. De lijn loopt hier over de uiteinden van de kwikkolommen der thermometers.

anderlijke op  $x$ -as af. De wijze waarop hier de voortplanting der warmte bepaald wordt geeft terstond haar grafische lijn aan, want die lijn wordt toch als 't ware getraceerd door de uiteinden der kwikkolommen van de thermometers die in de verschillende punten der staaf geplaatst zijn.

Plaatst men de staaf horizontaal (fig. 37) dan kan men deze als  $x$ -as beschouwen, terwijl de thermometerhoogten de ordinaten vertegenwoordigen; de lijn die men zich over deze punten kan getrokken denken en die men dus gemakkelijk in teekening kan brengen, geeft duidelijk de afname der temperatuur in de verschillende punten aan. 1)

1) \*Deze proef, door BIOT voor verschillende stoffen genomen, leidt tot het bepalen van de verhouding van het geleidingsvermogen voor warmte van verschillende stoffen.\*

**Lijnen die de betrekking tusschen de intensiteit der  
verschillende stralen van het zonnenspectrum  
voorstellen.**

Men is gewoon de intensiteit van de warmte-, licht- en scheikundig werkzame stralen in het zonnenspectrum voor te stellen door lijnen zooals fig. 38 ze ons vertoont. Men ziet daaruit dat de maximumsterkte van licht, warmte en scheikundige werking in *verschillende* deelen van het spectrum gelegen zijn.

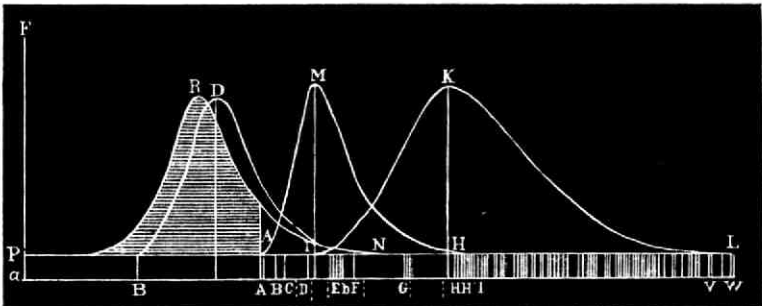


Fig. 38. Grafische voorstelling van de betrekking tusschen de intensiteit der lichtsterkte, warmtewerking en scheikundige werking van de verschillende deelen van het zonnenspectrum. AMH lijn der lichtsterkte; IKL lijn van de scheikundige werking; BDN lijn der warmte-intensiteit; PRN lijn der warmte-intensiteit in het spectrum van electricch licht.

Het maximum der warmtewerking blijkt dicht bij het rood, dat van de scheikundige werking dicht bij het violet en dat der lichtsterkte ongeveer in het geel van het spectrum te liggen. Ook neemt de lijn der scheikundige werking een grooter gedeelte van het spectrum in dan de beide andere lijnen.

Eindelijk veranderen deze lijnen weer van plaats en in grootte naar gelang van den aard der lichtbron. Zoo heeft het electricch licht niet zijn maximum van warmtewerking in het zelfde punt als het zonlicht. Dergelijke veranderingen doen zich ook voor wanneer men de stof verandert die door het licht beschenen wordt. Zoo liggen bijv. de stralen, die op chlorophyl de sterkste scheikundige werking uitoefenen, in het geel van het spectrum.

**Lijn die de veranderingen in de drukking voorstelt, welke een uitstroomende vloeistof in de verschillende punten van een afvoerbuis uitoefent.**

BERNOULLI heeft aangetoond dat de drukking die een uitstroomende vloeistof in de verschillende deelen van een afvoerbuis, die over haar geheele lengte dezelfde middellijn heeft, uitoefent, regelmatig afneemt in de volgende deelen der buis. In fig. 39 zien wij deze wet voorgesteld.

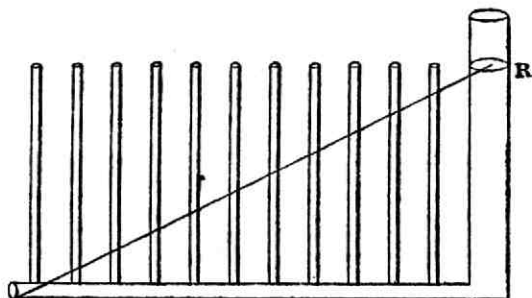


Fig. 39. Voorstelling van de verschillende drukkingen die een uitstroomende vloeistof in de verschillende punten van een afvoerbuis, die overal dezelfde middellijn heeft, uitoefent.

De ordinaten zijn evenredig met de hoogten van een reeks van manometers of piëzometers, die men in verschillende punten der buis op gelijken afstand van elkaar kan aanbrengen. Ook hier, evenals in het voorgaande geval, bestaat de grafische voorstelling van het verschijnsel in het verschijnsel zelf. De lijn, over de verschillende hoogtepunten der piëzometers getrokken, blijkt een rechte te zijn.

Naarmate de vloeistofspiegel in het reservoir R hooger of lager gelegen is of naarmate de afvoerbuis langer of korter is, vermeerderd of vermindert de helling der piëzometrische lijn; maar steeds verkrijgt men een rechte lijn, wier helling de uitstroomings-snelheid aangeeft.

Tot deze soort van lijnen, waarbij een lengte of afstand een der veranderlijke grootheden is, behooren ook die, welke de magnetische intensiteit in de verschillende punten van een magneet-



staaf aangeven, of die de verhoudingen van de volumina der lichamen tot de temperaturen, waaraan zij worden blootgesteld, uitdrukken. 1)

### Lijnen van veerkracht.

Alle lichamen kunnen tengevolge van het aanwenden van een zekere spanning uitgerekt worden; die uitrekking zal echter voor verschillende lichamen ook verschillend groot zijn.

Bevestigd men aan opgehangen staven of draden van verschillende stoffen gewichten, die men langzamerhand in zwaarte kan laten toenemen, dan zullen de uitrekkingen, die daarvan het gevolg zijn, meer of minder regelmatig toenemen, m. a. w. de uitrekkingen zullen soms evenredig zijn met de aangroeiingen der gewichten, in enkele gevallen echter weer sneller of langzamer dan de laatsten toenemen.

Ook deze verschillen in veerkracht kunnen door lijnen zeer sprekend worden uitgedrukt; de twee veranderlijke grootheden zijn dan in dit geval lengte en gewicht. Bekend zijn de merkwaardige en talrijke proeven van Wertheim aangaande de veerkracht van metalen en organische stoffen; opmerkenswaardig is het dat de lijn van veerkracht van deze laatsten steeds tot een hyperbool nadert.

De veerkracht van caoutchouc is in den vorm van een lijn voorgesteld door A. Stewart, een Belgisch ingenieur. Hij verkreeg daardoor de volgende resultaten: bij regelmatig toenemende spanning neemt de lengte van een strook caoutchouc evenzeer regelmatig toe, totdat het dubbel der oorspronkelijke lengte bereikt is; van dat oogenblik af worden de opvolgende uitrekkingen kleiner.

WUNDT heeft een lijn van de veerkracht der zenuwen ont-

1) ERMAN heeft zeer merkwaardige lijnen ontworpen die de volume-veranderingen van lichamen, die aan een langzaam toenemende verwarming worden blootgesteld, voorstellen. Hij heeft aangetoond dat water, phosphor, metaallegeringen in de nabijheid van hun smeltpunt plotselinge veranderingen in volume ondergaan, nu eens in positieven, dan weer in negatieven zin, die veel verschillen van de vrij regelmatige uitzettingen die deze zelfde lichamen bij gewone temperatuursverhoogingen ondergaan.

(Zie JAMIN. *Traité de Physique* 1870 p. 189).

worpen die in fig. 40 is voorgesteld. Hij is daarbij een weinig van de gewone wijze van voorstelling afgeweken, want behalve

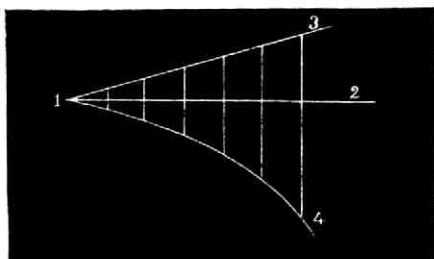


Fig. 40. Lijn van de veerkracht der zenuwen, naar WUNDT.

dat hij op de x-as gelijke deelen heeft afgezet, die de vermeerdering in spanning uitdrukken, heeft hij ook nog uit elk dezer deelpunten ordinaten zoowel boven als onder de x-as opgericht; de eersten geven de vermeerdering in spanning, de laatsten de uitrekkingen der zenuwen aan; hij heeft dus de betrekking tusschen deze grootheden door twee lijnen voorgesteld. Uit het vergelijken van de lijn 1,4 met de lijn 1,3 blijkt duidelijk dat de uitrekkingen hier sneller toenemen dan de spanningen.

**Lijnen die de grenzen van het accomodatievermogen van het oog op verschillende leeftijden voorstellen.**

Om de veranderingen voor te stellen die het accomodatievermogen van het oog in de verschillende tijdperken van het leven ondergaat, heeft DONDERS lijnen geconstrueerd zooals in fig. 41 zijn voorgesteld, waardoor duidelijk de door hem gevonden wetten worden uitgedrukt.

De jaren zijn op de x-as aangegeven van 10 tot 80, terwijl de deelen op de ij-as de grootte der dioptriek voorstellen 1). De divergentie der lijnen drukt de grootte der dioptriek uit waarmee de grootte van het accomodatievermogen op elken leeftijd overeenkomt.

1) De ophthalmologen noemen dioptriek het straalbrekingsvermogen van een lens die een meter brandpuntsafstand zou hebben; dit wordt als eenheid van maat voor de refractie aangenomen.

Uit de figuur blijkt duidelijk dat ongeveer van den tienjarigen leeftijd af het accomodatievermogen vrij regelmatig afneemt.

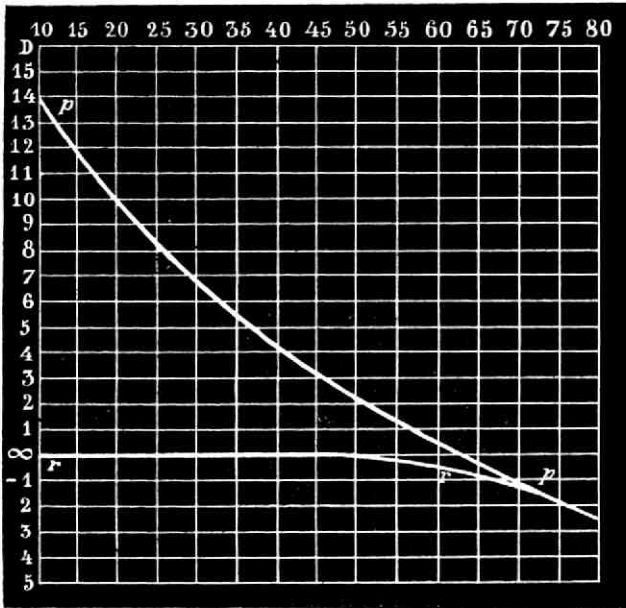


Fig. 41. Lijn die de grenzen van het accomodatievermogen van het oog op verschillende leeftijd aangeeft, volgens DONDERS.

De lijn *rr* geeft het brekingsvermogen van het oog in den toestand van rust, m. a. w. het minimum van breking aan; ongeveer tegen den vijftigjarigen leeftijd begint deze lijn te dalen door het toenemen van de verziendheid (presbyopie), terwijl de convergentie der lijnen duidelijk aantoont dat het accomodatievermogen meer begrensd wordt.

**Lijnen die de samenstelling van lucht, welke voor de ademhaling ongeschikt is, bij verschillende dampkringsdruk aangeven.**

P. BERT toont in een merkwaardige verhandeling over den invloed van den dampkringsdruk aan, dat de samenstelling van lucht, die de dieren, welke daarin opgesloten zijn, doet stikken, verandert naar gelang van de drukking waaraan die lucht was bloot-

gesteld; en wel naargelang de druk geringer is, des te meer zuurstof (percentsgewijze gerekend) zal de lucht bevatten nadat het dier is gestorven. Omgekeerd is het gesteld met de hoeveelheid koolzuur; deze bedraagt minder, naarmate het dier minder zuurstof heeft opgenomen. Uit de getallenopgaven, die tengevolge van 36 proeven werden verkregen, is deze omgekeerde verhouding van de drukking tot de hoeveelheid zuurstof moeilijk te vinden. Daaren-

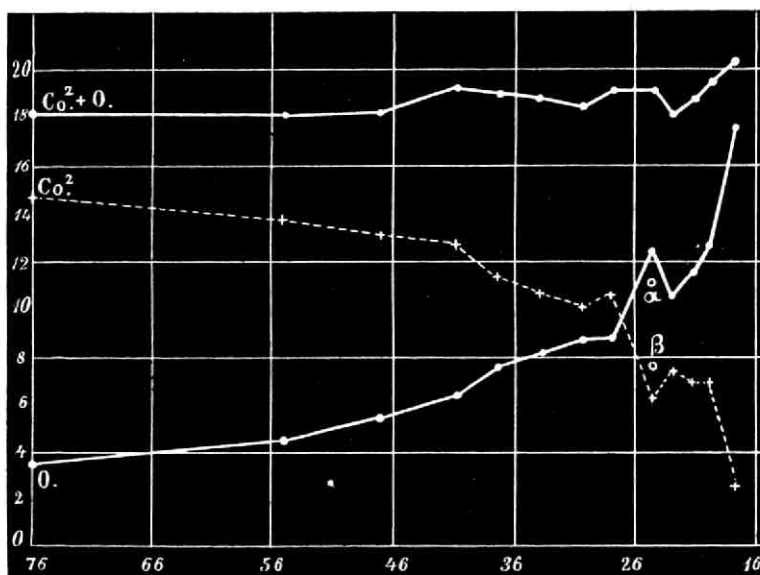


Fig. 42. Grafische voorstelling van de verhouding van zuurstof tot koolzuur in lucht die voor ademhaling ongeschikt is, onder verschillenden druk, naar P. BERT.

tegen geeft de grafische figuur (fig. 42) de betrekking zeer duidelijk aan. De lijn van de zuurstof (O) stijgt, en die van het koolzuur (CO<sub>2</sub>) daalt, naargelang de druk afneemt, waarvan de regelmatige verminderingen, van 76<sup>cm.</sup> kwikhoogte afgerekend, op de x-as zijn afgezet.

In weerwil van de vrij onregelmatige buigingen der lijnen, die aan onnauwkeurigheid in de proefnemingen worden toegeschreven, aarzelt P. BERT niet om ze te beschouwen als naderend tot de takken van een hyperbool.

**Lijnen die de verhouding voorstellen tusschen het  
lichaamsgewicht en de lengte van kinderen.**

Volgens opgaven, die uit talrijke waarnemingen verkregen zijn, heeft BOWDITCH 1) te Boston de lijnen ontworpen die in fig. 43 zijn voorgesteld en die de betrekking tusschen lichaamsgewicht

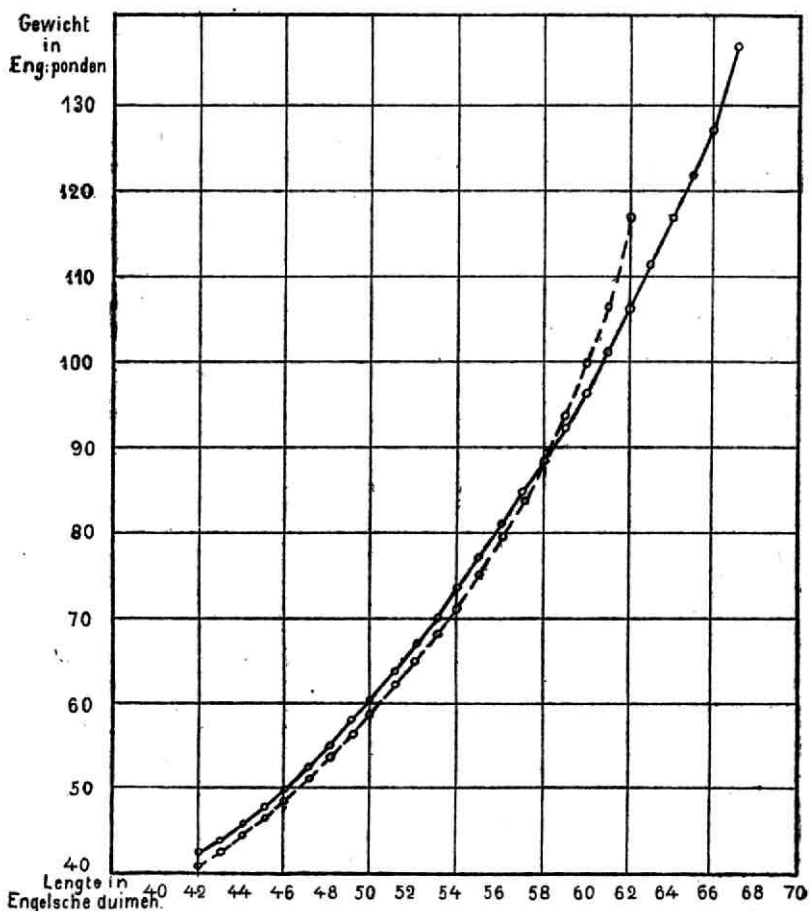


Fig. 43. Lijnen die de verhouding voorstellen tusschen lichaamsgewicht en lengte op verschillenden leeftijd bij jongens en meisjes naar BOWDITCH.  
en lengte van kinderen van verschillenden ouderdom uitdrukken.

1) BOWDITCH. *The Growth of Children* (Boston 1877) from the eighth annual report of the State Board of Health of Massachusetts.

De eerste getrokken lijn in deze figuur geeft de genoemde betrekking voor jongens, de tweede afgebroken lijn die voor meisjes aan. Men ziet hieruit dat de jongens zwaarder zijn dan de meisjes totdat zij de lengte van 50 Eng. duim hebben bereikt; daarna wordt de verhouding omgekeerd.

Dit merkwaardig verschijnsel vindt zijn grond in het verschil der lichaamsvormen bij de beide seksen. Deze soort van verandering is zorgvuldig bestudeerd door QUETELET, die door een reeks van lijnen de wijzigingen heeft aangegeven, welke bij het ouder worden in de evenredigheid der lichaamsdeelen plaats hebben. Het is toch duidelijk, dat indien de kinderen gedurende hun groei zich altijd gelijkvormig ontwikkelden, de zonderlinge veranderingen die wij hier opmerken niet zouden kunnen bestaan, maar dat de lijn die het gewicht voorstelt steeds een vermeerdering zou aantoonen in reden van de derde machten der lengten 1).

#### **Verhouding tusschen de materialen benoodigd voor het bouwen van bruggen van verschillende spanning.**

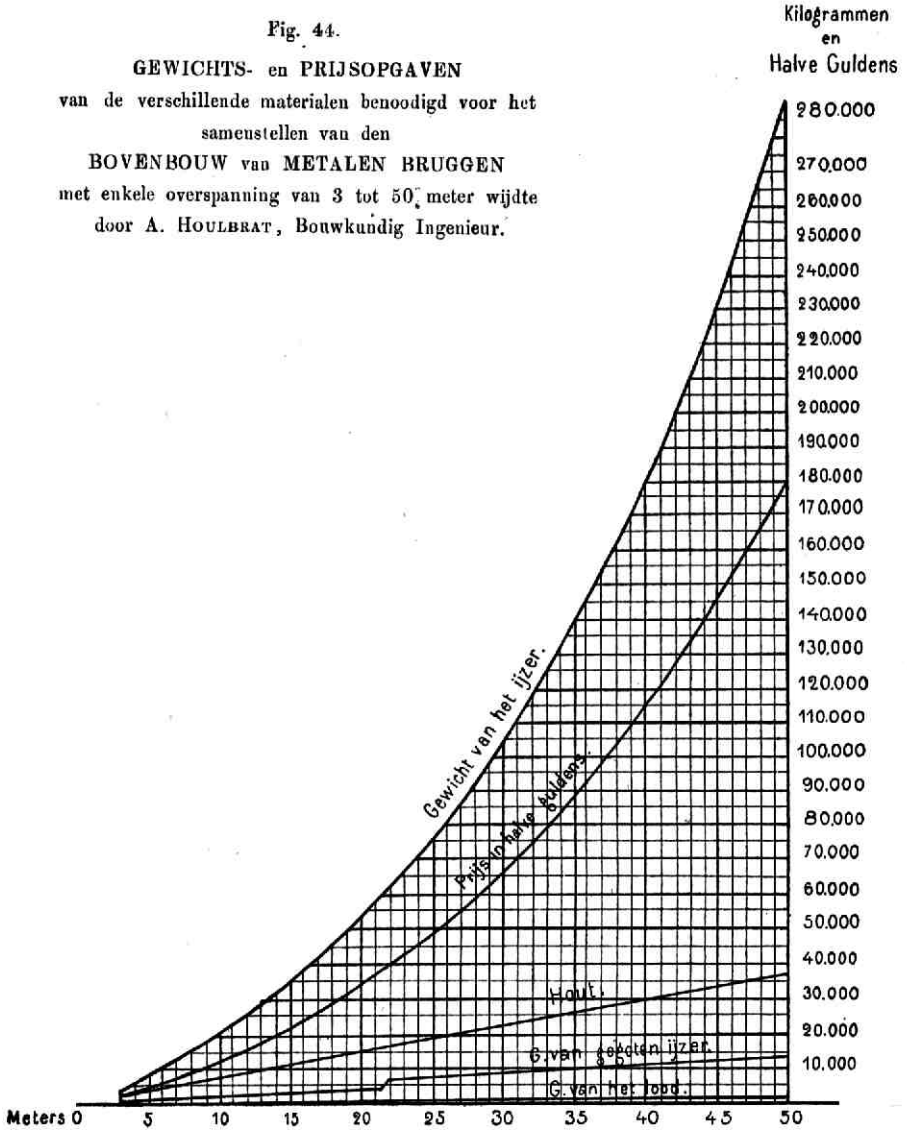
In 1861 ontwierp de ingenieur A. HOULBRAT, een grafische figuur die in fig. 44 is voorgesteld; daarin worden de gewichts- en prijsopgaven van de verschillende materialen aangeduid, benoodigd voor den bovenbouw van metalen bruggen van een bepaald systeem.

De spanning van den bovenbouw is in meters op de x-as afgezet;

1) Wij moeten in 't voorbijgaan opmerken, dat de betrekking tusschen gewicht en lengte op twee verschillende wijzen kan worden voorgesteld. In fig. 11 en 12 hebben wij gezien dat deze betrekking werd uitgedrukt door twee lijnen, waarbij de tijddeelen op de x-as en de vermeerderingen in gewicht of grootte op de y-as werden afgemeten. Men kan dus in 't algemeen op twee wijzen de betrekking tusschen twee veranderlijke grootheden grafisch voorstellen: 1e door ze beiden te beschouwen in verband met een derde grootheid die men als onafhankelijk veranderlijke aanneemt; 2e door beide alleen in verband met elkaar te beschouwen. In het laatste geval kan men dan of de eerste, of de laatste als onafhankelijk veranderlijke beschouwen. Had men bijv. in tegenstelling met BOWDITCH de veranderingen in gewicht op de x-as, die in lengte op de y-as afgemeten, dan zou men een lijn verkregen hebben, wier holle zijde zich nu naar de x-as keert en die daardoor aanwijst, dat de lengte minder snel toeneemt dan het gewicht.

het gewicht der materialen van [verschillenden aard is in kilo-grammen uitgedrukt. Men ziet dat met de spanning de verhouding

Fig. 44.  
**GEWICHTS- en PRIJSOPGAVEN**  
 van de verschillende materialen benodigd voor het  
 samenstellen van den  
**BOVENBOUW VAN METALEN BRUGGEN**  
 met enkele overspanning van 3 tot 50 meter wijde  
 door A. HOULBRAT, Bouwkundig Ingenieur.



der verschillende materialen verandert, en dat wanneer het hout, dat bij den bovenbouw gebruikt wordt, in evenredigheid van de

lengte vermeerdert, het gewicht aan ijzer veel sneller toeneemt. De lijn, die het gewicht aan gegoten metaal voorstelt, vertoont van af 21 meter spanning een eigenaardige buiging 1).

De inkoopsprijzen worden, in halve guldens uitgedrukt, door een afzonderlijke lijn aangegeven; men leest de prijzen en de gewichten op dezelfde schaal af. 2).

Om de beteekenis van deze lijnen te verklaren nemen wij het volgende voorbeeld: een brug moet 30 meter wijdte hebben; voor het bouwen van deze brug gebruikt men 505 kilogr. lood, 12000 kilogr. gegoten metaal, 22000 kilogr. hout en 100000 kilogr. ijzer; de kosten zijn 32500 gulden. Een geheel boekdeel, opgevuld met prijsopgaven en met de voornaamste resultaten van de theorie van den weerstand van materialen, zou op deze wijze kunnen worden samengevat in eenige figuren, waarin men de duidelijkheid en beknoptheid waarmeê de verschillende opgaven zijn uitgedrukt, niet te veel kan bewonderen.

Men denke nu niet dat een dergelijke beknoptheid en duidelijkheid van uitdrukking uitsluitend thuisbehoort in de handels- en industrieële zaken; integendeel, zij is voor de meest verschillende doeleinden aan te wenden. Zoo zou onder anderen de natuuronderzoeker zich met zeer veel voordeel van deze wijze van uitdrukking kunnen bedienen.

Gesteld bijv. dat men voor eene of andere diersoort een figuur samenstelt, waarin op de x-as het met den ouderdom toenemend gewicht der individuën, op de ij-as het gewicht der verschillende organen of de verhoudingen tusschen de verschillende weefsels zijn afgemeten; een dergelijke figuur zou hoogst belangrijk zijn, doordat men daarin de betrekkelijke ontwikkeling van deze organen tot in de kleinste bijzonderheden zou kunnen volgen. Men zou daaruit direkt zien dat enkele deelen, zooals de lever, van de geboorte af in betrekkelijk bedrag afnemen of, zooals de tijd-

1) Deze buiging wordt daardoor veroorzaakt dat men, bij deze lengte te beginnen, rekening moet houden met de mogelijke uitzetting van het metaal; de stukken gegoten metaal moeten nu op rollen geplaatst worden, die de uitzetting toelaten.

2) Als basis voor de prijsopgaven heeft men hier genomen: 1500 kilogr ijzer tegen 300 gld., 1000 kilogr. gegoten metaal tegen 150 gld. en lood tegen 400 gld.; de kub. meter hout is op ongeveer 38 gld berekend.



klier, langzamerhand verdwijnen, terwijl men daarentegen weer andere deelen in hun ontwikkeling verre de overhand zou zien hebben.

Het belangrijke van dergelijke grafische voorstellingen zou nog toenemen indien de natuuronderzoeker, na dergelijke figuren van verschillende diersoorten te hebben ontworpen, de gevonden lijnen naast of boven elkaar in teekening bracht om ze gemakkelijk met elkaar te kunnen vergelijken om zodoende de kenmerken, die aan elke bijzondere soort eigen zijn, op te sporen; of indien hij onderzocht in welken zin het fokken, het kruisen en andere wijzigende invloeden de betrekkelijke ontwikkeling van organen en weefsels kunnen doen veranderen.

Eindelijk zou men door zulke figuren, naar een algemeen vastgestelde schaal ontworpen, een overzicht kunnen verkrijgen over de resultaten die het natuuronderzoek ten allen tijde en op verschillende plaatsen heeft opgeleverd. Wilde men een dergelijke arbeid door een enkel persoon laten uitvoeren, dan zou de voltooiing van zulk een werk tot de onmogelijkheden behooren; maar zulk een arbeid is het werk van de wetenschap in 't algemeen en het is wel te voorzien dat het eenmaal zal volbracht worden. Wellicht is het hier en daar reeds ondernomen; in vele natuurhistorische werken zijn zeker verschillende gewichtsbepalingen te vinden van de organen op verschillende leeftijden, die reeds als bouwstoffen kunnen dienen voor het geheel 1). Al die verschillende elementen zullen echter moeten teruggebracht worden tot een zeker type, om het vergelijken mogelijk te maken, en dit zal dus alleen kunnen geschieden, wanneer tusschen de verschillende wetenschappelijke onderzoekers, waarbij zich steeds weer anderen met nieuw verkregen resultaten zullen aansluiten, een genoegzame overeenstemming en samenwerking bestaat.

Wij zouden nog een aantal voorbeelden van het gebruik van grafische lijnen uit de werken van ingenieurs kunnen aanhalen;

---

1) ALPHONSE MILNE EDWARDS en GRANDIDIER hebben getracht in hun belangrijk werk over de fauna van MADAGASKAR door lijnen de betrekkelijke ontwikkeling van de verschillende beenuitsteeksels bij onderscheidene diersoorten voor te stellen. Tot ons leedwezen zijn echter de afmetingen dezer figuur van dien aard dat wij haar hier niet konden teruggeven.

voor hen, die zich geheel met de meetkunde hebben vertrouwd gemaakt, leent zich de grafische methode tot de meest verschillende voorstellingen. Wij zullen nu verder de toepassing vermelden die men in de statistiek van de grafische methode maakt om het vervoer van verschillende koopwaren, zoowel te land als te water, aan te geven. In die voorbeelden vindt men een wijze van grafische voorstelling die bijzonder geschikt is om in verschillende gevallen te worden aangewend.

**Lijnen die het handelsverkeer op de verschillende deelen van een spoorweglijn aangeven.**

Nagenoeg gelijktijdig zijn door MINARD in Frankrijk 1) en door BELPAIRE in België 2) figuren ontworpen die het bedrag van het goederenvervoer op de verschillende deelen van een spoorweglijn aangeven. Die lijnen verdienen wel onze aandacht, niet alleen wegens het vernuftige van het denkbeeld zelf, maar ook wegens de bijzonder nuttige rol die zij bij het bepalen van de opbrengst van een spoorweglijn vervullen.

In fig. 45 is een der grafische voorstellingen van MINARD afgebeeld. De lengten der deelen op de abscissen-as zijn evenredig met de afstanden van twee opvolgende stations van de beschouwde spoorweglijn; voor de lijn *Lyon-St. Etienne*s heeft men vijf van die deelen. De deelen op de ordinaten-as stellen, in tonnen uitgedrukt, het bedrag aan goederen voor, die in het tijdsverloop van een maand vervoerd worden: door een lijn evenwijdig aan de abscissen-as, uit eenig punt van de y-as getrokken, wordt dan het door dat punt aangewezen bedrag aan vervoerde goederen voorgesteld. Nu zal natuurlijk de hoeveelheid goederen, die tusschen twee naast elkaar gelegen stations vervoerd worden, verschillen van de hoeveelheid transito-goederen, waarmee hier bedoeld worden die goederen, welke van het eene uiteinde der lijn naar het andere, dus van *Lyon* naar *St. Etienne* en omgekeerd, doorgevoerd worden. Het bedrag dier transito-goederen

1) *Des tableaux graphiques et des cartes figuratives*, door MINARD. Parijs, 1861.

2) *Notice sur les cartes du mouvement du transport en Belgique*. A. BELPAIRE. Brussel. 1841.

is natuurlijk voor alle deelen der lijn even groot en wordt hier door de horizontale lijn aangewezen, die nagenoeg met 20,000-ton overeenkomt; het gedeelte tusschen de lijn der transitogoederen en de x-as is in de figuur van dichte arceeringen voorzien.

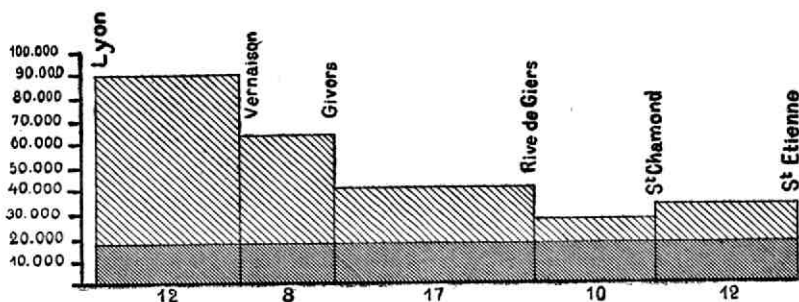


Fig. 45. Grafische voorstelling van de hoeveelheid vervoerde goederen op de verschillende deelen van een spoorweglijn, volgens MINARD.

Naarmate nu het handelsverkeer tusschen twee opvolgende stations meer of minder druk is, zal ook het bedrag der tusschen die plaatsen vervoerde goederen grooter of kleiner zijn; dit is in de figuur aangegeven door horizontale lijnen, uit verschillende punten van de ordinaten-as getrokken. Zoo zien wij bijv. dat op de lijn *Lyon-Vernaison* een goederenvervoer van 70,000 + 20,000 transitoo, dus totaal 90,000 ton plaats heeft, terwijl het totale vervoer van *Rive de Giers* tot *St. Chamond* nog geen 30,000 en het lokaal vervoer zelfs nog geen 10,000 ton bedraagt. Ter verduidelijking zijn de rechthoeken, die het lokaal vervoer voorstellen, van minder dichte arceeringen voorzien dan die, welke het transitoo-vervoer aanduiden. De inhoudsbepaling van elk dier gearceerde deelen is voorts zeer belangrijk, daar dit als basis kan dienen bij het berekenen van de opbrengst van elk deel der lijn. 1)

1) Wanneer alleen goederen van dezelfde soort vervoerd worden, zooals bijv. het geval is op een lijn die naar een mijn loopt, dan zal natuurlijk het tarief, daar dat evenredig is met het bedrag der vervoerde goederen en met het aantal doorloopen kilometers, voor elk gedeelte der lijn in verhouding staan tot de oppervlakte van den rechthoek, behoorende bij elk deel. Maar in de praktijk is dat niet zoo en men is

Volgens bepaalde tarieven moet de geldelijke opbrengst samengesteld evenredig zijn met de hoeveelheid vervoerde goederen en de lengte van den doorloopen weg; het produkt van deze beide grootheden wordt voor elk gedeelte van de lijn juist door den inhoud van den rechthoek uitgedrukt, omdat de inhoud van een rechthoek gelijk is aan het produkt van zijn lengte en breedte. Deze wijze van grafische voorstelling is ook reeds voor andere wegen aangewend, onder anderen voor kanalen door COMOY (1845). De duidelijkheid van deze figuren wordt dan nog verhoogd door kleurendruk, waardoor het bedrag aan goederen van verschillende aard door strooken van verschillende breedte wordt aangeduid; een dergelijke afbeelding heeft veel overeenkomst met de voorstelling van de ligging der verschillende aardlagen bij een dwarsdoorsnede van het terrein.

**Grafische voorstelling van den weerstand dien een beweging in een middenstof ondervindt.**

Daar vooral in de natuurkunde het aantal van de te beschouwen betrekkingen zeer groot is, zijn ook de grafische voorstellingen, die op natuurkundig gebied kunnen worden aangewend, zeer talrijk. De meest sprekende uitdrukking voor de wet van MARIOTTE, met de verschillende wijzigingen die zij voor de verschillende gassen ondergaat, is voorzeker de lijn, waarbij de drukkingen op de eene, de volumina der samengeperste gassen op de andere as zijn aangebracht.

De modulus van veerkracht van verschillende lichamen wordt uitgedrukt door de lijn, die de uitrekking in funktie van de aangewende spanning voorstelt. WERTHEIM heeft deze lijn bepaald voor verschillende stoffen, waaronder zich ook organische weefsels bevinden. Volgens hem zou voor de meeste organische

---

dan genoodzaakt de verschillende goederen terug te brengen tot een gemeene maat: het bedrag aan goederen, dat de gemiddelde lading van een wagon vertegenwoordigt. BELPAIRE neemt als equivalent aan 12 reizigers, 4 ton vrachtgoederen en 2 ton kleine goederen. Sedert lang is als eenheid van vervoer de ton vrachtgoederen ingevoerd; als equivalent daarmee neemt men voor kleine goederen  $\frac{1}{2}$  ton en voor het vervoer van reizigers 3 personen.

weefsels de veerkracht worden aangeduid door een lijn, die in haar vorm veel tot de hyperbool nadert.

Wanneer lichamen zich in middenstoffen bewegen, dan zal men den weerstand, dien deze middenstoffen aan de beweging bieden, evenzeer door lijnen kunnen voorstellen; deze lijnen hebben een parabolischen vorm en wanneer men op de x-as de snelheid, op de y-as den weerstand afmeet, dan is de holle kant der lijn naar boven gericht. Wanneer men experimenteel de lijn construeert van den weerstand dien de lucht aan de vleugelbewegingen van vogels in hun vlucht biedt, dan verschilt die lijn veel van die welke volgens de berekening gevonden wordt, wanneer men onderstelt dat de weerstand toeneemt in reden van de vierkanten der snelheden. 1)

Veel in overeenstemming hiermede zijn de lijnen, die de vermindering in drukking aangeven, die het water op de verschillende punten van de wanden van een buis der waterleiding uitoefent, ook voor het geval, dat de middellijnen van deze geleiding steeds kleiner worden. De ingenieur MARIÉ te Parijs heeft een dergelijke lijn ontworpen, die echter wegens hare groote afmetingen hier niet kan worden opgenomen.

Zulke lijnen zouden ook met veel voordeel kunnen aangewend worden om de afnemende drukking van het bloed in de slagaderen te berekenen; vooreerst met betrekking tot den afstand van het beschouwde punt tot het hart en ten tweede onder den invloed van het kleiner worden van de middellijnen der bloedvaten.

Wel is waar zouden deze grafische figuren slechts zeer benaderende waarden geven voor het bedrag der veranderingen, die de drukking van het bloed ondergaat, uithoofde van de onophoudelijke veranderlijkheid van de middellijnen der bloedvaten en van den weerstand dien het bloed ondervindt; maar toch zouden zij de voorkeur verdienen boven vele bepalingen, die maar al te dikwijls door de ontleedkundigen gedaan zijn.

---

1) Zie voor verdere bijzonderheden van deze proefneming MARIÉ, *Travaux de laboratoire*, 1875.

## VIERDE HOOFDSTUK.

### DE GRAFISCHE VOORSTELLING VAN TWEE VAN ELKAAR AFHANKELIJKE GROOTHEDEN, VERBONDEN MET DIE VAN EEN DERDE VERANDERLIJKE GROOTHEID.

Grafische voorstelling van richtingen; richting waarin vallende sterren zich bewegen. — Richting, aantal en intensiteit der winden. — Declinatie-lijnen. — Magnetische storingen. — Grafische voorstelling van den veldtocht naar Rusland in 1812—1813. — Grafische voorstelling van een luchtreis. — Statistische kaarten. — Het verkeer op land- en waterwegen. — Grafische statistiek van misdrijven, van ziekten, van het onderwijs. — Vorm en uitgestrektheid van het gezichtsveld.

De in de vorige hoofdstukken beschouwde grafische voorstellingen hebben ons doen zien, hoe in de eerste plaats de verhouding tusschen grootheden door verschillende lengten kon worden teruggegeven, in de tweede plaats hoe de betrekking van afhankelijkheid tusschen twee veranderlijke grootheden door een lijn of door een oppervlakte kon worden aangeduid. Wij kunnen nu door middel van figuren in het platte vlak voorstellen: een *richting*, een *doorloopen weg* en een *oppervlakte*.

Nu heeft men in den laatsten tijd getracht om met deze reeds lang in gebruik zijnde meetkundige uitdrukkingen nog de grafische voorstelling van een derde veranderlijke grootheid te verbinden, en wel de intensiteit van het verschijnsel, dat in zijn verschillende fasen in de figuur is voorgesteld, tegelijk in dezelfde figuur op te nemen. Eenige voorbeelden zullen voldoende zijn om aan te toonen, hoe talrijk de toepassingen zijn van deze soort van grafische voorstellingen.

Wanneer men onderstelt dat een waarnemer zich in een zeker punt van een vlak bevindt, dan zullen verschillende rechte lijnen of stralen, uit dat punt als middelpunt naar verschillende zijden van het vlak getrokken, voor hem de juiste aanwijzers zijn voor verschillende richtingen. Zoo verdeelt bijv. de windroos den omtrek van den horizon in 32 gelijke deelen; de stralen, naar deze deelpunten getrokken, vormen 32 gelijke sectoren, wier middelpuntshoeken allen  $11^{\circ}15'$  bedragen; een dergelijke eenvoudige figuur stelt ons in staat met een bijzondere juistheid de windrichting te bepalen.

**Voorstelling der richtingen, waarin vallende sterren zich bewegen.**

De sterrekundigen stellen gewoonlijk de richtingen, waarin vallende sterren zich bewegen, door grafische figuren voor. Wanneer de aarde in haar jaarlijksche beweging de baan van een groep dezer hemellichamen doorsnijdt, ziet de waarnemer deze sterren voortschieten in verschillende richtingen, welke zich vertoonen als stralen, die zich uit een in sommige gevallen veranderlijk punt des hemels verspreiden.

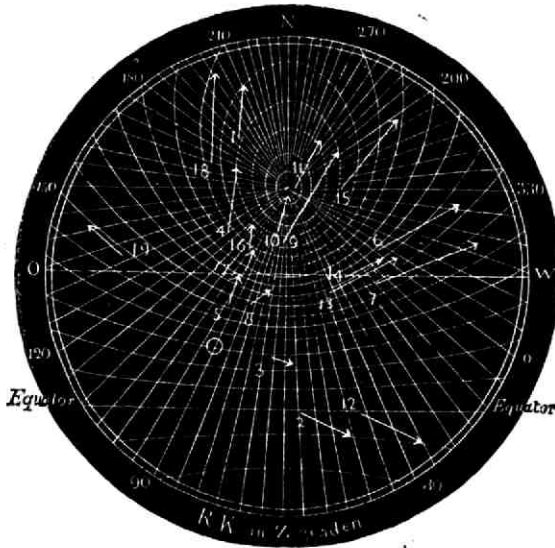


Fig. 46. Richting van de beweging van vallende sterren, met betrekking tot een punt, gelegen in de nabijheid van  $\varrho$  van Orion.

Fig. 46 geeft ons een beeld van de beweging van vallende sterren; het verschijnsel werd waargenomen van 18 tot 20 October 1876. Het punt waaruit de verschillende banen zich verspreiden, is door een cirkeltje in de figuur aangeduid; volgens A. HERSCHEL kwam dit punt overeen met de ster  $\varrho$  van Orion.

**Grafische voorstelling van de richting, het aantal en de intensiteit der winden.**

Om voor een bepaalde plaats de windrichting in de hoofdstreken grafisch voor te stellen en daaruit te doen zien, welke winden in het tijdsverloop van een jaar op die plaats meer of minder voorkwamen, trekt men uit een punt lijnen in de verschillende windrichtingen en neemt de lengte van elk dier lijnen, van dit punt uit gemeten, evenredig aan het aantal malen, dat de wind in zoodanige richting gewaaid heeft.

In fig. 47 is een dergelijke windkaart voorgesteld; de lengte van 1 millimeter duidt aan, dat de wind 3 dagen in een bepaalde richting heeft gewaaid; bedraagt dus de lengte op de noordwestrichting 4 centimeter, dan wordt daardoor aangegeven dat de noordwestewind gedurende 40 dagen van het jaar heeft gewaaid.

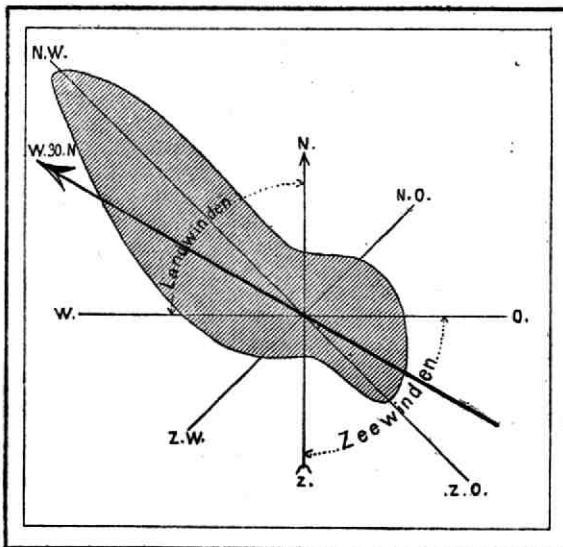


Fig 47. Grafische voorstelling van de betrekking tusschen het aantal der winden, die in verschillende richtingen gedurende een jaar te *Aigues-Mortes* hebben gewaaid.

De figuur toont op een sprekende wijze aan, dat de landwinden te *Aigues-Mortes* tot de meest heerschende behooren.



\* Men kan in dergelijke windkaarten ook tevens de intensiteit van de winden, die in de verschillende richtingen gewaaid hebben, voorstellen; de intensiteit of sterkte van den wind wordt gewoonlijk uitgedrukt in het aantal kilogrammen drukking, welke hij op een oppervlakte van een vierkanten meter uitoefent; neemt

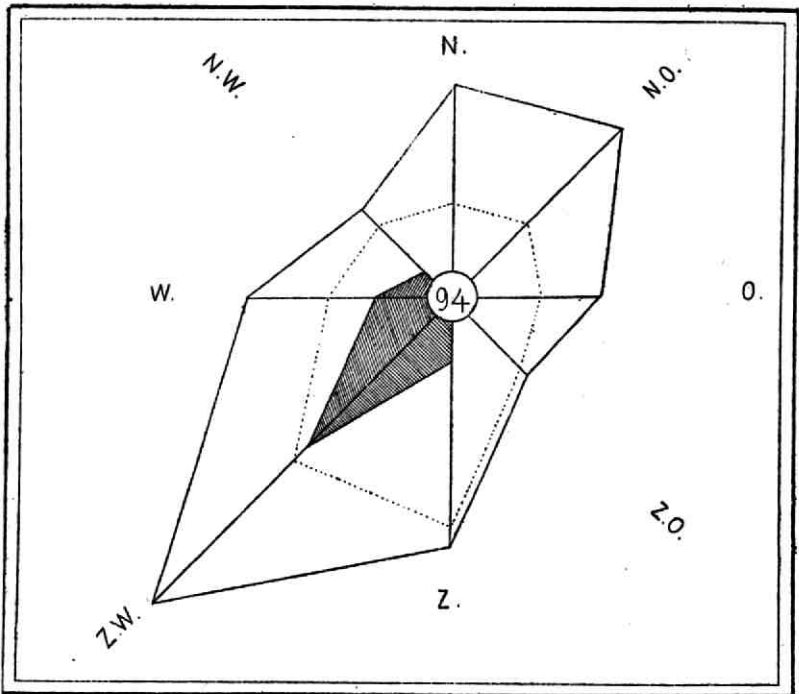


Fig. 48. Windkaartje voor het jaar 1880, volgens waarnemingen te Utrecht gedaan, voorstellende het aantal en de intensiteit der winden. De getrokken lijn stelt het gemiddeld aantal, de stippellijn de intensiteit der winden voor. De intensiteit is gerekend naar het aantal kilogrammen drukking op 1 M<sup>2</sup>. De gearceerde figuur is verkregen door het verschil te nemen der tegenoverstaande sectoren.

men dus op de verschillende lijnen ook lengten, welke evenredig zijn met het bedrag der drukking, dan wordt zoowel de frequentie als de intensiteit der winden in de verschillende richtingen in één figuur voorgesteld.

De waarnemingen te Utrecht in 1880 gedaan, geven een windkaart, die in fig. 48 is voorgesteld. 1)

De veelhoek, door de getrokken lijn ingesloten, geeft het aantal winden, die, door de gestippelde lijn begrensd, de intensiteit der winden aan.

De geëroceerde figuur geeft het overwicht van elken wind boven den juist daartegenoverstaanden aan; het getal 94 duidt de stilten aan. \*

Deze laatste grafische figuren verschillen vooral van de in de vorige hoofdstukken beschouwde hierin, dat zij niet zooals vroeger met behulp van rechthoekige coördinaten zijn ontworpen; zij behooren tot het zoogenaamd stelsel van *poolcoördinaten*, dat bijzonder geschikt is voor het aanduiden van richtingen. 2) Neemt men echter in aanmerking dat door deze soort van figuren niet wordt aangetoond hoe de verschijnselen, die daarin zijn voorgesteld, in de opvolgende tijden veranderen, dan zal men de noodzakelijkheid inzien van een wijziging van deze wijze van voorstelling der windrichting; nu kan men door een kleine kunstgreep dergelijke figuren gemakkelijk tot een rechthoekig coördinatenstelsel terugbrengen. Stellen wij ons namelijk voor dat een cirkelomtrek in een aantal gelijke deelen is verdeeld, en dat elk dier deelen overeenkomt met een bepaalde richting van den wind; wanneer men zich nu dien cirkelomtrek in eenig punt doorgeknipt en vervolgens als een rechte lijn in het vlak ontwikkeld denkt, dan zal elk der cirkelbogen van bijv.  $11^{\circ}15'$  een rechlijnige verdeling worden van de verkregen rechte lijn die men als abscissen-as aanneemt, terwijl dan de tijddeelen in uren of dagen op de ordinaten-as kunnen worden afgemeten.

Dat deze wijze van grafische voorstelling, waarbij rekening wordt gehouden met de oogenblikken waarop de veranderingen

1) \* Deze figuur alsmede een aantal grafische figuren, welke betrekking hebben op enkele meteorologische verschijnselen in ons land, welke figuren later ter sprake zullen worden gebracht, zijn door den hoogleeraar BUYS BALLOT welwillend voor dit werk afgestaan. \*

2) \* Om de plaats van een punt in een vlak door middel van poolcoördinaten te bepalen, geeft men aan op welken afstand dit punt is verwijderd van een bepaald punt (*pool*) eener aangenomen rechte lijn (*as*) en welken hoek (*anomalie*) deze afstand (*voerstraat*) met de as maakt. \*

plaats grijpen, een onmisbaar voordeel oplevert, behoeft wel niet verder betoogd te worden. Hoe zou het anders bijv. mogelijk zijn, indien men bij de voorstelling van meteorologische verschijnselen geen rekening hield met den tijd, om de snelheid te beoordeelen waarmede een stormwind zich over de aardoppervlakte verplaatst? Deze beoordeeling wordt toch dan alleen gemakkelijk wanneer in de verschillende stations de oogenblikken, waarop aldaar een windvlaag werd waargenomen, in minuten en sekonden nauwkeurig zijn opgeteekend; het vergelijken van de verschillende lijnen, in de stations ontworpen, zal dan kunnen leiden tot de bepaling van de snelheid van den wind.

Op een dergelijke wijze behooren ook de veranderingen van de magneetnaald, die in verschillende observatoria gelijktijdig worden waargenomen, te worden voorgesteld. In elk meteorologisch en magnetisch observatorium worden namelijk met kleine tusschenpoozen de schommelingen van de magneetnaald nauwkeurig waargenomen om daaruit de veranderingen op te sporen, die de intensiteit van het aardmagnetisme, de inclinatie en de declinatie voortdurend ondergaan. \* Een magneetnaald, die zich om een vertikale as vrij kan bewegen, wijst niet juist naar het noorden, maar plaatst zich in een vlak (*magnetische meridiaan*) dat met den astronomischen meridiaan van de plaats, waar de magneetnaald zich bevindt, een grooteren of kleineren hoek maakt; dezen hoek noemt men de *afwijking* of *declinatie* der magneetnaald. Plaatst men de magneetnaald zoodanig dat zij zich in het vlak van den magnetischen meridiaan vrij om een horizontale as, in haar zwaartepunt aangebracht, kan bewegen, dan zal zij niet in onverschillig evenwicht zijn, maar een bepaalden hoek maken met het horizontale vlak; deze hoek wordt de *inclinatie* der magneetnaald genoemd. Terwijl de declinatie, inclinatie en magnetische intensiteit voor de verschillende plaatsen der aarde een verschillend bedrag hebben, zijn zij ook op een zelfde plaats voortdurend aan veranderingen onderhevig; deze veranderingen noemt men *storingen*; men onderscheidt *seculaire storingen*, die in tijdvakken van een zeker aantal jaren in denzelfden zin geschieden, en *dagelijksche storingen*, die in elk etmaal met kleine wijzigingen vrij geregeld terugkeeren. Ook neemt men soms *plotselinge storingen* waar, die zeer snel en in ongelijk bedrag op de ver-

schillende punten der aarde plaats hebben en gewoonlijk in verband staan met aardbevingen of met het verschijnsel van het noorderlicht; ook de werking van zon en maan op de magneetnaald (vergelijk pag. 62) is hoogst belangrijk. \* Wij zullen met een paar voorbeelden aantonen hoe deze storingen grafisch worden voorgesteld.

### Declinatie-lijnen.

Het gebruik van rechthoekige coördinaten verdient bij het grafisch voorstellen van magnetische storingen verre de voorkeur boven poolcoördinaten. In fig. 49 geven wij een voorbeeld van de grafische voorstellingen van dagelijksche storingen in de declinatie, die gelijktijdig in het noordelijk en het zuidelijk halfmond, te *Toronto* ( $43^{\circ}$  noorderbreedte) en te *Hobarttown* ( $43^{\circ}$  zuiderbreedte), zijn waargenomen.

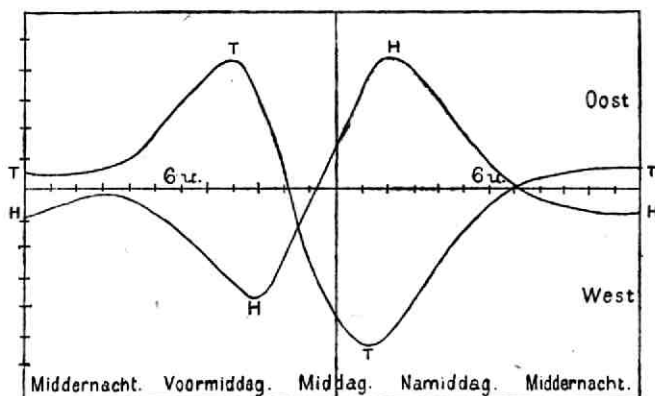


Fig. 49. Dagelijksche storingen in de magnetische declinatie, ter vergelijking voor het noordelijk en zuidelijk halfmond voorgesteld, naar RADAU.

De schommelingen, wier amplitude slechts eenige minuten draagt, hebben beurtelings in de richting van oost naar west, en van west naar oost plaats; bovendien zien wij dat de schommelingen in het noordelijk en zuidelijk halfmond tegengesteld zijn.

Wanneer men de lijn T van de linker naar de rechter zijde volgt, dan ziet men dat te *Toronto* in het noordelijk halfmond de noordpool van de naald zich van 8 uur des voormiddags tot

ongeveer 2 uur in den namiddag naar het westen verplaatst, om daarna weer in haar vroegeren stand terug te keeren met een snelheid die vooral na zonsondergang sterk vermindert.

Door de lijn H, voor *Hobarttown* ontworpen, te volgen, ontwaart men dat de magnetische declinatie in het zuidelijk halfmond juist tegengestelde veranderingen ondergaat.

De storingen, die den naam van *magnetische onweders* dragen, vertoonen zich gelijktijdig, gewoonlijk in denzelfden zin voor alle punten, die op een zelfden magnetischen meridiaan gelegen zijn. Zoo werden in drie steden, ongeveer op denzelfden magnetischen meridiaan gelegen, *Upsala*, *Göttingen* en *Milaan*, gelijktijdig dezelfde veranderingen van declinatie van den 28<sup>en</sup> tot 29<sup>en</sup> Augustus 1841 waargenomen; alleen was de storing sterker, zooals dit altijd het geval is voor de meer noordelijk gelegen stations (fig. 50).

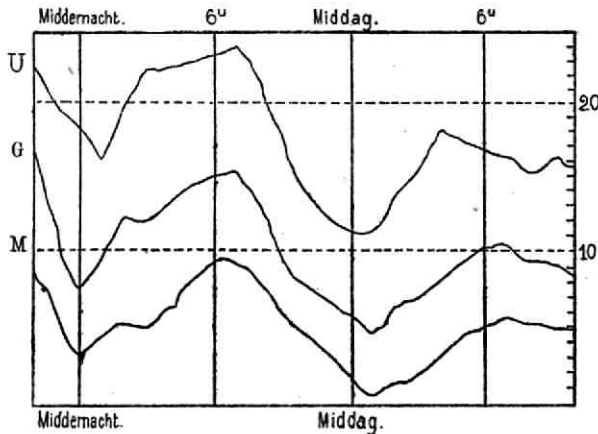


Fig. 50. Storingen in de magnetische declinatie, gelijktijdig te *Upsala*, *Göttingen* en *Milaan* waargenomen, naar RADAU.

Welk een gebrekkige voorstelling zou men over 't algemeen hebben van de veranderingen die de aardmagneetkracht ondergaat, wanneer men alleen tabellen met dorre cijfers bezat in plaats van deze lijnen, die men zoo gemakkelijk met elkaar kan vergelijken en die ons in één oogenblik aantoonen wat er op de verschillende plaatsen van onze aarde gebeurt!

### Grafische voorstelling van een marschroute.

De natuurlijke voorstelling van een doorloopen weg is een lijn, die op een geografische kaart in teekening is gebracht en die loopt over de verschillende punten die de plaatsen aanduiden, welke gedurende den marsch zijn aangedaan. Nu laat zich met een dergelijke voorstelling ook gemakkelijk de aanwijzing van een of andere verandering verbinden die onderweg heeft plaats gegrepen. Een sprekend voorbeeld van een dergelijke grafische voorstelling wordt ons gegeven in fig. 51.

In deze figuur is de veldtocht van het Fransche leger naar Rusland van 1812—1813 grafisch voorgesteld door MINARD; deze teekening, ontworpen met behulp van een tal van statistische en historische opgaven, die zorgvuldig uit verschillende bronnen zijn verzameld, toont ons de trapsgewijze vermindering van het leger door het onophoudelijk smaller worden van een strook, waarvan de breedte het aantal manschappen van het leger van Napoleon uitdrukt.

Wij zien bij het begin van den veldtocht op de oevers van de Niemen een breede gearceerde strook, die de sterkte van het voortrukkende leger: 422 000 man voorstelt; naarmate het leger voortrukt vermindert het steeds, zooals blijkt uit het voortdurend smaller worden der strook; bij Moskou zien wij deze tot op ruim een vierde van de breedte verminderd. De zwarte strook van Moskou naar de Niemen stelt den terugtocht voor; al smaller en smaller zien wij haar worden, tot aan de Niemen nog slechts een dun zwart streepje ons aanduidt dat nog niet het één honderdste gedeelte van het groote leger aan de verschrikkelijke ramp is ontkomen. De namen van de plaatsen hier en daar bij den weg aangegeven, herinneren ons de verschillende gebeurtenissen die gedurende den veldtocht plaats hadden, terwijl de aanwijzingen van een temperatuurslijn, aan de onderkant der figuur, ons verder de verwoesting van het ontzaglijke leger verklaren.

MINARD heeft meermalen op deze wijze de marschroute van legers en de verliezen, welke zij onderweg ondergingen, voorgesteld: zoo heeft hij onder anderen *De Terugtocht der Tienduizend* in teekening gebracht; ook heeft hij op deze wijze het leger van



Hannibal voorgesteld, dat, na in Spanje geland te zijn, door Gallië rukt, vervolgens de Rhône en de Alpen overtrekt en zich meester maakt van Italië. Al deze grafische figuren maken een treffenden indruk, maar nergens bereikt de grafische voorstelling van een veldtocht dien graad van stoute welsprekendheid als in fig. 51, waardoor inderdaad de pen van den geschiedschrijver in de schaduw schijnt gesteld te worden.

### Grafische voorstelling van een luchtreis.

In fig. 52 is de opstijging van den luchtballon *Le Zenith* voor-

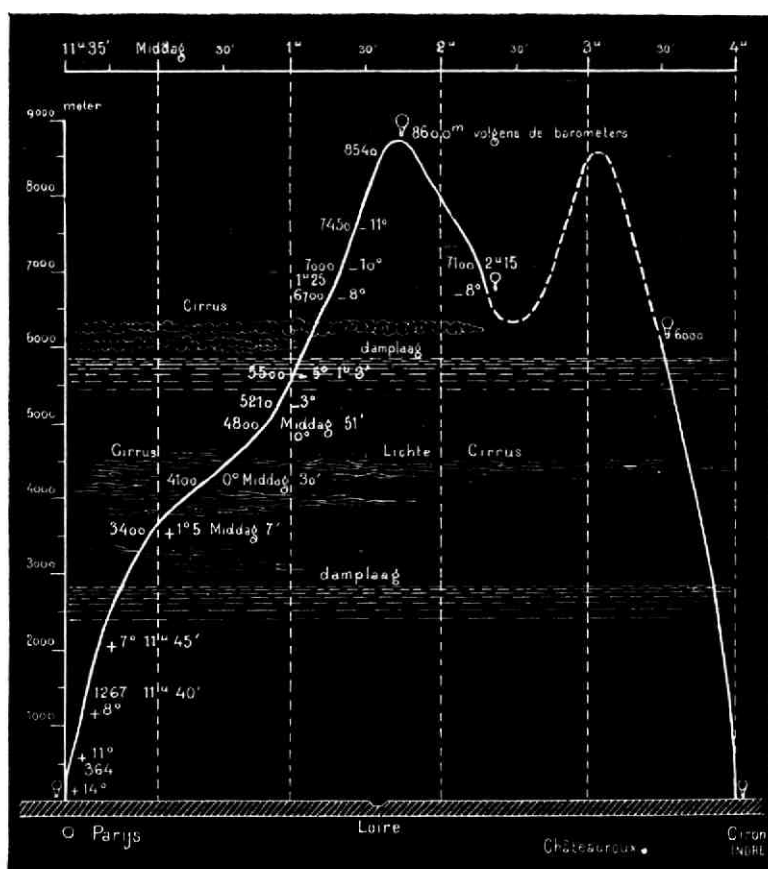


Fig. 52. Opstijging van den luchtballon *Le Zenith*, 15 April 1875.

gesteld door GASTON TISSANDIER, die deze luchtreis, welke zooals



algemeen bekend is zeer noodlottig affiep, heeft overleefd. Deze lijn stelt de hoogten, tot welke de ballon is opgestegen, in funktie van den tijd voor. Tevens zijn in deze figuur de wolken- en damp-lagen op verschillende hoogten aangegeven, zoodat men den weg van den ballon langs een soort van topografische kaart van den dampkring kan volgen. Op deze wijze kunnen de luchtreizigers veel bijbrengen tot de meteorologische kennis voorzoover betreft de samenstelling van den dampkring en de temperaturen op verschillende hoogten.

Daar in deze figuur de lijn in funktie van de hoogte en van den tijd is uitgedrukt, is er dus geen rekening gehouden met de doorloopen afstanden en met de baan, gevolgd met betrekking tot de aardoppervlakte. TISSANDIER heeft daarom nog andere figuren ontworpen, die de banen, uit deze twee verschillende oogpunten beschouwd, tegelijkertijd voorstellen 1). Met behulp van deze twee lijnen kan men voor elk oogenblik de plaats van den luchtballon in de ruimte bepalen; men behoeft dan slechts het snijpunt te zoeken van de hoogtelijn met de vertikale lijn, die uit eenig punt van de aardbaan wordt getrokken. De tijd wordt in deze figuren aangegeven door cijfers, die bij de kromme lijnen geplaatst zijn op afstanden, die verschillen naargelang van de kracht van den wind.

Het bestudeeren van zulke figuren met dubbele banen mag bijzonder nuttig genoemd worden, daar men uit de verschillende buigingen der lijnen alle veranderingen in kracht en in richting van de luchtbewegingen op verschillende hoogten kan vinden.

#### **Statistische kaarten.**

Om een tal van verschijnselen, die vooral tot het gebied der statistiek behooren, aanschouwelijk voor te stellen, kunnen afbeeldingen en kaarten die ontworpen zijn in denzelfden geest als de hierbovenbeschouwde, groote diensten bewijzen. Zoo kan men op deze wijze zeer duidelijk voorstellen langs welke wegen bepaalde handelsprodukten in meer of minder groote hoeveelheid naar verschillende gewesten worden vervoerd.

1) *La Nature*, 1875 pag. 297

· MINARD heeft onder anderen een kaart ontworpen, waarop de verspreiding der steenkolen, die gedurende het jaar 1850 door Engeland zijn uitgevoerd, naar de verschillende gewesten der aarde is voorgesteld.

Wil men een denkbeeld van deze kaart krijgen dan stelle men zich voor een gewone wereldkaart, waarop een aantal zwarte strepen, van meerdere of mindere dikte, van de verschillende punten der Engelsche kust naar onderscheidene plaatsen in Europa, Amerika, Indië en Australië zijn getrokken, zoodat het geheel veel gelijkenis vertoont met een reusachtige poliep, die van uit Engeland hare talrijke armen over de aarde uitspreidt. De dikte of breedte dezer strepen geeft in duizendtallen van tonnen de hoeveelheid steenkolen aan, welke langs een bepaalden weg is vervoerd. Zoo loopt een dezer lijnen, wier breedte een bedrag van 593 000 ton vertegenwoordigt, naar de kusten van Frankrijk; een andere breede lijn richt zich naar de Noordzee en vertakt zich hier naar de verschillende havens, die aan deze zee zijn gelegen. Eindelijk loopt een lijn, die een bedrag van 419 000 ton voorstelt, door de straat van Gibraltar en splitst zich in verschillende takken, die zich naar de havens der Middellandsche Zee wenden; weer andere lijnen zijn gericht naar de oostkust van Amerika en breiden hare armen, langs de kapen strijkende, tot in de Stille Zuidzee en de Indische Zee uit.

Deze zoo duidelijk sprekende voorstelling van het handelsverkeer en van de daarbij gevolgde wegen wordt vooral in Frankrijk en België veel aangewend.

Na door een nauwkeurige telling het aantal der voertuigen bepaald te hebben, die zich jaarlijks op elk der hoofdwegen van Frankrijk bewegen, heeft men, in navolging van MINARD een reiskaart van Frankrijk kunnen ontwerpen, waarop het betrekkelijk verkeer langs elk der landwegen is voorgesteld; tevens is door cijfers het betrekkelijk bedrag van het goederenvervoer op de verschillende spoorwegen aangeduid. Aan deze kaart is fig. 39 ontleend, die de landstreek tusschen *Rouaan* en *Evreux* voorstelt.

De breedte van elk der wegen geeft het bedrag van het verkeer aan; wij zien dat de beweging het grootst is in de nabijheid der steden en vooral van de dicht bevolkte steden. In de buurt van *Evreux* is het cijfer 294 verkregen; te *Rouaan* stijgt dit cijfer

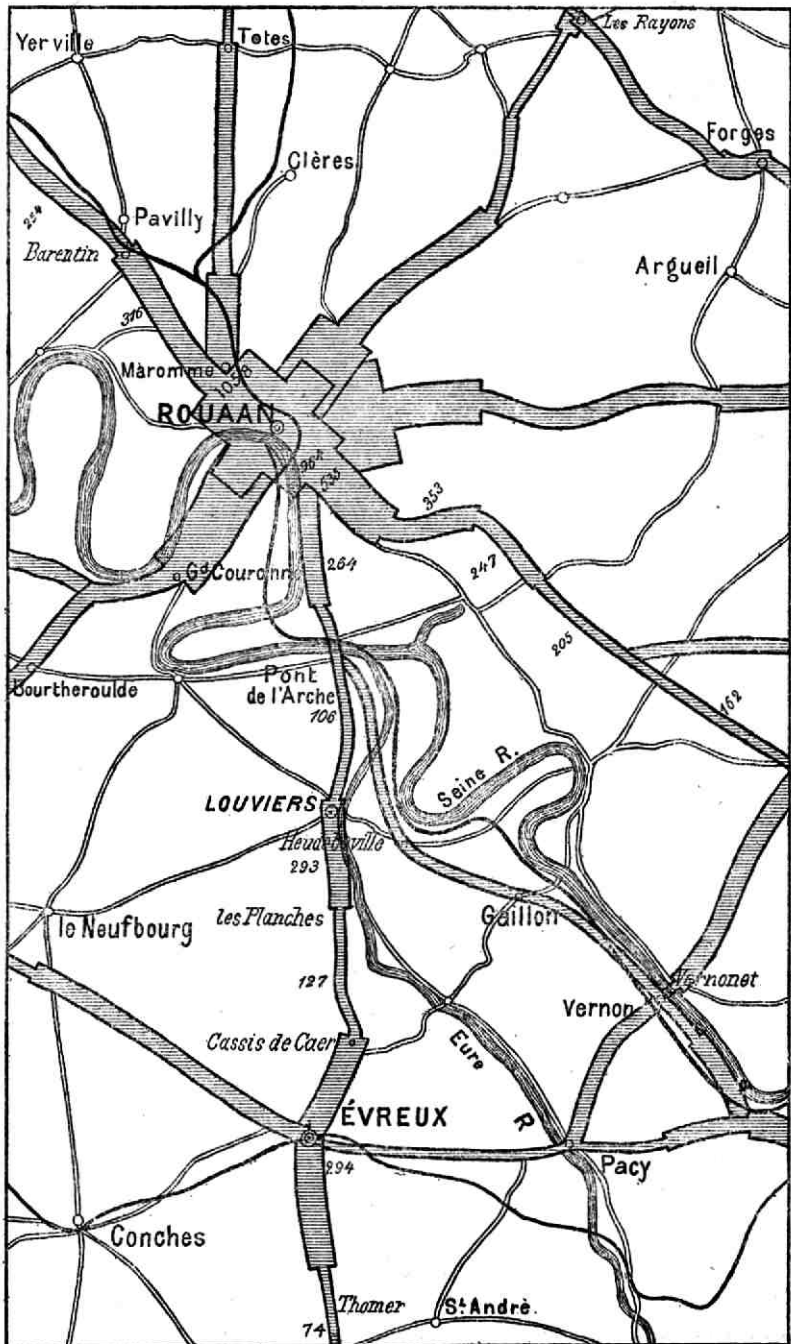


Fig. 53. Grafische voorstelling van het verkeer op verschillende wegen, ontleend aan de reiskaart van Frankrijk, volgens het systeem van MINARD.

voor den hoofdweg tot 1058 en daalt dan langzamerhand tot 964, 535, 353, 247, 205 en 162 naarmate men zich verder van de stad verwijderd.

Volgens deze methode kan men ook kaarten ontwerpen, die aanwijzen welke deelen van een omliggend terrein door een fort of een vesting worden bestreken; de grootte der deelen zal natuurlijk verschillend zijn naar het kaliber of de schootsverheid der vuurmonden, die in een bepaalde richting zijn opgesteld of ook naar de hoogte van het terrein.

Zoo zijn ook de kringen, binnen welke het licht van vuurtorens nog zichtbaar is, afhankelijk van de hoogte der torens en van de lichtsterkte. Teekent men dus op een kaart een zeekust met aanwijzing van de verschillende kustlichten, dan kan men zoodoende nagaan of het aantal en de sterkte der lichten voor de geheele kust voldoende is; want indien de cirkels, uit de verschillende plaatsen als middelpunten beschreven met stralen, wier lengten evenredig zijn met de uitgestrektheid van het verlichte terrein, elkaar snijden, dan zal natuurlijkerwijze een schip geen enkel gevaarlijk punt van de kust kunnen naderen, zonder door een kustlicht gewaarschuwd te worden.

Op dezelfde wijze kan men soms de uitgestrektheid van een gebied, waarover de handel van een fabriekstad of van een industrieel centrum zich uitbreidt, grafisch voorstellen. Tot elk zoodanig centrum behoort toch als 't ware een bepaald gebied, waarbuiten de produkten niet meer worden vervoerd; terwijl toch bij een vesting het door haar bestreken terrein hoofdzakelijk bepaald wordt door de schootsverheid, zijn het hier de transportkosten die het gebied bepalen, waarover de produkten nog kunnen vervoerd worden, aangezien door een te hooge opvoering dezer kosten een voordeelige concurrentie met andere dergelijke centra onmogelijk wordt.

#### **Kaarten met tinten of kleuren.**

De gewone landkaarten kunnen nog op een andere wijze ten behoeve van de statistiek worden aangewend. Door aan de verschillende gewesten ongelijke tinten of kleuren te geven kan men namelijk de verschillen in intensiteit van eenig verschijnsel voor de verschillende gewesten, op deze kaart voorgesteld, duidelijk uitdrukken.

Op de oudste kaarten ziet men reeds voor de verschillende landstreken de dieren of planten voorgesteld, waardoor die gewesten gekenmerkt zijn. Die wijze van voorstelling is in onze dagen nog verder opgevoerd. Zoo geeft men op de geologische kaarten door verschillende kleuren of tinten de verschillende aardlagen of bestanddeelen van het terrein aan; op de landbouwkaarten wordt op dezelfde wijze de verspreiding van verschillende gewassen voorgesteld.

Volgens de methode van DUPIN volgt men een dergelijke wijze van voorstelling om de verhouding tusschen de intensiteit van een natuurkundig of van een sociaal verschijnsel in verschillende landen of gewesten te beoordeelen; de meerdere of mindere mate van intensiteit wordt dan gewoonlijk door meer of minder donkere tinten aangeduid.

Als voorbeeld hiervan geven wij in fig. 54 de vergelijkende statistiek der misdrijven voor de verschillende departementen van Frankrijk in 1825, -26 en -27.

Om de aanwijzingen, die door de tinten moeten worden uitgedrukt, nog nauwkeuriger voor te stellen, plaatst men hier gewoonlijk bij elke landstreek een getal, dat aanwijst op hoeveel duizend inwoners één misdadiger volgens de statistische opgaven voorkomt. Deze wijze van voorstelling kan voor een groot aantal sociale verschijnselen worden aangewend. Zoo kan men van de statistiek van het armwezen, van den betrekkelijken levensduur, van de sterfte van kinderen op verschillenden leeftijd, van de verspreiding van het onderwijs, enz. grafische voorstellingen maken geheel volgens dit zelfde beginsel. Door het onderling vergelijken van statistische kaarten komt men dikwijls tot belangrijke gevolgtrekkingen, getuige deze troostrijke opmerking, dat het aantal misdrijven het kleinst is in die departementen waar het onderwijs het meest verspreid is.

Een zeer belangrijke tak van de statistiek is de zoogenaamde medische geografie, die zich bezighoudt met de studie van de geografische verspreiding van bepaalde ziekten en lichaamsgebreken. Vooral aan den arbeid van militaire geneeskundigen heeft men de ontwikkeling der medische geografie en de samenstelling van talrijke kaarten te danken, met behulp waarvan men de noodige aanwijzingen verkrijgt omtrent de lichaamslengte van de

verschillende bewoners van een land of het meer of minder voorkomen van ziekten of gebreken zooals bijziendheid, breuken, aderspatten en aderbreuken, hoofdzeer, dronkenschap, enz.

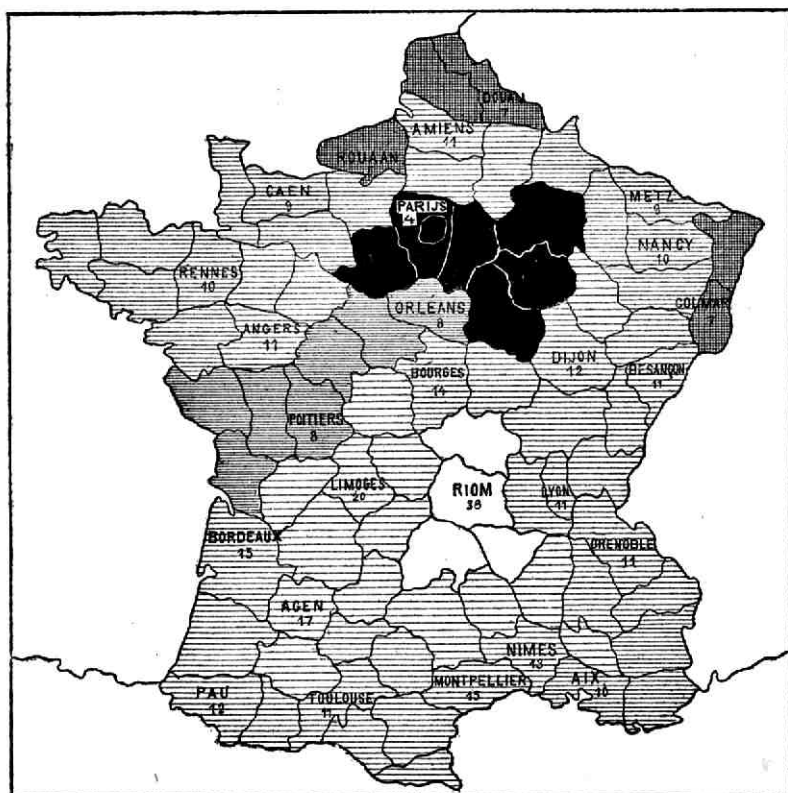


Fig. 54. Statistische kaart van de misdrijven begaan in de verschillende departementen van Frankrijk in 1825, 1826 en 1827, naar BALBY en GUERRY.

Deze kaart betreft de misdaden tegen eigendommen: de cijfers wijzen aan op hoeveel duizend inwoners één misdadiger voorkomt.

Ofschoon deze kaarten zeer belangrijk kunnen genoemd worden, zijn zij toch in velerlei opzicht nog voor verbetering vatbaar.

Vooreerst zijn de opgaven, naar welke zij worden ontworpen, dikwijls uitsluitend ontleend aan de uitkomsten, die bij het keuren der dienstplichtigen worden verkregen. Zoo worden in Frankrijk de opgaven gewoonlijk departementsgewijze gedaan, zonder aanwijzing van arrondissementen, kantons of gemeenten waar een

bepaalde ziekte meer of minder voorkomt; zoodoende kan het gebeuren dat een departement op een geneeskundige kaart de tint van gemiddelde intensiteit krijgt, terwijl in de onmiddellijk naast elkaar gelegen deelen van dit departement toch in werkelijkheid het beschouwd verschijnsel in zijn grootste en kleinste intensiteit voorkomt.

Verder is de methode om de betrekkelijke intensiteit van een verschijnsel door verschillende tinten voor te stellen vrij onvolgende om daardoor de veranderlijke betrekkingen aan te geven die de statistiek aanwijst. Hoogstens kunnen drie of vier tinten worden aangewend om zoodoende drie of vier graden van intensiteit te bepalen, terwijl zij dan nog in ieder geval vergezeld moeten zijn van cijfers om de eigenlijke waarde te doen kennen. Maar ook die cijfers verliezen hun waarde naarmate zij talrijker worden, doordat zij dan een groote verwarring en onduidelijkheid in de voorstelling van het verschijnsel teweegbrengen. Daarom is het wenschelijk meer gebruik te maken van een wijze van voorstelling, die tegelijkertijd juistheid en duidelijkheid in zich vereenigt; deze wijze van grafische voorstelling zal in het volgende hoofdstuk worden besproken.

#### **Graad van ontwikkeling van den tastzin; vorm en uitgestrektheid van het gezichtsveld.**

De physiologen en geneesheeren hebben de verschillende graden van gevoeligheid voor de verschillende plaatsen van de huid bepaald om daardoor te weten te komen in welke punten het gevoel het fijnst is en ook die plekken te kennen, waar de gevoeligheid voor pijn is verdwenen. Om den graad van gevoelsscherpte te bepalen handelt men als volgt: een passer wordt met beide punten op de huid geplaatst zoodat men daardoor, bij genoegzame passerwijdte, de gewaarwording krijgt van een dubbelen prik; nu zal men voor bepaalde plekken, waar het gevoel weinig is ontwikkeld, de passerpunten tamelijk ver van elkaar moeten verwijderen om nog de gewaarwording van twee prikken teweeg te brengen. Op deze wijze kan men den graad van gevoeligheid omgekeerd evenredig stellen aan den afstand der passerpunten, waarbij de twee indrukken nog duidelijk worden onderscheiden;

hoe dichter men de passerpunten tot elkaar kan doen naderen, zonder dat de twee indrukken tot één samensmelten, des te hooger is de graad van gevoeligheid voor die plek.

Men kan nu verder op een model van het menschelijk lichaam (bijv. op een model van papier-mâché) door streepjes de verschillende passerwijdten aangeven, waarbij de dubbele gewaarwording nog bleef bestaan, en verder op dit model voor de verschillende plekken van de huid cirkeltjes beschrijven, wier middellijnen gelijk zijn aan bovengenoemde streepjes. Op die wijze vindt men dat de verschillende plekken van het lichaam zeer verschillende graden van gevoeligheid bezitten, en dat juist voor die deelen de gevoeligheid het grootst is, waarbij door oefening de tastzin het meest is ontwikkeld, zooals onder anderen bij de vingertoppen.

Deze resultaten stemmen geheel overeen met de uitkomsten

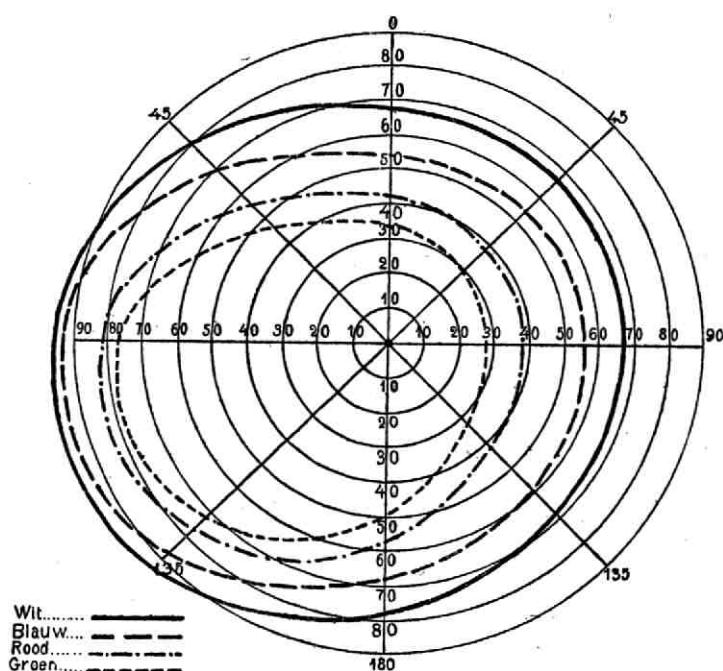


Fig. 55. Gevoelige deelen van het netvlies. De gevoeligheid voor de verschillende kleuren wordt door concentrische lijnen begrensd.

van de onderzoekingen van BLOCH; deze heeft onderzocht welke



deelen van het lichaam het meest in staat waren om twee opvolgende indrukken, bijv. twee electriche schokken of twee snel op elkaar volgende wrijvingen van elkaâr te onderscheiden. Hij vond voor die lichaamsdeelen dezelfde, waar ook de tastzin, volgens de eerste waarneming, het meest ontwikkeld is.

De graad van gevoeligheid voor pijn wordt bepaald door middel van prikken die door den patient nu eens wel, dan weer niet worden gevoeld; op deze wijze laat zich op de huid de uitgestrektheid van een zoogenaamde ongevoelige plek bepalen. Men heeft bespeurd dat de grootte van die plekken dikwijls in verschillende oogenblikken bij zieken verandert.

De ophtalmologen volgen een overeenkomstige handelwijze om de grenzen voor het gezichtsveld voor elk der beide oogen te bepalen. Dit gezichtsveld wordt voor elk oog begrensd door den omtrek van de oogholte, door de meer of minder uitstekende deelen van den neus of door den wenkbrauwboog.

Ook bepalen zij de streek van het netvlies die nog gevoelig is voor elk der kleuren van het spectrum. Figuur 55, ontleend aan het werk van Dr. LANDOLT, toont aan dat de verschillende deelen van het netvlies, die voor de verschillende kleuren gevoelig zijn, begrensd worden door eenige concentrische kromme lijnen. Door hetgeen bij de figuur zelf is geschreven wordt een verdere verklaring hiervan onnoodig.

---

## VIJFDE HOOFDSTUK.

### ISOGRAFISCHE LIJNEN. 1)

Wijze waarop deze lijnen geconstrueerd worden. — Lijnen van gelijke hoogte. — Isobatische lijnen. — Isothermen, isochimenen en isotheren voor Europa. — Isorachiën. — Isogonen, isoclinen en isodynamen. — Lijnen van gelijke bevolking. — Lijnen van gelijke gemiddelde temperatuur. — Grafische voorstelling van de hoogte der zee op alle uren van den dag en voor alle dagen van een maand. — Grafische rekestafels. — Anamorfsche tafels.

Door de grafische lijnen, welke wij hier zullen beschouwen,

---

1) \* Onder den naam van *isografische lijnen* moet men verstaan lijnen, die de punten vereenigen welke een gelijk bedrag aanduiden. \*

worden de veranderingen van een grootheid met betrekking tot twee onafhankelijk veranderlijken voorgesteld; zij hebben dus ten doel een meer samengesteld begrip, dan waarvan tot hiertoe sprake was, aanschouwelijk voor te stellen en kunnen in vele gevallen de kaarten met tinten of kleuren, waarvan hierboven melding werd gemaakt en wier nadeelen ten opzichte van duidelijkheid en beknoptheid aldaar zijn aangetoond, vervangen.

Om het gebruik van deze lijnen door een zeer eenvoudig voorbeeld aan te toonen zullen wij de lijnen beschouwen, door middel waarvan men de afwisselingen in terreinhoogte in functie van de lengte en breedte voorstelt; wij kunnen deze lijnen noemen:

### Lijnen van gelijke hoogte.

Om deze lijnen te construeeren bepaalt men in het platte vlak (op de kaart) door middel van twee geografische coördinaten (lengte en breedte) de plaats van een aantal punten en geeft bij elk van die punten door een cijfer de hoogte aan, waarop de plaats, door dat punt voorgesteld, boven den zeespiegel is gelegen; heeft men zodoende een aantal dicht bij elkaar gelegen punten verkregen, dan vereenigt men door een lijn al die punten, die een zelfde hoogte vertegenwoordigen; herhaalt men deze handelwijze voor al de verschillende hoogten, die in het vlak zijn aangewezen, dan zullen de verschillende kromme lijnen van het beschouwde terrein een voorstelling *en relief* geven, zoodat men als 't ware de projectie van het terrein op het platte vlak heeft geconstrueerd.

Algemeen bekend zijn de kaarten *en relief* die, bestaande uit bladen gesneden karton welke in lagen op elkaar zijn geplaatst, een getrouwe nabootsing geven van een bergachtig land; elk van die kartonnen lagen, van bijv. een millimeter dikte, stelt een hoogteverschil van bijv. 10 meter voor, zoodat een heuvel van 60 meter hoogte zal voorgesteld worden door zes boven elkaar geplaatste lagen, waarvan elke laag een kleineren omtrek heeft dan de daaronder liggende. De omtrekken van deze opvolgende lagen (m. a. w. de lijnen van gelijke hoogte), van boven bekeken, zullen zich als onregelmatige concentrische kromme lijnen voordoen, waarvan de grootste de laagste deelen, de kleinste de hoogste punten van het terrein aanduiden. Een dergelijke kaart *en relief* op een plat

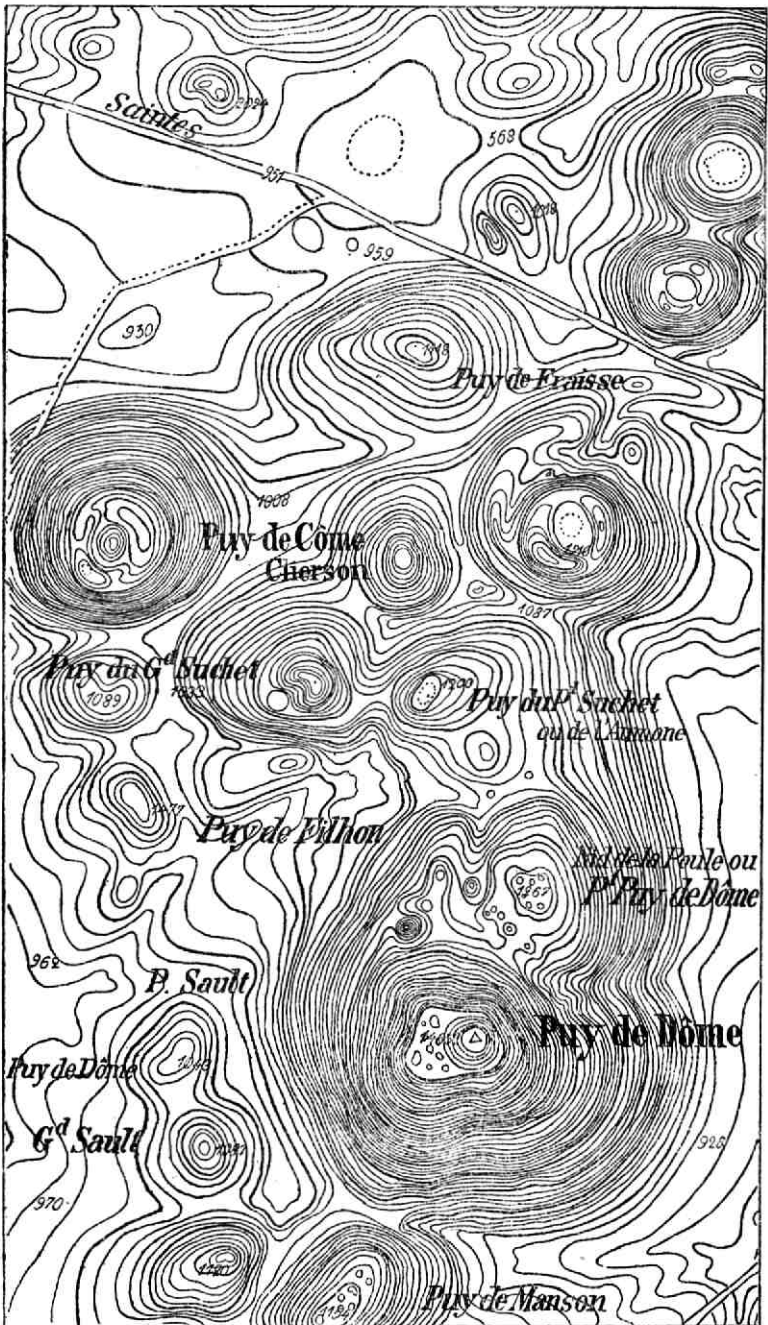


Fig. 56. Kaart van een streek van het Hoogland van Auvergne, waarop de hoogten met verschillen van 10 meter door lijnen zijn aangegeven, volgens BARDIN.

vlak geprojecteerd, zou ons de lijnen geven wier constructie wij hierboven vermeldden en die wij in fig. 56 zien voorgesteld.

De lijnen zijn hier voor elk hoogteverschil van 10 meter geconstrueerd, terwijl de verschillen ten bedrage van 50 meter telkens door eenigszins dikkere lijnen zijn voorgesteld. Er behoort weinig oefening toe om uit dergelijke voorstellingen een zeer duidelijk begrip van de glooiingen en afwisselingen van een terrein te krijgen.

Door middel van deze lijnen zijn dus nu in het platte vlak de ruimteverhoudingen voorgesteld, beschouwd volgens drie afmetingen (zie eerste hoofdstuk pag. 21).

Deze soort van lijnen schijnt reeds langen tijd geleden te zijn gebruikt. Reeds in de zestiende eeuw werden door BASSANTIN lijnen van gelijk bedrag aangewend voor het berekenen van de beweging der sterren.

In de zeventiende eeuw werden in Holland reeds kaarten vervaardigd waarop door lijnen van gelijke hoogte de kleine hellingen van den bodem werden aangeduid en welke dienden om daaruit het verval van de rivieren en kanalen te berekenen.

De Fransche geograaf PH. BUACHE heeft in zijn *Proeve van Natuurkundige Aardrijkskunde*, welke voorkomt in de Verslagen van de Fransche Akademie van Wetenschappen van 1752, het beginsel van deze wijze van grafische voorstelling uiteengezet, wier eerste toepassingen hij reeds in 1737 aan de Akademie had aangeboden. De kaarten van BUACHE vermelden de uitkomsten der peilingen van de diepten der zee op verschillende plaatsen.

In 1780 werd door DUCARLA, een Fransch hoogleeraar te Genève gevestigd, het stelsel van hoogtelijnen, dat door BUACHE in 't bizonder voor zeediepten was aangewend, toegepast op terreinhoogten en werd door hem de mogelijkheid aangetoond om de verschillende vaste deelen der aarde op deze wijze in tekening te brengen. Het schijnt echter dat deze methode zich in Frankrijk weinig heeft verspreid, want in 1804 werd zij als een nieuwe uitvinding door DUPAIN-TRIEL aangekondigd.

Tegenwoordig worden een aantal kaarten van den generalen staf volgens dit uitmuntend systeem ontworpen en het zal zeker niet lang meer duren of deze teekeningen zullen in alle opzichten met de kaarten *en relief* kunnen wedijveren.

Zooals wij reeds boven zeiden, zijn deze lijnen ook bijzonder

geschikt om de diepten der zee op verschillende plaatsen aan te duiden; aangezien de kennis van de diepte der bevaarbare zeeën een der noodzakelijkste dingen is voor de zeevaart, is het begrijpelijk dat ook deze lijnen het eerst voor het aanduiden van diepten zijn aangewend; met behulp van deze kaarten was het zeer gemakkelijk om de grenzen der bevaarbare gedeelten en dus ook de gevaarlijke punten aan te duiden. De aanwending van deze methode voor zeekaarten is echter niet bijzonder oud en ook niet zeer algemeen.

In lateren tijd heeft men van deze lijnen een zeer belangrijke toepassing gemaakt op meteorologisch gebied door kaarten te vervaardigen, waarop de toestand van den dampkring voor een gegeven oogenblik is voorgesteld door middel van lijnen van gelijken dampkringsdruk. Men heeft deze lijnen genoemd:

#### **Isobarische lijnen.**

Deze lijnen verbinden op een kaart die punten, voor welke op een bepaald oogenblik de dampkringsdruk dezelfde is; daar de barometer, waarmeê de dampkringsdruk bepaald wordt, in zeker opzicht de aanwijzer is van de dampkringshoogte voor elk punt der aarde, gelijken de kaarten waarop isobarische lijnen zijn geteekend veel op die, waarop de lijnen van gelijktijdigen vloed zijn voorgesteld.

Door de aanwijzing van de dampkringshoogte krijgen wij dus als 't ware een voorstelling van de oppervlakte des dampkrings, en wordt deze door de isobarische lijnen met de verschillende heuvels, vlakten en dalen voorgesteld; het spreekt van zelf dat echter de vorm van deze hoogten voortdurend verandert; door de meteorologische berichten leeren wij voor elken dag die veranderingen kennen, en de bergen en dalen, die door den barometer op den eenen dag worden aangewezen, zullen wij gewoonlijk den volgenden dag niet meer terugvinden.

Gewoonlijk worden op de kaarten, waarop lijnen van gelijken dampkringsdruk zijn voorgesteld, ook tevens de aanwijzingen van helder en regenachtig weêr gedaan, terwijl de windrichting voor elk punt door een pijltje is aangeduid. Deze verschillende aanwijzingen betreffende den toestand van den dampkring stellen den beschouwer in staat om het verband te begrijpen dat tusschen den dampkringsdruk, den regen en den wind bestaat.

Door het beschouwen van een meteorologische kaart ziet men als 't ware boven uit het luchtruim neder op de bewegingen, die op de oppervlakte van onze planeet in den dampkring plaats hebben. Nu en dan ontwaart men diepe afgronden in den dampkring, wier middelpunten overeenkomen met de minima van drukking; door de ligging der pijltjes, die de windrichtingen aangeven, ziet men dan verder dat deze dampkringsdiepten voorzien zijn van een snel draaiende beweging, die voor elk der halfronden steeds in denzelfden zin plaats heeft; het zijn maalstroomen, die zich met meer of minder snelheid van het zuidwesten naar het noordoosten verplaatsen: wij zien een cycloon die over Europa trekt en wiens komst waarschijnlijk reeds door de telegraaf is aangekondigd.

Figuur 57 toont ons den toestand van den dampkring voor het westelijk gedeelte van Europa op den 18<sup>en</sup> November 1864. De lijnen, die de punten van gelijken dampkringsdruk vereenigen, vormen eenige concentrische krommen, waarvan het middelpunt, het minimum van drukking ten bedrage van 729 millimeter, midden in Groot-Brittanje ligt. Naarmate de lijnen zich van dit middelpunt verwijderen, duiden zij een stijging in druk aan, met 5 mm. opklimmende. Daar men geen aanwijzingen had met betrekking tot den meteorologischen toestand op zee, zijn in de nabijheid der zeeën de lijnen afgebroken.

Om een dergelijke meteorologische kaart samen te stellen moet men al de aanwijzingen met elkaar verbinden, die door de Europeesche observatoria voor een zelfden dag en voor een zelfde uur zijn gegeven; hoe meer aanwijzingen men heeft, des te meer nauwkeurig en volmaakt zullen de lijnen zijn. Gewoonlijk zijn op die kaarten reeds van te voren de plaatsen, waar de meteorologische observatoria zijn gelegen, voorgesteld; men teekent nu bij ieder van hen den aldaar waargenomen dampkringsdruk op en ontwerpt zoo doende de lijnen van gelijke drukking; de getallen bij die lijnen geplaatst, wijzen dan vrij nauwkeurig den druk in millimeters aan.

Wanneer nu deze lijnen voor opvolgende verschillen van 5 millimeter worden ontworpen, zal het dikwijls gebeuren dat zij niet juist door de plaatsen der meteorologische observatoria loopen; men moet dan het vermoedelijk punt, waardoor de lijn moet gaan, bepalen

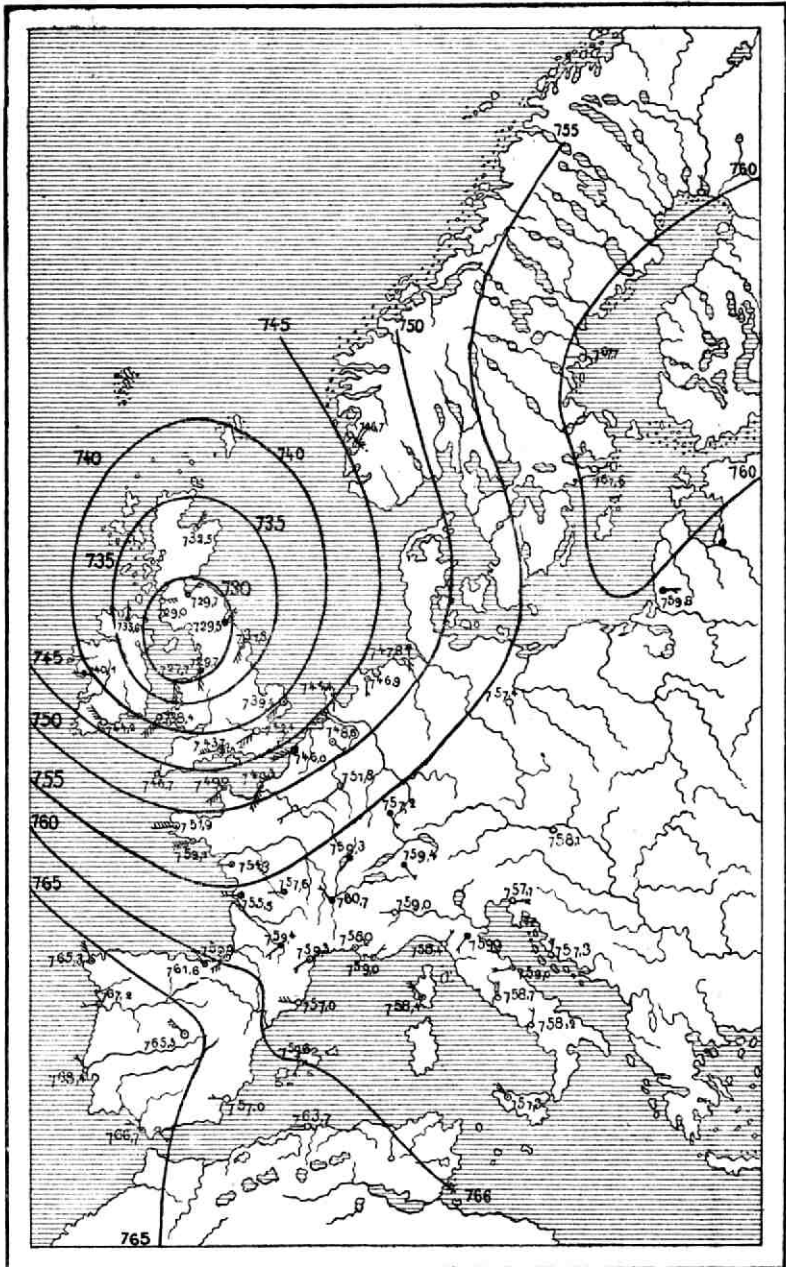


Fig. 57. Meteorologische kaart waarop de drukking en de toestand van den dampkring in het westen van Europa gedurende den storm van 18 Nov. 1864 is voorgesteld.

uit de aanwijzingen bij twee observatoria geplaatst, wanneer het eene cijfer iets hooger en het andere iets lager is dan dat, 't welk de drukking, door de lijn voorgesteld, aangeeft.

Zoo zien wij in de figuur de lijn 755 tusschen Bordeaux 755,5 en Roche-sur-Yon 754,3 doorgaan; daar de lijn over de plaatsen van 755 millimeter loopt nadert zij echter meer tot Bordeaux dan tot Roche-sur-Yon, daar het cijfer van deze plaats meer van 755 verschilt dan dat van Bordeaux.

Naast de borometer-aanwijzingen zien wij de richting en de kracht van den wind voorgesteld; een streep, bij het cirkeltje geteekend dat de ligging van elk station voorstelt, geeft de richting aan waarin de wind waait, terwijl de windkracht is aangeduid door het aantal zijstreepjes, bij elk windlijntje aangebracht.

Eindelijk is nog door zwarte en witte cirkeltjes aangewezen of het op het oogenblik der waarneming op die plaatsen al of niet regende. Zoo geeft deze kaart ons dus een totaal overzicht over de belangrijkste verschijnselen en over den toestand van den dampkring op een bepaald oogenblik voor een groot gedeelte van Europa. Voorzeker zou de meteorologie zonder deze kaarten nooit dergelijke groote luchtbewegingen in haar geheel kunnen overzien en begrijpen, want door het opteekenen der achtereenvolgende verschijnselen in een enkele plaats, blijft het overzicht steeds beperkt; zonder deze figuren zou men er zeker nooit in geslaagd zijn om een storm of storing in den dampkring met zooveel zekerheid eenigen tijd van te voren aan te kondigen als tegenwoordig het geval is.

Behalve in deze gevallen, waarin gemeten hoogten der aardoppervlakte of van den dampkring of van den bodem der zee door lijnen van gelijke hoogte worden voorgesteld, zijn deze lijnen nog voor vele doeleinden, ook in de meteorologie, aan te wenden. Men heeft ook volgens dit systeem kaarten ontworpen waarop de loop der vloedgolven is voorgesteld; de lijnen die hier de punten vereenigen, welke op een zelfde uur vloed hebben, worden *isorachiën* genoemd.

\* In fig. 58 zijn deze isorachiën voorgesteld; de kaarten, met dergelijke lijnen voorzien, zijn het eerst door den Engelschen natuurkundige WHEWELL ontworpen.

Men kan met behulp van deze lijnen den loop eener vloedgolf



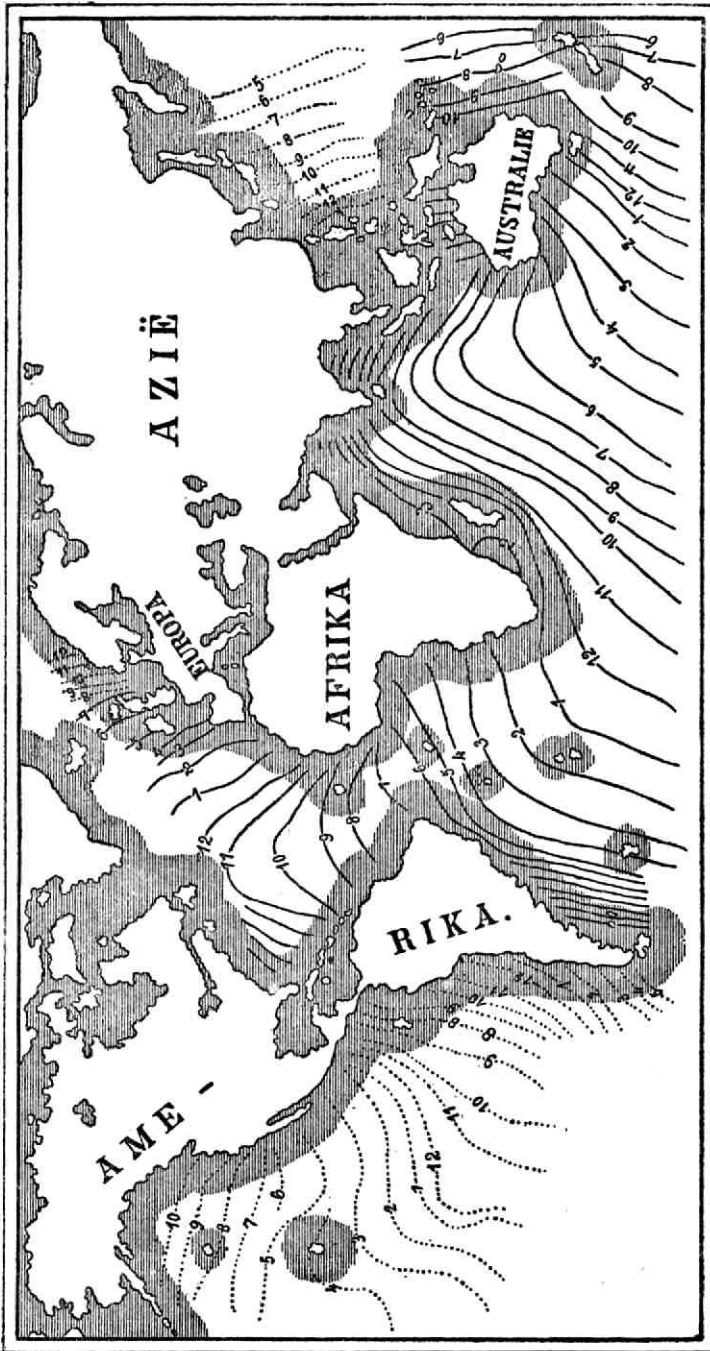


Fig. 58. Lijnen van gelijktijdigen vloed (isochronen). De cijfers wijzen de uren aan waarop het voor een plaats vloed is

van uur tot uur volgen door de bij de lijnen geplaatste cijfers; de gestippelde lijnen loopen over die plaatsen, waarvoor de uren van den vloed niet nauwkeurig bekend zijn. \*

### Isothermen, isochimenen en isotheren voor Europa.

Deze lijnen zijn het eerst door ALEXANDER VON HUMBOLDT aangewend om daarmee de plaatsen op de kaarten aan te duiden die dezelfde gemiddelde jaarlijksche temperatuur, gelijke winter-temperatuur en gelijke zomerwarmte hebben.

In fig. 59 zijn deze lijnen voor Europa voorgesteld; men ziet dat deze lijnen niet evenwijdig loopen met de parallellen, die de

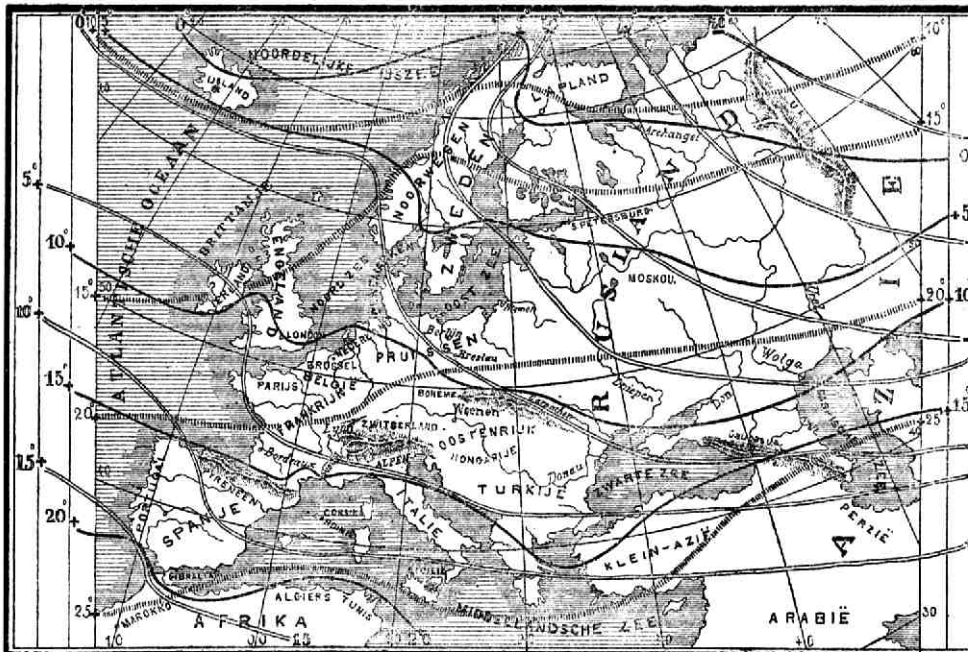


Fig. 59. Isochimenen, isothermen en isotheren voor Europa, naar MARIÉ-DAVY.

plaatsen van gelijke geografische breedte aanwijzen, en dat de isothermen vooral bij de westkusten van het vastland aanmerkelijk stijgen; hieruit blijkt ten duidelijkste de invloed der zeestroomingen, waardoor de warmte uit de heete gewesten naar de gena-

tigde en koude streken wordt overgebracht; men zou dus zeer verkeerd doen, wanneer men de gemiddelde temperatuur van een landstreek wilde bepalen, met alleen rekening te houden met de breedte waarop die streek ligt.

De isotheren of lijnen van gelijke zomerwarmte naderen tot de pool wanneer zij over het vastland gaan, maar dalen daarentegen indien zij over de zeeën loopen; daarentegen vertoonen de isochimenen of lijnen van gelijke wintertemperatuur juist tegenovergestelde buigingen; hieruit volgt dat de zeeën de plaatsen vertegenwoordigen waar de temperatuur het minst veranderlijk is en dat daarentegen op het vastland zoowel de grootste hitte als de strengste koude kan heerschen 1).

Lijnen van deze soort worden eveneens gebruikt om een overzicht te krijgen van den toestand, de grootte en de richting van de aardmagneetkracht op verschillende plaatsen der aarde. Daartoe zijn kaarten vervaardigd, waarop de plaatsen van gelijke declinatie, van gelijke inclinatie en van gelijke intensiteit door lijnen zijn vereenigd (zie pag. 98); deze lijnen hebben den naam ontvangen van *isogonen*, *isoclinen* en *isodynamen*. Deze lijnen vormen met elkaar een stelsel, dat vergeleken kan worden met het stelsel van meridianen en parallellen, die voor de plaatsbepaling op aarde dienen; maar behalve dat de as van deze magnetische krommen merkbaar van de aardas afwijkt, vertoonen zij een tal van buigingen, die afhankelijk zijn van de gesteldheid van den grond en zijn zij ook in hare ligging voortdurend aan veranderingen onderhevig tengevolge van de seculaire, dagelijksche en plotse-linge storingen, waarvan wij reeds vroeger spraken.

---

1) \* Door onzen landgenoot DR. KRECKE zijn nog de zoogenaamde *isoparallagen* ingevoerd, die de plaatsen aanduiden waar gelijke jaarlijksche afwisseling in temperatuur plaats heeft. Deze lijnen, alsmede de isotheren en isochimenen, zijn zeer belangrijk bij de beschouwing van de verspreiding der flora en fauna over de aarde. De hoogleeraar DOVE heeft onderzocht welke gemiddelde temperatuur de verschillende plaatsen op aarde volgens hare geografische breedte, telkens met één graad breedteverschil, moesten hebben en die uitkomsten vergeleken met de op die plaatsen werkelijk heerschende temperaturen. De verschillen, die hij verkreeg, werden door hem anomalïën genoemd; na deze voor een groot aantal plaatsen te hebben berekend, vereenigde hij door lijnen die plaatsen op de wereldkaart, waarvoor de anomalïën gelijk bleken te zijn en noemde die lijnen *isanomalen*. \*

Tusschen al de hier aangehaalde voorbeelden, waarin de lijnen, die een gelijk bedrag voorstellen, een hoofdrol spelen, bestaat ongetwijfeld een groote overeenkomst; steeds werd de veranderlijke grootheid beschouwd in betrekking tot twee zelfde onafhankelijk veranderlijken, namelijk tot lengte en breedte. Onverschillig of men de hoogte van het terrein, de luchtdrukking, de temperatuur of de magnetische intensiteit beschouwt, steeds kan men zich de waarde daarvan voorgesteld denken door de lengte eener loodlijn, opgericht uit het punt van waarneming. Al die verschillende hoogtepunten met elkaar verbonden geven een onregelmatig oppervlak, hetwelk gesneden wordende door horizontale platte vlakken, op gelijken afstand boven elkaar aangebracht, doorsneden zal geven die niets anders zijn dan de hier beschouwde lijnen van gelijke hoogte.

LALANNE heeft deze soort van grafische voorstellingen in veel ruimeren zin opgevat en toegepast; voor de ruimteverhoudingen, waarvan hierboven sprake was, heeft hij grootheden van verschillende aard in de plaats gesteld. Om in de eerste plaats een zijner meest eenvoudige toepassingen van deze lijnen te vermelden, zullen wij beschouwen de

#### **Lijnen van gelijke bevolking.**

Wanneer men in de gevallen, die hierboven beschouwd werden, twee der onafhankelijk veranderlijken en wel de lengte en breedte haar beteekenis laat behouden, maar voor de derde grootheid de dichtheid der bevolking op verschillende plaatsen invoert, dan krijgt men op deze wijze lijnen van gelijke bevolking, die ook in de wijze van hare constructie geheel met de vorige lijnen van gelijke hoogte overeenkomen. In 1845 werd door LALANNE het ontwerp van een naar dit beginsel vervaardigde statistische kaart van de bevolking eener landstreek aan de Akademie van Wetenschappen aangeboden, nadat hij reeds vroeger zijne denkbeelden over dit onderwerp had uiteengezet en daarbij op de groote overeenkomst tusschen deze grafische lijnen en de lijnen van gelijke hoogte had gewezen.

In 1874 ontwierp VAUTHIER naar dit beginsel een bevolkingskaart van Parijs, die in fig. 60 is voorgesteld. Door het verkleind formaat waarin wij deze statistische kaart hier teruggeven, is de



Fig 60. Statistische kaart van de verdeling der bevolking in de verschillende wijken van Parijs, in 1874 door VAUTHIER ontworpen naar het beginsel in 1845 door LALANNE voorgesteld

duidelijkheid van het origineel een weinig verloren gegaan; maar men kan toch duidelijk uit de figuur opmaken hoe de bevolking in de verschillende wijken is verdeeld. Drie heuvels schijnen zich als 't ware boven de stad te verheffen; zij duiden de brandpunten aan, waarin de bevolking het meest is samengedrongen.

Het getal, dat bij een lijn is geplaatst, geeft het aantal inwoners aan op één vierkanten hektometer (hektare of bunder) voor elke wijk.

VAUTHIER heeft voor deze soort van statistische kaarten zeer belangrijke aanwijzingen gegeven, die in zijn verslag te vinden zijn. Hij wijst daarin ook op deze algemeene wet, die voor elke lijn, welke door middel van punten wordt geconstrueerd, geldt: dat namelijk hoe talrijker en minder verspreid de plaatsen zijn, waarvoor de grootte der bevolking is bepaald, des te volmakter zal de grafische voorstelling zijn. Maar hoeveel gegevens men voor de constructie van dergelijke lijnen ook hebben moge, toch zullen de toppunten der loodlijnen, wier lengten evenredig zijn aan de gegeven getallen en die men zich uit elk der bepaalde punten kan opgericht denken, nog een zeer onregelmatig geheel geven waarin de hoogteverschillen zich in een tal van scherpe uitspringende hoeken zullen vertoonen; zoodat ten slotte dit geheel nog altijd eenigszins gemodelleerd moet worden, waarbij de groote bochten en buigingen eenigszins moeten worden aangevuld en vereffend, opdat de tekening in al haar punten tamelijk regelmatige hellingen zal vertoonen.

Voorzeker vereischt het vervaardigen van een dergelijke kaart zeer veel arbeid; een groot aantal statistische gegevens en waarnemingen, gedaan in een streek van een betrekkelijk beperkt gebied, is hiervoor noodig. Maar hoeveel licht zouden dergelijke kaarten niet verspreiden over een groot aantal zaken betreffende de geneeskunde, de volkenkunde, de staathuishoudkunde! Wij mogen er daarom niet aan twifelen dat allen die zich met de geografische statistiek bezighouden, wegens het groote belang dat de staat bij deze grafische voorstellingen heeft, de moeite niet zullen ontzien die aan het ontwerpen van dergelijke kaarten verbonden is, en dat eenmaal deze figuren de thans gebruikelijke kaarten met verschillende tinten zullen vervangen.

Behalve voor bevolkingskaarten heeft LALANNE de lijnen van

gelijk bedrag nog voor verschillende andere aanschouwelijke voorstellingen aangewend; hij heeft deze wijze van grafische voorstelling dienstbaar gemaakt aan het uitdrukken van algemeene wetten en aan de voorstelling van twee geheel willekeurige onafhankelijk veranderlijke grootheden.

Uit de beide volgende voorbeelden zullen de verschillende toepassingen, die men verder van deze lijnen kan maken, alsmede hare constructie genoegzaam blijken.

**Topografische teekening van de jaarlijksche veranderingen van de temperatuur op een plaats.**

Bij de grafische voorstelling van temperatuursveranderingen hebben de waarnemingen niet meer betrekking op ruimte, maar wel op tijd. Daar nu de temperatuur verandert met de uren van den dag en ook met de jaargetijden, heeft LALANNE deze twee grootheden als onafhankelijk veranderlijken genomen en zodoende een figuur ontworpen, waarin de temperatuursveranderingen in functie van de uren van den dag en van de maanden van het jaar door lijnen van gelijk bedrag worden aangeduid; de uren zijn voor ordinaten, de maanden voor abscissen gekozen; de lijnen zijn geconstrueerd naar getallenopgaven, waartoe de temperatuurswaarnemingen te Halle hebben geleid.

Door den hoogleeraar KAEMTZ te Halle zijn namelijk gedurende verscheidene jaren temperatuurswaarnemingen gedaan, waarbij de thermometerstand van 6 uur 's morgens tot 6 uur 's avonds geregeld om de twee uur werd afgelezen; op deze wijze verkreeg KAEMTZ de onderstaande tabel, na de leemten in de waarnemingen gedurende den nacht door interpolaties te hebben aangevuld. In fig. 62 is de grafische voorstelling van deze tabel afgebeeld; deze constructie is zoo eenvoudig, dat het bijna onnoodig is haar te verklaren. Men bepaalt de snijpunten van de 24 evenwijdige lijnen, die uit de deelpunten der ordinaten-as getrokken zijn, met de 12 lijnen, die uit de deelpunten der abscissen-as evenwijdig aan de eerste as zijn getrokken; vervolgens wijst men bij elk van deze 288 snijpunten door middel van een cijfer de waargenomen gemiddelde temperatuur aan voor elk uur en voor elke maand, waarna men de punten, die hetzelfde temperatuurcijfer

Fig. 61. TABEL VAN DE VERANDERINGEN DER GEMIDDELTE TEMPERATUUR TE HALLE.

UREN.	MAART.	APRIL.	MEL.	JUNI.	JULI.	AUGUSTUS.	SEPTEMB.	OCTOBER.	NOVEMB.	DECEMB.	JANUARI.	FEBRUARI.
Morgen.	6	graden. 1.73	graden. 6.76	graden. 13.11	graden. 15.52	graden. 14.19	graden. 11.19	graden. 6.59	graden. 2.75	graden. 1.65	graden. -2.95	graden. -1.40
	5	1.60	6.35	9.05	12.03	14.49	13.40	10.69	6.39	2.71	1.67	-2.87
	4	1.70	6.28	8.21	11.20	13.75	13.04	10.56	6.44	2.94	1.71	-2.80
	3	1.91	6.45	7.81	10.79	13.42	13.03	10.72	6.62	2.79	1.74	-2.75
	2	2.18	6.88	7.96	10.83	13.55	13.34	11.09	6.89	2.81	1.76	-2.71
	1	2.43	7.32	8.64	11.44	14.90	13.92	11.55	7.19	2.89	1.80	-2.71
Middernacht.	11	2.65	7.81	9.67	12.36	14.90	13.92	12.09	7.56	1.84	-2.65	-0.74
	10	2.89	8.37	10.88	13.46	15.86	14.61	12.68	8.00	1.88	-2.65	-0.51
	9	3.14	8.93	12.08	14.59	16.84	15.48	13.37	8.55	1.91	-2.44	-0.28
	8	3.55	9.63	13.05	15.63	17.88	16.37	14.10	9.09	2.07	-2.31	-0.08
	7	3.95	10.46	14.00	16.63	18.89	17.30	14.94	9.66	2.23	-2.05	0.41
	6	4.53	11.23	14.90	17.59	19.94	18.23	15.86	10.26	2.38	-1.89	0.66
Avond.	5	5.02	12.26	15.75	18.50	20.90	19.22	16.75	10.90	2.59	-1.67	1.04
	4	5.65	13.02	16.35	19.15	21.65	19.95	17.58	11.66	2.86	-1.39	1.56
	3	6.21	13.66	16.84	19.76	22.31	21.04	18.19	12.30	3.26	-0.98	2.16
	2	6.51	14.10	17.14	20.05	22.63	21.95	18.55	12.85	3.51	-0.72	2.63
	1	6.66	14.18	17.09	19.91	22.53	21.95	18.59	13.16	3.70	-0.59	2.82
		6.45	13.88	16.85	19.56	22.15	21.90	18.35	12.98	3.68	-0.69	2.51
Middag.		6.04	13.25	16.36	19.01	21.51	21.68	17.86	12.45	3.46	-1.02	1.91
		5.36	12.35	15.54	18.23	20.69	20.12	17.00	11.48	3.01	-1.49	1.25
		4.70	11.25	14.61	17.39	19.82	20.12	16.88	10.29	2.45	-2.11	0.40
Morgen.	9	3.63	9.99	13.63	16.44	18.91	18.99	14.81	8.99	1.99	-2.50	-0.36
	8	2.70	8.69	12.53	15.41	17.91	17.74	13.23	8.75	1.65	-2.86	-1.07
	7	2.10	7.06	11.31	14.24	16.65	16.44	12.00	7.02	1.61	-2.95	-1.33



hebben, door een lijn vereenigt. In fig. 62 heeft men alleen de cijfers behouden die de temperaturen bij de lijnen van vijf tot vijf graden aanwijzen.

Men ziet uit deze figuur dat de maxima van gemiddelde temperatuur voor elk jaargetijde op ongeveer drie uur in den namiddag vallen, maar in den zomer iets later dan in den winter, zooals de gestippelde lijn, die dicht bij de horizontale lijn van 3 uur is gelegen, aanduidt; de uren, waarop de minima van temperatuur vallen, verschillen naar het jaargetijde van 3 tot 7 ure in den morgen; in den winter heeft dit minimum veel later plaats dan in den zomer; dit wordt in de figuur aangewezen door de twee gestippelde lijnen, in horizontale richting aan de boven- en de benedenkant der figuur getrokken.

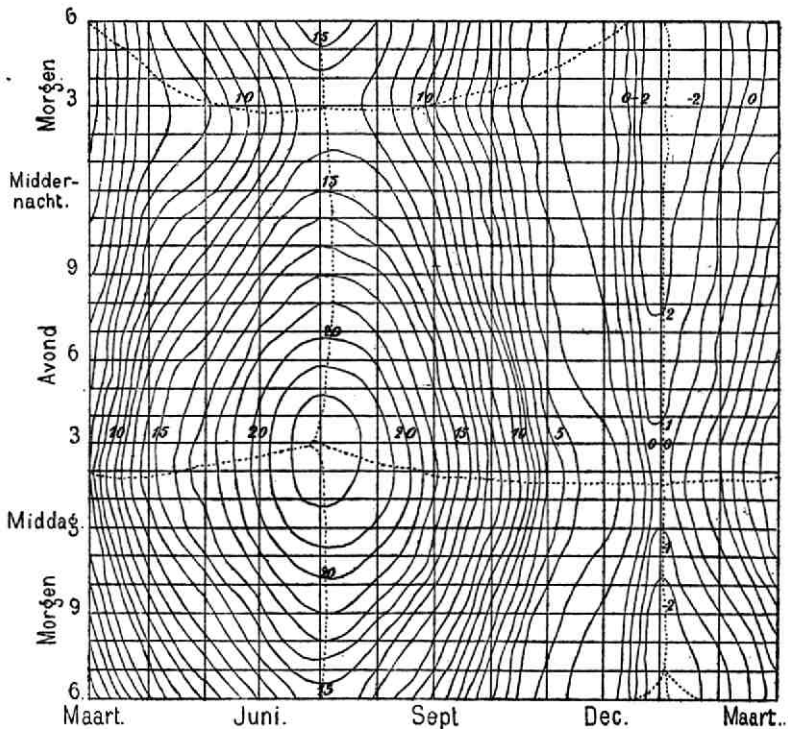


Fig. 62. Lijnen van gelijke gemiddelde temperatuur te Halle, ontworpen door LALANNE, volgens de getallenopgave van KAEMTZ.

De maxima en minima, gerekend naar de jaargetijden, worden voorgesteld door de gestippelde lijnen, die nagenoeg in verticale

richting loopen; de hoogste temperatuur valt in Juli, de laagste in Januari; de bochten in deze stippellijnen worden veroorzaakt door de uurlijksche veranderingen.

Aangezien door den afstand tusschen twee opeenvolgende lijnen van gelijke temperatuur de tijd wordt uitgedrukt die noodig is om de temperatuursverandering van een graad voort te brengen, ziet men uit de figuur dat de van maand tot maand waargenomen veranderingen in den zomer en in den winter langzamer zijn dan in de lente en in den herfst, terwijl de uurlijksche veranderingen zeer verschillend zijn. In Juli en Augustus, ongeveer ten drie uur in den morgen, is de gemiddelde temperatuur vrij standvastig; deze bedraagt van half drie tot half vier veertien graden. Dit zien wij voorgesteld door de vrij groote vierhoekige ruimte, welke door vier lijnen van gelijke temperatuur wordt ingesloten, op de plaats waar de maximum-lijn van het jaargetijde door de minimum-lijn van de dagelijksche verandering wordt gesneden.

Zoo kan men tot in het oneindige de aanwijzingen, die deze figuur geeft, vermenigvuldigen; de lezer zal er dan ook zeker zonder moeite een aantal kunnen vinden. Wel is waar worden al die aanwijzingen evenzeer gegeven door de getallentabel, volgens welke de figuur geconstrueerd is; maar iedereen zal moeten toegeven dat die aanwijzingen in de tabel veel ingewikkelder en duisterder, veel minder sprekend zijn dan in de figuur.

Wanneer de physiologen volgens een dergelijke methode de kleine, maar wezenlijke veranderingen van bepaalde verschijnselen: temperatuur, frequentie van den pols en van de ademhaling, enz. voor de verschillende uren van den dag en voor de verschillende jaargetijden figuurlijk voorstelden, zouden zij ongetwijfeld in de periodieke veranderingen van onze functiën wetten ontdekken, die van het meeste belang zijn. Voorzeker zouden dergelijke constructies ontzaglijk veel tijd vereischen en zouden de gegevens, die de wetenschap nu kan leveren, daarvoor nog ontoereikend zijn; maar toch zou men met behulp van de physiologische registreertoestellen, waarover wij later zullen spreken, gemakkelijk de noodige gegevens kunnen verzamelen voor de constructie van deze zoo leerrijke en hoogst belangrijke lijnen.

**Grafische voorstelling van de hoogte der zee op alle uren van den dag gedurende de maand April 1856.**

De gegevens voor deze figuur zijn ontleend aan CHAZALLON, die in een reeks van lijnen, waardoor echter geen algemeen overzicht werd verkregen, zijn getallopgeaven heeft voorgesteld. Het kwam er dus op aan deze reeks van lijnen of de getallopgeaven zelf in een enkele figuur te transformeeren, waarin door middel van lijnen van gelijk bedrag de hoogte der zee in functie van twee onafhankelijk veranderlijken, nl. in uren en dagen werd uitgedrukt.

Voor abcissen werden de uren, voor ordinaten de dagen genomen (fig. 63). Op de onderste horizontale lijn, die met den

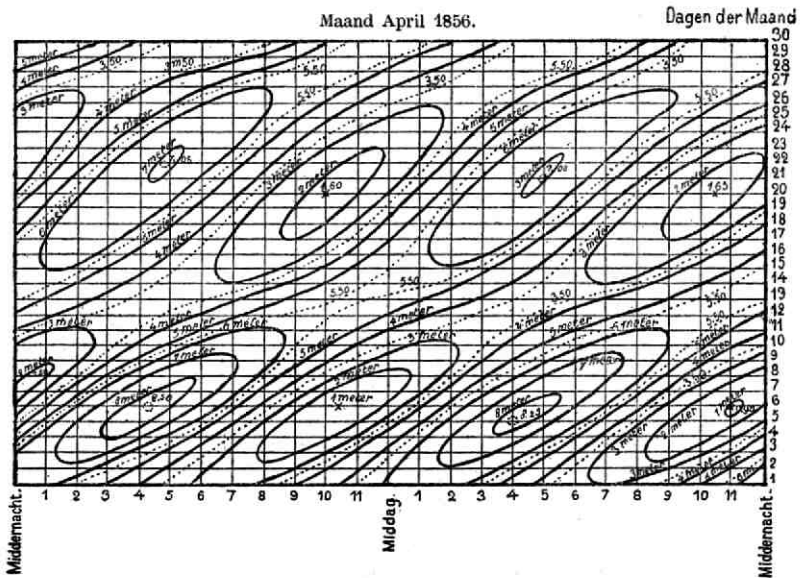


Fig. 63. Lijnen van gelijke hoogte der zee te Brest, op de verschillende uren van den dag gedurende de maand April 1856, geconstrueerd door FENOUX naar de methode van LALANNE.

eersten dag overeenkomt, werden van het beginpunt links, dat den tijd van middernacht aanduidt, tot het andere uiteinde rechts een aantal getallen geplaatst; dit zelfde werd herhaald voor de

tweede horizontale lijn en voor al de daaropvolgende lijnen tot en met de dertigste. Vervolgens werden de punten, waarbij een zelfde getal stond, door lijnen vereenigd, en zoo verkreeg men figuur 63.

Wanneer men deze figuur beziet zonder op hare beteekenis voorbereid te zijn, schijnt het als of men een reliefteekening voor zich heeft van een oppervlak, waarin een dubbele reeks van elkaar afwisselende golfbergen en dalen van het water is voorgesteld; maar men bemerkt al spoedig dat dit niet zoo is, wanneer men nagaat dat de coördinaten, die twee afmetingen van de ruimte schijnen voor te stellen, in werkelijkheid twee verschillende tijdverdeelingen, uren en dagen, aanduiden.

De hoogte van de zee wordt op een zeker uur van een willekeurigen dag aangeduid door de snijding van de abscis en de ordinaat, die respectievelijk met dit uur en dezen dag overeenkomen; en met behulp van deze lijnen, die de punten vereenigen, waarbij de gelijke getallen aanwijzen dat de zee op uren van verschillende dagen dezelfde hoogte bereikt, ontwaart men met den eersten oogopslag den geregelden terugkeer van het verschijnsel, 't geen men eerst na veel moeite uit de getallentabel zou kunnen vinden.

Door de betrekkelijke hoogten van den vloed gedurende de eerste helft van de maand met die gedurende de laatste helft te vergelijken, ziet men dat het water in deze laatste helft minder wast dan gedurende de eerste veertien dagen.

Wij behoeven het aantal voorbeelden van deze wijze van grafische voorstelling verder niet te vermeerderen; de lezer zal begrijpen dat het aantal verschijnselen, die op deze wijze kunnen voorgesteld worden, onbegrensd is, en dat dus deze methode voor gevallen van den meest verschillenden aard is aan te wenden.

Zoo is onder anderen in 1849 door LEVY en LEWANDOWSKI een zoogenaamde *Planetaarische Dromograaf* in het licht gegeven. De uren van den dag en de dagen van het jaar zijn hierin voor abscissen en ordinaten genomen; met betrekking tot deze beide assen zijn de punten bepaald, die de oogenblikken van het op- en ondergaan van de zon, van de maan en van de voornaamste planeten met betrekking tot den horizon van Parijs aangeven.

**Grafische rekentafels. Anamorfsche tafels.**

Uit het bovenstaande volgt dat men alle getallentafels, die dienen om de waarden van grootheden te vinden welke uit de verbinding van twee andere grootheden zijn ontstaan, — zooals bijv. met de tafel van vermenigvuldiging het geval is — steeds door grafische figuren zal kunnen vervangen, waarin lijnen van gelijk bedrag met de daarbij geplaatste getallen bovenbedoelde waarden onmiddellijk aangeven. Bovendien leenen zich dan dergelijke figuren tot interpolaties op het oog, waarvoor getallentafels nooit geschikt zijn; op deze wijze kan dus een dergelijke grafische figuur een soort van rekenmachine worden.

Een zoodanige tafel is reeds in 1795 door POUCHET voorgesteld (Grafische tafels van de nieuwe maten en gewichten van Rouaan en Parijs); in fig. 64 wordt van een dergelijke tafel een verkleinde

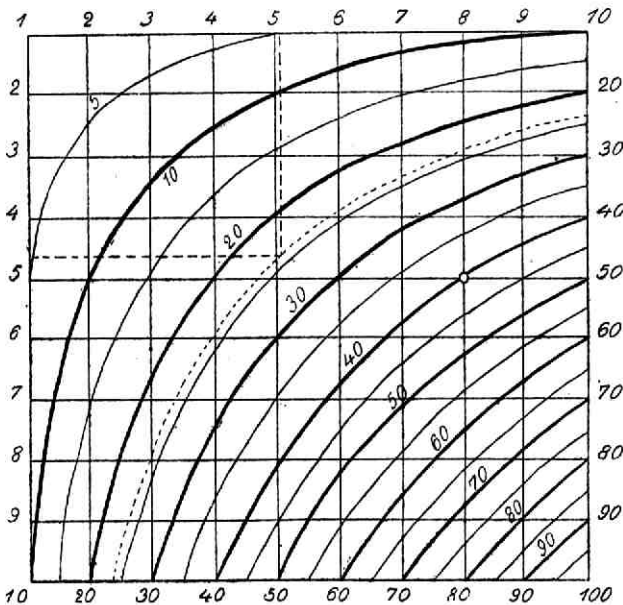


Fig. 64. Grafische tafel van vermenigvuldiging naar POUCHET.

afbeelding gegeven; zij stelt de tafel van vermenigvuldiging van Pythagoras voor.

Zoekt men in deze figuur het produkt van twee getallen, bijvoorbeeld van 5 en 8, dan zal men de uitkomst vinden op de lijn, die met het getal 40 is gemerkt. Deze lijn is, even als de andere lijnen die in deze figuur het produkt van twee getallen uitdrukken, een gelijkzijdige hyperbool.

Op het eerste gezicht schijnt deze figuur alleen de juiste waarden te geven van de produkten, die door de hoofdlijnen of tusschenlijnen worden aangeduid, hetgeen hier alleen de getallen zijn die met gelijke verschillen van 5 opklimmen. Maar ook de overige produkten kunnen wij hier met een zekeren graad van nauwkeurigheid bepalen uit de plaats van het snijpunt van twee coördinaten met betrekking tot de twee naastbijliggende kromme lijnen. Zoo vindt men bijv. voor het produkt van 4,7 met 5,1 een punt, dat ontstaat door de snijding van de vertikale lijn, uit een punt getrokken dat dicht bij 5 is gelegen, met een horizontale lijn die uit een punt op het  $\frac{1}{10}$  van den afstand tusschen 4 en 5 is getrokken. Dit snijpunt is gelegen op ongeveer het  $\frac{1}{10}$  van de ruimte tusschen de lijnen, die met 20 en 25 gemerkt zijn. Het produkt is dus ongeveer 24; de nauwkeurige waarde is 23,97 zoodat de begane fout tamelijk gering is. Hieruit blijkt het groote voordeel van het interpoleeren op het oog.

De toepassingen der anamorfische tafels zijn talrijk. LALANNE heeft zich daarvan bediend om een *Abacus of Algemeene Reken-tafel* samen te stellen, die ter vereenvoudiging van berekeningen de logarithmische schaal vervangt; figuur 65 geeft hiervan een denkbeeld.

Ook hebben wij aan LALANNE de ontwikkeling van de grondbeginselen te danken, waarop deze transformatie van figuren gebaseerd is; deze beginselen vat hij samen onder de benaming: *meetkundige anamorfose*. Het uitgangspunt van elke anamorfose is een behoortlijk aangebrachte verdeling der coördinaten-assen. De logarithmische verdeling, zooals die in fig. 65 is aangebracht, wordt het meest aangewend; maar men heeft ook nog een tal van andere wijzen van verdeling die met vrucht kunnen worden gebruikt. Als zoodanig verwijzen wij naar fig. 66, waarin is voorgesteld de wijze waarop de mannelijke bevolking naar den leeftijd in Frankrijk in het jaar 1840 was verdeeld. De twee zijden van den in deze figuur voorgestelden rechthoekigen driehoek zijn ver-

deeld in deelen, welke evenredig zijn *niet* met de getallen die daarbij staan en die den leeftijd aanduiden, maar met de mil-

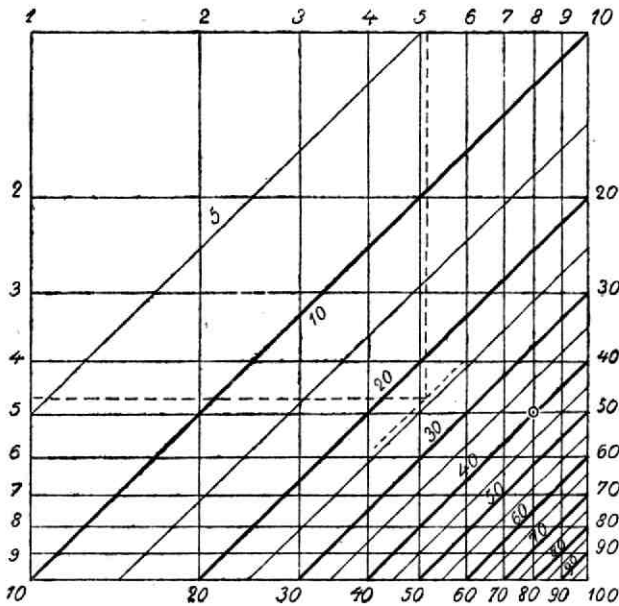


Fig. 65. Anamorfose van de tabel van vermenigvuldiging van POUCHET door LALANNE.

lioentallen personen van het mannelijk geslacht, die dezen leeftijd niet hadden overschreden. Zoo rekende men 2 millioen van vijf-jarigen leeftijd en daarbeneden; iets meer dan 7 millioen beneden de 22 jaar; ongeveer 16 en een half millioen voor elken leeftijd. De schuine lijnen, die de cijfers van de mannelijke bevolking aanwijzen, zijn hier evenver van elkaar verwijderd; men vindt nu het aantal personen begrepen tusschen de 20 en 40 jaar, door de vertikaal 40 te volgen tot daar, waar zij de horizontale lijn 20 ontmoet; daar dit ontmoetingspunt op de schuine lijn 5 is gelegen, besluit men hieruit dat het gezochte aantal 5 millioen bedraagt.

De oplossing van een vergelijking van een willekeurigen graad hangt af van de constructie eener grafische figuur, waarin alleen rechte lijnen voorkomen, zonder dat hierbij een anamorfose vereischt wordt. Deze is alleen noodig voor de oplossing van bepaalde klassen van transcendentale vergelijkingen.

Telkens wanneer de kromme lijnen der figuren door rechte lijnen kunnen worden vervangen, vloeit daaruit een groot gemak voor de constructie voort. LALANNE is de bewerker van deze vereenvoudiging, waaraan hij den naam van *meetkundige anamorfose* heeft gegeven, en die in veel gevallen kan toegepast worden.

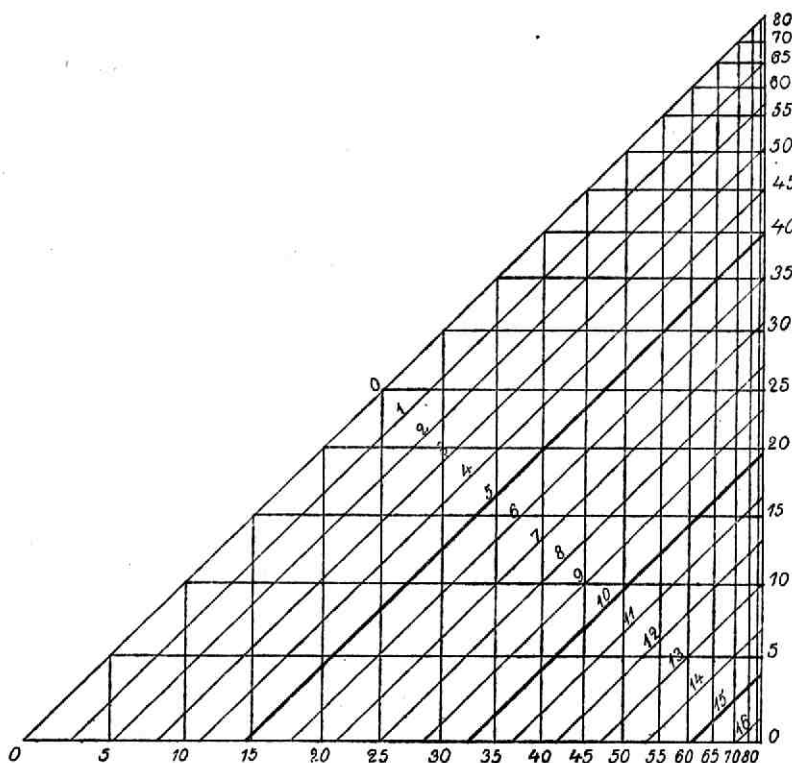


Fig. 66. Anamorfische tafel die de verdeling van de mannelijke bevolking in Frankrijk naar den leeftijd aangeeft, door LALANNE.

Om tegelijkertijd den aard en het nut van de anamorfische transformatie aan te toonen, keeren wij nog eens terug tot de Pythagorische tafel, waarvan in fig. 64 door middel van kromme lijnen een grafische voorstelling is gegeven, die echter door anamorfose in figuur 65 met rechte lijnen is veranderd. Deze laatste figuur is verkregen door als uitgangspunten van deze rechte lijnen punten te nemen, die niet zooals in fig. 65 op gelijken afstand van elkaar verwijderd zijn, maar wier afstanden evenredig zijn aan



de logaritmen der getallen van 1 tot 10; deze afstanden zijn dus ongelijk en eerst door berekening bepaald. Het zoeken van de produkten geschiedt verder in deze figuur even als in de voorgaande, maar hier veel gemakkelijker. Zoo vinden wij het produkt van 5 en 8 op de schuine lijn die met 40 gemerkt is. Evenzoo kan men het produkt van 4,7 met 5,1 op het oog vinden; het snijpunt der coördinaten valt dan op een schuine lijn, die met het getal 24 overeenkomt.

---

## TWEEDE AFDEELING.

### REGISTREERWERKTUIGEN.

---

De talrijke voorbeelden van grafische voorstelling van verschijnselen, die wij in de vorige hoofdstukken hebben gegeven, zullen den lezer hebben doen zien hoe deze methode in vele gevallen de voorkeur verdient boven alle andere middelen van uitdrukking. Daarbij mag men echter niet vergeten dat het construeeren van deze lijnen in het algemeen veel tijd en geduld vereischt; wanneer toch in bepaalde grafische figuren de inhoud van een geheel boekdeel, met woorden of getallen opgevuld, is samengevat, dan hebben deze figuren aan den bewerker soms meer moeite gekost dan vereischt zou zijn voor het gewoon publiceeren van deze gegevens of waarnemingen in een boek. Wanneer de statisticus, de ingenieur of de meteoroloog de gegevens, die door hem zorgvuldig zijn verzameld, eindelijk in een duidelijken en beknopten vorm den lezer aanbiedt, zet hij hiermede als 't ware de kroon op zijn werk. Maar de lezer mag, door de eenvoudigheid der figuur misleid, niet vergeten dat het werk, waarvan hij met zooveel voordeel gebruik maakt, inderdaad zooveel moeite heeft gekost; aan enkele teekeningen van REGNAULT, LALANNE, MINARD, is een arbeid besteed van maanden en soms van jaren. 1)

---

1) Er zijn eenige schrijvers die nu eenmaal de moeite, die zij genomen hebben, moeilijk kunnen verzwijgen; zij geven dan naast de lijnen, waarin hunne waarnemingen zijn vervat, ook de getallenopgaven, naar welke de lijnen geconstrueerd zijn, onder voorwendsel dat deze opgaven de figuur meer zullen ophelderen; dit maakt echter het werk tien- of twintigmaal omvangrijker zonder dat er iets wordt bijgevoegd wat de lijnen niet reeds aangeven.

Bedient men zich van registreerwerktuigen, dan verkrijgt men de lijnen, die als 't ware door het verschijnsel zelf worden opgeteekend, zonder eenige moeite. Over 't algemeen zijn deze lijnen gemakkelijker te vertolken dan al diegene, waarvan in de vorige hoofdstukken sprake was; daarbij stellen zij in de meeste gevallen verschijnselen voor, die aan de direkte waarneming ontsnappen; vooral om deze reden is dan ook het gebruik van deze werktuigen in zeer veel gevallen van het hoogste gewicht, en is men genoodzaakt daartoe zijn toevlucht te nemen in al die gevallen, waarin een beweging of een verandering zoo klein, zoo snel of zoo langzaam is, dat men haar niet terstond kan waarnemen en volgen.

Niet alleen zijn deze werktuigen bestemd om nu en dan den waarnemer zelf te vervangen, in welke gevallen zij zich onbetwistbaar veel voortreffelijker van hun taak kwijten dan de waarnemer zelf, maar zij hebben ook hun eigen gebied, waarop zij door niets hoegenaamd te vervangen zijn. Wanneer het oog niet meer kan zien, het oor niet meer kan hooren, het gevoel niet meer kan waarnemen, of wel wanneer onze zintuigen ons bedriegelijke indrukken geven, dan zijn deze werktuigen voor ons als 't ware nieuwe zintuigen, die met een verwonderlijke juistheid waarnemen. De trillende snaar schijnt voor ons oog zich te verbreedden \* en vertoont zich, als haar beweging niet al te snel is, bij genoegzame verlichting tegen een donkeren achtergrond als een doorschijnende figuur, die schijnt stil te staan in weerwil van de beweging der snaar \*; het oor neemt een toon waar, dat wil zeggen, wij ontvangen een onafgebroken indruk; maar oog en oor misleiden ons hier en een registreerwerktuig, in hun plaats gesteld, wijst ons aan dat de snaar een zeker aantal trillingen per sekonde volbrengt; dit aantal wordt met een bijzondere nauwkeurigheid opgeschreven, en wij zien dat elk dezer trillingen dezelfde fasen vertoont als de beweging van een slinger. Hoe zou het zonder deze toestellen mogelijk zijn om de voortplanting der electriciteit in den telegraafdraad, de verschillende fasen van de beweging van een projectiel te volgen? Deze werktuigen vertoonen ons de vleugelbewegingen van een insekt of van een vogel, met alle daarbij voorkomende veranderingen, analyseeren de pulsaties van het hart en van de slagaderen en toonen daardoor aan dat in deze zoogenaamde oogenblikkelijke

werkingen menigvuldige fasen bestaan, die periodiek terugkeeren en wier verklaring een licht werpt over een van de meest geheimzinnige levensfunctiën.

De uitvinding van de registreerwerktuigen kan als zeer nieuw aangemerkt worden, want in het begin van de vorige eeuw bestond er nog geen enkel van deze werktuigen. 1) In Frankrijk kwam de markies D'ONS-EN-BRAY op het denkbeeld om ten behoeve van de meteorologie werktuigen samen te stellen die voortdurende waarnemingen gaven; dit denkbeeld vond veel navolging; op 't oogenblik zijn in alle observatoria deze werktuigen voorhanden, en geven zij ons in den vorm van lijnen, de veranderingen van temperatuur, van luchtdruk, van windkracht en windrichting, van de hoeveelheid gevallen regen, enz., aan. Men is er zelfs in geslaagd om door middel van de fotografie de periodieke veranderingen van de declinatie van de magneetnaald op te teekenen.

Het grondbeginsel, waarop de inrichting van deze toestellen berust, is overal het zelfde.

Door middel van een uurwerk geeft men aan een blad papier een eenparige beweging; over dit papier beweegt zich een schrijfstift, zoodat deze daarop een lijn traceert; de stift stijgt of daalt, naar gelang van de bewegingen waarmede het verschijnsel, dat door de stift zal worden opgeteekend, gepaard gaat. Elken dag neemt men het blad weg, waarop de lijn is getraceerd, en vervangt dit door een nieuw blad.

Door de meteorologische lijnen worden aldus de veranderingen van een verschijnsel aangegeven volgens het beginsel, zooals dit in de eerste afdeeling van dit werk is uiteengezet bij de bespreking van de grafische voorstelling van een veranderlijke grootheid met betrekking tot den tijd. Op de x-as worden de tijddeelen afgemeten; de eenparige beweging van het uurwerk, dat het blad leidt, maakt dat de gelijke tijdruimten door gelijke lengten in horizontale richting worden voorgesteld.

Wat de bewegingen van de stift betreft, deze moeten bij een behoorlijk ingerichten toestel evenredig zijn aan de intensiteit van de verandering, die wordt opgeteekend; door middel van verdee-

---

1) Zie het geschiedkundig overzicht van de registreerwerktuigen verder pag. 145.

lingen op de y-as aangebracht, worden de waarden der ordinaten van de verschillende punten der lijn bepaald. De goede inrichting van een registreertoestel hangt in hoofdzaak af van de middelen die zijn aangewend, om de stift bewegingen te geven, evenredig aan de veranderingen die zij moet opteekenen.

De meteorologische registreerwerktuigen, die gedurende maanden en jaren de veranderingen in den toestand van den dampkring opteekenen, zou men kunnen noemen *langzaamwerkende* toestellen in tegenstelling van de *snelwerkende*, die voor het opteekenen van verschijnselen worden aangewend, die uithoofde van hun snelheid of van hun snellen terugkeer aan de direkte waarneming ontsnappen.

Door een ervaren waarnemer is het één vijfde van een sekonde nauwelijks te meten; de toestellen, die den naam van *chronografen* dragen, meten honderdste, duizendste deelen en soms tot twintig-duizendste deelen van een sekonde nauwkeurig.

Aan THOMAS YOUNG zijn wij de uitvinding van den chronograaf verschuldigd; het door hem aangegeven beginsel komt hierop neer: wanneer het vrije uiteinde van een trillende staaf voorzien is van een stift, die de oppervlakte van een draaienden cilinder aanraakt, zal de stift gedurende de trillende beweging van de staaf een golflijn traceeren, waarvan elke golf met één trilling van de staaf overeenkomt. De tijd die verloopt tusschen het opteekenen van twee opeenvolgende trillingen is altijd dezelfde, aangezien deze trillingen isochroon zijn. 1) Door het aantal trillingen te tellen die op een gedeelte van het papier zijn getraceerd, leert men den tijd kennen gedurende welken dit deel zich met den draaienden cilinder heeft bewogen. Stelt men zich voor dat de lengte van dit deel wordt aangegeven door twee streepjes of punten, waarvan het eene punt bij het begin, het andere juist bij het einde van een verschijnsel op den cilinder wordt afgeteekend, dan zal men de juiste maat hebben voor den duur van

---

1) \* De wet van het *isochronisme* van trillingsbewegingen zegt: de trillingstijd is onafhankelijk van de amplitude of trillingswijdte; deze zelfde wet geldt voor slingerbewegingen van geringe amplituden. Indien deze wet voor trillingsbewegingen niet gold, dan zou bijv. de toonhoogte van een toon (bepaald door de trillingssnelheid) veranderen bij het sterker of zwakker worden van den toon (bepaald door de grootte der amplitude). \*

het verschijnsel door het aantal trillingen, die tusschen de beide teekens zijn getraceerd.

De geheele chronografie berust in hoofdzaak op deze uitvinding van THOMAS YOUNG; alleen moest nu deze methode nog meer volmaakt worden. DUHAMEL gebruikte in plaats van de trillende staaf een stemvork; toen deze eenmaal ingevoerd was, maakten HELMHOLTZ, REGNAULT en FOUCAULT deze proefnemingen nog gemakkelijker, door de trillingen van de stemvork te doen voortduren door middel van elektriciteit.

Het registreeren der trillingen heeft alleen ten doel de beweging van den cilinder, die het tracé ontvangt, te controleeren; een dergelijke controle zou geheel overbodig zijn, indien de cilinder zich altijd volkomen eenparig met een bekende snelheid bewoog. Vele natuurkundigen hebben naar middelen gezocht om deze beweging zooveel mogelijk te regelen en hebben daartoe werktuigen uitgedacht die den naam dragen van *relugateurs*. Die van FOUCAULT, HELMHOLTZ en VILLARCEAU geven in de meeste gevallen aan de beweging van den cilinder een voldoende eenparigheid.

Maar zelfs deze volmaakte tijdmeting zou nog weinig resultaten opgeleverd hebben indien de werktuigen, die den duur van de opeenvolgende of gelijktijdige verschijnselen op het papier traceeren, niet oogenblikkelijk het beginnen of het ophouden van een verschijnsel aangaven; gelukkig heeft men weer in de elektriciteit het middel gevonden om het begin en het einde van een verschijnsel zoo snel mogelijk aan te geven; zoo werken onder anderen de elektromagnetische werktuigen, uitgevonden door MARCEL DUPREZ, zoo snel, dat zij het oogenblik waarop een verschijnsel begint aangeven met een dusdanigen graad van nauwkeurigheid, dat daarbij de fout minder bedraagt dan het twintigduizendste van een sekonde. In de meteorologie zijn dergelijke kleine tijdsbepalingen niet noodig; deze nauwgezette chronografie, waarbij het op de oneindig kleine tijddeeltjes aankomt, vindt haar toepassing bij het analyseeren van elektrische en optische verschijnselen, in de ballistiek, alsmede in de physiologie der zenuwen en spierwerkingen. De natuur- en werktuigkunde hebben een ontzaglijk snellen vooruitgang bewerkt door het gebruik van de registreertoestellen. De uitvinding van vele dezer werktuigen

hebben wij te danken aan PONCELET, terwijl de generaal MORIN ze voor een deel verbeterd en voor verschillende doeleinden in gebruik gesteld heeft. Het meest bekende van deze werktuigen is zeker dat, 't welk dient om de wetten van den vrijen val van lichamen te bepalen. Het door GALILEÏ aangegeven ontwerp en de toestel van ATWOOD zijn op een voordeelige wijze vervangen door dit bewonderenswaardig werktuig, dat, in plaats van een reeks van bewerkingen te vereischen die aan allerlei fouten onderhevig zijn, in een enkel oogenblik de lijn traceert, die de eenparig versnelde beweging van een vallend lichaam voorstelt.

De registreerende dynamometers, naar het denkbeeld van WATT vervaardigd en later verbeterd, geven de intensiteit der krachten, door de stoommachines en bewegingswerktuigen voortgebracht, nauwkeurig aan en stellen ons in staat om den door een werktuig verrichten arbeid te meten, hetgeen een der meest belangrijke vraagstukken is, die door mechanica zijn op te lossen.

Behalve de zeer langsame en de zeer snelle werkingen bestaat er een groot aantal physiologische verschijnselen, waarvan ons gevoel of onze oogen ons slechts een zeer onvolledigen en bedriegelijken indruk geven, maar die zich, zoodra zij aan het gebruik der registreerwerktuigen worden onderworpen, in hun waren aard vertoonen. Duizende bijzonderheden, wier bestaan men vroeger nooit had vermoed, vertoonen zich in de tracés van den hartstoot, van den polsslag, van de ademhaling, spierwerkingen, enz. Deze zijn allen even zooveel nieuwe teekenen, die voor den physioloog of geneesheer met elken dag een meer bepaalde betekenis krijgen.

Ook de physiologen zelf hebben veel tot meerdere ontwikkeling en volmaking der registreerwerktuigen bijgedragen; even als de meteorologen hebben zij ingezien dat de zintuigen niet voldoende waren om tegelijkertijd alle verschijnselen waar te nemen, die in het bewerkte leven plaats hebben.

Temperatuur, drukking en snelheid van het bloed, kracht en snelheid van de spierwerking, dit alles moet met juistheid gemeten en opgeteekend worden en dat nog wel onder moeilijke omstandigheden, zooals zich die bij physiologische proeven gewoonlijk voordoen en die den gewonen gang der waarnemingen storen; toch hebben de registreertoestellen meer gegeven dan men had durven verwachten.

In Duitschland zijn deze toestellen het eerst in de physiologie aangewend. Ten einde de drukking van het bloed te meten vond LUDWIG in 1847 een registreerenden manometer uit, waaraan hij den naam gaf van *Kymografion*; deze uitvinding gaf aan de physiologie een geheel nieuwe richting. Het duurde niet lang of door VOLKMANN, HELMHOLTZ, VIERORDT en andere Duitse physiologen werden nieuwe registreertoestellen uitgevonden, welke dienen moesten voor het bestudeeren van den bloedsomloop, van de ademhaling, van de spierwerking, enz.

Wel waren die eerste werktuigen nog gebrekkig en werden eerst later meer volmaakt, maar door hen werd het eerst mogelijk om de physiologische waarnemingen tot dien hoogen graad van nauwkeurigheid op te voeren waardoor aan deze wetenschap, hoe jong zij ook zijn moge, toch een plaats toekomt naast de oudste en meest gevorderde wetenschappen.

In 1857 was de grafische methode nog niet tot de physiologische laboratoria in Frankrijk doorgedrongen; terwijl in Duitschland de eerste proeven met registreerwerktuigen werden genomen, werd door VIERORDT te Tübingen de beschrijving van een nieuw werktuig in 't licht gegeven, dat hij *sphygmograaf* noemde en dat bestemd was om de polsslagen bij den zieken of gezonden mensch te registreeren.

1) „Getroffen door het belangrijke van zulk een werktuig, beproefde ik een dergelijk samen te stellen; terwijl ik de gebreken van den toestel van VIERORDT leerde kennen, zocht ik naar de middelen om de aanwijzingen daarvan te verbeteren en slaagde er eindelijk in een sphygmograaf te verkrijgen, die zoo getrouw mogelijk de geringste veranderingen in den polsslag aanwees. Spoedig kwam ik op het denkbeeld dat dergelijke werktuigen konden aangewend worden voor de oplossing van een tal van physiologische vraagstukken; de theorie der bewegingen van het hart was sedert lang het onderwerp van een tal van besprekingen, die allen ons meer in de overtuiging versterkten, dat de zoo samengestelde bewegingen van dit orgaan van veel te korten duur waren om ze met het

---

1) \* MAREY spreekt hier van de door hem gedane uitvindingen en aangebrachte verbeteringen op het gebied der registreerwerktuigen; wij geven deze plaatsen met „ ” gemerkt, zoo getrouw mogelijk terug. \*



oog of met het gevoel te kunnen waarnemen. Geholpen door mijn vriend en ambtgenoot CHAUVEAU ben ik toen begonnen die bewegingen grafisch te gaan bestudeeren, en ten laatste hebben de registreertoestellen ons de meest volledige aanwijzingen gegeven betreffende de werking van het hart.

Van dien tijd af ben ik tot de overtuiging gekomen dat een groote vooruitgang op dit gebied alleen te verkrijgen was door de grafische methode, en heb ik mij voornamelijk gewijd aan het verbeteren der registreerwerktuigen, aan het verwijderen van de storende invloeden tengevolge waarvan hun aanwijzingen minder nauwkeurig waren, en aan de meer en meer uitgebreide toepassing van deze methode op een steeds grooter aantal verschijnselen, terwijl ik daarbij steeds getracht heb het aantal der benodigde toestellen tot een zoo klein mogelijk getal te beperken.

De algemeene fout van de toestellen, die aanvankelijk door de physiologen gebruikt werden, was, ronduit gezegd, de traagheid waarmee de phasen van bewegingen door de beweegbare deelen dier toestellen werden overgebracht. Ten gevolge van deze traagheid werden de tracés van den sphygmograaf van VIERORDT misvormd, of wel werden er aan de beweging overtollige trillingen toegevoegd, zooals bij den myograaf van HELMHOLTZ of het kymografion van LUDWIG.

Het aantal der beweegbare deelen van de toestellen zoo veel mogelijk beperken; de deelen van het werktuig, die dienen moesten om de werkende krachten te meten, door veeren vervangen; zoo-veel mogelijk de snelheid van de registreerende deelen verminderen, terwijl de grootte der te registreeren beweging werd beperkt; het tracé door middel van optische werktuigen vergrooten, dat waren de middelen waardoor men nauwkeurige tracés moest verkrijgen. Wij zullen in de volgende hoofdstukken zien dat de juistheid van deze toestellen nu reeds een vrij voldoende hoogte heeft bereikt.

Alhoewel de meeste toestellen, die hier besproken zullen worden, ten dienste van de physiologie, mijn hoofdstudie, zijn samengesteld, heb ik toch in dit werk de toepassingen van de grafische methode voor verschijnselen van allerlei aard vereenigd."

Inderdaad kunnen op het gebied van het gestrenge experimenteel onderzoek de wetenschappen op eene lijn geplaatst worden; wat

ook het doel der onderzoekingen zijn moge, 't zij een kracht, een beweging, een elektrisch of een warmteverschijnsel moet gemeten worden, onverschillig of men natuurkundige, scheikundige of physioloog zij — allen moeten tot dezelfde methode hun toevlucht nemen en dezelfde werktuigen aanwenden.

### **Geschiedkundig overzicht van de registreerwerktuigen.**

Ofschoon de uitvinding der registreerwerktuigen eerst van een eeuw geleden dateert, is het toch moeilijk hun ontwikkelingsgeschiedenis met zekerheid te volgen. Men kan de toestel van PONCELET en MORIN eigenlijk als het eerste model van een goed ingericht registreerwerktuig beschouwen; maar toch heeft men reeds in het begin der vorige eeuw pogingen gedaan om enkele verschijnselen te doen opteekenen.

Zoo heeft de markies d'ONS-EN-BRAY in de Verslagen van de Akademie in 1734 een anemograaf beschreven, die zijn bewegingen afteekende op een blad papier, dat om een cilinder was gewikkeld.

Door RUTHERFORD werd ongeveer in 1794 een thermometrograaf beschreven, die met een stift een lijn traceerde op een strook zwartgemaakt papier, waaraan een ronddraaiende beweging werd medegedeeld.

In 1779 werd door MAGELLAN, lid van de Royal Society te Londen, een zoogenaamden *perpetueelen meteorograaf* uitgevonden, een toestel, die bestemd was om de veranderingen in den dampkring voor een willekeurige plaats op aarde te registreren. 1)

---

1) RADAU zegt in een merkwaardige geschiedkundige beschouwing van de meteorografen over de uitvinding van MAGELLAN het volgende: Deze schrijver ontwikkelt het plan van een *perpetueelen meteorograaf*, waarvan hij de onderdeelen door teekeningen voorstelt. Hij wijst er op hoe nuttig doorlopende traceés van de veranderingen in den dampkring voor de verschillende plaatsen der aarde zouden kunnen zijn. Het is niet genoeg, zegt hij, te weten dat bijv. de barometer of thermometer zóó hoog stonden op bepaalde uren van den dag; men behoort ook te weten welke veranderingen zijn voorgevallen in het tijdsverloop dat tusschen een bepaald uur en dat van den volgenden of voorafgaanden dag is gelegen; ook dient men het oogenblik te kennen waarop een verandering heeft plaats gehad... Het werktuig, dat ik zal bespreken, voldoet aan deze vereischten, en daarom zal ik het den naam geven van *perpetueelen meteorograaf*, omdat het de meteorologische waarnemingen voor alle uren van den dag

Men moet wel onderstellen dat de inrichting van deze werktuigen nog zeer onvolledig was, aangezien men tot op den huidigen dag toe onophoudelijk de meteorologische registreertoestellen heeft verbeterd, zonder dat men er nog in geslaagd is een bepaald en geheel voldoende model te verkrijgen; maar in alle geval had men toch reeds in de vorige eeuw een algemeen denkbeeld van grafische meteorologie.

---

geregeld aangeeft; daarvoor is het alleen noodig het in het eind van de week of van de maand op te winden, dus gelijktijdig met het uurwerk, dat als reguleur voor dit werktuig dient. Het denkbeeld hiervan is zoo eenvoudig en zoo gemakkelijk in de praktijk, dat iedereen, die er belang in stelt, het gemakkelijk met weinig kosten door een middelmatig werktuigkundige kan laten vervaardigen. MAGELLAN geeft verder een uitvoerige beschrijving van de verschillende werktuigen die hem voor zijn doel het meest geschikt voorkomen. Vooreerst, zegt hij, is naar mijn gevoelen de bak-barometer het meest geschikt voor barometrische bepalingen, intusschen kan ook een hevelbarometer, voorzien van een drijver, zeer goed dienen; voor een thermograaf, geeft MAGELLAN de voorkeur aan den metaalthermometer. Zijn anemograaf bestaat uit een windwijzer, naar het model van D'ONS-EN-BRAY, om de windrichting, en uit een anemometer, om de windkracht te registreeren. Om de vochtigheid te bepalen, kiest hij den hygroskoop van WHITEHURST, die uit twee aan elkaar gelijmde houten latten bestaat, waarvan er een middendoor is gesneden. Een pluviometer (regenmeter) met drijver en een almidometer (verdampingsmeter), bestaande uit een drijver waarop een bak met water is geplaatst (de drijver met bak stijgt wanneer door verdamping de hoeveelheid water is verminderd) voltooiën den meteorograaf. MAGELLAN zegt dat men er een rhoiometer aan zou kunnen toevoegen wanneer de plaats van waarneming dicht bij een zeehaven is gelegen; men zou dan een laag gelegen gedeelte van den grond in verbinding kunnen stellen met het zeewater, hierop een drijver met stang plaatsen en zodoende de op- en neergaande beweging van vloed en eb kunnen opteekenen. Hij wil de stiften der verschillende toestellen allen parallele lijnen laten traceeren op een plank, met papier bekleed en door een uurwerk in beweging gebracht; verder geeft hij een tekening van de figuur, die door deze tracés zou ontstaan. Ook voegt hij er nog bij dat door middel van hefboomen de beweging der werktuigen moet worden vergroot voor het geval dat zij te klein zou zijn om een direkt tracé te leveren. Hij bespreekt de voordeelen en gebreken van de registreermethode die door CHANGEUX is voorgesteld; deze bestaat namelijk in het traceeren van afgebroken lijnen door middel van veeren die voorzien zijn van stalen punten, welke veeren door middel van hamertjes, die door een uurwerk in beweging worden gebracht, periodiek op een beweegbaar vlak hare punten afdrukken. Hij zegt dat sedert 15 jaar de stand van den barometer naar dit systeem door middel van een uurwerk, door CUMMINGS vervaardigd, op het koninklijk paleis van Buckingham te Londen wordt geregistreerd.

J. WATT stelde den eersten registreertoestel in de werktuigkunde in gebruik en gaf het eerst de oplossing van een der belangrijkste vraagstukken op dit gebied: het grafisch bepalen van den arbeid, door den stoom verricht in een pompwerktuig. 1)

De uitvinding der dynamische elektriciteit en der fotografie heeft veel bijgebracht tot de volmaking der meteorologische registreertoestellen. Met behulp van de elektriciteit is men er in geslaagd om door een zelfde werktuig de waarnemingen in verschillende plaatsen gedaan, te laten opteekenen. Door middel van de fotografie kan men bewegingen laten opteekenen, die te weinig beweegkracht hebben om een stift over het papier te bewegen. Gebrek aan voldoende kracht is een der meest voorkomende bezwaren, die aan de inrichting der registreertoestellen verbonden zijn. Dit bezwaar is echter op een zeer vernuftige wijze uit den weg geruimd door REGNARD, in 1857, door middel van hulpraderen. 2) Wij moeten in de duizende constructies, die zijn uitgedacht om den wind, den regen, de temperatuur of den luchtdruk te registreeren, het vernuft van de werktuigkundigen bewonderen; maar juist die groote verscheidenheid in

---

1) Deze beroemde Engelsche werktuigkundige liet de bewegingen van zijn *aanwijzer van drukking* registreeren op een cilinder, die door middel van den zuiger van de machine in beweging werd gebracht.

2) De toestel van REGNARD is op de volgende wijze ingericht. Aan zijn thermometer bijv. is boven de kwikkolom een metalen stift aangebracht, die verbonden is met de registreerstift en zich met deze kan verplaatsen; zoodra de stift het kwik aanraakt, sluit zij een elektrischen stroom. Door middel van dezen stroom brengt een elektromagneet een raderwerk in beweging, dat de stift weer opligt en de aanraking met het kwik verbreekt. Het verbreken van den stroom heeft nu de beweging van een raderwerk ten gevolge dat, in tegengestelden zin draaiende, de stift weer met het kwik in aanraking brengt. Op deze wijze maakt de metaalstift onophoudelijk een reeks van kleine trillingen op de oppervlakte van het kwik, die van geen invloed zijn op het tracé, en vergezelt zoodoende de kwikkolom bij alle verplaatsingen, die deze tengevolge van de temperatuursveranderingen ondergaat. RÉDIER heeft de bewegingen van de hulpraderen daargesteld zonder aanwending van elektriciteit. De zeer kleine verplaatsingen van den drijver, die de beweging van een vloeistofkolom volgt, waren voor hem voldoende om de wickjes van een klein raderwerk beurtelings met elkaar al of niet in gemeenschap te brengen, waardoor de schrijfstift heen en weder werd bewogen met een kracht, die groot genoeg was om nog een duidelijke potloodstreep op het papier voort te brengen.

de aangewende middelen is een groote hinderpaal voor de vorde-  
ringen in de wetenschap, want deze moet trachten al die com-  
binaties meer en meer te vereenvoudigen. 1)

## EERSTE HOOFDSTUK.

### HET REGISTREEREN VAN DE VERPLAATSINGEN VAN LICHAMEN.

Verplaatsingen met tusschenpoozen. — Afdruksels van voetstappen. — Fotografische beelden van de opvolgende standen van een lichaam. — Aanhoudende of continue beweging. — Werktuig dienende om zijn eigen beweging op te teekenen. — Staven van WHEATSTONE; proeven van KÖNIG en van LISSAJOUS; werktuig van TISLEY. — Pantograaf. — Het overbrengen van bewegingen op een afstand.

Elke beweging kenmerkt zich in de eerste plaats door continuïteit of door discontinuïteit, d. w. z. zij kan aanhoudend, onafgebroken zijn, of met tusschenpoozen. Wij treffen deze twee bewegingsvormen al dadelijk aan bij de beweging van dieren; zoo zullen bij de beweging over den grond, de voeten beurtelings in toestand van rust en van beweging zijn, terwijl bij het vliegen en zwemmen deze fasen van tijdelijke onbewegelijkheid niet voorkomen.

De dieren laten zoowel bij de eene als bij de andere soort van beweging soms sporen van hun weg achter; deze soort van natuurlijke registratie mogen wij niet over 't hoofd zien.

#### **Verplaatsingen met tusschenpoozen.**

Wanneer een dier over een zandigen of vochtigen grond loopt, laat het de indrukken van zijn voetstappen duidelijk daarin achter. De jager kan naar deze voetsporen de soort van het dier herkennen; hij schat daarnaar de grootte en de zwaarte van het

---

1) Na al de proeven van constructies van werktuigen in de meteorologische jaarboeken te hebben nagegaan, komt RADAU eindelijk tot deze gevolgtrekking: indien in een groot aantal meteorologische stations de dampkringsverschijnselen allen voortdurend door werktuigen, naar het zelfde beginsel ingericht, werden geregistreerd, dan zou men er eerst aan kunnen denken om archieven van de weërgesteldheid samen te stellen, en de meteorologie zou dan wellicht eerst een exacte wetenschap worden.

dier; hij volgt het langs wegen en velden en zou zelfs, naar den betrekkelijken stand van de afdruksels van elken voet, kunnen zien in welken gang het dier heeft geloopt. Inderdaad is de wetenschap in de vertolking van dergelijke afdruksels zeer ver gevorderd.

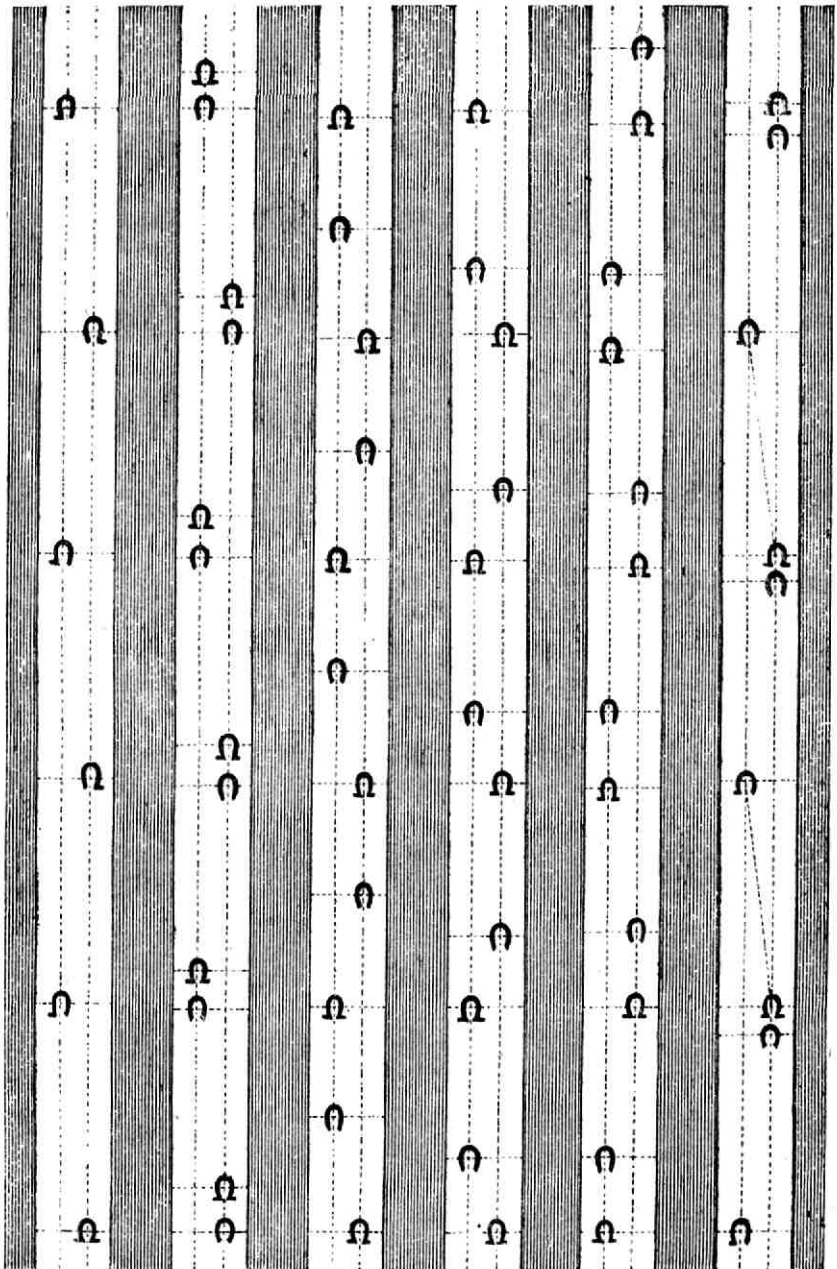
Wanneer deze afdruksels gemaakt zijn in een grond, die bovendien geschikt was om ze ongeschonden te bewaren, dan zijn die soms uit lang vervlogen geologische tijdperken voor ons behouden gebleven. Menige nu uitgestorven diersoort heeft ons niets anders achtergelaten dan hare voetstappen, maar deze sporen, aan een wetenschappelijk onderzoek onderworpen, openbaren ons niet alleen de anatomische kenmerken van het dier uit een vroeger tijdperk, maar geven ons bovendien zeer belangrijke aanwijzingen met betrekking tot de meer of minder snelle bewegingen die het kon verrichten, omtrent de verdeeling van de steunpunten der voeten, de verschillende gangen waarin het kon gaan, enz. \* Deze zoogenaamde fossiele voetstappen zijn voor den geoloog en paleontoloog van de grootste beteekenis geworden en hebben hier en daar geleid tot eenige kennis omtrent de bewerktuiging van dieren uit vroegere tijdperken. \*

Zoo worden op de veeartsenijsscholen de afdruksels van de voetstappen van het paard met zorg bestudeerd, aangezien men hieruit juiste gevolgtrekkingsen kan maken betreffende de grootte van het paard en de wijze van zijn gang; men kan daaruit zien of het bijv. in draf of in galop was en of de beweging langzaam of snel is geweest.

Om hier een denkbeeld van deze belangwekkende studie te geven zijn in fig. 67 de voetstappen van het paard in zijn verschillende gangen voorgesteld. Met een enkelen oogopslag zien wij hieruit dat de betrekkelijke stand van deze afdruksels veel verschilt naar gelang van de onderscheidene gangen en dat men dus hieruit proefondervindelijk zeer juist kan nagaan door welke soort van gang elke rij van voetstappen is teweeggebracht.

Een meer nauwkeurig onderzoek hiervan kan ons verder doen kennen welke rol elk der voeten bij deze afdruksels heeft vervuld; zodoende treedt ons het beeld van het dier in zijn opvolgende standen, waarbij deze afdruksels werden voortgebracht, voor oogen.

Men kan aan enkele bijzonderheden van het beslag het afdruksel



Gewone  
gang.

Gestrekte  
gang.

Korte  
gang.


Telgang.


Korte  
draf.


Galop.

Fig. 67. Voetstappen van het paard in zijn verschillende gangen.

van elk der vier voeten van het paard herkennen. LENOBLE DU TEIL, aan wiens proefnemingen figuur 67 ontleend is, kenmerkt de achtervoeten door naar buiten staande kalkoenen aan het achtergedeelte van den voet, terwijl deze bij de voorvoeten ontbreken. De afdruksels van de twee linker of rechter zijvoeten zijn op twee evenwijdige rechte lijnen te vinden.

Deze aanwijzingen zijn echter nog niet voldoende: een paard dat in den gewonen stap loopt, geeft alleen de afdruksels van de achtervoeten, aangezien deze weer juist de plaats van die der voorvoeten innemen. LENOBLE DU TEIL stelt dit op elkaar vallen van twee afdruksels voor door middel van het teeken , dat dan tegelijk den tak van een voorrijzer en een tak van een achterrijzer met kalkoenen aanduidt

 Afdrukkel van een voorvoet.

 Afdrukkel van een achtervoet.

 of  Dubbel afdrukkel van een achter- en voorvoet.

Houden wij deze beteekenis van de in de figuur voorkomende teekens voor oogen dan zien wij dat *de gewone stap* hierdoor is gekenmerkt dat de afdruksels van de achter- en voorvoeten zoolwel voor de rechter- als linkerszijde volkomen op elkaar vallen; dat verder hierbij de afdruksels der rechtervoeten juist op het midden van den afstand tusschen twee opvolgende afdruksels van de linkervoeten zijn gelegen en omgekeerd.

Wanneer een paard in vrijheid loopt of wel wanneer de ruiter nageeft, zoodat het paard den hals eenigszins kan laten zakken, dan verandert de stand der afdruksels en de achtervoet geeft nu een afdruk vóór den voorvoet; dezen gang noemt men wel *den gestrekten gang*. Komt de afdruk van den achtervoet nog meer voor dien van den voorvoet te staan, dan wijst dit op den zoogenaamden *versnelden stap*. De *korte gang* geeft afdruksels die op gelijken afstand van elkaar liggen. Bij den *telgang* zien wij dat de afstand tusschen den voorvoet aan de eene en den achtervoet aan de andere zijde kleiner is dan die tusschen een voor- en achtervoet aan dezelfde zijde.

Bij den *drarf* nadert de betrekkelijke stand der afdruksels veel



tot die bij den korten gang, met dit verschil dat de voorvoet nu zijn afdruk voor den achtervoet achterlaat.

De *galop* kenmerkt zich door een eigenaardige onregelmatigheid in den stand der afdruksels. Bij den rechtschen galop bijvoorbeeld, zijn de afdrucken der rechtersvoeten verschillend, die van de linkervoeten vallen op elkaar. Het omgekeerde heeft plaats bij het links galoppeeren.

Deze bepalingen van de onderscheidene standen, die de voeten van het dier op den grond met betrekking tot elkaar innemen, worden duidelijker wanneer men nagaat hoe deze bewegingen elkaar in verhouding tot den tijd opvolgen; later zullen wij den rhythmus van den hoefslag bespreken. Over 't algemeen is het tamelijk gemakkelijk om bij de nietbeslagen dieren de afdruksels van de achtervoeten te onderscheiden van die van de voorvoeten; ook laten zich met een weinig oefening gemakkelijk de voetstappen van de linker- van die der rechtersvoeten onderkennen. Men kan onder anderen deze proefnemingen gemakkelijk op den hond doen. Ten opzichte van den betrekkelijken stand der steunpunten bij de verschillende gangen verschillen de afdruksels van de voetstappen van een hond weinig van die van een paard; echter merkt men bij den galop een meer schuinen stand van de as van het lichaam op, van daar dat de afdruksels dan meer van elkaar afwijken. De afdrucken der voetstappen zijn gemakkelijk te verkrijgen als men een hond eerst te water laat gaan en daarna over een droog en effen oppervlak, bijv. over een steenen vloer of een trottoir laat loopen.

Voor hen, die zich weinig gemeenzaam hebben gemaakt met deze soort van onderzoekingen, is het aanbevelenswaardig de pooten der dieren te bevochtigen met verschillend gekleurde vloeistoffen; hierdoor wordt de onderscheiding der afdruksels bijzonder gemakkelijk. Kleine insecten laten een zeer duidelijk spoor van de standen der pooten achter, als men ze over een oppervlak laat loopen dat met lampzwart bedekt is.

#### **Photografische beelden van de opvolgende standen van een lichaam.**

Wanneer men met een periodieke verplaatsing tusschen twee bepaalde punten te doen heeft, kan men door middel van de

photografie zeer duidelijke beelden van het lichaam in zijn uiterste standen verkrijgen.

ONIMUS heeft deze handelwijze met veel voordeel toegepast op het bepalen van de zoo verschillende toestanden, die het hart met betrekking tot zijn vorm en zijn volume bij het beurtelings samentrekken en verslappen vertoont. De geluidgevende snaren bieden een schouwspel aan, geheel overeenkomstig met dat van een trillende stemvork: door één onzekeren en een anderen meer scherp begrensden omtrek worden de grenzen van hare trillende bewegingen bepaald.

Het is wel onnoodig meer voorbeelden van bewegingen met tusschenpoozen op te noemen, waarbij men door fotografie de opvolgende standen van een lichaam duidelijk kan afbeelden; op deze manier verkrijgt men aanwijzingen, die zeer geschikt zijn om de verplaatsingen juist te doen kennen.

#### **Aanhoudende verplaatsing of continue beweging.**

Deze bepaling is veel belangrijker dan de voorgaande, want zij is op een veel grooter aantal gevallen van toepassing.

Wanneer een lichtend punt zich snel verplaatst, laat het een lichtend spoor achter; nu eens is het een schitterende stroep, zooals wij bij de beweging van een meteor door onzen dampkring waarnemen, dan weer is het ons oog zelf dat eenige oogenblikken den indruk van het licht, waardoor 't werd getroffen, behoudt. Deze glans, hij moge reëel of subjectief zijn, toont ons den doorloopen weg in zijn geheel, als getraceerd door een gloeiende stift; hij toont ons den weg van den bliksemstraal in zijn zigzagvorm; ongetwijfeld zal hierdoor de mensch op het denkbeeld gekomen zijn de vermoedelijke baan van een zich bewegend lichaam in een vlakke figuur af te teekenen. Deze voorstelling van beweging is identisch met die van den stoffelijken vorm der lichamen; trouwens deze beide begrippen, die van beweging en van vorm, zijn in onzen geest onafscheidelijk aan elkaar verbonden. Is de bepaling van de rechte lijn niet *de kortste weg* tusschen twee punten? 1) Wordt in de meetkunde niet geleerd,

1) \* De tegenwoordig veel in gebruik zijnde bepaling van de rechte lijn verbindt evenzeer de begrippen van vorm en van beweging. Zij is deze: de rechte lijn is van

dat de cirkelomtrek ontstaat door de *beweging* van een punt in een plat vlak, terwijl dit punt steeds op denzelfden afstand van een bepaald punt, het middelpunt, verwijderd blijft? En *volgt* de teekenaar, die den vorm van een voorwerp afbeeldt, niet altijd met het oog de omtrekken, die zijn potlood op het papier schetst?

Vorm en beweging laten zich dus met evenveel gemak op een zelfde wijze uitdrukken, maar het is niet even gemakkelijk om van beiden een nauwkeurige en juiste kennis te verkrijgen.

Voor het beoordeelen van den vorm kunnen wij al onze zintuigen aanwenden, terwijl deze beoordeeling nog gemakkelijk wordt gemaakt door de onveranderlijkheid van den vorm; voor het beoordeelen van een beweging daarentegen kunnen wij ons in de meeste gevallen alleen van ons gezicht bedienen, en dan gebeurt het nog dikwijls dat zij, wegens hare groote snelheid of langzaamheid of haar al te geringen omvang, geheel aan onze waarneming ontsnapt.

In al deze bezwaren komen de registreertoestellen te hulp, wanneer zij de in beweging zijnde massa zelve den vorm van haar beweging laten traceeren; wel is waar is men hierin slechts in daarvoor bijzonder gunstige gevallen geslaagd, maar deze methode van autografisch registreeren krijgt met elken dag een grootere uitbreiding, zoodat het moeilijk is te voorzien hoever haar gebruik zich nog zal uitstrekken.

Stellen wij ons een werktuig voor, welks verschillende deelen zich zoo snel bewegen, dat men met het oog onmogelijk den omvang, noch den vorm dezer bewegingen kan bepalen; bevestigt men nu een potloodstift aan een dezer beweegbare deelen, dan kan men op een blad papier het tracé van de beweging verkrijgen. De gedaante van dit tracé hangt natuurlijk geheel van den aard der beweging af; een rechte lijn zal een rechtlijnige beweging voorstellen en daarvan de uitgestrektheid bepalen; in de meeste gevallen verkrijgt men meer of minder regelmatige cirkelvormige of elliptische figuren. Door die figuren zal men bemerken dat de werking der onderdeelen van het werktuig niet altijd aan de theorie daarvan beantwoordt, maar dat de kleinste onzuiverheid

---

alle lijnen, die men zich tusschen twee punten kan getrokken denken, diegene, die bij de draaiende *beweging* der figuur om deze punten niet van plaats verandert. \*

in een of ander deel van het werktuig voldoende is om zijn verrichting te wijzigen en te verstoren.

Niet altijd is de beweging geschikt om in haar ware afmetingen op het papier te worden opgeteekend; is zij te klein, dan moet men haar vergrooten, opdat haar tracé zichtbaar worde, terwijl een beweging van te grooten omvang daarentegen moet verkleind worden. Hiervoor nu bestaan een tal van handelwijzen, die voor het meerendeel op de meetkundige eigenschappen van den hefboom berusten, zooals wij dit onder anderen bij den pantograaf zien. Ook laat zich een vergrooting of verkleining van een beweging zeer goed door een stelsel van in elkaargrijpende raderen daarstellen.

Een der grootste hinderpalen voor de aanwending der grafische methode bij het bestudeeren van de verplaatsingen van een lichaam is de moeielijkheid, die zich bijna altijd voordoet, om aan dit lichaam een schrijfstift te bevestigen, en ook om het blad papier zoo te plaatsen, dat het tracé van de stift duidelijk wordt verkregen. Ook is het noodzakelijk een middel aan te wenden, waardoor de beweging op een afstand wordt overgebracht, om aldaar getraceerd te worden; dit overbrengen van de beweging geschiedt het best door middel van luchtbuizen. De toestel die het best bij deze soort van proeven aan het doel beantwoordt, bestaat uit een stelsel van twee *trommels met hefboomen*, waarvan de eerste de beweging ontvangt, de tweede de beweging traceert. 1)

---

1) Deze trommels bestaan ieder uit een metalen doos, van boven gesloten door een dun en zwak gespannen caoutchouc-vlies. In elke trommel opent zich een metalen buis; deze beide metalen buizen der trommels zijn door een caoutchouc-buis met elkaar in gemeenschap gesteld. Drukt men het vlies van de eerste trommel naar binnen, dan wordt een gedeelte van de hierin bevatte lucht uitgedreven, en deze gaat door de buis in de tweede trommel, wier vlies nu door de vermeerderde spanning wordt opgeheven. Wordt de druk van het eerste vlies weggenomen, dan daalt het vlies van de tweede trommel. Door middel van deze wederkerige werking der trommels op elkaar kan men nu een beweging op een afstand overbrengen. Daartoe bevestigt men op elk der caoutchouc-vliesjes een aluminium-schijfje dat verbonden is aan een hefboom, waarvan het draaipunt dicht bij het punt van bevestiging is gelegen; de hefboom kan dus vertikale bewegingen uitvoeren. Deelt men nu aan een dezer hefboompjes een beweging mede, dan zal door middel van het aluminium-schijfje het daarbij behoorende vlies een op- of neerwaartsche beweging ontvangen; deze beweging wordt nu aan den tweeden

In figuur 68 zien wij voorgesteld hoe de rechte lijnige beweging van een willekeurig punt aan de *ontvangende trommel (ontvanger)* kan worden medegedeeld en door een buis naar de *registreerende trommel* kan worden overgebracht.

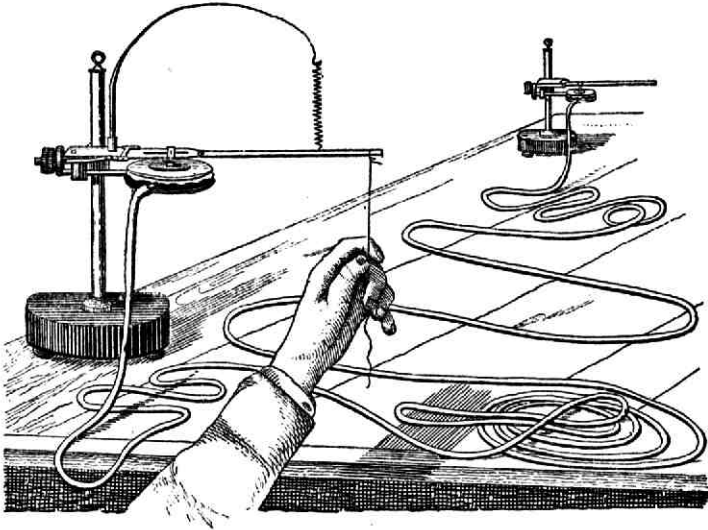


Fig. 68. Trommels met hefboomen, met elkaar in verbinding staande ter overbrenging van bewegingen.

Hiertoe is het voldoende een draad met één uiteinde te bevestigen aan een voorwerp, welks beweging men wil bepalen, met het andere uiteinde aan een hefboom, opgesteld zooals de figuur aangeeft. Deze hefboom wordt toch naar boven getrokken door middel van een spiraalveer, welke aan een arm is bevestigd, en naar beneden getrokken door den draad dien de proefnemer in de hand houdt. Daalt de hand, dan zal de hefboom, toegevend aan de trekkracht van den draad, evenzeer dalen en daardoor de veer spannen; gaat de hand naar boven, dan doet de gespannen veer den hefboom rijzen, waarbij de draad steeds gestrekt blijft. Al deze bewegingen worden in tegengestelden zin door den regi-

---

hefboom, doch in tegengestelden zin, meegeleed, en is nu deze van een stift of een veertje voorzien, dat langs een met lampzwart bedekt papier strijkt, dan krijgt men zoodoende een tracé (zie Techniek, Hoofdstuk I).

streerenden hefboom herhaald. 1) In veel gevallen kan op deze manier een beweging zeer gemakkelijk door een enkelen draad, dien men naar omstandigheden korter of langer kan nemen, worden overgebracht.

Op deze wijze kan alleen een rechte beweging geregistreerd worden die in de meeste gevallen niet zoo bijzonder belangrijk is; maar nu kan men, door gebruik te maken van twee stelsels van trommels met hefboomen, die met elkaar in gemeenschap staan, de gedaante van elke willekeurige beweging doen opteekenen, wanneer deze beweging in een plat vlak plaats heeft. Deze methode steunt op het volgende beginsel: *elke beweging die in een plat vlak plaats heeft, kan worden aangemerkt als ontstaan te zijn uit twee rechte bewegingen loodrecht op elkaar.*

Toen WHEATSTONE aantoonde dat wanneer men aan het uiteinde van een trillende staaf een glinsterend knopje aanbrengt, door de beweging van dit knopje figuren worden voortgebracht die verschillen naar gelang van het verschil in snelheid van beide trillingsbewegingen, welke plaats hebben in vlakken die elkaar loodrecht snijden, stelde deze vermaarde natuurkundige daardoor een nieuwen weg voor de grafische methode open (fig. 69).

Weldra ontwierp nu KOENIG het tracé van dergelijke bewegingen, door de staven van WHEATSTONE van een schrijfstift te voorzien.

Deze staven van WHEATSTONE zijn rechte metaalstangen, die naar gelang van de dikte, die zij in twee verschillende richtingen bezitten, trillingen van een gelijk of verschillend aantal in beide richtingen kunnen volbrengen.

Later heeft LISSAJOUS nog op een andere wijze het verschijnsel op een zeer bevattelijke wijze voorgesteld, door een werktuig samen te stellen, dat door middel van een raderwerk aan een schrijfstift twee rechte bewegingen, in richtingen loodrecht op elkaar, meedeelt. Men kan met dit werktuig de snelheid en de fasen der beide rechte bewegingen naar willekeur regelen. Men ziet dan hoe de cirkel ontstaat door twee synchronistische trillingen van gelijke amplitude; zijn de amplituden

---

1) Wil men de beide hefboomen bewegingen in denzelfden zin laten verrichten, dan heeft men slechts een der toestellen om te keeren.

in dit geval ongelijk dan ontstaat een ellips, wier groote as overeenkomt met de grootste amplitude; op deze wijze kan men

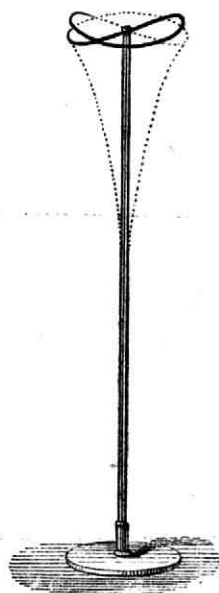


Fig. 69. Figuur beschreven door het glinsterend uiteinde van een trillende staaf van WHEATSTONE; de verhouding der trillingen is 2 : 3.

een tal van eigenaardige trillingsfiguren verkrijgen. Zoo is de figuur in den vorm van een 8 verkregen door de resulterende beweging van een vertikale trilling met een horizontale, wier snelheid tweemaal grooter is dan die van de vertikale (fig. 70).

Zoo zijn de figuren, die op derde rij in fig. 70 voorkomen, ontstaan door de resulterende beweging van twee trillingsbewegingen in loodrechte vlakken, waarbij de snelheden zich verhouden als 2 tot 3.

\* De verschillende figuren, die hier op een zelfde rij zijn geplaatst, en die dus ontstaan zijn door trillingsbewegingen, wier snelheden een bepaalde verhouding hebben, worden gevormd door het verschil in phase van de beide trillingen te veranderen. Zoo zijn bijv. de figuren van de eerste rij achtereenvolgens ontstaan door eerst het verschil in phase op nul te brengen, vervolgens op  $\frac{1}{8}$ ,  $\frac{2}{8}$ ,  $\frac{3}{8}$  en  $\frac{4}{8}$  van den trillingstijd. (Twee trillingen hebben geen verschil in phase wanneer op het zelfde oogenblik

voor beide trillingen hetzelfde gedeelte van den trillingstijd, d. i. van den tijd die benoodigd is om een geheele trilling te volbrengen, verlopen is). \*

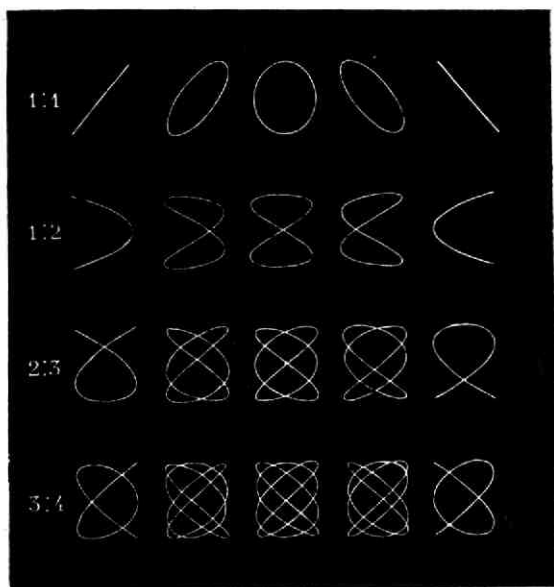


Fig. 70. Resulteerende bewegingen van twee trillingen.

Aangezien men tot in het oneindige de verhouding tusschen de beide bewegingen kan wijzigen, kan men ook op deze wijze alle mogelijke figuren door de stift laten traceeren en zoo zullen al deze figuren dan wijzen op de combinatie van twee bewegingen, die plaats hebben in vlakken loodrecht op elkaâr, zooals boven is gezegd.

In het South Kensington Museum werd in 1877 een door TISLEY en SPILLER vervaardigd werktuig tentoongesteld, dat alle mogelijke soorten van figuren traceerde, die door de resulteerende beweging van twee rechte bewegingen werden voortgebracht. Het bestaat uit twee slingers, bevestigd volgens de ophangwijze van CARDANUS, waarvan de eerste van een stift, de tweede van een plaat of schijf voorzien is, waarop de stift kan schrijven. Door middel van verschuifbare gewichten kan men naar willekeur de



beweging van elk der slingers regelen, terwijl men eveneens den hoek tusschen de twee slingervlakken kan veranderen.

Door het aanbrengen van deze veranderingen krijgt men als 't ware een oneindig aantal verschillende vormen, die hoogst belangrijk zijn.

Figuur 71 toont ons slingerbewegingen, die zich verhouden als

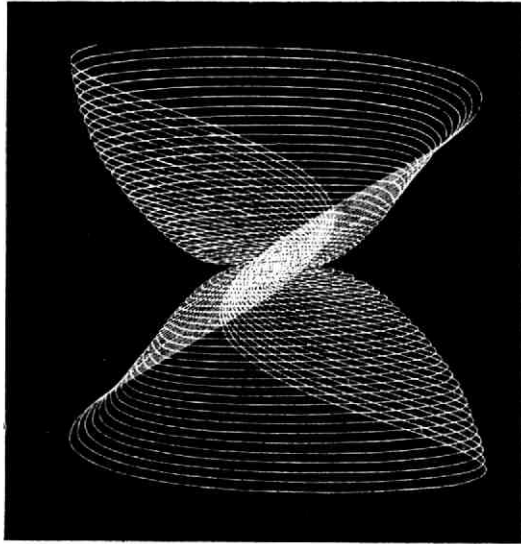


Fig 71. Tracé van den harmonigraaf van TISLEY. Verhouding der slingeringen 1 : 3.

1 tot 3, en die plaats hebben in vlakken, niet volkomen loodrecht op elkaar; ook bemerkt men in de figuur een kleine onregelmatigheid, die in de volgende tracés nog meer uitkomt.

In figuur 72 is de verhouding der slingeringen 1 : 2; hier zien wij een reeks van 8-vormige kromme lijnen beschreven rondom een zelfde middelpunt; dit is een gevolg van de ronddraaiende beweging van het papier, dat het tracé ontvangt. Voor morphologen is het van belang deze figuur aandachtig na te gaan, daar zij hieruit kunnen zien, hoe door de combinatie van een klein aantal bewegingen zeer samengestelde vormen kunnen worden voortgebracht. In deze figuur, evenals in de andere, neemt de beweging langzamerhand af, tot eindelijk het verdwijnen der

lijn in het middelpunt het totaal ophouden der beweging aanduidt.

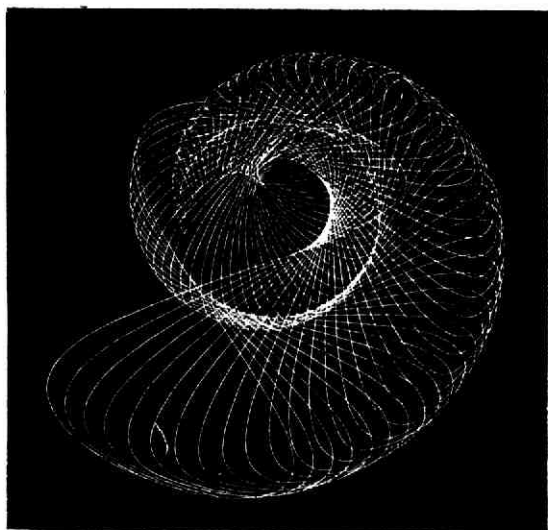


Fig. 72. Harmonigraaf. Verhouding der slingeren 1 : 2.

In figuur 73 is de verhouding der slingeren 2 : 3. Ook deze

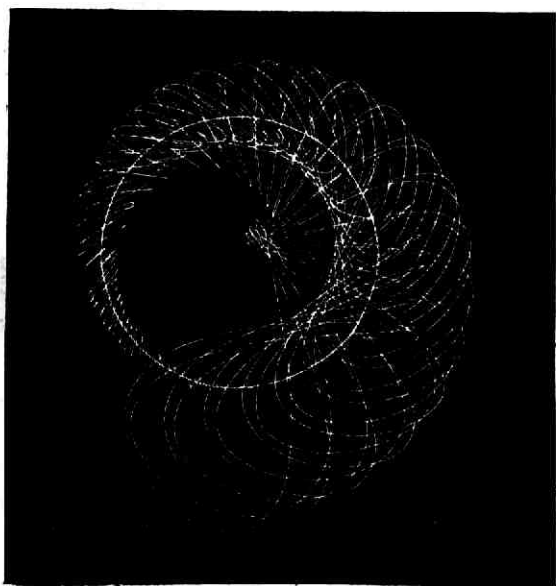


Fig. 73. Harmonigraaf. Verhouding der slingeren 2 : 3.

figuur geeft ons een eigenaardig type van een samengestelden vorm, voortgebracht door een eenvoudige verbinding.

Zooals wij vroeger zeiden, kan een rechtlijnige beweging door middel van luchtbuizen op een afstand worden overgebracht. Handelt men nu op deze wijze met de hier beschouwde rechtlijnige bewegingen, wier richtingen een rechten hoek met elkaar maken, dan zal men dus elke beweging, die in een plat vlak plaats heeft, op grooten afstand kunnen laten registreeren. Op deze wijze is de beweging van het vliegen van vogels bestudeerd en is experimenteel de beweging bepaald, die de vleugel daarbij uitoefent in de gewrichtsverbinding met den schouder. 1).

Het overbrengen der beweging geschiedt het gemakkelijkst op de wijze zooals in fig. 74 is voorgesteld; het is voldoende een draad te bevestigen aan het beweegbare lichaam, om zoo de bewegingen, die in de richting van dezen draad plaats hebben, over te brengen.

Sedert langen tijd geschiedt het registreeren van een figuur in

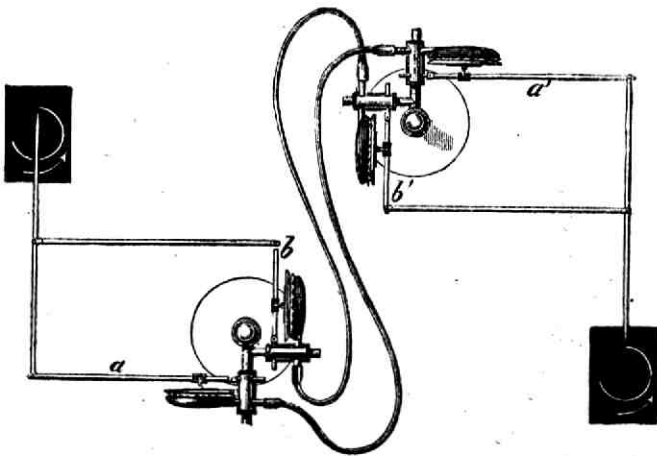


Fig. 74. Pantograaf met luchttransport. Men ziet den toestel van boven.

een plat vlak door middel van den *pantograaf*; de met elkaar in verbinding gestelde deelen van dezen toestel veroorloven elke

1) Een beschrijving van deze proef en van den toestel vindt men *Bibl. des Hautes Etudes*, 1e deel 1869, p. 228 en *La Machine animale* van MARRY, p. 244.

willekeurige figuur in haar natuurlijke grootte, of verkleind, of vergroot te traceeren.

Wanneer men aan een der punten van den pantograaf een beweging mededeelt, zal het andere punt deze beweging registreeren. Maar het aantal gevallen, waarin dit werktuig voor het bestudeeren van bewegingen zou kunnen gebruikt worden, zou op deze manier zeer beperkt zijn, aangezien het lichaam, welks beweging men wil registreeren, met het werktuig zou moeten verbonden worden.

Door een eenvoudige inrichting kunnen echter bewegingen, die in een tamelijk ver afgelegen punt plaats grijpen, bijv. op een afstand van 10 meter, worden geregistreerd, hetgeen in bepaalde gevallen zeer nuttig is. Figuur 74 toont ons deze inrichting van den toestel, die daarom genoemd is *pantograaf met luchttransport*. Het is een stelsel bestaande uit vier trommels met verbonden hefboomen, verdeeld in twee groepen. De eerste groep van twee trommels maakt de *schrijftoestel*, de tweede de *ontvanger* uit. Het is onverschillig welke der twee groepen men voor schrijftoestel neemt; wij zullen bij de beschrijving van den proef onderstellen dat het hier de rechtergroep is.

De vier trommels zijn zoodanig geplaatst dat hun vliezen in een vertikaal vlak komen te liggen; bovendien liggen de hefboomen van een zelfde groep in een horizontaal vlak en snijden elkaar rechthoekig.

De verbinding van de hefboomen der beide groepen met elkaar blijkt uit de figuur;  $a$  is met  $a'$ ,  $b$  met  $b'$  verbonden; uit deze verbinding volgt gemakkelijk, dat de beweging van de eerste groep door de tweede groep in denzelfden zin wordt overgenomen. De twee trommels van elke groep zijn met elkaar verbonden door rechthoekige stangen; een der zijden van den aldus gevormden rechthoek is verlengd en eindigt in een schrijfstift. Elke beweging, die door de stift van den ontvanger in het horizontale vlak wordt gemaakt, wordt door de stift van den schrijftoestel overgenomen. Beschrijft de stift van den ontvanger een cirkel op een glas, dat met roetzwart is bedekt, dan traceert de stift van den schrijftoestel dezelfde figuur.

## TWEEDE HOOFDSTUK.

### CHRONOGRAFIE.

Chronometers; het grafisch meten van tijdruimten. Draaiende cilinders en reguleurs.— Het controleeren van de cilinderbeweging met behulp van de stemvork. — Overbrenging van de chronografische aanwijzingen. — Elektrische seinen. — Luchtseinen. — Toepassingen van de chronografie; bepaling van het oogenblik waarop een verschijnsel zich voordoet. — Het meten van de persoonlijke fout. — Bepaling van tijdduur. — Opeenvolging en synchronisme. — Frequentie. — Regelmatigheid. — Periodiciteit.

Bij de beoordeeling van verschijnselen van korten duur vindt het gebruik van de volmaaktste chronometers zijn natuurlijken grens in de onvolkomenheid onzer zintuigen. Indien de wijzer van een dezer uurwerken zich over de wijzerplaat beweegt, en elke sekonde of elk vierde gedeelte van een sekonde even stilhoudt, is het vrij moeilijk den juisten stand waar te nemen, dien hij bij het begin en bij het einde van een verschijnsel inneemt; een fout van een kwart-sekonde wordt zoo licht gemaakt. Als een bijzonder vooruitgang bij deze soort van bepalingen moet men dus het gebruik van den registreerenden chronometer beschouwen: de wijzer, die aan zijn punt met inkt is bevochtigd, wordt hier door middel van een drukveertje tegen de wijzerplaat gedrukt, en laat aldus het spoor achter van zijn stand op een bepaald oogenblik; om nu den duur van een verschijnsel te meten, drukt men den wijzer tegen de plaat op de oogenblikken, dat het verschijnsel begint en ophoudt, en zodoende laat zich uit het aantal verdeelingen der wijzerplaat tusschen de getraceerde punten het tijdsverloop bepalen.

Een groot voordeel van deze soort van chronometers is, dat het niet noodig is naar de wijzerplaat te zien gedurende een waarneming; een enkele druk van den vinger op de oogenblikken waarop het verschijnsel begint en eindigt, is voldoende om den duur hiervan te bepalen.

Maar wanneer de te meten tijd één geheel omgang van den wijzer overtreft en bijv. overeenkwam met een groot aantal van die omgangen, dan ontstaat een ander bezwaar, want men loopt gevaar zich bij het tellen van die omgangen te misrekenen. Het aanstippen van den tijd moet dan in zulke gevallen geschieden op een lange strook papier, die zich met een bekende snelheid beweegt.

Een groote moeielijkheid, die zich bij het grafisch meten van den tijd voordoet, is om aan het oppervlak, dat de teekens ontvangt, een volkomen regelmatige beweging van een bekende snelheid mee te deelen.

### Chronografie.

Voor het oppervlak, dat het tracé ontvangt, kan men nemen een metalen plaat, die in haar eigen vlak een draaiende beweging heeft of ook wel een cilinder, die om zijn as draait. Deze laatste wordt het meest gebruikt uithoofde van de gemakkelijkerheid, waarmee men hierop de lijnen traceeren kan. Men bedekt daartoe een metalen cilinder met een blad zeer glad papier, waarvan de uiteinden aan elkander worden gelijmd. Vervolgens draait men den cilinder met een snelheid van ongeveer één omwenteling in de sekonde rond, en maakt, terwijl men langzaam een kaars- of petroleumvlam langs den draaienden cilinder beweegt, het papier gelijkmatig zwart. In dezen gezwarten cilinder heeft men dan een oppervlakte verkregen, waarop de geringste wrijving haar spoor zal achterlaten; zoo zal bijv. het vleugeltje van een insect het lampzwart wegnemen en een wit streepje achterlaten, als bewijs van aanraking. Wanneer men het tracé op het papier wenscht te bewaren, kan men dit fixeeren, door het papier, na het van den cilinder afgenomen te hebben, in met vernis bedeeden alcohol te doopen en daarna te drogen (voor deze bijzonderheden zie men de Vijfde Afdeeling, Hfst. II).

Ten einde de omwentelingsbeweging van den cilinder zoo eenparig mogelijk te maken, bedient men zich van een uurwerk, dat voorzien is van een reguleur. Een zeer juist werkende reguleur is die van VILLARCEAU (fig. 75) die ook de eigenschap bezit verschillende snelheden toe te laten, die tot het dubbele kunnen toenemen, naar gelang de toestel onder een helling of wel vertikaal is geplaatst.

Ook heeft HELMHOLTZ een elektrischen reguleur samengesteld, die, naar het schijnt, met groote juistheid werkt.

Wanneer de proeven vereischen dat de draaiing van den cilinder sneller of langzamer moet geschieden, dan kan men die verandering gemakkelijk aanbrengen, door den cilinder op een van de

drie assen te plaatsen, die zijn aangebracht aan de schijven, tusschen welke de cilinder zich beweegt; de bovenste as maakt haar

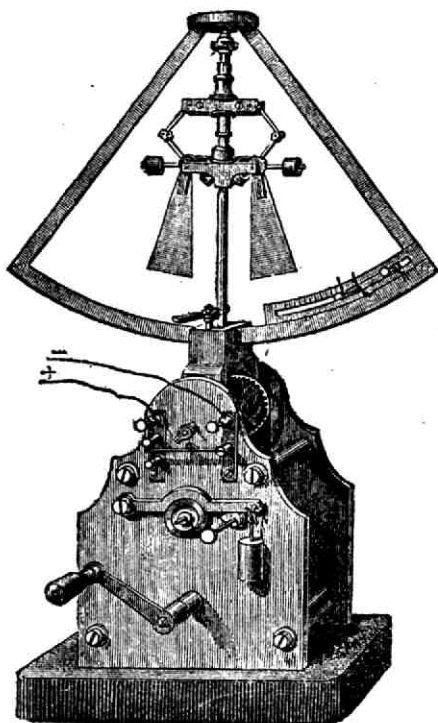


Fig. 75. Regulateur van VILLARCEAU.

omwenteling in anderhalve sekonde, de middelste as in zes sekonden en de onderste in een minuut.

### **Chronografen.**

De bovenbeschreven regulateurs geven aan den cilinder een zeer eenparige beweging van bekende snelheid, waardoor men gemakkelijk een tijdruimte naar de lengte van het papier, tusschen twee teekens doorloopen, kan meten; maar deze toestellen zijn kostbaar. Dikwijls is het eenvoudiger van de volmaakt eenparige beweging van den cilinder af te zien en over te gaan tot een voortdurend controleeren van de snelheid, waarmede hij

draait. Daartoe bedient men zich van *chronografen*, toestellen die wij hier zullen beschouwen. Het doel van alle chronografen is om aan een schrijfstift isochrone trillingen van een bekende snelheid mee te deelen, zoodat men door het aantal trillingen, afgeteekend tusschen twee merkteekens, den tijd kan bepalen, die deze merkteekens scheidt.

Wij hebben gezien dat THOMAS YOUNG het eerst op het denkbeeld kwam om op een draaienden cilinder de trillingen van een staaf, voorzien van een schrijfstift, af te teekenen; daar deze bewegingen isochroon zijn, komt elk der getraceerde golven overeen met een altijd even groot tijddeel. DUHAMEL wendde de stemvork tot hetzelfde doel aan; hierdoor werd een nieuwe stoot aan de chronografie gegeven.

Men kan inderdaad met een bijzondere juistheid het aantal trillingen, die een stemvork in de sekonde maakt, bepalen; dit staat in verband met de nauwkeurigheid, waarmee men deze instrumenten onderling vergelijkt en regelt, hetzij door de optische methode van LISSAJOUS of door de acoustische methode van KÖNIG. 1)

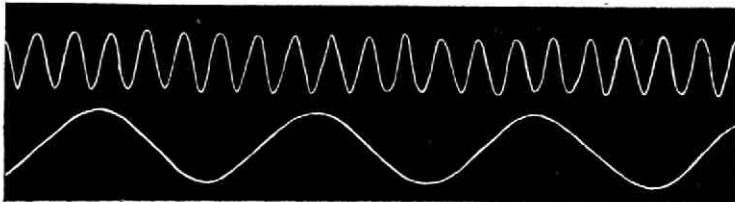


Fig. 76. Tracé van een chronografische stemvork van 10 trillingen in de sekonde.

Naargelang van de nauwkeurigheid, waarmee men den tijd wil meten, en vooral naargelang van de snelheid van den cilinder, waarop de teekens geregistreerd worden, moet men stemvorken nemen waarvan het aantal trillingen verschilt. De stemvorken van 50 tot 500 trillingen in de sekonde worden het meest gebruikt. 2)

1) KÖNIG heeft door de methode der zwevingen een volmaakte overeenstemming gekregen in de trillingsbeweging van stemvorken, die meer dan 20 000 trillingen per sekonde maakten.

2) In fig. 76 heeft men de stemvork hare trillingen laten opschrijven bij twee ver-



Somtijds heeft men grootere tijdverdeelingen noodig; reeds voor het meten van tiende deelen van een sekonde zijn toestellen noodig, die over 't algemeen te massief en moeilijk te behandelen zijn; daardoor zou het onmogelijk worden gelijktijdig de trillingen van de stemvork en de teekens, die het begin en het einde van het beschouwde verschijnsel aangeven, te registreeren. Om hierin te hulp te komen, kan men twee middelen aanwenden om de trillingen van de stemvork naar toestellen van kleiner afmeting over te brengen; de eene wijze van overbrenging der beweging geschiedt door luchtbuizen, de andere door elektriciteit.

**Trillingen van een stemvork overgebracht door de  
lucht en op een afstand geregistreerd.**

Wij hebben gezien hoe de beweging van een hefboom, die verbonden is met het vlies van een trommel, op een afstand naar een tweede trommel kan overgebracht worden om daar geregistreerd te worden. Gesteld nu dat het vlies van de eerste trommel verbonden is aan een der beenen van een groote trillende stemvork, dan zullen deze trillingen naar de trommel met registreerenden hefboom worden overgebracht, die op een draaienden cilinder dezelfde figuur zal traceeren als die, welke de stemvork zelf zou hebben afgeteekend.

Een dergelijke trommel met hefboom (zie fig. 77) neemt weinig



Fig. 77. Trommel met hefboom van kleine afmeting, gemakkelijk naast andere registreertoestellen te plaatsen (op de helft der ware grootte).

plaats in en is gemakkelijk naast andere dergelijke toestellen te plaatsen, die verschillende bewegingen registreeren, wier duur

---

schillende snelheden van den cilinder; het grootst aantal trillingen werd natuurlijk opgeschreven bij de kleinste omwentelingssnelheid. Door het aantal kleine trillingen te tellen, die in een groote begrepen zijn, krijgt men de betrekking tusschen de twee snelheden van den cilinder.

dan zeer gemakkelijk te bepalen valt. (Zie voor bijzonderheden hieromtrent Techniek, Hfst. II).

**Overbrenging der trillingen van een stemvork door  
middel van elektriciteit.**

Reeds sedert lang is het vraagstuk, de trillingen van een stemvork door middel van elektriciteit te onderhouden, door HELMHOLTZ, REGNAULT, FOUCAULT en verschillende andere natuurkundigen opgelost.

De trillingen van een stemvork openen en sluiten beurtelings een elektrischen stroom: plaatst men nu in de geleiding een toestelletje, bestaande uit een lichte stift die, voorzien van een stukje week ijzer, onderworpen is aan de werking van een elektromagneet, dan zal door het openen en sluiten van den stroom, door de stemvork te weeggebracht, de stift een trillende beweging verkrijgen, die op den cilinder wordt geregistreerd. In figuur 78 is de elektrische chronograaf voorgesteld, die even gemakkelijk kan aangewend worden als de trommel met hefboom, hierboven voorgesteld, en daarbij nog dit voordeel heeft, dat men hiermede de trillingen op onbepaalde afstanden kan overbrengen. (Zie Techniek Hoofdstuk II).



Fig. 78. Elektrische chronograaf van klein model (op de helft der ware grootte).

Deze verschillende wijzen van direkt of indirekt registreeren van de trillingen eener stemvork voldoen aan alle behoeften van de meest nauwkeurige chronografie.

Door CORNU is een zeer vernuftige inrichting uitgedacht, waardoor men bij de slingeren van een astronomisch slingeruurwerk trillingen kan registreeren, die overeenkomen met het één tiende van een sekonde; hierdoor worden dus de tijddeelen weer in onderdeelen verdeeld. Men leest deze chronografische tracés af met behulp van een mikroskoop met veranderlijke vergrooting,

in welks oculair een mikrometer met constante schaal is aangebracht. Men brengt nu de tracés van den chronograaf in het gezichtsveld van de verdeelingen van den mikrometer, waardoor men snel en nauwkeurig de onderdeelen van een sekonde kan meten. 1)

### Seinen.

Wanneer het bij het meten van den tijd op groote juistheid aankomt, wordt de onnauwkeurigheid, die begaan wordt bij het aangeven van het begin en van het einde van een verschijnsel, betrekkelijk zeer groot.

De sterrekundigen hebben het eerst ingezien, dat niemand het juiste oogenblik kan aanstippen, waarop een verschijnsel zich voordoet; het sein komt altijd een weinig na het oogenblik, dat daardoor moest worden aangeduid; dit verschil wordt bestempeld met den naam van *persoonlijke fout*; de grootte hiervan hangt van den waarnemer af.

Een ieder, die het oogenblik, waarop een verschijnsel begint of ophoudt, wil aangeven, vervalt noodzakelijk in deze fout, zoodat men bij nauwkeurige metingen van zelf tot automatische seinen zijn toevlucht moet nemen en het verschijnsel werktuigelijk zijn begin en zijn ophouden zelf moet laten opteekenen.

### Elektrische seinen.

De elektrische seinen zijn de beste die men bezit, aangezien zij met de grootst mogelijke snelheid worden overgebracht van de plaats, waar zich een verschijnsel voordoet, naar die, waar het geregistreerd moet worden. Bovendien bezitten zij nog dit voordeel, dat zij voor hunne werking slechts de noodige beweegkracht vereischen om een elektrischen stroom te openen of te sluiten; zij schijnen dus volmaakt te zijn.

Toch heeft men bij de steeds toenemende eischen, die aan de proefneming gesteld worden, ingezien dat het elektrisch registreeren, hoe ook aangewend, nog verre van volmaakt was. Om dus

---

1) A. CORNU, *Détermination de la vitesse de la lumière*, Parijs, 1876.

nog meerdere juistheid bij deze proefnemingen te verkrijgen, heeft DEPRez getracht deze soort van werktuigen nog meer te verbeteren, welke pogingen met den besten uitslag zijn bekroond. In figuur 79 is de elektromagnetische seintoestel van DEPRez voorgesteld (zie Techniek, Hfst. II); deze toestel is eveneens zeer geschikt om naast andere registreerapparaten, die op een en denzelfden cilinder schrijven, geplaatst te worden.

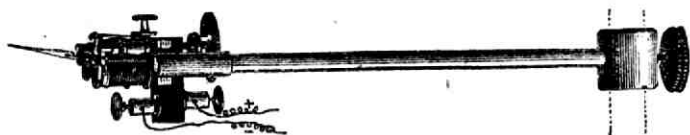


Fig. 79. Elektromagnetische seintoestel van M. DEPRez met zijn tracé (op de helft der ware grootte).

In bovenstaande figuur is het tracé voorgesteld van een stemvork, die 500 enkelvoudige trillingen maakt in de sekonde. Men ziet uit de figuur dat het tijdsverloop, waarin de stroom achtereenvolgens geopend en gesloten wordt, veel korter is dan het  $\frac{3}{10}$  van een sekonde, omdat na elk sein de stift gedurende een betrekkelijk langen tijd in rust blijft. Een dergelijke toestel is van veel nut bij een groot aantal proefnemingen.

### Luchtseinen.

In veel gevallen is het elektrisch sein door een luchtsein te vervangen.

De toestel, in figuur 68 voorgesteld, is zeer geschikt om op den cilinder het juiste oogenblik van het begin en van het einde van een verschijnsel te registreeren. Gesteld bijv. dat op een gegeven oogenblik hefboom n°. 1 door trekken of schokken in beweging wordt gebracht; hefboom n°. 2 zal nu deze beweging op den cilinder traceeren; een tweede beweging wordt evenzoo geregistreerd; op deze wijze zal men tracés verkrijgen, die nagenoeg volkomen gelijk zijn aan die van den elektromagnetischen toestel. Eindelijk

kan men door een chronograaf of stemvork, naar het aantal trillingen die zij opteekenen, den tijd meten, die tusschen de twee bewegingen is verlopen.

De snelheid waarmee de seinen door de lucht worden overgebracht, is nagenoeg gelijk aan die, waarmee het geluid zich door de lucht voortplant; bij zeer nauwkeurige proefnemingen moet men natuurlijk daarmede rekening houden. Bij de elektrische seinen is de vertraging bij het overbrengen veel geringer; in de laatste afdeeling van dit werk zullen wij de middelen aanwijzen, die volgens de methode van HELMHOLTZ kunnen dienen om deze vertragingen te meten.

Terwijl wij hierboven gevallen beschouwden, waarin het noodig was zeer korte tijdruimten te meten, zijn er daarentegen andere, waarin de duur der te bepalen werkingen vrij groot is. De grafische methode kan in beide gevallen even goed aangewend worden. Men kan dan steeds dezelfde elektrische seinen behouden, want al is de bijzonder snelle werking daarvan bij het waarnemen van verschijnselen van langen duur ook al niet noodzakelijk, zij kan in dit geval evenmin schaden; alleen moet men, naar omstandigheden, de omwentelingssnelheid van den cilinder wijzigen en de lengte van het in een sekonde afrollende papier van 4 meter terugbrengen op 1 centimeter, 1 millimeter, en soms nog minder. Sommige werkingen zijn van zoo langen duur, dat tusschen haar begin en einde minuten, uren, dagen en nog meer kunnen verlopen. Regelmatige en zeer langsame bewegingen van den cilinder zijn nu gemakkelijk te verkrijgen door middel van daartoe ingerichte uurwerken.

Om meerdere zekerheid te verkrijgen bij het meten van den tijd, zal men over het algemeen de snelheid van den cilinder moeten controleeren door een chronografisch tracé; hierbij zal men de trillingssnelheid van den chronograaf moeten regelen naar de omwentelingssnelheid van den cilinder. Wanneer bijv. de cilinder slechts 10 of 20 millimeter papier per sekonde of 1 à 2 centimeter in de minuut ontrolt, zal het voldoende zijn de sekonden te doen aangeven door een klok, wier slinger den elektrischen stroom, die de seinen moet geven, beurtelings zal sluiten en verbreken. Voor nog langzamer bewegingen zal het voldoende zijn de minuten of de uren aan te geven.

De grafische methode heeft bij al deze tijdsbepalingen verre de voorkeur boven alle andere methoden; zij komt te hulp in het onvermogen der zintuigen bij het meten van zeer korte, en in het ongeduld van den waarnemer bij het meten van zeer lange tijdruimten.

### **Toepassingen van de chronografie.**

De chronografie vindt haar toepassing in al die gevallen, waarin men met juistheid het oogenblik waarop een verschijnsel begint, den duur, de frequentie of de regelmaat van achtereenvolgende werkingen wil bepalen. Alle experimenteele wetenschappen moeten tot deze methode hare toevlucht nemen, wanneer de tijdsbepaling nauwkeuriger moet geschieden, dan zulks met behulp van den chronometer kan gedaan worden.

*Bepaling van het oogenblik waarop een verschijnsel zich voordoet.* Deze bepaling komt vooral voor bij de sterrekundige waarnemingen; gewoonlijk gebruikt men dan hiervoor een uurwerk, dat de sekonden met behulp van een elektrischen stroom op een draaienden cilinder traceert. Het traceeren kan geschieden op een papier zonder eind, of wel men kan de schrijfstift door een werktuigje zoodanig besturen, dat deze zich achtereenvolgens in de richting van de beschrijvende lijn gedurende de draaiing van den cilinder verplaatst; op deze wijze krijgt men het tracé in den spiraalvorm. 1) (Zie Techniek, Hfst. II).

Naast de stift, die de sekonden traceert, is een tweede opgesteld, die het oogenblik moet opteekenen, waarop het verschijnsel wordt waargenomen. Door den stand van dit teeken ten opzichte van het sekondentracé zal dit oogenblik worden bepaald, zooals

---

1) Het registreeren der sekonden kan op verschillende wijzen geschieden. Men kan hiervoor den slinger van een klok gebruiken, die telkens als hij door de vertikaal heengaat, een veertje ontmoet, dat daardoor verplaatst wordt, en dan een elektrischen stroom verbreekt tengevolge waarvan een teeken wordt voortgebracht zooals in fig. 80 is voorgesteld; ook voorziet men wel den slinger van een micaplaatje, dat een kwikdruppel doorsnijdt; zoodra het plaatje door den druppel is heengegaan, vereenigen zich de deelen van den druppel weer en wordt de verbroken stroom weer gesloten. Deze laatste inrichting gebruikt men in het astronomisch observatorium te Utrecht en in het physiologisch laboratorium van Prof. DONDERS.

dit in fig. 80 duidelijk is te zien; het waar te nemen verschijnsel vangt aan in S, tusschen de tweede en derde sekonde, en wel een weinig na de helft van deze tijdruimte.

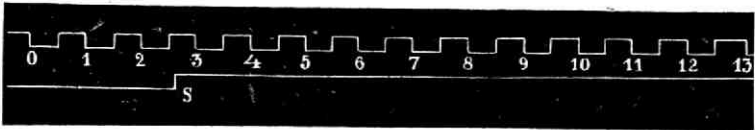


Fig. 80. Aanduiding van het oogenblik waarop een verschijnsel plaats heeft.

Om een dergelijke bepaling nog nauwkeuriger te doen, zou men den cilinder sneller moeten doen draaien en naast het sekondentracé ook de trillingen van een chronograaf moeten registreeren. Op deze wijze zou men het gevraagde oogenblik kunnen bepalen tot in zeer kleine deelen van sekonden nauwkeurig; in dat geval moet men dan weer rekening houden met de vertraging, die in het overbrengen van het sein plaats heeft.

Wanneer door twee sterrekundigen een lengtebepaling moet gedaan worden, dan moet een uurwerk in beide observatoria te gelijk door middel van den elektrischen stroom de sekonden registreeren. Op het oogenblik waarop een ster door den meridiaan van de eerste waarnemingsplaats gaat, geeft de eerste waarnemer een sein, 'twelk nu op beide waarnemingsposten te gelijktijd wordt geregistreerd; hetzelfde wordt nu gedaan door den waarnemer op de tweede plaats, wanneer aldaar dezelfde ster door den meridiaan gaat. Elke waarnemer heeft dus een dubbel tracé: dat van de sekonden van het uurwerk en dat van de seinen van doorgang. De tusschen deze twee seinen verloopen tijd geeft in sekonden (dus in tijdseenheden) het verschil in lengte van de beide plaatsen aan.

Wanneer bij een dergelijke bepaling tengevolge van de vertraging der elektrische seinen een fout van eenige duizendste deelen van een sekonde gemaakt wordt, komt dit er weinig op aan als deze vertraging constant is. Wanneer die vertraging verschilt voor de beide seintoestellen, die op de twee observatoria worden gebruikt, dan is toch dit verschil nog ongeveer nul in vergelijking van de fout, die het gevolg kan zijn van het verschil in de *persoonlijke fout* der sterrekundigen, d. w. z. van het verschil in tijd,

die verlopen is tusschen de oogenblikken waarop de ster werkelijk door den meridiaan ging, en waarop door elk der waarnemers het sein van dezen doorgang is gegeven.

### **Het meten van de persoonlijke fout van den sterrekundige.**

Ongeveer in 1790 werd door MASKELIJNE het eigenaardig feit opgemerkt, dat bij het bepalen van het oogenblik, waarop sterren zich juist tegenover den draad van den meridiaankijker vertoonden, een standvastig verschil bestond tusschen zijne waarnemingen, en die van zijn helper KINNEBROCK. Later merkte BESSEL op, toen hij de waarnemingen van andere sterrekundigen met die van hem zelf vergeleek, dat de meeste waarnemers den tijd van doorgang iets later aangaven dan hij; het verschil bedroeg soms meer dan een sekonde. Deze opmerkingen trokken de aandacht der sterrekundigen, waarvan het natuurlijk gevolg was, dat men pogingen in het werk ging stellen om deze persoonlijke fout te bepalen.

Om de volstreckte waarde van deze persoonlijke fout te vinden, werden door PRAZMOWSKI, HÄNCKEL, HIRSCH en PLANTAMOUR, ook door WOLF verschillende toestellen aangewend. De methode door WOLF uitgedacht, heeft veel overeenkomst met de proeven, die hieromtrent door de physiologen in het werk zijn gesteld. Deze sterrekundige gebruikte hiervoor een lichtend punt, dat hij een kunstmatige ster noemde, en dat zich met een eenparige snelheid volgens een cirkel bewoog; op het oogenblik dat dit punt werkelijk tegenover den draad van den kijker komt, sluit het een elektrischen stroom en teekent door middel van een elektromagneet het oogenblik van doorgang op een draaienden cilinder op. Intusschen zal de waarnemer, op het oogenblik dat hij het punt juist tegenover den draad ziet, op een toets drukken en daardoor op denzelfden cilinder een teeken geven. De ruimte tusschen de beide teekens op den cilinder, geeft, in deelen van sekonden uitgedrukt, den tijd aan die verlopen is tusschen den waren doorgang van het punt en het oogenblik waarop de waarneming werd opgeteekend. Deze tijd is de volstreckte waarde der persoonlijke fout.

Deze fout blijft tamelijk standvastig voor elken waarnemer, wanneer hij daarop ten minste niet opmerkzaam wordt gemaakt



en niet tracht haar te verbeteren; in dat geval kan zij aanmerkelijk kleiner worden; zoo bracht WOLF de zijne van 0",80 op 0",10.

### **Duur der zenuwwerkingen.**

Toen de aandacht der physiologen eenmaal op het door de sterrekundigen ontdekte verschijnsel was gevestigd, begon men met de oorzaak op te sporen van de persoonlijke fout en van hare veranderingen.

Talrijke elementen moesten noodwendig deze vertraging veroorzaken; de tijd, benoodigd voor het overbrengen van den prikkel op het netvlies naar het sensorium; die, welke verloopt tusschen de opname in het sensorium en de daaropvolgende werking, afhankelijk van den *wil* van den waarnemer; verder de tijd, waarin als 't ware het bevel, van de hersenen uitgaande, langs de zenuwdraden wordt overgebracht, en eindelijk die, welke noodig is om de spier de beweging te doen verrichten, waardoor de waarnemer het sein van zijn ontvangen indruk geeft.

Elk van de elementen van deze samengestelde werking is door de physiologen bestudeerd en uitgemeten. HELMHOLTZ heeft, door een denkbeeld van DU BOIS-REYMOND in praktijk te brengen, een methode aangegeven, volgens welke zich chronografisch de snelheid van de zenuwwerking laat bepalen. 1)

Deze beroemde physioloog heeft eveneens aangetoond, dat de spier niet terstond gehoorzaamt aan het bevel, dat zij van de bewegingszenuwen heeft ontvangen, en dat er een verloren tijd bestaat, *een periode van latente of verborgen prikkeling*, tusschen de aankomst van dit bevel en de uitvoering der beweging.

Om kort te gaan, alle proefnemingen, waarbij men een snelheid van overbrenging bepaalt, laten zich terugbrengen tot het meten van de tijdruimte, die twee opvolgende bewegingen scheidt, welke overeenkomen met de achtereenvolgende doorgangen van het bewegende lichaam door twee punten, wier ligging gegeven is. Nemen wij als voorbeeld de bepaling der snelheid van zenuwbe-  
weging volgens de methode van HELMHOLTZ.

---

1) Wij zullen later zien dat deze methode naar alle waarschijnlijkheid niet volkomen juist is.

Om de *voorwaarden* voor deze proefneming goed te doen begrijpen, zullen wij ons van een vergelijking bedienen. Gesteld dat een brief uit Parijs naar Marseille wordt verzonden, en dat wij, die in deze laatste stad wonen, kennis dragen van het juiste oogenblik, waarop de post Parijs verlaat, terwijl wij, om het oogenblik van zijn aankomst te bepalen, alleen weten op welk oogenblik de brief te Marseille wordt bezorgd. Hoe zullen wij nu met deze gegevens de snelheid leeren kennen van den trein? Het is toch klaar, dat het oogenblik, waarop wij den brief ontvangen, niet het oogenblik aanwijst van de aankomst van den trein, want tusschen deze aankomst en de bezorging zijn verschillende andere verrichtingen zooals het rangschikken, het bezorgen, enz. geschied, waarvoor een zekere tijd noodig is, dien wij niet kennen.

Om een juister denkbeeld van de snelheid van den trein te hebben, laat men zich een sein geven van het oogenblik waarop de trein een tusschenstation, bijv. Dyon, voorbijgaat; men ziet dan dat de afgifte der brieven 6 uur korter na het vertrek van Dyon dan na het vertrek van Parijs plaats heeft. Kennen wij den afstand in kilometers van deze beide stations, dan zullen wij uit den tijd, dien de trein voor het afleggen van dezen afstand heeft besteed, de snelheid kunnen bepalen. Door te onderstellen dat de beweging eenparig blijft, zullen wij het uur van aankomst te Marseille kunnen bepalen, waardoor wij ten slotte den tijd kunnen vinden die besteed is aan het rangschikken der brieven tot aan hunne bezorging.

Nu werd door HELMHOLTZ bij zijn proefnemingen betreffende de snelheid waarmee de prikkel langs een bewegingszenuw wordt voortgeplant, eerst de zenuw geprikkeld in een punt, dat ver van de spier verwijderd was, en de tijd opgeteekend, die verliep tusschen deze prikkeling en de beweging van de spier. Daarna prikkelde hij een punt der zenuw, dat dicht bij de spier was gelegen en merkte op, dat de beweging van de spier nu veel spoediger op de prikkeling volgde; het waargenomen verschil in tijd van deze twee achtereenvolgende proefnemingen gaf de duur van het overbrengen van de zenuwwerking over een bekende lengte aan, waaruit dus de snelheid werd berekend. Deze is verschillend, en wel van 15 tot 30 meter per seconde; zij is bij den kikkorsch kleiner dan bij de warmbloedige dieren.

Uit de proeven van HELMHOLTZ bleek ook dat niet al de tijd, die verloopt tusschen de prikkeling en de beweging, besteed wordt aan het overbrengen van de zenuwwerking. HELMHOLTZ noemt dit *den verloren tijd*. Deze tijd zou, in de vergelijking die wij zoo even gebezigd hebben, overeenkomen met die, welke verliep tusschen de aankomst der brieven en hun bezorging.

Deze proeven van HELMHOLTZ zijn nog door de physiologen met de noodige verbeteringen herhaald. In fig. 81 zijn twee tracés voorgesteld van de snelheid der zenuwwerking. 1)

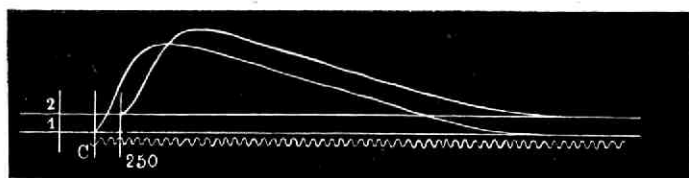


Fig. 81. Bepaling van de snelheid der zenuwwerking.

Men registreert achtereenvolgens twee spiercontracties op een zelfden cilinder, daarbij zorg dragende dat de zenuw bij beide proefnemingen in verschillende punten, maar altijd op hetzelfde oogenblik met betrekking tot de omwenteling van den cilinder wordt geprikkeld, bijv. juist op het oogenblik, waarop de stift van den myograaf voorbij de vertikaal gaat, die overeenkomt met den oorsprong der lijnen 1 en 2.

Bij de eerste contractie, door de lijn 1 aangeduid, werd de zenuw zeer dicht bij de spier geprikkeld; de tweede contractie 2, ontstond ten gevolge van het prikkelen der zenuw op een afstand van 30 centimeter verder. Daar de cilinder met eenparige snelheid draait, kan men hieruit vinden met hoeveel tijddeelen de afstand, die de beide contracties scheidt, overeenkomt. Om het meten van dit tijdsverloop gemakkelijk te maken, wordt door vertikale lijnen het begin van deze contracties aangegeven; in fig. 81 komt deze tijdruimte overeen met  $\frac{1}{100}$  sekonde, terwijl de zenuwstroom 30 centimeter zenuw lengte heeft doorloopen, hetgeen dus een snelheid van 30 meter in de sekonde geeft.

1) \* Deze tracés zijn door MAREY, terwijl hij de snelheid der zenuwwerking op zich zelf heeft gemeten, verkregen. \*

Om dezen tijd met nog grooter juistheid te bepalen, bedient men zich van den chronograaf en laat op den cilinder de trillingen van een stemvork traceeren, welke te dien einde voorzien is van een zeer fijne stift, die over het zwart gemaakt papier strijkt.

Keeren wij nog eens tot fig. 81 terug. De ruimte, die tusschen het begin der beide contracties is gelegen, geeft den tijd aan, dien de zenuwbeweging besteed heeft om 30 centimeter zenuwlengte te doorloopen; deze tijd bedraagt nauwelijks  $\frac{1}{100}$  sekonde. Wanneer nu de zenuw zeer dicht bij de spier wordt geprikkeld, zoodat de afstand, dien de zenuwbeweging te doorloopen heeft, nagenoeg nul is, dan verloopt er toch nog een zekere tijd tusschen de prikkeling en de beweging. Dit is volgens HELMHOLTZ de verloren tijd; hij bedraagt bij deze proefneming meer dan één honderdste van een sekonde.

Over 't algemeen beweert men, dat de snelheid der zenuwwerking onder bepaalde omstandigheden verandert; de warmte zou haar vergrooten, terwijl de koude haar zou verminderen. Het is echter waarschijnlijker, dat deze veranderlijkheid bijna uitsluitend hare oorzaak heeft in de nog onbekende verschijnselen, die zich gedurende den verloren tijd voordoen. Evenals toch in de uitgifte der brieven een vertraging kan plaats hebben, doordat de postbeambten vermoeid of van koude verstijfd zijn, zonder dat daarbij de snelheid van den trein, die de brieven overbracht, in de minste mate veranderd is, evenzoo zal ook de spier, naarmate zij uitgerust of vermoeid, verwarmd of verkoeld is, de beweging, die haar door de zenuw wordt opgedragen, meer of minder snel uitvoeren.

Een groot gebrek van de methode van HELMHOLTZ is dit, dat de werking in de verschillende punten over de geheele lengte der zenuw niet met dezelfde snelheid schijnt plaats te hebben; de evenredige betrekking tusschen tijd en doorloopen lengte wordt dus niet voor alle punten van den afgelegden weg waargenomen; deze zelfde opmerking geldt voor de bepalingen van de snelheid van den zenuwstroom in de gevoelszenuwen.

SCHELSKE heeft de methode van HELMHOLTZ toegepast om de snelheid te meten, waarmee de zenuwwerking zich in de gevoelszenuwen voortplant.

Eerst wordt de huid geprikkeld in een punt, dat zoover mogelijk van de zenuwcentra is verwijderd, bijv. in een der teenen; het

oogenblik, waarop de prikkeling geschiedt, wordt door een elektromagnetisch sein op een draaienden cilinder aangegeven, terwijl de persoon, waarop de proefneming gedaan wordt, op het oogenblik dat hij het prikkelen gewaar wordt, op een toets drukt, ten gevolge waarvan op den cilinder een tweede teeken wordt getraceerd. Daarna wordt de huid geprikkeld in een punt, dat minder ver van de zenuwcentra is verwijderd, terwijl overigens op dezelfde manier wordt gehandeld. Neemt men nu het verschil der tijdruimten, die bij de twee achtereenvolgende proefnemingen zijn gevonden, en meet men dit met den chronograaf, dan wordt dit verschil geacht den tijd voor te stellen, dien de zenuwbeweging heeft noodig gehad om den afstand te doorloopen, die de twee geprikkelde punten scheidt.

Bij de proeven, volgens de methode van SCHELSKE genomen, valt het terstond in 't oog, dat hier geheel ongelijksoortige zaken met elkaar worden vergeleken; zoo bestaat er bijv. een groot verschil tusschen het prikkelen van een teen en het prikkelen van den top van den wijsvinger, want in het eerste geval heeft men te doen met zenuwelementen, wier gevoeligheid zeer rudimentair is, ten gevolge van gebrek aan oefening; terwijl in het tweede geval de prikkeling plaats heeft in een punt, dat uiterst gevoelig is. Terwijl dus uit een natuurkundig oogpunt beschouwd de prikkeling gelijk is, is zij, uit een physiologisch oogpunt gezien, zeer ongelijk; dit valt gemakkelijk te bewijzen. Wordt de huid in eenig punt van den schouder geprikkeld, dan zal de reactie veel minder snel daarop volgen, dan wanneer de prikkeling geschiedt aan een der vingers; toch bestaat er in beide gevallen een groot verschil in zenuw lengte en men krijgt de snelste reactie, wanneer de prikkeling den langsten weg heeft moeten doorloopen. Er is dus bij de methode van SCHELSKE een veranderlijke faktor onder diegene, welke standvastig werden ondersteld, en deze faktor is de duur der hersenwerking, die de willekeurige beweging doet ontstaan, welke als 't ware het antwoord is op de peripherische prikkeling; of nu deze werking in het geval, dat de hand geprikkeld wordt, veel korter is omdat deze prikkeling meer intensiteit heeft, doordat hier deelen worden aangedaan, wier tastzin zeer ontwikkeld is, of wel omdat onze hersenen door gewoonte meer geschikt zijn om den indruk te ontvangen, die de vingers aan-

doet, — dit is hier van minder belang; de hoofdzaak is, dat de willekeurige beweging veel sneller plaats heeft na het prikkelen van den vinger, die 60 centimeter ver van de zenuwcentra affigt, dan na het prikkelen van den schouder, die er driemaal dichter bij ligt. Ook wordt bij de proef van SCHELKE geen rekening gehouden met de rol, die het ruggemerg vervult bij het overbrengen van den prikkel van den voet naar de hersenen; deze invloed ontbreekt daarentegen weer bij het prikkelen van de gezichtszenuw; ook om die reden zijn de voorwaarden der proeven, die SCHELKE met elkaar in verband brengt, niet vergelijkbaar.

Ook vertoont zich een merkbare vertraging bij de elektrische ontlading van den sidderrog en zijn daaropvolgende spiercontractie. Door deze constante vertraging werd steeds het sein van de zenuwprikkeling gescheiden van dat der reactiën, onverschillig of een elektrische of een mechanische prikkel werd aangewend.

Op overeenkomstige wijze wordt de tijd bepaald, die verloopt tusschen het prikkelen van een vaatzenew en het optreden van veranderingen in den aard van den pols. Eindelijk is het meten van de vertraging van den pols, veroorzaakt door een slagaderbreuk, gegrond op de bepaling van den tijd, die verloopt tusschen den hartslag en het optreden van den pols in de slagader, waarop de proef wordt genomen. Andere physiologen, waaronder vooral DONDEERS, hebben onderzocht hoeveel tijd de hersenen noodig hebben om na een ontvangen indruk het bevel aan de bewegingszenuwen mee te deelen. Uit deze proeven is gebleken dat, naar gelang van de samengestelheid der psychische werking, deze tijd zeer veranderlijk is. De physiologen hebben evenals de astronomen aangetoond, dat de duur der hersenwerkingen door oefening en oplettendheid zeer kan worden verkort, en dat de vertraging der seinen hierdoor veel kan worden verminderd.

Ten slotte zal de tijd, die noodig is om een ontvangen indruk naar de hersenen over te brengen, verschillen naar gelang van den aard van dezen indruk, van zijn intensiteit en van het zintuig, dat wordt aangedaan.

#### **Ongeltjkheid van de persoonlijke fout.**

Wanneer men veronderstelt, 'tgeen in alle geval waarschijnlijk

is, dat de psychische werking dezelfde blijft bij een eenvoudigen gevoelsindruk, onverschillig welk zintuig wordt geprikkeld, en welke de beweging is, die als reactie op den indruk volgt, terwijl de vertraging in het te geven sein wel verschilt, naar gelang de prikkel het gehoor, het gezicht of het gevoel aandoet, dan moet daaruit volgen, dat er in het overbrengen van den indruk van het geprikkeld orgaan naar het sensorium verschillen bestaan, die afhangen van de onderscheidene soorten van gewaarwordingen.

Men heeft lang gedacht dat deze ongelijke duur van overbrenging voortvloeide uit een verschil in lengte, die de zenuwstroom moest doorloopen om de hersenen te bereiken, maar dit schijnt niet zoo te zijn. Uit de nieuwste proefnemingen, bijv. met betrekking tot de gevoeligheid van den tastzin, is gebleken dat men niet het punt, dat het verst verwijderd is van de hersenen, moet prikkelen om de langzaamste reactie te verkrijgen, maar wel dat de vertraging des te geringer zal zijn, naarmate het deel, dat geprikkeld wordt, meer op het gevoel geoefend is.

Nemen wij als voorbeeld een proef, waarbij de schouderstreek door een inductieslag 1) geprikkeld wordt op het oogenblik  $e$  (fig. 82), terwijl de hand, door op een toets te drukken, het seinteken van de gewaarwording op het oogenblik  $R$  geeft. Men ziet dat dit sein gemiddeld  $\frac{1}{6}$  sekonde na het oogenblik van prikkeling gegeven wordt; dit is dus hier het bedrag van de persoonlijke fout. Men ziet ook dat deze vertraging zeer ongeregeld is, hetgeen zoowel aan individueele geschiktheid, als aan de mate van oplettendheid van den waarnemer moet toegeschreven worden.

Neemt men in aanmerking, dat bij de eerste reeks van proefnemingen (rij  $e$ ) de schouder, en bij de tweede reeks (rij  $e'$ ) de hand werd geprikkeld, dan kan men zich hieruit gemakkelijk overtuigen, dat niettegenstaande den grooteren afstand, op de prikkeling van de hand althans een even snelle reactie volgde als op die van den schouder.

Het volgen van dergelijke proeven is zeer belangrijk, maar ook tevens zeer lastig, uithoofde van de veranderlijke resultaten die zij geven. De gevolgtrekking, die men er uit kan opmaken, is

---

1) Door een inductieslag verstaan wij de prikkeling, die voortgebracht wordt door het verbreken van een inductiestroom.

deze, dat men zich niet, zonder aanmerkelijke fouten te begaan, op de zintuigen kan verlaten voor het bepalen van verschijnselen

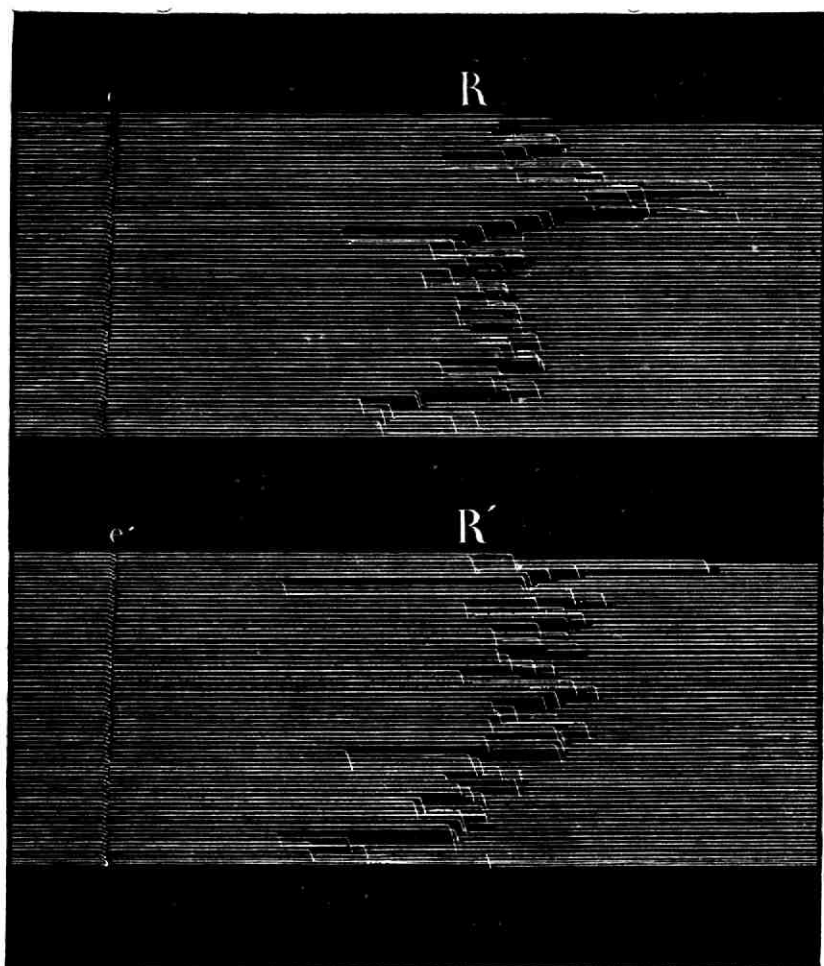


Fig 82. Bepaling van de persoonlijke fout door BLOCH. (Bovenste rij e, de oogenblikken waarop de schouder is geprikkeld; R, de oogenblikken waarop het sein van de gewaarwording is gegeven; onderste rij e', prikkeling van de hand; R', reactie.)

van korten duur. Wij zullen zien hoe men deze bepalingen kan verrichten, door het verschijnsel werktuigelijk zijn beginnen en ophouden zelf te laten opteekenen.



### Bepaling van den duur van een verschijnsel.

Steeds zal men zijn toevlucht nemen tot seinen, die door het verschijnsel zelf worden gegeven, wanneer de te bepalen werking vergezeld gaat van bewegingen. De chronograaf wijst met al de juistheid, die men verlangt, den duur van een verschijnsel aan door het aantal trillingen, dat tusschen twee seinen is begrepen.

Zoo wordt in de ballistiek de tijd bepaald, die verloopt tusschen de verschillende doorgangen van een projectiel door opvolgende schietramen, die op een bepaalden afstand van elkaar geplaatst zijn, en uit deze bepaling wordt de snelheid van het projectiel afgeleid.

Volgens hetzelfde beginsel laat zich de veel geringere snelheid bepalen van vloeistoffen, die door buizen stroomen, door den tijd te meten die verloopt tusschen de twee seinen, die gegeven worden, wanneer de vloeistof voorbij twee punten der buis gaat, wier afstand bekend is. Deze laatste proeven zullen vermeld worden bij de bespreking van het gelijktijdig registreeren (*Vierde Afdeling*).

Het aantal toepassingen van de chronografie is, om zoo te zeggen, onbepaald groot; een tal van voorbeelden zullen wij ontmoeten, wanneer wij de bewegingen van het hart en van de ademhaling, de spierbewegingen, enz. behandelen. Ook in de natuurkunde wordt deze methode om korte tijdruimten te meten onmisbaar, en moet in de plaats treden voor alle hulpmiddelen, waarmee men zich vroeger moest tevreden stellen.

Men kan bijv. onmogelijk met het oog de kleine bewegingen volgen, die de vleugels van vogels, gedurende hun vlucht, maken; die bewegingen herhalen zich bij kleine vogels soms 8 of 10 maal in de sekonde; de chronografie leert echter den duur van die bewegingen nauwkeurig kennen. Men kan hiervoor bijv. een duif nemen, die men in een groote kamer laat rondvliegen. Het dier is als 't ware in telegrafische gemeenschap gesteld met registreer-toestellen, waarop de juiste oogenblikken van de opheffing en daling van den vleugel worden opgeteekend. Aldus zijn de volgende waarden gevonden:

Totale duur van de vleugelbeweging.		Opheffing.	Daling.	
Eend. . . . .	$11\frac{2}{3}$	Honderdste deelen van een sekonde	5	$6\frac{2}{3}$
Duif. . . . .	$12\frac{1}{2}$	"	4	$8\frac{1}{2}$
Havik . . . . .	$32\frac{1}{2}$	"	$12\frac{1}{2}$	20.

Door een soort van luchtklep, die zich beurtelings opent en sluit naar gelang van de beweging van den vleugel, wordt een elektrische stroom geopend en gesloten, waardoor de seinen worden geregistreerd.

Later zullen wij zien hoe door een myografischen toestel de werking van de beweegspieren van den vleugel kan geregistreerd worden.

Verder zal de tijd, die voor de daling van den vleugel benooidigd is, verschillen naar gelang van de snelheid, waarmee de vogel zich verplaatst; ook deze verandering in duur kan gemeten worden. (Zie Techniek, Hfst. II).

### **Opeenvolging en gelijktijdigheid van twee verschijnselen.**

Ons waarnemingsvermogen is veel te onvolmaakt om de gelijktijdigheid van twee verschijnselen of de wijze, hoe zij elkaar opvolgen, nauwkeurig te bepalen; in dit geval kan men alweêr zijn toevlucht nemen tot geregistreeerde seinen, door middel waarvan men ook dergelijke verschijnselen volkomen kan leeren kennen. 1) Door middel van boven elkaar geplaatste stiften kan men de betrekking van opeenvolging of van gelijktijdigheid van even zooveel verschijnselen leeren bepalen, als men stiften heeft aangewend. Op deze wijze is de tijd bepaald, die verloopt tusschen de systole der harttooren en die der kamers, alsmede het volmaakt samenvallen van de systole der kamers met den hartslag. Evenzoo laat zich de tijd bepalen, die verloopt tusschen de oogeblikken, waarop de polsslag in de verschillende slagaderen van een mensch of van een dier plaats heeft.

Bij dergelijke proefnemingen wezen de tracés niet alleen de oogeblikken aan, waarop de waargenomen verschijnselen begonnen

1) \* Door MARRY en CHAUVEAU schijnt deze methode voor het meten van dergelijke verschijnselen in de physiologie het eerst aangewend te zijn. \*

of eindigden, maar zij gaven ook aanwijzingen met betrekking tot de intensiteit en de verschillende fasen van de bewegingen van elke der holten van het hart; later komen wij hierop terug. 1)

De opvolging van het neerzetten en oplichten van den voet, bij het loopen van den mensch, en vooral bij de zoo verschillende gangen der viervoetige dieren, was steeds zeer moeilijk door direkte waarneming te bepalen; vroeger bediende men zich hierbij dikwijls van geluidsignalen, daar men spoedig inzag, dat die snelle opeenvolging van bewegingen met het oog niet was te volgen. Ook hierbij verdient het veelvoudig registreeren verre de voorkeur boven elke andere wijze van bepaling. Op een gezwartten cilinder wordt door twee of vier stiften, al naargelang de gang van den mensch of van een viervoetig dier wordt waargenomen, het oogenblik getraceerd, waarop de voet wordt neergezet of opgelicht. De seinen worden overgebracht door middel van de lucht; de vertraging bij het overbrengen kan hier niet schaden, wanneer men zorg draagt de twee of vier luchtbuizen juist even lang te nemen. Elke voet wordt voorzien van een zool van caoutchouc (fig. 83),

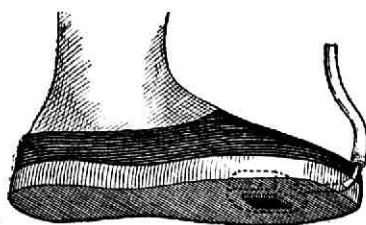


Fig. 83. Schoen om het steunen van den voet op den grond te registreeren

waarin een kleine holte is aangebracht; bij het neerzetten van den voet wordt de holte samengedrukt, waardoor in de registreerende trommel de lucht wordt verdicht; bij het oplichten van den

1) Het gebruik van luchtseinen is in enkele gevallen te verkiezen boven dat van elektrische seinen; soms heeft men bewegingen te registreeren, die bij haar begin te zwak zijn om een elektrischen stroomverbreker in werking te brengen; alsdan zal deze eerst werken, wanneer de beweging een genoegsame intensiteit heeft verkregen, en dus het oogenblik, waarop de beweging begint, niet aanduiden; dit valt onder anderen op te merken, wanneer men beproeft de wijze van opvolging der hartbewegingen met behulp van elektrische toestellen te bestudeeren.

voet, vult zich de holte weer met lucht en heeft dus in de trommel luchtverdunning plaats; op die wijze wordt telkens een sein voortgebracht.

De persoon, die van een dergelijk voetbekleedsel is voorzien, neemt den registreertoestel in de hand; zodoende zullen, terwijl hij voortloopt, de oogenblikken, waarop elk zijner voeten in aanraking komt met den grond, alsmede die, waarop die aanraking ophoudt, nauwkeurig worden getraceerd. Men verkrijgt alsdan twee tracés, behorende bij den rechter en bij den linker voet, waarin de stijgingen en dalingen elkaar afwisselen, even als de bewegingen der voeten zelve (fig. 84).



Fig. 84. Tracé van de aanraking der voeten met den grond, de bovenste deelen der lijnen geven den duur der aanraking aan; R, rechter voet; L, linker voet.

Deze figuren worden nog sprekender, wanneer men ze geeft in den vorm van een soort van notenschrift, waarbij de notenbalk slechts twee lijnen bevat (fig. 85). De aanrakingen van den rechter voet worden als witte strepen op de onderste lijn getraceerd; die van den linker voet zijn wat hoger gelegen, en voorzien van schuine arceeringen.

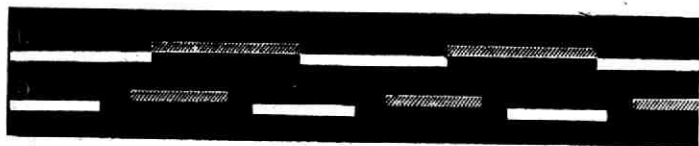


Fig. 85. De duur van de aanraking der voeten met den grond opgeteekend op de wijze, overeenkomende met het notenschrift; witte streep: de rechter voet; geëarceerde streep: de linker voet. G, de gewone gang; D, de draf.

Bij den gewonen langsamen gang G volgen de aanrakingen van de voeten met den grond elkaar op zonder eenige tusschenpoos, waardoor dus wordt uitgedrukt, dat het lichaam steeds op den grond rust, nu op den eenen, dan op den anderen voet.

Wij zien dat de snelle gang of de draf D merkbaar van den eersten gang afwijkt; de strepen sluiten nu niet aan elkaar, zooals in G; de tusschenruimten tusschen de strepen geven dus aan dat hierbij het lichaam telkens een oogenblik in de lucht zweeft en niet meer in aanraking is met den grond. Dit verschil tusschen den langsamen en snellen gang is zeer belangrijk en wordt bij de meeste diersoorten aangetroffen. Bij het bestijgen van een trap daarentegen wordt het tegenovergestelde van D opgemerkt; de strepen vallen dan gedeeltelijk naast elkaar, waaruit volgt, dat de voorste voet reeds op een volgende trede van den trap is gezet, wanneer de andere voet nog op de voorgaande trede staat om het lichaam te ondersteunen. 1) Hetzelfde wordt opgemerkt



Fig. 86. Paard voorzien van vier voetbekleedingen voor het registreeren van den rythmus van den gang; de ruiter houdt den registreertoestel in de hand.

bij het beklimmen van een steile helling of bij het dragen van een zwaren last.

1) Verdere bijzonderheden hieromtrent vindt men in *La Machine animale* van MAREY p. 133.

Vooral bij het bestudeeren van de gangen van het paard heeft deze methode belangrijke diensten bewezen; voordat zij werd aangewend, was men 't over het algemeen vrij wel oneens over de wijze van opvolging en den rythmus van den hoefslag, die de verschillende gangen van het paard kenmerken. Door aanwending

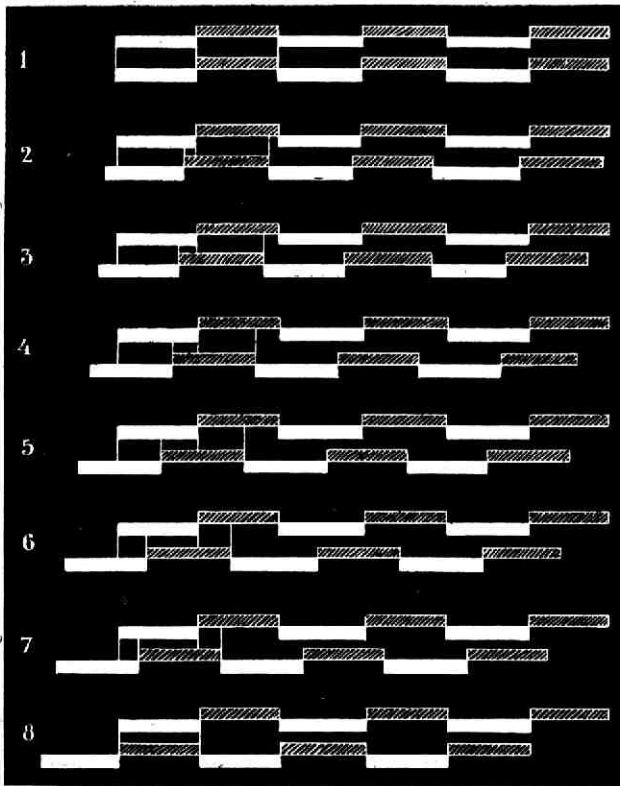


Fig. 87. Het registreeren van de gangen van het paard:

- |        |                            |                            |                      |  |
|--------|----------------------------|----------------------------|----------------------|--|
| No. 1. | Telgang (alle waarnemers). | No. 4.                     | Gewone stap (LECOQ). |  |
| No. 2. | {                          | Gebroken telgang (MERCHE). | No. 5.               | Gewone stap (BOULEY, VINCENT<br>en GOIFFON SOLEYSSELL, COLIN enz.) |
|        |                            | Versnelde stap (BOULEY).   |                      |  |
| No. 3. | {                          | Gewone stap (MASURE).      | No. 6.               | Gewone stap (RAABE).   |
|        |                            | Gebroken telgang (BOULEY). | No. 7.               | Gebroken draf.   |
|        |                            | Halve telgang (LECOQ).     | No. 8.               | Gewone draf.   |

van de chronografie daarentegen heeft men zeer bevredigende resultaten verkregen, in weerwil van de samengesteldheid der verschijnselen, die hier onderzocht moeten worden.

Het paard wordt voorzien van vier voetbekleedingen (fig. 86), gelijksoortig met die, welke wij boven beschreven, d. w. z. onder iederen hoof wordt een blaasje bevestigd, met lucht gevuld, die bij elken aanslag van den hoof wordt samengedrukt, en alzoo een seinteeken van veranderlijke lengte geeft. Bij elke proef wordt een viervoetig tracé van vier boven elkaar geplaatste strepen verkregen.

Uit fig. 87 blijkt hoe de rythmus van den eenen gang uit dien van den anderen kan afgeleid worden. Om die figuren goed te begrijpen doet men, volgens DUGÈS, gemakkelijk, wanneer men het viervoetig dier beschouwt als te bestaan uit twee tweevoetige dieren, die achter elkaar loopen. Elke gang van het paard wordt hier afgeteekend in de gedaante van vier lijnen, die wij twee aan twee bij elkaar kunnen nemen. De twee bovenste lijnen wijzen steeds de aanraking met den grond van de voorvoeten, de twee onderste die der achtervoeten aan. Acht gangen zijn in deze figuur voorgesteld; men kan ze achtereenvolgens uit elkaar afleiden door telkens de beweging der achtervoeten iets vroeger dan die der voorvoeten te nemen.

Zoo stelt de eerste rij den telgang voor, waarbij de rechtervoorvoet zich gelijktijdig met den rechter achtervoet in beweging stelt; hetzelfde geldt voor de linkervoeten. Bij gang n<sup>o</sup>. 2 komen de achtervoeten een oogenblik vóór de voorvoeten in beweging; bij gang n<sup>o</sup>. 3 is dit tijdsverschil weer iets grooter en zoo vervolgens, tot bij gang n<sup>o</sup>. 8, den draf, de aanraking van den achter-



Fig. 88. Galop in drie tempo's; A aanwijzing der drie tempo's; B aanwijzing van het aantal der voeten, die in elk tempo van dezen galop in aanraking zijn met den grond. Het lichaam rust eerst op een voet, dan op drie, op twee voeten, ten slotte op een voet; eindelijk is de aanraking met den grond totaal opgehouden, waarna dezelfde opvolging op nieuw plaats heeft.

voet met den grond geheel is opgehouden op het oogenblik, dat de voorvoet wordt neergezet.

In deze figuur zijn alleen die gangen voorgesteld, waarbij het

paard steeds in aanraking blijft met den grond; bij den vrijen draf is er reeds een kort oogenblik waar te nemen, waarop die aanraking verbroken is; dit laatste komt steeds voor bij de zwevende gangen. Hiervan is in fig. 88 een voorbeeld gegeven; zij stelt *de tijdmaat* van den rechtschen galop voor. 1)

#### **Bepaling van de frequentie van opeenvolgende werkingen.**

Wil men de frequentie van opeenvolgende verschijnselen, d. i. het aantal malen dat een verschijnsel of een werking in een bepaald tijdsverloop zich herhaalt, bepalen, dan behoeft men slechts de tracés van die verschijnselen te vergelijken met een chronografisch tracé, dat met de eersten op denzelfden draaienden cilinder is geregistreerd; de duur van elke beweging laat zich dan tot in onderdeelen van sekonden bepalen en men kan nauwkeurig nagaan hoeveelmaal de beweging zich in een zeker tijdsverloop, in een sekonde of een minuut, heeft herhaald.

Zoo bepaalt men onder anderen het aantal malen dat de hartslagen of de ademhalingsbewegingen zich in een bepaalden tijd herhalen. De frequentie der snelste bewegingen kan men op deze wijze meten; zoo is in fig. 89 een tracé voorgesteld van de vleugelbewegingen van een insekt naast het tracé van een chronografische stemvork. Neemt men een passerwijdte gelijk aan 25

---

1) Hoogst waarschijnlijk verdienen bij deze proeven de elektrische seinen, in navolging van MARCEL DÉPREZ, verre de voorkeur boven de luchtseinen. Dunne geleiddraden kunnen veel beter langs de beenen van het dier gelegd worden dan caoutchoucbuizen; ook kan een toestelletje, onder den hoof aangebracht, waardoor bij het neerzetten en oplichten van den voet een elektrische stroom gesloten en geopend wordt, zeker gemakkelijker bevestigd worden dan een luchtzakje. Daar het opteekenen van de tijdmaat het hoofdoel is bij deze proeven, zou men op de volgende wijze kunnen te werk gaan: de tracés der elektrische seinen zouden op twee rijen van evenwijdige lijnen moeten worden gemaakt, overeenkomende met die van fig. 86 en 87. De stiften zouden moeten voorzien zijn van breede punten, gelijkende op die van een afgesneden pen, terwijl zij met het papier in aanraking zouden moeten komen op het oogenblik, dat de voet werd neergezet; op het oogenblik dat de voet wordt opgeheven, zou de aanraking moeten ophouden. Op deze wijze zou men de afteekening der gangen onder zeer eenvoudige en meer juiste voorwaarden verkrijgen, dan bij de vroeger beschreven proeven.



trillingen van de stemvork, hetgeen overeenkomt met  $\frac{1}{10}$  seconde, en brengt men deze passerwijdte over op het tracé van den vleugelslag, dan zien wij dat juist 6 vleugelslagen hierin bevat zijn, waaruit dus volgt, dat de beweging van den vleugel zich 60 maal in de sekonde heeft herhaald.

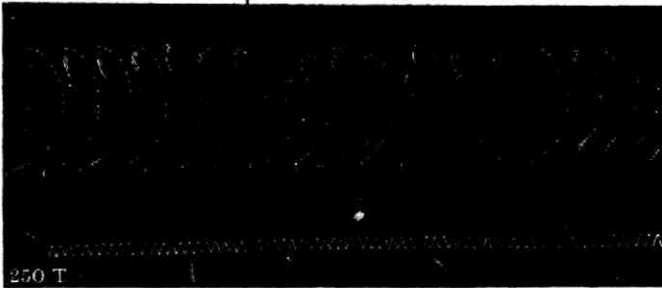


Fig. 89. Vleugelbewegingen van een wesp geregistreerd naast het tracé van een chronografische stemvork van 250 trillingen.

Door Dr. ROSAPELLY zijn proeven genomen, waarbij de trillingen van den larynx elektrisch zijn geregistreerd. Men kan uit de tracés (fig. 90) de tonaliteit van de gezongen noot, alsmede haar hoogte met iuistheid bepalen.

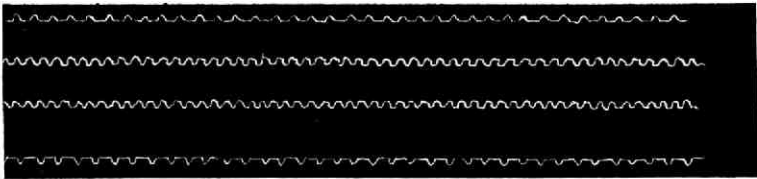


Fig. 90. Trillingen van den larynx, geregistreerd met den elektrischen toestel van DEPRFZ.

Deze wijze om de frequentie van verschijnselen te bepalen, leidt ook tot het meten van veranderingen in volume of in snelheid. Bij het afscheiden van vocht door een klier, kan men dit vocht druppel voor druppel opvangen en den val van elken druppel op een draaienden cilinder laten registreeren; zodoende zal men de snelheid, waarmee de afscheiding plaats heeft, uit het aldus verkregen tracé kunnen bepalen.

In fig. 91 is een zeer eenvoudige toestel voorgesteld, die dient

om de snelheid van een vochtscheiding te registreeren; door twee buizen ontlast zich het vocht, dat afgescheiden wordt door de beide klieren, wier functie men met elkaar wil vergelijken (nier, oorklier); het vocht valt door de beide buizen bij druppels in twee bakjes, die op de uiteinden van de hefboomen van twee trommels geplaatst zijn, welke ieder door een luchtbuis gemeenschap hebben met een trommel met registreerenden hefboom, zoodat op den cilinder voor elken druppel, op het oogenblik dat hij valt, een teeken wordt gegeven.

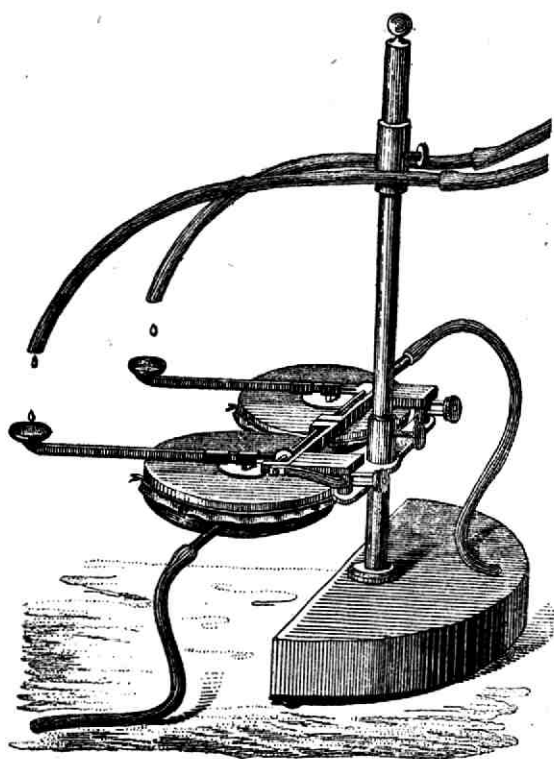


Fig. 91. Registreerende druppel-teller.

Zoodoende krijgt men teekens op den cilinder, die meer of minder ver van elkaar verwijderd zijn (fig. 92), naar gelang van het aantal druppels, dat in een bepaalden tijd is gevallen, m. a. w. naar gelang van de snelheid van de vochtscheiding.

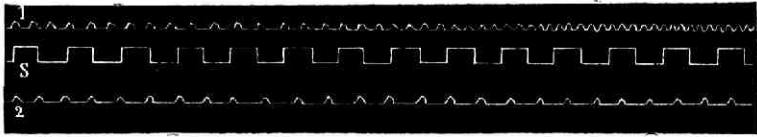


Fig. 92. Tracé van den registreerenden druppel-teller met veranderlijke uitstrooming 1; S, tracé van de sekonden; 2, druppel-teller met standvastige uitstrooming.

**Bepaling van de meerdere of mindere regelmatigheid  
waarmede de verschijnselen elkaar opvolgen.**

Door het meten van de afstanden tusschen de opvolgende geregistreerde teekens leert men weten of de verschijnselen elkaar al of niet op geregelde tijden opvolgen. Men kan zich voor een dergelijke beoordeeling nooit op de zintuigen verlaten; hoe dikwijls meent men niet, als men een zieke den pols voelt, een volkomen regelmatigheid te bespeuren, terwijl de registreertoestellen toch duidelijk een onregelmatige beweging aanwijzen. Om de al of niet regelmatigheid van de tusschenpoozen te beoordeelen, waardoor eenige opvolgende verschijnselen zijn gescheiden, meet men door middel van den chronograaf de tusschenruimten tusschen elke twee opvolgende teekens. Hoe meer juistheid men bij deze meting wil verkrijgen, des te sneller zal de cilinder moeten draaien en de stemvork moeten trillen.

Bij physiologische onderzoekingen is het niet altijd noodig die bepalingen met de grootst mogelijke nauwkeurigheid te doen. Het registreeren van den pols op een papier, dat zich met een snelheid van een halven centimeter per sekonde beweegt, is voldoende om de onregelmatigheden aan te wijzen, die aan het gevoel ontsnappen. Zoo is het bijv. bij het tracé van fig. 93 niet noodig den chronograaf te gebruiken om de onregelmatigheid der tusschenpoozen, die de polsslagen scheiden, aan te toonen. Iedereen zal bij het beschouwen van deze figuur onmiddellijk zien, dat op enkele oogenblikken twee polsslagen langer duren dan de drie polsslagen in het volgende oogenblik.

De onvolmaaktheid der zintuigen openbaart zich hierbij nergens zoo sterk als bij het gevoel; het oor is veel meer geoefend voor het meten van tusschenpoozen, zoodat men bij het luisteren naar de slagaderlijke kloppingen ten naastenbij de meerdere of min-

dere regelmatigheid der tusschenpoozen kan leeren kennen. Maar geen enkel hulpmiddel kan de chronografie vervangen, wanneer het er op aankomt de bepaling zeer nauwkeurig te doen.

Op dezelfde wijze bepaalt men de regelmatigheid of onregelmatigheid van de ademhalingsbewegingen en van de bewegingen bij de plaatsverandering van den mensch en van dieren. Over de wijze van proefneming in dergelijke gevallen valt verder niets bizonders mee te deelen; de lezer heeft reeds gezien hoe men te werk gaat voor het registreeren der voetstappen en gangen; later zullen wij zien hoe de ademhalingsbewegingen geregistreerd worden.

Een zeer belangrijk punt bij de onregelmatige bewegingen leert de grafische methode ons kennen, namelijk den *rhythmus*, die in enkele gevallen in de onregelmatigheden is op te merken. Ook daaromtrent geven onze zintuigen ons zeer slechte aanwijzingen. Wanneer de periode van terugkeer van een zekere werking maar eenigszins lang en samengesteld is, dan ontsnapt zij aan onze waarneming. De vluchtige herinnering aan de tusschenpoozen, die men heeft waargenomen, wordt uitgewischt en de terugkeer van een zelfde periode is niet meer te herkennen.

De teekens op het papier daarentegen vertoonen zich aan onze oogen op een nauwkeurige wijze, wij overzien een uitgestrektheid van het tracé, groot genoeg om den periodieken terugkeer van zekere onregelmatigheden op te merken; en is de periodiciteit eenmaal bevestigd, dan wordt daardoor de weg gebaad tot nieuwe nasproingen, welke op de oorzaak hiervan betrekking hebben; zoo ziet men in fig. 93, dat de periode, waarin telkens een zelfde type van polsslagen plaats heeft, overeenkomt met tien hartslagen.

Fig. 93. Polsslagen, onregelmatigheden vertoonende welke samenvallen met de ademhaling.

Iedereen weet dat de hartslagen van een hond onregelmatig zijn; maar weet men ook dat deze onregelmatigheid periodiek is?

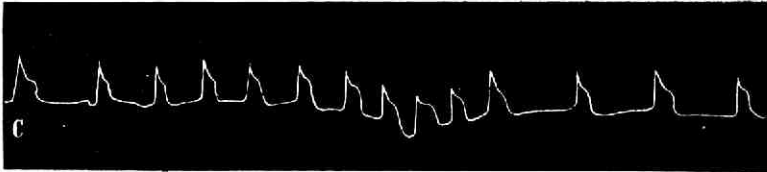


Fig. 94. Hartslagen bij den hond; onregelmatigheden samengaan met de ademing.

De grafische methode leert ons bij den eersten oogopslag deze periodiciteit kennen; zij toont ons daarenboven nog aan, dat de terugkeer van elke periode samengaat met de ademhalingsfasen (fig. 94).

Op vergevorderden leeftijd ontstaan onregelmatigheden in den polsslag, die onderhevig zijn aan een nog veel meer kennelijke periodiciteit; figuur 95 stelt ons een zeer sprekend type voor. 1)



Fig. 95. Pols van een hoogbejaarde, periodieke onregelmatigheden vertoonende.

Bij verschijnselen, waarbij de veranderingen langzamerhand plaats hebben, is de periodiciteit nog veel minder in 't ooglopend, aangezien men, om haar te constateeren, de waarneming over een zeer langen tijd zou moeten uitstrekken.

Veranderingen, die gebonden zijn aan dagelijksche of jaarlijkse perioden, ontsnappen nog veel gemakkelijker aan onze waarneming dan die, wier terugkeer snel is. Het spreekt van zelf, dat ook bij deze soort van verschijnselen de grafische methode gewichtige diensten bewijst.

1) Wij hebben hier bij elken polsslag alleen het oogenblik na te gaan, waarop hij begint; de curve, door den sphygmograaf geregistreerd, dient nu alleen als sein van de polsbeweging. Later bespreken wij den vorm dezer curven en de invloeden, waardoor zij gewijzigd worden.

## DERDE HOOFDSTUK.

## HET REGISTREREEN VAN BEWEGINGEN.

De kennis van een beweging bestaat in het tweevoudig begrip van ruimte en tijd. — De beweging is enkelvoudig of samengesteld. — Het registreeren van een enkelvoudige rechtlijnige beweging; val van lichamen. — Het registreeren van een spierbeweging. — Het registreeren van snelheden, van de verdeling van krachten, van den duur van botsingen, van versnellingen. — Curve van de snelheid van projectielen. — Het registreeren van een verplaatsing over een groote uitgestrektheid; herleiding op verkleinde schaal. — Het registreeren van de bewegingen der voeten bij het loopen. — Het registreeren van de bewegingen van een voertuig; de hodograaf. — Aanwending van den hodograaf voor het registreeren van de bewegingen van een rijtuig of van een trein, van menschen en dieren gedurende het loopen, van den gang van een beweegmachine, enz. — De hodograaf geeft de curve der frequentie van een verschijnsel, dat zich periodiek herhaalt; frequentie der hart- en ademhalingsbewegingen, enz.

Voor een duidelijke uiteenzetting van de aanwending der grafische methode was het noodig het registreeren van veranderingen in plaats te scheiden van de grafische tijdmeting; wij hebben dus nog slechts gedeeltelijk de beweging leeren kennen, door de baan en den duur daarvan afzonderlijk te bepalen. Voor de volmaakte kennis van een beweging wordt vereischt dat men gedurende de verplaatsing van een lichaam op elk oogenblik den stand weet te bepalen, dien het in de ruimte inneemt. Deze belangrijke kennis der beweging verkrijgen wij door de registreer-toestellen; de lijnen, welke zij traceeren, drukken inderdaad de plaatsveranderingen in de ruimte in functie van den tijd uit.

Wij behoeven niet meer te verklaren hoe een beweging door een lijn kan worden voorgesteld; dit is reeds in de eerste afdeeling van dit werk geschied 1), zoodat wij hier kunnen volstaan met in 't kort aan te geven hoe een lijn of curve door de beweging zelve wordt getraceerd.

De chronografie heeft ons reeds een voorbeeld gegeven van de wijze, waarop men de grafische voorstelling verkrijgt van tijd-ruimten door lengten, welke daarmede evenredig zijn. In plaats van nu met een onbewegelijke stift op den cilinder te traceeren, is het voldoende een schrijfstift aan te wenden die zich verplaatst

---

1) Hoofdst. II pag. 32.

in een richting, loodrecht op die, waarin de cilinder draait; zodoende zal men een lijn zien ontstaan van meerdere of mindere helling en met verschillende buigingen, afhankelijk van de snelheid waarmee de stift zich verplaatst en van de veranderingen, welke die snelheid ondergaat.

Een beweging kan echter enkelvoudig of samengesteld zijn; zien wij eerst hoe de eenvoudigste beweging wordt geregistreerd om vervolgens trapsgewijze over te gaan tot een beschrijving van de hulpmiddelen, waardoor de lijnen van samengestelde bewegingen worden verkregen.

PONCELET heeft het eerst een werktuig uitgedacht, bestemd voor het registreeren van een rechtlijnige beweging in een bepaalde richting; de verwezenlijking van dezen toestel hebben wij aan den generaal MORIN te danken. Door middel van dit registreerwerktuig worden de wetten van den vrijen val van lichamen grafisch voorgesteld. In dezen toestel is een vallend gewicht voorzien van een stift, die op een cilinder schrijft waaraan een draaiende beweging van eenparige snelheid om een vertikale as is meegedeeld; de combinatie van deze twee bewegingen, loodrecht op elkaar, waarvan de eene eenparig en de andere eenparig versneld is, doet een parabolische lijn ontstaan, waaruit gemakkelijk alle wetten van den vrijen val kunnen worden afgeleid, geheel onafhankelijk van de proeven van GALILEI, ATWOOD en van andere natuurkundigen.

(Voor verdere bijzonderheden van de tracés, door dit werktuig opgeleverd, zie men Techniek Hfst. III.)

#### **Het registreeren van een rechtlijnige beweging van willekeurigen oorsprong.**

De toestel van PONCELET wordt uitsluitend aangewend voor de studie van de wetten der zwaartekracht; nu is het van belang een toestel te hebben, die geschikt is om rechtlijnige bewegingen van willekeurigen oorsprong te traceeren. Een toestel, welke aan die voorwaarden voldoet, is in fig. 96 voorgesteld.

Aan een zwart gemaakten cilinder wordt een meer of minder snelle omwentelingsbeweging meegedeeld; een wagentje  $c$ , op rails geplaatst en voorzien van een stift  $s$ , kan met geringe wrij-

ving voortbewogen worden. Aan het wagentje is een draad bevestigd; wanneer aan dezen draad getrokken wordt, verkrijgt het dus een meer of minder groote snelheid en op den cilinder wordt de lijn getraceerd van de beweging, aan het wagentje meegedeeld. Naar gelang van de beweegkracht, die op den draad werkt, krijgt men dus in het tracé de voorstelling van een langsame of snelle, van een eenparige of veranderlijke beweging.

Windt men den draad om de as van een der raderen van een uurwerk, dat een eenparige beweging bezit, dan zal het tracé bestaan uit een rechte lijn wier helling afhankelijk zal zijn van de snelheid van beweging.

Werkt men op den draad door een spierbeweging, dan zullen alle veranderingen in deze beweging zich verraden door de buigingen van de getraceerde lijn. Laat men op den draad een

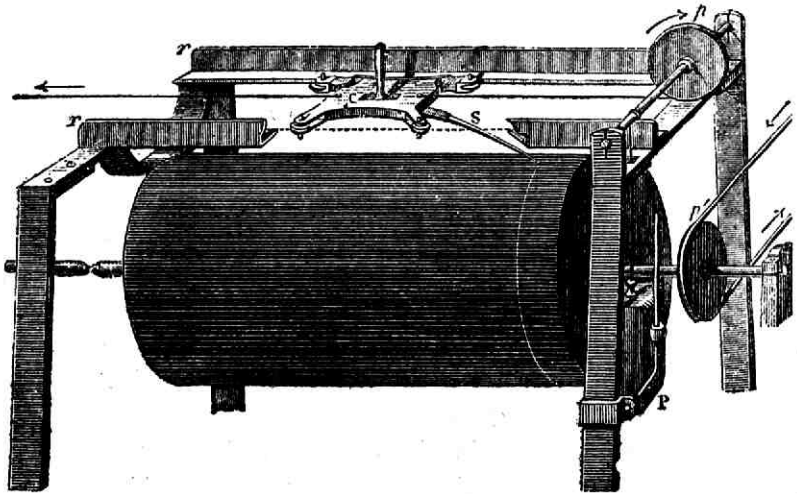


Fig. 96. Cilinder en slede voorzien van een schrijfstift, bestemd voor het registreeren van een rechtlijnige beweging in een bepaalde richting van willekeurige snelheid.

standvastige kracht werken van willekeurige intensiteit, dan zal de curve, ontstaan door de eenparig versnelde beweging, een parabool zijn, wier veranderlijke parameter zal overeenkomen met de meer of minder groote versnellingen. (Techniek, Hfst. IV).



### Beweging van een lichaam waarop standvastige krachten van verschillend vermogen werken.

Men kan voor de zwaartekracht een andere constante kracht in de plaats doen treden, bijv. die van een veer. Wordt een zeer lange caoutchouddraad gespannen door een gewicht van 100 gram, dan zal dit een werking uitoefenen gelijk aan die van de zwaartekracht, wanneer het over een volkomen glad vlak een massa moet voortbewegen, die zelf 100 gram gewicht heeft.

Figuur 97 toont de inrichting van deze proef. De slede, bevestigd aan een draad, die op een gegeven oogenblik wordt doorgebrand, weegt 100 gram en wordt naar den rechter kant getrokken door een gewicht van 100 gram, opgehangen aan een caoutchouddraad die over een katrol loopt.

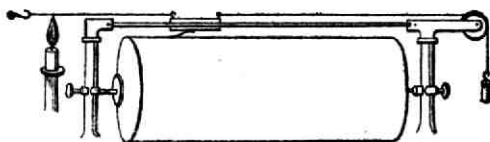


Fig. 97. Inrichting van de proef, bestemd om de beweging te registreren van een lichaam, waarop een standvastige kracht werkt.

Nadat de cilinder een eenparige beweging heeft verkregen, brandt men den draad door, en men verkrijgt het tracé, dat in fig. 98 met 1 is genummerd. Dezelfde lijn zou men hebben verkregen, indien de slede alleen door haar eigen gewicht vertikaal naar beneden gevallen was.

Liet men op de slede krachten werken, die grooter of kleiner zijn dan haar eigen gewicht, dan zou men de lijnen 2 of 3 krijgen die versnellingen aangeven, grooter of kleiner dan 1. (Zie Techniek Hfst. IV).

### Snelheid van in beweging zijnde massa's.

Men kan evenzeer over een kleinen afstand, gelijk aan dien, welke door de slede doorloopen wordt, de snelheid van een in beweging zijnde massa bepalen. Men vervangt alsdan de slede door de massa zelf, na deze voorzien te hebben van een schrijf-

stift en van kleine rolletjes, zoodat zij zich gemakkelijk langs de richels kan bewegen. Na aan den cilinder een behoorlijke omwen-

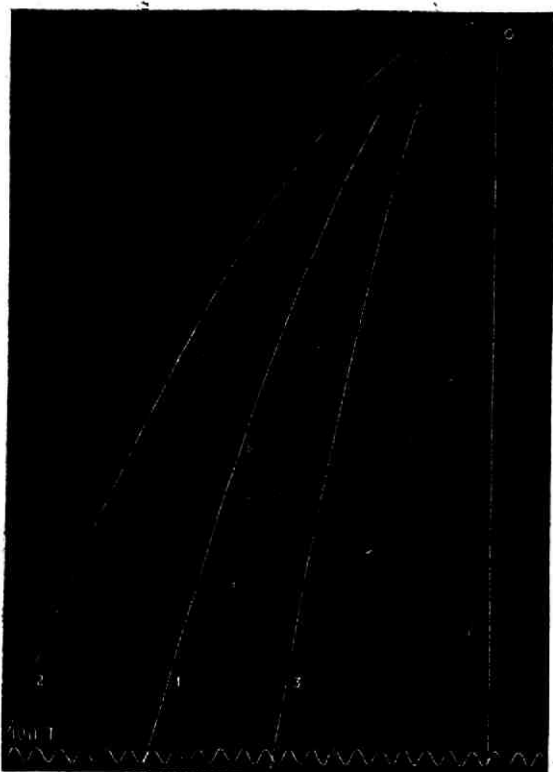


Fig. 98. Lijnen getraceerd door de beweging van verschillende massa's, waarop een zelfde standvastige kracht werkt.

telingssnelheid meegedeeld te hebben, die door den chronograaf wordt gecontroleerd, brengt men de massa in beweging. Deze kan nu eigenlijk beschouwd worden als een soort van projectiel, dat een baan doorloopt, gelijk aan de lengte des cilinders, en welks beweging gestuit wordt door een of ander voorwerp, aan het einde der baan geplaatst. 1)

1) Men kan dit gemakkelijk op de volgende manier bewerkstelligen. Het bewegende lichaam wordt voorzien van een scherpe punt, die in een stuk week hout dringt, dat aan het einde van den weg is geplaatst. Op deze wijze wordt het lichaam in zijn beweging gestuit, zonder botsing en zonder dat er een terugloop plaats heeft.

Het aldus verkregen tracé is klaarblijkelijk een rechte lijn, ten minste wanneer de wrijving van de slede niet al te groot is, waardoor de eenparigheid der beweging zou kunnen verstoord worden. Uit de helling van deze lijn laat zich de snelheid der massa bepalen.

Een der meest belangrijke verschijnselen, die men volgens deze methode kan bestudeeren is de overgang van de beweging van het eene lichaam op het andere, zooals plaats vindt bij botsing, wier duur men evenzeer kan meten.

#### **Bepaling van den duur van een botsing.**

Hiervoor neemt men twee bewegende massa's zooals die, welke hierboven zijn beschreven, beiden even zwaar en voorzien van rolletjes. Op de richels geplaatst, zijn beide lichamen bovendien voorzien van een schrijfstift; komen zij met elkaar in aanraking, dan moeten de punten der stiften zeer dicht bij elkaar liggen. 1)

Men plaatst het voorste lichaam in het midden van den te doorloopen weg, terwijl het achterste door middel van een of ander werktuig, bijv. door een schietboog, op een bepaald oogenblik zal voortgeworpen worden. Men draait vervolgens den cilinder rond met een groote snelheid, die door den chronograaf wordt gecontroleerd; de stift van het voorste lichaam traceert nu op den cilinder een cirkel; men drukt nu op den trekker van den boog; het tweede lichaam wordt voortgeworpen, de botsing heeft plaats, tengevolge waarvan het eerste lichaam het overige gedeelte van den weg doorloopt, terwijl het tweede onbewegelijk op de plaats blijft liggen waar de botsing heeft plaats gehad, en aldaar op zijn beurt een cirkel traceert.

Een ander maal zal het botsende lichaam zijn weg vervolgen, maar met een verminderde snelheid; ook kan het gebeuren dat het na de botsing terugloopt. Laat men vervolgens den cilinder

---

1) Hiertoe wordt de stift van het voorste lichaam zeer lang, die van het achterste kort genomen. De lichamen zijn aan de zijden, die tegen elkaar moeten stooten, vlak of een weinig bol.

stilhouden, dan ontwaart men een tracé waarvan fig. 99 een der mogelijke vormen voorstelt.



Fig. 99. Het registreeren van den duur van een botsing.

In deze figuur is de lijn  $a$  getraceerd door het botsende lichaam; haar helling bepaalt de snelheid van verplaatsing. De schuine lijn  $a'$  is getraceerd door het botsende lichaam, nadat zijn snelheid nagenoeg nul is geworden; de gestippelde horizontale lijn was bij het begin der proef door het voorste lichaam getraceerd; na den schok heeft dit de schuine lijn  $b$  afgeteekend.

Daar de beide lijnen  $a$  en  $b$  recht en nagenoeg evenwijdig loopen, blijkt hieruit, dat de beweging der lichamen eenparig is geweest, en dat het botsende lichaam ongeveer zijn geheele beweging aan het andere lichaam heeft overgedragen; na den stoot heeft het botsende lichaam nog maar een zeer geringe snelheid (lijn  $a'$ ) en komt spoedig in rust. 1)

De duur der botsing is af te leiden uit den horizontalen afstand tusschen de twee punten waarin de beweging van het eene botsende lichaam ophoudt en die van het andere lichaam aanvangt.

In deze figuur is die afstand ontzaglijk klein; men kan hem ternauwernood met het oog onderscheiden en komt, chronografisch gemeten, ongeveer met  $\frac{1}{300}$  van een sekonde overeen. De talrijke proeven, die hieromtrent genomen zijn, hebben doen zien dat voor het geval dat de botsing plaats heeft tusschen twee bronzen

1) Het eerste lichaam behoudt steeds een gedeelte van zijn aanvankelijke snelheid, wanneer de botsende lichamen niet volkomen veerkrachtig zijn.

lichamen, de duur van den schok minder bedraagt dan  $\frac{1}{23000}$  van een sekonde.

Zeer belangrijk is het hierbij de verdeeling der snelheden na den schok na te gaan. In de voorgaande proef waren de massa's gelijk, de veerkracht nagenoeg volkomen, en de levende kracht van het eene lichaam ging bijna geheel op het andere over 1).

Bevestigt men door middel van stevige schroeven eenige lichamen aan elkaar, dan kan men de verdeeling der massa's zoodanig regelen, dat het eene lichaam tweemaal 'zwaarder is dan het andere; is nu het botsende lichaam het zwaarste, dan bewegen zich beide lichamen na den schok met verschillende snelheden. In het tegenovergestelde geval zal het lichaam, dat den stoot ontvangt, een geringere snelheid hebben dan het andere. Wat den duur der botsing betreft, deze is nagenoeg even kort in al die verschillende gevallen, en bijna onmeetbaar, niettegenstaande de nauwkeurigheid waarmee deze toestellen werken. Het komt bij deze proeven vooral aan op een groote omwentelingssnelheid van den cilinder en een snelle verplaatsing der lichamen.

**Accelerograaf (versnellingsmeter) van M. Deprez, waardoor de lijn der snelheden wordt getraceerd, die door het buskruit aan een projectiel worden meegedeeld.**

De beweging van projectielen is een der snelste bewegingen, die men kan registreeren. Het is noodig bij deze metingen over een oppervlak te kunnen beschikken, dat zich met een bijzonder groote snelheid verplaatst. MARCEL DEPREZ heeft dit vraagstuk opgelost en heeft een werktuig uitgedacht, door hem *accelerograaf* genoemd, dat geheel verschilt van de gewone voor deze proeven te gebruiken werktuigen.

DEPREZ doet een blad papier in de beweging deelen van een zuiger, waarop de buskruitgassen werken, terwijl een schrijfstift zich met behulp van een sterk gespannen veer snel kan verplaatsen.

---

1) Het botsende lichaam doorloopt hier na den stoot nog slechts een afstand van weinige millimeters met een zeer geringe snelheid.

Uit de combinatie van deze twee bewegingen ontstaat een lijn, waaruit men de uitwerking van de buskruitgassen kan opmaken.

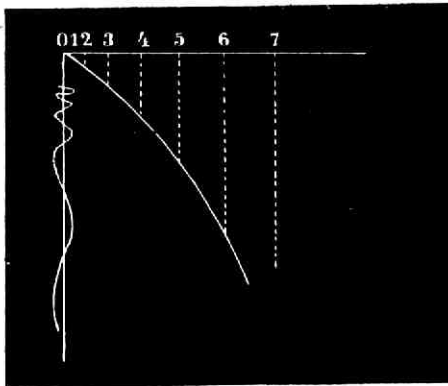


Fig. 100. Lijn der snelheid, door het buskruit aan projectielen meedeeld.  
Dit tracé is verkregen met het buskruit van WETTEREN en  
opgeteekend door den toestel van M. DEPREZ.

Indien het buskruit aan den zuiger en het daaraan bevestigd papier een eenparige beweging gaf, en evenzeer de beweging,

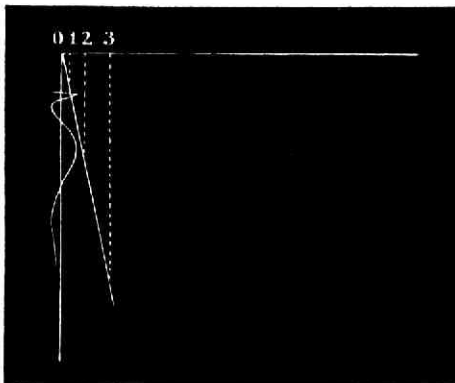


Fig. 101. Snelheid van projectielen. Tracé's verkregen met den toestel  
van DEPREZ; buskruit van RIPAULT.

die door de veer aan de stift wordt meedeeld, eenparig was, dan zou de getraceerde lijn een rechte wezen, wier schuine stand in den eenen of anderen zin het overwicht van de eene beweging

op de andere zou aangeven. Maar beide bewegingen, zoowel van het papier als van de stift, zijn versneld. Was deze versnelling voor beide even groot, dan zou het tracé toch een rechte lijn moeten zijn, want in ieder oogenblik zou dan de schrijfstift op gelijke afstanden van de  $x$ - en de  $y$ -as verwijderd zijn. Maar zijn de versnellingen niet gelijk, dan ontstaat een kromme lijn, zooals bijna altijd bij de proeven van DEPRez het geval is.

Om de grootte der versnelling te bepalen, die aan den zuiger is meegedeeld, neemt DEPRez nu en dan zijn toevlucht tot het direkt registreeren van den tijd met behulp van een staaf of stemvork, die 1000 trillingen in de sekonde maakt.

De figuren 100 en 101 zijn met dezen toestel verkregen. Hare beteekenis is de volgende :

Door elk der gestippelde vertikale deellijnen wordt de stand aangegeven, dien de stift inneemt op de oogenblikken 1, 2, 3,.... gemeten in duizendste deelen van een sekonde. De stand van den zuiger op elk dezer oogenblikken wordt aangegeven door het punt, waar de getraceerde lijn elk der stippellijnen snijdt.

Het onderzoek van een tracé van deze soort kan dus geheel op overeenkomstige wijze geschieden als van een curve, voortgebracht door den toestel van MORIN. Daar de verplaatsing van de stift niet eenparig is, bedient men zich van een trillende stift, ten einde den gang van het projectiel te controleeren.

De twee lijnen, die in de figuren als voorbeeld zijn genomen, vertoonen zeer verschillende kenmerken; het buskruit van WETTEREN geeft aan het projectiel een veel geringere snelheid dan dat van RIPAULT. 1)

---

1) \* Ook voor het oplossen van ballistische vraagstukken kunnen grafische voorstellingen dikwijls met vrucht worden aangewend. De baan, door een projectiel afgelegd, kan in teekening gebracht worden door de vluchthoogten (d. w. z. de hoogten van de verschillende punten der baan boven het horizontale vlak, dat door het midden der monding van het vuurwapen gaat) voor verschillende afstanden, bijv. met verschillen van 100 M. opklimmende, te berekenen. Gelijke deelen, op de  $x$ -as afgezet, stellen dan de achtereenvolgende afstanden voor; de deelen op de  $y$ -as stellen de berekende vluchthoogten voor, die naar een bepaalde schaal, welke gewoonlijk 10-maal grooter genomen wordt dan de schaal der afstanden, van den oorsprong af worden uitgezet.

Uit een dergelijke figuur kan dan de bestreken ruimte voor een bepaalde hoogte en een bepaalde dracht (d. i. de afstand van de monding tot het tweede snijpunt van de

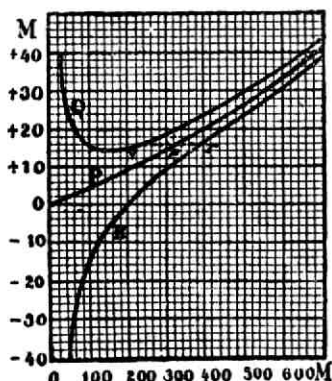
### Het registreeren van het groeien van planten.

Wij hebben nu de voornaamste gevallen beschouwd waarin de grafische methode is aan te wenden voor het registreeren van zeer snelle bewegingen; maar ook voor uiterst langsame bewegingen kan zij met vrucht worden aangewend; als een zeer treffend voorbeeld daarvan zullen wij aantonen hoe het groeien van een plant is geregistreerd geworden.

Een tak van een *Paulownia*, hoog 1,40 M., werd aan een

kogelbaan met de richtlijn gevonden worden; men noemt *bestreken ruimte* de horizontale projectie van dat deel der baan, waarvan de punten niet hoger liggen dan het doel, waarop gevuid wordt.

Ook kan men grafisch de bestreken ruimte voor een bepaalde hoogte en een bepaalde lading, bij het vuren met kanonnen, voor verschillende afstanden bepalen; alsdan construeert men in eene figuur de lijn der schootshoeken (door schootshoek verstaat men den hoek, dien de richtlijn maakt met de richting waaronder het projectiel den vuurmond verlaat), en tevens de lijnen der bestreken ruimten zoowel vóór als achter het doel; de punten van de lijn der schootshoeken worden verkregen door uit de verschillende punten der  $x$ -as, waarop de afstanden met 100 M. opklimmende zijn uitgezet, loodlijnen op te richten en deze gelijk te maken aan de tangenten der schootshoeken, die bij de verschillende afstanden behooren. Stelt bijv. in nevensgaande figuur P de



lijn der schootshoeken, Q die der bestreken ruimten vóór het doel en R die der bestreken ruimten achter het doel voor, dan zal men de bestreken ruimte voor een afstand van bijv. 300 M. direkt uit deze grafische figuur kunnen vinden, door van de middelste lijn P het punt  $p$  te bepalen, welks abscis overeenkomt met 300, en daarna door  $p$  de horizontale lijn  $qr$  te trekken, die Q en R in  $q$  en  $r$  snijdt. De lengten van  $qp$ ,  $pr$  en  $qr$ , op de  $x$ -as gemeten, stellen dan achtereenvolgens de bestreken ruimten vóór het doel, achter het doel, en de totale bestreken ruimte voor.

Voor verdere bijzonderheden betreffende de grafische oplossing van ballistische vraagstukken zie men SEYFFARDT, *Handleiding tot de Kennis der Artillerie, Afdeling Taktiek en Mittheilungen über Gegenstände des Artillerie- und Genie-wesens, Jahrgang 1874, Heft 3.* \*



stevigen stok vastgemaakt en aan een der bovenste bladeren een draad bevestigd die in verbinding was gesteld met een schrijfstift 1). Nadat het registreerwerktuig twee achtereenvolgende dagen en nachten gewerkt had, was het tracé verkregen dat in fig. 102 is voorgesteld. Reeds terstond bemerkt men hieruit dat de groei van den boom het sterkst was tusschen middag en middernacht. Het gedeelte van het tracé, dat in den morgen is afgeteekend, is nagenoeg horizontaal over een vrij groote uitgestrektheid. De noodige voorzorgen waren genomen om te beletten dat de lengte van den draad en dus ook de vorm van het tracé geen invloed zou ondervinden van de temperatuursveranderingen en opdat ook de vochtigheid geen werking zou uitoefenen op den draad, die de stift met den boom verbond, was deze draad opzettelijk van metaal genomen.

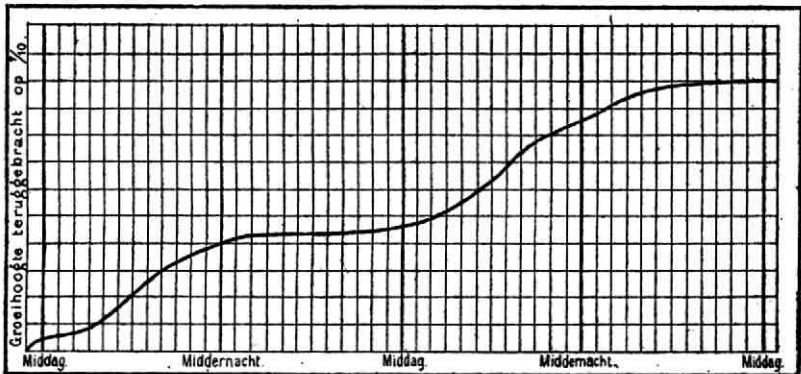


Fig. 102. Tracé van den groei van den tak van een Paulownia op de verschillende uren van den dag en van den nacht.

Andere proeven, met dezelfde plant genomen, hebben tot overeenstemmende resultaten geleid. 2) Hoogst belangrijk kunnen

1) De inrichting van den toestel verschilt een weinig van dien, die bij vroegere proeven werd gebruikt; deze toestel is bij nader onderzoek voor het registreeren van deze langsame bewegingen boven andere te verkiezen.

2) \* Deze proeven, alsmede die, waarvan wij het tracé in fig. 102 hebben voorgesteld, schijnen het eerst door MAREY genomen te zijn in 1873. \* In de *Physiologie végétale* van SACHS vindt men dergelijke proeven vermeld; zij geschieden door middel

deze proeven worden, wanneer men ze neemt met verschillende plantensoorten, onder verschillende omstandigheden van vochtigheid en temperatuur; wanneer men nagaat welken invloed licht en duisternis, verschillende samenstellingen en veranderingen in den omringenden dampkring, verschillend gekleurd licht, enz. hierbij uitoefenen; al deze waarnemingen kunnen vooral voor de plantenphysiologie van het hoogste gewicht worden en zoo is dus ook voor dezen tak der wetenschap door de grafische methode wederom een nieuw en ruim veld ter beoefening opengesteld.

**Handelwijzen om bewegingen, die over een te groote uitgestrektheid plaats hebben om op hare ware afmetingen te kunnen worden geregistreerd, op een verkleinde schaal te herleiden.**

De cilinders, die gebruikt worden voor het registreeren der tracés, zijn gewoonlijk 25 à 30 centimeter lang; overschrijdt de te onderzoeken beweging deze afmetingen niet, zooals bij de voorgaande proeven, dan kan men haar direkt registreeren, zoodat de lengte van een centimeter op het papier evenwijdig met de ordinatenas gemeten, juist een doorloopen weg van een centimeter uitdrukt; moeten echter zeer uitgestrekte bewegingen geregistreerd worden, dan moet men die op een bepaalde verhouding, op  $\frac{1}{10}$ , op  $\frac{1}{100}$  of  $\frac{1}{1000}$  verkleinen, naar gelang van omstandigheden. Tevens moet men de omwentelingssnelheid van den cilinder regelen, opdat het tracé de gewenschte duidelijkheid verkrijge.

Het herleiden der beweging geschiedt door middel van riemschijven of raderen die in elkaar grijpen; men laat bijv. een der getande raderen grijpen in een ander getand rad, waarvan het aantal tanden tienmaal grooter is dan van het eerste; dit tweede getand rad grijpt weer in een derde, waarvan het aantal tanden zich weer verhoudt tot dat van het tweede als 10 tot 1, enz. Zodoende zal, terwijl het eerste rad 1000 omwente-

---

van een eenvoudigen hefboom, waardoor de bewegingen vergroot werden overgebracht; deze methode schijnt echter zeer gebrekkig te zijn, aangezien hierbij de getraceerde cirkelboog, die door het uiteinde des hefbooms wordt beschreven, de eigenlijke beweging te veel misvormd teruggeeft.

telingen doet, het tweede in dienzelfden tijd er 100, het derde 10, het vierde 1, het vijfde  $\frac{1}{100}$ e omwenteling maken en zoo vervolgens. Op al deze drijftraderen, die aan den buitenkant van het raderwerk van uitstekende deelen zijn voorzien, kunnen riemschijven worden geplaatst; aldus wordt de beweging aan het raderwerk meegedeeld en zodoende verkleind, terwijl een snoer, om een andere riemschijf geslagen, de door het raderwerk herleide beweging op de schrijfstift overbrengt. Er zijn ook nog andere middelen om een beweging te herleiden. (Zie Techniek, Hfst. III).

Om een voorbeeld te geven van het registreeren van herleide bewegingen zullen wij de proeven vermelden betreffende de beweging van den mensch, waarbij de bewegingen van den voet worden geregistreerd, wanneer deze wordt opgeheven om een nieuw steunpunt te zoeken.

#### Het registreeren van de bewegingen van den voet bij het loopen en draven.

Aan den voet wordt een draad bevestigd, die gewikkeld is om een riemschijf, geplaatst op het eerste drijfrad van het raderwerk; over een andere riemschijf, op het derde drijfrad

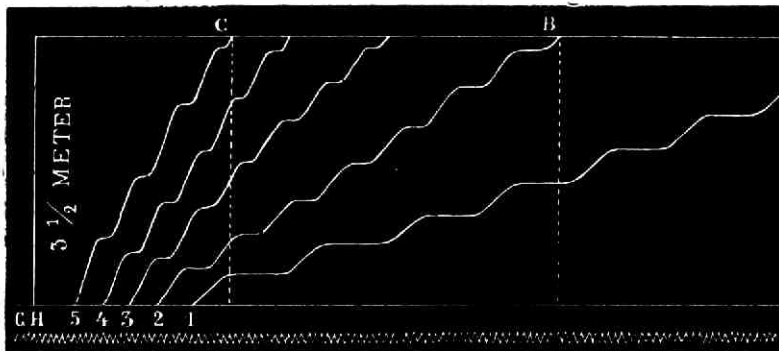


Fig. 103. Tracés van de beweging van den voet bij verschillende gangen.

geplaatst, wordt eveneens een snoer geslagen, die op de schrijfstift werkt. Zodoende wordt de beweging van den voet op de stift overgebracht, na op  $\frac{1}{100}$ e van hare werkelijke afmeting teruggebracht te zijn. Figuur 103 toont ons vijf tracés van ongelijk

snelle gangen. A komt met den langzaamsten, B met den gewonen gang, C met den snellen draf overeen. De tusschen B en C liggende lijnen zijn met iets geringer snelheden verkregen.

De geheele doorloopen afstand bedroeg  $3\frac{1}{2}$  meter, die, op  $\frac{1}{100}$ <sup>e</sup> herleid,  $3\frac{1}{2}$  centimeter geven. De tijden, waarin die afstand in de verschillende gangen is doorloopen, worden op de abscissen gemeten, met behulp van een chronografisch tracé; de chronograaf maakte 10 trillingen in de sekonde.

Uit deze tracés kan men alles vinden, wat betrekking heeft op de voetbeweging bij het loopen. Zij wijzen den tijd aan gedurende welken de voet op den grond steunt of is opgeheven, en in dit laatste geval den doorloopen weg en de fasen van beweging.

1e. *Afwisseling van rust en van beweging van den voet.* — Het is duidelijk dat daar, waar de tracés een horizontale lijn vertoonen, de tijd wordt aangewezen gedurende welken de voet op den grond steunt en onbewegelijk is, terwijl de doorloopen ruimte nul is. De duur van die tijden vermindert, zooals men ziet, naarmate de gang sneller is. De tijd, gedurende welken de voet zich verplaatst, wordt door een schuine lijn aangewezen, wier projectie op de ordinaten-as grooter is, naar gelang de gang versnelt. Hieruit volgt dat de lengte van den pas grooter wordt in reden van de snelheid van den gang.

Men kan verder met juistheid de betrekking bepalen tusschen de snelheid en de uitgestrektheid van den pas; tusschen den duur van de rust en van de beweging van den voet, enz.; wij zullen echter hier bij deze bijzonderheden niet stilstaan, maar liever overgaan tot de hoofdzaak en wel tot den:

2e. *Aard van de beweging bij het verplaatsen van den voet.* — Deze beweging wordt bijna in haar geheel door een rechte lijn uitgedrukt en is dus bijna altijd eenparig; de buigingen van de lijn, bij het begin en het einde, wijzen aan dat vooral bij de snelle gangen, de beweging van den voet aanvangt en eindigt met korte perioden van veranderlijke snelheid. Men ziet hoeveel deze beweging van het been werkelijk verschilt van de slingerbeweging, waarmee de gebroeders WEBER haar indertijd vergeleken hebben; deze waren inderdaad van meening dat de slingeren van het been, dat zich verplaatst, alleen te wijten waren aan de zwaartekracht.

Men moet deze nagenoeg eenparige beweging van den voet niet uitsluitend toeschrijven aan de werking der beenspieren; bij deze verplaatsing doen zich twee onderscheidene oorzaken gelden en wel: de hoekbeweging, die het been om het heupgewricht maakt, en de horizontale verplaatsing van het bekken zelf, d. w. z. van het ophangpunt van het been gedurende zijn slingering. Het is te begrijpen dat de combinatie van deze beide invloeden tengevolge heeft dat de verplaatsing van den voet nadert tot een eenparige beweging; deze zal plaats hebben wanneer de *minima* van snelheid van de eerste soort van beweging overeenkomen met de *maxima* van snelheid van de tweede. Het is daarom zeer belangrijk den aard der beweging te bepalen bij de verplaatsing van het lichaam in verschillende gangen. Ook voor deze bepaling kan het hierboven beschreven werktuig dienen.

**Het registreeren van den weg door het lichaam in de verschillende gangen doorloopen.**

Door middel van een koord, om het middel geslagen, werd de beweging bij de verplaatsing van den romp aan het registreerapparaat meegedeeld. Door achtereenvolgens de verschillende

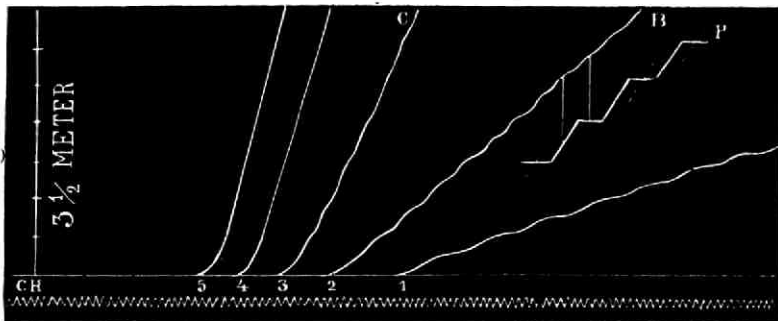


Fig. 104. Tracés van de bewegingen bij de verplaatsing van het lichaam in de verschillende gangen.

gangen te laten uitvoeren, wordt fig. 104 verkregen, wier beschouwing tot zeer belangrijke uitkomsten leidt.

### Snelheid van den gang.

Deze wordt uitgedrukt door de gemiddelde helling van de kromme, dat wil zeggen door de helling van een rechte lijn die het begin met het einde van het tracé verbindt. Bij de verschillende lijnen die in fig. 104 zijn voorgesteld, is een zelfde afstand ( $3\frac{1}{2}$  meter) doorloopen in verschillende tijden, die met behulp van het chronografisch tracé kunnen gemeten worden en wel door de trillingen te tellen die begrepen zijn tusschen de uiteinden van elk tracé, geprojecteerd op de x-as. Zoo telt men bijv. voor den langsamen gang (van 1 tot A verlengd tot een afstand van 3 meter) 13 sekonden; voor den snelleren gang van 2 tot B  $6\frac{1}{2}$  sekonde; en eindelijk voor den snellen gang van 3 tot C slechts 2 sekonden.

De golvingen van het tracé zijn wel sterker bij den langsamen dan bij den snellen gang. De beweging van het lichaam nadert dus bij meerdere snelheid meer tot de eenparige. 1) Vergelijk men deze figuur bij fig. 103 dan ziet men dat het aantal schokken bij de beweging van den voet slechts de helft bedraagt van het aantal stooten bij de beweging van het lichaam. Dit nu laat zich gemakkelijk verklaren, doordat de beide voeten, terwijl zij dezelfde werking herhalen, beurt om beurt een nieuwen schok aan het lichaam toebrengen.

Om deze werking recht duidelijk te maken, zijn evenwijdig aan de lijn 2 de lijnen P getraceerd, die de beweging van den rechter en van den linkervoet aanwijzen. Men ziet dat deze lijnen, waarvan de eene gestippeld en de andere getrokken is, geheel overeenkomen met de lijn 2 B van fig. 103. Gaat men na welke gedeelten van deze lijnen samenvallen met de golvingen van de lijn, die de verplaatsing van het lichaam voorstelt, dan ziet men dat de lichaamsbeweging in snelheid toeneemt op het midden van het oogenblik dat een der voeten op den grond steunt. Dit is weer geheel in overeenstemming met de uitkomsten, waartoe andere proefnemingen betreffende de beweging van den mensch hebben geleid. 2)

1) Omgekeerd is het gesteld met de vertikale slingeren van het lichaam, die in reden van de snelheid van den gang en van de lengte van den pas toenemen.

2) Zie *La Machine animale* pag. 127.

### Het registreeren van de beweging van een voertuig.

De hierboven aangegeven methode om de uitgestrektheid van de bewegingen van den voet op een verkleinde schaal terug te brengen, alvorens die bewegingen geregistreerd worden, kan niet gevolgd worden, wanneer de doorloopen afstand zeer groot wordt. Gesteld bijv. dat een spoorwegrijtuig zich met een snelheid van 20 meter in de sekonde voortbeweegt; men zou nu van de omwenteling der wagenas kunnen gebruik maken om een raderwerk in beweging te brengen, dat op zijn beurt weer op een stel drijf-raderen met afnemende snelheden werkt, zoodat hierdoor eindelijk aan een schrijfstift een beweging zou worden meêgedeeld, die op de gewenschte verhouding is verkleind; men kan echter hier op meer eenvoudige wijze te werk gaan.

In plaats van de beweging in haar geheel te verkleinen en hare verschillende fasen onafgebroken te laten registreeren, kan men het raderwerk met geregelde tusschenpoozen in beweging laten brengen, door bijv. bij elke omwenteling van het wagenrad een kleinen stoot aan een der drijf-raderen te doen geven. Deze stooten zijn zoo klein en zoo talrijk, dat zij geheel ineensmelten en een lijn geven die geen enkele bocht schijnt te bezitten.

De algemeene vorm der beweging wordt hierdoor in het minst niet veranderd. Wij weten toch dat zware lichamen, die met geringe wrijving voortrollen of glijden, slechts zeer langzaam hun snelheid, die zij eenmaal hebben verkregen, veranderen. Daar bij een spoortrein de oorzaken van versnelling of vertraging buitengemeen langzaam werken, zal de duur van de eene omwenteling van het rad zeer weinig met dien van de volgende omwenteling verschillen, en zal de snelheid in een korten tijd niet merkbaar veranderen. Wordt dus bij elke omwenteling van het wagenrad een stoot gegeven tegen een der tanden van het raderwerk, tengevolge waarvan de schrijfstift in beweging wordt gebracht, dan krijgt men een reeks van zeer dicht bij elkaar liggende punten, wier aaneenschakeling een lijn geeft, die den doorloopen afstand in elk tijddeel getrouw zal aanwijzen.

Men kan zich te dien einde bedienen van den algemeen bekenden toestel, den telegrafischen ontvanger van BRÉGUET. Het echappement van dezen toestel laat bij elk zijner schommelingen

twee tanden van het raderwerk voorbijgaan. Om nu dezen toestel geschikt te maken voor het registreeren van de beweging van een voertuig, behoeft men slechts op het midden van het wagenrad een kam te plaatsen, die bij elke omwenteling van het rad het echappement in beweging brengt, zoodat het raderwerk dan telkens twee tanden verspringt en verder door een elektromagneet of door een der luchttrommels, zooals wij die reeds vroeger hebben leeren kennen, op de schrijfstift werkt. Daar echter van deze soort van tracés zoo menigvuldige toepassingen worden gemaakt, is hiervoor een bijzonder werktuig samengesteld, dat den naam draagt van *hodograaf* 1) waarvan wij de werking nader zullen beschouwen.

### De hodograaf.

Dit werktuig, in fig. 105 voorgesteld, bestaat uit een vertikalen cilinder, waaraan door een daarbinnen geplaatst uurwerk een eenparig ronddraaiende beweging om zijn as, wordt meêgedeeld. Deze cilinder is bekleed met papier, dat millimetrisch is verdeeld; de snelheid van draaiing is zoodanig geregeld, dat elke millimeter overeenkomt met een bepaalden tijdduur, bijv. met één minuut.

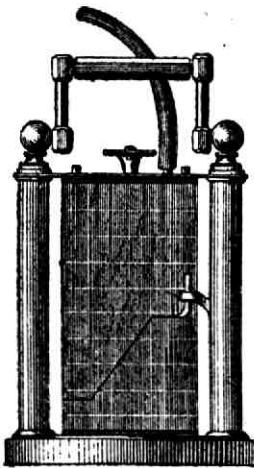


Fig. 105. Hodograaf op het  $\frac{1}{30}$ e van zijn ware grootte.

Evenwijdig met de as des cilinders beweegt zich een schrijfstift, voorzien van een pen met glycerine-inkt (deze inkt verdroogt niet in de pen). De stift beweegt zich in een gleuf, die aan den binnenkant van een der zuilen van den toestel is aangebracht; deze zuil is hol en bevat van binnen een schroef, die langzaam draait en de stift doet stijgen. De schroef moet in beweging gebracht worden door de as van het voertuig; daartoe bedient men zich van een blaastoestel, waarvan de buis, door het bovenvlak van

1) \* Deze hodograaf is door MAREY het eerst samengesteld en aangewend. \* Voor verdere bijzonderheden van dit werktuig zie men *Techuiek*, Hfst. IV.



den cilinder heengaande, uitmondt in een luchttrommel met vlies in het inwendige van den cilinder gelegen. Het vlies, dat door elken luchtstoot in beweging gebracht wordt, werkt op een pal, die in de tanden van een schakelrad grijpt, waardoor de schroef, waaraan de stift is verbonden, wordt rondgedraaid.

Door een bijzondere inrichting zal de stift, zoodra zij aan het boveneinde van den zuil is gekomen, naar beneden vallen om vervolgens weer langzaam te stijgen. Op deze wijze kan het registreren gedurende verscheidene omwentelingen van den cilinder blijven geschieden zonder dat de tracés samenvallen. Een dergelijk werktuig kan dus verscheidene dagen achtereen bij een rijtuig of wagon worden aangewend.

Daar de snelheid, waarmeê de stift zich beweegt, afhangt van de snelheid van beweging van het voertuig, zal men zien dat de stift een versnelde beweging krijgt, wanneer het voertuig zich in beweging stelt, en een vertraagde beweging bij het remmen van het voertuig. Verder zal ook het op- en afgaan van een helling worden aangewezen door een vertraging of versnelling van de stift.

Men verkrijgt op deze wijze een proefondervindelijk bepaalde lijn van de afstanden, die in elk tijddeel, bijv. door een trein, zijn doorloopen. Voor kleine afstanden verschilt deze lijn van de theoretisch geconstrueerde lijnen naar de methode van IBRY, waarvan vroeger een paar voorbeelden zijn gegeven. 1) Deze lijnen, die van zooveel gewicht zijn bij de dienstregeling der spoorwegen, wijken toch eenigszins van de waarheid af, daar zij geen enkele verandering van snelheid, veroorzaakt door hellingen van den weg of door het remmen of versnellen van den gang, aanwijzen. Zij veronderstellen de beweging van den trein steeds eenparig en wijzen die aan door een rechte lijn, welke de twee punten verbindt waar de trein op bepaalde uren stilhoudt.

Het zooveen beschreven werktuig kan voor elk soort van voertuigen worden aangewend, en leent zich tot het meten van de snelheid van voorttrekking op verschillende wijzen en onder verschillende omstandigheden, zooals: de verschillende wijzen waarop het dier, dat het voertuig voorttrekt, wordt gevoed; zijn toestand

---

1) Zie de figuren 8 en 9.

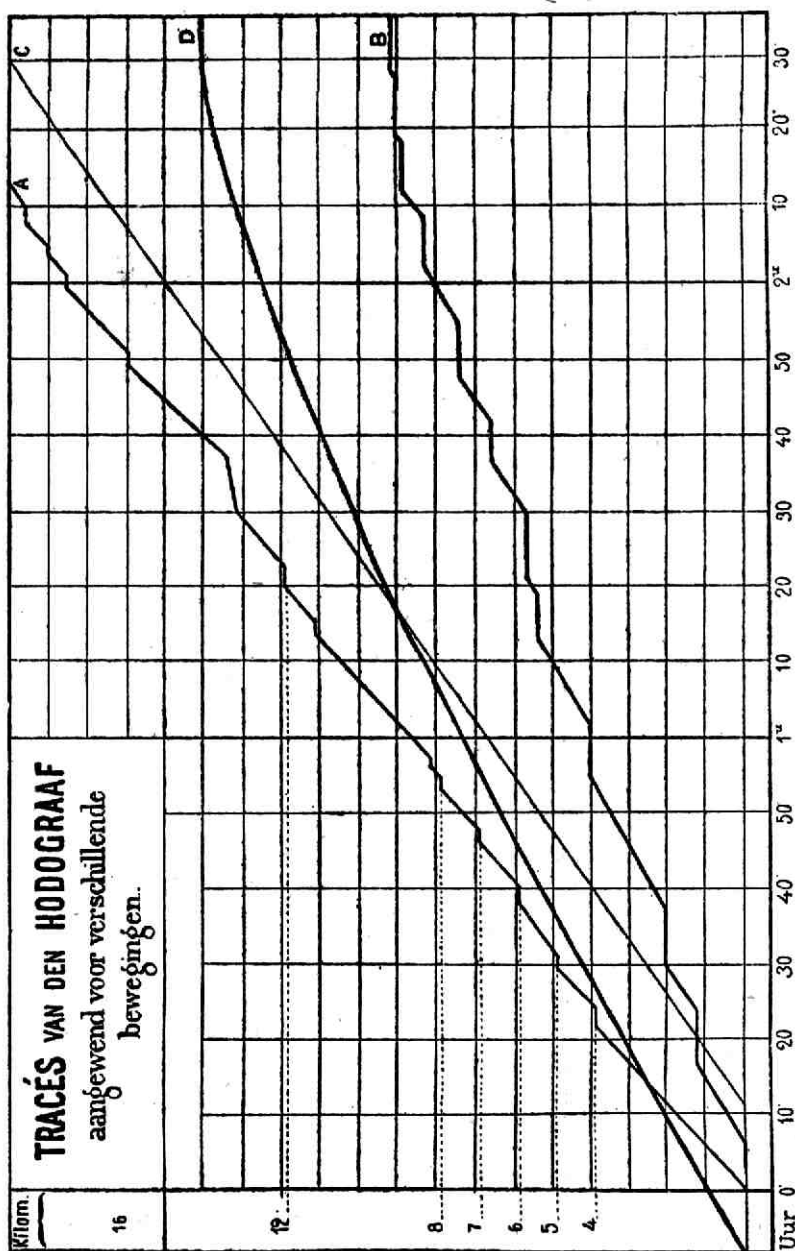


Fig. 106. Tracés verkregen met den hodograaf, aangewend voor verschillende bewegingen.

van rust of van vermoeyenis, de wijze waarop het voor het voertuig is gespannen, enz.

De physioloog kan dus op al die verschillende punten een tal van onderzoekingen instellen, die vroeger niet onder zulke gunstige voorwaarden konden geschieden.

Het gebruik van den hodograaf behoeft verder niet alleen beperkt te blijven tot het registreeren van de beweging van een voertuig, maar kan uitgebreid worden tot alle soorten van raderwerken. Laat men bijv. een der assen of drijfraden van een stoomwerktuig op de stift werken, dan zal de meer of minder snelle gang van dit stoomwerktuig duidelijk door de beweging der stift worden teruggegeven.

Men kan verder den hodograaf gebruiken om de beweging van een of ander raderwerk te controleeren; de beweging van een uurwerk zal, aangezien zij eenparig is, een volkomen rechte lijn moeten geven.

Een raderwerk met veer, voorzien van een vliegwiel, moet een bolle kromme lijn geven, aangezien de beweging gedurende den gang van het raderwerk in snelheid afneemt.

In fig. 106 zijn tracés voorgesteld, die onder verschillende omstandigheden verkregen zijn. De lijn A is verkregen met een snelrijdend voertuig, dat met verschillende tusschenpoozen is stilgehouden; B is verkregen met een rijtuig dat zich ongeveer tweemaal langzamer voortbewoog dan het eerste. C geeft den gang aan van een klein beweegwerktuig, dat door lucht gedreven wordt volgens het stelsel BISCHOP. De lijn D, die een bolle kromming vertoont, geeft den gang aan van een uurwerk met veer, een soort van draaispit, voorzien van een vliegwiel.

Het lezen van dergelijke tracés biedt hoegenaamd geen moeilijkheden aan; in de laatste afdeeling van dit werk zullen wij alle kleine bijzonderheden waartoe een nauwkeurig onderzoek van het tracé, dat door den hodograaf in zijn toepassing op de beweging van een rijtuig wordt ontworpen, leidt, met aandacht nagaan. Men zal zien, na proefondervindelijk den afstand gemeten te hebben, waarover de stift zich met elken kilometer afgelegden weg verplaatst, dat niets gemakkelijker is dan het aantal kilometers te bepalen, door deze eenvoudig op de vertikale verdeelingen van het papier af te tellen. Doorloopen afstanden, volstreckte en be-

trekkelijke snelheden, veranderingen in den gang enz., alles wordt duidelijk uitgedrukt volgens de wijze van grafische voorstelling, die door IBRY uitgedacht en hier voldoende toegelicht is.

De lijnen, die ons door den hodograaf worden gegeven, zijn de meest volmaakte uitdrukking van een rechte lijnige beweging; voorheen kon men met behulp van zoogenaamde tellers, die het aantal omwentelingen van een rad aangaven, alleen te weten komen hoeveel omwentelingen door de wagenwielen waren gedaan en bijgevolg hoeveel kilometers afstand waren doorlopen; ook wist men op deze wijze de hoeveelheden stoom of water, verbruikt voor de beweging van een machine, het aantal omdraaiingen van een schroef, bijv. van een schroefstoomboot, van de wijk van een anemograaf of van den maalsteen van een molen, enz. te bepalen; maar de phasen van versnelling of van vertraging van deze bewegingen bleven onbekend. Men zal dus begrijpen van hoeveel belang de aanwending van een werktuig is, zooals wij hierboven hebben beschreven.

#### **Onderzoekingen betreffende den gang van den mensch gedaan met behulp van den hodograaf.**

Door een zeer eenvoudige inrichting kan men den hodograaf laten werken door middel van de drukking, die elk der voeten bij iederen stap op den grond uitoefent. Men brengt dan onder het schoeisel een toestelletje aan, dat bij het neerzetten van den voet wordt samengedrukt en alsdan een luchtstoot naar den hodograaf toezendt. Door dergelijke proeven zijn tracés verkregen, wier meerdere of mindere helling afhangt van de snelheid van den gang.

Het nauwkeurig onderzoek van deze tracés is voor de kennis van den gang, vooral uit een physiologisch oogpunt beschouwd, hoogst belangrijk. Op het eerste gezicht gelijken deze tracés volkomen op die van de beweging van een voertuig, maar bij nader onderzoek zal men bemerken, dat het tracé niet voor elken afgelegden kilometer dezelfde hoogte heeft (gerekend op de  $y$ -as); dit vloeit hieruit voort, dat de lengte van den pas niet zooals de omwenteling van een wagenrad onveranderlijk is, maar dat zij zich wijzigt naar den aard van den weg. Op een goeden weg en gedurende het langzaam afgaan van een helling, wordt de pas

verlengd. Daarentegen wordt hij verkort bij het beklimmen van een helling en bij het begaan van een modderigen, steenachtigen of zandigen weg. Zeer belangrijk is het die veranderingen in de lengte van den pas te bepalen, niet alleen naar de grootte, de sterkte, den staat van vermoeienis of uitputting of van rust van de persoon, maar ook in verband met den aard van den grond.

In dit opzicht zijn de bepalingen van de lengte van den pas bijzonder nauwkeurig. Gesteld dat de tracés van den gang bij het klimmen en van dien bij het afdalen tot elkaar in verhouding staan als 9 tot 10, dan kan men daaruit besluiten dat de pas bij het klimmen een tiende korter is dan bij het afdalen. De volstreckte lengte van den stap kan men bepalen, wanneer men weet hoeveel maal de hodograaf in beweging moet gesteld worden om de schrijfstift één centimeter te doen vooruitgaan. Eigenaardig is het dat de stap van den mensch steeds dezelfde lengte behoudt voor een zelfde persoon die op een zelfden weg loopt, onder dezelfde omstandigheden van temperatuur.

Waarschijnlijk kan deze soort van onderzoekingen ook van belang zijn voor de militaire kennis, waarin alles wat betrekking heeft op de snelheid en op de lengte van den pas nauwkeurig in acht wordt genomen. (Zie Techniek, Hfst. IV).

Door de wijze van grafische voorstelling van IBRY toe te passen op de afgebroken bewegingen bij de verplaatsing van den voet, heeft LENOBLE DU TEIL de lijn getraceerd van de bewegingen der vier voeten van het paard in de verschillende gangen. Wij verwijzen voor het onderzoek van deze tracés naar de laatste afdeling hoofdstuk I; deze figuren zijn geconstrueerd door de gegevens, die verkregen zijn uit de afdrukken der voetstappen bij de verschillende gangen met betrekking tot de veranderingen in ruimte te verbinden met die, welke met betrekking tot den tijd ons door de geregistreeerde rhythmici zijn verschaft.

**Lijnen die de veranderingen in de frequentie van  
een verschijnsel aangeven.**

Terwijl de hodograaf door een lijn de frequentie der passen aangeeft, wijst hij ons tevens de nauwe betrekking aan die tusschen *snelheid* en *frequentie* bestaat. Deze betrekking is alge-

meen zoo duidelijk dat men in de gewone zegswijze de woorden *snel* en *dikwijls* niet meer van elkander scheidt, zoo zegt men bijv. dat het hart snel klopt of dat iemand snel ademhaalt.

Laat men nu de hartslagen of de ademhalingsbewegingen op den hodograaf werken, dan kan men hierdoor met de meeste zekerheid de veranderingen in de frequentie dier bewegingen gedurende een lange tijdruimte leeren kennen.

Dergelijke onderzoekingen kunnen van het hoogste belang geacht worden, daar zij ons nauwkeurige begrippen kunnen geven omtrent een tal van verschijnselen, die men anders slechts op een benaderende wijze kan leeren kennen; als zoodanig noemen wij de physiologische veranderingen van den pols of van de ademhaling op de verschillende uren van den dag, in de verschillende tijdperken der spijsvertering, onder den invloed van verschillende in de maag gebrachte stoffen, bij verandering van temperatuur, enz.

Het doen van dergelijke bepalingen, waarvoor geen geduld toereikend zou zijn, kan met de meest mogelijke nauwkeurigheid alleen door middel van registreertoestellen geschieden.

Ook zal deze methode ons belangrijke aanwijzingen moeten geven omtrent de normale verhouding van de frequentie van den pols tot die der ademhaling, ook met betrekking tot de persoonlijke veranderingen en de omstandigheden die haar kunnen wijzigen.

Eveneens is de kennis van de frequentie van den pols en van de ademhaling gedurende ziekten zeer belangrijk; de geneesheeren hebben daaromtrent talrijke waarnemingen verzameld, die echter allen onvolledig zijn, aangezien het voor geen menschelijk geduld mogelijk is om zonder eenig rusten of tusschenpoozen de phasen van deze veranderingen te volgen. Hieruit volgt nu niet dat juist elke zieke moet onderworpen worden aan de aanwending van deze registreertoestellen, maar het is zeker noodzakelijk dat op enkele althans deze onderzoekingen worden gedaan, ten einde daardoor zekere pathologische typen te verkrijgen, die het verloop van verschillende ziekten kenmerken.

Het hoofdbezwaar bij de praktische verwezenlijking van deze onderzoekingen is gelegen in de zwakheid der bewegingen die op den hodograaf moeten werken. Dit bezwaar is op twee verschillende wijzen uit den weg te ruimen; nu eens zal men een

hulpkracht moeten aanbrengen bij die van den pols of van de ademhaling, zooals men bij de telegrafie gebruik maakt van de relais-batterij, wanneer de stroom van het seingevend station niet sterk genoeg is om de seinen over te brengen; een andermaal zal men trachten de kracht der bewegingen, die den hodograaf in beweging moet brengen, te vergrooten. Men zal al naar gelang van omstandigheden tot het eerste of tot het tweede middel zijn toevlucht moeten nemen.

#### **Gebruik van een elektrisch relais.**

Een zeer zwakke beweging, zooals bijv. de hartslag van een kikvorsch, is voldoende om een licht staafe te verplaatsen, dat door zijn schommelingen een elektrischen stroom beurtelings kan openen en sluiten. Door dit verbreken en sluiten van den stroom zal men in een elektromagneet bewegingen kunnen opwekken, zoo sterk als men verkiest, waardoor men met voldoende kracht het echappement van den hodograaf in beweging kan brengen (zie Techniek, Hfst. III). Een lijn, getraceerd door de veranderingen en frequentie der bewegingen van het hart eens kikvorschs, gelijk in alle punten op die, welke in fig. 106, lijn D, is voorgesteld, die de vertragende beweging van een uurwerk aangeeft; een dergelijke vertraging wordt waargenomen bij een kikvorschhart, dat blootgelegd en aan afkoeling wordt blootgesteld.

#### **Het vergrooten van de kracht der arterieele polsslagen.**

Volgens het beginsel van PASCAL zal een uitgeoefende drukking des te meer uitwerking hebben, naarmate zij op een grootere oppervlakte wordt overgeplant. Daaruit volgt, dat bij elken bloedgolf, die door den hartslag in de aderen wordt voortgestuwd, een aanmerkelijk groote druk op de verschillende weefsels wordt uitgeoefend. Door die drukkrachten op een groote oppervlakte der weefsels gezamenlijk op te vangen, zal men het middel verkregen hebben om in plaats van de zwakke polsslagen krachtige stooten te verkrijgen, die sterk genoeg zijn om op den hodograaf te werken. Tot hiertoe hebben echter de pogingen, die voor dit doel met de ontvangtoestellen zijn aangewend, tot weinig voldoende uitkomsten geleid.

Het is zeker wel niet noodig om meerdere voorbeelden van de toepassing van deze methode in de physiologie aan te halen, evenmin als het noodzakelijk is op de voordeelen te wijzen, die ze aan de natuurkunde en werktuigkunde aanbiedt. Een ieder zal, naar gelang van zijne onderzoekingen, het gebruik van den hodoograaf kunnen wijzigen en uitbreiden.

## VIERDE HOOFDSTUK.

### RECHTLIJNIGE BEWEGINGEN MET VERANDERING VAN RICHTING.

*A. Het registreeren van rechtlijnige bewegingen met veranderlijke richtingen.*

In de physiologie komen bij de beweging der organen slechts verplaatsingen voor die afwisselend in tegengestelde richtingen geschieden. — Spierbewegingen, de enkelvoudige myograaf; de myograaf met luchttransport. Myografie gegrond op het registreeren van de zwelling der spieren, aangewend op den mensch. — De pneumograaf, registreertoestel der ademhalingsbewegingen. — Het registreeren van bewegingen die voorkomen bij plaatsverandering; werking der ledematen; reactiebeweging aan het lichaam medegedeeld.

*B. Het registreeren van samengestelde bewegingen, welke plaats hebben in een zelfde vlak.*

Het registreeren van geluidstrillingen; tracés van KOENIG. — Het bepalen van de vleugelbewegingen van een insect. — De vleugelbeweging van een vogel. — Tracés van de vertikale vleugelbewegingen. — Verschillende toepassingen.

De bewegingen, waarvan wij de wijze van registratie tot hiertoe hebben nagegaan, zijn zeer eenvoudig: niet alleen zijn zij rechtlijnig, dat wil zeggen dat de traceerstift zich alleen volgens een rechte lijn verplaatst, maar zij hebben ook slechts in één richting plaats; de schrijfstift gaat alleen vooruit en bijgevolg stijgt de getraceerde lijn met meerdere of mindere snelheid; de stift houdt nu en dan stil om een horizontaal lijntje te traceeren, maar daalt nimmer.

De hierboven beschreven methode zou dus ongeschikt zijn om de meeste bewegingen voor te stellen die zich bij levende wezens voordoen. Want al geschiedt ook de verplaatsing van het levend individu soms in een enkele richting, dan vertoonen toch de bewegingen, die deze verplaatsing doen ontstaan, op zich zelf beschouwd, een zeer afwisselend karakter.



De voet van het dier gaat met betrekking tot het lichaam beurtelings voor- en achteruit, terwijl hij op den grond steeds vooruit gaat. Deze afwisselende beweging is eigen aan alle levende organen en is een gevolg van den aard van het spierweefsel, dat haar doet ontstaan.

### Het registreeren van spierbewegingen.

De spierbewegingen bestaan uit samentrekkingen of verkortingen die gevolgd worden door een meer of minder snellen terugkeer der spier tot haar aanvankelijke lengte.

Het doel van de spierbeschrijving of *myografie* is nu deze beweging aan te wenden om daardoor een heen- en weergaande beweging aan een schrijfstift meê te deelen. Door verschillende inrichtingen kan men de stift volgens een rechte lijn doen bewegen. Daar de myografie voornamelijk op kleine dieren wordt aangewend, moet men deze bewegingen vergrooten, alvorens ze te registreeren.

Men laat te dien einde de opgevangen beweging op een hefboom werken, waardoor zij, naar gelang van de lengte van de beide armen, naar willekeur kan worden vergroot.

### De enkelvoudige myograaf.

Bij kleine dieren wordt de spierbeweging geregistreerd door middel van een toestel met hefboom; men noemt dezen toestel *myograaf*. De eerste toestel van deze soort werd door HELMHOLTZ samengesteld; maar door dit werktuig werden de spierbewegingen aanvankelijk niet getrouw genoeg geregistreerd.

Voor 't overige bezaten alle registreertoestellen, die vroeger in de physiologie werden gebruikt, een algemeen gebrek: de traceerstift was namelijk verbonden met vrij zware bewegstukken, die eigen schommelingen maakten, waardoor de lijn niet nauwkeurig de bewegingen teruggaf, die geregistreerd moesten worden.

In fig. 107 is de inrichting van den myograaf voorgesteld, terwijl in fig. 108 een voorbeeld is gegeven van de tracés die een kikkvorschspier geeft, welke aan opvolgende prikkelingen is blootgesteld. De eerste schokken worden door de onderste lijnen aan-

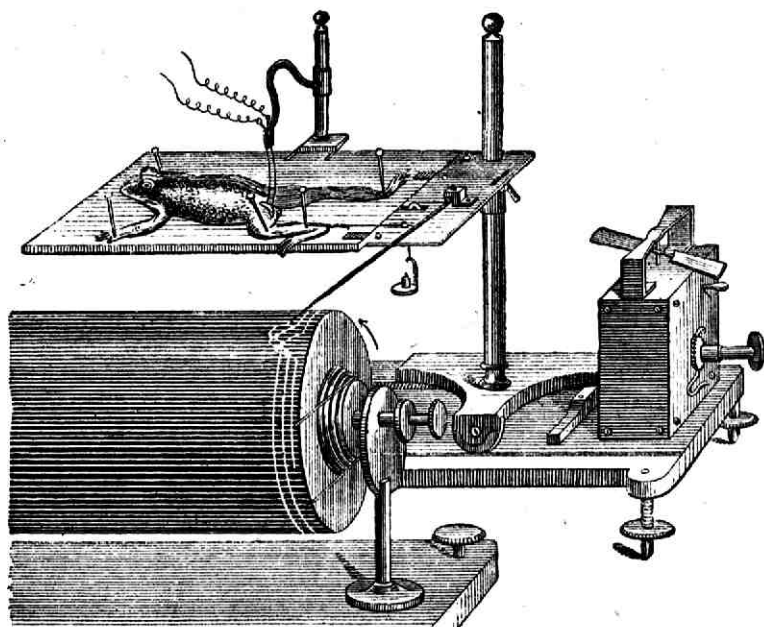


Fig. 107. Enkelvoudige myograaf.

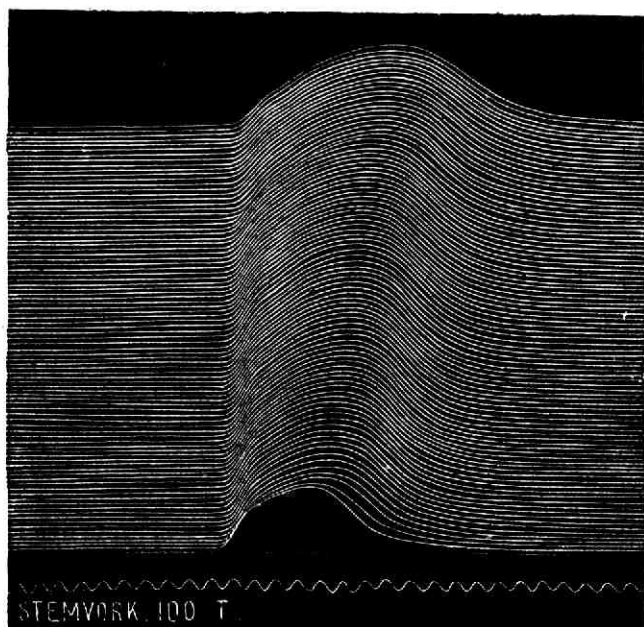


Fig. 108. Spierbewegingen geregistreerd met behulp van den enkelvoudigen myograaf. Van beneden naar boven worden de schokken gewijzigd door vermoeidheid.

geduid; langzamerhand wordt ten gevolge van vermoeidheid de duur van deze bewegingen verlengd, terwijl de amplitude afneemt.

### De myograaf met luchttransport.

In fig. 109 is deze toestel, van boven gezien, voorgesteld. De

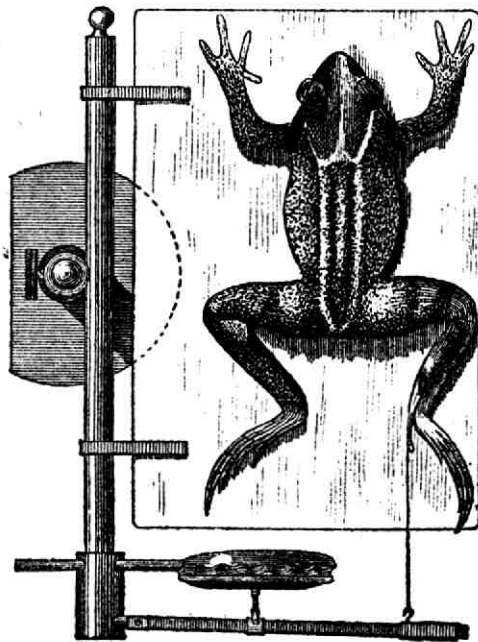


Fig. 109. Myograaf met luchttransport.

kikvorsch is met behulp van spelden op een kurken plankje bevestigd; de Achillespees is aan den hefboom van een trommel vastgemaakt. 1) De trommel en het plankje worden aan een zelfden staander bevestigd; de trommel is door een luchtbuis verbonden met een tweede trommel, die de spierbewegingen moet registreeren; dit overbrengen van de beweging verschilt in geen enkel punt van hetgeen vroeger daaromtrent is gezegd.

Door iedere verkorting of samentrekking van de spier wordt de

1) De hefboom van deze trommel is gewoonlijk wat grooter en zwaarder dan die van den registreertoestel; bij dezen laatste moet alles licht en gemakkelijk beweegbaar zijn.

hefboom tegen het elastische vlies van de eerste trommel gedrukt en dientengevolge een hoeveelheid lucht naar de tweede trommel overgebracht.

Op deze wijze wordt de spierbeweging dus op een afstand overgeplant en deze beweging geeft lijnen, volkomen gelijk aan die, welke met den enkelvoudigen myograaf worden verkregen. Terwijl nu de beweging geregistreerd wordt, kan het dier in alle mogelijke standen geplaatst worden; het kan van den registreertoestel meer verwijderd of dichterbij geplaatst worden, men kan het in enkele vloeistoffen of gassen dompelen. Dit nu is met den enkelvoudigen myograaf bijna niet te verwezenlijken.

Wij zullen hier niet de middelen nagaan waardoor de myograaf met luchttransport meer of minder gevoelig kan gemaakt worden, om daardoor aan de spiercurven de gewenschte afmetingen te geven; deze bijzonderheden zullen in de laatste afdeeling worden besproken (Techniek Hfst. V); ook zullen daar de middelen worden aangegeven waardoor men in een kleine ruimte een zoo groot mogelijk aantal tracés kan verkrijgen.

Het is wel onnoodig op de noodzakelijkheid te wijzen van het zooveel mogelijk volmaakt registreeren van de spierbeweging met al hare verschillende fasen. Prof. FICK heeft gemeend een nuttige vereenvoudiging in de grafische voorstelling der spierbewegingen te brengen, door het myografisch tracé terug te brengen tot vertikale lijnen, wier hoogten de amplituden der spiercontracties aangeven. Men verkrijgt dit tracé door een stilstaanden cilinder te gebruiken, die na elke spierbeweging telkens een weinig verplaatst wordt, om daardoor te beletten dat de lijnen samenvallen. In fig. 111 is een dergelijk tracé voorgesteld.

In deze laatste figuur komen de verschillen in amplitude, die de waargenomen bewegingen vertoonen, zeer goed uit; men volgt de veranderingen, die in de hoogte der maxima en der minima van de tracés plaats hebben; maar men krijgt geen denkbeeld van den tijd, die voor het samentrekken der spier of voor het terugkeeren tot haar aanvankelijke lengte is besteed; ook wanneer eenige bijzonderheid in de klimming of daling is op te merken, geeft deze figuur niets daaromtrent aan.

Door zich aldus tot het enkel registreeren van de uitgestrektheid eener beweging te beperken, berooft men zich van nuttige

aanwijzingen, zonder daarvoor iets in de plaats terug te krijgen; want uit de spierlijnen van fig. 110 laat zich de betrekking tus-

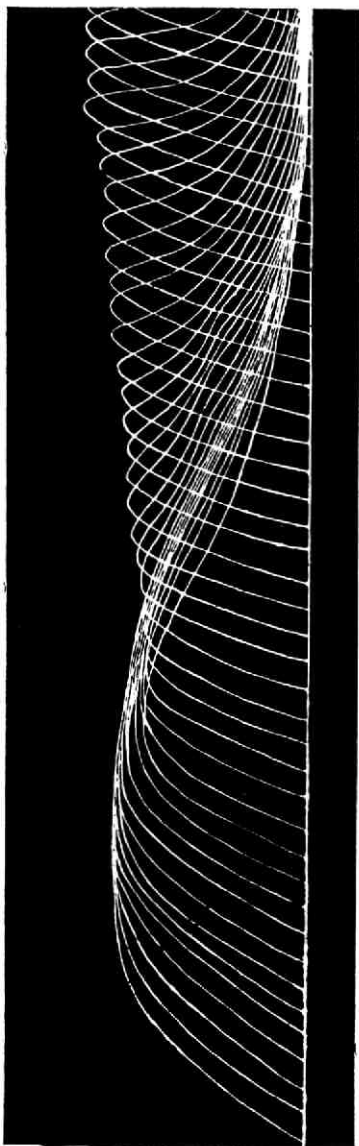


Fig. 110. Tracé van de samentrekkingen van een kikvorschspier die langzaam verward wordt. Deze figuur is met den enkelvoudigen myogramaf verkregen.

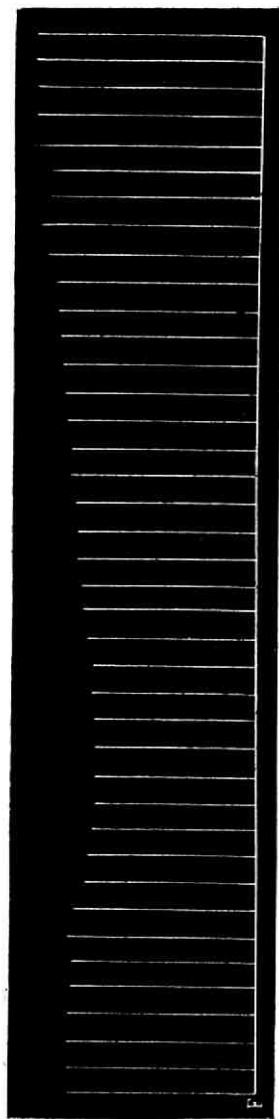


Fig. 111. Hetzelfde tracé als hierboven, verkregen volgens de methode van Fick.

schen de amplituden der opvolgende bewegingen zoer goed afleiden; deze figuur stelt de bewegingen in al hare fasen voor en toont

ons duidelijk aan hoe de contracties veranderen onder den invloed van een langzaam toenemende verwarming. 1)

**Het registreeren van de zwelling der spieren  
door den myograaf.**

Er bestaat nog een ander middel om de beweging van een spier op te vangen: men laat namelijk niet de samentrekking der spier, maar haar opzwellling als beweegkracht op den hefboom werken. Elke samentrekking der spier moet toch een opzwellling ten gevolge hebben, want de spier verandert hierbij alleen van vorm en behoudt nagenoeg dezelfde dichtheid, zoowel bij het samentrekken als bij het verlengen.

Door de zwelling der spier als beweegkracht te gebruiken worden de myografische onderzoeken onder veel gunstiger voorwaarden gedaan. Men behoeft hierbij toch de spier in het minst niet te schaden, en de uitkomsten zijn ontegenzeggelijk veel beter wanneer de spier zich nog in geheel ongeschonden toestand bevindt. Vooral is deze methode van zooveel belang omdat zij op den mensch zelf is aan te wenden en zich leent tot allerlei onderzoeken op physiologisch en klinisch gebied.

In de figuren 112 en 113 is het beginsel voorgesteld waarop de twee wijzen van myografie steunen. In de eerste figuur wordt de hefboom naar beneden getrokken door de pees van een spier, waarvan de beenachtige aanhechtingsplaats op een bepaalde wijze moet worden bevestigd.

In de tweede figuur drukt de hefboom, voorzien van een

---

1) Gedurende het registreeren van de spiercontracties van fig. 110 draaide de cilinder onafgebroken rond; de eerste curve is bij de eerste omwenteling, de tweede bij de tweede omwenteling getraceerd en zoo vervolgens. De tijd tusschen twee opeenvolgende schokken bedraagt dus juist een omwenteling van den cilinder plus een constant gedeelte hiervan. Men verkrijgt dit door middel van een ronddraaienden stroomverbreker die in de beweging van den cilinder deelt. Daartoe is op de cilinderas een getand rad aangebracht, dat in een tweede rad grijpt, 't welk één tand meer bezit dan het eerste. Dit laatste rad is voorzien van een excentriek, door middel waarvan een elektrische stroom naar den kikkorsch wordt gezonden. Dit verschil in tanden veroorzaakt bij elke omwenteling van den cilinder een constante vertraging van het rad, waardoor de stroom gesloten wordt.

metalen knop, op de spier en doet deze tegen een metalen plaat, die als steunvlak dient, aansluiten. Door de trommel in vertikale

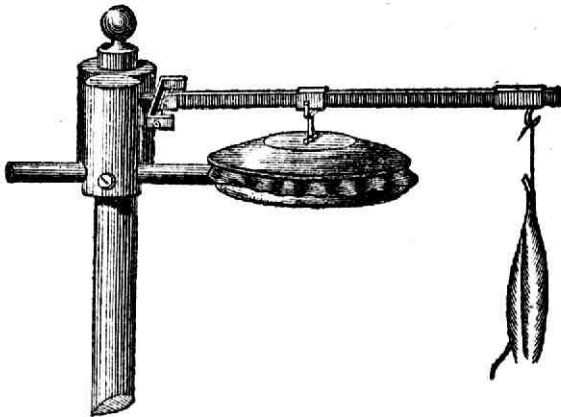


Fig. 112. Het theoretisch registreeren van de samentrekking der spieren door den myograaf.

richting langs den standaard, die haar draagt, te verschuiven kan men een meer of minder sterken druk op de spier uitoefenen, hetgeen vaak zeer nuttig is om de gevoeligheid van het werktuig zoo groot mogelijk te maken. Verder worden elektrische stroom-

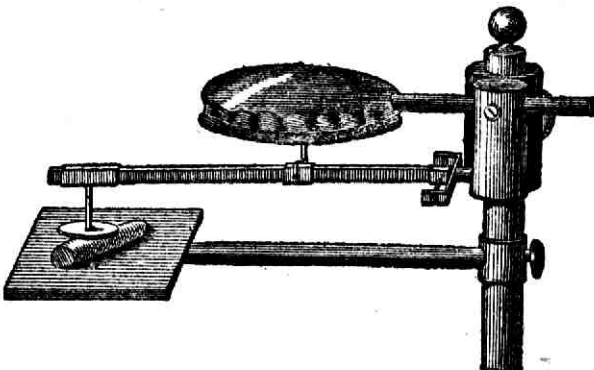


Fig. 113. Het theoretisch registreeren van de opzwellung der spieren door den myograaf.

verbrekers, behoorlijk van elkaar geïsoleerd, in verbinding gesteld met de metaaloppervlakten waartusschen de spier is gevat, en zoo stelt men dit orgaan aan direkte prikkelingen bloot, die door

den stroom eener batterij of door een inductietoestel of de ontla-  
dingen van een condensator worden opgewekt.

Deze inrichting heeft eenige overeenkomst met die, welke be-  
kend is onder den naam van de *myografische tang*; 1) zij is echter  
veel eenvoudiger en vereischt geen enkele bijzondere constructie. 2)

Plaast men verscheidene myografische tangen op den weg van  
een spierbundel, dan kan men met behulp daarvan het voorbij-  
gaan der *golf* en haar voortplantingssnelheid bepalen; maar de  
ontvangtoestel, in fig. 113 voorgesteld, kan met vrucht voor het-  
zelfde doel worden aangewend.

De proeven, die betrekking hebben op de spiergolf, zullen in  
de vierde afdeeling van dit werk worden vermeld; zij vinden  
hare plaats bij die onderzoekingen, waarbij een gelijktijdige regis-  
tratie van verschillende verschijnselen plaats heeft.

Kortom, alle myografische proefnemingen, die men op dieren kan  
doen, vereischen geen andere toestellen dan de hier genoemde;  
daardoor is de methode van onderzoek zeer vereenvoudigd. Voor  
de myografie op den mensch is wel is waar een ontvangtoestel  
noodig, die van den hier beschrevenen een weinig verschilt, maar  
die toch wellicht nog eenvoudiger is. Wij zullen de inrichting  
daarvan even nagaan.

Voor de uitkomsten, waartoe de myografie geleid heeft, zie  
men Techniek, Hoofdstuk V.

### **Myografie op den mensch.**

Om de zwelling der spier waar te nemen, doet men het best  
met een bekleedsel te gebruiken, gelijk aan dat van een trommel  
met hefboom; aan den binnenkant wordt een spiraalveer aange-  
bracht, die het vlies een weinig naar buiten doet uitspringen.  
Hierop wordt een metalen knop geplaatst die, met een geleid-

1) Zie *Du mouvement dans les fonctions de la vie* van MAREY, p. 260.

2) Men zij indachtig dat bij de ontvangtoestellen niet alleen de veerkracht van de  
vliezen der trommels zich tegen de door de spier uitgeoefende kracht heeft te verzetten.  
Binnen in deze trommels wordt een spiraalveer geplaatst, die het vlies teruggedrijft en  
evenzeer zich tegen de beweging verzet, wier phasen worden geregistreerd. Deze tegen-  
werkende veer vervult dezelfde rol als de uitwendige veer, in den toestel van fig. 68  
aangebracht.



draad verbonden, kan dienen voor het geval dat de spier geprikkeld moet worden.

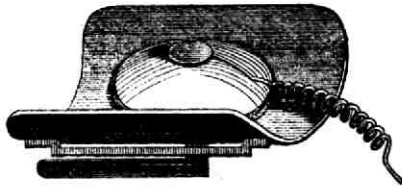


Fig. 114. Myografische onderzoekingen op den mensch; waarneming van de zwelling der spieren.

Het bekleedsel wordt met zijn elastische oppervlakte geplaatst op de spier, wier beweging men wil onderzoeken, en stevig en onbewegelijk op de spier vastgebonden; een caoutchoucuis verbindt dezen ontvanger met de registreertrommel. Op deze wijze worden de eigenaardigheden der willekeurige spierbewegingen bij het loopen of bij de verschillende bewegingen van armen of beenen waargenomen. Door middel van dezen toestel heeft men in de geneeskunde aangetoond, dat de trillingen en krampachtige samentrekkingen van spieren nu en dan in een bepaalden rhythmus plaats hebben.

Behalve de willekeurige spierbewegingen kan men ook bij den

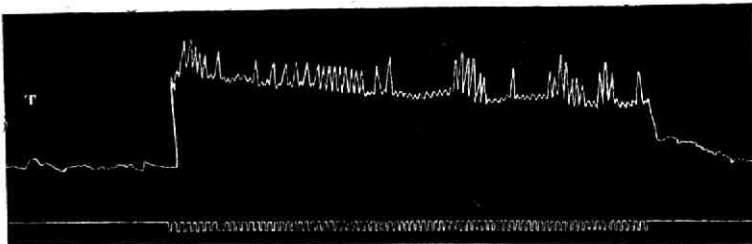


Fig 115. Myografisch tracé genomen op den mensch: elektrische tetanus in verband met de trekkingen van een zieke, die lijdende is aan toenemende spier-atrophie.

mensch de bewegingen registreeren, die door elektriciteit worden opgewekt alsmede de wijzigingen die deze bewegingen ondergaan in den wakenden of slapenden toestand, bij enkele ziekten of onder de werking van bepaalde geneesmiddelen.

Bij het onderzoeken van de spierzwellingen verkrijgt men een

curve, die zoo getrouw de beweging teruggeeft, dat het tracé door een horizontale lijn het bestaan van elk beletsel voor de spierverkorting aanduidt. Men heeft bewezen dat de fasen van een beweging, die veroorzaakt wordt door een spierwerking, volkomen identisch zijn met die, welke de curve van de spierzwellling aangeeft. Deze identiteit is zoo volkomen dat men dezelfde lijnen krijgt, onverschillig of men bij een vliegende vogel de fasen registreert van zwelling en van verdunning der borstspieren, of wel de fasen van daling en opheffing van den vleugel, die door deze spieren in beweging wordt gebracht.

#### Het registreeren der ademhalingsbewegingen.

Het registreeren van een verandering in volume wordt met vrucht aangewend bij de studie der ademhaling. Door het beurtelings uitzetten en samentrekken der borstkas te registreeren, verkrijgt men de meest belangrijke aanwijzingen betreffende de ademhalingswerking.

De zeer eenvoudige toestel, die hiervoor wordt gebruikt, heet *pneumograaf*; deze is in fig. 116 voorgesteld. Men ziet hier een

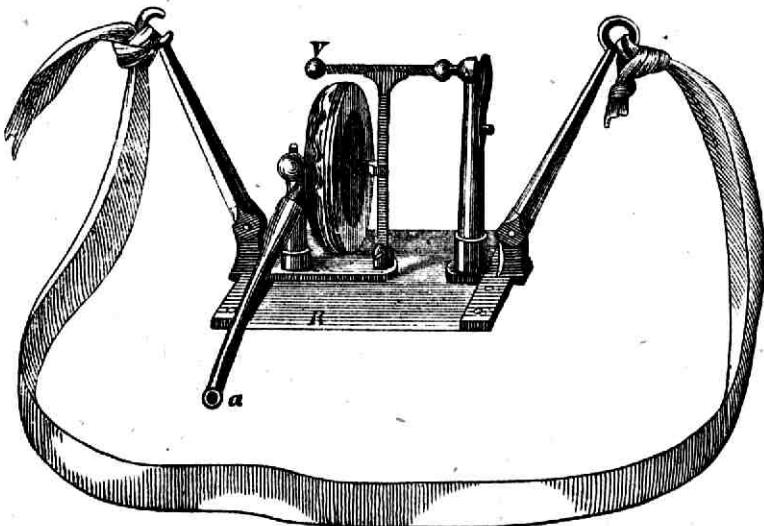


Fig. 116. Pneumograaf bestemd voor het registreeren van de ademhalingsbewegingen bij den mensch.

onrekbaren band, die om de borst wordt toegebonden en wiens

uiteinden stevig bevestigd zijn aan twee naar buiten uitwijkende armen.

Op het oogenblik dat de borstkas zich uitzet, zal de spanning van den band de twee armen van den toestel nog meer doen uitwijken ten gevolge van de buiging van een daartusschen geplaatste veerende stalen plaat R. Dit uitwijken der beide armen deelt zich mede aan het elastische vlies van een trommel, die door een luchtbuis in verbinding staat met een registreertrommel. Wanneer de thorax zich uitzet, dan daalt de getraceerde curve; trekt de thorax zich samen, dan stijgt zij daarentegen.

Deze wijze van registratie der ademhalingsbewegingen is een der meest doelmatige; de beteekenis der curven is hierbij het gemakkelijkst te onthouden. Wanneer men een tracé van de ademhalingsbewegingen beschouwt, dan denkt men natuurlijk aan de meer of minder sterke drukking, die de lucht in de long ondervindt; deze drukking nu vermeerdert met de expiratie (uitademing) en vermindert gedurende de inspiratie (inademing), dus verandert in denzelfden zin als de curve, door den pneumograaf opgeleverd.

Wij zullen hier niet in bijzonderheden treden betreffende de verschillende typen die bij de ademhalingsbewegingen voorkomen. Figuur 117 toont ons, behalve de curven van de normale ademhaling, de veranderingen die zich voordoen wanneer een beletsel aan den doortocht van de lucht wordt gesteld; zij wijst ons aan dat de wijze van ademhaling verschilt naar gelang het beletsel gesteld is aan de inademing, aan de uitademing, of aan beide ademhalingsbewegingen tegelijk.

In deze figuur stelt de getrokken lijn A den normalen vorm van de ademhaling voor. Wordt de doortocht van de lucht bemoeielijkt, zoowel bij het in- als bij het uitademen, zooals bijv. plaats heeft, wanneer de luchtpijp wordt samengedrukt, dan worden de ademhalingsbewegingen langzamer, maar krijgen een grootere amplitude O (gestippelde lijn).

Wanneer het beletsel slechts bij de beweging in één richting werkt, zooals men kan verkrijgen, wanneer men door een buis ademt, die voorzien is van een klep welke haar niet volkomen sluit, dan bespeurt men een verlenging van de ademhalingsperiode zoolang de lucht in haar doorgang belemmerd wordt. Is de klep

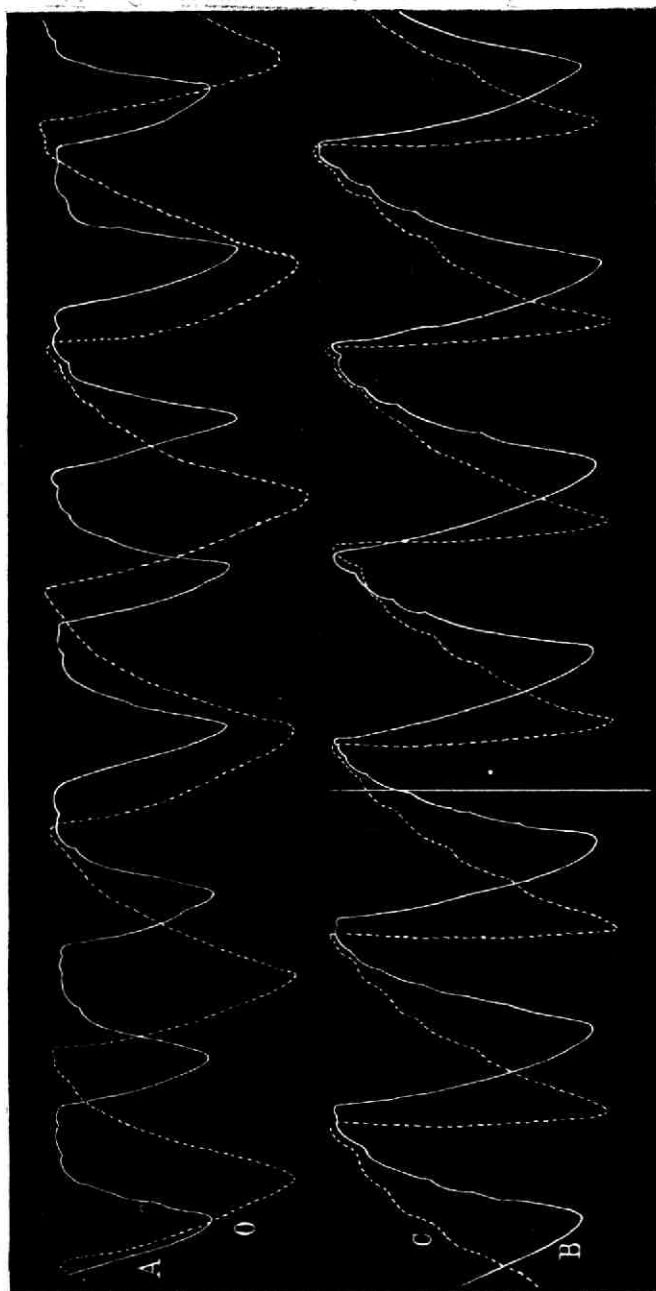


Fig. 117. Tracés van de ademhalingsbewegingen bij den mensch.

dus zoodanig aangebracht dat de inademing vrij geschieden kan, terwijl de uitademing wordt belemmerd, dan ziet men de periode grooter worden van de lijn die overeenkomt met de uitademingsphase: C (gestippelde lijn).

Opent de klep zich in tegengestelde richting, dan wordt de inademingsperiode verlengd: B (getrokken lijn). (Voor verdere bijzonderheden zie men *Techniek*, Hfst. VI).

#### **Het registreeren van bewegingen die voorkomen bij plaatsverandering.**

De bewegingen, wier wijze van registratie wij tot hiertoe beschouwden, waren vrij gemakkelijk door een toestel op te vangen, namelijk in dezen zin, dat de naastbijliggende deelen van het lichaam een gemakkelijk steunpunt aanboden, waardoor men in staat was de verplaatsing van het door den toestel te onderzoeken deel te leeren kennen.

Ook was het niet noodig deze bewegingen op groote afstanden over te brengen, daar het te onderzoeken orgaan altijd dicht bij de schrijfstift kan geplaatst worden. De voorwaarden zijn echter niet altijd zoo gunstig; zoo was het onder anderen noodig bij het bestudeeren van de vleugelbewegingen van den vogel in zijn vlucht, op het lichaam van het dier een steunpunt te vinden voor de trommel met hefboom, terwijl men, om den vogel in de gelegenheid te stellen een zekeren afstand af te leggen, de spier- of vleugelbewegingen door middel van zeer lange buizen moest overbrengen; deze bezwaren hebben echter den goeden uitslag dezer proefnemingen niet geschaad. 1)

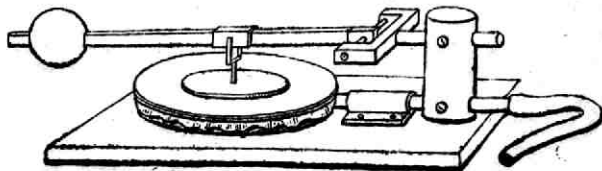


Fig. 118. Toestel geschikt om de reactiebewegingen bij het loopen en draven over te nemen.

Wil men de vertikale schommelingen registreeren van een

1) Zie *La Machine animale*, pag. 286.

lichaam, dat met geen steunpunt kan worden verbonden, dan kan men in enkele gevallen zijn toevlucht nemen tot den volgende toestel, die in figuur 118 is voorgesteld.

De hefboom van een trommel, die de beweging moet ontvangen, wordt belast met een gewicht; deze hefboom wordt horizontaal opgesteld op een plank, waaraan vertikale schommelingen worden meegedeeld. Aan de voortdurend veranderlijke bewegingen, die nu aan den toestel worden meegedeeld, biedt de belasting van den hefboom voortdurend weerstand; stijgt de trommel, dan doet het gewicht het vlies dalen, terwijl dit zal stijgen als de trommel naar beneden gaat. Uit deze afwisselende bewegingen, die door de lucht naar een registreerenden hefboom worden overgebracht, ontstaan curven, waarvan fig. 119 een voorbeeld geeft.



Fig. 119. Vertikale reactiebewegingen bij het loopen.

Men begrijpt dat dergelijke uitwerkingen alleen worden verkregen onder voorwaarde dat de schommelingen, aan den toestel meegedeeld, elkaar snel opvolgen, zooals die van het lichaam van den vogel gedurende het vliegen, 1) of zooals de reactiebewegingen van een paard, dat in draf of in galop is.

#### Het registreeren van geluidstrillingen.

Tot de afwisselende rechtlijnige bewegingen behooren ook de trillingen van snaren, van stemvorken, van veerkrachtige staven en vliezen. Deze bewegingen zijn op grafische wijze bestudeerd door een groot aantal natuurkundigen, waaronder HELMHOLTZ, KOENIG, LISSAJOUS, DESAINS en anderen, die op dit gebied merkwaardige ontdekkingen hebben gedaan. Aan DESAINS en LISSAJOUS komt de eer toe de registreermethode bij het onder-

1) Zie *La Machine animale*, pag. 277.

zoek van de geluidsverschijnselen te hebben ingevoerd; zij registreerden het eerst de trillingen van een stemvork op een plaat, die zich in een richting, loodrecht op die der trillingsbeweging, voortbewoog. Door het toekennen van een draaiende beweging aan de stemvork, werd aan het tracé dien gebogen vorm gegeven, waaruit de combinaties der twee bewegingen duidelijk zijn op te maken. Voorzeker heeft men 't in de eerste plaats aan de aanwending der grafische methode te danken, dat de geluidsleer op 't oogenblik een der meest ver gevorderde wetenschappen is. Wij zullen hier niet in bijzonderheden de verschillende figuren nagaan, waartoe trillingen van staven of stemvorken kunnen aanleiding geven; daarvoor vervoegde men zich tot de bijzondere werken over de natuurkunde en de geluidsleer, zooals die van JAMIN, HELMHOLTZ, enz. Wij bevestigen hier in 't kort alleen dat elke rechtlijnige beweging op een vrij gemakkelijke manier kan geregistreerd

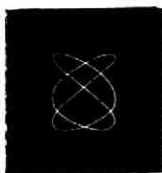


Fig. 120. Baan van een trillende staaf van WHEATSTONE; de verhouding der trillingen in loodrechte vlakken is 2 : 3. Het tracé is op een onbewegelijk papier opgeschreven.

worden, hetzij dat zij in een enkele richting of bij afwisseling in twee richtingen plaats hebbe.

Wij hebben reeds vroeger gezien hoe de baan, beschreven door een staaf van WHEATSTONE, die hare trillingen in twee vlakken, loodrecht op elkaar, volbrengt, getraceerd wordt. Figuur 120 toont ons een van deze banen; zij wijst alleen den weg aan, dien de schrijfstift doorloopt, zonder dat daarbij iets van den tijd, dien de stift noodig heeft om een bepaald gedeelte harer

baan te doorloopen, wordt aangegeven.

Men kan echter, in plaats van op een onbewegelijk papier te registreeren, dit tracé van dezelfde trillingsbeweging ook op een blad papier verkrijgen dat met een bekende snelheid wordt voortbewogen; men verkrijgt alsdan een nieuwe figuur, die in vergelijking met de eerste ons in staat stelt de fasen van de trillingsbeweging te bepalen.

Zoo stelt fig. 121 dezelfde trillingsbeweging voor als fig. 120, maar met dit verschil, dat in het laatste geval het papier, dat het tracé ontvangt, met een snelheid van 30 centimeter in de sekonde is voortbewogen.

Volgens dezelfde methode kan men de vleugeltrillingen van

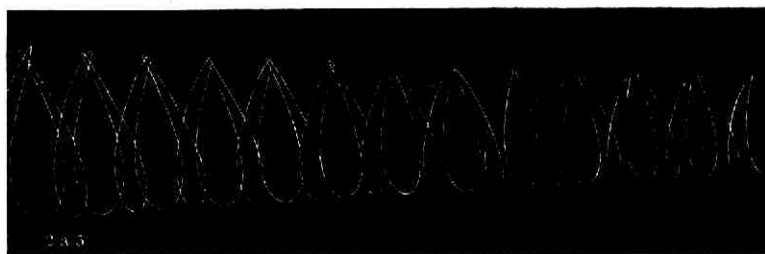


Fig. 121. Tracé van een trillende staaf van WHEATSTONE op een bewegelijk papier.

verschillende insecten traceeren in figuur 122 is een dergelijk tracé voorgesteld.

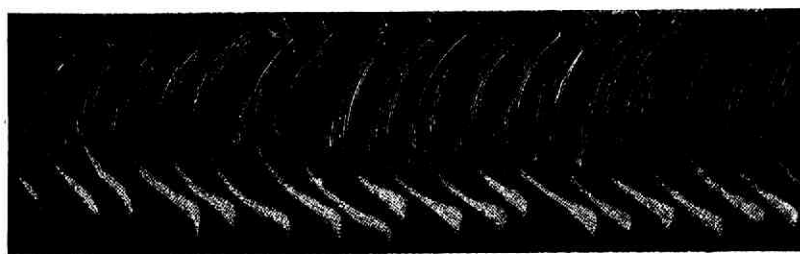


Fig. 122. Gedeeltelijke tracé's van de vleugelbeweging van een vliegend insect.

De oorzaak dat men hier nooit den volmaakten vorm van deze beweging kan krijgen is, dat de vleugel van een insect om zijn aanhechtingspunt draait en daardoor met zijn uiteinde een bolvormige figuur beschrijft, die de oppervlakte van het papier of van den cilinder, waarop geregistreerd wordt, slechts in een enkel punt kan raken. Door de punt van den vleugel iets sterker tegen den cilinder aan te drukken krijgt men wel minder onvolledige figuren, maar dan heeft men weer het nadeel dat de tracés door de buiging van den vleugel eenigszins misvormd worden.

#### **De vleugelbeweging van een vogel.**

Door middel van de toestellen, die dienen om een beweging op een afstand over te brengen, is het mogelijk de vleugelbe-



wegingen van vogels met veel meer nauwkeurigheid te registreeren dan die van insecten.

Wij hebben vroeger de werking nagegaan van den pantograaf met luchttransport (zie fig. 74); denken wij ons een van deze toestellen op een tafel geplaatst tegenover een glazen plaat, met roetzwart bedekt, waarop de stift het tracé kan beschrijven, terwijl de andere, op den rug van een vrij sterken vogel geplaatst, zoowel door de op- en nederwaartsche als door de voor- en achteruitgaande beweging van den vleugel in werking wordt gebracht; de bewegingen van den eersten toestel, overgebracht naar den tweeden door middel van buizen van een genoegsame lengte, zullen nu voor de oogen van den waarnemer worden geregistreerd. 1)

De inrichting van den ontvangtoestel kan hier naar omstandigheden meer of minder gewijzigd worden, maar dient toch steeds bij alle onderzoekingen van dezen aard uit twee trommels te bestaan, die loodrecht op elkaár geplaatst zijn en waarvan de eene de vertikale, de andere de voor- en achteruitgaande bewegingen overneemt.

In sommige gevallen is het gemakkelijker de twee bewegingen afzonderlijk op te vangen; heeft men dan van eik der bewegingen een tracé verkregen, dan kan men daaruit meetkundig de gesloten kromme lijn construeeren, die den weg, dien de vleugel beschrijft, voorstelt.

In figuur 123 stelt de getrokken lijn AP de voor- en achteruitgaande bewegingen van den vleugel van een duif voor, terwijl de gestippelde lijn HB de vertikale beweging aanduidt.

Uit de verbinding van deze twee lijnen ontstaat voor elke omdraaiing van den vleugel een gesloten kromme lijn, zooals fig. 124 ons toont.

De vleugel beschrijft altijd een soort van ellips, wier assen zeer ongelijk zijn. De groote as helt naar beneden in den zin, waarin de beweging van het vliegen plaats heeft. De pijl, die bij de kromme lijn geplaatst is, wijst de richting aan, waarin de draaiende beweging geschiedt.

Men kan ook nog een andere samengestelde lijn construeeren, die de twee wijzen van schommelingen uitdrukt, die een vogel

1) Zie *La Machine animale*, p 244

gedurende zijn vlucht in het vertikale vlak maakt. Wordt namelijk de toestel, in fig. 118 voorgesteld, op den rug van een vogel

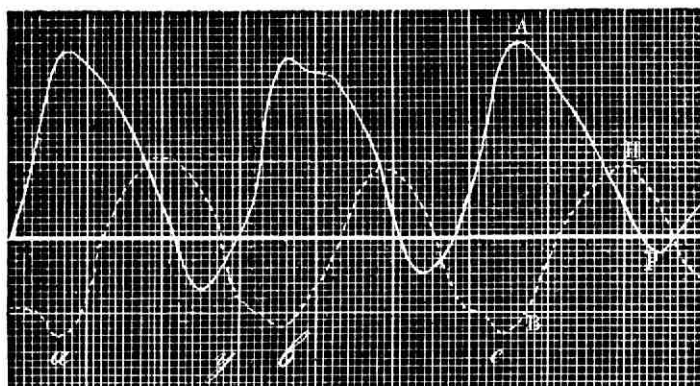


Fig. 123 Tracé van de beide bewegingen van den vleugel van een duif. De getrokken lijn AP wijst de voor- en achteruitgaande bewegingen, de gestippelde lijn HB de vertikale bewegingen aan

op het kruis of op de schoft van een paard, of op het hoofd van

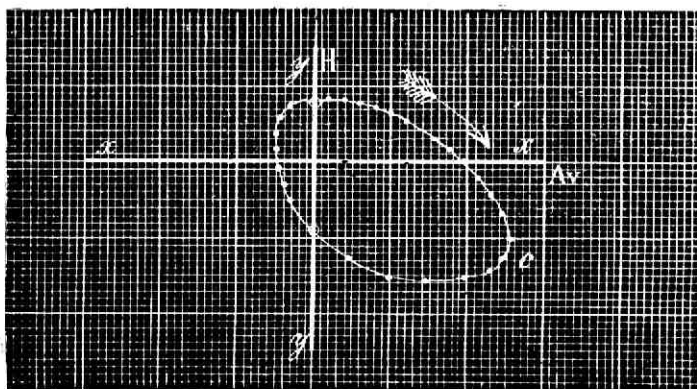


Fig. 124. Lijn afgeleid uit de tracés van fig. 123; zij stelt den weg voor, dien de vleugel bij elke omdraaiing doorloopt.

een persoon geplaatst die voortloopt, dan zal deze toestel aan den registreerenden hefboom zoogenaamde vertikale reactiebewegingen meedeelen. Werd het vlies van de ontvangende trommel in plaats van horizontaal, vertikaal geplaatst, met zijn voorvlak

in de richting van de vlucht, dan zou de toestel een ontvanger voor de horizontale reactiebewegingen worden, d. w. z. voor de versnellingen en vertragingen die in de verschillende oogenblikken van de vlucht plaats hebben. Door twee ontvangtoestellen in verband met elkaar aan te wenden, zoodat tegelijkertijd de vertikale en de horizontale schommelingen worden geregistreerd, krijgt men een tracé, waarin al de reacties van de vlucht zijn uitgedrukt. Wij zullen hier niet in verdere beschouwingen over deze lijn treden 1), maar wenschen er slechts op te wijzen, dat zij een der meest merkwaardige en leerzaamste curven is, die men bij het grafisch onderzoek van de vogelvlucht kan verkrijgen.

Eindelijk kan men ook de baan traceeren, die door een in de lucht zwevende vogel of door een luchtballon, die door den wind wordt meegevoerd, in de ruimte wordt afgelegd. 2)

De grafische methode wordt voor het bepalen van samengestelde bewegingen in de physiologie nog zeldzaam aangewend, maar in de natuurkunde is zij voor den onderzoeker een machtig hulpmiddel.

Sedert de merkwaardige proeven van KOENIG, die de samengestelde trillingen van een staaf van WHEATSTONE op een draaienden cilinder registreerde, heeft zich een nieuw veld voor de natuurkundigen geopend, dat niet lang onbearbeid zal blijven. Wat de physiologie betreft, deze moet eerst nog, alvorens meer samengestelde verschijnselen in haar gebied op te nemen, de verschillende manieren van registratie op meer eenvoudige verschijnselen toepassen, die tot hiertoe aan de verschillende middelen van waarneming zijn ontsnapt.

1) Voor verdere bijzonderheden hieromtrent zie men *La Machine animale*, pag. 280 en *Techniek*, Hfst. III.

2) Men kan daartoe twee donkere kamers (camera obscura) gebruiken, die in eenzelfde horizontale vlak onder een rechten hoek op een bekenden afstand van elkaar zijn geplaatst. Twee waarnemers volgen den weg, dien de vogel aflegt, met behulp van een stift die met gelijke tusschenpoozen zich beweegt. De twee stiften moeten op elektrische wijze verbonden zijn en de tijden juist op hetzelfde oogenblik aangeven door het sluiten van een zelfden elektrischen stroom.

Uit deze twee beelden, waarvan elk overeenkomt met de projectie van de baan van den vogel op een vertikaal vlak en die opgevangen zijn op twee loodrecht op elkaar staande vlakken, zou dan de baan van den vogel meetkundig kunnen geconstrueerd worden.

Wij besluiten hiermede de verschillende registratiemethoden voor bewegingen van vaste lichamen. Groote moeielijkheden hebben zich bij de vermelde toepassingen der grafische methode tot nog toe niet voorgedaan, want de bewegingen der beschouwde lichamen konden vrij gemakkelijk door de toestellen worden overgenomen. In de volgende hoofdstukken zullen wij de beweging nagaan van lichamen die aan de toestellen geen enkel steunpunt aanbieden: wij bedoelen de vloeistoffen en gassen, wier zoo veranderlijke bewegingen door physiologen en natuurkundigen voortdurend worden bestudeerd. Wij zullen bij deze soort van onderzoekingen weer met het eenvoudigste geval beginnen, namelijk met de vrije uitstroaming van vloeistoffen.

---

## VIJFDE HOOFDSTUK.

### BEWEGING VAN VLOEISTOFFEN.

Voorheen gebruikelijke metingen; verdeelde proefbuisjes. — Het registreren van de veranderingen die een vloeistofspiegel ondergaat in het glas waarin de vloeistof stroomt. — Drijvend proefbuisje aangewend als een registreerende areometer. — Rheograaf. — Lijnen die de verschillende hoeveelheden bloed aangeven, welke door het hart worden voortgestuwd. — Het registreren van zeer zwakke en langsame uitstroamingen. — Lijnen der volumina en lijnen der snelheden; constructie en voordeelen van elk dezer lijnen.

#### **Het meten van de vrije uitstroaming.**

Om de hoeveelheid vloeistof te meten die in een zekeren tijd is uitgestroomd, maakt men in 't algemeen gebruik van verdeelde bekerglazen of proefbuisjes, waarin het in een nauwkeurig bepaald tijdsverloop uitgestroomd vocht wordt opgevangen. Door eenige achtereenvolgende proefnemingen overtuigt men zich of de uitstroaming regelmatig heeft plaats gehad, d. w. z. of de hoeveelheden vocht, die in gelijke tijden zijn uitgestroomd, al of niet even groot zijn.

Niet alleen werkt men op deze manier zeer langzaam, maar bovendien nog vrij onnauwkeurig, aangezien het zeer moeilijk is nauwkeurig den tijd te bepalen gedurende weiken het proefbuisje

het vocht heeft opgevangen; alleen door dit tijdsverloop zeer ruim te nemen kan men er in slagen de fouten, die bij die tijdsbepalingen worden gemaakt, te verwaarloozen; in dat geval echter kan men aan hetgeen de gemeten hoeveelheden vocht met betrekking tot de regelmatigheid der uitstrooming aangeven, slechts een zeer beperkt vertrouwen schenken. Het kan toch voorkomen dat gedurende twee proefnemingen, die beiden even lang duurden, eenzelfde hoeveelheid vocht is uitgestroomd, waaruit men zou besluiten dat de uitstrooming regelmatig heeft plaats gehad, terwijl toch de uitstroomingssnelheid op de verschillende oogenblikken van de twee proefnemingen zeer verschillend kan geweest zijn.

Door de grafische methode worden deze fouten vermeden en tevens de metingen zeer vereenvoudigd. Wij zullen hier die verschillende handelwijzen nagaan.

**Het registreeren van de veranderingen van den vloeistofspiegel in het glas waarin het uitstroomend vocht wordt opgevangen.**

Om de uitstrooming van een vloeistof te registreeren kan men in het glas, waarin het vocht wordt opgevangen, een drijver plaatsen en zodoende de achtereenvolgende rijzingen van dezen drijver registreeren. Ten einde de onrustige bewegingen van den vloeistofspiegel, die een natuurlijk gevolg zijn van het instroomen van het vocht, en daarmee een tal van kronkelingen in de getraceerde lijn te ontwijken, gebruikt men dan twee met elkaar in gemeenschap staande vaten, waarvan het eerste de vloeistof opvangt, terwijl in het tweede de drijver is geplaatst. Deze inrichting is in fig. 125 voorgesteld.

Gesteld dat nu de doorsnede van elk vat, evenwijdig aan het grondvlak aangebracht, bijv. een oppervlakte van 10 vierk. cM. vertegenwoordigt, dan zal een stijging van 1 cM. van den drijver de uitstrooming van een hoeveelheid vocht aangeven ten bedrage van  $2 \times 10$  of 20 kub. cM. Met behulp van een draad wordt de beweging van den drijver overgebracht op het wagentje van den registreertoestel, dien wij reeds vroeger hebben beschreven. Is de beweging van den drijver zeer klein, zooals het geval is bij

een drijver van kleine doorsnede, dan heeft men natuurlijk een uiterst gevoelig registreerapparaat noodig.

Het gebruik van in gemeenschap staande vaten heeft ontegenzeggelijk een nadeel in het geval dat de hoeveelheid uitgestroomde vloeistof, die gemeten moet worden, bijzonder klein is. Toch is het gedeelte van de vloeistof, dat zich in het glas bevindt waarin de drijver is geplaatst, alleen in staat om het nauwkeurig registreren van de uitstrooming te verkrijgen; hoe grooter het oppervlak nu van dit glas is, des te beter zullen de bewegingen van den drijver en bijgevolg ook die van de schrijfstift tegen de verschillende weerstanden, die zij ondervonden, gevrijwaard zijn; het is dus noodig het glas met den drijver tamelijk wijd te nemen: minstens moet de middellijn 4 à 5 cM. bedragen.

Daarentegen is het aanwenden van in gemeenschap staande vaten zeer voordeelig wanneer een uitstrooming van aanmerkelijk bedrag moet bepaald worden; men heeft hierin dan een uitmuntend middel om de aanwijzingen van den registreertoestel met betrekking tot de hoeveelheid uitgestroomd vocht in een bekende verhouding te regelen.

Gesteld dat de schrijfstift een weg van 20 cM. doorloopt bij een liter uitgestroomd vocht; stelt men nu het glas met den drijver in gemeenschap met een tweede glas van volkomen gelijke afmetingen, dan zal een uitstrooming van twee liters noodig zijn om de stift denzelfden weg te doen doorloopen; door aan het tweede glas een doorsnede te geven, die 99 maal grooter is dan die van het eerste, heeft men een uitstrooming van 100 liter noodig voor een even groote beweging van de stift. Op deze wijze kan men den registreertoestel meer of minder gevoelig laten werken en zijn aanwijzingen naar een behoorlijke schaal regelen. 1)

Het is bij deze proeven vooral van belang de beweging van den drijver zoo vrij mogelijk te maken en te beletten dat deze zich aan de wanden van het glas hecht onder den invloed der

---

1) Op dit beginsel berusten de drijvers, door middel waarvan men de hoogten van rivieren en van zeespiegels registreert. De drijver van deze werktuigen wordt in een put geplaatst, die door middel van een buis met de rivier of met de zee in gemeenschap staat; op deze wijze deelt de waterspiegel in den put ook niet in de beweging der golven.

capillariteit; hierdoor zou toch een aanmerkelijke weerstand worden geboden aan het overbrengen der beweging. Om dit bezwaar

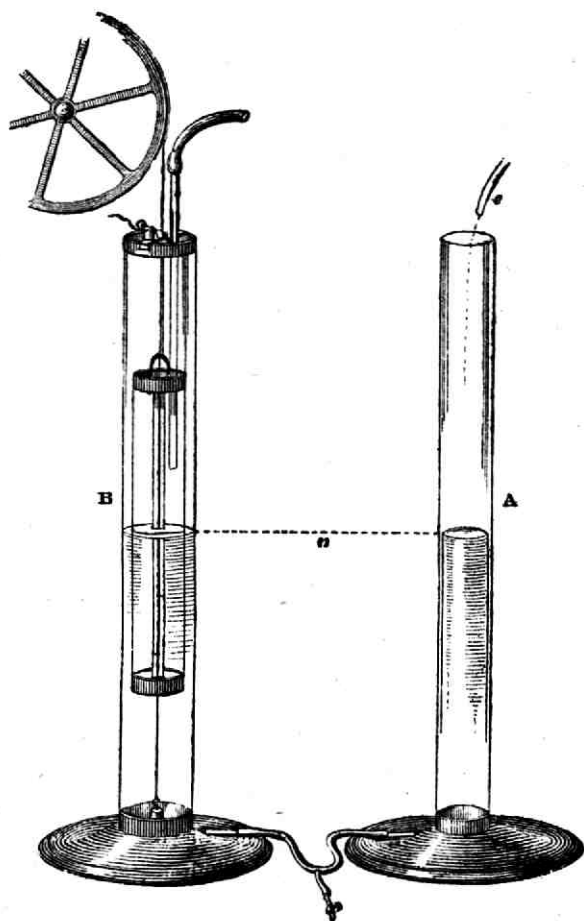


Fig. 125. Het registreeren van de uitstrooming van een vloeistof.

te ontwijken maakt men gebruik van een drijver, die in de lengte is doorboord, en nu door middel van een sterk gespannen metaal-draad, die door de opening van den drijver heenloopt, standvastig in het midden van het glas wordt gehouden.

Een andere handelwijze om de uitstrooming van een vloeistof te registreeren is die, welke door Mosso is aangewend om de uitstrooming te bepalen, welke gepaard gaat met de verandering

in volume van een lichaam, dat in een vloeistof is gedompeld. 1)

De vloeistof wordt opgevangen in een drijvend proefbuisje. Naarmate dit buisje gevuld wordt, zinkt het dieper in, evenals een areometer met veranderlijk volume; de beweging van het glaasje wordt overgebracht op een registreerapparaat, dat door de lijn der inzinking op te teekenen, bijgevolg de lijn der uitvloeiing traceert. Men kan nu deze door Mosso aangegeven handelwijze verbinden met het gebruik van het horizontale wagentje dat op den cilinder traceert; hierbij moet dan zooveel mogelijk alle wrijvingsweerstand worden verminderd, opdat de stift getrouw aan de kleine veranderingen van den vloeistofspiegel zal kunnen gehoorzamen.

De toestel, in fig. 125 afgebeeld, geeft eveneens aan hoe men het registreeren door middel van een proefbuis met veranderlijke inzinking kan bewerkstelligen. De te meten vloeistof stroomt door een afzonderlijke buis in den hollen cilindervormigen drijver, welke door een gespannen draad, die door een tweede in 't midden van den drijver aangebrachte buis loopt, in zijn beweging met de minst mogelijke wrijving wordt geleid. Om de beweging van de schrijfstift gemakkelijk te maken wordt het bekende wagentje vervangen door een bijzonder beweegbaar stuk, dat over twee smalle kanalen heenglijdt en welks beweging geleid wordt door twee draden, die over schijven loopen, welke veel overeenkomst hebben met die van het werktuig van Atwood. Figuur 126 geeft een denkbeeld van deze inrichting, die bij zeer veel proeven van verschillenden aard kan worden gebruikt, zooals wij later zullen zien.

Wij zien in deze figuur de stift, die de bewegingen van den drijver, veroorzaakt door de uitstrooming eener vloeistof, traceert. Aan de rechterzijde van de figuur bemerkt men het bovenste gedeelte van het glas B (fig. 125) waarin zich de drijver bevindt; deze is verbonden aan een draad, die over een aluminiumschijf loopt en van daar over een tweede dergelijke schijf is gelegd, waar hij een tegenwicht draagt.

---

1) Mosso, *Von einigen neuen Eigenschaften der Gefasswände. — Arbeiten aus Physiol. Lab. zu Leipzig, 1875, p. 158.*



Telken male dat de drijver iets naar de hoogte gaat, daalt het tegenwicht evenveel en de draad verplaatst zich met zijn hori-

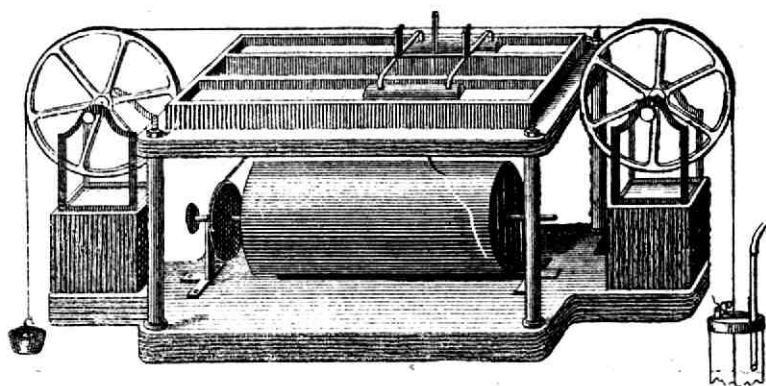


Fig. 126. Schrijfstift verbonden aan een drijver die zich in twee kanalen voortbeweegt.

zontaal gedeelte evenveel van rechts naar links, waarbij de twee schijven, die uiterst beweegbaar zijn, ronddraaien. Bij deze beweging neemt de draad de schrijfstift mede; deze maakt een deel uit van een drijver, bestaande uit twee lichte buisjes, die aan de uiteinden gesloten en door dwarsstukken verbonden zijn; deze buisjes zijn juist in het midden van twee met water gevulde kanalen geplaatst, waarin zij zich met bijzondere gemakkelijheid kunnen voortbewegen. Tusschen de twee kanalen bevindt zich een lange spleet, waardoor een aan de drijvers verbonden vertikaal staafje de schrijfstift met den cilinder in aanraking brengt.

In fig. 126 bemerkt men alleen het uiteinde der stift op het oogenblik, dat zij een lijn op den cilinder traceert. Met deze inrichting wordt de wrijving sterk verminderd, want de schijven van aluminium draaien bijzonder gemakkelijk en ook het glijden over het water ondervindt weinig tegenstand.

Men moet hierbij enkele voorzorgen nemen, ten einde de beweging der stift steeds volgens een volkomen rechte lijn te doen plaats hebben: wanneer de wanden der kanalen en die der drijvers door het water bevochtigd zijn, openbaart zich tengevolge van de capillariteit een neiging tot een zijdelingsche verplaatsing, waardoor de drijvers tegen de wanden der kanalen kunnen blijven kleven. Die neiging wordt voorkomen door de drijvers van te voren boven

een kaarsvlam te houden om ze zoodoende met roetzwart te bedekken; alsdan worden zij door het water niet bevochtigd, en aangezien daarentegen de kanaalwanden wel door het water worden natgemaakt, blijven de drijvers, tengevolge van de afstooting die uit deze capillaire werking voortvloeit, in het midden der kanalen. Met deze voorzorgsmaatregelen gehoorzaamt de stift, zonder zijdelingsche uitwijkingen, getrouw aan de veranderingen

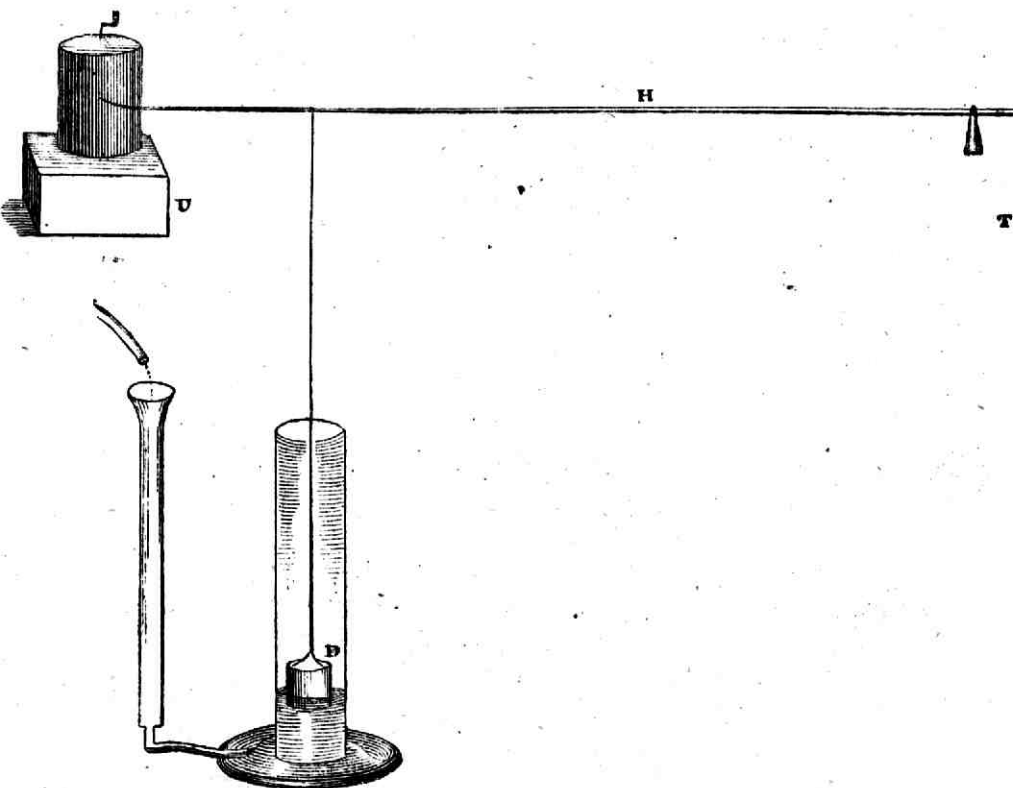


Fig. 127. Vereenvoudigde toestel voor het registreeren van de uitstrooming eener vloeistof. 1)

van den waterspiegel in het glas, waarin zich de holle drijver bevindt en geeft zeer nauwkeurige lijnen.

1) \* De figuur is ontworpen naar een beschrijving die MAREY onlangs van zijn vereenvoudigden toestel heeft gegeven. \*

\* Een andere wijze van registreeren, die vooral om haar meerdere eenvoudigheid de voorkeur boven de zoo evengenoemde verdient, is voor korten tijd door MAREY met de beste resultaten aangewend.

Zij komt in hoofdzaak op het volgende neer. In een cilinder-vormig glas is een drijver D aangebracht (fig. 127), die door middel van een draad verbonden is aan een hefboom H, die een lengte heeft van 2 meter en aan het eene uiteinde voorzien is van een tegenwicht T, terwijl aan het andere uiteinde een schrijfstift verbonden is, die in aanraking is met een vertikalen cilinder, die door een uurwerk U in beweging wordt gebracht. Door het glas met den drijver D dicht bij het middelpunt van beweging van den hefboom te schuiven, en door tegelijk het aanhechtingspunt van den draad te verplaatsen, kan men de beweging van den hefboom bij eenzelfde rijzing van den vloeistofspiegel naar willekeur wijzigen; op deze wijze regelt men de grootte der ordinaten van de lijn en bepaalt die zoodanig, dat de uitstrooming van een liter water overeenkomt met een stijging van 10 cM. van de lijn. Door de bijzonder groote lengte van den hefboom mag de cirkelboog verwaarloosd en dus gelijkgesteld worden met de rechte lijn. Deze zeer eenvoudige inrichting leidt zelfs tot meer nauwkeurige uitkomsten dan met de vroeger gebruikte toestellen zijn verkregen. \*

### **Regenmeters (Pluviometers). De rheograaf.**

Voor het meten van de verschillende fasen van een uitstrooming, 'tgeen bij een tal van proefnemingen noodig is, zijn een tal van toestellen uitgedacht. Voor het bepalen van de hoeveelheid regen die in een zeker tijdsverloop op een bepaalde plaats valt, gebruikt men registreertoestellen, die den naam van *regenmeters*, *pluviometers* of *udometers* dragen. In fig. 128 is de registreerende pluviometer van HERVÉ MANGON voorgesteld.

Het regenwater valt in den trechter T en komt vervolgens in een bak C, waarin een drijver D is geplaatst, die dus zal stijgen naar gelang de waterspiegel in den bak hooger wordt. De drijver is verbonden met een koord, dat over een rad N is geslagen en een tegenwicht draagt, dat dus met gelijke snelheid daalt als die,

waarmee de drijver rijst; aan dit tegenwicht is een schrijfstift verbonden: men ziet hoe deze op het papier een trapvormig dalende lijn traceert.

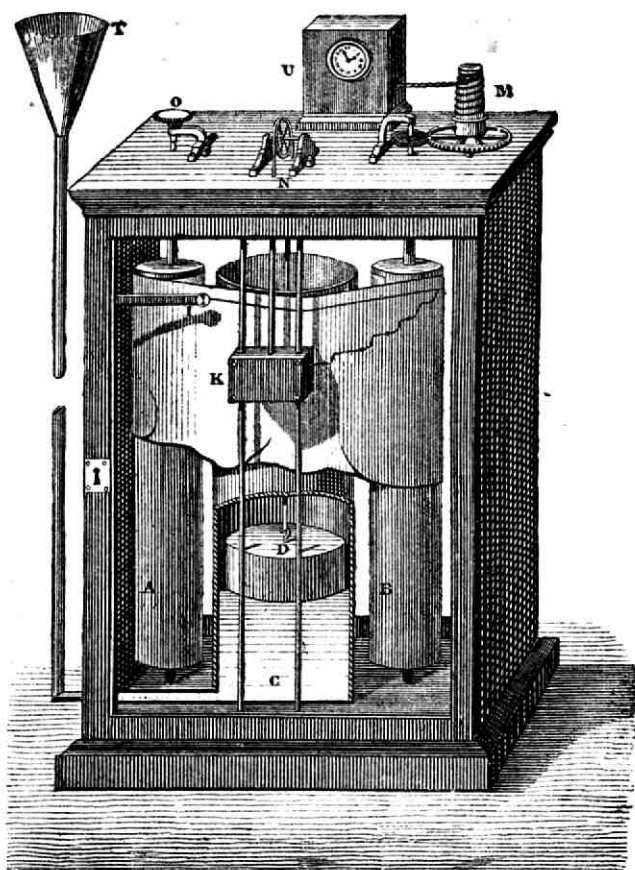


Fig. 128. Registreerende pluviometer van HERVÉ MANGON.

Door deze inrichting verkrijgt men dus een omgekeerd tracé, omdat de lijn daalt, naarmate de waterspiegel stijgt; bovendien is de oorsprong der lijn aan de rechterzijde van het papier gelegen. Door deze volkomen omkeering kan men het tracé in den gewonen stand nagaan door het blad papier eenvoudig om te keeren.

Boven aan de linkerzijde van het papier ziet men een stift I, die een horizontale lijn traceert; deze is het nulpunt van de ver-

deeling; deze lijn zal zich na omkeering van het papier onderaan bevinden. De gang van het uurwerk U wordt zoodanig geregeld dat het papier zich slechts uiterst langzaam beweegt.

Deze inrichting voldoet aan alle voorwaarden die men aan een goeden pluviometer kan stellen, maar zij kan niet aangewend worden voor het registreeren van de uitvloeijing van vochten van het organisme; want in dezen regenmeter dringt het water zelf in den toestel en licht den drijver op; wilde men nu de lijn van afvloeijing van bloed of van urine traceeren, dan zou een dergelijke toestel niet aan te wenden zijn; in dat geval toch moet de vloeistof, wier beweging men wil traceeren, afgescheiden zijn van die, welke den drijver draagt.

Om een dergelijken toestel, dien men *rheograaf* kan noemen, te verkrijgen, neemt men twee cilinders die door een buis van caoutchouc met elkaar in gemeenschap staan, en in ieder waarvan een drijver is geplaatst. De drijvers worden in hun beweging geleid zooals in fig. 125 is aangegeven, maar nu door twee draden, ten einde een draaiende beweging, die om één draad altijd kan plaats hebben, te vermijden. Vooraf worden de beide cilinders gedeeltelijk met vloeistof gevuld om de drijvers in beweging te brengen. Een der drijvers is voorzien van een plaatje, dat met een papier is bedekt waarop de lijn moet getraceerd worden. Door het stijgen van den drijver wrijft dit plaatje tegen een schrijfstift, aan welke een eenparige beweging van rechts naar links wordt meegedeeld. Zodoende wordt het tracé omgekeerd even als bij den pluviometer van MANGON. Het verschil tusschen zijn toestel en den hier beschrevenen is dus in hoofdzaak hierin gelegen, dat de stift nu een zijdelingsche beweging, het papier een vertikale beweging krijgt.

Om de uitstroomende vloeistof te scheiden van die, welke den toestel vult, vangt men de eerste op in een drijvend proefglaasje, dat in den cilinder geplaatst wordt die in gemeenschap staat met dien, waarin zich de drijver bevindt.

Men kan den gang van het raderwerk zoo regelen dat de beweging der stift zich gedraagt naar een meer of minder snelle uitstrooming.

Een ander werktuig, bekend onder den naam van *udometer* van BRÉGUET, wordt op het observatorium van Montsouris ge-

bruikt. In een cilinder P (fig. 129), die het regenwater door een onderaardsche buis ontvangt, is een drijver geplaatst die door

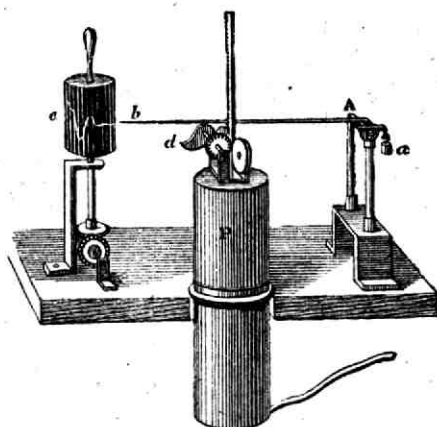


Fig. 129. Udometer van BRÉGUET.

middel van een getande staaf op een tandrad werkt, waaraan een slakvormig draaistuk *d* is verbonden. Op dit laatste rust een hefboom A, aan wiens uiteinde zich de schrijfstift bevindt; is deze in zijn hoogste punt gekomen, dan valt de hefboom terug en deze bevindt zich dan weer in den oorspronkelijken stand om een nieuwe lijn te traceeren.

Zoowel bij dezen toestel als bij de vroeger beschrevene moet aan den cilinder een meer of minder groote omwentelingssnelheid meegedeeld worden, die geheel geregeld moet worden naar den duur der proefneming. Men doet het eenvoudigst hiertoe op de as van den cilinder een riemschijf met groote middellijn te plaatsen, die door een riem zonder eind verbonden is met een bewegmaschine, waaraan men verschillende snelheden kan meedeelen. Men kan dan hierdoor de beweging van den cilinder zoodanig regelen, dat hij bijv. één omwenteling maakt in een dag, in een uur, in een minuut enz.

**Het registreeren van de hoeveelheid bloed die in een bepaalden tijd door het hart wordt voortgestuwd.**

De hierboven aangegeven wijze van registreeren vindt een tal van toepassingen in de physiologie. Zoo is zij met voordéel aan

te wenden bij het nagaan van de veranderingen in de hoeveelheid bloed, die uit het hart stroomt onder den invloed van de temperatuur der omgeving; van de drukkingen die het bloed moet overwinnen, of van de werking van bepaalde stoffen op het hart.

Het vraagstuk komt hierop neer: men heeft bewezen dat de warmte de hartbewegingen versnelt en dat de koude ze vertraagt; men kan zich van de waarheid van dit feit overtuigen, wanneer men door een geïsoleerd hart bloed laat stroomen van een verhoogde of verlaagde temperatuur. Maar door de tengevolge van de warmte versnelde systole wordt minder bloed uitgezonden dan door de systole, die door de koude is vertraagd. Wordt nu de verandering in frequentie der hartstooten met betrekking tot de geheele uitstrooming meer of minder vereffend door de verandering in volume van de bloedgolven, die het hart uitzendt? Dit laatste nu moest bepaald worden

Uit vroeger gedane proeven, waarbij de door het hart voortgestuwde hoeveelheden bloed waren gemeten, door den tijd te bepalen die noodig was om een proefbuisje van  $\frac{1}{10}$  liter inhoud te vullen, was gebleken dat de uitstrooming of liever de werking van het hart onder den invloed van een zekeren graad van verwarming toeneemt, terwijl deze tengevolge van een nog sterker verhitting weer vermindert. Door deze vrij grove wijze van meting kan echter noch het juiste oogenblik, noch den temperatuursgraad bepaald worden, waarbij de werking niet meer toeneemt en begint te verminderen. Registreert men echter met behulp van het drijvende proefbuisje, dan krijgt men een zeer nauwkeurige lijn van dit verschijnsel, welke alle gewenschte aanwijzingen geeft; men vindt dan duidelijk aangegeven dat tengevolge van de temperatuur het kloppen van het hart versnelt tot een zekere temperatuursgraad bereikt wordt, waarbij het hart, terwijl de rhythmus der beweging meer en meer versnelt, minder arbeid gaat verrichten en steeds kleinere bloedgolven in de slagaderen uitzendt. De figuren 130 en 131 geven tot deze gevolgtrekking aanleiding.

Figuur 130 is verkregen door vijf verschillende proeven, genomen met harten van schildpadden; deze harten werden onderworpen aan een kunstmatige doorstrooming van ossenbloed. De temperatuur der omgeving was ongeveer 32° Celsius. Het hart

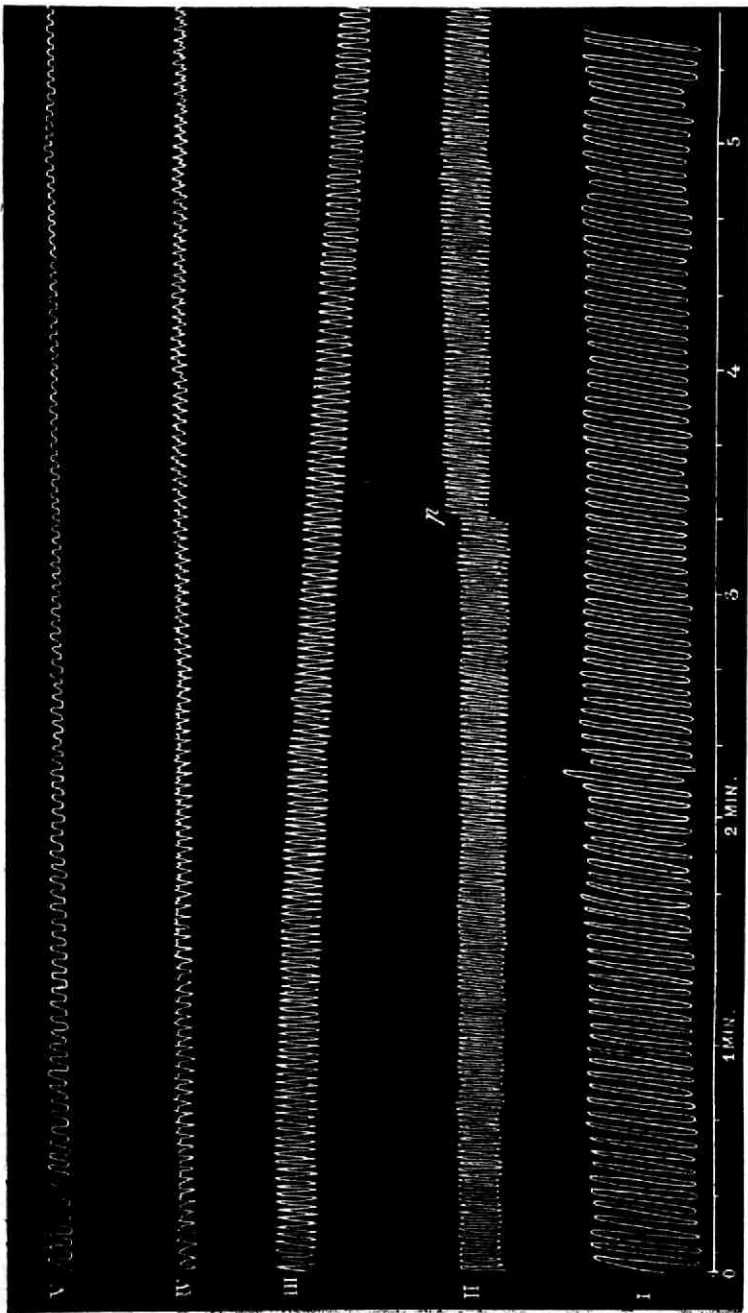


Fig. 130. Verschillende rhythm van de hartsystolen en haar amplituden bij schildklieren.



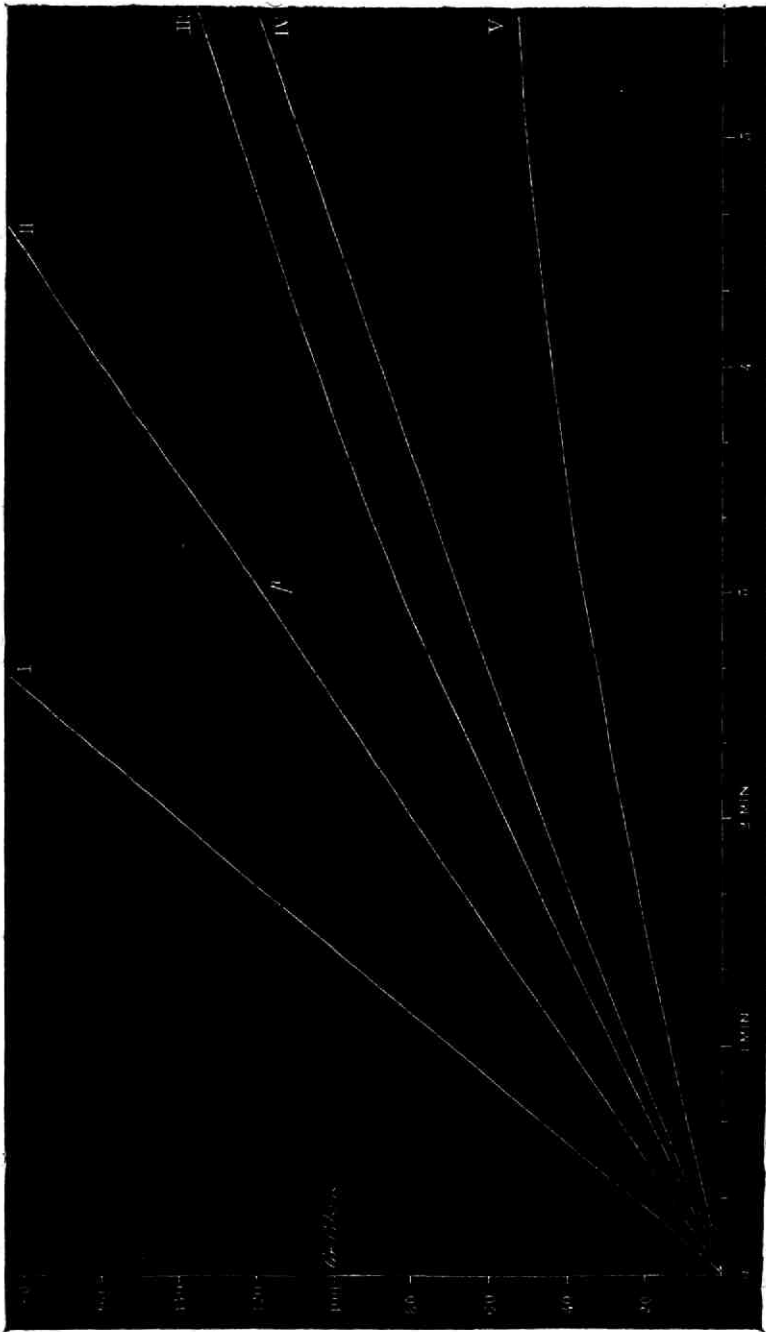


Fig. 181. Lijnen die de hoeveelheden bloed aangeven die door het hart zijn voortgestuwd bij de proeven die de tracés van fig. 180 hebben opgeleverd. (De nummers die de volgorde aangeven komen in beide figuren met elkaar overeen).

werd in een flesch geplaatst, die met lucht was gevuld, en in gemeenschap gesteld met een trommel met hefboom. Op deze wijze werden de veranderingen in volume van het hart geregistreerd 1); de amplitude kwam overeen met het volume van elke golf van de kamer. In fig. 131 zijn in dezelfde volgorde als in fig. 130 de lijnen voorgesteld die den arbeid of de hoeveelheid bloed, door het hart voortgestuwd, aangeven; elke proef duurde vijf en een halve minuut.

### **Lijnen die de urineloozing aangeven.**

In de geneeskunde kan men waarschijnlijk een zeer merkwaardige toepassing maken van het registreeren van de uitstroaming van een vloeistof; zij heeft betrekking op de diagnostiek van enkele aandoeningen der urinewegen. De onmiddellijke waarneming toont aan dat bij bepaalde gevallen van verslapping van de wanden der blaas, de urine bij het einde van het urineeren met zeer weinig kracht wordt uitgedreven. Nu zal in dit geval de grafische meting veel belangrijker aanwijzingen geven dan de bloote waarneming. Ontwifelbaar zal deze methode nieuwe bouwstoffen voor de diagnostiek opleveren, doordat zij door een nauwkeurige lijn zal aantoonen of de traagheid in de uitstroaming der urine heeft plaats gehad bij het begin of bij het einde van het urineeren, of wel of deze voortdurend heeft plaats gevonden.

### **Lijn van een voortdurende uitstroaming verkregen door middel van afgebroken metingen.**

Wanneer de hoeveelheid van een uitstroomende vloeistof zeer gering is en de uitstroaming slechts druppelsgewijze plaats heeft, zooals dit bij de meeste afscheidingen van vocht uit klieren voorkomt, zijn de bewegingen te zwak om een genoegsame werking op den drijver of het proefbuisje uit te oefenen; men moet dan een andere wijze van registreeren aanwenden. In dat geval kan men dan gebruik maken van den vroeger beschreven druppelteller.

---

1) Zie hiervoor de wijze van registreeren van de volumeveranderingen der organen, Hfst. III.

Wij zagen op pag. 193 dat elke druppel, die zich van het afvoerbuisje losmaakt, op een schotel valt en daardoor een schok teweegbrengt die sterk genoeg is om een sein op te wekken, dat door een luchtbus naar den registreertoestel wordt overgebracht. Zooals wij vroeger deze inrichting hebben beschreven en afgebeeld, werden twee gelijktijdige uitstroomingen met elkaar vergeleken volgens het meer of minder nauwkeurig samenvallen van de seinen, die door elk der afscheidingen werden voortgebracht, met betrekking tot de frequentie van het vallen der druppels. Deze wijze van bepaling der uitstrooming, ofschoon zooveel nauwkeuriger dan het eenvoudig waarnemen en vergelijken der beide uitstroomingen, is toch nog niet voldoende juist, aangezien het zeer moeilijk is het aantal druppels te bepalen, die in een bepaalden tijd zijn gevallen; hiertoe wordt toch een langzaam en zeer langwijlig tellen vereischt. Het is daarom verkiesselijk den druppelteller te vervangen door een toestel die de lijn van frequentie der gevallen druppels traceert.

Reeds vroeger is van dergelijke bepalingen melding gemaakt; in de wijze waarop de in elk oogenblik doorloopen ruimten naar een aantal omdraaiingen van een rad worden geregistreerd 1), vindt men een zeer geschikte methode om de lijn van frequentie van een tal van opvolgende seinen te registreren, die door eenig verschijnsel, ook bijv. door het vallen van druppels worden teweeggebracht.

Om het echappement van den hodograaf in beweging te brengen wordt een beweegkracht van een bepaalde sterkte vereischt; daar de val van een druppel vloeistof niet in staat is een voldoende kracht uit te oefenen, moet men zijn toevlucht nemen tot de elektriciteit om den toestel in werking te brengen. Men heeft dan slechts door elken vallenden druppel den stroom van een relais-batterij te doen openen, welke door middel van een elektromagneet op het echappement van het raderwerk werkt.

Men kan altijd door het vallen van een druppel de noodige kracht verkrijgen om den stroom te verbreken, door eenvoudig de valhoogte regelen; hetgeen altijd kan geschieden door, zonder

---

1) Zie de beschrijving van den hodograaf pag. 216.

dat de afvoerbuis van stand verandert, den schotel, waarop de druppel valt, iets lager te stellen.

Eindelijk kan men in die gevallen, waarin de uitvloeijing eenigszins sterker is, maar waar deze toch gedurende een vrij lang tijdsverloop moet geregistreerd worden, een toestel gebruiken die wel door de meteorologen wordt aangewend om hoeveelheden gevallen regen te meten.

Wij bedoelen twee bakjes, op een soort van wip geplaatst; elk bakje stelt zich beurtelings voor de uitstrooingsopening en stort zich uit, zoodra het gevuld is. Elke schommeling van dezen toestel wijst dus de uitstrooming van een zekere hoeveelheid vloeistof aan, en wel van die hoeveelheid, die noodig is om de wip te doen overslaan en welke van te voren proefondervindelijk is bepaald. Bij elke schommeling wordt nu een elektrische stroom verbroken en zodoende het echappement van het registreerende raderwerk in beweging gebracht. Naar gelang van het bedrag der uitstrooming, die men wil bestudeeren, kan men hierbij bakjes van meer of minder grooten inhoud gebruiken.

De verschillende toestellen, die hier zijn beschreven, geven alzoo het middel aan de hand om de uitstrooming eener vloeistof te registreeren, onverschillig of deze uitstrooming gering dan wel aanmerkelijk groot is, dus voor alle gevallen die zich kunnen voordoen.

#### **Lijn van de uitstrooingsnelheden.**

Wij moeten nog een oogenblik stilstaan bij een andere wijze van registreeren van de beweging van vloeistoffen, die bij den eersten aanblik veel schijnt te verschillen van de zoo even besprokene manier en toch in werkelijkheid veel daarmede overeenkomt; wij bedoelen het registreeren van de *uitstrooingsnelheid*.

Door middel van den hodograaf wordt bij de verplaatsing van voertuigen de lijn der *doorloopen wegen* geregistreerd met tusschenpoozen; wij hebben gezien dat de lijn der hoeveelheden uitgestroomde vloeistof met denzelfden toestel wordt getraceerd. Neemt de verplaatsing van een voertuig of de uitvloeijing van een afgescheiden vloeistof in snelheid toe, dan zal dit voor beide verschijnselen op dezelfde wijze worden aangewezen, namelijk door

een versnelling in de beweging der traceerstift; het tracé wordt dan in beide gevallen gekenmerkt door een snellere stijging der lijn. Dit eenmaal vastgesteld zijnde, zullen wij nagaan in hoever van deze wijze van registreeren is partij te trekken; wat voor het eene geldt, is ook op het andere van toepassing.

De *lijn der volumina* welke op elk oogenblik zijn uitgestroomd, geeft ons zeer nauwkeurige aanwijzingen omtrent de wijze waarop de uitstrooming heeft plaats gehad:

1<sup>e</sup>. Zij geeft de maat aan van de hoeveelheid vloeistof die ieder oogenblik is uitgestroomd; van af het begin der proefneming, door de hoogte die door het tracé op een bepaald oogenblik wordt bereikt. Zoodra men de hoeveelheid vloeistof kent die met elk deel van de ordinaten-as overeenkomt (dit deel kan een druppel, een kub. centimeter, een liter, enz. aangeven) behoeft men slechts het aantal door het tracé ingenomen deelen der ordinaten-as te tellen, om de totale hoeveelheid uitgestroomde vloeistof te kennen.

2<sup>e</sup>. Door een zeer eenvoudige meetkundige constructie leert zij ons de gemiddelde snelheid van uitstrooming vinden. Trekt men namelijk een rechte lijn van het beginpunt naar het uiteinde der getraceerde lijn, dan zal men uit de snijding van deze lijn met die, welke overeenkomt met de tijdseenheid, de gezochte snelheid kunnen vinden, want daardoor wordt de verhouding van de uitgestroomde hoeveelheid tot de tijdseenheid uitgedrukt. Men ziet terstond dat hoe meer deze rechte lijn tot den vertikalen stand nadert, des te sneller is de uitstrooming geweest.

3<sup>e</sup>. Door de lijn der volumina kan men de snelheid der uitstrooming op elk oogenblik leeren kennen uit de helling die deze lijn in het beschouwde punt heeft. Voor elk punt zal toch, evenzeer als voor de lijn der gemiddelde snelheden, de snelheid des te grooter zijn, naarmate de getraceerde lijn meer tot den vertikalen stand nadert. Men kan de betrekking tusschen de uitstroomingssnelheden in twee willekeurige punten der lijn nauwkeurig vinden, door in die twee punten de raaklijn aan de kromme te trekken en vervolgens de hoeken te meten, die deze raaklijnen met de abscissen-as maken.

De *lijn der snelheden* bezit de volgende voordeelen:

1<sup>e</sup>. Zij beslaat op het papier minder ruimte dan de lijn die

door de verplaatsing van de stift de opvolgende doorloopen ruimten, de achtereenvolgens uitgestroomde hoeveelheden vloeistof, enz. aangeeft.

2<sup>e</sup>. Zij geeft in een anderen vorm dezelfde aanwijzingen als de lijn der doorloopen ruimten, aangezien de oppervlakte der figuur, begrepen tusschen deze lijn en de coördinaten-assen, het totale bedrag uitdrukt. Maar om de lijn der snelheden te krijgen moet men wel een eenvoudige maar toch een vrij lange meetkundige constructie uitvoeren; of wanneer men deze lijn onmiddellijk wil traceeren, moet men zijn toevlucht nemen tot bijzondere en meer samengestelde apparaten. (Zie Techniek, Hfst. III).

## ZESDE HOOFDSTUK.

### HET REGISTREEREN VAN DE SNELHEID WAARMEDE VLOEISTOFFEN ZICH IN BUIZEN BEWEGEN.

- 1<sup>e</sup> *Methode*. — Men laat de vloeistof door ruimten van bekenden inhoud stroomen; VOLKMANN, LUDWIG; het registreeren van de hoeveelheden vloeistof, die door een buis zijn gestroomd.
- 2<sup>e</sup> *Methode*. — De schroef met teller. — Handelwijze steunende op het gebruik van den hydrostatischen slinger. VIERORDT. — Bepaling van de snelheid van het bloed uit de afwijking van een beweegbare stift. CHAUVÉAU.
- 3<sup>e</sup> *Methode*, steunende op het gebruik van de buizen van PITOT. — Beschrijving van den toestel; lijnen van de snelheden van het bloed.
- Snelheid van de uitstroaming van gassen; gebruik der buizen van PITOT; snelheid van den wind. — Het omgekeerde der voorgaande proeven: de log; snelheid der beweging van een lichaam in de lucht.

#### **Beweging van vloeistoffen in buizen.**

Het bepalen van de snelheid, waarmee een vloeistof zich in een gesloten buis beweegt, is zeker een van de moeilijkst oplosbare vraagstukken, die niet alleen voor de waterbouwkundigen, maar ook voor de physiologen van het grootste belang zijn.

Sedert lang bestonden over het meten van deze snelheid vele dwaalbegrippen. Zoo meende HALEP, die de eerste was welke een manometer aanbracht aan de slagaderen van dieren, dat de snelheid van het bloed binnen in de bloedvaten bekend zou zijn, zoodra hij de drukking had bepaald waaraan het bloed is onderworpen.

Hij dacht dat de snelheid alleen afhing van de middellijn van de onderzochte ader en van de drukking, waaraan het bloed is blootgesteld. Nu is deze handelwijze, ofschoon zeer geschikt voor het berekenen der snelheid van uitstrooming uit een opening in een dunnen wand, geenszins toe te passen voor de bepaling der snelheden van de beweging van vloeistoffen in buizen. Het kan toch voorkomen dat de vloeistof in een zeer wijde buis blootgesteld is aan een sterke drukking, en dat zij toch in weerwil daarvan zich weinig of niet beweegt tengevolge van een nauwen doorgang of van weerstanden, die de vloeistof op haar weg ontmoet, en die soms tamelijk ver voorbij het punt van waarneming gelegen zijn.

Het is bijna onmogelijk de snelheid van een vloeistof, die zich in een lange en oneffen buis beweegt, vooruit te berekenen, wegens de samengesteldheid van de oorzaken van weerstand; men kan haar echter proefondervindelijk bepalen. De tot dit doel aangewende methoden kunnen in drie hoofdsorten gesplitst worden, volgens het beginsel waarop zij berusten.

Bij de eerste wijze van meting laat men de vloeistof door gesloten ruimten van een bekenden inhoud stroomen; worden deze ruimten in een bepaalden tijd doorloopen, dan kent men de snelheid van den stroom. Bij de tweede wijze van meting laat men door de vloeistof een zekere mechanische beweging verrichten, die men gemakkelijk kan waarnemen. Zoo kan men bijv. de vloeistof noodzaken een schroef rond te draaien of een slinger of een naald in beweging te brengen, die in den stroom is gedompeld. Volgens de derde methode gaat men de oorzaken zelf van de snelheid na, om, na deze gemeten te hebben, hieruit de snelheid zelf af te leiden; zoo kan men, door de drukking na te gaan die door de vloeistof in twee van elkaar verwijderde punten eener buis wordt uitgeoefend, de snelheid afleiden uit het verschil der waargenomen drukkingen.

Wij zullen hier achtereenvolgens deze drie methoden beschouwen. De eerste proeven om de snelheid eener vloeistof te meten door haar ruimten van een bekenden inhoud te doen doorloopen, zijn genomen door twee beroemde Duitsche physiologen. Deze proeven hadden ten doel de snelheid van het bloed in de slagaderen te bepalen.

Een van deze handelwijzen is de methode van VOLKMANN; zij bestaat daarin dat men een slagader in verbinding stelt met een lange u-vormige buis, met water gevuld. Op een gegeven oogenblik wordt het bloed door middel van een stelsel van kranen genoodzaakt door deze buis te stroomen; hierdoor wordt het water uit de buis verdreven, en stroomt dit in het andere einde van de slagader. Men meet nu den tijd dien het bloed noodig heeft om het water te vervangen, hetgeen gemakkelijk te beoordeelen is, daar men door de glazen wanden een roode kolom door de buis ziet stroomen. Kent men nu den inhoud der buis en heeft men den tijd gemeten, dien het bloed noodig had om deze te vullen, dan heeft men de noodige gegevens om de snelheid van het bloed te bepalen.

Om echter met zekerheid te kunnen zeggen dat de waargenomen snelheid tevens de werkelijke snelheid van het bloed in de slagaderen is, zou men moeten bewijzen dat de waterkolom, die zich in de u-vormige buis bevindt, geen merkbaren weerstand biedt aan de beweging van het bloed; eveneens zou moeten aangetoond worden dat het water, dat van de buis in de slagaderen en in de bloedvaten overgaat, aldaar denzelfden weerstand ontmoet, dien het bloed er zou hebben ondervonden.

Uit hoofde van deze onzekerheden, die de waarde van de proef van VOLKMANN sterk verminderen, hebben de physiologen van deze methode nagenoeg geheel afgezien; niettemin strekt zij haar uitvinder toch tot eer, vooral omdat in deze methode het gronddenkbeeld ligt opgesloten voor een zeer nauwkeurige handelwijze.

Op hetzelfde grondbeginsel steunt de methode van LUDWIG, die meer juiste uitkomsten schijnt te geven; volgens deze stroomt het bloed door glazen kolven of flesschen van bekenden inhoud. De proef komt in 't kort hierop neer: twee gelijke kolven worden naast elkaar in den toestel van LUDWIG geplaatst; de eene is met olie en de andere met bloed gevuld. Deze kolven zijn door een buis, die aan het ondereinde is aangebracht, met elkaar in gemeenschap gesteld, terwijl zij ieder met een van de uiteinden van de te onderzoeken slagader zijn verbonden. Bij het begin der proef is de kolf, die met olie is gevuld, verbonden met het boveinde van de slagader. Het bloed dringt nu in den toestel, drijft de olie uit de eerste kolf in de tweede, die het daarin be-



vatte bloed ontlast in het benedeneinde van de slagader. Zoodra de olie geheel door het bloed en dus in de tweede kolf het bloed geheel door de olie is vervangen, is een hoeveelheid bloed door den toestel gestroomd, juist gelijk aan het volume van een der kolven. Door het omdraaien van kranen keert men nu de richting der beweging van het bloed om, zoodat nu de olie van de tweede kolf weer door het bloed in de eerste kolf wordt teruggedrongen, en het bloed van de eerste kolf weer in de slagader terugstroomt. Wanneer nu de olie en het bloed elkaar ten tweeden male geheel hebben vervangen, gaat men na of de doorgestroomde hoeveelheid bloed juist gelijk is aan het volume van twee kolven; daarna keert men den stroom weer om, om tot een tweede proef over te gaan, en zoo vervolgens. Heeft men op deze wijze een reeks van afwisselende doorgangen van het bloed in den toestel voortgebracht, dan kan men uit het aantal van deze doorgangen gemakkelijk de hoeveelheid bloed berekenen, die in een bepaalden tijd door de slagader is gestroomd. Bovendien kan men uit het aantal der afwisselende bewegingen, die in een zelfden tijd bij twee verschillende proeven hebben plaats gegrepen, de betrekkelijke snelheid van de twee gemeten bloedstromen bepalen.

DOGIEL heeft in het laboratorium van LUDWIG met behulp van dezen toestel een tal van bepalingen, betreffende de snelheid van het bloed, gedaan. Om de proef te vereenvoudigen en het tellen van het aantal malen, dat de kraan moest worden omgedraaid om den stroom om te keeren, te vermijden, liet hij de bewegingen van de kraan op een draaienden cilinder registreeren; uit het aantal van die bewegingen en uit den terugkeer daarvan in een bepaalden tijd berekende hij het volume bloed, dat door den toestel was heengestroomd, en de snelheid van het bloed in de slagader.

Volgens deze methode moeten de bepalingen noodzakelijkerwijze nauwkeuriger geschieden dan volgens die van VOLKMANN; vooreerst is het hier alleen *bloed* dat uit den toestel in het benedeneinde der slagader stroomt 1); dit bloed ondervindt dus op

---

1) De olie moet, wegens haar gering soortelijk gewicht, steeds op het bloed drijven en kan alleen ontsnappen door de benedenopening, die in de slagader uitkomt.

zijn weg gewone weerstanden, hetgeen niet waarschijnlijk was met het water van den toestel van VOLKMANN. Bovendien wordt de juistheid der bepalingen van LUDWIG grooter, naarmate men meer opeenvolgende proeven neemt; door de mogelijkheid van het omkeeren van den bloedstroom kan men toch deze metingen een onbepaald aantal malen herhalen en zodoende de fout, die bij een enkele meting kan insluipen, tot een minimum terugbrengen. 1)

Maar ook tegen deze methode zijn bezwaren aan te voeren: door het omdraaien der kranen wordt de beweging der vloeistof met bepaalde tusschenpoozen gestuit en dientengevolge de snelheid van den stroom verminderd. Verder is de toestel van LUDWIG alleen aan te wenden voor de bepaling van de gemiddelde snelheid der bloedsbeweging, terwijl wellicht een der meest belangrijke punten van den slagaderlijken bloedsomloop juist de bepaling is van de bijzondere fasen van de snelheid van het bloed in de verschillende oogenblikken van een hartsperiode.

De tweede manier om de snelheid van een vloeistof te bepalen bestaat, zooals wij boven zeiden, daarin, dat de beweging der vloeistof wordt gebruikt om een of anderen arbeid voort te brengen, die gemeten kan worden. Wanneer een schroef in aanraking is met de zich bewegende vloeistof en door middel van een raderwerk is verbonden met een teller, dan zal men na verloop van een zekeren tijd het aantal omwentelingen der schroef slechts hebben af te lezen om daaruit bij benadering de snelheid van den stroom te bepalen. Men kan ook de schroef in plaats van met een telrad, met een registreertoestel in verbinding brengen en zodoende een vrij nauwkeurige lijn van de fasen der gemiddelde snelheid van den stroom verkrijgen.

Deze handelwijze wordt ook wel aangewend om de snelheid van luchtstroom in schoorsteenen te bepalen; de rotatie-anemometer van ROBINSON is een werktuig van deze soort. Al dergelijke werktuigen zouden er veel bij winnen indien zij registreerend werden gemaakt, want daar hunne aanwijzingen over 't algemeen slechts een betrekkelijke waarde hebben, zou het van veel nut

---

1) DOGIEL. *Arbeiten aus der physiol. Anstalt von LUDWIG (Die Ausmessung der strömenden Blut-Volumina, 1868).*

zijn om door middel van een lijn de veranderlijke fasen van het bestudeerde verschijnsel duidelijk aan te geven.

Bijna altijd is de traagheid van de in de vloeistof gedompelde schroef oorzaak dat zij niet snel genoeg de veranderingen der beweging van den stroom volgt; zij biedt te veel weerstand bij het begin van de versnelling der beweging en deelt niet oogenblikkelijk in de vertraging van den stroom. Bijgevolg wordt door haar de intensiteit van de veranderingen in de beweging verkleind overgebracht en kan zij alleen een gemiddelde waarde van de snelheid der vloeistof aangeven; dit is het algemeene gebrek van alle toestellen, die wij tot hiertoe bespraken.

Hetzelfde laat zich zeggen van een toestel, uitgedacht door den Duitschen physioloog VIERORDT. Dit werktuig berust op het gebruik van den hydrodynamischen slinger, wiens beweging, onder den invloed van een stroomende vloeistof, in een standvastige reden met de snelheid van deze toeneemt.

De *Hemotachometer* van VIERORDT was van een wijzerplaat voorzien, waarop de bewegingen van den slinger waren af te lezen; de manier waarop de uitvinder dezen toestel in een registreerend werktuig heeft veranderd, heeft er slechts toe bijgedragen om de gebreken van dezen toestel te vermeederen; het is alweer de traagheid en het onvermogen van den slinger die beletten de veranderingen van den bloedstroom nauwkeurig te volgen.

Met hetzelfde doel als VIERORDT, stelde CHAUVEAU een *Hemodromograaf* samen, die beter dan al de andere toestellen aan het doel beantwoordt, namelijk het registreeren van de geringste veranderingen in de snelheid van het bloed.

Een buis TT, waardoor het bloed stroomt (fig. 132), is gedeeltelijk gesloten door een schijfje, dat op het eene uiteinde van een stift is geplaatst, die in de vloeistof is gedompeld, terwijl het andere uiteinde L, na door een vlies van caoutchouc te zijn heengegaan, op een luchttrommel werkt. Aan het gedeelte van de stift, dat is ingedompeld, worden door den stroom meer of minder sterke of snelle bewegingen meegedeeld; het andere gedeelte deelt aan de luchttrommel en daarna aan een registreerenden hefboom deze bewegingen in tegengestelden zin mede. (Bijzonderheden betreffende de samenstelling en het gebruik van dit werktuig vindt men in *Techniek*, Hfst. X.)

Door den toestel van CHAUVEAU heeft men zeer belangrijke bijzonderheden ontdekt met betrekking tot de snelheid van het

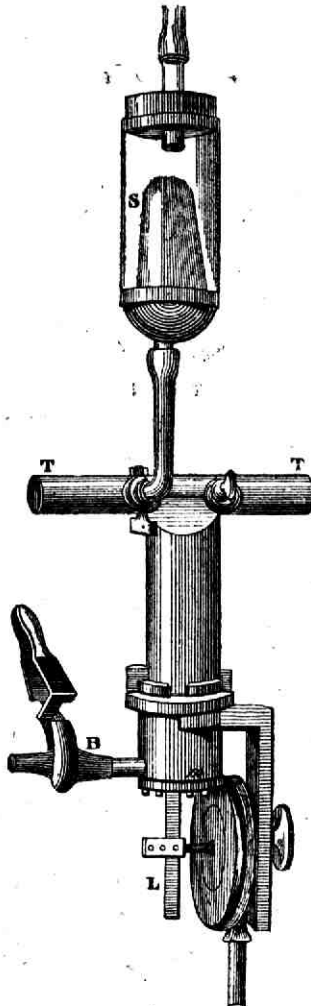


Fig. 132. Hemodromograaf van CHAUVEAU. (Een sphygmoscop S is aan de buis van den toestel aangebracht en geeft tegelijkertijd de veranderingen aan in de bloedsdrukking).

slagaderlijke bloed; zoo ondergaat elke bloedgolf, die in de slagaderen dringt, aldaar een tal van schommelingen (fig. 133) waaruit men duidelijk de werking van de systole, van de sluiting der

halvemaanswijze klapvliezen van de aorta en ook van de lengte-trillingen van de bloedkolom in het inwendige van de veerkrachtige bloedvaten, waar zij doorstroomt, kan nagaan.



Fig. 133. Veranderingen in de snelheid van het bloed in de strotslagader van een paard, geregistreerd met den hemodromograaf van CHAUCVEAU.

CHAUCVEAU heeft de uitkomsten, die hij met zijn toestel heeft verkregen, tot in de kleinste bijzonderheden bekend gemaakt en verspreid; de voornaamste uitkomsten zullen in de laatste afdeeling van dit werk worden besproken.

De derde wijze van bepaling van de snelheid eener vloeistof berust op het bepalen van de drukking in twee buizen van PITOT; het beginsel komt hierop neer: door middel van piëzometers 1) kan men de drukking bepalen die een vloeistof op de zijwanden van een afvoerbuis uitoefent. Wanneer deze buisjes, aan den onderkant rechthoekig omgebogen, met de stroomende vloeistof zoodanig in aanraking komen dat hunne openingen tegen de richting van den stroom in of naar de tegenovergestelde zijde zijn gekeerd, dan zou men zien dat de vloeistofspiegel in het buisje in het eerste geval hooger, in het tweede geval lager staat.

In figuur 134 stelt T een buis voor, door welke een vloeistof stroomt in de richting, die door de pijltjes is aangeduid. Op deze buis is een rij van piëzometers aangebracht, waarin de vloeistofspiegels achtereenvolgens staan in de richting, welke door de schuine lijn *ab* wordt aangewezen. Onder deze piëzometers bevonden zich twee buizen van PITOT,  $P_1$  en  $P_2$ . De opening van het eerste aan het ondereinde rechthoekig omgebogen buisje

1) Piëzometers zijn glazen buisjes, die op gelijke afstanden van elkaar in den zijwand eener buis worden aangebracht, door welke een vloeistof stroomt; de vloeistof stijgt dan in die buisjes tot verschillende hoogten.

is juist tegen den stroom in gekeerd; de opening van het buisje  $P_2$  is juist naar den tegenovergestelden kant gericht. De vloeistofspiegel staat in de buis  $P_1$  hooger, in  $P_2$  lager dan in de piëzometers.

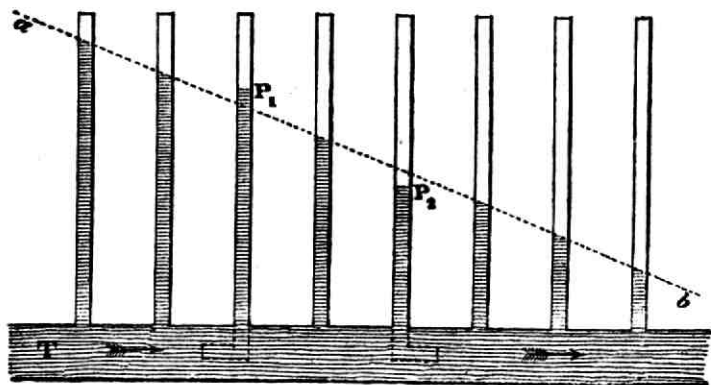


Fig. 134. Een buis T waardoor een vloeistof stroomt in de richting der pijltjes;  $ab$  geeft de richting aan waarin de vloeistofspiegels in de opvolgende piëzometers staan.  $P_1$  en  $P_2$  buisjes van Pitot.

stofspiegel staat in de buis  $P_1$  hooger, in  $P_2$  lager dan in de piëzometers.

Naar dit beginsel laat zich de toestel samenstellen, die dient om de snelheid van een vloeistof, die door buizen stroomt, te registreeren, en die in fig. 135 is voorgesteld.

In een wijde glazen buis, door welke een vloeistof stroomt in de richting, door de pijltjes aangeduid, zijn twee buisjes van Pitot aangebracht, die elk in verbinding staan met een trommel met vlies, 1 en 2. De opheffing van deze vliezen zal meer of minder sterk zijn naar gelang van den druk, waaronder de vloeistof door de buis stroomt; in alle geval zal de drukking op de twee vliezen verschillend zijn, daar de buisjes van Pitot in tegengestelde richting zijn geplaatst; dit verschil in druk zal grooter worden naarmate de stroomsnelheid grooter is.

Nu moet dit verschil in druk worden geregistreerd, ten einde de stroomsnelheid te kunnen bepalen. Hiervoor zijn twee schijfjes van aluminium op de vliezen geplaatst en door verticale stangen verbonden met een dwarsarm, die veel overeenkomst heeft met den arm van een balans. Deze arm of hefboom, die om een as, in het midden van den toestel aangebracht, kan draaien, blijft

in horizontalen stand, wanneer de twee vliezen met gelijke kracht worden opgeheven, maar zal een hellenden stand innemen, in

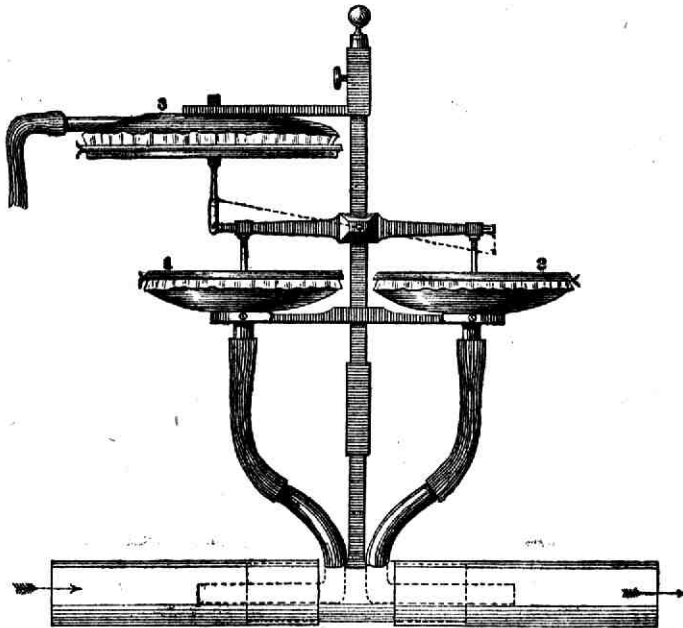


Fig. 135. Toestel bestemd om de snelheid van een vloeistof in een buis of in een slagader te registreeren.

de richting door de gestippelde lijn aangewezen, indien de drukking in trommel 1 grooter is dan in trommel 2. Dit nu heeft plaats, wanneer de vloeistof door de buis stroomt zooals in de figuur door de pijltjes is aangewezen. Men benuttigt nu de helling van den hefboom om het vlies van een derde trommel 3 op te heffen, dat weer in verbinding staat met een vierde trommel met hefboom, die eindelijk de beweging op de gewone wijze registreert.

Houdt men den stroom op de eene of andere wijze tegen, dan verandert de drukking; wordt deze even groot in de beide trommels, dan heffen die twee drukkingen elkaar bij den horizontalen hefboom volkomen op. Zoodra de doorstroming weer plaats vindt, treedt de ongelijkheid van drukking weer op en vertoont zich daarbij weer de hellende stand van den hefboom.

Door de beweging van den stroom in de richting, zooals die in de figuur is aangeduid, heeft in trommel 3 een verdichting

van lucht plaats, waardoor een stijging van de getraceerde lijn wordt veroorzaakt; men verkrijgt dus hierbij positieve ordinaten.

Worden op den weg der buizen van PITOT kranen aangebracht, dan kan men daardoor de veranderingen in druk, welke in de trommels plaats hebben, verminderen en zelfs geheel wegnemen. De toestel traceert dan de lijn van de gemiddelde snelheid, evenals een compensatie-manometer 1) de gemiddelde drukking aangeeft.

#### **Snelheid van gassen die door buizen stroomen.**

Eenige physiologen hebben getracht het tracé van de ademhaling te verkrijgen, niet naar de bewegingen van de borstkas, zooals wij op pag. 233 hebben gezien, maar naar de snelheid waarmee de lucht beurtelings wordt in- en uitgeademd. Met dit doel hebben BERGEON en KASTUS een werktuig samengesteld, *anapnograaf* genoemd, dat veel overeenkomst bezit met den hemotachometer van VIERORDT en op hetzelfde beginsel berust.

Binnen in een kastje, door 'twelk de in- en uitgeademde lucht stroomt, is een rechthoekig plankje vertikaal opgehangen. De bewegingen van dit plankje worden buiten het kastje overgebracht door middel van het verlengstuk der as, om welke het plankje schommelt, en zodoende op de gewone wijze geregistreerd. Nu is het echter gemakkelijk te begrijpen dat het plankje van den anapnograaf de heen en weergaande bewegingen van de in- en uitgeademde lucht niet getrouw volgt.

Plaatst men daarentegen voor den mond een toestel zooals in fig. 135 is voorgesteld dan kan men zich gemakkelijk overtuigen dat de fasen van de snelheid, waarmee de in- en uitgeademde lucht zich beweegt, zeer nauwkeurig worden geregistreerd. Toch zijn de ademhalingsbewegingen in elk geval met juistheid na te gaan door het registreeren van de bewegingen der borstkas. 2)

Het is van belang op te merken dat toestellen, zooals de hier besprokene, eveneens aanwijzingen zullen geven, wanneer zij zelf met een zekere snelheid door een in rust zijnde vloeistof worden voortbewogen. Is daarbij de vloeistof zelf ook in beweging, dan

1) Zie voor de inrichting van den compensatie manometer Derde Afdeling, Hfst. II.

2) Zie voor het registreeren der ademhalingsbewegingen Techniek, Hfst. VI.



zullen de aanwijzingen der toestellen kunnen dienen om de som of het verschil der snelheden van de vloeistof en van het werktuig te berekenen, al naar gelang de beweging van den toestel in tegengestelde of in dezelfde richting plaats heeft als die der vloeistof. Zoo kunnen deze toestellen dus worden gebruikt om de snelheid, waarmee een schip zich beweegt, te registreeren; men kan dus op deze wijze een soort van log met voortdurende aanwijzingen samenstellen; voor bijzonderheden daaromtrent zie men *Techniek Hfst. X.*

Door de verplaatsing van manometers door de in rust zijnde lucht kan men op overeenkomstige wijze lijnen van drukking verkrijgen, waaruit men de snelheid van de verplaatsing der toestellen kan afleiden, indien men door vooraf genomen proeven de drukking heeft bepaald, die de lucht bij elke snelheid van verplaatsing op deze toestellen uitoefent.

Eindelijk is het registreeren van de snelheid van den wind, naar de manometrische lijnen die hij voortbrengt, wellicht de beste handelwijze die de meteorologen voor deze soort van waarnemingen kunnen volgen; voorzeker kunnen de wisselvallige veranderingen in de luchtbeweging volgens geen andere methode sneller worden aangegeven.

---

## DERDE AFDEELING.

### HET REGISTREEREN VAN KRACHTEN EN VAN DE VERANDERINGEN DIE ZIJ ONDERGAAN.

De kracht openbaart zich in verschillende vormen. — Statische en dynamische toestand van krachten.

Omzettingen van het arbeidsvermogen. — Arbeidsvermogen van plaats en van beweging. — Het registreeren van arbeidsvermogen van beweging. — Arbeidsvermogen van warmte. — Temperatuur. — De registreerende thermometer. — Het registreeren van calorïën.

Elektrisch arbeidsvermogen. — De elektrische spanning geregistreerd door den elektrometer. — Intensiteit van elektrische stroomen. — Scheikundig arbeidsvermogen.

#### **Vormverandering van krachten. Omzetting van arbeidsvermogen.**

Volgens de hedendaagsche natuurkundige begrippen is de anorganische stof onderworpen aan de werking van eene enkele kracht, die, ofschoon eenig in haar wezen, zich in verschillende vormen aan ons vertoont. In den toestand van evenwicht geeft men aan deze kracht den naam van spanning of drukking; brengt zij beweging voort, dan openbaart zij zich als mechanische arbeid, als warmte of als elektriciteit; nu en dan vertoont zij zich ook in den vorm van licht en van scheikundige werking.

Gaat arbeidsvermogen van den eenen in den anderen vorm over, dan heeft deze overgang altijd in eenzelfde verhouding plaats; steeds is de voorhanden arbeid gelijkwaardig of *equivalent* met den opgeleverden arbeid. Wordt de eenheid van arbeidsvermogen van beweging of een kilogrammeter in warmte omgezet, dan bedraagt deze opgeleverde hoeveelheid warmte steeds  $\frac{1}{425}$  van 1 *calorie* of warmte-eenheid, zoodat deze hoeveelheid warmte het equivalent is voor de eenheid van arbeidsvermogen. 1) Zoo zou

1) Een calorie is dus gelijkwaardig met 425 of nauwkeuriger met 423,5 kilogrammeter, of 423,5 is het mechanisch equivalent der warmte-eenheid.

het elektrisch equivalent de hoeveelheid elektrisch arbeidsvermogen zijn die opgeleverd wordt door de omzetting van een kilogrammeter of van  $\frac{1}{425}$ e calorie.

Wordt de eenheid van elektrisch arbeidsvermogen geheel besteed voor het verrichten van scheikundige werking, dan ontstaat de eenheid van scheikundig arbeidsvermogen. Evenzoo wordt door de eenheid van elektrisch arbeidsvermogen in een galvanische keten een hoeveelheid warmte voortgebracht, die equivalent is met de eenheid van mechanischen arbeid.

Deze omzettingen van arbeidsvermogen komen niet alleen bij de anorganische stof, maar ook bij de bewerkte stof, bij de levende wezens voor in dezelfde vormen. Ook de dieren brengen mechanischen arbeid, warmte, elektriciteit voort; en wanneer de physioloog de oorzaken van die verrichtingen bij de levende wezens uitvorscht, dan vindt hij altijd weer die kracht terug, wier vormveranderingen in de natuurkunde onder zooveel gemakkelijker voorwaarden bestudeerd kunnen worden.

Zoo hebben wij dus na de bewegingen, wier verschillende vormen wij in de vorige hoofdstukken beschouwden, nu verder de krachten te onderzoeken en te meten, welke die bewegingen voortbrengen. Dit brengt ons een schrede nader tot de kennis der verschijnselen van het dierlijk mechanisme. Zoo is het niet alleen van belang om de temperatuursveranderingen der dieren na te gaan, maar vooral is het noodig de hoeveelheid warmte te kunnen meten, die zij in een bepaalden tijd opleveren. De dierlijke elektriciteit geeft aanleiding tot onderzoekingen van denzelfden aard; echter schijnt de oplossing en verklaring van deze laatste soort van verschijnselen verder buiten ons bereik te liggen dan die van de eerstgenoemden.

Gesteld echter dat men voor al die verschijnselen een bevredigende oplossing gevonden had en dat de physiologie in staat was zoo volkomen mogelijk de krachten te meten, die door het dier in verschillende vormen worden aangewend, dan blijft nog altijd proefondervindelijk deze hoofdvraag te beantwoorden: worden bij de dieren de verschillende vormen van arbeidsvermogen, evenals bij de anorganische stof, in equivalente hoeveelheid in elkaar omgezet? Tot nu toe heeft men deze vraag nog slechts met eenige hypothesen, die in elk geval veel waarschijnlijkheid bezitten,

kunnen beantwoorden en zodoende de wetten, die de anorganische stof beheerschen, op het dierenrijk overgebracht.

Wij zullen nu in de volgende hoofdstukken de middelen aangeven, waardoor elk der genoemde krachten in den toestand van drukking of spanning kan worden gemeten; daarna zullen wij de toestellen bespreken, waarmee men grafisch den arbeid, door deze krachten voortgebracht, kan bepalen. Daartoe zullen wij vooraf de hoofdbeginselen van de leer van het evenwicht en van de beweging van lichamen kort uiteenzetten.

### **Beschouwing der krachten.**

Verschillende krachten, zooals de zwaartekracht, de spanning van veeren, van gassen, de aantrekkingskracht van magneten, enz. kunnen allen met elkaar vergeleken worden door middel van een gemeene maat, die aan de werking der zwaartekracht wordt ontleend. Als gemeene maat wordt aangenomen de eenheid van gewicht of het kilogram. Bevestigt men aan het uiteinde van een veer een gewicht van 10 kilogram, en wordt vervolgens de gespannen veer in dezen toestand bevestigd, dan zal, nadat het gewicht is weggenomen, de spanning der veer een bedrag vertegenwoordigen gelijk aan dat van het gewicht, waardoor zij gespannen is; \* men zegt nu dat de veer *arbeidsvermogen van plaats* bezit, waardoor men wil aanduiden dat de veer, indien zij gehoor kon geven aan de werking harer spankracht, een even groot arbeidsvermogen van beweging zou voortbrengen, als voor hare spanning is besteed; \* de kracht der veer is dus in statischen toestand, zij oefent tegen het beletsel een druk of spanning van 10 kilogram uit. Wordt hetzelfde gewicht op een zuiger geplaatst, die dientengevolge een gas in een cilinder samenperst, dan zal omgekeerd dit gas tegen den zuiger een druk of spanning van 10 kilogram uitoefenen. De aantrekking door een magneet uitgeoefend zal even groot zijn, indien hij in staat is dit gewicht te dragen. Deze gemeene maat geeft echter niet aan welke uitwerking de beschouwde krachten zullen hebben, wanneer zij in werking kunnen treden. Zoo zal bijv. een kracht een tien- of honderdmaal grootere of kleinere of uitwerking kunnen teweegbrengen, naar gelang men haar op een langen of korten arm van een

een hefboom van de eerste soort laat werken; hetzelfde geldt voor de spanning of trekkracht van een veer. Zoo zal de drukking, uitgeoefend op de eenheid van oppervlakte van een in evenwicht zijnde vloeistof, een drukking op de wanden van het vat, waarin de vloeistof zich bevindt, tengevolge hebben, die zooveelmaal grooter is dan de aangewende drukking als er vlakke-eenheden op het oppervlak van den wand begrepen zijn; op deze grondstelling van PASCAL berust onder anderen de werking der hydraulische pers.

Bij die veranderlijke uitwerking van een zelfde kracht blijft echter de totale hoeveelheid opgeleverde arbeid *onveranderd*. Deze arbeid wordt uitgedrukt in de kracht, vermenigvuldigd met de lengte van den weg, waarover die kracht een beweging heeft voortgebracht; arbeid is dus altijd het produkt van twee factoren: overwonnen weerstand en weg. \* Wordt bij de hydraulische pers door een kracht van 1 kilogram een drukking van 1000 kilogram voortgebracht, dan zal ook de weg waarover die weerstand van 1000 kilogram zich verplaatst, juist het  $\frac{1}{1000}$ ste deel bedragen van dien, waarover de kracht van 1 kilogram zich heeft verplaatst; de produkten, die den aangewenden en den opgeleverden arbeid uitdrukken, zijn dus altijd gelijk; steeds vinden wij de hoofdwet der natuurkunde, de wet van behoud van arbeidsvermogen, bevestigd. \*

Men kan de uitwerking van een kracht meten door er een andere kracht van bekende grootte tegenover te stellen, waarmee zij evenwicht maakt; zoo zou dus de balans kunnen dienen, om de grootte van verschillende krachten te bepalen en zij dient daartoe ook inderdaad, zoodra men de trekkracht van veeren, de drukking van vloeistoffen of de spanning van gassen uitdrukt in een aantal kilogrammen, waardoor hun uitwerking op het oppervlak van een vierkanten centimeter wordt voorgesteld. In de praktijk beoordeelt men gewoonlijk de uitwerking eener kracht, door haar met een andere bekende kracht van dezelfde soort evenwicht te laten maken. Zoo brengt men bij de balans een gewicht in evenwicht door een tegenwicht; bij den dynamometer een elastische kracht door een andere; bij den manometer een vloeistofdruk of de spanning van een gas door een anderen druk of spanning.

Zoodra een kracht beweging voortbrengt, kan deze beweging

als maat voor den opgeleverden arbeid dienen, zoodra men den weerstand kent, dien de kracht in de verschillende punten van den weg, waarover de beweging heeft plaats gehad, heeft overwonnen.

De eenvoudigste gevallen voor een dergelijke bepaling ontmoet men bij het opheffen van een gewicht over een zekere hoogte; de verrichte arbeid wordt terstond gevonden door het produkt te nemen van gewicht en hoogte. Werkt de kracht op een veer, waardoor deze een zekere vormverandering ondergaat, dan zal het meten van den arbeid iets moeilijker zijn. De weerstanden, die de veer in de verschillende fasen van haar buiging biedt, zullen ieder oogenblik verschillend zijn, zoodat men nu ieder deeltje van den weg moet vermenigvuldigen met den daarover overwonnen weerstand, om ten slotte uit de som dier produkten den totalen arbeid te kunnen opmaken. Wanneer een kracht dezelfde hoeveelheid arbeid heeft voortgebracht, hetzij door het opheffen van een gewicht of door het spannen van een veer, zal evenwel tusschen deze twee werkingen een belangrijk verschil bestaan, dat zich duidelijk toont in den *vorm* der voortgebrachte beweging; en juist voor het bepalen van die verschillende vormen van beweging is de grafische methode bij uitnemendheid geschikt. Zij toont ons aan dat wanneer een kracht met standvastig vermogen op een massa werkt, deze massa een eenparig veranderlijke beweging zal krijgen, terwijl deze beweging eenparig (dus onveranderlijk) kan worden, wanneer een of andere wrijvingsweerstand is te overwinnen. Zij toont ons ook aan dat indien de kracht op een stoffelijk punt werkte, wier massa men kan verwaarlozen, de snelheid dan oneindig groot zou zijn; aangezien er echter geen lichamen zonder gewicht bestaan en elke stoffelijke beweging altijd met een zekeren weerstand van traagheid gepaard gaat, is genoemde beweging slechts een type waartoe de stoffelijke bewegingen meer of minder kunnen naderen, zonder dit ooit te bereiken.

Ook verandert de aard eener beweging met de veranderingen die de kracht ondergaat, welke deze beweging doet ontstaan.

Zoo even spraken wij van een standvastige kracht die een veranderlijke uitwerking voortbracht, welke bepaald werd door den aard der weerstanden, die zij had te overwinnen. Stellen wij

ons nu voor dat de kracht gedurende de verschillende oogenblikken van hare werking zelf verandert, dan hebben wij hierin weer nieuwe oorzaken van verandering in de beweging, welke zich voegen bij die, welke uit de veranderlijke weerstanden ontstaan. Zoo zal door een gas, dat zich uitzet, of door een veer, die zich ontspant, een veranderlijke en wel voortdurend afnemende werking worden uitgeoefend. Een andermaal kan de kracht door een scheikundige of natuurkundige werking worden voortgebracht, wier phasen onbekend zijn; dit is bijv. het geval bij de ontbranding van ontplofbare stoffen, bij de uitdrijving van gassen of bij hun uitzetting tengevolge van verhitting.

Onder deze samengestelde en ingewikkelde omstandigheden, waarbij arbeid wordt voortgebracht, omstandigheden die zoowel afhangen van den aard der werkende kracht als van de te overwinnen weerstanden, zou het in de meeste gevallen onmogelijk zijn den aard der beweging, die zal ontstaan, met juistheid te bepalen. In de meeste gevallen echter geeft gelukkigerwijze de grafische methode de praktische oplossing van dergelijke moeilijke vraagstukken. Wij zullen de registreertoestellen beschouwen, welke de lijnen traceeren die de veranderingen van een kracht, hoe langzaam of snel, hoe zwak of sterk hare werking ook zij, nauwkeurig voorstellen. Zoo traceert men even goed de lijn van de kleine en langsame veranderingen die het gewicht van een verdampende vloeistof, van een brandende lamp, van een plant die waterdamp opneemt, ondergaat, als die van de explosieve kracht van het buskruit in een vuurwapen.

Zoo wordt de grafische methode dus van het hoogste belang voor de oplossing van een tal van dergelijke vraagstukken. Maar ook voor de praktische bepaling van de hoeveelheid arbeid, bij die verschillende werkingen verricht, is de grafische methode bij uitnemendheid geschikt; vooral aan PONCELET komt de eer toe het plan te hebben aangegeven voor het samenstellen van werktuigen, die geschikt zijn voor het registreeren van verrichten arbeid. Door MORIN zijn deze werktuigen vervaardigd en aangewend voor het meten van den arbeid, door stoomwerktuigen verricht. Het beginsel, waarop de constructie van dergelijke werktuigen berust, is gemakkelijk aan te geven.

Reeds in de eerste hoofdstukken van dit werk komen grafische

voorstellingen voor van een zoodanigen aard, als wij nu beschouwen. Reeds bij de figuur van PLAIJFAIR, waarin de lijnen de jaarlijksche veranderingen van den in- en uitvoer voorstellen, hebben wij gezegd dat men door het meten van de oppervlakten, die aan den bovenkant door de kromme lijnen worden begrensd, het totale bedrag van de sommen verkrijgt die overeenkomen met den in- en uitvoer. Dit totale bedrag is niets anders dan het produkt van het jaarlijksch gemiddelde met het aantal jaren. Nu is de arbeid evenzeer gelijk aan de som der produkten, die verkregen worden door de krachten te vermenigvuldigen met den daarbij behoorenden weg, voor de verschillende oogenblikken, gedurende welke die krachten hebben gewerkt; de arbeid kan dus worden uitgedrukt door den inhoud van het oppervlak, dat aan den bovenkant begrensd wordt door de lijn, waarvan de punten tot ordinaten hebben de aangewende krachten, en tot abscissen de wegen, welke achtereenvolgens doorloopen zijn gedurende de werking van elk van die krachten.

Een dergelijke lijn werd door PONCELET op de volgende wijze verkregen. Stellen wij het geval dat de arbeid geregistreerd moet worden, die voor het voorttrekken van een voertuig wordt besteed. Een dynamometer, van een potloodstift voorzien, traceert op een strook papier de op elk oogenblik aangewende krachten en het papier wordt door de beweging van het voertuig zelve bestuurd, welke beweging door middel van een afzonderlijken daartoe ingerichten toestel in een bepaalde verhouding is verkleind. De aldus getraceerde lijnen geven alle aanwijzingen, die men met betrekking tot den voor het voorttrekken van het voertuig besteden arbeid kan verlangen; zij geven de intensiteit van de achtereenvolgens aangewende krachten, de veranderingen van die krachten, benevens de wegen, onder de werking van die krachten doorloopen, nauwkeurig aan. De bestede arbeid wordt verkregen door den inhoud der aldus verkregen vlakke figuur te bepalen; dit kan spoedig met behulp van den planimeter geschieden (zie pag. 23); het gemiddelde bedrag wordt gevonden door den totalen arbeid door het aantal tijdseenheden, dat de proef heeft geduurd, te deelen.

Ten slotte hebben wij nu nog na te gaan in hoever de andere vormen van arbeidsvermogen, zooals warmte, elektriciteit, enz.,



vergeleken kunnen worden met mechanisch arbeidsvermogen, hetzij van plaats of van beweging, en of ook deze vormen van arbeidsvermogen met betrekking tot hun hoeveelheid door geschikte toestellen grafisch kunnen worden bepaald.

Tusschen de verschillende vormen van arbeidsvermogen bestaat een zeer nauw verband; dit verband berust op de wet van behoud van arbeidsvermogen en op het bestaan van ééne enkele natuurkracht. De verbazende vorderingen op het gebied der natuurkunde in 't algemeen, waaronder vooral die van de mechanische warmte-theorie een eerste plaats innemen, hebben geleid tot de bepaling van de nauwe betrekking, die tusschen warmte, electriciteit, licht, magneetkracht, scheikundige werking, enz. bestaat.

#### **Warmte.**

\* De temperatuur van een lichaam, die, zooals bekend is, met den thermometer kan worden bepaald, is de eigenlijke benaming voor den statischen toestand der warmte van dat lichaam. Brengt men twee lichamen, waarvan het eene een hoogere temperatuur bezit dan het andere, met elkaar in aanraking, dan zal het warmere lichaam aan het minder warme een deel van zijn warmte afstaan; de warmte streeft naar gelijkheid of evenwicht, en hierbij heeft beweging van warmte plaats. Om verschillende lichamen evenveel in temperatuur te doen stijgen, zijn verschillende hoeveelheden warmte noodig. De hoeveelheid warmte die benoodigd is om een kilogram water van  $0^{\circ}$  tot  $1^{\circ}$  Celsius te verwarmen, heeft men aangenomen als eenheid van warmtehoeveelheid, en deze eenheid noemt men *calorie*. Om nu 1 kilogram van een andere stof eveneens 1 graad in temperatuur te doen stijgen, zal meer of minder dan 1 calorie noodig zijn; deze hoeveelheid heet *soortelijke warmte* der stof; zoo is elke stof gekenmerkt door een bepaalde soortelijke warmte; die van water is dus 1. Daar men nu 1 kilogram water ook  $1^{\circ}$  in temperatuur kan doen stijgen door het aan een mechanischen arbeid van 423,5 kilogrammeter, bijv. in den vorm van wrijving, te onderwerpen, zoo kan door dit mechanisch aequivalent der calorie (zie pag. 273) de hoeveelheid warmte, welke besteed moet worden voor het verwarmen van een bekende gewichtshoeveelheid eener stof tot een bepaalde

temperatuur, onmiddellijk in een gelijkwaardig bedrag aan mechanischen arbeid worden uitgedrukt, zoodra de soortelijke warmte der stof is bepaald. Nemen wij daarbij in aanmerking dat de hoeveelheid warmte, welke noodig is voor het verwarmen van een lichaam, zoowel evenredig is binnen zekere grenzen met de gewichtshoeveelheid der stof als met het bedrag der temperatuursverhooging, dan is het gemakkelijk te begrijpen dat het arbeidsvermogen in den vorm van warmte grafisch kan worden gemeten op overeenkomstige wijze als boven werd aangetoond voor het mechanisch arbeidsvermogen. \* Richt men den thermometer als registreer-apparaat in, dan kan men zoodoende de lijn traceeren, die alle veranderingen in de temperatuur van een lichaam nauwkeurig aangeeft; wanneer nu het papier, waarop deze lijn wordt getraceerd zich verplaatst over een weg, wiens lengte geëvenredigd is aan het volume of aan het gewicht der verwarmde stof, dan zal de inhoud der getraceerde figuur weer de maat aangeven van de hoeveelheid warmte die voor het verwarmen der stof is besteed. Het registreeren van dergelijke veranderingen in volume is vooral gemakkelijk, wanneer men gebruik maakt van vloeistoffen.

Wij hebben reeds vroeger gezien, hoe men door middel van drijvers alle phasen van een uitstrooming kan registreeren. Men heeft dus dergelijke toestellen nog slechts zoo in te richten, dat de uitstrooming der verwarmde vloeistof eerst *dán* plaats heeft, wanneer deze een zekeren graad van temperatuur heeft bereikt. Deze inrichting is, zooals wij later zullen zien, op een zeer vernuftige wijze aangebracht door D'ARSONVAL.

### **Elektriciteit.**

Ook de elektriciteit vertoont zich in den statischen en dynamischen toestand; de statische elektriciteit, gewoonlijk genoemd de elektrische *spanning*, wordt gemeten door middel van elektrometers. De hoeveelheid elektrisch arbeidsvermogen is eindelijk evenredig met de hoeveelheid warmte, die in de tijdseenheid in de stroomgeleiding wordt ontwikkeld. De drie beschouwde vormen van arbeidsvermogen openbaren zich alzoo op geheel overeenkomstig wijze, waaruit echter nog niet volgt dat zij ook allen even gemakkelijk te meten zijn.

Voor een gemakkelijk overzicht van de verschillende vormen van arbeidsvermogen, die wij te beschouwen hebben, alsmede van hunne factoren, diene de volgende tabel.

BEWEGING VAN VASTE LICHAMEN.	BEWEGING VAN VLOEISTOFFEN.	WARMTE.	ELEKTRICITEIT.	SCHEIKUNDIGE WERKING.
Kracht.	Drukking.	Temperatuur	Spanning.	Warmte opgeleverd bij de verbinding van één equivalent.
Weg.	Volume.	Gewicht verwarmd water.	Hoeveelheid.	Aantal equivalenten.
Mechanisch arbeidsvermogen.	Hydrodynamisch arbeidsvermogen.	Hoeveelheid warmte.	Elektrisch arbeidsvermogen.	Scheikundig arbeidsvermogen.

Wij hebben in deze tabel den hydrodynamischen arbeid van den eigenlijken mechanischen arbeid gescheiden, aangezien de eerste een overgangsvorm daarstelt tusschen de mechanische verschijnselen en de verschijnselen der warmte, elektriciteit en scheikundige werking, en wel door de invoering van het volume als een der factoren van het arbeidsvermogen.

Het mechanisch arbeidsvermogen is tot heden toe het meest bekend en kan ook het nauwkeurigst bepaald worden; wij zullen echter in de volgende hoofdstukken trachten aan te toonen dat de grafische methode evenzeer is toe te passen voor het bestudeeren van de warmte, van de elektriciteit en zelfs van de scheikundige werkingen.

## EERSTE HOOFDSTUK.

### HET REGISTREEREN VAN GEWICHTSVERANDERINGEN.

Snelle veranderingen in gewicht kunnen door achtereenvolgende wegingen niet nauwkeurig worden bepaald; de middelen om deze veranderingen te registreeren. — Toestellen van RÉDIER; toestel van SALLERON. — Registreerende areometer. Rheograaf. Toepassingen: verdamping van vloeistoffen; verdamping in de bladen van planten; verdamping door uitwaseming en afscheidingen van het dierlijk lichaam. Scheikundige werkingen die gepaard gaan met gewichtsveranderingen: Cxydaties, hydraatvormingen. Registreerende barometer, thermometer, endosmometer.

Het bepalen van gewichtsveranderingen behoort tot een der belangrijkste proefnemingen; onophoudelijk moeten door den physioloog, den scheikundige en den natuurkundige gewichtsbepalingen worden gedaan. De balans is als 't ware het zinnebeeld geworden van de nauwkeurigheid in de experimenteele wetenschappen. Het nut van dit bewonderenswaardig werktuig zal nog verhoogd worden, wanneer men het zoodanig inricht dat het de gewichtsveranderingen, die een lichaam in bepaalde omstandigheden ondergaat, door een grafische lijn aanduidt.

Bij de levende wezens verraden zich de groei, het dik- of magerworden door veranderingen in gewicht; daar men nu met de balans alleen deze veranderingen in hare verschillende fasen nauwkeurig kan bepalen, zoo wordt hiervoor een tal van wegingen vereischt, terwijl dan nog later de lijn moet geconstrueerd worden, die de opvolgende gewichtsveranderingen aangeeft.

Deze tijdroovende en langwijlige arbeid kan alleen in die gevallen verricht worden, waarin de gewichtsveranderingen van het lichaam langzaam plaats hebben. Heeft een dergelijke verandering echter snel plaats, zooals wel voorkomt bij de huiduitwaseming of bij de uitademing door de longen, dan is het niet mogelijk dergelijke wegingen bij genoegzaam korte tusschenpoozen te doen om daaruit de fasen van het verschijnsel met voldoende juistheid na te kunnen gaan; vooral in dergelijke gevallen is dus een toestel, die zelf de snelle gewichtsveranderingen opteekent, van groot belang. Ook in de scheikunde en natuurkunde zou een dergelijk werktuig dikwijls zeer goede diensten kunnen bewijzen om bijv. bij een oxydatie, bij de vorming van hydraten, of bij eene verdamping,

bij het uitdrijven van gassen, uit de fasen der gewichtsveranderingen die van het schei- of natuurkundig proces zelf af te leiden.

Het zal geheel van den aard der te onderzoeken verschijnselen afhangen of men voor de grafische bepaling van een gewichtsverandering van de gewone balans kan gebruik maken, of wel dat men tot bijzondere werktuigen zijn toevlucht moet nemen. De balans kan gebruikt worden om uit een aantal achtereenvolgende wegingen de langsame gewichtsveranderingen van een lichaam te bepalen. Bij snelle veranderingen in gewicht, vooral wanneer men de fasen dier veranderingen nauwkeurig wil volgen, zullen steeds bijzondere registreerapparaten moeten worden gebruikt.

Voor al in de geneeskunde worden dergelijke lijnen met vrucht aangewend; wil men bijv. de fasen van waterzucht goed volgen, dan zal men door de buigingen van de gewichtslijn van een zieke het best over den gang van een uitstorting van vocht kunnen oordeelen. De meer of minder snelle stijging van deze lijn zal duidelijker dan andere teekenen, op een achteruitgang of op een toenemende beterschap wijzen; de daling der lijn bepaalt de mate van vermagering bij acute of chronische ziekten. Voor al bij kinderen worden deze lijnen veel gebruikt; meer of minder snelle veranderingen in lichaamsgewicht worden zodoende duidelijk aangewezen, en de geringste ongesteldheid verraadt zich bijna onmiddellijk door een buiging of een verandering in richting van het tracé (zie Hoofdstuk II, 1<sup>e</sup> Afd., fig. 11 en 12). Voor het wegen van kinderen en van volwassenen zijn in den laatsten tijd hoogst eenvoudige en zeer doelmatige inrichtingen aan de balansen aangebracht; voor het doen van gewichtsbepalingen bij zieken, die in liggende houding moeten blijven, gebruikt men bedden die het wegen zeer gemakkelijk maken. Daar wij reeds in de eerste afdeeling van dit werk hebben nagegaan hoe de lijnen geconstrueerd worden, die de gewichtsveranderingen voorstellen welke door achtereenvolgende wegingen zijn bepaald, hebben wij hier nu alleen de lijnen te beschouwen, die onmiddellijk door de registreertoestellen zelf worden getraceerd.

#### **De toestellen van Rédier en Salleron.**

De toestellen, die dienen voor het registreeren van gewichts-

veranderingen, maken uit zich zelve evenwicht met de lichamen, wier gewicht moet worden bepaald. Nu eens wordt dit evenwicht verkregen door de meerdere of mindere indompeling van een drijver, die als tegenwicht dient, een andermaal door de verandering in hellenden stand der balans of ook door de veranderlijke spanning van een veer, zooals bijv. bij den veerunster geschiedt.

Door de werktuigkundigen RÉDIER en SALLERON zijn registreerende balansen vervaardigd, die zoowel voor natuurkundige als voor meteorologische en physiologische bepalingen gebruikt kunnen worden. Daar de bijzonderheden van de inrichting dezer werktuigen in de laatste afdeeling van dit werk zullen vermeld worden, zullen wij ons hier alleen bepalen met het beginsel aan te geven, waarop elk dezer werktuigen berust. Bij het werktuig van RÉDIER worden de lijnen der gewichtsveranderingen getraceerd door middel van een raderwerk, dat eveneens door dezen werktuigkundige wordt aangewend voor het registreeren van de veranderingen in barometerstand. De toestel van SALLERON bestaat uit een balans, waarbij het verschil in stand der schalen steeds evenredig is met het verschil in gewichten. Deze ongelijke stand der schalen wordt door middel van een hefboom vergroot geregistreerd op een cilinder, die met roetzwart is bedekt.

Wij zullen eenige proefnemingen beschouwen, waarbij deze werktuigen gebruikt worden, waaruit kan blijken in welke gevallen aan het eene of aan het andere werktuig de voorkeur moet worden gegeven.

#### **Het bepalen van de verdampingssterkte in de meteorologie.**

In de natuurkunde wordt aangetoond dat een op een oppervlak uitgespreide vloeistof meer of minder snel verdampt, naar gelang van de temperatuur en van de vochtigheidstoestand der omringende lucht; hoe hooger de temperatuur en hoe droger de lucht is, des te sterker zal de verdamping zijn. Voor de meteorologen is, het van belang te weten welke op een gegeven oogenblik bij deze vereenigde oorzaken de verdampingssterkte is op de aardoppervlakte. Te dien einde wordt een wijde bak met water op de schaal van een registreerende balans geplaatst en zoodoende

de lijn verkregen, die de gewichtsvermindering van den bak, tengevolge van de verdamping van het water, in een bepaald tijdsverloop voorstelt. Een dergelijke toestel wordt door de meteorologen *evaporograaf* of *evaporometer* (verdampingsmeter) genoemd.

Niet lang geleden is een dergelijke toestel door RAGONA samengesteld; figuur 136 stelt dezen toestel voor.

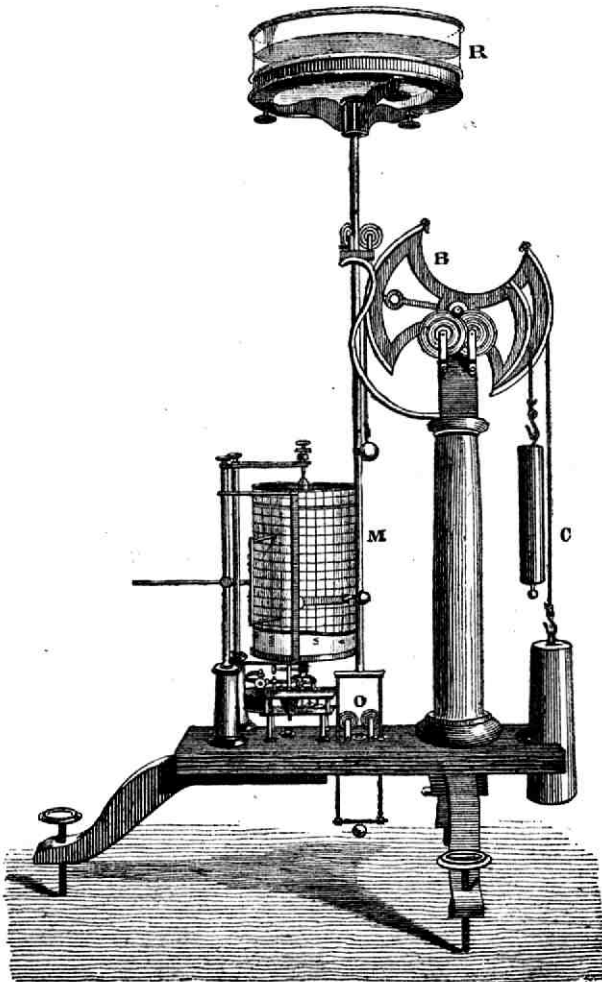


Fig. 136. Evaporometer van RAGONA.

Het verdampende water bevindt zich in een wijden bak, waaraan eene lange stang is bevestigd, die zich tusschen twee metalen

schijfjes kan bewegen. Deze toestel wordt vastgehouden door een koord, dat over een soort van riemschijf wordt geslagen, die evenals de arm eener balans om een draaipunt kan schommelen. Het water wordt door een tegenwicht in evenwicht gehouden en de toestel zou onbewegelijk zijn, indien er geen verdamping plaats had. Maar daar tengevolge van de verdamping het water in den bak vermindert, daalt het tegenwicht en heft daarbij tegelijkertijd den bak met den stang, benevens de daaraan bevestigde registreerstift in de hoogte.

Door middel van een bijzondere inrichting, aan dezen toestel aangebracht, blijft het geheele stelsel in dezen nieuwen stand evenzeer in evenwicht.

In figuur 136 merkt men op dat de bak met water door twee tegenwichten in evenwicht wordt gehouden; het grootste van die twee is aan een koord bevestigd dat over een riemschijf is geslagen, waarvan het middelpunt is gelegen in de as om welke het geheele stelsel draait. Dit tegenwicht oefent dus een constante werking uit en dient om den bak met toebehooren in evenwicht te houden. Nu wordt het water nog bovendien in evenwicht gehouden door het tweede, kleinere tegenwicht, dat bevestigd is aan een koord, dat over een excentrische riemschijf loopt, zoodat nu dit tegenwicht een veranderlijke werking uitoefent, want de hefboomsarm waarop het werkt, zal kleiner worden, indien de bak met water rijst, en zal grooter worden bij een tegenovergestelde beweging van den bak. Zodoende kan het stelsel voortdurend in evenwicht blijven bij den veranderlijken stand van den bak.

Zoo kunnen dan de toestellen, die dienen voor het registreeren van gewichtsveranderingen teruggebracht worden tot twee stelsels: het eene stelsel is gegrond op het gebruik van areometers die al of niet in verband met de balans worden aangewend, zooals in de toestellen van RÉDIER en SALLERON; het andere stelsel berust op het gebruik van tegenwichten met veranderlijke werking, zooals bij den toestel van RAGONA; welke van die twee stelsels de voorkeur verdient, is nog niet uitgemaakt.



**Het registreeren van de fasen van verdamping in  
de bladeren van planten.**

Een zeer merkwaardige proef met betrekking tot de physiologie van planten is die van DEHÉRAIN. Een blad van een plant werd in een glazen buis besloten en blootgesteld aan de bestraling der zon; het bleek nu dat het blad onder de werking der zonnestrallen een grootere hoeveelheid waterdamp afscheidde, die men tegen de wanden van de glazen buis zag condenseeren.

Om dit verschijnsel meer nauwkeurig na te gaan, is het noodig de hoeveelheden van het in de opvolgende oogenblikken verdampde water te bepalen. Daardoor komt men te weten welken invloed verschillende lichtbronnen op de verdamping van planten kunnen uitoefenen en welke de betrekking is tusschen de intensiteit der lichtbron en die van de verdamping.

Om de hoeveelheid verdampt water beter te kunnen bepalen, is het noodig het licht te laten werken op de geheele plant in plaats van op een enkel blad. De plant moet dan in een gevernisten pot geplaatst worden, waardoor het water niet kan heendringen; de aarde moet van boven en eveneens de stengel rondom met caoutchouc bedekt worden, om aldaar de verdamping te beletten. Door een ondoorschijnende klok wordt de plant tegen de werking der zonnestrallen beveiligd; op een gegeven oogenblik wordt de klok weggenomen en de verdamping wordt geregistreerd in den vorm eener lijn, die het gewichtsverlies der plant aanwijst.

Op deze wijze kan men onderzoeken welken invloed de aangevende lichtbron, de warmtestralen die in meerdere of mindere hoeveelheid de lichtstralen vergezellen, de vochtigheid van den dampkring, de temperatuur, het water waarmee de planten zijn begoten, alsmede de zouten die in dit water kunnen opgelost zijn, enz., op de verdamping der planten uitoefenen.

In figuur 137 is de lijn aangegeven die de verdamping voorstelt van vier snijboonplantjes, die iederen dag op hetzelfde uur werden begoten.

Het tracé moet van de linker naar de rechter zijde gelezen worden; de sterke dalingen in de lijn hebben plaats in de oogenblikken, waarop men aan de planten het water, dat zij door de

verdamping hadden verloren teruggaf; elken dag, des avonds ten half acht, werden de planten begoten. Uit den cirkelboog,

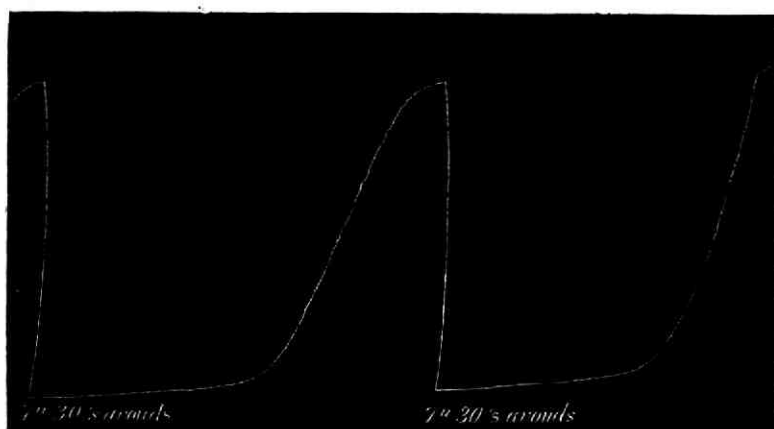


Fig. 137. Lijn die de verdamping eener plant in de bladen voorstelt. 1)

die op die oogenblikken door de stift werd getraceerd, kan men de lengte van den hefboom afleiden, waaraan de registreerstift was bevestigd.

Uit het tracé blijkt dat de verdamping gedurende den nacht van weinig beteekenis is, terwijl daarentegen gedurende den dag de lijn vrij snel klimt, totdat zij bij de volgende besproeiing snel daalt. Het tracé schijnt vrij wel met de waarnemingen van DEHÉRAIN overeen te komen, daar de verdamping der planten blijkbaar het sterkst is op het oogenblik van de grootste lichtsterkte.

In figuur 138 is de registreerende balans van RÉDIER voorgesteld, waarmee het gewichtsverlies van een plant tengevolge van de verdamping kan worden bepaald.

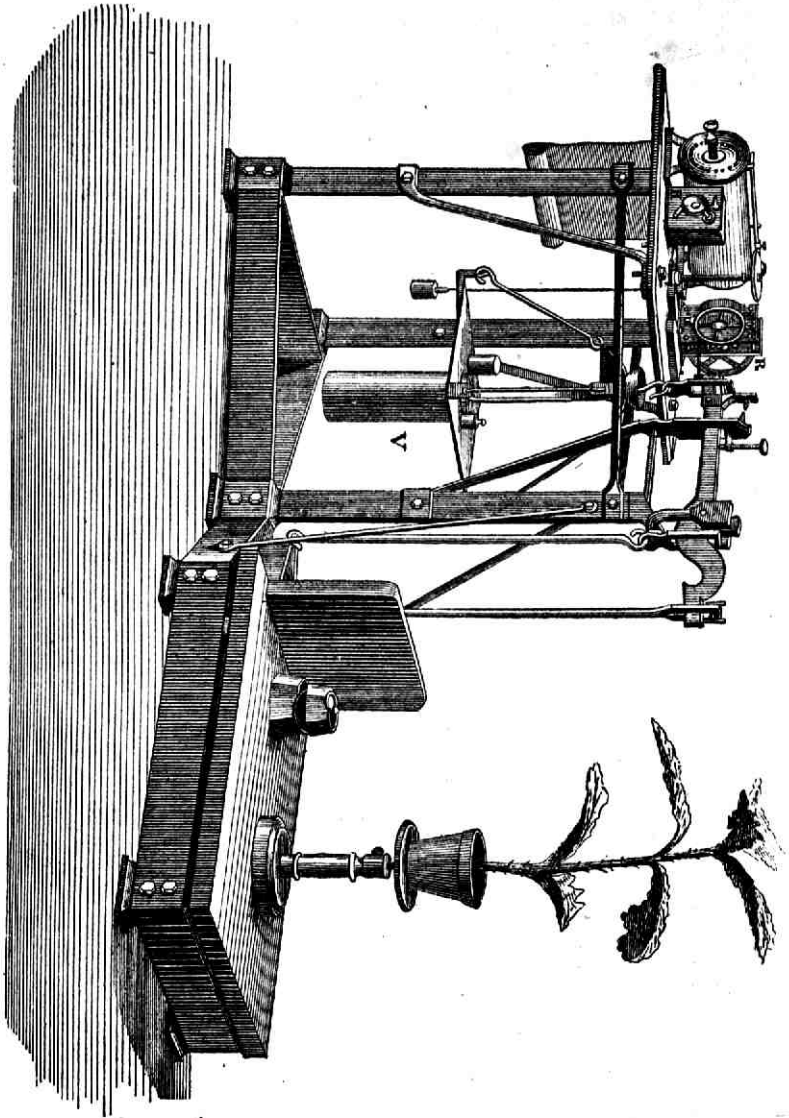
#### Het registreeren van de fasen van uitwaseming bij dieren.

Evenals bij een plant kan ook bij een dier de hoeveelheid water bepaald worden, die het in een bepaalden tijd door uitwa-

1) De kleine bochten, die in deze lijn voorkomen, zijn door den wind veroorzaakt, die de plant in beweging bracht.

seming verliest: alleen is hier het vraagstuk eenigszins ingewikkelder, wanneer men de verdamping door de huid en de uitade-

Fig. 138. Balans van HÉDIRK bestemd voor het bepalen van het gewichtverlies van planten tengevolge van de verdamping



ming door de longen afzonderlijk wil bepalen. Om slechts een van deze afscheidingen van waterdamp te meten, is het noodig het

dier met een waterdichten zak te omsluiten, indien men het waterverlies tengevolge van de huiduitwaseming wil tegengaan; of wil men den waterdamp, die bij de ademhaling wordt uitgeademd, niet in rekening brengen, dan moet men dezen laten condenseeren in een flesch, die op de schaal der balans is geplaatst.

Een der grootste moeilijkheden bij het registreeren van de gewichtsverandering van een dier ontstaat hierdoor, dat het dier zich bijna altijd beweegt, zoodat dientengevolge plotselinge schommelingen aan de balans en aan de registreerapparaten worden meegedeeld. Om in dit bezwaar te gemoet te komen, moet men zich van den toestel van RÉDIER bedienen, waarbij de schommelingen elkaar vernietigen. Gebruikte men hier den toestel van SALLERON, dan zou het noodig zijn de proef zoodanig in te richten, dat de gewichtsveranderingen van het dier tengevolge hadden het uitstorten van een zekere hoeveelheid vloeistof; door deze uitgestorte vloeistof door nauwe kanalen te laten loopen, zou men zodoende gemakkelijk de schommelingen, die ontstaan door de bewegingen van het dier, kunnen vernietigen.

#### **Het registreeren van gewichtsveranderingen die bij scheikundige werkingen voorkomen.**

Bij een tal van scheikundige werkingen, zooals oxydaties, hydraatvormingen, enz. neemt het gewicht der stoffen toe. Met een gevoeligen registreertoestel, die de fasen van deze gewichtsveranderingen getrouw aangeeft, zou men met bijzondere juistheid de verschillende oorzaken, die op de intensiteit van deze verschijnselen van invloed zijn, kunnen bepalen. Wij zullen hier de proeven van RÉDIER vermelden, die met zijn registreerende balans de fasen eener verbranding heeft bepaald; hierbij waren drie alcohollampen op de schaal der balans geplaatst.

Figuur 139 toont ons het tracé van deze verbranding; gedurende de eerste phase, van 1 tot 2, brandden de drie lampen tegelijk; het gewichtsverlies is kenbaar aan de snelle daling der lijn; op het oogenblik 2 wordt een lamp uitgeblazen; de verbranding wordt  $\frac{2}{3}$  minder snel, zooals het tracé van 2 tot 3 aangeeft; bij 3 is de tweede lamp uitgeblazen en het gewichtsverlies heeft nu slechts met het  $\frac{1}{3}$  der aanvankelijke snelheid plaats.

De uitkomst van deze proef was gemakkelijk te voorzien; maar dezelfde toestel kan voor zeer belangrijke waarnemingen gebruikt

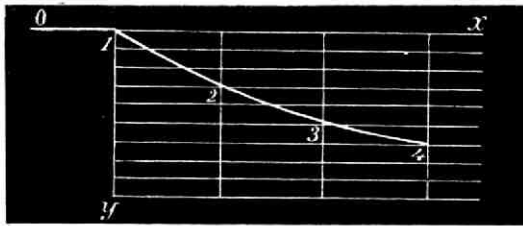


Fig. 139. Lijn van de fasen eener verbranding.

worden, bijv. voor het bepalen van den invloed dien de aard van de pit, de omringende temperatuur, de drukking of de samenstelling van den dampkring op het branden van een kaars of lamp uitoefenen.

Het gewichtsverlies van een lichaam kan ook met behulp van den vroeger besproken druppelteller bepaald worden. Denken wij ons een dergelijken toestel door middel van een elektrisch relais in verbinding gesteld met een hodograaf, dan heeft men een zeer gevoeligen toestel, waarmee men de kleinste veranderingen van een uitstrooming kan registreeren. Denken wij ons verder een hydrostatische balans, aan welke het lichaam met veranderlijk gewicht is verbonden en aan de tegenovergestelde schaal dezer balans een drijver vastgemaakt, die door dieper in te zinken de uitstrooming van het water teweegbrengt, dan zal het aantal der gevallen druppels onmiddellijk het gewichtsverlies van het lichaam aangeven.

Verder zijn de areometers met veranderlijk volume zelf zeer gevoelige werktuigen, waarmede men door tusschenkomst van een gewichtsverandering de veranderingen in barometer- en thermometerstand, alsmede de snelheid waarmee endosmose- en diffusieverschijnselen plaats hebben, vrij nauwkeurig kan bepalen.

## TWEEDE HOOFDSTUK.

### HET REGISTREEREN VAN VERANDERINGEN IN DRUKKING DOOR PROEVEN GENOMEN BINNEN IN DE ORGANEN.

Het gebruik van den manometer bij physiologische onderzoekingen; de kwikmanometer; het kymografion van LUDWIG. — Voor- en nadeelen van het gebruik van den kwikmanometer; de compensatie-manometer. — Het registreeren van de aanwijzingen van den kwikmanometer door middel van de trommel met hefboom. — Veerkrachtige manometers; de sphygmoskoop; de metaalmanometer aangewend door FICK. — Het proefondervindelijk vergelijken van de verschillende soorten van manometers. — Toepassingen: proeven op het paard; verhouding tusschen de bloedsdrukking in de linker kamer en die in de aorta. — Rhythmische veranderingen van de bloedsdrukking in de slagaderen. — Het me'en van de krachten die bij de ademhaling in werking treden door middel van den manometer. — Drukking in de pleurale holte; het meten van de veerkracht der longen.

Sedert de manometer in de physiologie wordt gebruikt, heeft dit werktuig een tal van wijzigingen ondergaan, waardoor zijn aanwending gemakkelijker en zijn aanwijzingen nauwkeuriger zijn geworden. HALES, die de eerste was welke den manometer bij physiologische onderzoekingen aanwendde, bracht aan de slagaderen van een groot zoogdier een eenvoudige glazen buis aan, waarin het bloed tot een hoogte van ongeveer 6 Engelsche voeten steeg; op deze wijze bepaalde hij de drukking, waaraan het bloed in de slagaderen is onderworpen. Later werd deze toestel door den open kwikmanometer vervangen. Deze bestond eerst uit een gewone u-vormige glazen buis; een der uiteinden werd door een dun buisje met een slagader in gemeenschap gesteld; de druk werd aangegeven door het verschil in hoogte van het kwik in de beide beenen der buis.

De belangrijkste verbetering bij den kwikmanometer is door LUDWIG aangebracht, die hem in een registreertoestel veranderde, waaraan hij den naam van *Kymografion* gaf. Wellicht is dit de eerste registreertoestel geweest, die in de physiologie is gebruikt. Tegenwoordig wordt deze toestel algemeen gebruikt; men bestudeert de drukkingen in het dierlijk organisme zelden, zonder ze te registreeren.

Het schijnt echter uitgemaakt te zijn dat de kwikmanometer in de physiologie alleen geschikt is voor het aanwijzen van standvastige drukkingen of van drukkingen die slechts zeer langzaam veranderen; voor de meeste physiologische onderzoekingen en

vooral voor de bepaling van de bloedsdrukking in de slagaderen is hij niet geschikt, daar de aanwijzingen, die hij geeft, te veel worden vervormd door de schommelingen der kwikkolom.

Men kan hoogstens met een manometer het gemiddeld bedrag van de bloedsdrukking meten, en in dat geval dient men dan gebruik te maken van den zoogenaamden *compensatie-manometer*.

De compensatie-manometer bestaat uit een wijde flesch met kwik gevuld, die met een nauwe glazen buis in gemeenschap staat wier middellijn ongeveer 5 millimeter bedraagt; deze glazen buis is door middel van een zeer nauw capillair buisje met de flesch verbonden. Door deze vernauwing worden de schommelingen van kwikkolom in de buis, die veroorzaakt worden door de veranderingen in de drukking van het bloed, tegengegaan; het kwik in de buis blijft op die hoogte staan, die de gemiddelde waarde van de drukking in de slagaderen aangeeft. Het capillaire buisje kan ook zeer goed door een kraan worden vervangen, die aan het ondereinde der kwikkolom wordt aangebracht; hierdoor kan men naar willekeur de schommelingen van het kwik verminderen en wordt de evenwichtsstand spoediger bereikt.

In die gevallen, waarin de gewone kwikmanometer kan worden gebruikt, kan het registreeren van de drukking op een andere en betere wijze geschieden, dan door LUDWIG is gedaan. Deze bedient zich, zooals men weet, van een drijver die met de bewegingen van het kwik meegaat en aan zijn uiteinde voorzien is van een schrijfstift; dientengevolge moeten de aanwijzingen van den manometer geregistreerd worden op een cilinder, die om een vertikale as draait. Dit nu is zeer ongemakkelijk, vooral wanneer men een zeker aantal werkingen tegelijkertijd wil registreeren. Men kan nu de bewegingen van de kwikkolom veel gemakkelijker met behulp van een trommel met hefboom registreeren; de buis, waardoor de lucht naar de trommel wordt overgebracht, wordt dan zoodanig aan den manometer verbonden, dat de verplaatsing van het kwik overeenkomt met de werking van een zuiger, die de lucht in de buis van den manometer en dus ook in de trommel verdicht en verdunt.

In figuur 140 is een tracé voorgesteld dat op deze wijze is verkregen; het komt geheel overeen met het tracé, dat de drijver van LUDWIG zou geven, maar het is hier op gemakkelijker wijze

verkregen. Het is hierbij voordeelig gebruik te maken van een wijde manometerbuis, opdat een verandering in stand van het



Fig. 140. DB, Tracé van de bloedsdrukking, verkregen met een kwikmanometer, verbonden met een trommel met hefboom. AH, Ademhaling en werking van het hart (konijn).

kwik een tamelijk groote verplaatsing van lucht ten gevolge zal hebben. 1) Men kan verder de trommel, die de manometer-aanwijzingen moet registreeren, met water vullen, om zodoende de schadelijke ruimte bij het luchttransport zoo klein mogelijk te maken.

Wij gaven hier slechts eenige aanwijzingen om het gebruik van den kwikmanometer zooveel mogelijk te verbeteren; wij zullen nu echter zien door welke toestellen hij moet vervangen worden, wanneer men nauwkeurige tracés wil verkrijgen van drukkingen, die zeer snel veranderen.

### **Veerkrachtige manometers.**

Wanneer men door blazen of inpersen van lucht het kwik van een kwikmanometer tot een zekere hoogte opdrijft, dan zal de kwikkolom, nadat de drukking is opgehouden, door haar gewicht

---

1) Het volume van de manometerbuis moet in elk geval geëvenredigd zijn aan de grootte van het dier, waarop de proeven worden genomen. Bij een bepaalden druk zal een manometer een zekere hoeveelheid bloed bevatten, die evenredig is met de doorsnede der kolom. Gebruikt men dus voor het bepalen der slagaderlijke drukking bij een klein dier een manometerbuis van groote middellijn, dan zou hierdoor een ware bloeduitstorting worden teweeggebracht en dus het bedrag van den te meten druk te veel worden verkleind.



weer in haar oorspronkelijken stand teruggebracht worden, maar zij zal in dezen stand van rust niet onmiddellijk, maar eerst na eenige schommelingen terugkeeren. Juist deze eigenaardigheid maakt den kwikmanometer voor registreerwerktuig bij het bepalen van die snelle veranderingen minder geschikt, en daarom is het noodig den druk van de zware kwikkolom in die gevallen te vervangen door de spanning van een veerkrachtig lichaam; op dit beginsel nu berusten enkele manometers, zooals de metaalmanometer van BOURDON, de manometer met samengeperste lucht, enz.

Een eenvoudige manometer, waarvan men zich bij physiologische bepalingen kan bedienen, is de zoogenaamde *sphygmoskoop*; 1) hierbij wordt de bloedsdrukking overgebracht op den binnenwand van een veerkrachtig zakje van caoutchouc, terwijl de verschillende uitzettingen worden overgebracht op een trommel met hefboom.

In figuur 141 zijn de verschillende deelen van een gewonen

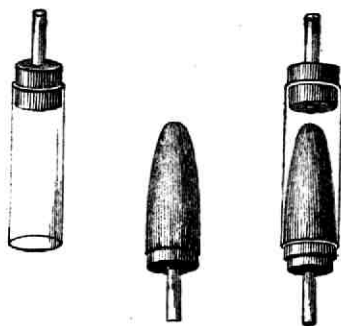


Fig. 141. Sphygmoskoop of veerkrachtige manometer met caoutchouevlies.

sphygmoskoop voorgesteld. Aan de linkerzijde der figuur ziet men een korte en wijde glazen buis die van boven is gesloten met een doorboorde caoutchoucstop, waardoor een nauwere glazen buis is gestoken.

In het midden van de figuur is het tweede deel van den toestel afgebeeld, bestaande uit een caoutchouc-stop die evenals de eerste is doorboord en waardoor een glazen buis is gestoken; verder is deze stop van boven voorzien van een vingerhoed van caoutchouc.

1) \* Dit werktuig is het eerst door MAREY en CHAUVEAU vervaardigd en aangevend. \*

Steekt men nu deze tweede stop in de glazen buis, dan heeft men den sphygmoskoop in zijn geheel zooals die aan de rechterzijde in de figuur is afgebeeld.

Na den vingerhoed met een alkalische oplossing gevuld en goed van lucht gezuiverd te hebben, wordt de buis, die binnen in den vingerhoed uitkomt, met een slagader verbonden en vervolgens de andere glazen buis met een trommel met hefboom in verbinding gesteld.

De werking van den sphygmoskoop is zeer eenvoudig; elke vermeerdering van druk, door het bloed uitgeoefend, doet den elastieken vingerhoed meer opzwellen, waardoor de lucht in de wijde glazen buis wordt verplaatst; deze luchtverplaatsing werkt weer op de trommel met hefboom. Men kan zodoende de bloedsdrukking gedurende een vrij langen tijd registreeren zonder dat er stremming van het bloed plaats heeft; later zullen de verschillende middelen worden besproken, die kunnen worden aangewend om deze stremming te voorkomen.

In figuur 142 is een tracé voorgesteld van de bloedsdrukking

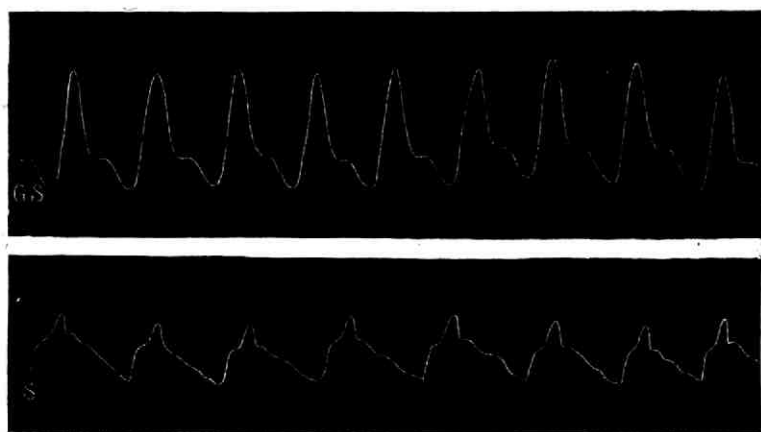


Fig. 142. Tracés van de veranderingen in de bloedsdrukking bij een paard, in de strotslagader en in de slagader van het gezicht.

in de slagaderen van het paard, verkregen met den sphygmoskoop.

Op hetzelfde beginsel berusten de zoogenaamde *sonden*, die aangewend worden bij het bepalen van de bloedsdrukking in de verschillende holten van het hart; ook deze sonden zijn werkelijke

sphygmoscopen, op wier veerkrachtige wanden nu de druk niet van binnen, maar van buiten wordt uitgeoefend, daar zij nu omgeven zijn door de samengeperste middenstof.

Ook is door FICK een manometer, ten gebruike in de physiologie, onder den naam van *Federkymografion* voorgesteld; deze berust op den metaalmanometer van BOURDON. De metalen buis van dezen manometer verandert van kromming ten gevolge van veranderingen in drukking, uitgeoefend op den binnenwand der buis; deze bewegingen worden door een hefboom vergroot en op de gewone wijze geregistreerd. Daar FICK bij zijn toestel enkele onregelmatige trillingen van de schrijfstift bespeurde, bracht hij den registreerenden hefboom met een kleinen zuiger in verbinding, die zich in een cilinder, met olie gevuld, beweegt; hierdoor werd een zekere weerstand geboden aan de al te snelle bewegingen der stift.

Ofschoon deze manometer van FICK de voorkeur verdient boven den kwikmanometer, levert zijn gebruik nog al veel bezwaren op, vooral wanneer men hem tegelijkertijd met andere registreer-toestellen moet laten werken; daarom blijft de eenvoudige sphygmoskoop, hierboven beschreven, in alle gevallen meer aanbevelenswaardig. Bij den sphygmoskoop doet zich echter dit bezwaar voor, dat de veerkracht van het caoutchouevlies na verloop van eenigen tijd kan veranderen en dat aan dezen toestel zeer moeilijk een nauwkeurige verdeeling is aan te brengen; wij laten daarom de beschrijving volgen van onderstaanden toestel, waarbij zich deze nadeelen niet voordoen.

#### **Registreerende metaalmanometer.**

Binnen in een metalen bak (fig. 143) wordt een doos van een aneroid-barometer geplaatst, die met een vloeistof is gevuld en waarin zich een buis opent, die door den wand van den metalen bak is aangebracht; deze buis staat in verbinding met een flesch, die met een alkalische vloeistof is gevuld en door wier hals een buisje *a* loopt, voorzien van een kraan. Boven uit den metalen bak steekt een vertikale glazen buis; door deze buis wordt water gegoten, totdat de bak geheel en de buis tot de helft is gevuld.

Wordt nu een positieve of negatieve druk op den binnenwand

der doos uitgeoefend, dan ziet men den waterspiegel in de buis rijzen of dalen; de toestel werkt als een groote sphygmoskoop,

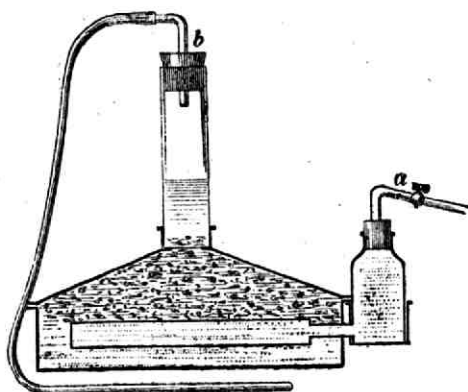


Fig. 143. Metaalmanometer.

waarin het vlies van caoutchouc is vervangen door een veerkrachtigen metalen wand. 1)

Om eindelijk deze bewegingen te registreeren, wordt de verticale glazen buis van boven gesloten met een doorboorde caoutchoucstop, waardoor een kleiner buisje *b* is gestoken, dat de lucht uit de buis in verbinding stelt met een trommel met registreerenden hefboom.

De aanwijzingen van dit werktuig zijn nog nauwkeuriger dan die van den sphygmoskoop. Als voorbeeld van tracés, die met dit werktuig zijn verkregen, wordt in figuur 144 de lijn van de bloedsdrukking in de strotslagader van een konijn voorgesteld.

In de laatste afdeeling zal worden aangegeven hoe de werking van deze verschillende soorten van manometers proefondervindelijk kan worden gecontroleerd. De meest geschikte methode hiervoor is wel die, welke door DONDERS is aangegeven voor het controleren van werktuigen, die op de trommel met hefboom werken. Deze methode bestaat hierin, dat men op deze toestellen een van te voren bepaalden druk laat werken, om vervolgens na te gaan

1) Het water, dat den metalen bak vult, vermeerderd de gevoeligheid van het werktuig; bleef de ruimte van dezen bak alleen met lucht gevuld, dan zou de beweging veel verminderd worden tengevolge van de samendrukbaarheid der lucht.

met welken graad van nauwkeurigheid elk dezer toestellen deze werking overbrengt.

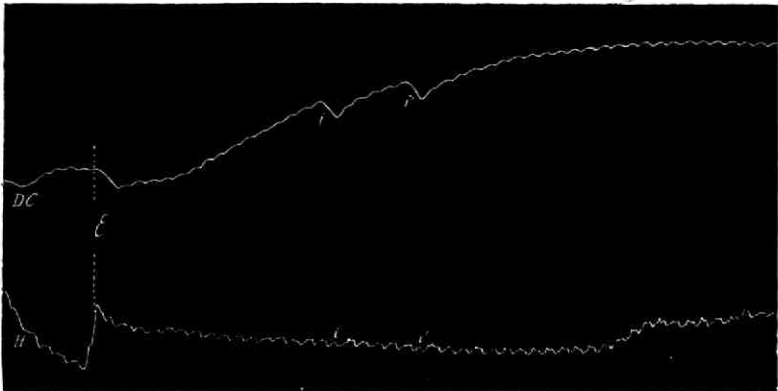


Fig. 144. DC, Bloedsdrukking in de carotis van een konijn, geregistreerd met den metaalmanometer. H, Lijn der kloppingen van het hart.

### Toepassingen.

De voornaamste toepassingen van de hierboven beschouwde werktuigen worden gemaakt bij het bestudeeren van den bloedsomloop. Een uitvoerige beschouwing van de hierbij verkregen resultaten is hier echter minder op hare plaats, zoodat wij ons zullen bepalen met daarvan slechts een beknopt overzicht te geven. Er komen weinig gevallen voor waarin de drukking, die een vloeistof op de wanden van buizen uitoefent, aan talrijker en meer samengestelde veranderingen onderhevig is, zoodat men ook geen beter voorbeeld kan kiezen om de voordeelen aan te toonen, die deze registreertoestellen voor de oplossing van hydrodynamische vraagstukken aanbieden.

Men behoeft geen ontleedkundige te zijn om de veranderingen, waaraan de bloedsdrukking in de bloedvaten en in het hart onderhevig is, te begrijpen. Zooals algemeen bekend is, onderscheidt men den grooten bloedsomloop, waarbij het bloed door al de organen van het lichaam stroomt, en den kleinen bloedsomloop, waarbij het bloed alleen door de longen zijn weg neemt; in beide gevallen stroomt het bloed door een overeenkomstig stelsel van organen: door het hart, dat het bloed in de slagaderen stuwt;

door de haarvaten, waarin de slagaderen uitloopen en waardoor het bloed in het binnenste weefsel van de verschillende organen wordt geleid; en eindelijk door de aderen, die haar oorsprong hebben in de fijne haarvaatnetten en die zich eindelijk vereenigen om steeds grootere kanalen te vormen, waardoor het bloed in het hart terugkeert. Het bloed stroomt bij dezen omloop dus altijd door buizen met veerkrachtige wanden en is daarbij onderhevig aan een veranderlijke en wel aan een steeds afnemende drukking van het oogenblik af dat het uit de kamer stroomt, waaruit het door een krachtige werking der spierwanden wordt voortgestuwd, tot op het oogenblik dat het in de harttoeren terugkeert; onderweg wordt het arbeidsvermogen van beweging, waarmee het bloed aanvankelijk voorzien was, langzamerhand uitgeput door de verschillende weerstanden, die het heeft te overwinnen.

Met behulp van de registreerende manometers kunnen wij de bloedsdrukking gedurende deze trapsgewijze vermindering bepalen. In het hart zelf worden sonden aangebracht, die als manometers werken en die, onderworpen aan dezelfde drukking als die van het bloed, waarin zij gedompeld zijn, deze drukking naar een trommel met registreerenden hefboom overbrengen. Deze zelfde sonden kunnen ook binnen in de groote stammen der slagaderen aangebracht worden, wanneer proeven worden genomen op groote dieren, zooals het paard of de os. Voor het meten van de bloedsdrukking in de kleine slagaderen, waar geen sonde in het bloed meer kan aangebracht worden, handelt men op omgekeerde wijze en laat het bloed in den toestel zelf stroomen, zooals dat boven is aangegeven.

#### **Manometrische proeven op het paard.**

Men bevindt dat in de kamer de drukking sterk afwisselt; soms stijgt zij tot 20 of 25 cM. kwikhoogte gedurende de werking van de hartspeer, en soms daalt zij tot nul of zelfs tot beneden nul, 1) gedurende de verslapping van deze spier.

---

1) Deze daling beneden nul ontstaat door de zuiging, die de veerkracht van de longen in de borst teweegbrengt; men kan deze aantoonen met behulp van de *sonde voor negatieve drukkingen*, waarover wij later zullen spreken.

In de groote slagaderen is de drukking gelijk aan die in de kamer, op het oogenblik dat het bloed uit het hart stroomt, maar gedurende de verslapping van het hart is de vermindering der drukking niet zoo sterk als in de kamer; de oorzaak hiervan ligt in de kleppen, die het slagaderlijke bloed beletten om in het hart terug te keeren. Het bloed wordt dus in een stelsel van veerkrachtige kanalen gedreven, waaruit het langzamerhand langs de nauwe en lange wegen van het haarvatenstelsel wegvloeit.

De gelijkheid van de maxima van drukking in de slagaderen en in de kamer wordt op de volgende wijze proefondervindelijk aangetoond: men brengt door de strotslagader van een paard een sonde aan, die door de aorta heengaat en tot in de linkerkamer doordringt. 1) Door de sonde van de kamer in de aorta en omgekeerd te brengen, krijgt men vergelijkende aanwijzingen van de drukking in beide organen, welke aanwijzingen des te juistere zijn wanneer zij zooveel mogelijk op hetzelfde oogenblik en met hetzelfde werktuig zijn verkregen.

#### **Verhouding tusschen de bloedsdrukkingen in de linkerkamer en in de aorta.**

Deze voor de physiologie zoo bijzonder gewichtige proef werd op de volgende wijze genomen:

In de linkerkamer werd door de strotslagader en de aorta een sonde, en eveneens een tweede sonde, even gevoelig als de eerste, in de aorta zelf aangebracht. De eerste sonde gaf het tracé n<sup>o</sup>. 1 (fig. 145), de tweede het tracé n<sup>o</sup>. 2. Ongeveer op het midden der proef werd de sonde uit de kamer weggenomen; de drukking steeg nu plotseling tot  $a$ ; dit was daaraan te wijten dat de sonde uit de verslachte kamer, waar de drukking bijna nul is, nu in de aorta kwam, waarin het bloed, teruggehouden door de halve-maanvormige kleppen, onder een hoogerem druk staat, die slechts langzamerhand afneemt bij het wegvloeien door de kleine bloedvaten.

De drukking in de aorta wordt grooter in het tijdsverloop van

---

1) Deze sonde kan door de lippen van het klapvlies worden gebracht, zonder daarvan de werking te verstoren.

*b* tot *c*, tengevolge van een nieuwen aanvoer van bloed uit de kamer. De gestippelde lijn, die de veranderingen in drukking van de linkerkamer aangeeft, toont aan dat de drukkingen in de kamer en in de aorta nagenoeg even groot zijn gedurende de systole der kamer, maar dat zij veel verschillen gedurende de diastole der kamer.

Deze afwisselende verschillen en gelijkheden tusschen de drukkingen in het hart en in de slagader ontstaan, zooals wij zeiden, daaruit dat de aorta beurtelings in gemeenschap staat met de kamer en vervolgens daarvan gescheiden is door de halvemaansgewijze klapvliezen. Het is hiermee gelegen als met een pompbuis, waarin de drukking sterk negatief kan zijn wanneer deze buis zich vult, terwijl toch in de afvoerbuis de drukking positief blijft tengevolge van het sluiten der klep, op het oogenblik dat de opzuiging begint. Van af het oogenblik dat de pomp de vloeistof in de afvoerbuis voortstuwt, is zoowel de drukking in deze als in de pompbuis positief, omdat nu de beide ruimten door het openen der klep met elkaar in gemeenschap staan.

Vergelijkt men eindelijk nauwkeurig met elkaar de drukkingen in de kamer en in de aorta, op het oogenblik dat deze ruimten met elkaar in gemeenschap staan, dan zal men bevinden dat de slagaderlijke drukking steeds een weinig zwakker is dan die der kamer. Dit is een noodzakelijke voorwaarde voor het dringen van het bloed van het hart in de vaten, want het is een algemeene wet dat de beweging van vloeistoffen steeds plaats vindt in die richting, waarin een vermindering van drukking plaats heeft.

#### **Rhythmische veranderingen van de bloedsdrukking in de slagaderen.**

Even als in de kamer, verandert ook in de slagaderen de bloedsdrukking, maar in veel mindere mate. Terwijl de maxima der drukking in beiden ongeveer gelijk zijn, zooals figuur 145 aan toont, is dit niet het geval met de minima, die in de slagaderen nooit tot nul dalen, aangezien de uitstrooming door de haarvaatnetten in de aderen langzaam plaats vindt, en ook omdat het hart elk oogenblik weer een nieuwe golf aanvoert, waardoor de vermindering in drukking weer wordt hersteld.



Bij deze afwisselingen daalt de slagaderlijke drukking nooit beneden een zeker minimum, dat afhankelijk is van den toestand

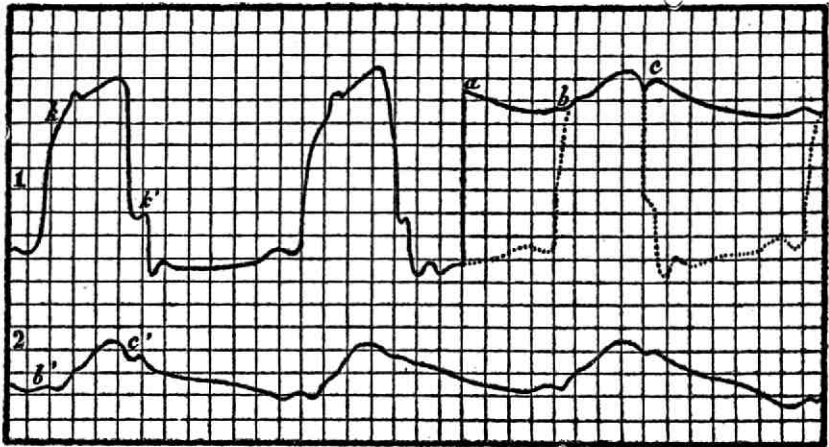


Fig. 145. Vergelijking van de bloedsdrukking in de linkerkamer met die in de aorta.

van den bloedsomloop. Hierdoor zijn de physiologen er toe gekomen om bij de slagaderlijke drukking twee elementen te onderscheiden: de constante en de veranderlijke drukking. 1) De eerste komt overeen met dat gedeelte van de manometer-schaal, dat tusschen het nulpunt en de minima der veranderingen begrepen is (CD fig. 146); de veranderlijke drukking VD daarentegen beweegt zich tusschen de maxima en de minima der veranderingen.

Door een groot aantal tracès, die onder verschillende omstandigheden en bij proefnemingen op verschillende dieren waren verkregen, met elkaar te vergelijken, heeft men gevonden dat er een omgekeerd evenredige betrekking bestaat tusschen de constante en de veranderlijke drukking; hoe grooter de eerste is, des te geringer zijn de veranderingen en omgekeerd.

Deze omstandigheid vindt haar oorzaak hierin dat de kracht, waarmede het hart werkt, beperkt is, even als de kracht van elke spier, zoodat dus de slagaderlijke drukking begrensd blijft binnen de maxima van druk, die door de werking van het hart

1) De eerste wordt ook wel de slagaderlijke drukking, de tweede de drukking van het hart genoemd.

worden voortgebracht; bovendien geschiedt de uitstrooming van het bloed door de haarvaten met sterke afwisselingen 1), waaruit volgt dat in het tijdsverloop, waardoor twee opvolgende bloedgolven uit het hart van elkaar gescheiden worden, de eerste van die golven zich meer of minder ver zal hebben verspreid, naar mate aan den stroom minder of meer weerstand wordt geboden of naargelang het bedoelde tijdsverloop langer of korter zal zijn.

Bij een standvastige maximum-drukking zal men dus, naargelang van omstandigheden, een der typen verkrijgen, in fig. 146 voorgesteld; in het eerste geval zijn de veranderingen klein bij

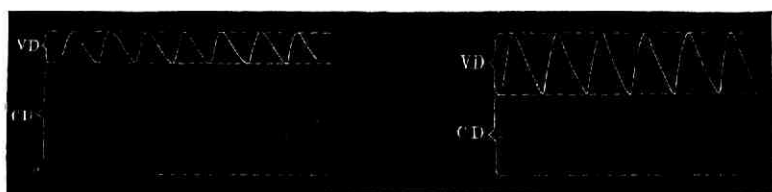


Fig. 146. Omgekeerd evenredige betrekking tusschen de afwisselingen der veranderlijke drukking en de grootte der constante drukking.

een groote standvastige drukking, in het tweede geval zijn zij groot bij een kleine standvastige drukking.

#### Het afnemen van de drukking in de haarvaten.

Wanneer men de drukking van het bloed in het haarvaatstelsel van het eene einde naar het andere nagaat, dan zal men vinden dat deze volgens de gewone hydrostatische wetten afneemt; deze wetten zijn echter door BERNOUILLI gevonden onder veel eenvoudiger omstandigheden, dan zich bij den bloedsomloop voordoen. BERNOUILLI vond dat de drukking van een vloeistof in een buis, die over haar geheele lengte dezelfde middellijn heeft, regelmatig afneemt, naarmate men zich verder van den oorsprong der drukking verwijderd (fig. 147).

1) Deze veranderlijkheid ontstaat tengevolge van het toe- of afnemen van de middellijn dezer vaten, onder den invloed van de verslappung of van de samentrekking hunner spierwanden.

Indien echter de middellijn der buis in verschillende punten verandert, of indien door eenige oorzaak de weerstand, dien het

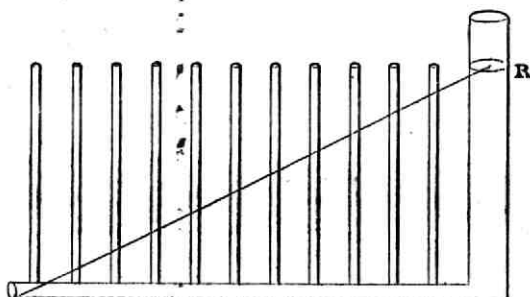


Fig. 147. Regelmatige vermindering van de drukking in buizen, die over haar geheele lengte dezelfde middellijn hebben.

bloed in de verschillende deelen der buis ondervindt, grooter of kleiner wordt, dan zal de verandering in drukking volgens een veel meer ingewikkelde wet plaats vinden.

Nemen wij in plaats van een eenvormige buis, een buis met veranderlijke middellijn, zooals in figuur 148 is voorgesteld; wij

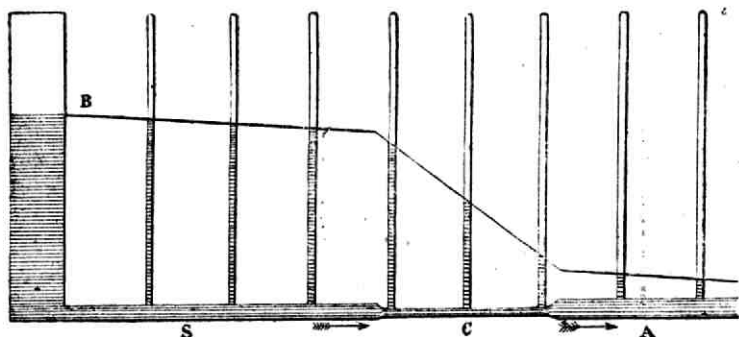


Fig 148. Onregelmatige vermindering van de drukking in buizen met veranderlijke middellijn.

zullen zien dat hier de drukking alleen snel afneemt in de nauwe kanalen, waarin de vloeistof een grooten weerstand ontmoet; dat zij in de slagaderen S nagenoeg onveranderd blijft, in de haarvaten C sterk vermindert en in de aderen A nagenoeg nul wordt.

Dit afnemen der drukking in de verschillende vertakkingen van het vaatstelsel gaat gepaard met een ander verschijnsel, namelijk

het gelijk worden der drukking tengevolge van de veerkracht der slagaderen. Dit verschijnsel kan vergeleken worden bij dat, 'twelk zich bij de brandspuit voordoet, waarbij door de drukking van de in den windketel samengeperste lucht bij de afgebroken werking van den zuiger toch een onafgebroken uitstrooming plaats heeft. Later zullen wij zien dat de pols, die juist ontstaat door de afwisselende ongelijkheden van de bloedsdrukking in de slagaderen, zwakker wordt en zelfs geheel verdwijnt, naargelang men een slagader beschouwt die verder van het hart is verwijderd

**Het meten der krachten die bij de ademhaling in werking treden, met behulp van den manometer.**

De registreerende manometers kunnen ook gebruikt worden voor het meten van de drukkingen, waaraan de in- of uitgeademde lucht is blootgesteld. Met deze werktuigen worden de maxima van drukking bepaald die een mensch kan ontwikkelen, door in een manometer te blazen; eveneens de kracht van aspiratie, die het gevolg is van het verwijden der borstkas en de kracht van inblazen, die kan worden uitgeoefend bij het samentrekken van de mondholte.

**Drukking in de pleurale holte; het meten van de veerkracht der longen en verdere toepassingen.**

Wordt de manometer in verbinding gesteld met de pleurale holte, dan kan men volgens de methode van DONDERS 1) de grootte van deze holte of de kracht, waarmee de long wordt teruggetrokken, bepalen. Brengt men een manometer in het darmkanaal aan, dan kan men de drukking meten waaraan de vloeistoffen en gassen zijn blootgesteld en in enkele gevallen ook de kracht van samentrekking van de wanden van het darmkanaal bepalen. RANVIER heeft den manometer aan de uitscheidende kanalen aangebracht en zodoende de kracht bepaald waarmede de afscheidingen plaats hebben.

Voor het registreeren van de veranderingen der dampkrings-

---

1) Zie DONDERS, *Physiologie des Menschen*, pag. 414. Leipzig, 1859.

drukking gebruikt men registreerende barometers; zoowel de kwikbarometer als de aneroïde-barometer kan als registreertoestel worden ingericht; de eerste is voor nauwkeurige bepalingen, de laatste voor het bepalen van snelle veranderingen aan te bevelen. Die van BOURDON is in het laatste geval het meest geschikt; de metalen doos wordt verbonden met een registreerenden hefboom; door de beweging van de veerkrachtige wanden der doos zal de punt van den hefboom op een draaienden cilinder een lijn traceeren, die de opvolgende veranderingen in den dampkringsdruk nauwkeurig aanwijst. 1)

## DERDE HOOFDSTUK.

### HET REGISTREEREN VAN VERANDERINGEN IN DRUKKING DOOR PROEVEN GENOMEN BUITEN OP DE ORGANEN.

Het belang van toestellen, die geen verminking vereischen, voor geneeskundige toepassingen. — De bloedsdrukking in een slagader wordt bepaald door de grootte van den tegendruk, die noodig is om haar te overwinnen; theorie van den pols. — Het registreeren van den pols; de sphygmograaf met direkte werking; de sphygmograaf met luchttransport. — Het meten van de volstreekte bloedsdrukking in de slagaderen van den mensch, naar den uitwendigen tegendruk, die met de eerste evenwicht maakt.

Het registreeren van den hartslag bij kikvoischen, bij groote en kleine zoogdieren. — Het bepalen van de drukking binnen in het hart door een tegendruk in het pericardium. — Het meten van de bloedsdrukking door volumeveranderingen van organen.

Gaat men de nauwkeurige uitkomsten na, waartoe het gebruik van den manometer bij physiologische onderzoekingen geleid heeft, dan ontstaat van zelf de wensch om ook bij den mensch dergelijke onderzoekingen in te stellen, die op zoo gemakkelijke wijze bij

1) \* In *La Nature* IX, p. 220 wordt een zelfregistreerende barometer beschreven die berust op dit beginsel: wanneer een aantal luchtledige dozen van aneroïde-barometers onderling verbonden boven elkaar geplaatst worden, dan zal de beweging van het bovenvlak der bovenste doos door de verandering der luchtdrukking evenveel maal vergroot worden, als er dozen boven elkaar zijn geplaatst. De beweging van het bovenvlak der bovenste doos deelt zich nu met aan een schrijfstift.

Een eenvoudige inrichting, waardoor de bewegingen van de kwikkolom van een hevelbarometer registreerbaar worden gemaakt, is meegedeeld in het *Album der Natuur*, *Jaargang* 1881, *Wetenschappelijk Bijblad* p. 53. \*

de dieren tot goede resultaten voeren. Nu is hiertoe in de eerste plaats een soort van manometer noodig, die aangewend kan worden zonder dat daarbij verminking van het lichaam of van lichaamsdeelen plaats heeft. Een dergelijke toestel nu bestaat; er zijn zelfs verschillende soorten van werktuigen waarmede men bij den mensch de drukking van het slagaderlijke bloed en de veranderingen, die deze drukking in bepaalde omstandigheden ondergaat, kan meten. Men gebruikt daarvoor de *sphygmografen* of toestellen, waarmee de pols geregistreerd wordt, alsmede de werktuigen die door lijnen de volume-veranderingen der organen aangeven.

Volgens de hedendaagsche theorie van den pols worden alle verschijnselen van klopping in de vaatweefsels alleen veroorzaakt door verandering van de bloedsdrukking in de slagaderen. Drukt men den vinger tegen een slagader, dan wordt op die plaats de middellijn van de slagader verkleind; op dat punt verliest de slagader haar cilindrischen vorm en juist door dezen vorm bie en alle punten van den slagaderwand een gelijken weerstand aan de bloedsdrukking. Zoo treedt dus de vinger, die den cilindrischen vorm tijdelijk verandert, in de plaats van den weerstandbiedenden aderwand en oefent een tegendruk uit op de bloedsdrukking.

Op overeenkomstige wijze laat zich het kloppen van het hart beschouwen; dit ontstaat althans voor een groot deel door de verharding die dit orgaan ondergaat op het oogenblik, dat het zich rondom het daarin bevatte bloed samenstrekt, en dus hierop een sterken tegendruk uitoefent. Door de buigzaamheid der vaatwanden en der holten van het hart laat zich de meerdere of mindere drukking, waaraan het bloed is blootgesteld, als een sterkeren of zwakkeren stoot gevoelen, die geheel overeenkomt met hetgeen de manometer ons aangeeft met betrekking tot de veranderingen, die de bloedsdrukking in de slagaderen en in het hart ondergaat.

Deze eenvoudige begrippen omtrent den pols en het kloppen van het hart zijn noodig voor een beschouwing van de hier te bespreken werktuigen, waarvan allereerst de *sphygmograaf* onze aandacht verdient. Een goede sphygmograaf moet aan dezelfde eischen voldoen als die wij vroeger aan de veerkrachtige manometers hebben gesteld. Ook hier is het de kracht van een veer, die de vaatwanden moet samendrukken; bij de deelen van het

werktuig, die de beweging overbrengen, versterken en registreeren, moet al datgene vermeden worden, waardoor valsche bewegingen en een misvorming van het tracé kunnen worden veroorzaakt. Om met den sphygmograaf zeer nauwkeurige aanwijzingen te verkrijgen, moet de lichte hefboom, die den pols registreert, vast verbonden zijn aan de veer, die op de slagader drukt. In fig. 149

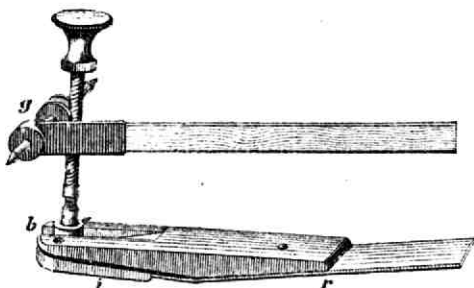


Fig. 149. Veer en hefboom van den sphygmograaf; *i*, ivoren plankje dat door de veer *r* tegen de ader wordt gedrukt; *b*, vertikale schroef, die zijdelingsche bewegingen kan maken en zoodoende in verbinding blijft met een klein tandrad, dat op een as *g* is angebracht, waaraan de hefboom is verbonden.

is een afbeelding gegeven van de inrichting van dit deel van den sphygmograaf, zooals dit het meest aan het doel schijnt te beantwoorden. Men laat een schroef, die in verbinding staat met de veer die op de slagader drukt in een tandrad grijpen, zoodat dit met elken polsslag een zeker aantal graden ronddraait; deze beweging wordt door den hefboom vergroot en geregistreerd.

Figuur 150 toont ons den sphygmograaf, zooals deze wordt

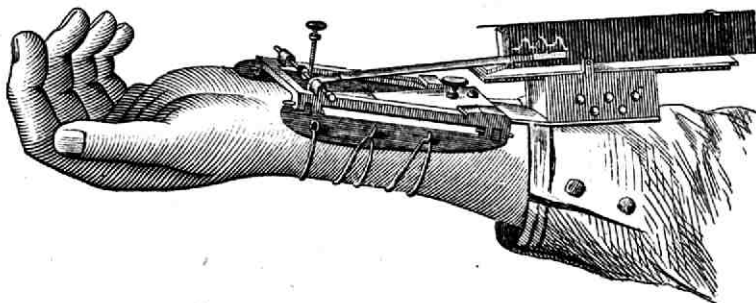


Fig. 150. Gebruik van den sphygmograaf om den pols der art. radialis te registreeren. aangewend om den pols van de spaakbeenslagader (art. radialis)

te registreeren. In figuur 151 zijn eenige polslijnen voorgesteld,

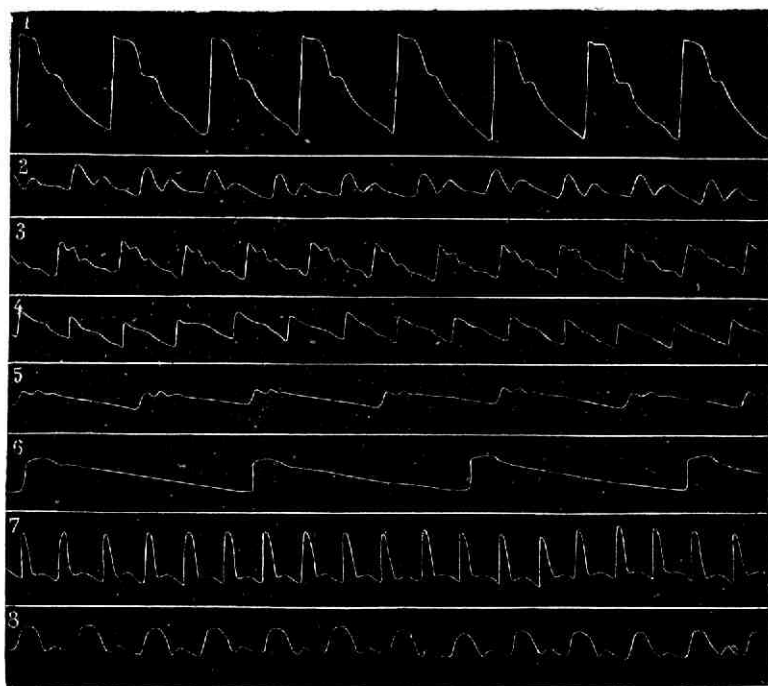


Fig. 151. Polslijnen verkregen met den sphygmograaf

die met dezen toestel zijn verkregen; deze tracés zijn van een gezond mensch, verkregen bij het verrichten van verschillende bewegingen.

De sphygmograaf geeft vooral duidelijk aan de wijze waarop de bloedsdrukking in een slagader verandert, afgezien van het volstrekt bedrag van deze veranderingen en van de gemiddelde drukking, waaraan het bloed is blootgesteld. Deze polslijnen zijn van dezelfde soort als de lijnen der slagaderlijke drukking, die met een registreerenden manometer zijn verkregen. De gelijkheid van deze twee soorten van tracés toont zich vooral duidelijk, wanneer men het tracé van den pols van dé art. radialis vergeelijkt met dat van een slagader van middelmatige grootte van een paard, geregistreerd met den manometer.

De sphygmograaf wijst ons dus, evenals de manometer, de veranderingen aan, die de bloedsdrukking in de slagaderen onder-



gaat. Men heeft ook getracht door het aanbrengen van verdeelingen aan dezen toestel, de volstreckte waarde der bloedsdrukking met den sphygmograaf te bepalen; vooral door verschillende geneesheeren, die het groote gewicht van polslijnen boven het eenvoudig waarnemen van den pols door aanraking met den vinger al spoedig inzagen, zijn vele pogingen aangewend om ook tevens met dit werktuig de bloedsdrukking te meten. Deze pogingen hebben echter tot geen resultaat geleid; want de kracht waarmee het bloed tegen de veer van den sphygmograaf drukt, hangt niet alleen af van de intensiteit der bloedsdrukking, maar ook van de grootte van den wand, waarop de drukking werkt, dus ook van den omvang van de slagader, waarop de toestel is aangebracht.

Zoo zal bij een zelfde persoon de drukking in alle aderen ongeveer gelijk zijn, maar zij zal in de grootste slagaderen ook een grootere uitwerking teweegbrengen en een sterkeren druk van den sphygmograaf vereischen om den aderswand in te drukken en om het verschijnsel van den pols te kunnen waarnemen. Zoo kan het dus voorkomen dat twee slagaderen van verschillende middellijn op hetzelfde oogenblik met den sphygmograaf worden onderzocht en dat de aan te wenden druk van de veer van den sphygmograaf voor beiden verschillend moet zijn; daaruit behoeft dan nog niet te volgen dat de bloedsdrukking in beide aderen ongelijk is. Neemt men in aanmerking dat een adergezwel weerstand biedt aan een tegendruk van eenige kilogrammen, terwijl een druk van 100 gram voldoende is om de art. radialis van dezelfde persoon in te drukken, dan is het nog niet met zekerheid uit te maken of de bloedsdrukking in het gezwel grooter is dan in het bloedvat zelf.

De verschillende wijzigingen die men bij den sphygmograaf heeft aangebracht om zijn aanwijzingen nauwkeuriger en zijn gebruik gemakkelijker te maken, zullen wij hier niet in bijzonderheden bespreken; alleen zullen wij nagaan hoe door middel van luchttransport de aanwijzingen van den sphygmograaf op een afstand kunnen worden geregistreerd.

### De sphygmograaf met luchttransport.

De toestel wordt op den voorarm bevestigd, even als vroeger werd aangegeven (fig. 152). De verticale schroef, die in verbinding staat met de veer van den sphygmograaf en waaraan de

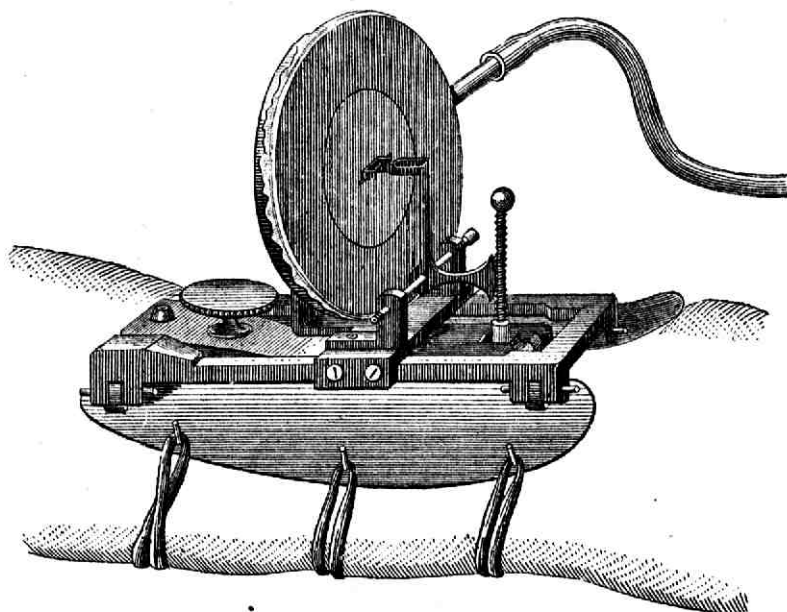


Fig 152. De sphygmograaf met luchttransport.

polsbewegingen worden meegedeeld, wordt nu niet in verbinding gesteld met de as van den registreerenden hefboom, maar met een soort van hefboom, die om een as draait en die aan het vlies van een luchttrommel is vastgemaakt; deze trommel staat nu weer door een buis met een registreerende trommel in gemeenschap. Uit de figuur is gemakkelijk te zien dat het opheffen van de veer en van de schroef het indrukken van het vlies van de eerste trommel tengevolge zal hebben, waardoor de hefboom van de tweede trommel wordt opgelicht. Bij het gebruik van dit werktuig moet men aan de vliezen van beide trommels een zeer zwakke spanning geven en zooveel mogelijk de wrijving van den hefboom op het papier verminderen. Zonder deze voorzorgen zou het tracé veel te zwak worden.

Met dezen sphygmograaf kan men traceés krijgen van onbepaalde lengte, wanneer men op een langen cilinder de lijn spiiraalsgewijze traceert. Bovendien kan men het kloppen der slagader nu gelijktijdig met het kloppen van het hart registreeren, waardoor men zeer belangrijke punten van vergelijking krijgt tusschen de vormen van beide verschijnselen. Eindelijk kan ook de persoon, op welke de proefneming geschiedt, alle mogelijke houdingen aannemen gedurende het registreeren, omdat de registreertoestel hier is afgescheiden van den eigenlijken sphygmograaf.

Indien men den arm oplicht, waarop een sphygmograaf met luchttransport is geplaatst, zal het gewicht der bloedkolom, dat in tegengestelde richting op den bloedstroom werkt, een vermindering van druk in de slagader teweegbrengen. Beweegt men den arm naar beneden en laat men de hand hangen, dan zal omgekeerd de druk in de ader grooter zijn. In deze gevallen wordt namelijk de drukking, die door de werking van het hart ontstaat, vermeerderd of verminderd met het gewicht van een bloedkolom, die even lang is als de arm.

#### **Het meten van de volstrekte bloedsdrukking in de slagaderen van den mensch.**

De sphygmografen geven alleen de betrekkelijke waarde aan van de slagaderlijke bloedsdrukking en van de zoo snelle veranderingen, die deze elk oogenblik ondergaat; hierin verschillen dus deze werktuigen van den manometer, die de volstrekte waarde der bloedsdrukking aangeeft, daar hij in direkte gemeenschap met het bloed wordt gebracht.

Men kan nu ook ten naastenbij de grootte der bloedsdrukking in de slagaderen van den mensch bepalen. Hiertoe bepaalt men den uitwendigen tegendruk, die voldoende is om het bloed te beletten in een of ander orgaan te stroomen. Wordt de toevoer van bloed in een orgaan door een tegendruk, op de oppervlakte daarvan uitgeoefend, belet, dan is het duidelijk dat de bloedsdrukking, zelfs bij de maxima, die overeenkomen met de systole der kamer, iets minder zal zijn dan de genoemde tegendruk (voor verdere bijzonderheden hieromtrent zie men Techniek, Hfst. VII.)

**Het meten van de drukking in het hart door een tegendruk in het pericardium.**

Uit de door FRANÇOIS-FRANCK genomen proeven is gebleken dat de holten van het hart uitwendig worden samengedrukt door een vloeistof, die in het pericardium wordt gebracht, tengevolge waarvan de werking van het hart ophoudt, daar nu deze holten niet kunnen gevuld worden. De samendrukking werkt eerst op dat gedeelte van het hart, waar de drukking het geringst is, dus op de hartooren, die niet meer werken, zoodra de druk in het pericardium tot 2 cM. kwikhoogte is gestegen; op dat oogenblik zendt het hart dus geen bloed meer naar de slagaderen, maar deze stilstand is slechts voorbijgaand; want het bloed, dat door het aderstelsel terugkomt, vermeerdert weer de drukking in de hartooren en spoedig begint de werking van het hart weer opnieuw, in weerwil van den tegendruk. Wordt nu deze laatste opnieuw vergroot, dan zal weer de stilstand van de hartwerking plaats hebben. Ook heeft FRANÇOIS-FRANCK proeven genomen met het doel, de wijze van het sterven gedurende de bloeditstortingen binnen in het pericardium na te gaan. Volgens hem zou de dood meer of minder snel intreden naargelang van het bedrag der bloeditstorting en van den tijd, dien het bloed noodig heeft om in het pericardium een even groote drukking te bereiken als in de hartooren.

**Het registreeren van den hartslag.**

De hartslag wordt voornamelijk veroorzaakt door een verharding van dit orgaan, die altijd op een vermeerdering van drukking binnen in de kamers wijst. Het bestudeeren van den hartslag is dus eigenlijk op het uitwendige van het hart de veranderingen van de bloedsdrukking in het inwendige waar te nemen.

Om den hartslag op te teekenen dienen verschillende toestellen: in de laatste afdeeling van dit werk zal in het bijzonder de toestel, die bij den mensch het meest wordt aangewend, beschouwd worden.

In de figuren 153 en 154 zijn tracés van den hartslag voorgesteld, zooals die verkregen zijn bij den mensch en bij dieren.

In figuur 153 ziet men den hartslag van den hond met de onregelmatigheden die samengaan met de ademhaling. Figuur 154

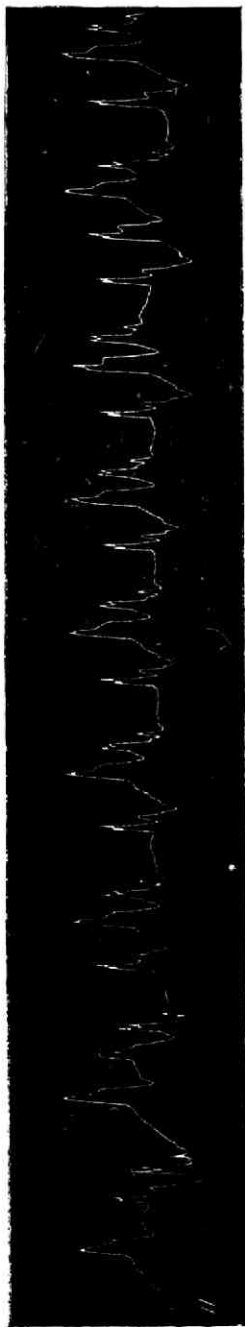


Fig. 153. Hartslagen van een hond; zij vertoonen rhythmische onregelmatigheden die samenzaan met de ademhaling.

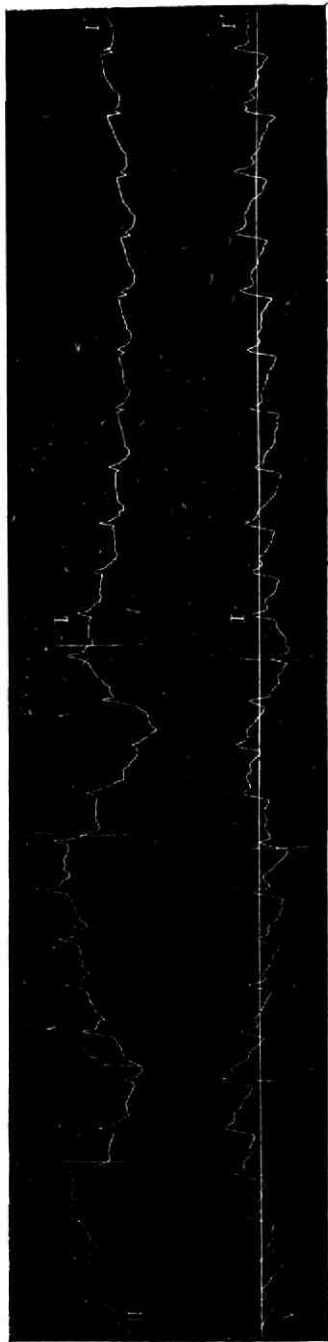


Fig. 154. H, hartslag bij den mensch; V, volume-veranderingen van de hand. In het midden van het traac houden de ademhalings-bcve-  
gingen een oogenblik bij de inspiratie op: van I tot I' ziet men de lijn der hartslagen, die negatief worden, van vorm veranderen.

wijst den hartslag van den mensch aan; in het midden van het tracé merkt men een verandering in den vorm der hartslagen op; deze wordt veroorzaakt door een oogenblik met ademen gedurende de inademing op te houden. (Zie Techniek, Cardiografie op den mensch.)

### Het registreeren van den hartslag bij kleine dieren.

Om den hartslag bij den kikvorsch te registreeren, kan men zeer goed gebruik maken van een soort van tangetje (fig. 155)

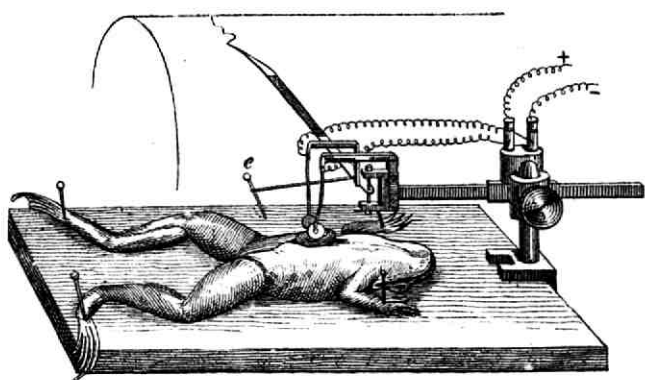


Fig. 155. Hart-tang of hart-myograaf aangewend op den kikvorsch.

men pakt de kamer tusschen de beenen van de tang, die bij het openen en sluiten een registreerenden hefboom in beweging brengen.

Bij kleine zoogdieren, zooals het konijn, de cavia, enz. kan men den hartslag zeer nauwkeurig registreeren met den toestel, die in fig. 156 is afgebeeld. Deze toestel bestaat uit twee trommels, wier vliezen door middel van springveeren gespannen zijn. De trommels zijn door een scharnier verbonden en openen zich beiden in een y-vormige buis, wier uiteinde in verband staat met een trommel met hefboom. Op deze wijze verkrijgt men in een zelfde tracé de som der hartslagen, die door beide trommels worden overgebracht. Bij de bovengenoemde kleine zoogdieren is toch het hart nagenoeg juist in het midden van den tweevlakkenhoek boven het sternum gelegen; men plaatst nu den toestel zoodanig dat het scharnier juist op de deellijn van genoemden hoek komt te

liggen, terwijl dan de borstkas van het dier de ruimte inneemt, die in de figuur door de ellipsvormige gestippelde lijn is voorge-

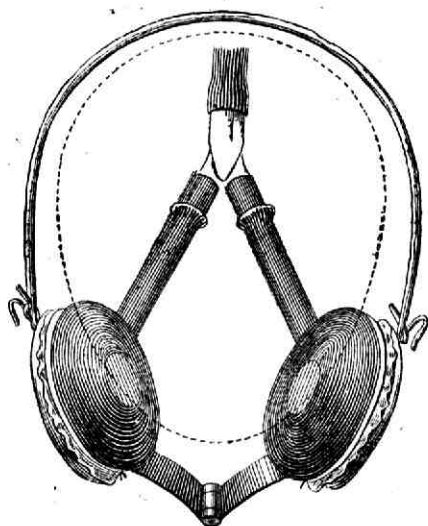


Fig. 156. Toestel met twee onderling verbonden trommels voor het registreeren van den hartslag bij kleine dieren.

steld; men drage daarbij zorg dat het door de beide trommels, evenals door de beenen van een tang, wordt gevat. De goede aansluiting van den toestel wordt verzekerd door een band, die om het lichaam van het dier geslagen en aan elk der trommels met een haakje wordt vastgemaakt.

Met behulp van dezen toestel is het mogelijk om uren lang de hartslagen bij een konijn te registreeren, waardoor men alle wijzigingen, die de hartslag tengevolge van verschillende invloeden ondergaat, kan nagaan.

Eindelijk kan men met deze twee ontvangtrommels, waarvan de eene tegen het rechter en de andere tegen het linker hart is gelegen, den hartslag van elk deel afzonderlijk opvangen; daartoe behoeft men slechts een der takken van de y-vormige buis samen te drukken. Niettegenstaande de twee deelen van het hart vast met elkaar zijn verbonden, kan men gewoonlijk een duidelijk verschil tusschen het kloppen van de beide kamers waarnemen.

In figuur 157 is het tracé van den hartslag van een konijn voorgesteld, opgeteekend op een langzaam draaienden cilinder;



Fig. 157. H, hartslagen van een konijn, met adembalingslijnen, die op een langzaam draaienden cilinder zijn opgeschreven. Invloed van de prikkeling van het peripherische einde van een doorgesneden nervus vagus (lijn S.)

figuur 158 toont ons deze lijn, getraceerd op een sneldraaienden

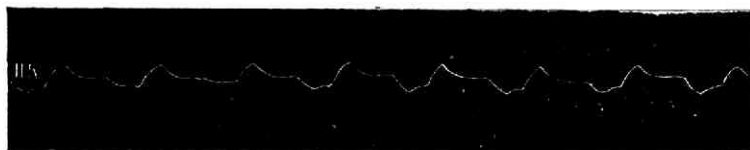


Fig. 158. Hartslagen van een konijn, geregistreerd op een snel draaienden cilinder,  $0,042^{\text{mm}}$  per seconde.

cilinder. Men laat den cilinder langzaam of snel draaien, naargelang men den hartslag tot in de kleinste bijzonderheden wil onderzoeken of dat men gedurende langen tijd de wijzigingen, die hij ondergaat, wil nagaan. Deze toestellen, die aangewend worden voor het registreeren van den hartslag, gelijken veel op den toestel, dien wij boven onder den naam van sphygmograaf met luchttransport hebben leeren kennen. Wordt dit werktuig voor het registreeren van den pols tegelijk aangewend met den toestel, die de hartslagen opteekent, dan kan men zodoende het verband leeren vinden tusschen de eigenaardigheden van deze beide soorten van verschijnselen, die zoozeer van elkaar afhankelijk zijn.

#### **Met registreeren van de volumeveranderingen van organen.**

Even moeilijk als de meetkundige handelwijzen zijn om het volume van een lichaam van onregelmatigen vorm te bepalen, even eenvoudig, snel en zeker leidt de experimenteele weg tot hetzelfde doel. Naar de methode van ARCHIMEDES wordt een



lichaam in water gedompeld en het volume van de verplaatste vloeistof gemeten; kan het lichaam niet in water gedompeld worden, dan kan zijn volume toch zeer nauwkeurig worden bepaald. De handelwijzen, die SAY en REGNAULT hiervoor in dit geval aangeven, komen in 't kort hierop neer: wanneer de inhoud van een ruimte bekend is, die met lucht is gevuld, dan laat men dezen inhoud met een eveneens bekend bedrag vermeerderen of verminderen en teekent de verandering in drukking op, die hiervan het gevolg is. Daarna wordt het lichaam, welks volume men bepalen wil, in dezelfde ruimte gebracht, waarna men den inhoud evenals de eerste maal laat veranderen; bij deze tweede proef nu zal de verandering in drukking grooter zijn dan bij de eerste, aangezien nu het volume lucht kleiner was dan in het eerste geval, tengevolge van het inbrengen van het lichaam. Uit dit verschil in drukking wordt ten slotte het volume van het lichaam bepaald.

Er zijn dus twee manieren, volgens welke men het volume van een lichaam kan bepalen: 1<sup>e</sup> de hoeveelheid water te meten, die het lichaam verplaatst, of 2<sup>e</sup> de vermeerdering in drukking te bepalen van een hoeveelheid gas, waarin het is gedompeld. Beide handelwijzen kan men naar gelang van omstandigheden volgen en voor een grafische bepaling met zeer goed gevolg aanwenden, zooals wij zullen zien.

1<sup>e</sup>. *Bepaling uit de hoeveelheid weggevloeid water.* — Niet alleen het volume van een lichaam, maar ook de veranderingen in volume van een lichaam moeten bepaald worden; gesteld dus dat het lichaam in een bak met water is gedompeld, dan kan men het wegvloeiende water door middel van een buis geleiden naar een verdeeld proefbuisje; op deze wijze zal men elk oogenblik, naar de stijging van den vloeistofspiegel in het proefbuisje, de toename in volume van het lichaam kunnen waarnemen; wordt dit volume daarentegen kleiner, dan zal men dit bemerken door een daling van den waterspiegel, daar alsdan het water wordt opgezogen.

Vroeger is aangegeven, hoe deze rijzingen of dalingen van den vloeistofspiegel kunnen worden geregistreerd. Zijn de volumeveranderingen gering, dan is het zaak om zich van het vroeger beschreven drijvend proefbuisje te bedienen.

Deze handelwijze heeft Mosso gevolgd om de volume-veranderingen van een orgaan te bepalen, die het gevolg zijn van veranderingen in den bloedstroom, die door dit orgaan loopt; op deze wijze heeft hij de geringste veranderingen in de middellijn der kleine bloedvaten onder de vaso-motorische invloeden waarneembaar en meetbaar gemaakt.

Deze wijze van bepaling heeft ook nog dit voordeel dat men onmiddellijk het volstrekt bedrag der volume-veranderingen van het ingedompelde orgaan kan vinden. De ordinaten der geregistreerde lijnen zijn toch steeds evenredig met de hoeveelheden vloeistof, die door het proefbuisje worden opgenomen; door een behoorlijke verdeeling van het werktuig nu kan het bedrag van elke verdeeling op de ordinaten-as gemakkelijk met juistheid vastgesteld worden.

2<sup>e</sup>. *Bepaling uit de veranderingen in drukking.* — Evenals in het vorige geval wordt ook hierbij het lichaam, welks volume-veranderingen men wil bepalen, in een glas met water gedompeld; maar in plaats van nu het water te laten wegvloeien, wordt dit geleid naar een gesloten ruimte, die met lucht is gevuld (fig. 159); deze lucht wordt daardoor meer of minder samenge-drukt, en deze samenpersing wordt door middel van een trommel met hefboom geregistreerd.

Deze methode is met goed gevolg door FRANÇOIS-FRANCK bij physiologische onderzoekingen aangewend. Terwijl in de laatste afdeeling van dit werk deze onderzoekingen meer in 't bijzonder worden uiteengezet, zullen wij hier alleen in 't kort de voor-naamste uitkomsten van zijn proefnemingen vermelden.

Den voorarm van een mensch kan men als een veerkrachtigen manometer beschouwen, waardoor veranderlijke hoeveelheden bloed stroomen, en die bijgevolg veranderingen in volume ondergaat tengevolge van de veranderingen in de bloedsdrukking. Het volume van den voorarm zal dus altijd in denzelfden zin als de bloedsdrukking veranderen, en zal oogenblikkelijk aanwijzen of deze drukking toe- of afneemt; maar evenmin als de veerkrachtige manometer, zal de arm door deze volume-veranderingen het ware bedrag van de inwendige drukking aangeven. Om dat bedrag te bepalen, moet de inwendige druk in evenwicht worden gebracht door een uitwendigen tegendruk, zooals vroeger is gezegd.

De toestel, in figuur 159 voorgesteld, kan bij klinische onder-

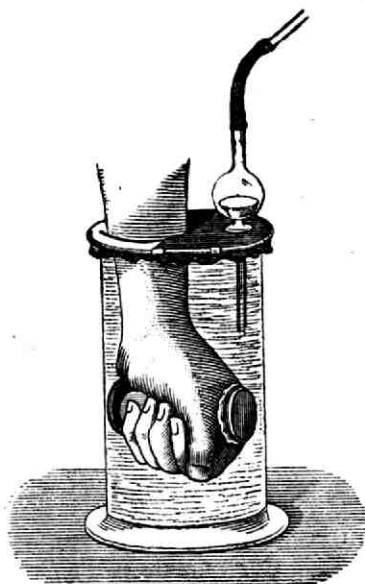


Fig. 159. Toestel om de volume-veranderingen van de hand te registreeren. Het vlies, waardoor de voorarm wordt gestoken, is onbeweegbaar gemaakt door een metalen plaat; de veranderingen in den vloeistofspiegel hebben hier plaats in de buis van een pipet, die door het vlies is gestoken; de rijzigen en dalingen van den vloeistofspiegel worden op een afstand geregistreerd. 1

zoekingen evenals de sphygmograaf met luchttransport worden aangewend, waarvan hij de aanwijzingen kan controleeren en aanvullen; zelfs kan men in enkele gevallen, waarin de pols van de art. radialis te zwak is om op een afstand te worden overgebracht, met dezen toestel de totale uitwerking van de kloppingen in bloedvaten der hand registreeren, zooals vroeger door FRANÇOIS-FRANCK bij de onderzoekingen betreffende de vertraging van den pols bij adergezwellen is gedaan. 1)

Kortom, het volume der organen verandert naarmate het bloed in meerdere of mindere hoeveelheid door die organen stroomt. Nu is de hoeveelheid bloed, die in het orgaan treedt, afhankelijk

1) *Journal de l'Anatomie*, 1 Maart 1878.

van twee factoren: 1<sup>e</sup> van de kracht, waarmee het bloed wordt voortgestuwd, d. w. z. van de bloedsdrukking; 2<sup>e</sup> van het vermogen, waarmee de vaatwanden aan den inwendigen druk weerstand bieden.

Elke volume-verandering, die door den toestel wordt aangegeven, heeft dus tweeërlei beteekenis; zij geeft een verandering in de bloedsdrukking, of een verandering in het weerstandsvermogen der bloedvaten aan. Dit weerstandsvermogen is nu op zijn beurt weer uit 2 factoren samengesteld: de veerkracht en de samentrekbaarheid der vaten; nu moet hier alleen de laatste beschouwd worden, want deze alleen is in staat om snelle veranderingen in het volume van organen teweeg te brengen.

Schijnbaar bieden deze verschillende factoren, waaruit dus het verschijnsel van de volume-verandering is samengesteld, veel zwarigheden aan onderzoekingen van dezen aard; wij zullen echter later zien hoe men uit de volume-veranderingen van een orgaan kan opmaken, welke rol de bloedsdrukking en de samentrekbaarheid der vaatwanden daarbij ieder afzonderlijk hebben vervuld.

---

## VIERDE HOOFDSTUK.

### HET REGISTREEREN VAN TREKKRACHTEN EN VAN ARBEIDS- VERMOGEN VAN BEWEGING.

Het registreeren van arbeidsvermogen van beweging. — Het registreeren van den arbeid verricht door de spieren. — Het verlies van arbeidsvermogen van beweging bij schokken. — Besparing van den arbeid, verkregen door het aanwenden van bij tusschenpoelen werkende krachten door tusschenkomst van een veerkrachtig lichaam. — Arbeid verricht door hartspieren en in 't algemeen door de spieren die een werking op vloeistoffen uitoefenen. — Bepaling van den weerstand in buizen. — Het besparen van arbeidsvermogen van beweging van het hart door de veerkracht der slagaderen.

#### **Het registreeren van arbeidsvermogen van beweging.**

Zooals wij reeds vroeger opmerkten, is het mechanisch arbeidsvermogen steeds gelijk aan het produkt van twee factoren: overwonnen weerstand en weg. Daar nu volgens het beginsel van NEWTON de reactie gelijk is aan de actie, d. w. z. dat de kracht

die wordt uitgeoefend om een weerstand te overwinnen, gelijk en tegengesteld is aan den weerstand, dien het lichaam aan de uitgeoefende kracht biedt, kan men als maat voor het arbeidsvermogen ook de kracht nemen, vermenigvuldigd met den doorloopen weg. Voor de grafische voorstelling van het produkt van twee grootheden heeft men, gelijk wij vroeger hebben aangetoond, het oppervlak van een rechthoek, waarvan de twee aan een hoekpunt samenkomende zijden elk dezer grootheden vertegenwoordigen. Moet men dus een arbeid van 5 kilogrammeter grafisch voorstellen, dan neemt men op de *y*-as een lengte gelijk aan 5 eenheden (fig. 160), op de *x*-as een lengte gelijk aan 1 eenheid

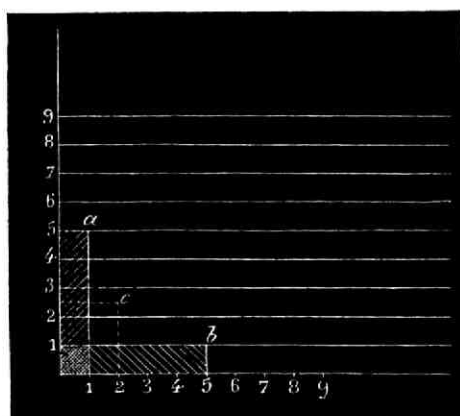


Fig. 160 Verschillende grafische uitdrukkingen voor een arbeidsvermogen van 5 kilogrammeter.

de rechthoek *a*, in de figuur met arceeringen voorgesteld, waarvan de zijden gelijk zijn aan 5 en 1, zal dus de grafische uitdrukking zijn van 5 kilogrammeter.

Aangezien men echter van een produkt de factoren mag verwisselen, zal dit arbeidsvermogen evenzeer door den rechthoek *b* worden voorgesteld, die verkregen is door 1 voor ordinaat en 5 voor abscis te nemen, of door den rechthoek *c*, die een even groot oppervlak heeft.

Deze grafische voorstelling van het arbeidsvermogen is ontegenzeggelijk verre te verkiezen boven de uitdrukking in getallen, want zij wijst ons aan hoe de arbeid is verricht; zij toont ons

als 't ware den vorm van den arbeid aan. Zoo geeft ons de rechthoek *a* aan dat 5 kilogrammen over een afstand van 1 meter zijn verplaatst; rechthoek *b* daarentegen wijst aan dat 1 kilogram over 5 meter, en rechthoek *c* dat 2,5 kilogram over 2 meter zijn verplaatst. In welken vorm dus het arbeidsvermogen van 5 kilogrammeter dus ook mag verkregen zijn, de grafische figuur zal dezen vorm steeds in al zijn bijzonderheden aantonen.

In het bovenstaand geval werd verondersteld dat de kracht standvastig bleef gedurende het doorloopen van den geheelen weg; is echter de kracht veranderlijk, dan zal de vorm van den arbeid wel is waar meer samengesteld zijn, doch even gemakkelijk grafisch zijn voor te stellen; bij elk punt van den doorloopen weg, dat op de *x*-as wordt aangegeven, zal een ordinaat van een zekere lengte behooren, overeenkomende met de grootte der veranderlijke kracht op dat oogenblik. Worden de toppunten van deze ordinaten door een kromme lijn verbonden, dan zal het oppervlak, dat aan de bovenzijde door deze lijn wordt begrensd, den besteden arbeid uitdrukken.

Deze lijn herinnert ons in alle opzichten aan die, welke PLAYFAIR heeft geconstrueerd om de balans van den handel van Engeland voor te stellen; de ordinaten gaven hier den invoer in de opvolgende jaren aan, het oppervlak der figuur drukte de totale waarde van den invoer gedurende een zeker aantal jaren uit. Nu had men wel door een getallenstatistiek het totale bedrag van den invoer gedurende een bepaalden tijd kunnen aangeven, want hiertoe behoefde men slechts de verschillende jaarlijksche sommen bij elkaar te tellen of het gemiddeld bedrag van den invoer met het aantal jaren te vermenigvuldigen; maar hoeveel minder zou ons deze rekenkundige opgave hebben aangetoond dan de grafische lijn, die nauwkeurig alle veranderingen van het verschijnsel aangeeft. Evenzoo is het gesteld bij elke proefondervindelijke bepaling van den arbeid; zoowel in de physiologie als in de werktuigkunde moet men zich ten doel stellen de grafische voorstelling van den arbeid te verkrijgen, ten einde niet alleen daarvan het juist bedrag, maar ook den vorm te kennen, waarin hij is voortgebracht.

Door WATT is het registreeren van den arbeid, die door den stoom in den cilinder van een stoomwerktuig wordt verricht, uitgedacht en verwezenlijkt. Het vraagstuk kwam hierop neer:

een lijn te construeeren, wier ordinaten de achtereenvolgende waarden der stoomdrukking in den cilinder, en wier abscissen de door den zuiger doorloopen wegen voorstelden. Te dien einde liet WATT de drukking van den stoom op een soort van een manometer werken, die van een veer was voorzien; deze manometer, de zoogenaamde *aanwijzer* (indicator), geleidde een traceerstift evenwijdig aan de as van een cilinder; de uitslagen van de stift, d. w. z. de ordinaten, waren dus vrij nauwkeurig evenredig met de opvolgende stoomdrukkingen; van den anderen kant ontving de cilinder een heen- en weergaande draaiende beweging, voortgebracht door het op- en neergaan van den zuiger. De aldus verkregen oppervlakken gaven bijgevolg het produkt aan van de stoomdrukkingen met den door den zuiger afgelegden weg; aldus drukten zij, volgens de bepaling, de hoeveelheid arbeid uit, door den stoom verricht.

Wanneer echter de aldus door WATT verkregen lijnen ook al vrij nauwkeurig de hoeveelheid verrichten arbeid aangeven, dan bezitten zij daarentegen dit nadeel, dat zij den vorm van dezen arbeid niet juist weergeven, want door de traagheid van de deelen van den toestel ondergaan zij zekere schommelingen, die de figuur duidelijk aantoon. MARCEL DEPRez heeft een handelwijze uitgedacht, waarbij dit nadeel wordt weggenomen; wij zullen deze bij de achtereenvolgende registraties ter sprake brengen.

PONCELET heeft een methode uitgedacht om den arbeid, die bij het voorttrekken van voertuigen wordt besteed, te registreeren. Door den generaal MORIN is de toestel voor dit doel vervaardigd, waardoor hij belangrijke diensten aan de industrie heeft bewezen. Deze toestel bestaat in een dynamometer, voorzien van een stift die op een papierstrook schrijft, welke zich tengevolge van de verplaatsing van het voertuig voortbeweegt en zich zoodoende elk oogenblik verplaatst over een afstand, evenredig met den door het voertuig doorloopen weg. De beweging van het rad van het voertuig wordt door middel van een raderwerk overgebracht op een cilinder, die het papier meevoert. Door een wijziging in den dynamometer aan te brengen, waardoor hij in staat wordt gesteld de draaiende beweging van een willekeurige as over te nemen, is het registreeren van den arbeid van elk werktuig mogelijk geworden. Deze zijn de middelen om een hoeveelheid mechanischen

arbeid grafisch te bepalen; wij zullen nu zien, hoe enkele physiologische vraagstukken met behulp van deze werktuigen kunnen worden opgelost en welke wijzigingen zij behooren te ondergaan om voor enkele toepassingen te kunnen worden aangewend.

#### **Het registreeren van den arbeid door spieren verricht.**

De werking van een spier heeft een afwisselend karakter; na de contractie treedt de ontspanning in, waardoor de spier in staat wordt gesteld op nieuw arbeid te verrichten. Hierdoor nadert de arbeid van een spier tot dien van den zuiger van een stoomwerktuig; maar terwijl bij een stoomwerktuig de arbeid geregeld is en alle zuigerslagen onderling gelijk zijn, zoodat de totale arbeid wordt gevonden door den arbeid, bij een der zuigerslagen verricht, met het aantal zuigerslagen te vermenigvuldigen, kunnen de spierwerkingen daarentegen door den wil meer of minder krachtig zijn en meer of minder lang duren. Om den arbeid van de spieren te meten, moet men dus zooveel mogelijk onderling gelijke werkingen trachten voort te brengen. Men kan hierin slagen door den rhythmus van zijn spieren te regelen, hetgeen geschiedt wanneer men aan een touw trekt om een gewicht op te hijschen, terwijl men het gedurende zijn daling tegenhoudt. Wanneer de bewegingen aldus in een bepaalden rhythmus worden verricht, zoodat het stijgen en dalen van het gewicht met dezelfde snelheid plaats heeft, dan zal de arbeid bij elk dezer bewegingen even groot zijn en men zal op een overeenkomstige wijze als bij het stoomwerktuig den arbeid kunnen meten.

Om den spierarbeid te meten moet men weer de in elk oogenblik aangewende kracht en den doorloopen weg bepalen.

De kracht wordt gemeten door het werktuig, in figuur 161 voorgesteld; dit is een dynamometer, wiens aanwijzingen, door een luchtbus overgebracht, door middel van een trommel met hefboom worden geregistreerd.

Een sterke ijzeren beugel is voorzien van twee ringen, waarvan de eene ring A bestemd is voor de beweegkracht, de andere B voor den weerstand. Deze laatste ring is verbonden aan een zuigerstang, die door twee springveeren in evenwicht wordt gehouden, waarvan de sterkste volkomen weerstand biedt aan de trekkracht.



Aan de andere zijde is de zuigerstang verbonden met een caoutchoucvlies, dat een metalen doos afsluit. Wordt een trekkracht

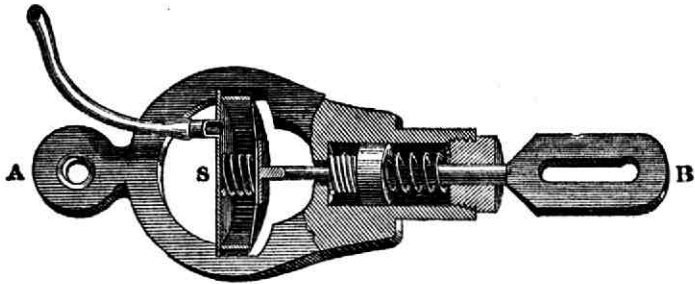


Fig. 161. Dynamograaf bestemd om trekkrachten op een afstand te registreeren.

op den dynamometer uitgeoefend, dan wordt het vlies teruggetrokken en de lucht in de metalen doos verdund. Het afwisselen van het verdunnen en samendrukken der lucht, in deze doos besloten, gaat samen met het vermeerderen of verminderen der trekkracht; deze luchtbeweging wordt door een caoutchoucuis overgebracht naar een toestel, die deze beweging op een draaienden cilinder registreert.

In het aldus verkregen tracé stijgt de lijn des te meer, naarmate de aangewende trekkracht grooter is. Het werktuig wordt verdeeld door trekkrachten van bekende grootte daarop te laten werken, en zodoende stelt men de schaal samen, volgens welke de waardebepaling der aanwijzingen kan geschieden. Op deze schaal zijn de hoogten nagenoeg volkomen evenredig met de gewichten die als trekkrachten worden gebruikt, wanneer de kracht 36 kilogram niet te boven gaat.

Om nu den arbeid te registreeren, die besteed wordt bij het opheffen van een gewicht met behulp van een riemschijf, gaat men aldus te werk: tusschen de hand en het uiteinde van het touw, waaraan men trekt, wordt een dynamograaf met luchttransport geplaatst, wiens aanwijzingen door een trommel met hefboom op een cilinder worden geregistreerd; nu moeten de bewegingen van dezen cilinder geëvenredigd zijn aan het afwisselend stijgen en dalen van het gewicht, opdat bij de verkregen lijnen de doorloopen wegen op de x-as kunnen worden afgelezen. Niets gemakkelijker dan deze afwisselende beweging op den cilinder over te

brengeu door een dergelijke handelwijze, zooals WATT volgde voor het registreeren van den arbeid van een stoomwerktuig; men benuttigt hiervoor de heen- en weergaande beweging van de riemschijf en brengt deze beweging, behoorlijk herleid, op den cilinder over, waarop de drukking wordt geregistreerd.

Door langzaam aan het touw te trekken verkrijgt men fig. 162, waarvan de bovenste lijn de aangewende krachten bij het opheffen van het gewicht voorstelt; de onderste lijn geeft de kracht aan, aangewend bij het neerdalen van het gewicht. De arbeid, besteed bij het opheffen van het gewicht, wordt gemeten door het oppervlak der figuur, die door de bovenste lijn wordt begrensd.

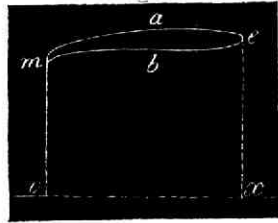


Fig. 162. Lijnen van den arbeid bij het opheffen en doen dalen van een gewicht.

Beschouwen wij deze lijn in hare bijzonderheden:  $om$  is door den dynamograaf getraceerd en meet de kracht, die noodig is om het gewicht in evenwicht te houden; daar het gewicht op dit oogenblik geenerlei snelheid bezit, is de getraceerde lijn volkomen vertikaal. In  $m$  overtreft de trekkracht de zwaarte van het gewicht en neemt toe in  $a$ , terwijl tegelijkertijd de verplaatsing aan den cilinder een wentelende beweging geeft. In het punt  $e$  vermindert de kracht; de zwaartekracht krijgt de overhand en het gewicht daalt weer langzaam, het tracé volgt de richting  $ebm$ . 1) In deze figuur zal het oppervlak  $omaeex$  den arbeid aangeven, die door de spieren is verricht om het gewicht op te heffen;  $ombex$  is de arbeid, die door het gewicht is besteed gedurende zijn daling om de spieren te spannen. De arbeid, verricht bij het opheffen, is dus blijkbaar het grootst. Dit is daaraan te wijten dat bij het opheffen de spierkracht grooter was dan het gewicht, terwijl bij het dalen slechts een gedeelte van het gewicht op de spieren werkte.

Wordt de spierkracht aangewend om een veer te spannen, dan zijn de verschijnselen een weinig verschillend van de bovengenoemde; de kracht blijft nu nagenoeg even groot gedurende de beide fasen der beweging.

1) Aangezien de toestellen niet nauwkeurig genoeg waren samengesteld, is het punt  $e$  iets hooger dan  $m$  gelegen, terwijl toch beide punten op dezelfde horizontale lijn zouden moeten liggen.

Men neemt een korten caoutchoucdraad en maakt, na dezen gespannen te hebben, een uiteinde vast aan een touw dat met den dynamometer is verbonden. De draad is met een zekere kracht gespannen, aangewezen door  $om$  (fig. 163), voordat er nog uittrekking plaats heeft.

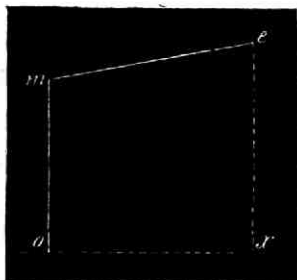


Fig. 163. Arbeid verricht bij het spannen en ontspannen van een caoutchoucdraad.

Op het oogenblik  $om$  wordt de draad uitgerekt en de cilinder begint te draaien. Gedurende het trekken neemt de veerkracht van den draad een weinig toe, hetgeen tengevolge heeft dat de lijn van den dynamograaf een weinig stijgt van  $m$  naar  $e$ . De trekkracht wordt nu verminderd en de lijn loopt over dezelfde punten terug naar  $m$  en daalt tot  $o$ .

Wordt een gewicht over een riemschijf snel opgeheven en laat men het daarna weer snel dalen, dan krijgt men de lijnen van figuur 164. De kracht is eerst aanmerkelijk groot geweest, wegens de traagheid van het lichaam, en is toegenomen van  $m$  tot in  $a$ ; daar het lichaam nu een zekere snelheid heeft verkregen, is het hoger gestegen, niettegenstaande de kracht minder werd, zooals uit dalen van de lijn blijkt. Op het einde verheft de lijn zich weer tot in  $e$ , omdat het lichaam bij zijn daling op de gespannen spieren werkt.

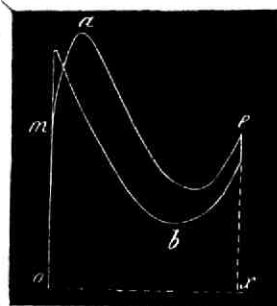


Fig. 164. Arbeid besteed bij het snel opheffen en snel dalen van een gewicht.

Uit een en ander blijkt dat de kracht van een spier geregeld wordt door de weerstanden die zij ontmoet, en wel door de traagheid der massa's, de wrijvingsweerstand en de veerkracht; deze wijzigen de intensiteit der kracht voortdurend.

Ofschoon bij twee opvolgende contracties dezelfde werkingen door den wil kunnen worden voorgeschreven en door de spiervezel kunnen worden uitgevoerd, kunnen toch bij beide contracties verschillende hoeveelheden arbeid worden besteed, wanneer de eene veel en de andere weinig weerstand ontmoet.

### **Verlies van arbeidsvermogen van beweging bij schokken.**

De kracht, die een spier bij haar contractie ontwikkelt, kan een zeker maximum niet overschrijden; nu kan het somtijds gebeuren dat de te overwinnen weerstand grooter is dan dit maximum; in dat geval hebben de spierwerkingen plaats zonder uitwendigen arbeid te verrichten; de spier wordt gespannen en verwarmd, zonder dat de weerstand, die aan haar verkorting wordt geboden, zich verplaatst. Soms neemt de weerstand gedurende een beweging snel toe, bijv. wanneer een voertuig over een oneffen weg wordt voortgetrokken; de kracht kan alsdan onvermogen zijn om den weerstand te overwinnen en er heeft een verlies aan arbeidsvermogen plaats; in den aangevangen beweging is dan een plotselinge stremming op te merken, hetgeen men een schok noemt.

Het is allen werktuigkundigen bekend dat men bij de werktuigen de schokken zooveel mogelijk moet vermijden, om geen aanmerkelijke hoeveelheid arbeid te verliezen. Bij het voorttrekken van lasten hebben deze verliezen aan arbeidsvermogen zeker menigvuldig plaats, en door deze te voorkomen zou men er in kunnen slagen een aanzienlijke hoeveelheid arbeidsvermogen bij de beweegwerktuigen te besparen.

### **Besparing van arbeid, verkregen door het aanwenden van bij tusschenpoozen werkende krachten door tusschenkomst van een veerkrachtig lichaam.**

Neemt men in aanmerking dat de traagheidsweerstand op evenredige wijze met de vierkanten der snelheden toenemen, dan volgt daaruit dat de werking van een spier, die een tweemaal korteren duur heeft dan die van een andere, een viermaal grooteren weerstand zou ondervinden, en dat bij een zekeren korten duur van de aanwending der kracht de traagheidsweerstand het maximum der beweegkracht zou overtreffen. Elke handelwijze, waardoor de duur van de aanwending der kracht wordt vergroot, zal dus den weerstand verminderen. Nu staat de aanwending van een veerkrachtig lichaam gelijk met de vermeerdering van den duur van de aanwending der kracht, die gebruikt wordt om dit veerkrachtig lichaam te spannen; de samentrekkingskracht van een

spier, wier direkte aanwending te kort zou zijn geweest om benuttigd te worden en die in een schok zou zijn verloren gegaan, kan op deze wijze door een veer worden te hulp gekomen. 1)

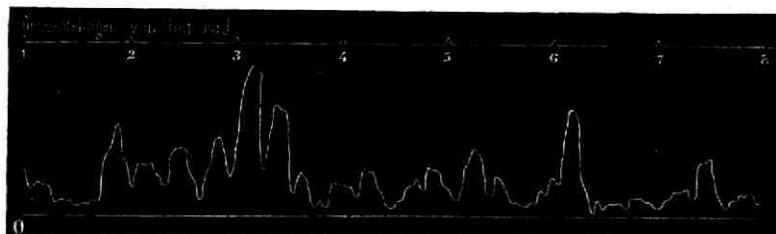


Fig. 165. Lijn van den arbeid besteed bij het voorttrekken van een voertuig zonder tusschenkomst van een veerkrachtig lichaam.

Deze theoretische beschouwingen moesten door het experiment worden bewaarheid. Bij het voorttrekken van een voertuig over een ongelijken grond heeft men waargenomen dat bij gelijke snelheden minder arbeid besteed werd wanneer het voorttrekken g eschiedde door tusschenkomst van veerkrachtige deelen (fig. 166),



Fig. 166. Lijn van den arbeid besteed bij het voorttrekken van een voertuig door tusschenkomst van een veerkrachtig lichaam.

dan wanneer onrekbare trekriemen werden aangewend. Men kan zich bij dergelijke proeven bedienen van den dynamometer van MORIN, die als een veerkrachtig beweegstuk in de bespanning kan worden aangebracht.

1) In de *Travaux du Laboratoire* van MAREY, 1e jaargang pag. 1, worden eenige proeven beschreven, waaruit het belang van de aanwending van veerkrachtige organen blijkt om met tusschenpoozen werkende krachten te hulp te komen, of om traagheidsweerstand te overwinnen,

Meet men met behulp van den planimeter de oppervlakken der figuren, begrensd door de lijnen van fig. 165 en 166, dan blijkt dat in de gunstigste gevallen de arbeid, verricht bij het voorttrekken door tusschenkomst van een veerkrachtig lichaam, 26 per cent bedraagt van den arbeid, besteed bij het voorttrekken met onrekbare strengen.

De resultaten van deze proeven waren altijd dezelfde, onverschillig of men hierbij handwagens of voertuigen, door paarden voortgetrokken, gebruikte. Neemt men bovendien nog in aanmerking dat men door het gebruik van een veerkrachtigen in plaats van een stijven riem de voor de schouders van mensch of dier zoo pijnlijke schokken wegneemt, dan blijkt hieruit dat het voortbewegen van lasten met behulp van een veerkrachtig lichaam bijzonder voordeelig is.

**Arbeid verricht door de hartspiereu en in 't algemeen  
door de spiereu die een werking op vloeistoffen  
uitoefenen.**

Deze arbeid wordt eveneens bepaald door den weerstand, vermenigvuldigd met den weg waarover deze is verplaatst. De weerstand dien een vloeistof ondervindt, wanneer zij een ruimte verlaat waar zij is samengedrukt, is evenredig met de drukking die in de uitstroomingsbuizen plaats heeft. Bij het hart is deze drukking voortdurend aan veranderingen onderhevig gedurende de werking der kamer.

De te overwinnen weerstand bestaat niet alleen uit het manometrisch bedrag van de drukking der vloeistof in de geleidbuis, maar uit dit bedrag vermenigvuldigd met het oppervlak van de doorsnede der buis.

De weg, door den weerstand doorloopen, is die, welken een ideale doorsnede der vloeistof, waardoor de opening der buis zou worden afgesloten, heeft afgelegd. Bij een cilindervormig vat is dus de grootte van dezen weg evenredig met de uitstrooming, want zij komt hier overeen met de hoogte van een cilinder, wiens grondvlak de opening van het vat is.

De algemeene uitdrukking voor den door de beweegkracht verrichten arbeid zal dus zijn de drukking, vermenigvuldigd met de uitstrooming.

Om het arbeidsvermogen van een vloeistof te registreeren, laat men de drukking der vloeistof op een registreerenden manometer werken, terwijl de beweging van den cilinder door de uitstrooming moet worden veroorzaakt; met behulp van den vroeger beschreven registreerenden manometer en drijver (pag. 246) kan dit gemakkelijk geschieden; echter zal men hier de drukking als ordinaten en de uitstrooming als abscissen laten registreeren en dus de beweging van den drijver benuttigen om den cilinder te doen draaien.

Heeft de nitstrooming bij constanten druk plaats, dan krijgt men blijkbaar de lijn  $me$  (fig. 167); bij een veranderlijken en



Fig. 167. Lijn van het arbeidsvermogen verricht bij de uitstrooming van vloeistoffen.

afnemenden druk verkrijgt men een lijn zooals  $me'$ . Daar in het eerste geval de beweging van den cilinder eenparig is, zouden hierbij door een chronograaf golflijnen getraceerd worden, wier bochten op gelijken afstand van elkaar verwijderd waren; in het tweede geval is echter de uitstrooming, tengevolge waarvan de cilinder draait, niet evenredig met den tijd, zoodat een chronograaf trillingen zou registreeren, die steeds dichter tot elkaar zouden naderen.

#### Bepaling van den weerstand in buizen.

Men kan het arbeidsvermogen, dat voor het overwinnen van de wrijvingsweerstand in een buis wordt besteed, meten door twee manometers, die in twee verschillende punten dezer buis zijn geplaatst, hun lijnen te laten traceeren op een cilinder, die door de uitstrooming in beweging wordt gebracht.

De hoogte waarop toch de vloeistofspiegel van den manometer in een willekeurig punt der uitstroombuis staat, geeft tegelij-

ker tijd de kracht aan, waarmee de vloeistof voortgestuwd en den weerstand, dien deze stroomafwaarts van dit punt ontmoet, aangezien deze beide hoeveelheden steeds gelijk zijn. Het achtereenvolgend dalen van de manometerspiegels beteekent dat tusschen twee punten de drukking en de weerstand met een zeker bedrag zijn verminderd.

Volgens de gegeven bepaling van het arbeidsvermogen van vloeistoffen zal nu bij den eersten manometer de arbeid, door de vloeistof verricht, op elk oogenblik worden aangewezen door deze manometerdrukking, vermenigvuldigd met de uitstrooming; is nu bij den tweeden manometer de arbeid minder, dan is dit een gevolg daarvan dat door de weerstanden een zekere hoeveelheid is verbruikt, wier bedrag juist gelijk zal zijn aan het verschil in drukking der beide manometers, vermenigvuldigd met de uitstrooming.

In alle punten eener afvoerbuis is deze uitstrooming noodzakelijkerwijze even groot, zoodat het weerstandsvermogen in een bepaald deel van de buis evenredig zal zijn met het verschil in drukking, aangewezen door de beide manometers, die aan de uiteinden van dit gedeelte der buis zijn geplaatst.

Het snel afnemen van de drukking in de nauwe gedeelten van buizen wijst op een groot verbruik van arbeidsvermogen in die deelen.

Gesteld dat twee manometers in een buis zijn aangebracht en dat een drijver met een traceerstift op een papierstrook de hoogtestanden van de vloeistof in deze manometers opschrijft, dan zou men, volgens hetgeen vroeger omtrent het afnemen der drukkingen in geleidbuizen is gezegd, een aanwijzing van hoogen druk  $m'$  (fig. 168) in de beginpunten der buis en een andere  $m$

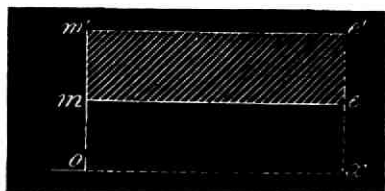


Fig. 168. Grafische bepaling van den weerstand in buizen.

van lagere druk in de eindpunten verkrijgen. Laat men den



cilinder in beweging brengen door de uitstrooming, dan zullen de oppervlakken der rechthoeken  $o m' e' x$  en  $o m e x$  het arbeidsvermogen van den weerstand aangeven, dien de vloeistof overwint in elk der punten, terwijl het oppervlak van den rechthoek  $m m' e' e$ , als het verschil van de beide eerste rechthoeken, het arbeidsvermogen van weerstand aangeeft voor het deel, dat tusschen de manometers  $m$  en  $m'$  is gelegen. Men zou deze methode kunnen toepassen bij de proeven betreffende den kunstmatigen bloedsomloop op een der van het lichaam losgemaakte ledematen, om door het registreeren van de slagaderlijke en aderlijke bloedsdrukkingen op een cilinder, die door de uitstrooming in beweging werd gebracht, na te gaan hoeveel arbeidsvermogen in de haarvaten is verdwenen, om vervolgens daaraan de vroegere hypothesen betreffende den mechanischen oorsprong van de dierlijke warmte te toetsen, en te onderzoeken hoeveel calorïën door het verdwijnen van de gemeten hoeveelheid arbeidsvermogen konden zijn opgeleverd.

**Het besparen van arbeidsvermogen van beweging van het hart door de veerkracht der slagaderen.**

Wat hierboven is gezegd over de rol die de veerkracht speelt bij het verminderen van den traagheidsweerstand bij de beweging van vaste lichamen, is eveneens toepasselijk op de beweging van vloeistoffen in buizen, bijv. op de beweging van het bloed in de bloedvaten; ook bij de beweging van vloeistoffen nemen de traagheidsweerstand in vierkante reden van de snelheden toe. Dringt een vloeistof met een zekere kracht in een buis, dan zal de uitstrooming met een zekere snelheid plaats grijpen; om deze uitstroomingssnelheid te verdubbelen, zou een viermaal grootere kracht, om haar driemaal grooter te maken, zou een negenmaal grootere kracht vereischt worden. Werkt de kracht op de vloeistof slechts gedurende de helft van den tijd, dan moet die kracht viermaal grooter zijn om dezelfde uitstrooming voort te brengen.

Nu werkt het hart, in zijn hoedanigheid van spier, alleen bij tusschenpoozen. Door deze afgebroken bewegingen, die het hart aan het bloed mededeelt, in een onafgebroken stroom te veranderen, wordt de weerstand, dien het bloed bij een bepaalde uit-

strooming ondervindt, verkleind en bijgevolg wordt ook de kracht verminderd, die noodig is om de vloeistof voort te stuwen.

Kent men de verhouding van den duur der periode, gedurende welke het hart het bloed in de slagaderen uitzendt, tot dien van de periode van rust, dan kan men daaruit tennaastenbij de vermindering in weerstanden bepalen, die het gevolg is van de veerkracht der bloedvaten in de kleine slagaderen, waar de beweging van het bloed onafgebroken is. Deze gunstige werking van de slagaderlijke veerkracht zal des te sterker uitkomen, naarmate de tijd, gedurende welken het bloed wordt voortgestuwd, korter is in verhouding tot de periode van rust van 't hart. Zijn deze perioden gelijk, dan zal de weerstand door de slagaderlijke veerkracht tot op het één vierde worden verminderd; is de duur van werking het één derde van de hartsperiode, dan wordt de weerstand tot op één negende teruggebracht.

Een tal van proeven heeft de werkelijkheid van dit feit bewezen en heeft geleid tot deze gevolgtrekking, dat door de veerkracht der aorta en van de slagaderlijke bloedvaten niet alleen de door het hart uitgezonden bloedstroom geregeld wordt, maar dat ook de voortstuwing van het bloed wordt vergemakkelijkt; dus met andere woorden, dat hierdoor arbeidsvermogen van beweging van het hart bespaard wordt.

Uit deze beschouwingen is weer een gevolgtrekking af te leiden, die een merkwaardige bevestiging is voor het hier meegedeelde feit. Het is bekend dat het hart zich vergroot, wanneer een beletsel wordt gesteld aan de uitstrooming van het bloed in de slagaderen; door een bewonderenswaardige overeenstemming worden de spierwanden der kamers dikker en sterker, wanneer zij meer arbeid moeten verrichten. Zal nu werkelijk de veerkracht, die aan de slagaderen in normalen toestand eigen is, een gunstigen invloed hebben op den loop van het bloed, dan moet ook door het verminderen van die veerkracht, zooals gewoonlijk bij den ouderdom wordt waargenomen, de loop van het bloed bemoeilijkt en een vergrooting (hypertrophie) van het hart veroorzaakt worden. Nu vertoont zich inderdaad deze vergrooting altijd, zooals door ANDRAL reeds was opgemerkt, zonder dat hij echter het ontstaan hiervan kon verklaren.

Zoo is dus het mechanisch arbeidsvermogen van de vaste

lichamen en van de vloeistoffen onderworpen aan dezelfde wetten; alles wat de voortbrenging van dit arbeidsvermogen kan regelen, is gunstig voor de bewegingsorganen en leidt tot een vermindering van de aan te wenden kracht.

## VIJFDE HOOFDSTUK.

### HET REGISTREEREN VAN TEMPERATUREN EN VAN WARMTEHOEVEELHEDEN.

Verschillende soorten van registreerende thermometers; luchtthermometers; vloeistofthermometers; metaalthermometers. — Het registreeren van de dierlijke warmte. — Het registreeren van warmtehoeveelheden.

Het registreeren van temperaturen behoort tot een der oudste toepassingen van de grafische methode; door de meteorologen zijn bijna gelijktijdig zoowel aan den thermometer, als aan den barometer, de noodige wijzigingen aangebracht, om deze werktuigen zelfregistreerend te maken. Het zou bezwaarlijk zijn al de verschillende handelwijzen op te noemen, die men hiervoor heeft gevolgd; wij zullen ons dus bepalen tot de voornaamste, en daartoe de thermometers naar hun soort allereerst onderscheiden in lucht-, vloeistof- en metaalthermometers.

Door de uitzetting, die de meeste lichamen tengevolge van verwarming ondergaan, kan men de temperatuursveranderingen door de bewegingen van een aanwijzer of van een vloeistofkolom gemakkelijk waarnemen; bij de metaalthermometers geschiedt dit door de beweging van een naald of hefboom.

Daar het registreeren van temperaturen dus geheel teruggebracht wordt tot het registreeren van bewegingen, kunnen wij ons van uitvoerige bijzonderheden betreffende deze wijze van registratie onthouden.

Op twee zaken heeft men bij het registreeren van temperaturen vooral te letten: in de eerste plaats op de keuze van het werktuig dat het meest voor het voorgestelde doel geschikt is; ten tweede op de keuze van het meest geschikte middel om de temperatuurslijnen op te schrijven. Gewoonlijk kiest men het eene of

het andere middel van registratie naar gelang van de grootte der beweging, die zich bij den thermometrischen toestel tengevolge van een temperatuursverandering voordoet.

### **Verschillende soorten van registreerende thermometers.**

De keuze van het werktuig schijnt gemakkelijk bepaald door den graad van gevoeligheid en van juistheid, dien men wenscht te verkrijgen; de luchtthermometers zijn dan in zooverre in de eerste plaats te verkiezen, omdat de uitzetting der gassen binnen de gewone grenzen tamelijk nauwkeurig evenredig is met de temperatuursvermeerdering. Maar neemt men in aanmerking dat gassen, die in besloten ruimten, zooals thermometers, zijn geplaatst, bij den kleinsten te overwinnen weerstand reeds worden samengeperst, dan komt men tot de overtuiging dat de door deze werktuigen getraceerde lijnen noodwendig moeten misvormd zijn door de samendrukbaarheid van het gas, die reeds bij den kleinsten te overwinnen weerstand plaats heeft.

De vloeistofthermometers, ofschoon zij weer het nadeel bezitten dat hunne bewegingen niet volkomen evenredig zijn met de temperatuursveranderingen, hebben daarentegen dit boven de luchtthermometers voor, dat zij veel meer kracht bieden aan de te overwinnen weerstanden; en daar men op verschillende wijzen, zooals bijv. door het aanwenden van den palpeur 1), de schaalverdeling van een registreerwerktuig steeds kan verbeteren, is het gebruik van vloeistofthermometers in veel gevallen aan te bevelen. Echter mag niet onvermeld blijven dat het soms vrij moeielijk is deze thermometers de temperatuur nauwkeurig te doen overnemen van de stoffen, waarmee zij in aanraking zijn; is bijv. de hoeveelheid vloeistof in den thermometer vrij aanzienlijk of bezit de stof, waarmee hij in aanraking is, een gering geleidingsvermogen voor warmte, dan werkt hij te traag en is weinig geschikt om snelle temperatuursveranderingen getrouw te volgen.

De metaalthermometers, die bijna allen berusten op de ongelijke uitzetting van twee metalen, nemen snel de temperatuur aan

---

1) \* In de laatste afdeling van dit werk zal de *palpeur*, door DEPREZ uitgevonden, in bijzonderheden beschreven en verklaard worden. \*

van de stoffen, waarmee zij in aanraking zijn; ook zijn zij in staat, evenals de vloeistofthermometers, tengevolge van de aanmerkelijke kracht, die zij bij hun uitzetting ontwikkelen, om hunne lijnen met een potloodstift nog op een vrij oneffen blad papier op te schrijven. Tegenover deze voordeelen hebben zij dit gebrek, dat zij moeilijk zijn aan te wenden, doordat zij gewoonlijk te groot zijn, om bijv. bij physiologische onderzoekingen op den mensch in de natuurlijke holtten te worden ingebracht, om aldaar de temperatuur te bepalen; ook is het vrij lastig om de beweging van uitzetting of inkrimping over een afstand naar den registreer-toestel over te brengen.

Daar men echter de genoemde bezwaren in hoofdzaak heeft overwonnen of kan ontwijken, is de thermografie reeds tot een aanmerkelijke hoogte opgevoerd en voorziet zij in de voornaamste behoeften van de proefneming.

#### **Registreerende luchtthermometers.**

Een met lucht gevulde thermometerbol is voorzien van een glazen buis, waarin een kwikdruppel, die zich met de uitzetting of inkrimping der lucht verplaatst, als aanwijzer dient; op een lichtgevoelig scherm wordt vervolgens een lichtbundel geworpen, die gedeeltelijk door den ondoorschijnenden kwikdruppel wordt onderschept; in het fotografisch beeld van dezen lichtbundel op het scherm, wordt dus de plaats, waar zich de druppel bevindt, duidelijk aangewezen. Men laat de bewegingen van den druppel plaats hebben in de richting der ordinaten van de lijn, terwijl het scherm zelf zich zijdelings beweegt. Onttrekt men dezen toestel op eenigerlei wijze aan den invloed der barometrische drukking, dan heeft men een thermometer die zoowel snelle als juiste aanwijzingen geeft. Een dergelijk werktuig is vooral geschikt voor het bepalen van de verschillen van twee temperaturen, want alsdan is het beveiligd tegen de veranderingen der uitwendige drukking.

#### **Registreerende vloeistofthermometers.**

Bij voorkeur worden natuurlijk hierbij vloeistoffen gebruikt, die

een groot uitzettingsvermogen hebben, zooals alcohol, petroleum, ether; deze vloeistof wordt in een metalen doos opgesloten die van een veerkrachtig omkleedsel is voorzien. Door de warmte zet de vloeistof zich uit en zwelt de doos op, terwijl zij bij bekoeling inkrimpt; deze bewegingen worden aan een registreerstift meegedeeld.

Men kan de aanwijzingen van dit werktuig zoo snel mogelijk maken door aan het vloeistofreservoir een groote oppervlakte te geven, hetgeen het best geschiedt door het aanwenden van een reeks buizen, veel gelijkende op die, welke men bij stoomketels aanbrengt. Zoodoende wordt het oppervlak, dat is blootgesteld aan de omringende temperatuur, sterk vergroot, en luistert het werktuig spoediger naar de temperatuursveranderingen.

Ook kan men door de uitzetting der vloeistof een ondoorschijnenden aanwijzer, bijv. een kleine donkere vloeistofkolom, doen verplaatsen, evenals bij den luchthermometer; evenzeer kan men de uitzetting der vloeistof gebruiken om wringingsbewegingen te voorschijn te roepen in een manometrische buis van BOURDON. Deze laatste handelwijze is door MARIÉ-DAVY met goed gevolg aangewend om de temperatuursveranderingen op het observatorium van Montsouris te registreeren; de registreertoestel is hier door middel van metalen buizen van kleine middellijn verbonden met den vloeistofthermometer, zoodat de temperatuursveranderingen op een zekeren afstand worden geregistreerd.

In figuur 169 zijn twee lijnen afgebeeld, die de door MARIÉ-DAVY geregistreerde dagelijksche temperatuursveranderingen op 6 en 7 Augustus van het jaar 1877 voorstellen.

De bovenste lijn A is met een gewonen vloeistofthermometer verkregen en geeft de werkelijke temperatuursveranderingen aan; de onderste lijn B is getraceerd door een toestel, waarvan de bol voortdurend met water werd bevochtigd; deze lijn wijst kleinere veranderingen aan, omdat de door de verdamping teweeggebrachte afkoeling de temperatuursverhooging ten deele opheft. De vereeniging van beide thermometers geeft den zoogenaamden *psychrometer*, waardoor men bij benadering de vochtigheidstoestand der lucht bepaalt.

Neemt men twee thermometers en bedekt men den bol van een hunner met lampzwart, terwijl men den anderen thermometerbol

onbedekt laat, dan verkrijgt men den zoogenaamden *aktinometer*. De lijnen van thermometer loopen in denzelfden zin, maar ver-

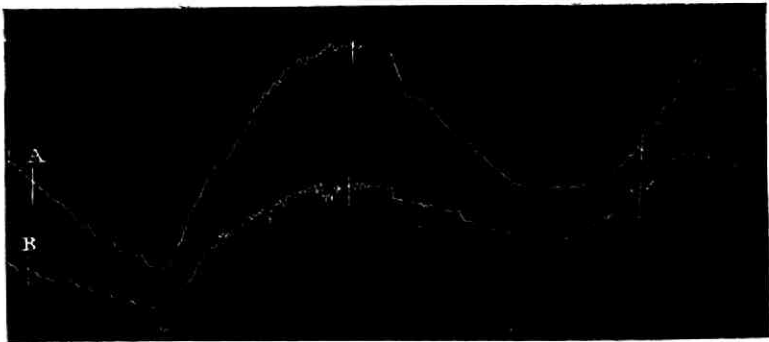


Fig. 169. Lijnen die de temperatuursveranderingen aanwijzen gedurende twee opeenvolgende dagen, geregistreerd door een drogen thermometer A en een vochtigen thermometer B.

wijderen zich meer of minder van elkaar, naar gelang van de bestralingssterkte.

#### **Registreerende metaalthermometers.**

Een van de meest gevoelige metaalthermometers is die van RÉDIER, waarvan de werking gebaseerd is op de ongelijke uitzetting van twee staven van verschillend metaal. Ook hierbij is de wijze, waarop de temperatuursveranderingen worden geregistreerd, geheel overeenkomstig met de boven beschouwde.

#### **Het registreeren van de dierlijke temperatuur.**

Voor het registreeren van de temperatuursveranderingen in het dierlijk lichaam kan men een luchtthermometer aanwenden, *thermograaf* genaamd, die in figuur 170 is afgebeeld. Een metalen bol van een luchtthermometer B is verbonden met een lange capillaire koperen buis, aan wier uiteinde zich een ijzeren buis bevindt, die cirkelvormig is omgebogen. Deze ijzeren buis is weer omgeven door een glazen buis van gelijke kromming, die aan een uiteinde gesloten en zoodanig op een voetstuk geplaatst is, dat zij om een horizontale as vrij kan draaien. In het hellend

gedeelte der glazen buis bevindt zich een kleine kwikkolom, door welke de ijzeren buis heenloopt. Eindelijk is aan den toestel een

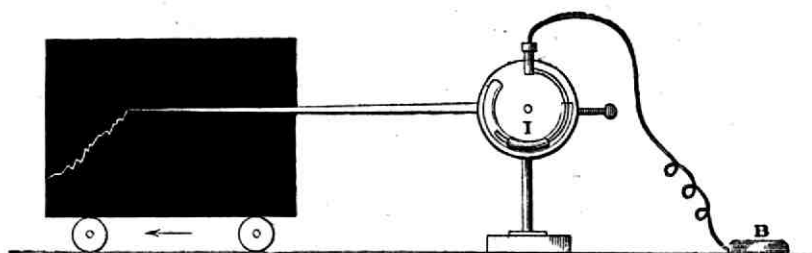


Fig. 170. Inrichting van den thermograaf.

lange naald aangebracht, die met den toestel om de horizontale as kan draaien.

Wordt de bol B verwarmd, dan ontwijkt een gedeelte der uitgezette lucht door het ijzeren buisje en dringt in de gesloten ruimte van de glazen buis; door deze luchtdrukking wordt nu de kwikkolom meer of minder verplaatst. Door deze verplaatsing wordt het eyenwicht van den toestel verbroken, zoodat de geheele toestel om de horizontale as een kleine draaiing zal maken, totdat de kwikkolom weer den laagsten stand in de glazen buis inneemt; deze draaiing wordt door de naald geregistreerd.

Daar door het voortdurend wrijven van de naald op een met roetzwart bedekt vlak een te groote weerstand zou worden geboden aan de draaiingsbeweging van den toestel, kan men door de beweging van een uurwerk aan den thermograaf elke minuut een kleine schommeling mededeelen en zodoende het uiteinde van den hefboom in aanraking brengen met een glazen plaat, die met roetzwart is bedekt. Men verkrijgt alsdan een aantal punten die dicht genoeg bij elkaar liggen, om de temperatuurslijn met genoegsame juistheid te bepalen.

Op deze wijze ingericht, is het werktuig uiterst gevoelig; men kan het echter alleen aanwenden voor het registreeren op verticale vlakken en ook is het onderhevig aan barometrische invloeden, zooals trouwens het geval is met alle luchtthermometers die aan den buitenkant niet gesloten zijn.

Een minder gevoelig, maar gemakkelijker te behandelen werktuig verkrijgt men, wanneer men de buis van den luchtthermo-



meter met een trommel met hefboom in verbinding stelt; hierbij kan het dan echter gebeuren dat nu en dan kleine hoeveelheden lucht ontsnappen, hetgeen vooral nadeelig werkt wanneer de proeven eenigszins lang duren. Men kan dit gebrek verhelpen door de trommel en het daaraan grenzend gedeelte der buis met water te vullen, zoodat ook in de voegen en verbindingen geen lucht kan ontsnappen. De invloed der dampkringsdrukking laat zich ook bij dezen toestel gevoelen, maar kan bij proeven van korter duur gewoonlijk verwaarloosd worden.

Eindelijk verdient een derde toestel nog de voorkeur boven de beide bovengenoemde, doordat het onttrokken is aan den invloed van de dampkringsdrukking en bijzonder geschikt is om de temperatuursveranderingen op een afstand te registreeren, terwijl ook hierbij de traceerstift met veel meer kracht over het papier wrijft dan bij de andere toestellen het geval is. Dit werktuig bestaat uit een met ether gevulden metalen bol, die door een lange koperen buis verbonden is met een spiraalvormige buis van BOURDON. Deze ontwindt zich, wanneer de inwendige drukking toeneemt, kromt zich daarentegen, wanneer deze drukking afneemt. Door het uitzetten of inkrimpen van den ether in den thermometerbol worden in de buis van BOURDON veranderingen in drukking teweeg-

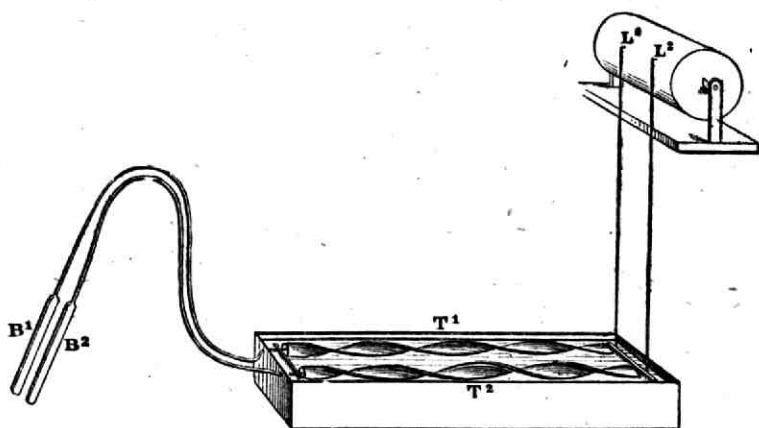


Fig. 171. Registreerende thermometer. Twee met ether gevulde bollen B<sup>1</sup> en B<sup>2</sup> staan ieder in gemeenschap met een buis van BOURDON, die op een hefboom werkt.

gebracht, welke deze buis doen ontspannen of krommen; door een registreernaald worden deze bewegingen geregistreerd.

Dit werktuig is wel minder gevoelig dan de vroeger beschrevene, maar door de aanmerkelijke kracht, die bij dit werktuig ontwikkeld wordt, is men in staat de bewegingen der naald door middel van een geschikt mechanisme te vergrooten. Ook verhoogt men de gevoeligheid van het werktuig door een grooter volume aan den thermometerbol te geven; maar alsdan moeten de proeven ook op groote dieren genomen worden.

### **Het registreeren van warmtehoeveelheden.**

Men meet de warmtehoeveelheid, die door een zekere warmtebron wordt opgeleverd, naar de temperatuursverhoging die een bepaalde gewichtshoeveelheid water heeft ondergaan. Men is alzoo overeengekomen als eenheid van warmtehoeveelheden aan te nemen de hoeveelheid warmte, benodigd om 1 kilogram of 1 liter water van  $0^{\circ}$  tot  $1^{\circ}$  C. te verwarmen; deze eenheid heeft men *calorie* genoemd. Voor het verwarmen van 100 liter water van  $0^{\circ}$  tot  $1^{\circ}$  zijn dus 100 calorïen noodig; maar evenveel calorïen behoeft men ook om 1 liter water van 0 tot  $100^{\circ}$  te verwarmen.

Een hoeveelheid warmte wordt dus evenals een hoeveelheid mechanische arbeid door een produkt voorgesteld; een aantal calorïen is het produkt van temperatuur en volume. Een zelfde aantal calorïen kan dus op verschillende wijzen zijn samengesteld, òf uit een sterke verwarming van een klein volume water, òf uit een geringe verwarming van een groot volume water. Bepaalt men met behulp van den calorimeter bijv. het aantal calorïen, opgeleverd bij een scheikundige verbinding, dan geeft het werktuig alleen de einduitkomst van het verschijnsel aan, zonder de verschillende pha'sen hiervan aan te wijzen. Nu is de grafische methode alweer bijzonder geschikt om, evenals bij den mechanischen arbeid, den vorm aan te geven; waarin een zekere hoeveelheid warmte is opgeleverd. Denken wij ons een lichaam, dat een zekere hoeveelheid warmte afstaat, besloten in een ruimte, waar het omringd is door slecht geleidende stoffen; denken wij ons die ruimte verder omgeven door een geregelden stroom water van constante temperatuur, terwijl een registreerende thermometer is aangebracht in de uit dezen calorimeter stroomende vloeistof. Zoolang in den toestel geen warmte wordt ontwikkeld, vloeit het water

bij dezelfde temperatuur af als het bij het instroomen bezat, en de stift traceert een horizontale lijn; zoodra echter in den calorimeter warmte wordt ontwikkeld, stijgt de getraceerde lijn en geeft de mate van verwarming aan. Het registreeren van de in een zekeren tijd uitgestroomde hoeveelheid vloeistof kan nu geschieden op de wijze, zooals vroeger met den toestel van fig. 127 is aangegeven; is de beweging van den cilinder eenparig, evenals de uitstrooming, dan zal men de hoeveelheid uitgestroomde vloeistof kennen, indien men door een voorafgaande proefneming bepaald heeft, met welke hoeveelheid afgevoerd water een zekere lengte, op het papier van den cilinder langs de x-as gemeten, overeenkomt. De oppervlakte der aldus geregistreerde figuur geeft dan het produkt van de beide veranderlijke grootheden, dus ook het aantal opgeleverde calorien aan. Houdt de warmteontwikkeling binnen in den toestel op, dan zal de lijn langzamerhand dalen, totdat zij tot de horizontale lijn, waarvan wij in den aanvang spraken, zal zijn teruggekeerd; de oppervlakte van de nu verkregen figuur drukt nu het totale aantal opgeleverde calorien uit (wanneer men ten minste kan aannemen dat door den calorimeter zelf nagenoeg geen warmte is opgenomen). Zijn de temperatuursveranderingen te langzaam of te snel, dan zal men de uitstrooming der vloeistof moeten vertragen of versnellen. Voor het lezen der tracés is het voldoende rekening te houden met de betrekking tusschen de snelheid van uitstrooming van de vloeistof en de omwentelingsnelheid van den cilinder.

Door D'ARSONVAL is een werktuig uitgevonden, waarmee het registreeren van éen zekere hoeveelheid warmte, die in een besloten ruimte wordt ontwikkeld, eenvoudig wordt teruggebracht tot het registreeren van de hoeveelheid vloeistof, die in een gegeven tijd uitstroomt; de snelheid van uitstrooming is dus hierbij geregeld naar de voortbrenging van warmte, en wel zoodanig, dat elke calorie, die in den calorimeter wordt afgestaan, zich verraadt door het uitstroomen van 1 liter water; hoe spoediger dus de warmte in den toestel wordt afgestaan, des te sneller uitstrooming wordt door de lijn aangewezen, en omgekeerd. Wij zullen dit werktuig van D'ARSONVAL in de laatste afdeeling van dit werk, 10<sup>e</sup> hoofdstuk, in zijn bijzonderheden nagaan.

## ZESDE HOOFDSTUK.

### HET REGISTREREEN VAN ELEKTRISCHE VERSCHIJSSELEN.

Het grafisch bestudeeren van de verschijnselen, die bij elektrische ontladingen plaats hebben: proeven van FEDDERSEN; fotografie der lichtverschijnselen. — Grafische analyse van elektrische ontladingen volgens de methode van DONDEERS. — Het registreeren van de warmteverschijnselen voortgebracht door elektriciteit; proeven van MASCART. — Het registreeren van elektrische spanningen gemeten door middel van den elektrometer van LIPPMANN. — Het registreeren van de intensiteit van elektrische stroomen door middel van den rheograaf. — Het registreeren van elektriciteits-hoeveelheden.

Daar elektriciteit zich gemakkelijk omzet in licht, warmte, mechanisch arbeidsvermogen, enz., kan men in talrijke gevallen een grafische voorstelling verkrijgen van verschijnselen, die zich bij elektriciteitswerkingen voordoen. Gaan wij in de eerste plaats in het kort de registratie der lichtverschijnselen na, die bij elektrische ontladingen plaats hebben.

#### **Het registreeren van elektrische vonken bij de ontlading; proeven van Feddersen.**

Het is bekend hoe FEDDERSEN zich in navolging van WHEATSTONE van een snel ronddraaienden spiegel heeft bediend, om van het zeer korte lichtschijnsel bij het overspringen van de elektrische vonk een spiegelbeeld te verkrijgen in den vorm van een vurige streep, ten einde uit de breedte dezer lichtstreep in verhouding tot de bekende omwentelingssnelheid van den spiegel den duur der elektrische ontlading te kunnen bepalen. FEDDERSEN heeft ook met een dergelijken toestel opgemerkt dat de lichtband in den spiegel uit twee of meer lichtstrepen bestond, die aanwezig dat de ontlading uit een reeks afwisselend gerichte heen- en weergaande ontladingen was samengesteld. Door nu den vlakken spiegel door een hollen spiegel te vervangen, en in het brandpunt van dezen spiegel een plaat met collodium te plaatsen, 1) is FEDDERSEN er in geslaagd het lichtbeeld te fotografeeren, en heeft

1) Een en ander is ontleed aan het werk van MASCART: *Traité d'électricité statique*, Paris, 1876.

op deze wijze aangetoond dat er drie zeer van elkaar onderscheidene soorten van ontladingen kunnen plaats grijpen:

1<sup>e</sup> wanneer de ontlading afgebroken plaats heeft, door bijv. een waterkolom tusschen de knoppen der elektriseermachine te plaatsen; in dat geval bestaat het lichtverschijnsel uit vertikaal boven elkaar gelegen lichtpunten en lichtstreepjes, die zich meer en meer van elkaar verwijderen naar het einde van de vonk;

2<sup>e</sup> wanneer de weerstand vermindert, wordt de ontlading onafgebroken; men bespeurt alsdan een verticale lichtstreep, aan wier uiteinden zich twee lichtpunten bevinden;

3<sup>e</sup> wanneer de duur der ontlading toeneemt, terwijl de weerstanden verminderen, doet het lichtschijnsel zich als in schommelende beweging voor en is verschillend naar den aard der aangewende geleiders.

Neemt de weerstand toe, dan wordt de duur van het lichtschijnsel langer; de snelheid neemt van het begin tot het einde af, zoodat het fotografische beeld een gebogen vorm krijgt voor elken lichtband.

#### **Methode van Donders en Nyland om de ontladingsverschijnselen van een inductiestroom te registreeren.**

Door gebruik te maken van de elektrolytische werking, waardoor een stroom een spoor van zijn doorgang op een gevoelig gemaakt papier achterlaat, en van de mechanische werking, waardoor een stroom een papierstrook doorboort, hebben DONDERS en NYLAND tracés verkregen die den duur en de samengesteldheid van de ontlading van inductieklossen aantonen. Bij deze proeven wordt de chronografie zoo nauw mogelijk verbonden met de registratie van het elektrisch verschijnsel zelf, zoodat men den duur hiervan zoo juist mogelijk kan bepalen.

De ontlading van een grooten klos van RUHMKORFF wordt geleid door een stenvork, die van een metaalstift is voorzien en door een metalen cilinder, die bedekt is met een blad papier. De stenvork trilt gedurende de proef, zoodat men op de golflijn, die de metaalstift traceert, een aantal vlekjes of gaatjes bemerkt, die door hun ligging het juiste oogenblik aangeven, waarop de vonk door het papier is gegaan. Men kan nu duidelijk opmerken

dat elke ontlading bestaat uit een reeks van vonken, welke eenige oogenblikken in aantal toenemen, maar daarna afnemen en ten



Fig. 172. Het registreeren van de ontlading van een inductiestroom naar de methode van DONDERS en NYLAND.

slotte verdwijnen. Bij enkele proeven bedroeg het aantal dezer vonken ongeveer 100; wat den duur der ontlading betreft, deze verschilde van 17 tot 18 trillingen van een stemvork, die 246 trillingen in een sekonde maakte. De tijd, die verliep tusschen het verbreken van den stroom en het begin der ontlading, bedroeg ongeveer  $\frac{1}{20}$ , en die welke verliep tusschen het sluiten van den stroom en het optreden der ontlading, was  $\frac{1}{10}$  van den trillingstijd.

#### **Het registreeren van de warmteverschijnselen voortgebracht door elektriciteit; proeven van MASCART.**

Laat men een stroom gaan door een dunnen spiraalvormig gewonden platinadraad, die in een gesloten en met lucht gevulde ruimte is aangebracht, dan wordt deze lucht verwarmd en zet zich uit; door een vloeistofkolom, van een aanwijzer voorzien, wordt het bedrag van deze uitzetting aangewezen; een dergelijke thermometer is door RIESS samengesteld.

Door de buis van den thermometer in gemeenschap te stellen met een trommel met hefboom, verkrijgt men een toestel, waarmee men de warmteontwikkelingen in den thermometer kan registreeren. MASCART heeft deze methode gevolgd om de warmteontwikkelingen van verschillende elektriciteitsbronnen te registreeren en die zoodoende met elkaar te vergelijken. Hij bediende zich daarbij van een cilinder, met roetzwart bedekt, wiens beweging werd geregeld door een reguleur van FOUCAULT.

Volgens MASCART zullen bij geringe elektriciteitshoeveelheden de hoogten der aldus verkregen lijnen evenredig zijn aan de hoeveelheden warmte, bij de ontlading ontwikkeld.

Figuur 173 toont ons lijnen, die een toenemende warmte-intensiteit aanwijzen. De onderste lijn werd verkregen bij de ontlading

eener batterij, die geladen was door 11 vonken van de maatflesch

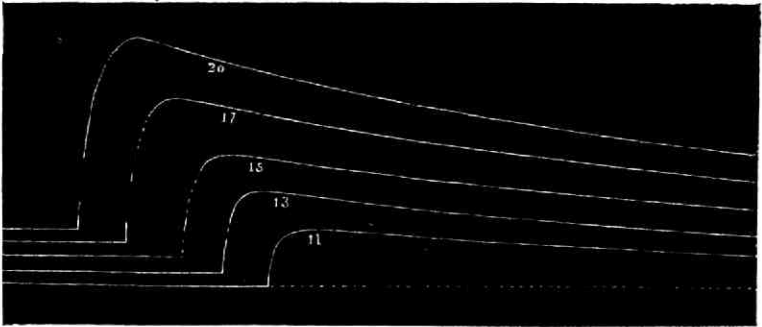


Fig. 173. Lijnen van warmteontwikkelingen voortgebracht bij ontladingen van toenemende intensiteit.

van LANE. De overige lijnen komen achtereenvolgens overeen met ladingen van 13, 15, 17 en 20 vonken.

Uit den vorm van deze lijnen bespeurt men dat de warmteontwikkeling niet oogenblikkelijk plaats heeft; zij stijgt gedurende een bepaalden tijd. Gedurende deze phase van stijging van de lijn laat zich de invloed van de door den toestel teweeggebrachte afkoeling duidelijk gevoelen en belet deze de lijn, haar hoogste punt te bereiken, waardoor de [totale hoeveelheid elektriciteit, die in warmte is omgezet, zou worden aangewezen. Men kan echter dit hoogtepunt door berekening of door een grafische constructie bepalen, en de betrekking tusschen ordinaten en temperaturen aldus nauwkeurig onderzoeken.

MASCART meent dat de hoeveelheid warmte nagenoeg evenredig is met het vierkant van het aantal vonken.

De lijnen van fig. 174 zijn verkregen door het aanwenden



Fig. 174. Lijnen van warmteontwikkeling voortgebracht door de constante lading van batterijen met een verschillend aantal cellen.

van constante ladingen van batterijen met een verschillend aantal cellen; deze lijnen wijzen aan dat de warmteontwikkeling des te grooter is, naarmate het aantal cellen grooter is; zoo komt de onderste lijn met 6, de bovenste lijn met 2 cellen overeen.

De lijnen van warmteontwikkeling van fig. 175 zijn verkregen

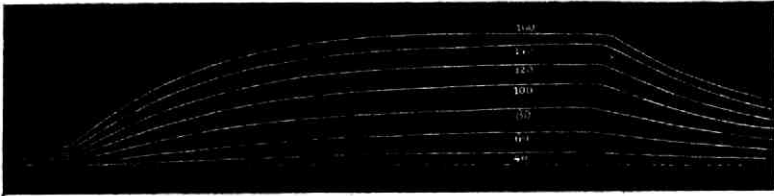


Fig. 175. Lijnen van warmteontwikkeling voortgebracht door een toestel van GRAMME bij verschillende omdraaiingssnelheden.

met den toestel van GRAMME, bij verschillende omdraaiingssnelheden. De phase van stijging van deze lijnen verschilt veel van die in de vorige figuren, wegens den langen duur der warmteontwikkeling onder den invloed van een onafgebroken stroom.

#### **Het registreeren van elektrische spanningen gemeten door middel van den elektrometer van Lippmann.**

LIPPMANN heeft een merkwaardige eigenschap van de electriciteit ontdekt, namelijk dat zij de capillariteitsverschijnselen wijzigt en de hoogte, waartoe een vloeistof in een capillaire buis opstijgt, verandert. Van deze eigenschap gebruik makende, heeft LIPPMANN een werktuig samengesteld, *capillair-elektrometer* genaamd, waarin een kleine kwikkolom zich in de eene of andere richting verplaatst naar gelang van de vermeerdering of vermindering in elektrische spanning, waaraan de toestel is blootgesteld. Dit werktuig is in fig. 176 afgebeeld.

Een lange verticale glazen buis loopt aan den onderkant zeer nauw toe; dit nauwe gedeelte komt uit in een wijdere glazen buis B, die met water, dat zwak zuur is gemaakt, is gevuld en waarin zich op den bodem een kwikdruppel bevindt. De lange glazen buis wordt nu met kwik gevuld; dit kwik kan tengevolge van de werking der capillariteit niet uit het vernauwde onder-



einde der buis wegvloeien. Verbindt men nu door metaaldraden het kwik van de lange buis en dat van de buis B met de polen

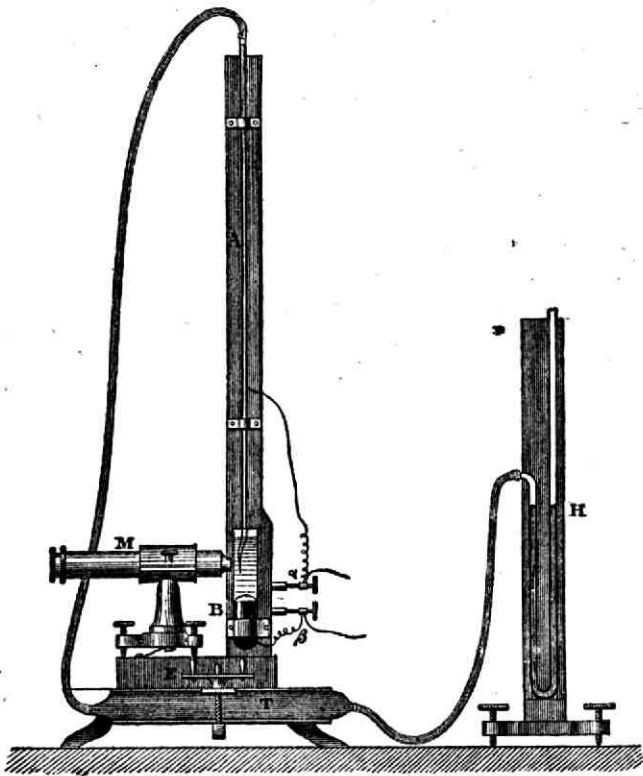


Fig. 176. Elektrometer van LIPPMANN.

van een elektrischen toestel, dan ziet men den kwikspiegel in het vernauwde deel der lange buis terstond van stand veranderen, en wel in die richting, waarin de stroom tracht door te gaan. Om die veranderingen van den kwikspiegel waar te nemen, bedient men zich van een mikroskoop M, dat zoodanig is opgesteld, dat het voortdurend op het ondereinde van de kwikkolom is gericht.

Zoodra nu tengevolge van een verschil in elektrische spanning een verplaatsing van den kwikspiegel, bijv. naar boven, heeft plaats gehad, moet men, om het kwik tot zijn oorspronkelijken stand terug te brengen, een sterkeren druk op de kwikkolom van de lange buis uitoefenen; dit kan geschieden door boven

in de lange buis kwik te gieten, of wel door boven op het kwik een zekeren luchtdruk aan te wenden. LIPPMANN bedient zich bij voorkeur van het laatste middel; een caoutchouc luchtreservoir T kan door middel van een soort van schroefpers, die van een zwengel E is voorzien, meer of minder samengeperst worden; de samengeperste lucht werkt door een buis boven op het kwik en begeeft zich door een tweede buis naar een manometer H, die de drukking van deze lucht aanwijst. Men bevindt dat om de kwikkolom op het nulpunt terug te brengen, een druk moet aangewend worden, evenredig aan de elektrische spanning, waardoor de kwikkolom is verplaatst.

Om den stand van het nulpunt zeer juist te bepalen, is in het mikroskoop een spinragdraad aangebracht; deze draad wordt nu juist gericht op het onderende der kwikkolom, wanneer geen elektrische spanning op de kolom werkt.

Het nulpunt aldus vastgesteld zijnde, kan men met het mikroskoop de geringste beweging der kwikkolom nauwkeurig bepalen.

Men kan ook een gemakkelijker te behandelen en te verplaatsen toestel gebruiken, waarin een kwikreservoir, waarvan het kwik met behulp van een schroef wordt samengedrukt, de hooge kwikkolom van den eersten toestel vervangt.

Bij dezen elektrometer vertoont zich de kwikkolom dwars in het veld van het mikroskoop; hier is de spinragdraad vertikaal gespannen (fig. 177).

Met dit werktuig kan men twee verschillende soorten van proeven nemen:

1<sup>e</sup> het bepalen van de spanning der statische elektriciteit waarmee een lichaam op een zeker oogenblik is geladen; 2<sup>e</sup> het waarnemen van de veranderingen, waaraan de elektrische spanning in de opvolgende oogenblikken onderhevig is.

Voor de eerste bepaling is het voldoende den toestel een oogenblik door middel van een zijner draden met het geëlektriseerde lichaam, en door middel van den anderen draad met den grond in gemeenschap te stellen; door de verplaatsing der kwikkolom wordt het bedrag der elektrische spanning aangewezen.

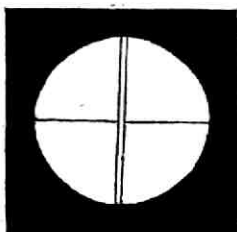


Fig. 177. De kwikkolom van den elektrometer gezien in den toestand van rust door het mikroskoop.

Bij de tweede bepaling worden de veranderingen in elektrische spanning aangewezen door de verplaatsingen van de kwikkolom; deze meer of minder snelle verplaatsingen moeten worden geregistreerd, daar men ze met het oog niet met de noodige nauwkeurigheid kan volgen. Dit registreeren kan hier uitmuntend door middel van fotografie geschieden; bij enkele physiologische waarnemingen bewijst deze registreerende elektrometer dan uitstekende diensten.

Zoo verkeereren onder anderen de levende spieren in een zekeren elektrischen toestand, die gewijzigd wordt op het oogenblik waarop zij in werking treden. 1)

De galvanometer kan voor de waarneming van deze veranderingen, uithoofde van de traagheid der naald, slecht dienen; de elektrometer werkt hier echter, wegens zijn meerdere gevoeligheid, voortreffelijk.

Plaatsst men in het oculair van het mikroskoop een lichtgevoelige glasplaat, dan verkrijgt men een duidelijk fotografisch beeld van de kwikkolom; deelt men aan deze glasplaat een beweging mede, loodrecht op de richting der beweging van de kwikkolom, dan verkrijgt men zodoende de fotografische curve van de veranderingen der elektrische spanning.

In figuur 178 zijn de elektrische veranderingen van het hart

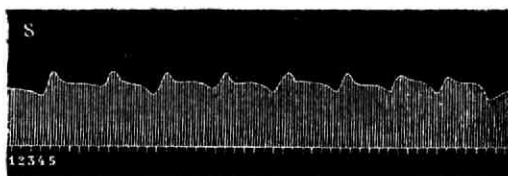


Fig. 178. Het registreeren van de elektrische veranderingen die samengaan met de rhythmische bewegingen van het hart van een schildpad.

van een schildpad gedurende zijn systolische en diastolische bewegingen voorgesteld; in fig. 179 zijn de elektrische veranderingen van het hart van een kikvorsch afgebeeld. Deze curven zijn aldus verkregen: men stelt het hart van het dier in gemeenschap met niet polariseerbare elektroden, die in verbinding staan met de

1) Zie de proeven dienaangaande van MATTEUCI en DU BOIS-REYMOND.

draden van een elektrometer. Men plaatst in het oculair van het mikroskoop een plaatje van matglas, waarop zich het beeld van

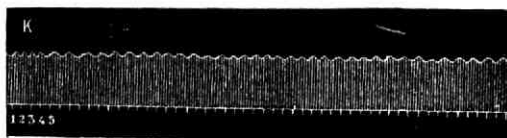


Fig. 179. Elektrische veranderingen van het hart van een kikvorsch.

de kwikkolom projecteert en men overtuigt zich dat bewegingen van het hart goed vergezeld gaan van elektrische veranderingen; vervolgens vervangt men het matglas door een kleine donkere kamer, die een lichtgevoelig glazen plaatje bevat. Aan dit plaatje wordt door een uurwerk de vereischte beweging meegedeeld. In de hier bovenstaande figuren bedroeg de omwentelingssnelheid ongeveer 3 millimeter per sekonde.

Om de kwikkolom en haar bewegingen te photografeeren kan men het licht onderscheppen door de ondoorschijnende kwikkolom zelf of wel men verlicht de kolom sterk tegenover een donkeren achtergrond, zoodat de kwikkolom nu een lichtbron wordt.

In het eerste geval moet een diaphragma met zeer nauwe opening zoodanig worden aangebracht dat het kwik van de capillaire kolom in haar heen- en weergaande bewegingen deze nauwe spleet beurtelings bedekt en vrijlaat; hiertoe wordt dus een zeer zorgvuldige constructie vereischt. In het tweede geval bestaat de moeilijkheid in de zwakke verlichting; de kwikzuil, die het licht terugkaatst, is slechts  $\frac{1}{20}$  millimeter breed, en wanneer de middellijn van de kwikkolom tweemaal vergroot wordt, dan wordt de intensiteit van het licht op  $\frac{1}{4}$ e verminderd. Om nu de grootst mogelijke lichtsterkte te verkrijgen moet men de kwikkolom met zonlicht verlichten, dat door een lens is geconcentreerd, en moet men zich beperken tot het opvangen van beelden van zeer geringe afmeting op een zich langzaam bewegende plaat.

De vraag is nu of men aan den vorm van de aldus gefotografeerde lijnen een groot vertrouwen kan hechten. Om dit na te gaan, kan men op dezen toestel stroomen van bijzonder korten duur laten werken, bijv. inductiestroomen van een kleinen inductietoestel. De openings- en sluitingsstroomen  $o$  en  $s$  (fig. 180)

volgen elkaar met gelijke tijdsverschillen op en vertoonen tegen-  
gestelde teekens; ook zijn de beelden van den openingsstroom

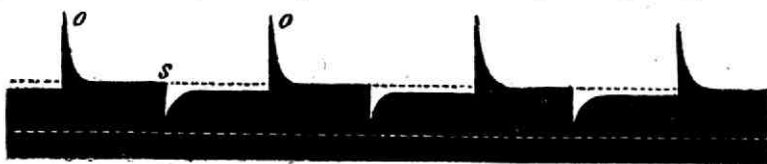


Fig. 180. Photographie van inductiestroomen ontstaan bij het openen en sluiten van den inducerenden stroom, verkregen met den elektrometer.

grootter dan die van den sluitingsstroom. Tot zoover komt dus alles juist overeen met de bekende verschijnselen die men bij inductiestroomen waarneemt. Maar let men op den duur der phasen van deze stroomen, dan ziet men in de figuur dat de aanvangsphase van beide stroomen zeer kort is, d. w. z. dat de lijn vertikaal stijgt en daalt, maar dat in het eindigen van beide stroomen een groot verschil is op te merken; de terugkeer van de lijn tot het nulpunt is aanvankelijk zeer snel, maar wordt vervolgens meer en meer vertraagd, zoodat de horizontale stand eerst na een vrij langen tijd wordt bereikt.

In het geval, dat in fig. 180 is voorgesteld, verliep er ongeveer  $\frac{1}{3}$  van een sekonde voordat de horizontale lijn werd bereikt, en nog zelfs op dit oogenblik was het kwik nog niet geheel op het nulpunt teruggekomen maar scheen een eenigszins onverschilligen evenwichtsstand in te nemen, nu eens wat hooger, dan eens wat lager dan het nulpunt, al naar gelang de richting van de beweging, die aan het kwik was meegedeeld. Men merkt dan ook in de figuur op dat de gestippelde lijn, die over de punten loopt waar het kwik na de openingsstroomen blijft staan, nooit bereikt wordt na de sluitingsstroomen. Waarschijnlijk is dit te wijten aan het polariseeren van de kwikoppervlakten en van het zwak zuur-gemaakte water.

Nog valt op te merken dat deze afwijking alleen dicht bij het nulpunt voorkomt, zoodat de aanwijzingen van den toestel, alleen voor zoover de elektrische spanning tot nul terugkeert, minder juist zijn.

Deze proeven betreffende het registreeren der electriciteit, die nog voor zooveel verbeteringen vatbaar zijn, beloven veel in de

toekomst. Het zou o. a. wenschelijk zijn dat men de bewegingen van den elektrometer met behulp van een kunstlichtbron kon photografeeren, maar tot nu toe is men er nog slechts in geslaagd snelle veranderingen alleen bij zonlicht te registreeren.

**Het registreeren van de intensiteit van stroomen door middel van den elektrischen rheograaf.**

Dit werktuig bestaat uit een elektromagnetischen seintoestel met de volgende wijziging: tusschen den elektromagneet en het sluitstuk is een samendrukbaar lichaam aangebracht, dat een veranderlijke veerkracht bezit, zoodat dit, naar gelang van de intensiteit der magnetische aantrekking meer of minder samengedrukt wordende, de registreerstift grootere of kleinere uitslagen doet maken. Zoodoende wordt de intensiteit van den stroom aangewezen door de grootte der uitslagen van de registreerstift. In fig. 181 is de inrichting voorgesteld die o. a. kan dienen om de intensiteit der elektrische stroomen van den sidderrog te bepalen.

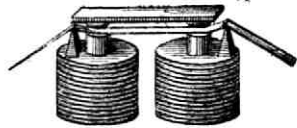


Fig. 181. Elektrische rheograaf.

Een draad van caoutchouc wordt over twee kammen horizontaal gestrekt tusschen het sluitstuk en het week ijzer van den elektromagneet; de beide week ijzeren kernen zijn aan den bovenkant een weinig uitgevijld; in deze holten passen twee halfcilindervormige metalen stukjes, die aan den onderkant van het sluitstuk zijn vastgesoldeerd.

Op deze worden aan de magnetische aantrekking steeds grooter wordende beletselen gesteld, naar gelang de oppervlakten van het sluitstuk en van den elektromagneet elkaar meer naderen. Om dit duidelijk in te zien, moeten wij het sluitstuk in de verschillende fasen van zijn daling volgen. Eerst komt het sluitstuk met het bolle oppervlak der cilindertjes in aanraking met den veerkrachtigen draad. Op dit oogenblik is de uitrekbaarheid van den draad zeer groot; maar naarmate hij meer daalt, zullen de aanrakingspunten steeds dichter bij elkaar komen, waardoor hij minder uitrekbaar wordt. Nog lager wordt de draad, nu gespannen boven de insnijdingen van de week ijzeren kernen, nog minder uitrekbaar totdat hij eindelijk, steeds door het sluitstuk terugge-

drongen, de buiging van de cilinder-vormige stukken aaneemt en nu een weerstand biedt aan de verdere beweging van het sluitstuk, welke weerstand aangroeit in reden van de reeds verkregen vervorming.

De lijnen van figuur 182 zijn door dit werktuig getraceerd; de ontlading werd verkregen door het prikkelen van een der elektrische organen van den sidderrog.

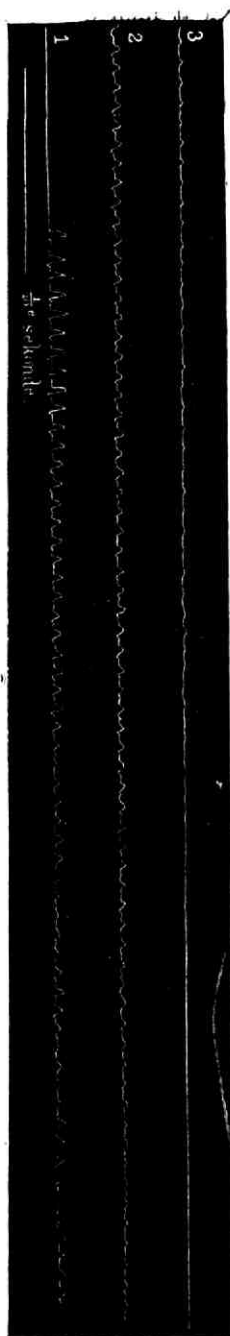
De afneming in amplitude van het begin tot het einde dezer ontlading is vrij aanzienlijk: ongeveer van 1 tot 10.

In de eerste lijn van fig. 182 merkt men een bij afwisseling toe- en afnemende amplitude van den elektrischen stroom op; deze afwisselingen doen zich vrij regelmatig voor, ongeveer om de negen trillingen van de stift. De oorzaak van deze periodiciteit is niet bekend.

De elektrische rheograaf, aldus ingericht, kan geen nauwkeurige tracés geven van de phasen, den duur en den vorm der elektrische stroomen; maar wel kan hij in enkele gevallen de treffende overeenkomst in vorm van een elektrischen stroom en van een spierschok aantoonen. 1)

1) Bij de hierboven beschreven inrichting van den rheograaf kunnen er licht trillende bewegingen van het sluitstuk ontstaan bij korte en sterke stroomen. Deze fout wordt verminderd door de beweegbare massa's zoo klein mogelijk te nemen en door bovendien het sluitstuk zeer kleine uit-

Fig. 182. Elektrische ontlading van een sidderrog, verkregen door het prikkelen van een elektrisch orgaan. Lijn 1 is verkregen door deze ontlading door middel van den rheograaf te registreren; 2 en 3, einde van de ontlading.



### Het registreren van elektriciteitshoeveelheden. 1)

De bepaling van elektriciteitshoeveelheden geschiedt met behulp van den voltameter; de hoeveelheid gas, in een bepaalden tijd in den waterontledingstoestel vrijgemaakt, dient hierbij als maat voor de hoeveelheid elektriciteit, die voor deze ontleding is verbruikt. Ook kan men den elektrischen stroom door een oplossing van kopersulfaat doen gaan en de hoeveelheid elektriciteit bepalen uit de gewichtshoeveelheid koper, die in een zekeren tijd op een der elektroden is afgezet.

Men kan nu de gassen, die in een waterontledingstoestel worden vrijgemaakt, opvangen in een gesloten ruimte, die in gemeenschap staat met een hermetisch gesloten trommel met hefboom. Zodoende is het mogelijk de fasen van gasontwikkeling te registreren.

Wordt de stroom geleid door kopersulfaat, dan zal door het afzetten van het metaal een gewichtsverandering ontstaan, die geregistreerd kan worden volgens de methode, die daarvoor vroeger (pag. 285) is aangewezen. In de industrië maakt men gebruik van de balans om het eind der galvanoplastische bewerking bij het verzilveren van voorwerpen aan te geven; wanneer de zilverlaag de gewenschte dikte heeft verkregen, slaat de balans door en verbreekt zodoende den stroom, waardoor de elektrolyse ophoudt.

In plaats van een dergelijke balans kan men nu een der toestellen gebruiken, die worden aangewend voor het registreren van gewichtsveranderingen; de aldus verkregen lijn zal door haar verschillende buigingen de veranderingen in de hoeveelheid elektriciteit aangeven, die in de opvolgende oogenblikken door de keten is gestroomd, terwijl men uit de totale hoogte, die de lijn bereikt, de totale hoeveelheid opgeleverde elektriciteit zal kunnen bepalen.

---

slagen te doen maken. De tracés kunnen dan door optische middelen genoegzaam vergroot worden.

1) \* MAREY gebruikt de uitdrukking elektriciteitshoeveelheid in dezelfde beteekenis als stroomsterkte. \*

---



## VIERDE AFDEELING.

### HET GELIJKTJDIG EN ACHTEREENVOLGEND REGISTREREEN.

---

Het gelijktijdig registreeren leidt tot het bestuderen van verschillende verschijnselen die zich op verschillende plaatsen voordoen. — Indeeling van de verschillende toepassingen van deze methode van registreeren.

Het achtereenvolgend registreeren leidt tot de registratie van enkele verschijnselen die in gewone omstandigheden niet door de toestellen worden aangewezen. Methode der stroboscopie van PLATEAU.

Het waarnemen van eenigszins samengestelde verschijnselen in hun onderling verband is ook voor den meest bekwamen en oplettenden waarnemer een onmogelijke zaak. Voor elke nauwkeurige waarneming is het noodzakelijk dat men het oog en de aandacht op een enkel verschijnsel vestige. Van daar dat de wetenschap, zoo rijk aan op zich zelf staande feiten, alleen met groote moeite het onderling verband en de betrekkingen tusschen dergelijke feiten kan opsporen. En toch is het voor elke wetenschap van het grootste belang dit onderling verband te kunnen daarstellen; de waargenomen feiten zijn slechts de grondstoffen, waaruit de wetenschap als een schoon geheel moet worden opgebouwd.

Reeds vroeger hebben wij aangetoond hoe de meteorologen partij trekken van de waarnemingen, die op hetzelfde oogenblik op verschillende plaatsen der aarde zijn gedaan, door die waarnemingen met elkaar in verband te brengen. De kennis van de atmosferische bewegingen berust alleen op deze combinatie van waarnemingen, die in verschillende plaatsen zijn gedaan.

Zoo komen ook in de physiologie een groot aantal gevallen voor, waarin het overzien van een groep van verschijnselen van het meeste gewicht is. Zoo kende men voor HARVEY wel den loop van het bloed in de meeste bloedvaten van het organisme; maar eerst later kon de synthese van deze gedeeltelijke begrippen

van de beweging van het bloed voeren tot de eigenlijke kennis van den bloedsomloop. Door HALEs werd met behulp van een manometer de bloedsdrukking in een slagader gemeten; daarna bepaalden een tal van physiologen de bloedsdrukking in verschillende vaten en de veranderingen, waaraan deze onderhevig is. Door het samenvoegen van deze verschillende elementen kunnen de hedendaagsche physiologen de verdeeling van de bloedsdrukking in den vaatstam in haar geheel begrijpen en volgen.

Hetzelfde laat zich zeggen van de snelheid en van de temperatuur van het bloed, wier veranderingen in de verschillende punten van het organisme eerst recht belangrijk worden, wanneer men ze in verband met elkaar beschouwt, daar alsdan de oorzaken en gevolgen hiervan beter te begrijpen zijn. En niet alleen is het van belang de veranderingen te kennen waaraan een verschijnsel in verschillende punten van het organisme onderhevig is, maar ook de kennis der veranderingen, welke onderscheidene verschijnselen in elk dezer punten ondergaan, is van het meeste gewicht.

Hieruit laat zich begrijpen hoe ingewikkeld het bestudeeren wordt van de levensverrichtingen, van dezen mikrokosmos, zooals de ouden het terecht noemden, want inderdaad zetelt in het levend wezen een geheele wereld.

Terwijl men in de meteorologie, om het geheel der atmosferische bewegingen te overzien, kan beschikken over de mededeelingen van een tal van waarnemers die zich in verschillende plaatsen ieder met bijzondere waarnemingen bezighouden, staat men in de physiologie bij het onderzoeken van eenige functie, waarvan men het geheim tracht uit te vorschen, bijna altijd alleen; in enkele gevallen wordt men bijgestaan door eenige medewerkers, die echter in te groot aantal het onderzoek eer moeilijker dan gemakkelijker zouden maken. De physioloog moet dus aan de registreertoestellen de zorg overlaten de ingewikkelde en veelvuldige werkingen waar te nemen, om daaruit het verband tusschen die werkingen op te sporen. Het komt er dus op aan om de in de vorige hoofdstukken beschouwde registreerwerktuigen op een behoorlijke wijze te laten samenwerken, en daarna uit hunne gezamenlijke aanwijzingen het verband tusschen de opgeteekende verschijnselen op te maken.

Bij het beschouwen van deze registratiemethode, die in alle

takken der experimenteele wetenschappen is aan te wenden, zullen wij, wegens de bizondere samengesteldheid van dit onderwerp, een zooveel mogelijk geregelden weg volgen, en beginnen met de minst ingewikkelde gevallen om den lezer geleidelijk tot de meer ingewikkelde voor te bereiden.

In de eerste plaats zullen wij nagaan *het gelijktijdig registreeren* van de veranderingen, die zich in een zelfde verschijnsel op verschillende plaatsen voordoen. Deze soort van proefnemingen leidt tot de proefondervindelijke bepaling van de wetten van beweging der vloeistofgolven in veerkrachtige buizen; de oplossing van dit vraagstuk is zoowel voor den natuurkundige als voor den physioloog van het grootste belang. Tot dezelfde groep van verschijnselen kan men de verdeeling van de drukking in de borstkas en in den buik onder den invloed van de ademhaling, van de werking of veranderingen van den dampkringsdruk brengen. Ook nemen wij hierbij nog de temperatuursbepaling in verschillende punten van het organisme en het bepalen van de veranderingen, die in de verdeeling der temperatuur plaats hebben, voor zoover deze afhankelijk zijn van de omringende temperatuur, van de intensiteit der warmtevoortbrenging door het dier en van den toestand der vaso-motorische zenuwen, die beschouwd moeten worden als de regulateurs voor de warmteverdeeling bij de dieren.

Tot een tweede groep brengen wij de gevallen, waarin men in een zelfde punt van het lichaam of in een zelfde orgaan de wijze nagaat, waarop een zeker aantal verschijnselen met betrekking tot elkaar veranderen. Zoo zal bijv. de verhouding tusschen de drukking en de snelheid van het bloed in een zelfde slagader niet altijd dezelfde zijn bij de verschillende toestanden van den bloedsomloop. Ook nemen wij hierbij op het vergelijken van de frequentie der hartsbewegingen met de uitstroaming van bloed uit het hart; van deze frequentie met de temperatuur of met de drukking van het bloed, enz.

Eindelijk plaatsen wij in een derde groep het registreeren van werkingen van verschillenden aard, die zich op verschillende plaatsen voordoen. Zoo worden hier de bewegingen, die de ledematen verrichten, beschouwd in verband met de reactiebewegingen die daarbij plaats hebben en die het lichaam van het dier verplaatsen. Bij het bestudeeren der stembeweging toont men aan

hoe de ademhalingsbewegingen, de trillingen van den larynx, de bewegingen van de tong, van de lippen en van het verhemelte samenwerken om de verschillende geluiden bij het spreken voort te brengen. De bewegingen bij het herkauwen en slikken worden eveneens tot deze groep gebracht en kunnen slechts door de aanwending der grafische methode voldoende geanalyseerd worden.

*Het achtereenvolgend registreeren* wordt toegepast bij de studie van die verschijnselen, welke men naar willekeur kan doen optreden, zooals bijv. het geval is met de geluids-, vloeistof-, spieren en zenuwgolven; men kan dan volgens deze methode bepalen met welke snelheid die bewegingen worden voortgeplant. DU BOIS-REYMOND is het eerst op het denkbeeld gekomen deze manier van registreeren aan te wenden; HELMHOLTZ heeft naar deze methode de snelheid der zenuwwerking gemeten. Bij een eerste proef prikkelt men een beweegzenuw dicht bij de spier en men registreert de spierbeweging, terwijl men het oogenblik opteekent waarop de prikkeling is aangewend. Bij een tweede proef wordt de zenuw geprikkeld in een punt dat verder van de spier is verwijderd en men registreert wederom de beweging en het oogenblik van prikkeling. Door nu beide tracés zoodanig boven elkaar te plaatsen dat de teekens van de oogenblikken van prikkeling op dezelfde verticale lijn komen te liggen, kan men door het onderling vergelijken der beide bewegingscurven de snelheid der zenuwwerking bepalen, wanneer men den afstand der twee punten kent, waarin de zenuw is geprikkeld geworden.

BUISSON heeft dezelfde methode gevolgd om de snelheid te meten waarmede vloeistofgolven zich in veerkrachtige buizen voortplanten. Bij een reeks van proeven registreerde hij gelijktijdig het optreden van de golf met het voorbijgaan dier golf in punten van de buis, op 10, 20, 30 cM., enz. van het beginpunt verwijderd. De aldus verkregen tracés werden nu zoodanig boven elkaar geplaatst dat de seintekens, die de oogenblikken van het optreden der golf aanwijzen, op een zelfde verticale lijn kwamen te liggen en zoo leidde hij uit het voortdurend later aankomen van den golf in de verschillende punten de snelheid af, waarmee deze golfbewegingen van punt tot punt werden voortgeplant. Het bezwaar dat aan deze methode verbonden is bestaat hierin, dat het zeer moeilijk is om op de vloeistof steeds een even sterke kracht

uit te oefenen; de val van een gewicht is de meest geschikte kracht die hier aangewend kan worden om aan de vloeistof steeds even sterke stooten te geven.

Eindelijk kan men volgens deze methode enkele verschijnselen registreeren, die op een andere wijze niet zijn waar te nemen.

Zoo is bijv. de galvanometer ongeschikt om de fasen van een elektrischen stroom van zeer korten duur aan te geven, daar deze toestel alleen de intensiteit van een stroom door den uitslag der naald kan aanwijzen, onder voorwaarde dat de naald den tijd heeft om te gehoorzamen aan de kracht, die haar doet afwijken; was de galvanometer dus zoo ingericht, dat hij zijn aanwijzingen kon registreeren, dan nog zou hij bij zeer korte stroomen tengevolge van de traagheid der naald geen nauwkeurige lijn van de elektrische beweging kunnen geven. GUILLEMIN 1) heeft echter een middel uitgedacht om met behulp van een galvanometer de intensiteit van een elektrischen stroom, hoe kort hij ook zijn moge, te bepalen en de veranderlijke fasen van deze intensiteit tot in de kleinste bijzonderheden te volgen.

Bij de proeven van GUILLEMIN benuttigt men de traagheid van de galvanometernaald, die een bepaalden en onveranderlijken stand zal innemen, wanneer een reeks afgebroken elektrische stroomen van gelijke intensiteit op den galvanometer werken. Men kan dus hierbij volstaan met een reeks van elektrische stroomen voort te brengen, die allen even sterk zijn, zooals bij een inductiestroom het geval is, en daarna den duur van dezen stroom bijv. in tien gelijke deelen te ontleden, en nu den stroom gedurende het eerste tiende deel bij eenige achtereenvolgende proeven op te vangen; deze kleine onderdeelen van den inductiestroom zullen de galvanometernaald een bepaalden stand doen innemen, welke afhangt van de intensiteit van den inductiestroom gedurende het eerste tiende gedeelte van zijn duur.

Vangt men nu het tweede tiende gedeelte van den stroom bij eenige achtereenvolgende proeven op, dan zal de galvanometernaald, door een anderen stand in te nemen, aanwijzen dat de intensiteit van den inductiestroom gedurende het tweede tiende deel van zijn duur grooter of kleiner is dan vroeger. Zoo ver-

1) GUILLEMIN, *Annales télégraphiques*, 1863.

krijgt men uit eenige opvolgende bepalingen van de intensiteit van den stroom op verschillende oogenblikken van zijn duur een reeks van ordinaten van de lijn, die dezen stroom voorstelt. Op deze wijze worden dan de veranderlijke fasen van verschillende soorten van elektrische stroomen bepaald.

BERNSTEIN heeft zich, door een geringe wijziging in de constructie der toestellen aan te brengen, van deze methode bediend om de fasen van de negatieve verandering der zenuwen en spieren te bepalen. Op overeenkomstige wijze zijn door DEPRÉZ de veranderingen van de spanning van den stroom in den cilinder van een stoomwerktuig gedurende de verschillende oogenblikken van den zuigerslag bepaald. De methode van WAIT was niet toereikend om de veranderingen in de stoomspanning gedurende een zoo korten tijd, als waarin de enkele beweging van den zuiger plaats heeft, te bepalen; DEPRÉZ heeft daarom den duur van een zuigerslag gelijkelijk verdeeld, in de opvolgende oogenblikken het bedrag van de spanning bepaald en zodoende de lijn der stoomspanning samengesteld. — Voor welke doeleinden deze methode van proefneming ook wordt aangewend, zij komt steeds hierop neer: dat men het verschijnsel in een reeks van elementen ontleedt, het bedrag van elk dier elementen bepaalt en zodoende door middel van punten de lijn van het verschijnsel construeert.

Aan de hierboven genoemde wijzen van proefneming sluit zich nog de zoogenaamde *methode der stroboscopie* aan, die door PLATEAU is uitgedacht en die voor het bestudeeren van een tal van verschijnselen van korten duur, of waarbij een snelle periodiciteit plaats heeft, kan worden aangewend. De eigenschap van het oog, dat de indruk op het netvlies nog eenigen tijd blijft voortduren nadat de oorzaak van dien indruk is opgehouden, maakt dat snel op elkander volgende indrukken op het netvlies ineensmelten; ook geeft het oog ons onjuiste aanwijzingen van snel plaats hebbende bewegingen. Om die onjuistheid te vermijden kwam SAVART op het denkbeeld de bewegende lichamen slechts gedurende zeer korten tijd door middel van een oogenblikkelijke verlichting zichtbaar te maken. Het gelukte hem op deze wijze een vochtstraal gedurende een oogenblik van zijn uitstrooming als schijnbaar onbewegelijk waar te nemen; de proef werd genomen in een donker

vertrek, dat bij tusschenpoozen door een elektrische vonk werd verlicht; de vochtstraal bleek nu te bestaan uit een reeks van bolvormige druppels, die beurtelings afgeplat en langwerpig waren, zoodat dit verschijnsel onwillekeurig herinnerde aan de beurtelings verdichte en verdunde luchtgolven die in geluidgevende orgelpijpen ontstaan. PLATEAU maakte deze proeven nog eenvoudiger door dergelijke verschijnselen in plaats van bij oogenblikkelijke verlichting, door een ronde draaiende schijf waar te nemen, aan wier rand een zeer smalle insnijding in de richting der middellijn was aangebracht. Bezieet men door een dergelijke schijf een tweede schijf, die in denzelfden zin en met gelijke snelheid als de eerste ronddraait, dan zal deze schijf onbewegelijk schijnen; is echter de draaiingsnelheid der schijven verschillend, dan zal de achterste schijf zich des te langzamer schijnen te bewegen, naarmate dit verschil der snelheden kleiner is. Door de verhouding dezer snelheden nu behoorlijk te regelen, kan men de beweging der achterste schijf voor het oog zooveel vertragen, als men verkiest, en op deze wijze een beweging waarnemen, die anders aan de waarneming tengevolge van haar te groote snelheid zou zijn ontsnapt. Algemeen bekend is de toepassing van deze methode en ook van het omgekeerde daarvan, waarbij men een reeks van figuren van menschen of dieren, geteekend in verschillende standen, snel voorbij een opening doet gaan, waardoor het oog, voor deze opening geplaatst, den indruk krijgt, alsof de voorwerpen, door de figuren voorgesteld, inderdaad bewegingen volbrachten; een dergelijk toestelletje, *phenakistikoop* of ook wel *zoötroop* genaamd, brengt dus in een korten tijd de opvolgende standen, die zich in een beweging voordoen, voor het oog, zoodat dit den indruk krijgt van een continue beweging, waarvan verschillende elementen door de opvolgende figuren zijn voorgesteld.

Deze uitvinding van PLATEAU dagteekent van 1832; in 1833 heeft deze methode door DOPPLER en later nog door TÖPLER en door MACH een tal van belangrijke verbeteringen ondergaan en wordt vooral veel toegepast bij het bestudeeren van geluidsverschijnselen.

Bij de groote vorderingen, die in onze dagen in de fotografie gemaakt zijn, is het nu wel te voorzien dat men in vele gevallen stroboscopische beelden met gemak zal kunnen fotografeeren,

zoodat men dan blijvende beelden zal krijgen, wier analyse en onderlinge vergelijking van de grootste waarde kan zijn; in de toekomst is dus van die zoogenaamde *strobografie* veel goeds te verwachten. Zoo zouden bijv. de aanwijzingen van den elektrometer van LIPPMANN, die zoo belangrijk zijn voor het nauwkeurig bepalen der elektrische spanningen, gefotografeerd kunnen worden in den vorm van boven elkaar geplaatste beelden, waarvan elk beeld den stand van de kwikkolom op een bepaald oogenblik van een periodiek terugkeerende verandering in elektrische spanning zou voorstellen.

## EERSTE HOOFDSTUK.

### HET REGISTREEREN VAN EEN VERSCHIJNSEL DAT ZICH OP VERSCHILLENDE PLAATSEN VOORDOET.

Voortplanting van de drukking in vloeistoffen. — Proeven over de voortplanting van de golfbeweging van vloeistoffen. — Het registreeren van de spiergolf. — Cardiografie. — Verband tusschen de systolen van de rechter en linker holten van het hart. — Verband tusschen de systole der kamer en het kloppen van de aorta. — Het bepalen van de kracht die uitgeoefend wordt door de verschillende holten van het hart met behulp van den manometer. — Drukking in de ingewandsholten, proeven van LUCIANI. — Het gelijktijdig registreeren der temperaturen in verschillende punten van het organisme. — Het gelijktijdig registreeren van de ontladingen der twee elektrische organen bij den sidderrog, en van de daarbij ontstaande inductiestroommen. — Snelheid van het projectiel in verschillende punten van de ziel van het kanon.

#### **Voortplanting van de drukking in vloeistoffen.**

Wanneer het bloed uit de hartkamer in de slagaderen is gestuwd, zal er geen gelijktijdige stijging van drukking in de verschillende deelen van het stelsel van slagaderen plaats hebben. Uit enkele verschijnselen blijkt namelijk dat er in deze vaten een golfbeweging ontstaat. Zoo laat zich toch alleen uit het bestaan van een *bloedgolf* de vertraging van den pols in de van het hart verwijderde slagaderen verklaren; evenzeer het dubbelslaan van den pols, in de geneeskunde het *dicrotisme* van den pols genoemd, 'tgeen in enkele gevallen reeds met den vinger is waar te nemen.

Reeds door WEBER was voorgesteld de gegevens, voortvloeiende uit de studie der vloeistofgolven, dienstbaar te maken aan het



onderzoek van dit bijzonder gedeelte van den bloedsomloop, ten einde langs dezen weg een verklaring te geven van de vertraging van den pols, die des te grooter is, naarmate men een slagader onderzoekt die verder van het hart is verwijderd. Uit de wijze waarop de beweging van vloeistoffen zich in veerkrachtige buizen voortplant; is dan ook gebleken dat de vertraging van den pols geëvenredigd moet zijn aan den afstand van het punt, waar de beweging wordt voortgebracht.

In fig. 183 zijn de tracés van het kloppen der kamer en die

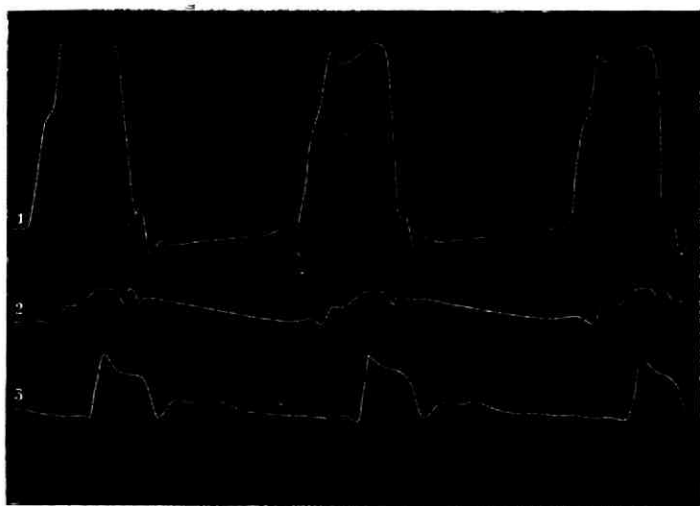


Fig. 183. Bepaling van den tijd die verloopt tusschen de systole der kamer en het optreden van den pols in de verschillende slagaderen.

van den pols van verschillende slagaderen van een paard voorgesteld; men kan daaruit nauwkeurig bepalen hoeveel elk dezer kloppingen later plaats heeft dan de corresponderende kamersystole.

Evenals de vertraging van den pols wordt ook het dicrotisme van den pols uit het bestaan van golvingen of van schommelingen in de bloedkolom, die in de verschillende slagaderen is bevat, verklaard. Ook het dicrotisme is een zuiver natuurkundig verschijnsel, dat geheel langs kunstmatigen weg kan worden voortgebracht.

De twee curven van fig. 184 toonen de vormen van het dicro-

tisme van den pols; de eerste lijn is op den mensch, de tweede op een nagebootsten bloedsomloop verkregen.

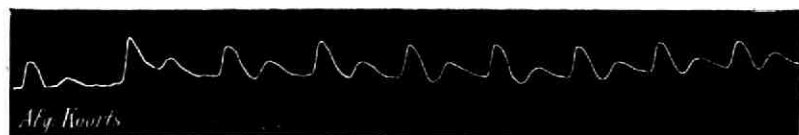


Fig. 184. Natuurlijk dicrotisme van den pols bij een tussenpoozende koorts.  
Dicrotische pols verkregen op den nagebootsten bloedsomloop.  
2e fig. Versnelling in den rhythmus van de vloeistofbewegingen.

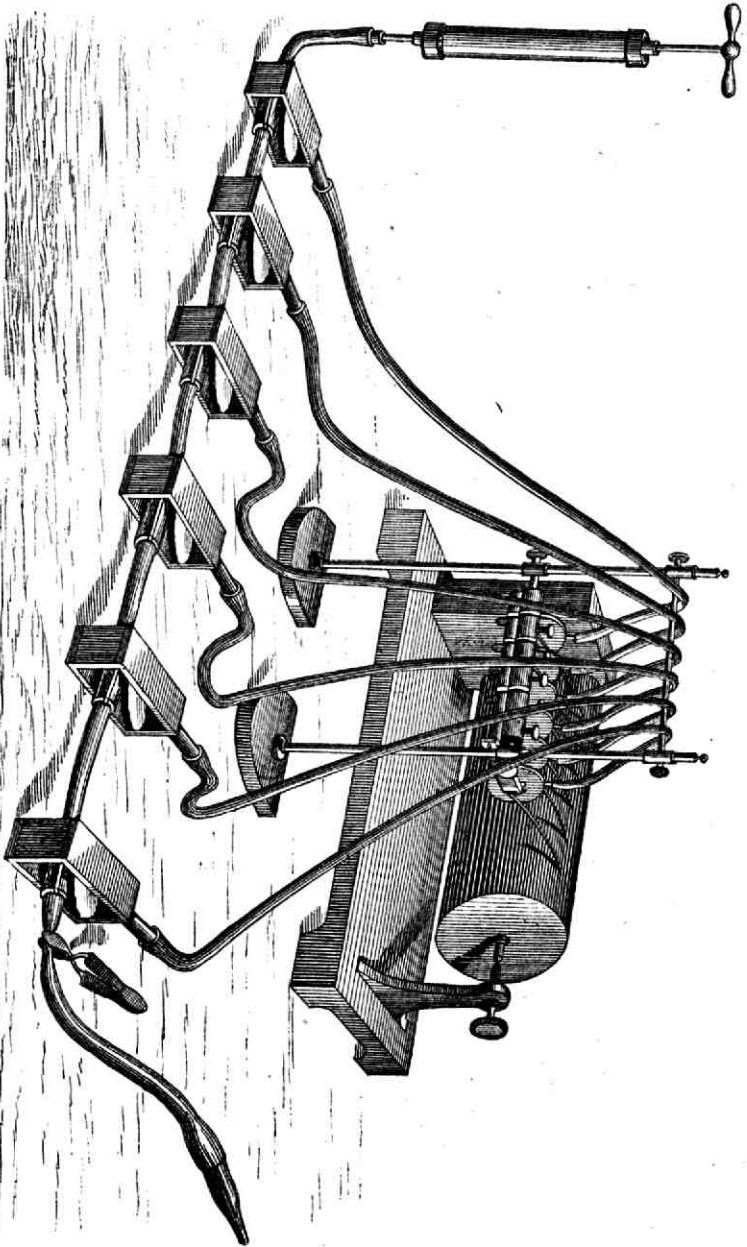
Hierdoor zijn alle hypothesen vervallen, volgens welke men het dicrotisme van den pols heeft trachten te verklaren. Zoo wordt ook het aannemen van twee opeenvolgende systolen van de kamer direkt weerlegd door het ausculteeren van het hart bij personen, die een duidelijk dicrotisme van den pols vertoonen.

Intusschen is het aannemen van golven in de slagaderen niet voldoende om alle wijzingen, die deze vertraging ondergaat, alsmede de veranderingen die zich in het aantal, in de amplitude en in den duur der *slagaderlijke kloppingen* voordoen, te verklaren. Van een dieper onderzoek van de beweging van vloeistofgolven en van de invloeden, welke die bewegingen doen veranderen, zijn nieuwe vorderingen in de physiologie te wachten. De theorie der golfbewegingen is een der moeilijkste, maar ook tevens een der belangrijkste gedeelten van de natuurkunde, aangezien daaruit het wezen van een groot aantal natuurverschijnselen wordt verklaard. Ten allen tijde hebben zich dan ook de meest beroemde natuur- en wiskundigen in het bijzonder op de kennis van deze bewegingen toegelegd; zelfs alleen aan de studie der golfbewegingen van vloeistoffen knoopten zich de namen van de grootste geleerden vast. Het uitstekende werk over dit gedeelte der natuurkunde van E. en H. WEBER, 1) toont ons hoeveel geleerden

1) *Wellenlehre*, Leipzig 1825.

zich reeds vroeger met dit onderwerp hebben beziggehouden en

Fig. 185. Toestel bestand om gelijktijdig het voorbijgaan van een vloeistofgolf in verschillende punten eener buis te registreren.



hoever de kennis van de golfbewegingen in deze eeuw is gevorderd.

**Proeven over de voortplanting van de golfbeweging van vloeistoffen.**

Terwijl de wiskundige oplossing van het vraagstuk betreffende de golfbeweging van vloeistoffen zeer moeilijk is, is daarentegen de experimenteele oplossing vrij gemakkelijk. Men behoeft hiertoe slechts gelijktijdig de volumeveranderingen, die een caoutchouc-buis in verschillende punten ondergaat, te registreeren, om zich rekenschap te geven van den loop, de lengte, de snelheid van de golf, van de terugkaatsingen die zij ondergaat, enz.

Om de volumeveranderingen in een punt der buis te onderzoeken, wordt de buis tusschen twee gebogen metalen plaatjes gevat (fig. 186); de vergrooing of verkleining van den afstand

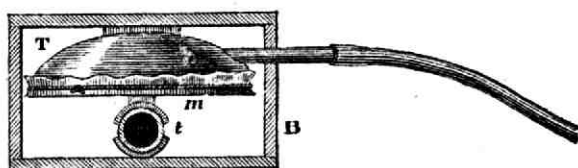


Fig. 186. Toestel bestemd om het voorbijgaan van de vloeistofgolf in de buis T te registreeren.

dezer plaatjes deelt zich mede aan het vlies van een luchttrommel, die met een registreerenden hefboom in verbinding staat.

Wanneer door de golfbeweging de buis zich uitzet, dan trachten de metalen plaatjes hun afstand te vergrooten, en daar alleen het bovenste plaatje beweegbaar is, zal dit alleen de totale beweging volbrengen en de boven haar geplaatste trommel samendrukken; het zal dus aan den registreerenden hefboom het sein geven van het voorbijgaan der golf.

Figuur 185 stelt de inrichting van den toestel in zijn geheel voor. Een horizontale caoutchouc-buis is met vloeistof gevuld; haar eene uiteinde is met een pomp verbonden, terwijl zich aan het andere uiteinde een uitstroombuisje bevindt, dat naargelang van de proef open of gesloten blijft.

De buis loopt door zes kleine toestellen (ontvangtoestellen), gelijk aan die, welke in fig. 186 is afgebeeld; deze toestelletjes zijn op een afstand van 20 M. van elkaar verwijderd; de buis

loopt nog voorbij den laatsten toestel door, maar men kan haar onmiddellijk na den 6<sup>den</sup> toestel door middel van een klemkraan afsluiten. In dat geval stuit de golf tegen het beletsel, door deze kraan gevormd. Elk der ontvangtoestelletjes staat in verbinding met een trommel met hefboom; deze 6 hefboomen schrijven op een cilinder, die een omwentelingssnelheid heeft van 28 cM. per sekonde. Deze snelheid wordt gecontroleerd door een chronograaf, die 50 trillingen in de sekonde maakt.

Wanneer men door middel van de pomp een hoeveelheid vloeistof in de buis voortstuwt, ontstaat een *positieve golf*. Haalt men daarentegen den zuiger van de pomp op, dan wordt de vloeistof in de buis opgezogen en zodoende ontstaat een *negatieve golf*, die zich overigens op dezelfde wijze voortplant.

Door de buis aan haar uiteinde door middel van de klemkraan af te sluiten, is de doorgang van de vloeistof aldaar belet en de golf wordt alsdan teruggekaatst. Laat men de buis open, dan heeft er geen terugkaatsing plaats.

In fig. 187 is het doorgaan van een positieve golf onder de zes ontvangtoestellen voorgesteld; de uitstroomingsopening was gesloten, zoodat de golf werd teruggekaatst. De figuur wijst ook aan dat de *direkte* positieve golf gevolgd wordt door eenige *secundaire* golven.

*Verklaring van figuur 187.* — Op de abscissen-as zijn de tijddeelen afgezet; de deelen kunnen 50<sup>e</sup> deelen van een sekonde of onderdeelen daarvan voorstellen, naargelang van het aantal trillingen van den chronograaf.

De ordinaten-as geeft de lengte der buis aan of de wegen, door de golf doorloopen. Tusschen elke twee ontvangtoestellen is een tusschenruimte van 20 cM. De vertikale afstanden van I tot II, van II tot III, enz., komen dus overeen met een weg van 0,20 M., door de golf afgelegd.

De letters *a, b, c, a'*, wijzen in de boven elkaar geplaatste lijnen het hoogste punt van een zelfde golf aan; zodoende kan men gemakkelijk den loop van een golf volgen. Door een pijltje wordt de richting, waarin de beweging zich voortplant, aangeduid. Zoo wijzen *1a, 2a, 3a . . . 6a* den loop van de *eerste direkte golf* aan, die, uitgaande van het punt waar zij door den ontvangtoestel no. 1 wordt opgeteekend, het gesloten uiteinde van de buis

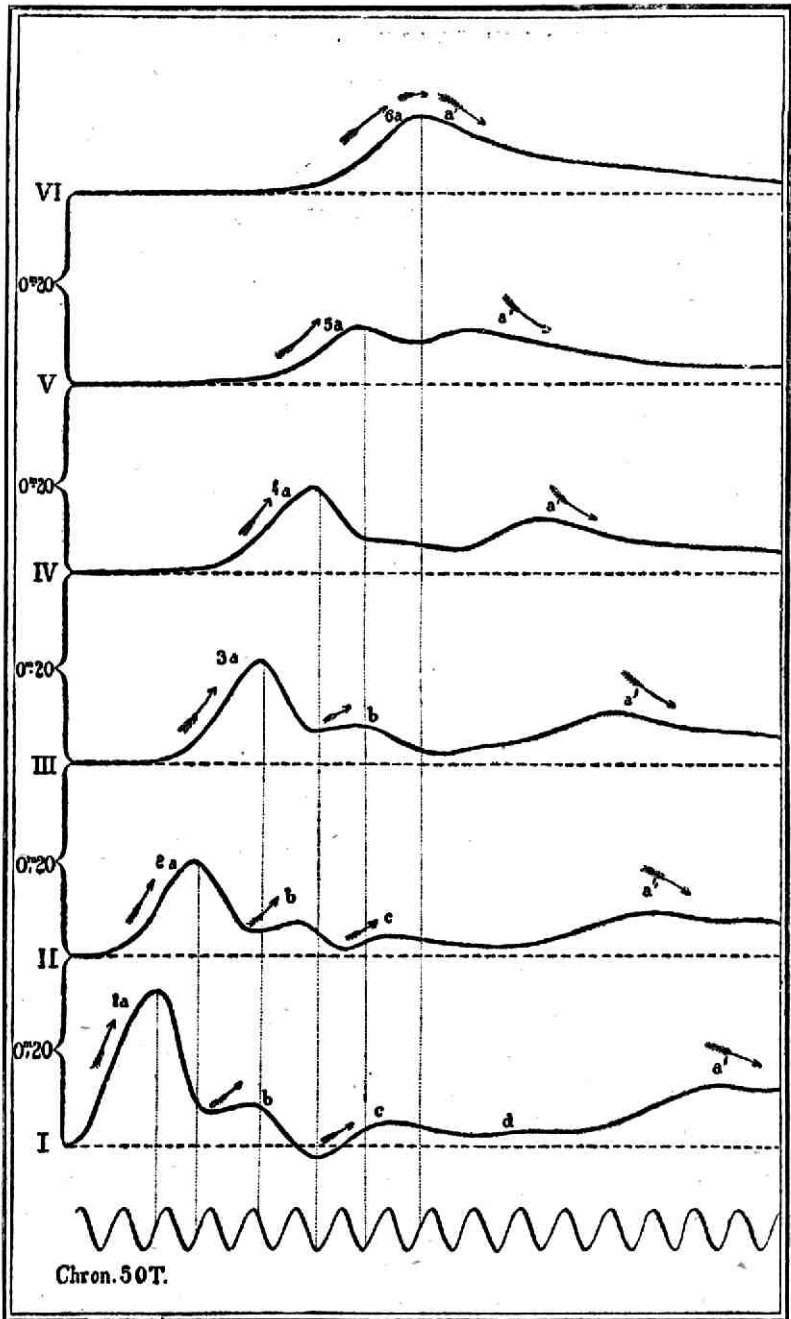


Fig. 187. Voortplanting en vormveranderingen van een positieve golf in de verschillende punten van een veerkrachtige buis.

bereikt, waar zij wordt teruggekaatst. Men kan verder diezelfde golf bij haar terugkeer volgen; zij wordt dan aangeduid door de letters  $a'$ . De pijltjes, die naar beneden gericht zijn, wijzen in tegenstelling met de naar boven gerichte pijltjes, de teruggekaatste golf aan.

De *secundaire* golven zijn gekenmerkt door de letters  $b, c, d$ ; zoo wijst  $b$  de tweede,  $c$  de derde,  $d$  de vierde golf aan. Deze secundaire golven verdwijnen meer of minder snel; de golf  $b$  komt niet verder dan tot den 3<sup>en</sup> ontvangtoestel, dus niet voorbij 0,40 M.; de golf  $c$  doorloopt slechts 0,20 M.; de golf  $d$  verdwijnt nog eerder.

De *snelheid* van een golf is af te leiden uit den tijd, die verloopt tusschen het oogenblik waarop zij bij den 1<sup>en</sup> ontvangtoestel optreedt, en het oogenblik waarop zij den 2<sup>en</sup> bereikt. Daar het optreden van een golf minder gemakkelijk te onderscheiden is dan haar hoogste punt, worden de achtereenvolgende standen der golf van dit laatste punt af gemeten. Men laat dan een loodlijn vallen van het hoogste punt van elke golf  $1a, 2a$ , enz., op de abscissen-as en op de lijn van den chronograaf.

De *lengte* van een golf wordt afgeleid uit den afstand, waarop de aanvangspunten of hoogste punten van twee opvolgende golven op een zelfde oogenblik van elkaar zijn verwijderd; ook hiervoor kiest men bij voorkeur de hoogste punten. Men heeft dus de buislengte te bepalen, die tusschen het hoogste punt van golf  $a$  en dat van golf  $b$ , die na haar komt, is gelegen. In lijn n<sup>o</sup>. III is het hoogste punt  $3a$  van de eerste golf vertikaal gelegen boven het hoogste punt  $b$  van lijn n<sup>o</sup>. I; deze twee punten zijn dus op 0,40 M. afstand van elkaar verwijderd; de tusschenruimte tusschen twee opvolgende golven bedraagt dus 0,40 M. Hetzelfde vinden wij voor den afstand van het hoogste punt  $5a$  tot het punt  $3b$ .

De voortplanting van een *negatieve golf* is in fig. 188 voorgesteld. Deze golf wordt, zooals reeds hierboven werd gezegd, door het ophalen van den zuiger der pomp teweeggebracht.

Het verschijnsel is juist het omgekeerde van het vorige; maar de voortplanting heeft over de lengte der buis op dezelfde wijze plaats.

Om het analyseren van deze figuur gemakkelijk te maken, is

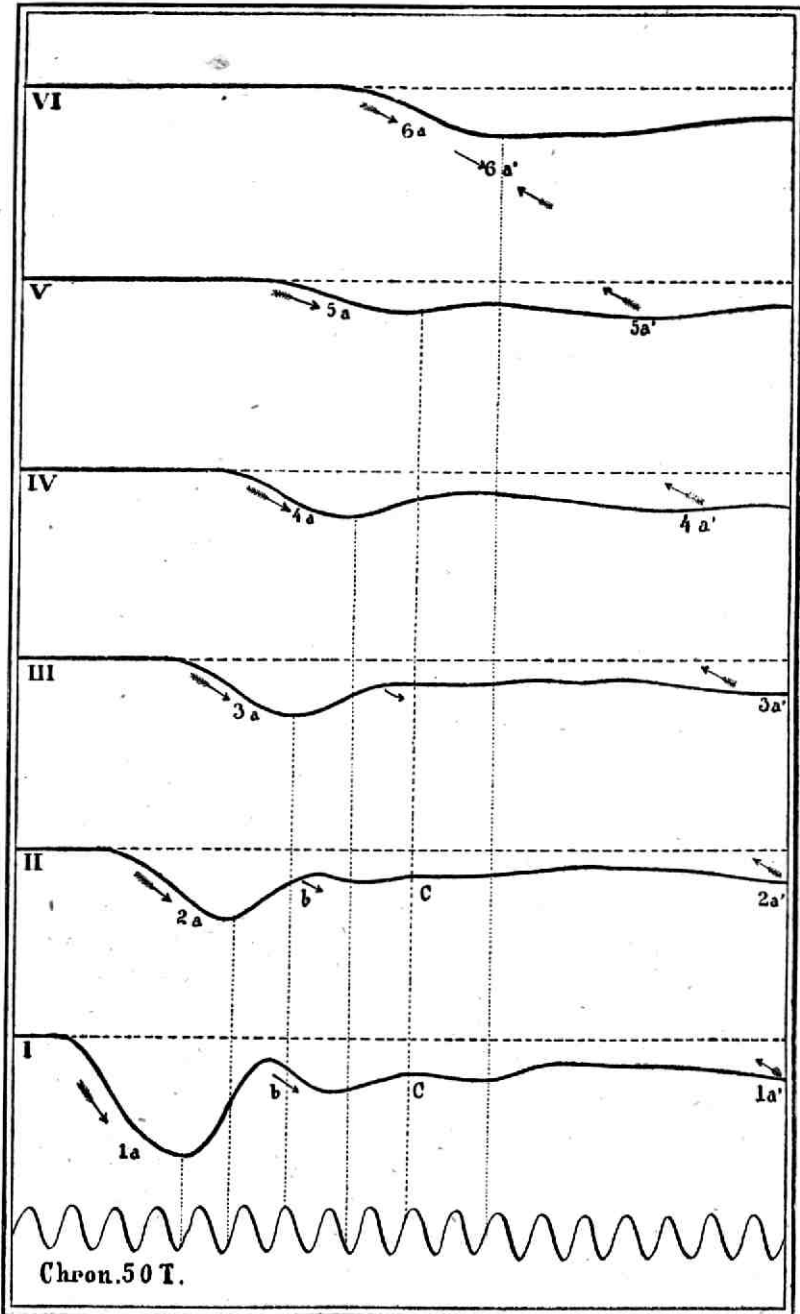


Fig. 188. Voortplanting van een negatieve golf in een veerkrachtige buis.



aan de letters, die de opvolgende golven aanwijzen, alsmede aan de pijltjes, dezelfde beteekenis als in de eerste figuur toegekend.

Deze proeven zijn natuurlijk genomen met buizen van verschillende dikte en middellijn, met verschillende vloeistoffen, terwijl ook het volume der golven en de kracht, waarmee zij worden voortgestuwd, verschillende wijzigingen ondergingen; verder zijn ook deze proeven genomen met buizen, die zich van uit een hoofdbuis vertakten. Wij laten hier de voornaamste resultaten volgen, waartoe deze proefnemingen hebben geleid.

*Gevolgtrekkingen.* 1e. Wanneer een vloeistof snel en intermitterend in een reeds gevulde veerkrachtige buis dringt, ontstaan er over de geheele lengte der vloeistofzuil *positieve golven*, die zich voortplanten met een snelheid, welke onafhankelijk is van de verplaatsing der vloeistof. Deze golven schijnen onderworpen aan de algemeene wetten der golfbewegingen; deze kunnen door bijzonder daarvoor ingerichte toestellen bestudeerd worden.

2e. De *snelheid*, waarmee een golf zich voortplant, is evenredig met de veerkracht der buis; zij verandert in omgekeerde reden van de dichtheid der aangewende vloeistof; zij vermindert trapsgewijze gedurende de beweging der golf; zij neemt toe met de snelheid, waarmee de vloeistof wordt voortgestuwd.

3e. De *amplitude* van de golf is evenredig met de hoeveelheid vloeistof, die in de buis dringt, alsmede met de kracht van voortstuwing; zij wordt langzamerhand kleiner gedurende de beweging van de golf.

4e. Wanneer in de buis een hoeveelheid vloeistof kort en krachtig wordt opgestuwd kunnen er tengevolge van dien enkelen stoot eenige opvolgende golven ontstaan. De amplituden van deze *secundaire golven*, die ontstaan volgens de wetten der trillende beweging, nemen steeds af; de laatsten dezer golven zijn de zwakste en verdwijnen het eerst.

5e. Wordt een golf door secundaire golven gevolgd, dan kan men den afstand bepalen, die hen scheidt, door den afstand tusschen twee opvolgende hoogste punten te meten.

6e. Ontneemt men aan de in de buis aanwezige vloeistof een kleine hoeveelheid, dan vormt zich een *negatieve golf*, die aan dezelfde wetten is onderworpen als de positieve golf en waarschijnlijk ook door secundaire negatieve golven gevolgd wordt.

7e. Is de buis, waarin de golven ontstaan, gesloten of aan haar uiteinde genoegzaam vernauwd, dan ontstaan er *teruggekaatste golven*, die teruglopend weer het aanvangspunt der beweging bereiken. Deze teruggekaatste golven onderscheiden zich van de direkte golven daardoor, dat elke vernauwing der buis, stroomafwaarts van het onderzochte punt gelegen, de intensiteit der direkte golven vermeerdert en daarentegen die van de teruggekaatste golven verzwakt. In het punt, waar de terugkaatsing plaats heeft, vermeerdert de amplitude der golven, evenals bijv. is op te merken bij den waterspiegel van een vijver, wanneer de golven met de wanden in aanraking komen.

8e. Wordt de vloeistof met groote snelheid voortgestuwd in een buis, wier wanden weinig uitrekbaar zijn, dan ontstaan er zoogenaamde *harmonische trillingen*; zij vergezellen de voornaamste golven, terwijl hun aantal een veelvoud is van het aantal golven. Deze trillingen treden niet op aan de opening der buis, maar wel een weinig verder en verdwijnen dan aan het tegenovergestelde uiteinde.

9e. Wanneer de vloeistof in groote hoeveelheid en gedurende vrij langen tijd in de buis wordt voortgestuwd, dan wordt de teruggaande schommeling, waardoor de secundaire golven ontstaan, belemmerd door die voortdurende toestrooming. Toch kunnen in dat geval de secundaire golven nog op een zekeren afstand van het beginpunt der buis optreden.

10e. In vertakte buizen van gelijke dikte en middellijn, ontstaat een zeer samengestelde beweging van golven die van de eene buis in de andere overgaan. Echter wordt bij den bloedsomloop het overgaan van de golven van de eene slagader in de andere belet door de aorta; deze toch zendt hare eigen golven uit in al de slagaderen, waar zij wel een meer of mindere vormverandering ondergaan, maar zij vernietigt en absorbeert, evenals een veerkrachtige vergaarbak, de golven, die haar door elke slagader worden toegevoerd en brengt deze niet in de andere slagaderen over.

11e. Wanneer een buis zich vertakt in kleinere buizen van ongelijke lengte, zooals het geval is met de kleine slagaderen en de aorta, ontstaan in elk dier buizen eigenaardige golven, wier lengte afhangt van de lengte der hoofdbuis.

Uit deze proefondervindelijke bepalingen heeft RÉSAL de volgende formule opgemaakt voor de voortplantingssnelheid van vloeistofgolven, waarin  $V$  de voortplantingssnelheid,  $E$  de coëfficiënt van veerkracht,  $d$  de dikte en  $R$  de straal der buis,  $s$  de dichtheid van de vloeistof voorstelt:

$$V = \sqrt{\frac{E d}{2 R s}}$$

### Het registreeren van de spiergolf.

Door het gelijktijdig registreeren van de zwellingen eener spier in verschillende harer punten heeft ÆBY 1) het optreden van een spiergolving aangetoond, die veel overeenkomst heeft met de golfbeweging van een vloeistof in een veerkrachtige buis. Door deze twee verschijnselen met elkaar te vergelijken, krijgt men een klaar begrip van de juiste werking van de samentrekking van spieren.

Zoodra de golf in de spier optreedt, heeft er een verkorting plaats. Deze verkorting blijft gedurende den geheelen duur van overbrenging bestaan, en wanneer de golf, aan het uiteinde van de spiervezel gekomen, verdwijnt, dan houdt ook de verkorting op.

Deze verschijnselen komen nauwkeurig overeen met die, welke men met het mikroskoop waarneemt, wanneer men daarmee een nog levende spier onderzoekt. Men neemt bijv. van een insect een bundel spiervezelen en plaatst die onder het voorwerpglas van het mikroskoop (de pooten van kevers leenen zich zeer goed tot deze soort van onderzoekingen); men merkt dan eerst de cigenaardige vorming van dwarsstreepen in deze vezelen op en ziet op hare oppervlakte een vaak afwisselende golfbeweging, die herinnert aan de golfbewegingen van een waterspiegel.

Door dit verschijnsel zeer nauwkeurig na te gaan, ziet men dat de dwarsstreepjes van de vezel in sommige punten zeer dicht bij elkaar liggen, hetgeen zich in het schaduwbeeld vertoont als een zwelling van de vezel. Dit is de golf door het mikroskoop gezien;

1) *Untersuchungen ueber die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in der quergestreiften Muskelfaser*, Braunschweig, 1862.

door de samentrekking in de lengte wordt het beeld in enkele punten donkerder dan in de overige deelen (fig. 189).



Fig. 189. Beeld van een spiergolf, door het mikroskoop gezien, naar ÆBY.

Deze donkere golf beweegt zich langs de vezel voort; met andere woorden, de punten, waar de streepjes het dichtst bij elkaar liggen, zijn niet altijd dezelfde; terwijl zij in het eene punt verdwijnen, treden zij in de daarnaast gelegen deelen op.

Aangezien de verkorting der spier vergezeld gaat van een opzwellen in de breedte, kan men naar deze zwellingen de eigenaardigheden van de beweging onderzoeken, die in een spier plaats heeft. Daar men deze veranderingen in de middellijn der spier kan registreeren, kan ook de spierwerking bij den mensch zelf bestudeerd worden, want hiervoor is geen verminking hoe genaamd noodig.

Men denke zich een spier gevat tusschen de platte beenen van een tang; bij elke opzwellen worden de beenen der tang door de spier van elkaar verwijderd en deze beweging kan worden geregistreerd. Zoodoende wordt het verschijnsel van de spiergolf en de snelheid, waarmee deze zich langs de geheele spier voortplant, nauwkeurig opgeteekend.

Figuur 190 toont ons een spierbundel, in twee verschillende punten gevat tusschen de beenen van myografische tangen 1 en 2. Deze laatsten zijn zoo ingericht, dat door de verwijding der beenen een soort van kleine luttrommel wordt samengedrukt, die door een buis een deel van de samengeperste lucht naar een tweede luttrommel zendt. In fig. 190 zijn twee van deze werktuigen, op een voetstuk bevestigd, afgebeeld. Door de zwelling van het vlies wordt verder een registreerende hefboom opgelicht en zoodoende het sein gegeven van de spierzwelling in het punt, waarin zij door de tang no. 1 wordt gevat. Op deze wijze verkrijgt men lijnen van de spierbeweging, die veel overeenkomst hebben met de lijnen, die wij reeds vroeger hebben beschouwd.

Wordt de spier in het punt, waar zich de eerste tang bevindt, elektrisch geprikkeld, dan wordt het sein gegeven van het op-

treden der golf in dit punt van de spier, terwijl door tang n<sup>o</sup>. 2 nog geen sein wordt gegeven. Eerst op het oogenblik, waarop

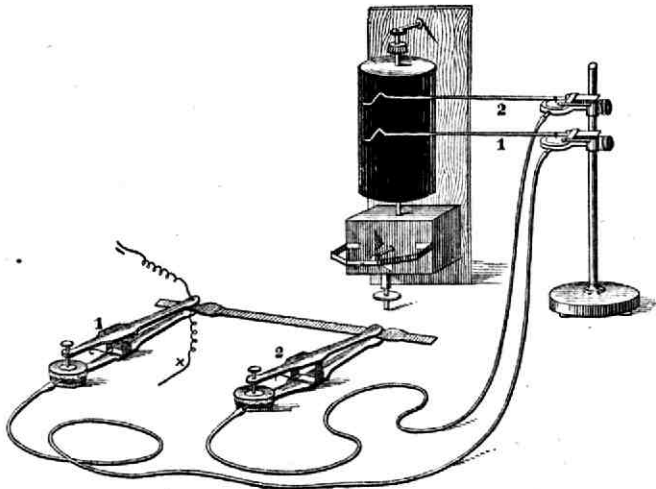


Fig. 190. Het voorbijgaan van de spiergolf, geregistreerd door middel van twee myografische tangen.

de golf in het punt, waar de 2<sup>de</sup> tang is geplaatst, is aangekomen, wordt het sein op den cilinder opgeteekend; de afstand tusschen beide seinen is tot tijddeelen te herleiden, uit de bekende omwentelingssnelheid van den cilinder.

Hoogstwaarschijnlijk worden de intensiteit en de snelheid van voortplanting der spiergolf door dezelfde oorzaken gewijzigd, die van invloed blijken te zijn op de intensiteit en den duur van spierschokken; zoo wijzen onder anderen de twee onderste lijnen van fig. 191 aan dat de voortplanting van de golf vertraagd is door koude.

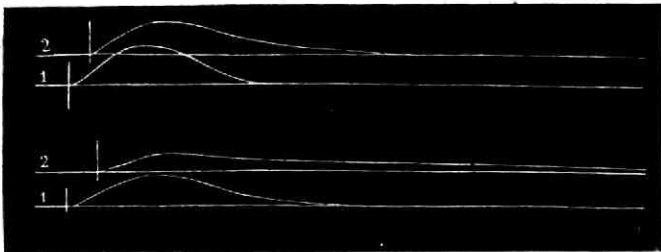


Fig. 191. Lijnen die de voortplanting der spiergolf aangeven.

De proefneming geschiedde hier op de dijspieren van een konijn. De tangen waren zoo ver mogelijk, op ongeveer 7 centimeter, van elkaar geplaatst; de elektrische prikkeling werd aangewend op het benedeneinde der spier; zoo ontstonden de twee bovenste lijnen van fig. 191. De tijd van voortplanting der spiergolf valt hieruit gemakkelijk te bepalen. Na de spier met ijs te hebben afgekoeld, verkreeg men de twee onderste lijnen; men ziet duidelijk dat in dit geval de voortplanting der golf is vertraagd, want de tusschenruimte tusschen 1 en 2 is bij de twee laatste lijnen grooter dan bij de twee eerste.

### Cardiografie.

De juiste kennis van de wijze, hoe de verschillende werkingen bij een hartsperiode elkaar opvolgen en in 't bizonder van de beteekenis van den hartslag is vooral voor de geneeskunde van het hoogste belang. De meeningen hieromtrent liepen vroeger zeer uiteen; de meesten beweerden, volgens HARVEY, dat het hart klopt op het oogenblik van de systole der kamer; enkelen waren echter weer van een tegenovergesteld gevoelen.

De eenige weg om dit zoo belangrijk vraagstuk met zekerheid te kunnen beantwoorden, bestond in het gelijktijdig registreeren van de bloedsdrukking in den boezem en in de kamer met den hartslag. Uit de drie aldus verkregen en boven elkaar geplaatste curven moest het verschijnsel zich in zijn waren vorm openbaren.

De hiervoor gebezigde toestel is in fig. 192 afgebeeld. Van de drie boven elkaar geplaatste hefboomen moet de eerste *hb* de bloedsdrukking in den rechter boezem bij een paard registreeren; de tweede *hk* de bloedsdrukking in de rechter kamer, de derde *ht* den hartslag tegen de wanden van de borstkas.

De uiteinden van deze zoo nauwkeurig mogelijk boven elkaar aangebrachte hefboomen schrijven de curven op een papierstrook op, die door een uurwerk U in beweging wordt gebracht.

Elk der hefboomen rust door middel van een kleine houten kam of mesje op het veerkrachtig vlies van een luchttrommel; de drie trommels staan door buizen in gemeenschap met veerkrachtige zakjes, die in de holtten van het hart worden aangebracht.

De twee veerkrachtige zakjes, waarop de bloedsdrukking in

de holten van het hart moet werken, zijn in een enkel werktuig, *sonde* genaamd, vereenigd; deze sonde wordt door een vena jugu-

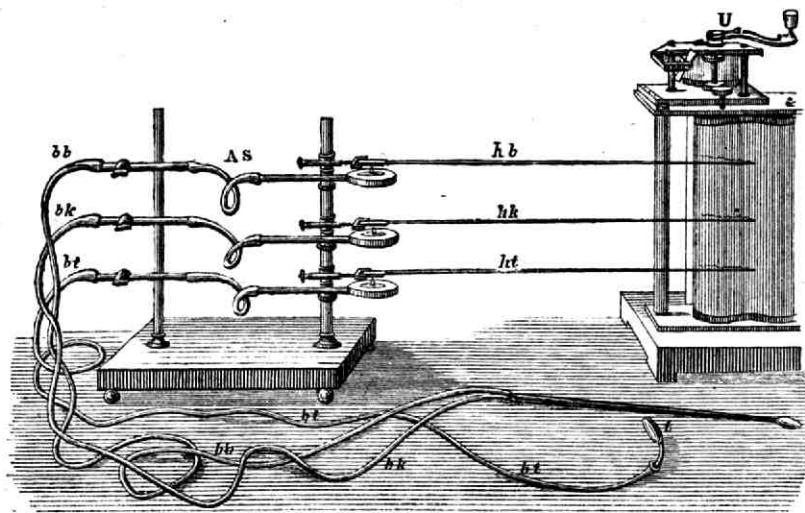


Fig. 192. Inrichting van den toestel voor cardiografische proeven.

laris ingebracht, en komt in de holten van hart uit.

In fig. 193 is deze sonde voorgesteld; zij bestaat uit twee

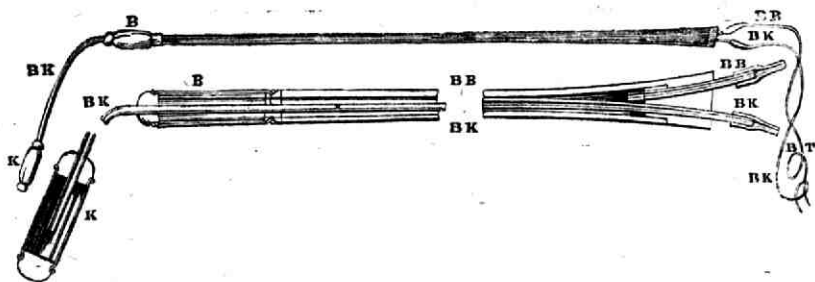


Fig. 193. Sonde voor de rechter kamer met onderdeelen

kanalen, eindigende elk in een veerkrachtige verwijding of zakje; het zakje K dient voor de kamer, B voor den boezem. Deze zakjes zijn van caoutchouc vervaardigd en van binnen voorzien van een wand van fijn ijzerdraad, waardoor het geheel platdrukken tengevolge van de daarop uitgeoefende bloedsdrukking wordt voorkomen. Twee afzonderlijke buisjes stellen deze zakjes in gemeenschap met de registreertoestellen. De doorsnede van de

sonde in fig. 193 toont de bijzonderheden van hare inrichting duidelijk aan. Het zakje K, dat in de rechter kamer wordt gebracht, staat door zijn buisje BK in gemeenschap met den hefboom *hk* (fig. 192); evenzoo staat het zakje B, bestemd voor den boezem, in gemeenschap met den hefboom *hb* door middel van het buisje *bb*. De sonde wordt door de vena jugularis J van het paard (fig. 194) ingebracht tot in de holten van de rechter helft van het hart. De afstand tusschen de zakjes K en B is zoodanig genomen, dat wanneer het eerste zich in de kamer bevindt, het tweede alsdan van zelf in den boezem komt te liggen. Om zich van de juiste ligging der zakjes te verzekeren, moet men de sonde door de keelader zoover inbrengen, totdat men stuit tengevolge van de aanraking van het zakje K met den wand van de rechter kamer.

In fig. 194, waarin het hart van het paard is voorgesteld, is

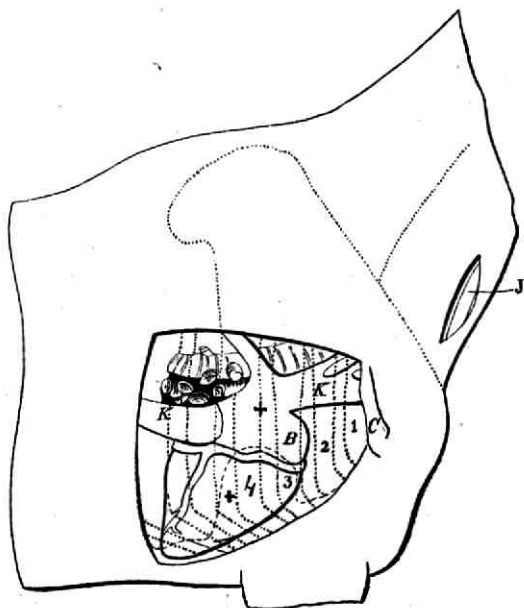


Fig. 194. Plaatsing van de veerkrachtige zakjes der sonde in het hart van een paard; de kruisjes geven hun juiste plaats aan.

de juiste plaatsing van de zakjes der sonde door twee kruisjes aangegeven.



Het zakje, dat de hartslag aan den registreerenden hefboom moet overbrengen, heeft veel overeenkomst met de zakjes der sonde.

In fig. 192 is dit zakje voorgesteld, aangebracht aan het uiteinde der buis *bt*. Dit zakje moet geplaatst worden tusschen de *m. m. intercostales externus* en *internus*, [juist tegenover de kamer.

In fig. 194 is door het cijfer 4 (vierde intercostale ruimte) de juiste plaats van dit zakje aangewezen.

In fig. 195 zijn de curven van den rechter boezem (n<sup>o</sup>. 1), van de rechter kamer (n<sup>o</sup>. 2) en van den hartslag (n<sup>o</sup>. 3) voorgesteld, gelijktijdig geregistreerd gedurende vier volledige hartsperioden. Door de aldaar aangebrachte schalen kan men tot in onderdeelen van sekonden den tijdduur van de kleinste bewegingen bepalen. De figuur moet van de linker naar de rechter zijde gelezen worden; voor zoover deze curven verklaard zijn, zijn zij door getrokken lijnen voorgesteld; waar zij niet verklaard zijn, zijn de lijnen gestippeld.

1<sup>e</sup> *hartsperiode*. Twee vertikale lijnen, *a* en *b*, duiden het begin van de systole van den boezem van die der kamer *k* aan. Door die lijnen te verlengen, tot zij het onderste tracé snijden, bemerkt men duidelijk dat de contractie van den boezem den hartslag voorafgaat en dat deze eerst met de samentrekking der kamer aanvangt.

2<sup>e</sup> *hartsperiode*. Men merkt hier den duur en den vorm der systolen van den boezem en van de kamer op, alsmede de wijze, waarop de holten van het hart zich gedurende de periode van verslapping vullen. De systole van den boezem duurt maar zeer kort; zij eindigt in *b'* op hetzelfde oogenblik dat zij haar maximum bereikt en voordat de hartslag begint. De systole der kamer duurt langer; heeft zij in *k'* haar maximum bereikt, dan blijft de drukking, die zij teweegbrengt, nagenoeg constant tot op het oogenblik der verslapping. De hartslag duurt *juist even lang* als de kamersystole, waaruit blijkt dat beide verschijnselen met elkaar in verband staan. Intusschen is de vorm van beide lijnen een weinig verschillend, want de lijn van den hartslag is van af het oogenblik, waarop deze in *s'* zijn maximum heeft bereikt aan een voortdurende daling onderhevig tot op het oogenblik dat de verslapping van de kamer intreedt; dit verschijnsel is het gevolg van de trapsgewijze ontlasting der kamer bij samen-

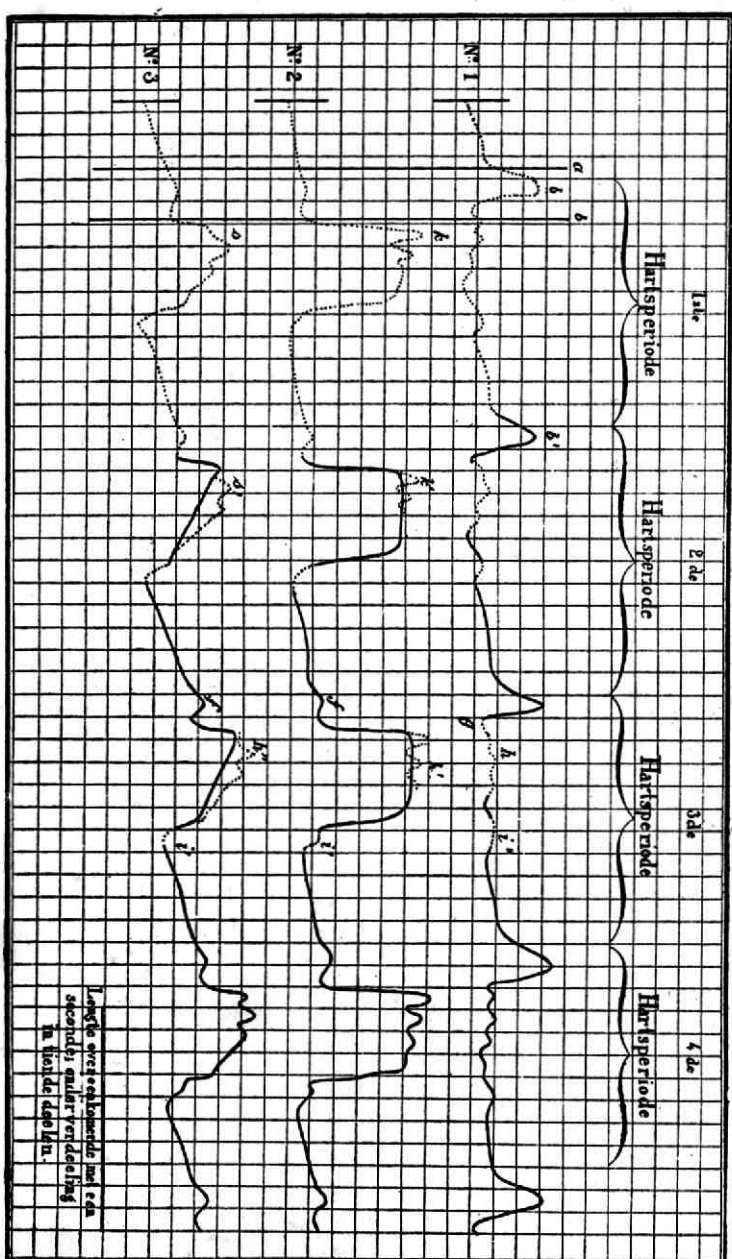


Fig. 10b. Cardiografische curven van den rechter boezem 1, van de rechter kamer 2, en van den hartslag 3.

trekking. Een tegenovergesteld verschijnsel vertoont zich gedurende de periode van verslapping van het hart: de trapsgewijze stijging der lijnen, die zich daarbij openbaart, wijst op de toenemende vulling der holten van het hart tengevolge van den toevoer van bloed, dat uit de aderen terugstroomt. Een kleine golving  $ff'$ , merkbaar aan het uiteinde van deze lijn van diastolische vulling, wijst in de lijn van de kamer en van den hartslag op de samen-trekking van den boezem.

3<sup>e</sup> *hartsperiode*. De uitwerking van de bewegingen der valvulae semilunares is hier in de curven merkbaar.

De schommelingen die de klep tusschen boezem en kamer maakt op het oogenblik dat zij gesloten is, zijn merkbaar in de kleine golvingen bij  $h$  in het tracé van den boezem, bij  $h'$  in het tracé van de kamer en bij  $h''$  in het tracé van den hartslag. Een dergelijke kleine golving  $i, i', i''$ , ondergaan de tracés, tengevolge van de schommelingen der halvemaanvormige kleppen.

4<sup>e</sup> *hartsperiode*. Alle bewegingen van het hart zijn hier door een volle lijn aangegeven, d. w. z. zij zijn reeds vroeger beschreven en verklaard.

Deze proeven, op de hierboven beschreven wijze ingericht, hadden uitsluitend ten doel de theorie der hartsbeweging proef-ondervindelijk te vestigen, en dus allen twijfel omtrent de ware opeenvolging van de drie besproken hoofdverschijnselen op te heffen. Maar bovendien moest nog aangetoond worden dat de beide kamers hare systolische en diastolische bewegingen op volmaakt synchronistische wijze volbrengen. Hiertoe is nog een andere sonde in de linker kamer aangebracht, die de al of niet volkomen overeenstemming van de bewegingen van deze kamer met die van de rechter holten van het hart moest aangeven.

De sonde voor de *linker kamer* is in fig. 196 voorgesteld.



Fig. 196. Sonde voor de linker kamer.

De veerkrachtige verwijding  $a$  is hier een weinig steviger dan die van de rechter sonde, aangezien op  $a$  een sterkere druk

wordt uitgeoefend; verder is *a* verbonden met een koperen buisje *af*, dat weer in *g* in gemeenschap staat met de caoutchucbuis, die naar den registreertoestel loopt. Deze sonde wordt door de carotis van het paard ingebracht; zij wordt voorzichtig ingeschoven, tot zij tegen de halvemaanvormige kleppen van de aorta stuit; en op het oogenblik dat deze kleppen zich bij de kamersystole openen, schuift men de sonde door tot in de kamer. Om zich van het juiste inbrengen dezer sonde te verzekeren, moet men weten aan welke zijde het zakje *a* is gelegen, dat met het koperen buisje een hoek van ongeveer  $135^{\circ}$  maakt. Hiervoor is nu loodrecht op het koperen buisje, aan dezelfde zijde waar zich *a* bevindt, een staafje *c* aangebracht, dat als merkteeken dient en waardoor men dus de richting kent, in welke de sonde in de aorta van het paard moet worden aangebracht.

**Verband tusschen de systolen van de rechter en linker holten van het hart.**

Door de bewegingen van de linker kamer gelijktijdig met die van den boezem en van de rechter kamer te registreeren, is fig. 197 verkregen. Zij toont het volkomen synchronisme van de

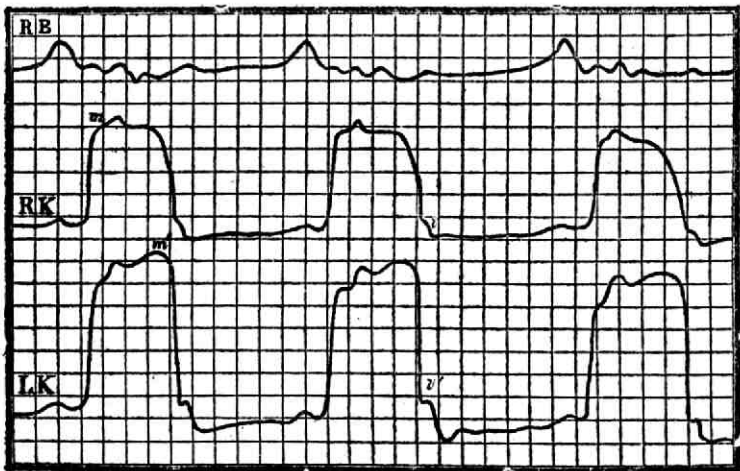


Fig. 197. Tracé van den rechter boezem, van de rechter en van de linker kamer.

bewegingen der twee kamers duidelijk aan; alleen is in den vorm

van beide bewegingen een klein verschil op te merken. Het maximum der werking, dat plaats heeft bij de contractie, komt overeen met het begin der beweging in *m* van de rechter kamer, en met het einde der beweging in *m'* van de linker kamer. Ook is de schommeling der halvemaanvormige kleppen *vv'* aan de linker zijde scherper gekenmerkt dan aan de rechter zijde; dit is daaraan toe te schrijven dat de drukking van de aorta sterker is dan de drukking van de longslagader.

**Verband tusschen de systole der kamer en het kloppen van de aorta.**

*Lijn n<sup>o</sup>. 1.* (fig. 198). Een sonde, in de linker kamer geplaatst, geeft het tracé van twee hartsperioden aan. In het punt *a* wordt

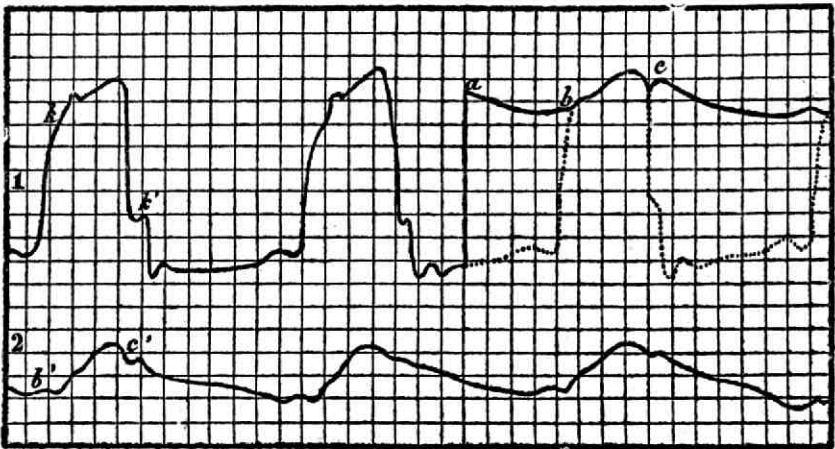


Fig 198. *Lijn n<sup>o</sup>. 1.* Bloedsdrukking in de linker kamer bij een paard; op het oogenblik *a* wordt de sonde tot in de aorta teruggetrokken —  
*Lijn n<sup>o</sup>. 2.* Drukking van het bloed in de aorta.

deze sonde teruggetrokken tot in de aorta, zoodat zij dan den vorm van de kloppingen der aorta aangeeft (een gestippelde lijn wijst den vorm van het tracé aan voor het geval dat de sonde in de kamer was gebleven). Deze lijn wijst aan dat van *b* tot *c*, dus gedurende de systole der kamer, de drukkingen in de kamer en in de aorta nagenoeg hetzelfde karakter vertoonen, terwijl beiden van af dit oogenblik met elkaar in gemeenschap staan.

*Lijn no. 2.* Een tweede sonde, die steeds in de aorta wordt gehouden, toont aan dat het kloppen van de aorta alleen op een bepaald oogenblik van de samentrekking der kamer plaats heeft: namelijk wanneer de bloedsdrukking in de kamer sterk genoeg is geworden om de halvemaanvormige kleppen op te lichten. De eerste werking van de kamersystole brengt slechts een kleine schommeling van deze kleppen te weeg, 'tgeen merkbaar is door de kleine golving in *b'*. In beide lijnen komen de golvingen *c* en *c'* overeen met de sluiting der halvemaanvormig kleppen. Het daaropvolgend dalen der lijn toont de vermindering van de bloedsdrukking in de aorta aan, tengevolge van de uitstorting van bloed tusschen twee opvolgende toestroomingen in.

**Het bepalen van de kracht, die uitgeoefend wordt door  
de verschillende holten van het hart, door  
middel van den manometer.**

De cardiograaf wijst, volgens de toenemende of afnemende hoogten der getraceerde lijnen, de meerdere of mindere kracht van de systolen der boezems of kamers aan; maar dit zijn slechts *betrekkelijke* aanwijzingen, wier waarden men niet tot een gemeene maat kan herleiden. Daarentegen geeft de kwikmanometer terstond de *volstrekte* waarde der drukkingen aan; maar reeds vroeger is gezegd dat deze toestel, ofschoon zeer geschikt om constante drukkingen aan te wijzen, niet met genoegsame nauwkeurigheid drukkingen kan aangeven, die aan snelle veranderingen onderhevig zijn; in dit geval toch worden aan het kwik snelle bewegingen meegedeeld, die oorzaak zijn dat de kwikspiegel noch op het hoogste, noch op het laagste punt, dat tot aanwijzer moet dienen voor den uitgeoefenden druk, zal stilhouden; beide punten zullen door den kwikspiegel worden overschreden. Dit is louter een gevolg van de traagheid van het kwik; bij manometers met vloeistoffen van minder dichtheid zou dit gebrek natuurlijk minder groot zijn en zelfs verdwijnt deze fout geheel bij toestellen, waarvan de deelen, die door de veranderingen in druk in beweging worden gebracht, zoo licht mogelijk zijn; dit nu is juist het geval bij den cardiograaf.

Het komt er dus op aan om de volstrekte waarden der druk-

kingen, die de cardiograaf door de verschillende krommingen der geregistreerde lijn aangeeft, met den kwikmanometer te bepalen; de kwikmanometer moet dus als 't ware de standaardmaat worden, naar welke de aanwijzingen van den cardiograaf moeten worden verdeeld. (Zie hierover Techniek, Hfst. VIII).

Heeft men nu eenmaal de schaal van de aanwijzingen van den cardiograaf geconstrueerd, dan zijn de volstreckte waarden der drukkingen in de verschillende holten van het hart op elk oogenblik gemakkelijk te bepalen. Men heeft onder anderen voor de maxima van drukking bij een paard gevonden:

Rechter boezem . . . . .	2 <sup>mm</sup> ,5
Rechter kamer. . . . .	25
Linker kamer . . . . .	128

Bij een ander dier vond men:

Rechter kamer. . . . .	30 <sup>mm</sup>
Linker kamer . . . . .	95

Bij een oud paard was het verschil tusschen de maxima van drukking in de beide kamers bijzonder groot:

Rechter kamer. . . . .	29 <sup>mm</sup>
Linker kamer . . . . .	140.

#### **De drukking in de verschillende ingewandsholten; proeven van L u c i a n i.**

LUCIANI heeft een reeks van registreerende manometers, naar het systeem FICK, in gemeenschap gesteld met verschillende lichaamsholten, zooals borstkas en buikholte. De zijdelingsche drukking van de lucht in de trachea wordt door middel van een buis naar de methode van HERING en BREUER 1) onderzocht. Hij laat het dier bovendien ademen in een flesch van grooten inhoud, waarin men de drukking met een registreerenden manometer bepaalt.

De volstreckte waarden van twee drukkingen, namelijk die in den slokdarm en die in de blaas of in den endeldarm, worden

---

1) Een buis met twee takken; de eene tak komt in de open lucht nit, de andere staat in gemeenschap met een manometer van FICK of met een trommel met hefboom (HERING en BREUER, *Wiener Sitzungsberichte*, 1868—69),

nu gemeten, om daarnaar de waarden der drukkingen in de borstkas en in de buikholte te bepalen. Bij deze proef wordt ook een soort van sonde gebruikt, die veel overeenkomst heeft met de sonden, die bij de cardiografie worden angewend; hier worden zij in den slokdarm of in den endeldarm ingebracht; door de drukking wordt het zakje der sonde verwijfd of samengedrukt. Ook kan deze proef geschieden zonder het dier te verminken.

LUCIANI heeft op deze wijze een nauwkeurige overeenstemming gevonden van de thorax-drukking met die in den buik; slechts bij uitzondering was een duidelijke afwisseling merkbaar. Zijn uitkomsten zijn echter niet in overeenstemming met die van andere proefnemers, hetgeen waarschijnlijk alleen te wijten is aan enkele fouten in de inrichting der hierbij gebezigde toestellen.

#### **Het gelijktijdig registreeren van temperaturen op verschillende plaatsen.**

Voor de meteorologen is het van belang de temperaturen op verschillende plaatsen gelijktijdig te kennen, zooals bij het vergelijken van de temperatuur op de oppervlakte van den grond met die op een bepaalde hoogte boven, of op een bepaalde diepte onder den grond. Het nauwkeurigst handelt men hierbij, wanneer men die verschillende temperatuurslijnen zooveel mogelijk door een zelfden toestel laat opschrijven; het meest geschikt hiervoor zijn de thermometers met luchttransport.

Reeds vroeger is gezegd dat door het vergelijken van de temperatuur van den drogen thermometer bij die van den vochtigen, de intensiteit der verdamping benaderenderwijze kan worden bepaald; die intensiteit is namelijk evenredig met het verschil der geregistreerde temperaturen.

De *actinometer* bestaat uit twee thermometers; de bol van den eenen is onbedekt, die van den anderen thermometer is met lampzwart bedekt.

#### **Het gelijktijdig registreeren van de temperatuur in verschillende plaatsen van het organisme.**

De temperatuur van het dierlijk lichaam is in elk punt van het organisme aan veranderingen onderhevig tengevolge van een



aantal verschillende invloeden. Aan de oppervlakte verandert de temperatuur sterk, daarentegen in de dieper gelegen deelen zeer weinig, zoodat men zelfs heeft verondersteld dat de inwendige temperatuur constant zou zijn. Door het gelijktijdig registreeren van de temperaturen van de oppervlakte en van de inwendige deelen van het lichaam kan men het best onderzoeken of de veranderingen van beide temperaturen in *denzelfden* of in *tegen-gestelden* zin plaats hebben.

Terwijl de oorsprong der dierlijke warmte nog niet geheel bekend is, weet men daarentegen wel dat deze warmte zich aan het bloed meedeelt en daarmede door alle lichaamsdeelen stroomt. Wordt een der ledematen aan den bloedsomloop onttrokken, door de hoofdslagader van dat lid af te binden, dan ziet met dit weldra afkoelen en de temperatuur der omringende ruimte aannemen; laat men het bloed weer vrij doorstromen, dan stijgt de temperatuur van het lichaamsdeel weer onmiddellijk.

Deze groote afwisselingen in temperatuur van een lichaamsdeel, dat men beurtelings met den bloedsomloop in en buiten gemeenschap stelt, doen zich wel is waar in mindere mate, maar toch even constant voor, wanneer men de snelheid van den bloedsomloop in dat deel wijzigt. Het niet volkomen samendrukken van de slagader van den arm heeft tengevolge dat het bovenste deel van den arm kouder wordt, tengevolge van de vertraging van den bloedstroom. Een dergelijk verschijnsel heeft plaats bij het opheffen van den arm, doordat nu een gedeelte der drukking, die het bloed in de slagader voortstuwt, wordt vernietigd door de zwaarte.

CLAUDE BERNARD heeft aangetoond dat door de werking van de zoogenaamde *vaso-motorische* zenuwen de bloedsomloop in de organen wordt belemmerd of vergemakkelijkt, doordat zij de bloedvaten van die organen vernauwen of verwijden. Nu verandert, tengevolge van de werking van die zenuwen, de snelheid van den bloedsomloop in de organen aanhoudend; zodoende verandert dus ook voortdurend de temperatuur, hetzij van een beperkt deel, hetzij van een groot gedeelte van het organisme.

Intusschen is de meer of minder groote snelheid van den bloedsomloop niet de eenige noodzakelijke voorwaarde voor het stijgen of dalen der temperatuur van eenig orgaan; het orgaan zelf moet

namelijk evenzeer aan een verlies van warmte worden blootgesteld, wanneer men met aan het oppervlak van het lichaam gelegen deelen te doen heeft, vooral met die, welke bloot liggen en een groote oppervlakte aan de omringende temperatuur aanbieden.

HUNTER heeft bij zijne onderzoekingen betreffende de ontsteking waargenomen dat het rood worden der weefsels alleen gepaard gaat met verhitting bij de aan de oppervlakte van het lichaam gelegen deelen, die gewoonlijk minder warm zijn dan het bloed en door een snellen bloedstroom verhit kunnen worden. Maar in dieper gelegen deelen kan de bloedstroom snel of langzaam zijn, zonder dat hun temperatuur verandert, aangezien die deelen, daar zij gewoonlijk niet aan afkoelende invloeden zijn blootgesteld, dezelfde temperatuur als het bloed hebben.

Van den anderen kant heeft CL. BERNARD ook waargenomen, wanneer de n. sympathicus aan den hals van een konijn wordt doorgesneden, dat alsdan het oor, dat ontdaan is van zijn vaatzenuwen, rood wordt en een hoogere temperatuur krijgt dan het andere oor; ook zal het verschil in temperaturen der beide ooren grooter zijn, naargelang de omringende temperatuur lager is. Plaatst men het dier in een ruimte, wier temperatuur gelijk is aan die van het bloed, dan nemen beide ooren dezelfde temperaturen aan, omdat alsdan het bloed, hoe snel het ook stroomt, geen orgaan kan verhitten dat even warm is als het bloed zelf.

Beschouwen wij de werking van de vaatzenuwen op de plaatselijke en op de algemeene temperatuur, dan worden wij er toe gebracht om aan te nemen dat deze werking tegengesteld is, omdat telkens wanneer het sneller stroomende bloed de temperatuur van een lichaamsdeel verhoogt, deze verhooging van temperatuur vergezeld gaat van een verlaging der inwendige temperatuur. Zoo is dan de verwarming van een lichaamsdeel, dat aan een uitwendige afkoeling is blootgesteld, alleen toe te schrijven aan de bloedwarmte.

Neemt men aan dat in het binnenste van het organisme voortdurend warmte wordt voortgebracht, dan zou daaruit volgen dat de verwarming van het bloed onbepaald zou toenemen, wanneer niet door afkoelende invloeden buiten op het lichaam deze temperatuursverhooging werd beperkt. De bloedsomloop werkt zelf tot deze afname van warmte mee, door voortdurend naar de uit-

wendig gelegen lichaamsdeelen verwarmd bloed uit te zenden, dat aldaar wordt afgekoeld.

Men kan proefondervindelijk bewijzen dat de snelheid van den bloedstroom, die geregeld wordt door den invloed der zenuwen, veranderd wordt door de warmte van het bloed zelf, zoodat ten slotte de vaatzenuwen als reguleurs optreden van de dierlijke warmte. Om een duidelijk begrip te krijgen van de samengestelde inrichting dezer regelende werking, moet men dit verschijnsel zooveel mogelijk vereenvoudigen. Uit den volgenden toestel kan men de wijze, waarop de warmte hier wordt geregeld, verklaren.

De weg van den bloedstroom is in fig. 199 voorgesteld door een ellipsvormige buis, een soort van hevel, waardoor de vloeistof steeds in dezelfde richting stroomt. Door een gasvlam wordt het water in een hellend gedeelte van den toestel voortdurend verwarmd; de verwarmde vloeistof stijgt en wordt voortdurend door een kouden stroom vervangen, die op zijn beurt verwarmd wordt.

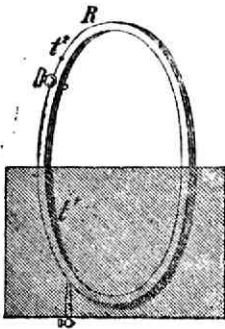


Fig. 199. Toestel om de verspreiding en regeling der warmte te verklaren.

Het onderste gedeelte der buis is in een ruimte geplaatst, waar zij onttrokken is aan de omringende lucht, die haar zou kunnen afkoelen; het andere deel R is alleen aan afkoeling blootgesteld.

Eindelijk kan door middel van een kraan de snelheid van den stroom geregeld worden, terwijl twee thermometers, in  $t^1$  en  $t^2$  geplaatst, de temperatuur in twee punten van den stroom op elk oogenblik aangeven; het punt  $t^1$  ligt in het voor afkoeling beveiligd gedeelte, het punt  $t^2$  in het bovenste deel.

Deze toestel kan ons aantoonen hoe de beide temperaturen met betrekking tot elkaar in verschillende gevallen veranderen: naargelang van de mate van afkoeling of verwarming, of van de snelheid van beweging, die door de kraan wordt geregeld. Is de toestel met koud water gevuld, dan zal, van af het oogenblik dat de warmtebron wordt aangebracht, de beweging der vloeistof beginnen en langzamerhand versnellen; de grootste hoeveelheid warmte wordt naar het punt R gevoerd; van dat punt af begint de afkoeling. Op een bepaald oogenblik zal de temperatuur niet

meer stijgen; het warmteverlies is dan gelijk aan de toegevoerde warmte. Wij zullen nu onderstellen dat de toestel zich in dezen toestand bevindt.

1e. — *De omringende temperatuur verandert.* — Wanneer deze daalt, wordt het geheel afgekoeld, maar de grootste afkoeling heeft in R plaats; stijgt de omringende temperatuur, dan wordt het geheel warmer, maar in 't bijzonder wordt de temperatuur van het deel R verhoogd.

2e. — *De intensiteit der warmtebron verandert.* — Wordt de intensiteit grooter, dan wordt het geheel warmer, maar in 't bijzonder het deel, dat tegen afkoeling is beveiligd. Het omgekeerd verschijnsel doet zich voor, wanneer de intensiteit der warmtebron afneemt.

In beide gevallen verandert dus de temperatuur van het deel van den toestel, dat aan een direkt warmtevlies is onttrokken.

3e. — *De snelheid van den stroom wordt veranderd door middel van de kraan.* — Door de kraan meer te openen, wordt de strooming sneller; de temperatuur van het onderste gedeelte daalt, die van het bovenste gedeelte stijgt; een groote hoeveelheid warmte verdwijnt in R; over het geheel genomen heeft er een verlies aan warmte plaats.

Wordt de kraan meer gesloten, dan wordt de strooming vertraagd; het deel R wordt kouder, het onderste deel daarentegen warmer. Hoe meer de kraan geopend wordt, des te meer warmte wordt er toegevoegd aan het bovenste gedeelte, dat die warmte weer afstaat aan de omgeving, terwijl de temperatuur van het onderste deel daalt.

Om de temperatuur van het onderste deel te regelen, waarvoor de thermometer de aanwijzer is, zou het voldoende zijn de kraan in den eenen of in den anderen zin om te draaien. Zoodoende zou men de werking der uitwendige hoogere of lagere temperatuur alsmede die van de meer of minder werkzame warmtebron kunnen opheffen.

Wat nu in de hier aangenomen onderstelling door den proefnemer zou kunnen geschieden, wordt bij de dieren op automatische wijze door de vaatzenuwen bewerkstelligd. Het schijnt dat zij er naar streven de inwendige temperatuur nagenoeg volkomen onveranderlijk te maken. Elke werking, die deze tem-

peratuur wil wijzigen, wordt tegengegaan door de regelende kracht, die den loop van het bloed vertraagt of versnelt, naargelang de omgeving meer of minder warmte aan het organisme onttrekt; die door middel van een snelle strooming elke overmaat van warmte naar buiten doet ontwijken en door een vertraging van den bloedstroom de warmte bespaart, voor het geval dat er weinig warmte wordt voortgebracht. Het verband tusschen de drie factoren: voortbrenging, verlies en regeling van warmte, kunnen wij nu in het kort aldus uitdrukken:

Verandert de regelende kracht niet, dan zullen de veranderingen in het verlies of in de voortbrenging van warmte in alle punten van het organisme *in denzelfden zin* plaats hebben; indien de regelende kracht alleen verandert, dan hebben de veranderingen van in- en uitwendige temperatuur *in tegengestelden zin* plaats.

Elke oorzaak, die de inwendige temperatuur tracht te veranderen, kan worden weggenomen door de werking der regelende kracht.

Om na te gaan of de temperatuur van een dier verandert gedurende het voortbrengen, verminderen of het regelen van de warmte, is het noodig de temperatuur in verschillende punten gelijktijdig te registreeren.

Figuur 200 stelt een dubbel registreerende thermometer voor, wier kleine bollen B<sup>1</sup> en B<sup>2</sup> gemakkelijk in het oor en in den endeldarm van een konijn van middelmatige grootte kunnen worden gebracht. Uit het gelijktijdig registreeren der in- en uitwendige temperaturen is nu af te leiden de aard der werking, die de dierlijke warmte heeft gewijzigd, door na te gaan of de veranderingen in temperaturen in denzelfden of in tegengestelden zin hebben plaats gegrepen. 1)

---

1) De wetten van temperatuursveranderingen in de verschillende punten van het organisme hebben veel overeenkomst met die van de veranderingen in drukking in de verschillende punten eener geleidbuis. Wij kunnen echter deze overeenkomst hier niet verder ontwikkelen.

**Het gelijktijdig registreeren der elektrische stroomen  
bij de twee elektrische organen van den sidderrog.**

Wanneer een sidderrog geprikkeld wordt, dan ontladen zich de beide elektrische organen tegelijkertijd. Wil men onderzoeken

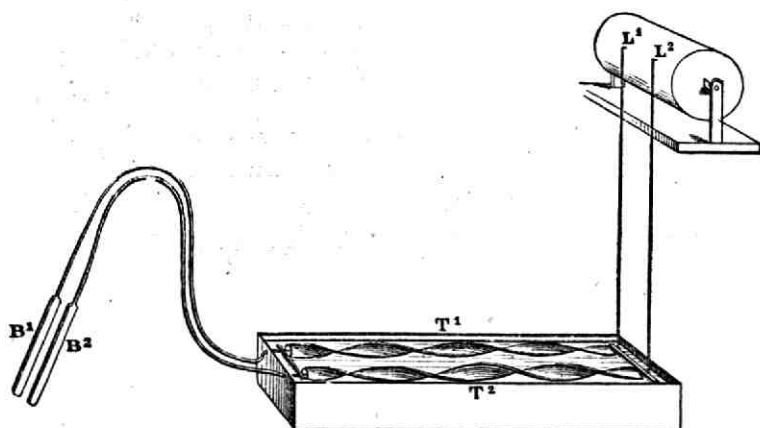


Fig. 200. Dubbel registreerende thermometer, dienende om de temperatuur in twee verschillende punten tegelijk waar te nemen.

voor hoever deze twee ontladingen synchronistisch zijn en met elkaar overeenkomen, dan kan dit alleen door middel van het gelijktijdig registreeren der beide ontladingen geschieden.

Men vat elk der beide elektrische organen tusschen twee metalen platen, die door middel van twee draden de ontlading geleiden naar een seinstoestel van DEPRÉZ. De twee seinen moeten juist boven elkaar worden opgeteekend. Zodoende wordt aangetoond dat de beide ontladingen volkomen gelijktijdig beginnen en eindigen; dat zij beiden uit hetzelfde aantal synchronistische stroomen zijn samengesteld en dat elke wijziging in de kracht of frequentie van de stroomen van een der elektrische organen gepaard gaat met een overeenkomstige verandering in het tweede.

**Het gelijktijdig registreeren van de elektrische stroomen  
van den sidderrog en van de inductiestroomen  
die daarbij ontstaan.**

In figuur 201 is de inrichting van de proef voorgesteld. De

elektrische stroom loopt van het dier naar een elektromagnetischen seintoestel en verder door de kern van een inductieklos DC; de

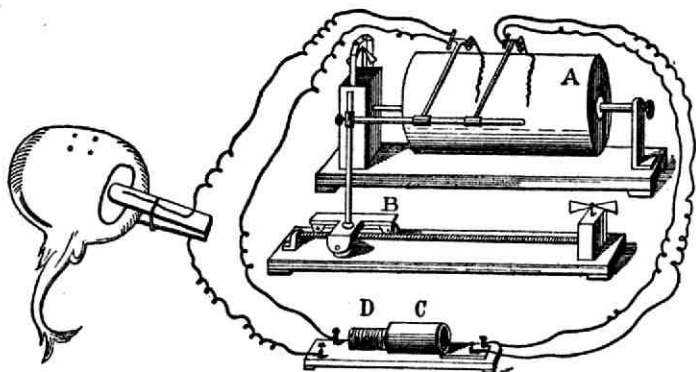


Fig. 201. Inrichting van de proef om de elektrische stroomen van den sidderrog alsmede de daardoor voortgebrachte inductie-stroomen te registreeren.

buitenste winding C van deze klos is met een tweeden seintoestel verbonden. Op deze wijze is het dubbele tracé van fig. 202 verkregen.



Fig 202. Lijn 1, drie elektrische schokken van den sidderrog; lijn 2, drie stroomen, geïnduceerd door de drie eerste.

In de eerste lijn zijn drie elektrische stroomen, in lijn 2 drie inductiestroomen getraceerd. De volkomen overeenstemming tusschen de induceerende stroomen en de inductiestroomen is een verschijnsel, dat geheel verschilt van hetgeen de gewone stroomen van elektrische batterijen vertoonen; deze laatste toch geven alleen inductiestroomen bij opening en sluiting. Maar deze bijzonderheid van de elektrische stroomen bij den sidderrog is zeer goed te verklaren uit den aard dezer stroomen: hierbij heeft namelijk de aangroeiing der stroomsterkte alleen snel plaats, zoodat dus ook alleen hierdoor gevoelige inductieverschijnselen kunnen worden voortgebracht.

### **Snelheid van het projectiel in de ziel van het kanon.**

DEPRÈZ en SEBERT hebben in de ziel van het kanon een reeks van elektrische draden aangebracht, waarvan elk een deel van de stroomverbinding van een elektrische batterij uitmaakte en in verbinding was gesteld met een seintoestel.

Door het achtereenvolgend verbreken dezer draden werd een reeks van seinen voortgebracht, die, naar de wijze waarop zij boven elkaar werden getraceerd, de lijn van de door het projectiel doorloopen wegen in functie van den tijd opleverden.

Uit deze lijn kan dan een tweede lijn afgeleid worden, die de kracht, welke elk oogenblik op het projectiel werkt, dus de drukking van het buskruitgas, aangeeft.

---

## **TWEEDE HOOFDSTUK.**

### **HET REGISTREEREN VAN VERSCHILLENDE VERSCHIJNSELEN DIE ZICH OP EEN ZELFDE PLAATS VOORDOEN.**

Het gelijktijdig registreeren van de drukking en de snelheid van het bloed. — Betrekking tusschen de snelheid en de drukking van het bloed. — Het kloppen van het hart als ontstaande uit de veranderingen in de bloedsdrukking in verband met de volumeveranderingen van het hart. — Verband tusschen de veranderingen in de lengte eener spier en de veranderingen van haar elektrischen toestand.

#### **Het gelijktijdig registreeren van de drukking en de snelheid van het bloed in een slagader.**

Reeds vroeger hebben wij de toestellen beschreven, die de lijnen van de snelheid en de drukking van het bloed registreeren; ook hebben wij het afzonderlijk gebruik dier toestellen voor elk dier registraties nagegaan, zoodat dus nu nog te onderzoeken blijft welke betrekking tusschen de beweging der vloeistof en de drukking in een zelfde punt van een buis, of van een der bloedvaten bestaat.

Met betrekking tot den bloedsomloop is de eerste vraag, die zich hier voordoet, deze: welke richting en snelheid heeft de



bloedstroom binnen in de bloedvaten in elke buiging van de polslijn? Laten wij voor het oogenblik de bijzonderheden van de bewerking rusten, door middel waarvan aan de strotslagader van een paard de hemodromograaf van CHAUVEAU tegelijk met een sphygmoskoop wordt aangebracht (zie Techniek); deze proef geeft het dubbele tracé van fig. 203, waarin de bovenste lijn de fasen

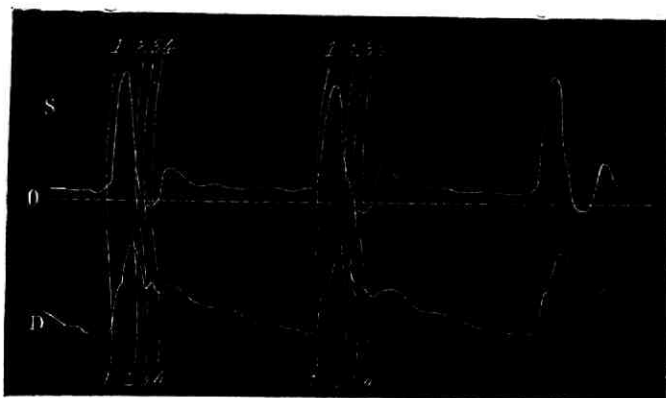


Fig. 203. Snelheid van het bloed in de strotslagader van een paard; O, oorsprong van de lijn der snelheden; D, drukking in hetzelfde bloedvat, tegelijk met de snelheid geregistreerd.

van snelheid van het bloed, de onderste die van de drukking aangeeft. De punten, waar synchronisme plaats heeft, zijn in de figuren door streepjes aangewezen. Die streepjes zijn getraceerd door het raderwerk van het uurwerk stil te laten staan, terwijl men de registreerstiften liet bewegen. Daar de twee stiften juist tegenover elkaar waren geplaatst, is het duidelijk dat de middelpunten van de aldus als merkteekens getraceerde cirkelbogen juist aan de tegenovergestelde zijden liggen.

Wij zien dat er bij het begin van elken polsslag gelijktijdig een snelle vermeerdering van snelheid plaats heeft en dat de vermindering in drukking, die op de systole van den pols volgt, vergezeld gaat van een vermindering in snelheid; ook treedt deze laatste reeds op, wanneer de drukking haar maximum heeft bereikt. Door in beide lijnen de opeenvolgende golvingen te beschouwen, die het dicrotisme aanwijzen, bemerken wij dat die golvingen samenvallen en vinden in die coïncidentie het bewijs, dat bij elke

stijging in drukking van het bloed bij een polsslag bloedstroomen van centrifugale richting ontstaan.

In de lijn der snelheden wijst de gestippelde lijn O de onbewegelijkheid van het bloed aan. Steeds wordt nu deze lijn naar beneden overschreden na elke groote versnelling bij de systole. Beteekent dit dat op die oogenblikken het bloed werkelijk terugstroomt? Waarschijnlijk moet dit verschijnsel hier geweten worden aan de traagheid van de naald, want het doet zich niet voor, wanneer men zich bedient van een hemodromograaf, die volgens een ander beginsel is samengesteld en bestaat uit twee differentiaalmanometers.

Eindelijk moet opgemerkt worden dat behoudens de tijdelijke teruggang, die zoo even is besproken, de naald altijd een zekere snelheid van het bloed aangeeft, zoodat men hieruit de gevolgtrekking kan maken dat in een levende slagader de bloedstroom onafgebroken en met stooten plaats heeft, zooals men gewaar wordt in den bloedstraal, die bij het doorsnijden van een slagader ontstaat.

#### **Betrekking tusschen de snelheid en de drukking van het bloed.**

Sedert men met den manometer de voortdrijvende kracht van het bloed met juistheid kan bepalen, wordt door alle physiologen dit werktuig voortdurend aangewend. Men raadpleegt den manometer bij het bestudeeren van de werking der zenuwen op de hartbewegingen en van den invloed der ademhaling op den slagaderlijken bloedstroom; ook wordt hij, sedert de ontdekking der vaso-motorische zenuwen, gebruikt bij het onderzoek van den bloedsomloop in de haarvaten.

Nu wordt maar al te dikwijls bij de uitlegging van manometrische bepalingen over 't hoofd gezien dat de bloedsdrukking in de slagaderen vaak afhankelijk is van twee tegenstrijdige werkingen: van den eenen kant, *de impulsieve werking* van het hart, waardoor het bloed met meer of minder kracht wordt voortgestuwd; van den anderen kant, *de matigende werking* der kleine vaten, die, naargelang van hun meer of minder krachtige samenrekking, het bloed in de slagaderen terughouden of het gemakkelijker in de aderen laten overgaan.

Telken male dat de proefnemer een verandering in stand van den aan een slagader aangebrachten manometer opmerkt, moet hij zich afvragen welke van de twee bovengenoemde werkingen de slagaderlijke drukking heeft veranderd, of wel of beide werkingen die tegelijk hebben gewijzigd. Bij gebrek aan juiste aanwijzingen, waardoor deze moeilijke vraag kon beantwoord worden, hebben de physiologen meermalen hun toevlucht genomen tot een hypothese, die het meest met hun van te voren opgevatte meeningen overeenkwam.

De manometer, op zich zelf genomen, kan ons alleen aanwijzingen geven omtrent de omstandigheden van den bloedsomloop, in zijn geheel beschouwd.

Door een eenvoudige vergelijking te gebruiken, zal het duidelijk worden waarom de oorzaken van de slagaderlijke drukking zoo moeilijk zijn na te gaan.

Wanneer men verneemt dat de waterspiegel van een rivier is gestegen, dan weet men nog niet of deze stijging is veroorzaakt door een overvloedigen regen, of wel door stroomafwaarts den loop der rivier te versperren.

Men zal dus bovendien nog moeten weten of de stroomsnelheid der rivier grooter of kleiner is geworden. Is de stroomsnelheid gelijktijdig met de waterhoogte toegenomen, dan wijst dit op een aanmerkelijk grooteren toevoer van water; maar gaat het wassen van het water gepaard met een vermindering in stroomsnelheid, dan moet noodzakelijk de stroom belemmerd zijn geworden.

Deze zelfde omstandigheden nu doen zich voor bij den bloedsomloop in de slagaderen; hier komt de bloedsdrukking overeen met de hoogte der rivier.

De kennis van de veranderingen in drukking alleen is niet voldoende om de omstandigheden, waarin de bloedsomloop zich bevindt, met juistheid te bepalen; kent men echter de snelheid en de drukking van het bloed beiden, door ze gelijktijdig te registreeren, dan heeft men de vereischte elementen voor de oplossing van het vraagstuk. Duidt het tracé aan dat de snelheid en de drukking in denzelfden zin zijn veranderd, dan moet men de oorzaak van deze beide veranderingen stroomopwaarts zoeken, dat wil zeggen in een verandering van de kracht, die van het hart uitgaat.

Veranderen de drukking en de snelheid in tegengestelden zin,

dan moet men de oorzaak der verandering stroomafwaarts zoeken, dus in de kleine bloedvaten. Figuur 204 toont een dubbel tracé

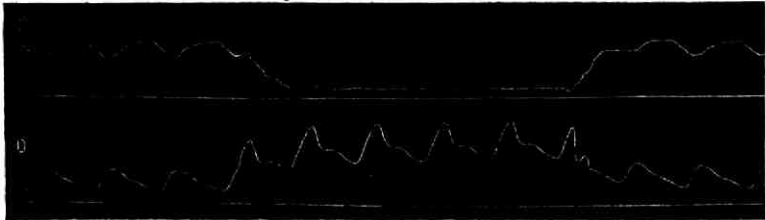


Fig. 204. Drukking en snelheid van het bloed in een slagader van den nagebootsten bloedsomloop; een der vaten, stroomafwaarts in den toestel gelegen, wordt samengedrukt.

van de snelheid en van de drukking van het bloed; de lijn S der snelheden daalt, terwijl de lijn D der drukking stijgt; hier heeft zich dus een beletsel aan de uitstrooming van het bloed voorgedaan. Op de volgende bladzijde is een kort overzicht gegeven van de verschillende wijzigingen die zich bij de kracht, die van het hart uitgaat, of bij den weerstand der bloedvaten kunnen voordoen. Men zal den toestand van den bloedsomloop kennen, zoodra hij door zijn twee factoren: drukking en snelheid, is bepaald.

Deze wetten zijn proefondervindelijk bepaald op een toestel, waarmee alle verschijnselen van den bloedsomloop konden nagebootst worden. De omstandigheden, waaronder deze proefnemingen werden gedaan, waren veel gunstiger dan die men bij de vivisecties ontmoet. CHAUVEAU en LORTET hebben verder door een reeks van proefnemingen de juistheid van de theorie, in nevensgaand overzicht vervat, onderzocht en volkomen bevestigd.

Om een voorbeeld te geven van de overeenstemming van de resultaten, die men verkrijgt bij de vivisectie met die, welke theoretisch zijn aangetoond, dient fig. 205, waarin de tracés van de drukking en de snelheid van het bloed in de strotslagader van een paard zijn voorgesteld. Op een gegeven oogenblik wordt de slagader in een dichter bij het hart gelegen punt samengedrukt; de snelheid wordt onderdrukt en de klopping wordt teruggebracht tot kleine veranderingen in drukking onder de werking der zijslagaderen.

**Veranderingen in de snelheid en in de drukking van het slagaderlijke bloed.**

OORZAKEN VAN DEZE VERANDERINGEN.   
 { 1<sup>e</sup>. Oorzaak in het centrum. — Het hart. — *Veranderlijke toevoer.*   
 { 2<sup>e</sup>. Oorzaak aan de oppervlakte. — Samentrekkende vaten. — *Veranderlijke weerstanden.*

1<sup>e</sup> GEVAL. — *Veranderingen van een enkelen faktor (drukking of snelheid), terwijl de andere constant blijft.*

A. — De snelheid blijft constant . . . . . { De drukking vermeerderd. { Werking van het hart en uitwendige weerstanden vermeerderd.   
 { De drukking vermindert. { Werking van het hart en uitwendige weerstanden verminderd.   
 B. — De drukking blijft constant . . . . . { Verminderde uitwendige weerstand en vermeerderde werking van het hart.   
 { De snelheid vermindert. { Verminderde werking van het hart en vermeerderde uitwendige weerstand.

2<sup>e</sup> GEVAL. — *Gelijktijdige verandering van beide faktoren.*

A. — In tegengestelden zin . . . . . { { De snelheid vermeerderd. } Verminderde uitwendige weerstanden.   
 { { De drukking vermindert. } Vermeerderde uitwendige weerstanden.   
 B. — In denzelfden zin. . . . . { { De snelheid vermindert. } Vermeerderde werking van het hart.   
 { { De drukking vermindert. } Verminderde werking van het hart.

De proefnemingen van LORTET en de nieuwste mededeelingen van de leerlingen van CHAUVEAU toonen duidelijk aan hoe de

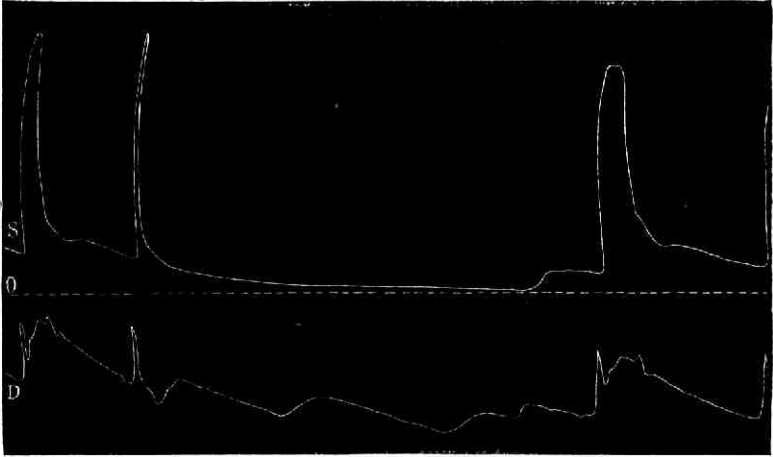


Fig. 205. Drukking en snelheid van het bloed in de carotis van een paard; het bloedvat wordt in een punt, dicht bij het hart gelegen, samengedrukt.

snelheid van het slagaderlijke bloed afhangt van twee factoren: van de impulsieve kracht van het hart en van den weerstand, dien het bloed in de kleine vaten ondervindt. De uitkomsten van deze onderzoeken zijn als volgt:

1<sup>e</sup>. Zelfs wanneer het hart in rust is, bezit het bloed een zekere snelheid, die soms vrij aanzienlijk is.

2<sup>e</sup>. De snelheid neemt toe bij de uitademing, en vermindert bij de inademing, zelfs in de slagaderen die ver van het hart verwijderd zijn. (De uitademing voegt zich bij de hartwerking om het bloed met meer kracht in de slagaderen te drijven).

3<sup>e</sup>. Door het kauwen wordt de snelheid van het bloed, de kracht en het aantal der polsslagen, zelfs in de excentrische slagaderen, sterk vermeerderd. (Door het kauwen wordt evenals door de intermitterende spierwerkingen den bloedstroom versneld, daar de doorgang door de in werking zijnde spieren gemakkelijker gemaakt worden).

4<sup>e</sup>. Door een insnijding in het ruggemerg tusschen het achterhoofd en den eersten halswervel wordt de snelheid van den bloedsomloop buitengewoon vermeerderd; ook worden de polsslagen

sterker en talrijker. (Door de werking der vaso-motorische zenuwen te verzwakken, brengt men een verslapping in de bloedvaten teweeg en wordt de overgang van het slagaderlijke bloed naar de aderen gemakkelijker gemaakt).

5e. Het doorsnijden van den nervus vagus vermeerderd de snelheid en de drukking in de slagaderen sterk. (Tengevolge van het doorsnijden van den n. vagus wordt de frequentie der hartslagen grooter; daarom wordt dan ook de loop van het bloed versneld).

6e. Door het inbrengen van lucht in de slagaderen wordt de regelmatige gang van den bloedsomloop geheel verstoord. (Door gasbellen wordt een zekere weerstand geboden aan den bloedstroom; verdwijnen zij, dan herstelt zich de bloedsomloop; van dezen aard zijn onder anderen de oorzaken, die bij de slagaderen der ledematen de snelheid van den bloedstroom wijzigen).

7e. Wanneer één carotis wordt afgebonden, dan wordt de snelheid en de drukking in de andere strotslagader grooter. (Het bloed, dat een slagader gesloten vond, stort zich nu in grootere hoeveelheid in de andere slagader. Dit zuiver physisch verschijnsel doet zich evenzeer voor, wanneer men van een buis met twee takken, een der takken samendrukt).

8e. Een vernauwing van de aorta vermindert de snelheid van het bloed en de amplitude der polsslagen in de strotslagaderen. (Hierbij heeft een werkelijke vermindering plaats van de impulsieve kracht van het hart).

9e. Door een bloeditstorting wordt de snelheid van het bloed vermeerderd. (In 't bijzonder wordt deze vermeerdering in snelheid veroorzaakt door een slagaderlijke bloeditstorting, die stroomafwaarts van het onderzochte punt plaats heeft; hierdoor worden de weerstanden verminderd).

10e. Het doorsnijden van den n. symphathicus versnelt den bloedstroom, maar in mindere mate, dan men vroeger meende. (Hierbij heeft verslapping plaats van de bloedvaten die aan de zenuwwerking waren onttrokken; een versnelling in den bloedstroom was dus te verwachten. Dat deze versnelling niet bijzonder groot is, moet daaraan te wijten zijn, dat de innervatie slechts over een beperkt gedeelte van het vaatstelsel is onderdrukt).

11e. In de kroonslagaderen heeft een vermeerdering in snelheid

van het bloed plaats, die overeenstemt met het dicrotisme. (Dit gewone verschijnsel is ook bij de andere slagaderen waar te nemen, en bewijst dat door het uitzenden van een tweede golf het dicrotisme wordt daargesteld).

12<sup>e</sup>. In de kroonslagaderen treedt een vermeerdering in snelheid op, op het oogenblik van de diastole der kamer. (Op dit oogenblik zal de inwendige spierwand dezer vaten niet meer door de spierwerking samengedrukt worden, en zal het bloed met meer gemak doorstromen).

13<sup>e</sup>. Door strychnine wordt de impulsieve kracht van het hart tegelijk met de snelheid en de drukking van het bloed vergroot.

**Het kloppen van het hart; dit ontstaat door de veranderingen in de bloedsdrukking in verband met de volumeveranderingen van dit orgaan.**

Bij de beschouwing van de veranderingen in drukking in de kamers, pag. 304 hebben wij aangewezen hoe de manometrische veranderingen in drukking in het inwendige dezer organen geregistreerd werden. Op pag. 320 is verder aangetoond hoe de volumeveranderingen van een orgaan worden geregistreerd, wanneer dit in een vloeistof is gedompeld. Deze achtereenvolgende proeven hebben ons dus de tracés opgeleverd van de twee verschillende elementen, die den hartslag samenstellen.

Wanneer men door drie boven elkaar geplaatste schrijfstiften gelijktijdig de lijnen van de bloedsdrukking binnen in het hart, van de volumeveranderingen van dit orgaan en van den hartslag laat opschrijven, zullen wij zien dat dit derde tracé slechts de resultante van de beide andere lijnen is.

Het hart van de schildpad is meer dan dat van andere dieren voor deze proefneming geschikt, daar het een zeer eenvoudigen vorm van hartslag vertoont en gemakkelijk te behandelen is.

In fig. 206 is de inrichting van deze proefneming voorgesteld.

Van een schildpad wordt het hart weggenomen; aan een der aderen van het hart wordt een buis bevestigd, die in den boezem uitkomt, terwijl een tweede buis bevestigd wordt aan een der slagaderen. Beide buizen worden door het deksel van een glazen cilinder gebracht, waarin het hart is geplaatst. Vervolgens wordt



door middel van caoutchoucbuizen bloed, dat van fibrine is be-roofd, in het hart gebracht; dit bloed wordt verkregen uit een

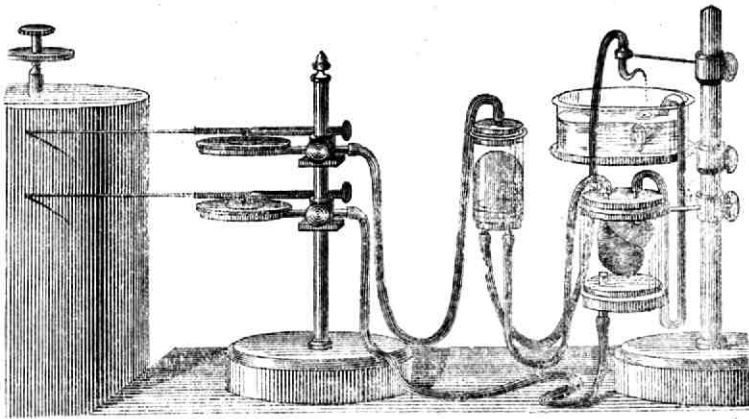


Fig. 206. Toestel voor het registreeren van de volumeveranderingen van het hart van een schildpad en van de veranderingen in slagaderlijke drukking.

glazen bak, die iets hooger is geplaatst. Na het hart gevuld te hebben, stroomt deze vloeistof uit de buis van de slagader door een caoutchoucbuis, die in een sphygmoskoop uitmond, en stroomt nu van dezen sphygmoskoop weer terug naar den bak, waarin zij zich door een nauwe opening ontlast, om daarna weer naar het hart terug te gaan.

Op deze wijze krijgt men een onafgebroken bloedstroom; bij elke diastole treedt het bloed in het hart, en wordt bij elke systole van de kamer door de buizen, die met de slagader verbonden zijn, weer daaruit verdreven. Volgens deze door LUDWIG uitgedachte methode kan men, door het doorstroomende bloed te veranderen, langer dan een dag het leven van het hart onderhouden.

Om nu tegelijk de volumeveranderingen van het hart en de veranderingen van de bloedsdrukking in het hart na te gaan, wordt een trommel met registreerenden hefboom in verbinding gesteld met den sphygmoskoop; een tweede trommel wordt verbonden met den cilinder, waarin het hart is opgesloten. Terstond ziet men de beide hefboomen lijnen traceeren, die in tegengestelde richting loopen. De lijn van de veranderingen in slagader-

lijke drukking loopt in een richting, tegengesteld aan die van de lijn der volumeveranderingen (fig. 207).

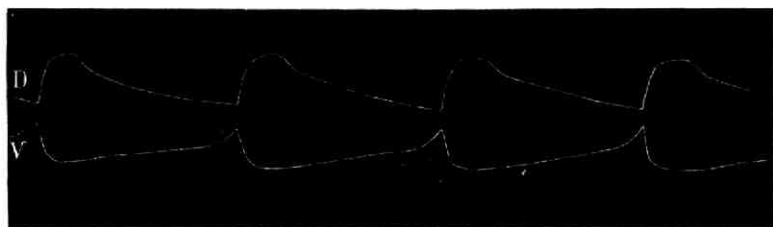


Fig. 207. Lijnen die de veranderingen in slagaderlijke drukking en de volumeveranderingen van het hart van een schildpad aanwijzen.

Dit verschijnsel laat zich zoo gemakkelijk verklaren, dat het niet noodig is er langer bij stil te staan. De voorgaande proef toont ons de wijze, waarop het gelijktijdig registreeren plaats heeft, en leidt ons tot de analyse van den hartslag.

Met behulp van den hartmyograaf of van eenig ander werktuig registreert men den hartslag, waardoor men fig. 208 verkrijgt.



Fig. 208. Hartkloppingen van het hart eener schildpad.

In deze figuur begint de systole van de kamer in *a*. De systolische phase vertoont een groote overeenkomst met die van den hartslag van een kikvorsch. Men bespeurt in deze lijn geen uitwerking van de systole van den boezem; deze holte bleef werkeloos, zooals dikwijls plaats heeft wanneer de proefneming lang duurt. De diastolische periode van de kamer begint in *b*.

Ten einde nauwkeurig te weten wat in deze lijn veroorzaakt wordt door de volumeveranderingen van het hart, wordt dit in de flesch geplaatst, die bestemd is om door verplaatsing der lucht de hoeveelheid bloed te registreeren, die in en uit het

hart stroomt; men verkrijgt dan de reeds bekende figuur 209, waarin  $ab$  de systolische samentrekking, en  $ba'$  de diastolische



Fig. 209. Volumeveranderingen van het hart eener schildpad.

opzwellung of verslapping aanwijst.

Om de *veranderingen in vastheid* van de wanden der kamers te registreeren, d. w. z. de veranderingen in drukking van het bloed, dat in de kamers is bevat, zou een manometer in die holte moeten worden aangebracht; dit is echter niet goed mogelijk wegens de geringe afmetingen van dit orgaan. Men kan echter het vermoedelijk bedrag van deze drukking bepalen door den wand der kamers door middel van een klein stomp voorwerp samen te drukken. Dit lichaam zal dan naargelang van de fasen der inwendige drukking beurtelings dieper indringen en weer teruggestooten worden. Registreert men deze beweging, dan verkrijgt men de lijn van figuur 210, waarin  $ab$  de systolische en

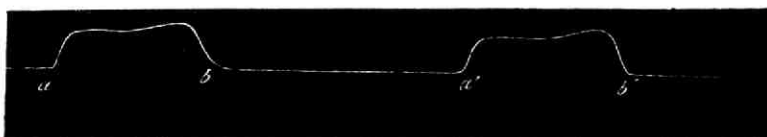


Fig. 210. Veranderingen in de vastheid van de wanden van het hart eener schildpad

$ba'$  de diastolische fase voorstelt.

Opmerkenswaardig in deze lijn is dat de drukking gering is en tamelijk constant blijft gedurende de verslapping der kamers.

Gedurende de systole daarentegen is de drukking sterker en neemt meer en meer toe tot op het einde dezer systole.

Hier wordt bewaarheid wat vroeger is gezegd over het verband, dat tusschen de drukking der kamer en de slagaderlijke drukking bestaat, zoodra de halvemaanvormige kleppen geopend zijn en de kamer met de slagaderen slechts een doorlopende ruimte vormt. Daar op dit oogenblik de drukking in de slag-

aderen sterker wordt tot op het einde der systole, moet het bloed in de kamer een dergelijken druk ondervinden. Daar wij nu de twee afzonderlijke lijnen, die van de volumeverandering der kamers en die van de verandering van bloedsdrukking in deze holten, hebben verkregen, behoeven wij deze slechts met elkaar in verband te brengen om de lijn van den hartslag in haar geheel te verkrijgen.

Hiertoe behoeft men slechts op de lijn der volumeveranderingen een reeks van ordinaten op te richten, gelijk aan die van de lijn der veranderingen in drukking. Daar deze laatste alleen gedurende de systolische phase stijgt en gedurende de diastole van het hart onveranderd blijft, zullen de systolen  $ab$  en  $a'b'$  alleen gewijzigd worden. De resultante der beide lijnen zal dus, gedurende de systole, het tracé volgen, dat door een gestippelde lijn is voorgesteld, terwijl zij gedurende de diastole in geen enkel punt gewijzigd wordt. Deze lijn, in fig. 211 voorgesteld, is dus dezelfde



Fig. 211. Lijn van den hartslag, zijnde de resultante van de beide vorige lijnen.

als die van fig. 209, waar de hartslag direkt geregistreerd werd. Hiermee is dus het bewijs geleverd dat deze hartslag werkelijk ontstaat tengevolge van de tweeledige werking van de veranderingen in vastheid der wanden en in volume der kamers. Bij het registreeren van den hartslag bij groote zoogdieren, wordt het hier gezegde door de cardiografische curven op nieuw gestaafd.

**Verband tusschen de veranderingen in de lengte eener spier en de veranderingen van haar elektrischen toestand.**

De myograaf wijst ons zeer getrouw de lengteveranderingen eener spier aan, die elektrisch geprikkeld wordt. Bovendien geeft de elektrometer van LIPPMANN, in gemeenschap gesteld met twee

niet overeenstemmende punten der spier, door de bewegingen der kwikkolom de verandering in elektrische spanning der twee onderzochte punten aan. Hieruit volgt dat men, door de veranderingen van den elektrometer op de vroeger beschreven fotografische wijze te registreeren, twee lijnen zal verkrijgen die naast elkaar worden opgeschreven, en waaruit het verband tusschen de veranderingen, door beide toestellen waargenomen, gemakkelijk valt op te maken. Die veranderingen hebben in tegengestelden zin plaats; terwijl de spier werkt en in lengte afneemt, heeft de elektrische toestand een tegengesteld teeken. BERNSTEIN meent een korten tusschentijd tusschen beide veranderingen opgemerkt te hebben; de verandering in elektrischen toestand zou die van de beweging een weinig voorafgaan.

## DERDE HOOFDSTUK.

### HET GELIJKTIJDIG REGISTREREEN VAN VERSCHILLENDE WERKINGEN DIE IN VERSCHILLENDE PLAATSEN WORDEN ONDERZOCHT.

Het gelijktijdig registreeren van spierwerkingen en van de reacties die zich voordoen bij de beweging van het dier wanneer het zich verplaatst. — Het registreeren der stembewegingen. — Bewegingen die plaats hebben bij het herkauwen; proeven van TOUSSAINT. — Slikbewegingen; proeven van CARLET. — Het gelijktijdig registreeren van de verrichtingen der verschillende deelen van een stoomwerktuig.

#### **Het gelijktijdig registreeren van spierwerkingen en van de reacties die zich voordoen bij de beweging van het dier wanneer het zich verplaatst.**

Reeds vroeger hebben wij nagegaan hoe de verschillende bewegingen worden geregistreerd, die door de ledematen van een paard in de onderscheidene gangen, door den vleugel van een vliegende vogel, enz., worden verricht; hoe de tracés verkregen worden, die de reactiebewegingen aanwijzen welke het dierlijk lichaam

in de opvolgende fasen van de bewegingen der ledematen onder-  
vindt, is op pag. 236 aangetoond.

Men kan deze beide soorten van tracés met elkaar in verband brengen, door ze boven elkaar te plaatsen; in dat geval krijgt men een grafisch beeld van een dier uiterst ingewikkelde proefnemingen, waarbij twee reeksen van verschijnselen van verschillende aard gelijktijdig geregistreerd zijn geworden.

Neemt men deze proef op een vogel in zijn vlucht, dan bevindt men dat het lichaam twee soorten van reactiebewegingen ondergaat: ten eerste slingerbewegingen in een vertikaal vlak, ten tweede golfbewegingen in de richting van den afgelegden weg. Door die lijnen boven elkaar te plaatsen, bespeurt men dat die twee verschillende bewegingen synchronistisch zijn en dat op het oogenblik dat de vleugel daalt, het lichaam wordt opgeheven en de snelheid toeneemt, terwijl op het oogenblik dat de vleugel stijgt, de snelheid van het lichaam, dat nog steeds stijgt, afneemt.

Wij zullen verder bij deze bijzonder ingewikkelde proeven niet stilstaan.

### **Het registreeren der stembewegingen.**

De onderzoekingen van HELMHOLTZ en DONDERS betreffende de samenstelling der klanken bij het spreken hebben tot merkwaardige uitkomsten geleid en zijn algemeen bekend; minder bekend zijn echter de bewegingen van de lippen, van de tong en van het verhemelte bij het uitspreken der medeklinkers. Wellicht is het hoofdzakelijk te wijten aan het ingewikkelde van deze werkingen, waarbij steeds de samenwerking van bewegingen van verschillende organen vereischt wordt om bepaalde klanken voort te brengen. Door het gelijktijdig registreeren wordt echter veel licht verspreid over het mechanisme van deze stembewegingen.

Het bestudeeren van deze bewegingen is voor de taalkundigen in de eerste plaats van het grootste belang; in de beoefening der taalkunde openbaart zich van dag tot dag het streven naar een meer experimenteële richting. Door de vergelijkende taalstudie, waarin de achtereenvolgende overgangen en vervormingen der verschillende talen worden nagegaan, zijn inderdaad wetten ge-

vonden van physiologischen aard, die de ontwikkeling der taal beheerschen. 1)

Zoo vertoont zich *het beginsel van de kleinste werking*, volgens hetwelk iedere menschelijke handeling er naar streeft om met de minst mogelijke inspanning volbracht te worden, duidelijk in den overgang van het latijn in het fransch, door het verzachten en zelfs het weglaten van enkele medeklinkers; \* zoo is bijv. het latijnsche *condemnare* overgegaan in het fransche *condamner*, waarin de letter *m* rudimentair of geätrophieerd is; zoo zijn de woorden *piet*, *clef*, *sang*, met de rudimentaire letters *d*, *f*, *g*, afkomstig van *pedis*, *clavis*, *sanguis*. \* Om nu met juistheid te kunnen beoordeelen op welke wijze de talen in elkaar trachten over te gaan, is het noodig die talen zoo ver mogelijk te analyseeren. Het oor is gewoonlijk niet genoegzaam in staat om de opvolgende of gelijktijdige bewegingen, die in verband met elkaar een geluidsgroep of klank daarstellen, te volgen, terwijl een persoon, die spreekt, zich zelf niet bewust is van de werkingen, die hij verricht. Immers leert het kind spreken, door langzamerhand te beproeven de woorden en klanken na te bootsen; later zijn de werkingen bij het spreken even onbewust als de werking der verschillende spieren bij het loopen. Soms is het noodig voor uitspreken van een enkele lettergreep vijf of zes verschillende bewegingen uit te voeren, wier opeenvolging wij niet alleen niet kennen, maar waarvan wij ook soms het bestaan niet eens vermoeden.

Door nu de intensiteit en de wijze van opvolging van de bewegingen der lucht of der spraakorganen gelijktijdig te registree-

---

1) \* MAX MÜLLER zegt in een zijner voorlezingen over de taalwetenschap het volgende: „Men diene vooral te bedenken dat wanneer een taal ook voortdurend verandert, de mensch nochtans niet de macht bezit die verandering daar te stellen of te beletten. Wij zouden er even goed aan kunnen denken, de wetten te veranderen, die onzen bloedsomloop beheerschen, of aan ons lichaam een deel toe te voegen, als de taalwetten te veranderen of naar goedvinden nieuwe woorden uit te vinden. Even als de mensch slechts in zoover over de natuur gebiedt, als hij hare wetten kent en zich daaraan onderwerpt, zoo zullen dichters en filosofen alleen dan over een taal heerschen, wanneer zij hare wetten kennen en daaraan gehoorzamen.” — De eerste dezer voorlezingen is getiteld: *De taalwetenschap is een natuurkundige wetenschap*.

Zie ook de selectie bij de talen vergeleken met de selectie (teeltkeus) bij de soorten volgens DARWIN.

ren, verschaft men den taalkundige een materieele voorstelling van de vluchtige verschijnselen, die het oor onmogelijk kan ontleden.

Vooraf is dit van het hoogste belang voor doofstommen, die geoefend worden in het spreken. Door alle mogelijke middelen tracht men dezen ongelukkigen het bewustzijn te geven van de geluiden, die zij of de personen, die voor hen spreken, uitbrengen.

De doofstomme leest als 't ware op de lippen van de sprekende persoon; door het strottenhoofd van een persoon te betasten, wordt hij de trillingen van den larynx gewaar, en door vervolgens met de vingers zijn eigen strottenhoofd aan te raken, oefent hij zich in het uitbrengen van overeenkomstige geluiden. Hoeveel beter zou hij niet in het voortbrengen van die geluidsbewegingen worden onderricht, indien hij de grafische lijnen van die bewegingen voor oogen had; immers zou hij dan trachten deze tracés, die hem tot model dienen, na te bootsen, en zou alleen in die volkomen nabootsing kunnen slagen door dezelfde werkingen en dezelfde geluiden voort te brengen, welke die tracés hebben opgeleverd.

Ook zal waarschijnlijk een dergelijke methode van nuttige toepassing kunnen zijn bij de behandeling van spraakgebrekkigen en van die personen, die, na eenige operatie aan het verhemelte te hebben ondergaan, weer op nieuw moeten leeren spreken.

Het streven van deze proefnemingen moet dus zijn het gehoor geheel te vervangen door een objectieve uitdrukking van de stembewegingen. 1)

Reeds vroeger is een belangrijke arbeid betreffende dit onderwerp uitgevoerd: door LISSAJOUS is namelijk, onder de benaming van zichtbare geluidsleer, een methode aangegeven om de verbinding van verschillende tonen aan te geven, wier akkoorden gekenmerkt worden door onveranderlijke geometrische figuren. Een dergelijke optische aanwijzing van de stembeweging is nu ook het doel, 'twelk deze proeven, zoowel voor den physioloog als voor den taalkundige en den doofstomme, beoogen.

Wat de klinkers betreft, deze zijn door de methode van KOENIG:

---

1) \* Deze proeven zijn door Dr. ROSAPPEL, in tegenwoordigheid van M. L. HAVET, afgevaardigde van het Taalkundig Genootschap, in het laboratorium van MAREY genomen. \*



de *optische geluidsontleiding*, op zichtbare wijze daargesteld. De veranderingen namelijk, die gevoelige vlammen bij het voortbrengen van verschillende tonen ondergaan, komen geheel overeen met den aard en de hoogte der tonen, die aan elk der klinkers eigen zijn; deze vlammen zullen, in een draaienden spiegel teruggekaatst; een lichtenden band vertoonen met uitspringende deelen of tanden, waarvan het aantal en de betrekkelijke grootte, de hoogte en den aard der verschillende bijtonen van een klinker zullen aangeven. Wordt een doofstomme nu geplaatst voor de spreekbuis van zulk een toestel van KOENIG, dan kan hij zich oefenen in het voortbrengen van lichtbeelden, gelijkende op diegene, welke van te voren zijn getraceerd; en zoo hij er in slaagt een dier lichtbeelden voort te brengen, zal hij juist dien klinker hebben uitgesproken, die met het bepaalde lichtbeeld overeenkomt.

Bij het uitspreken der medeklinkers treden allerlei bewegingen, zooals de trillingen van het strottenhoofd, de bewegingen der lippen, het oplichten van het verhemelte, enz. in het spel; zoodat men hierbij naar het meest geschikte middel moet zoeken om die verschillende werkingen te registreeren. Nu is men er in geslaagd de bewegingen van het strottenhoofd, van de lippen en van het verhemelte vrij nauwkeurig te registreeren; daarentegen is het nog niet gelukt nauwkeurige tracés te verkrijgen van de bewegingen der tong en van hare steunpunten.

Om de *bewegingen van het strottenhoofd* te registreeren worden in de keten van een elektrischen stroom een bijzonder daartoe ingerichte stroomverbreker en een seintoestel van DEPRÈZ ingelascht. Bij elke trilling van het strottenhoofd wordt de stroom verbroken en wordt door den seintoestel deze trilling geregistreerd, zoodat telkenmale dat het strottenhoofd bij het spreken of zingen trilt, een golflijn wordt geregistreerd, gelijkende op die, welke in fig. 90 is voorgesteld.

Om de *beweging der lippen* te registreeren moet men opmerken dat de lippen bij het spreken twee verschillende bewegingen uitvoeren: 1<sup>e</sup> vertikale bewegingen, waarbij de lippen op- en neergaan; 2<sup>e</sup> horizontale bewegingen, waarbij de lippen zich van voren naar achteren of omgekeerd bewegen. De eerste soort van beweging komt onder anderen voor bij het uitstooten der lipletters *b* en *p*; de tweede soort bij het uitspreken van den klinker *u*.

In figuur 212 is de toestel afgebeeld, die voor het registreeren van de vertikale bewegingen dient. 1)

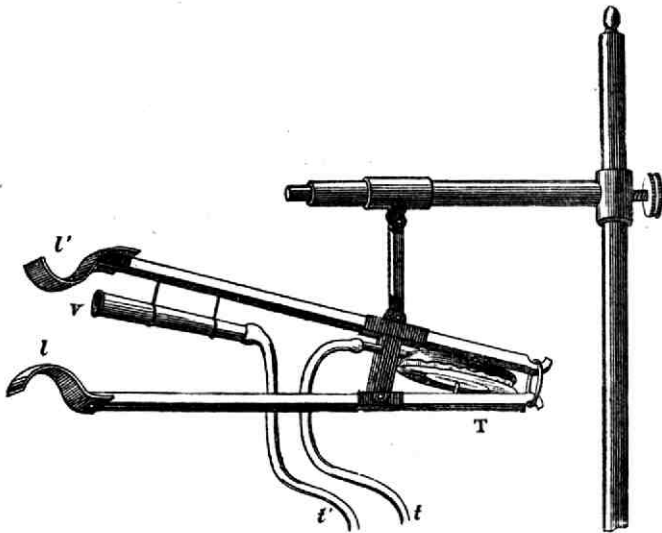


Fig. 212. Toestel voor het registreeren van de beweging der lippen.

Bij het uitspreken van eenige lipletters bemerkt men dat deze letters zich dadelijk onderscheiden door een meer of minder volkomen sluiting der lippen. Voor het uitspreken van deze medeklinkers wordt het gebruik van klinkers vereischt. Bij de proeven, die hier vermeld worden, heeft men zich steeds van den klinker *a* bedient, waardoor de beweging der lippen niet gewijzigd wordt; spreekt men achtereenvolgens uit: *apa*, *aba*, *afa*, *ava*, dan be-

1) Aan een vertikalen staander is een horizontale arm bevestigd, die den eigenlijken toestel draagt; de toestel is door middel van een staaf, die om beide uiteinden kan draaien, aan den arm bevestigd. De toestel bestaat uit twee latten, aan wier uiteinden zich zilveren omgebogen plaatjes bevinden, in wier krommingen de lippen passen. Het plaatje *l* voor de onderlip is alleen beweegbaar; gaat nu de onderlip naar boven, dan zal de lat *l* om haar scharnier draaien en de achtereinden der latten zullen uitwijken, terwijl daarbij een dunne caoutchoucing, die om deze achtereinden is geslagen en als veer dient, wordt gespannen.

Door deze beweging wijkt het membraan van een luchttrommel *T* uit, de hierdoor veroorzaakte luchtverdunning plant zich door de buis *t* voort naar een trommel met hefboom, die op een cilinder de bewegingen van de onderlip registreert.

merkt men dat de sluiting der lippen volkomen is voor de *p* en de *b*, onvolkomen daarentegen voor de *f* en de *v*. Worden nu twee medeklinkers, waarbij de sluiting der lippen verschillend is, uitgesproken zonder gebruik te maken van klinkers die de beweging der lippen wijzigen, dan ziet men de getraceerde lijn een weinig terugspringen op die plaatsen, waar een verandering in het sluiten der lippen heeft plaats gevonden.

Figuur 213 toont ons enkele van deze tracés. De golflijn wijst

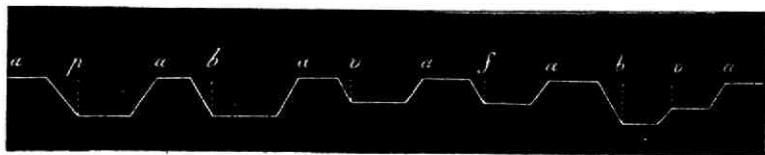


Fig. 213. Tracés van de verschillende graden van sluiting der lippen, behorende bij verschillende medeklinkers.

op een opening van de lippen, wanneer zij met de bovenste horizontale lijn samenvalt; neemt zij den ondersten horizontalen stand in, dan wijst zij een volkomen sluiting aan. In enkele punten (onder de *v* en *f*) merkt men op dat de horizontale lijn niet den laagsten stand inneemt, zoodat aldaar slechts een gedeeltelijke sluiting der lippen plaats heeft. Onder de *bv* ziet men in het punt *v* de lijn terugspringen; hier gaan de lippen van de volkomen tot de gedeeltelijke sluiting over.

Terwijl wij de horizontale bewegingen hier met stilzwijgen voorbijgaan, zullen wij nu de overige bewegingen bij het uitspreken der lipletters nagaan.

Het tracé van de beweging der lippen is namelijk niet voldoende om de lipletters te kenmerken en van elkaar te onderscheiden, want de volkomen sluiting der lippen bestaat even goed voor de *p* als voor de *b*, terwijl de onvolkomen sluiting zoowel bij de *v* als bij de *f* is op te merken. Die vier medeklinkers zullen echter geheel van elkaar te onderscheiden zijn door behalve de beweging der lippen, ook de trillingen van het strottenhoofd te registreeren. Zoo blijft bijv. bij het uitspreken van de *p* en van de *f*, de larynx werkeloos; hij trilt daarentegen bij het uitspreken van de *b* en van de *v*.

Plaatst men de stift van den seintoestel, die de trillingen van

het strottenhoofd registreert, vlak boven den hefboom, die de beweging der lippen moet registreeren; zooals in fig. 214 is aan-

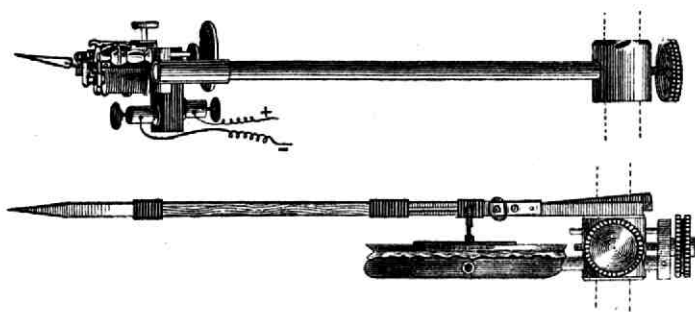


Fig. 214. Toestel voor het gelijktijdig registreeren van de beweging der lippen en de trillingen van het strottenhoofd.

gewezen, en laat men deze registratie plaats hebben op een cilinder, die langzaam wordt rondgedraaid, dan verkrijgt men een dubbel tracé, zooals in fig. 215 is voorgesteld, waarin vol-

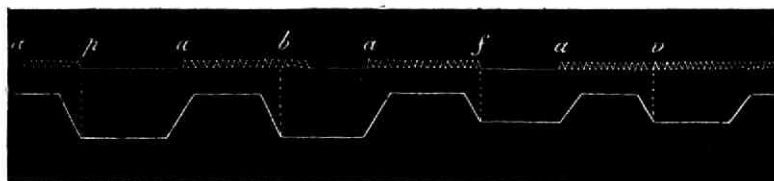


Fig. 215. Het gelijktijdig registreeren van de bewegingen der lippen en van het strottenhoofd.

doende aanwijzingen zijn vervat om de medeklinkers *p*, *b*, *f* en *v* van elkaar te onderscheiden.

Het direkt registreeren van de *bewegingen van het verhemelte* zou zeer bezwaarlijk zijn; neemt men echter in aanmerking dat bij het uitspreken der neusmedeklinkers *m* en *n* steeds lucht door de neusgaten wordt uitgedreven, hetgeen hierdoor veroorzaakt wordt dat het verhemelte zich eenigszins verwijderd van den achterwand der keel op het oogenblik dat deze letters worden uitgesproken, dan kan men de bewegingen van het verhemelte gemakkelijk traceeren door de luchtbewegingen te registreeren, die daarvan het gevolg zijn. Daartoe wordt in een der neusgaten een buis aangebracht, die weer door een caoutchoucuis met een

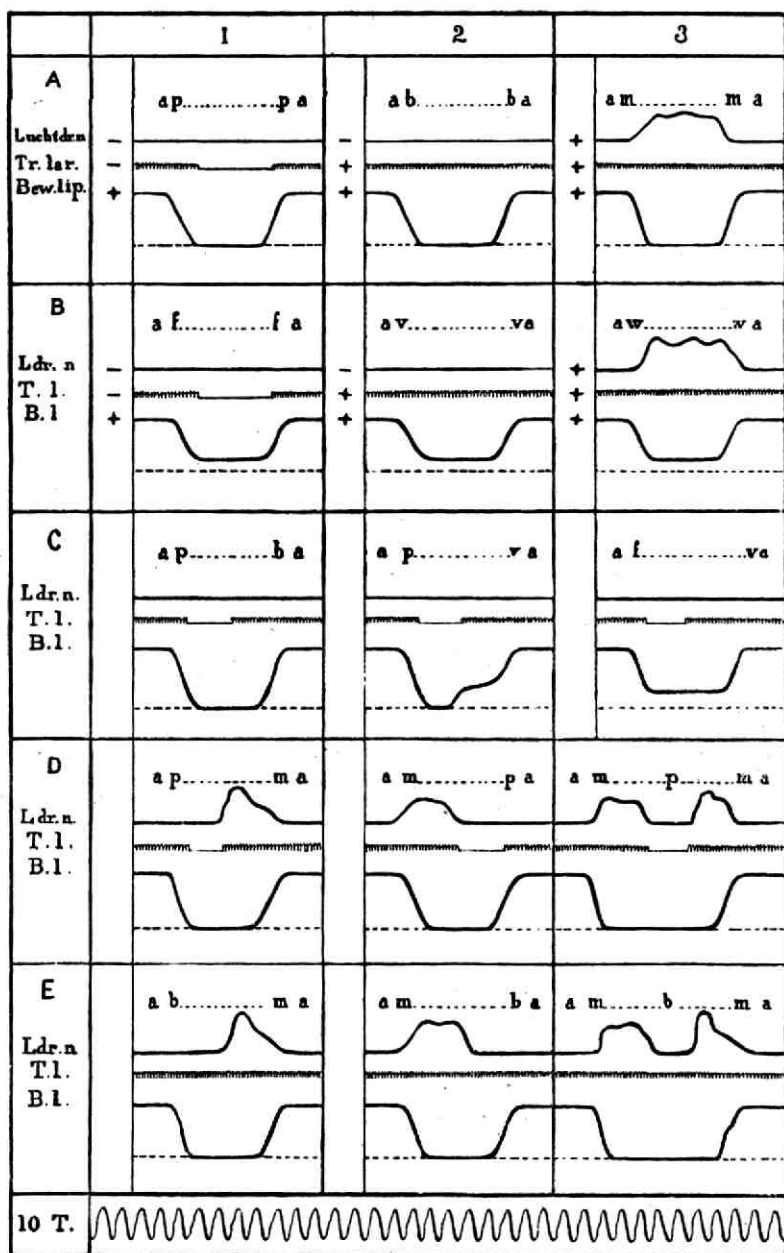


Fig. 216. Vijftien verschillende geluidsgroepen, op grafische wijze van elkaar onderscheiden.

trommel met hefboom is verbonden; elke luchtuitstooting zal dus door een stijging van het tracé worden aangewezen.

Door nu tegelijkertijd de hierboven genoemde drie bewegingen te registreeren, bevindt men dat de *m* niets anders is dan een *b*, waarbij lucht door de neusgaten wordt uitgedreven, evenals de *b* slechts een *p* is, die vergezeld gaat van trillingen van het strottenhoofd.

Verdere bijzonderheden betreffende deze onderzoekingen zullen wij hier niet nagaan; de lezer kan deze vinden in een verslag van Dr. ROSAPELLY. In fig. 216 zijn de tracés van eenige geluidsgroepen voorgesteld; wij zien hoe elk dezer groepen eigenaardige kenmerken bezit, waardoor zij zich van de andere groepen onderscheidt. Wanneer het groote nut van deze methode voor het onderwijs van doofstommen eenmaal zal zijn erkend, zullen voorzeker door verdere onderzoekingen de leemten, die nog in deze methode bestaan, worden aangevuld. Ook hebben deze onderzoekingen aan de taalwetenschap reeds belangrijke diensten bewezen door het antwoord te geven op eenige belangrijke vragen en punten van onderzoek betreffende de vorming van de samengestelde klanken.

#### **Bewegingen die plaats hebben bij het herkauwen; proeven van Toussaint.**

De bewegingen bij het herkauwen behooren ook tot die samengestelde verschijnselen, waarbij de kennis van de verschillende daarbij plaats hebbende werkingen en bewegingen alleen kan verkregen worden door het gelijktijdig registreeren van elk dier werkingen; nadat reeds vroeger door CHAUVEAU een theorie was opgemaakt betreffende de wijze waarop de teruggaande beweging van den spijsbal plaats vindt, is de geldigheid van deze theorie door de grafische bepalingen van TOUSSAINT buiten allen twijfel gesteld.

Vóór TOUSSAINT heeft men, om de bewegingen bij het herkauwen te bestudeeren, de opeenvolging van eenige bewegingen geregistreerd, die zich hierbij in verschillende plaatsen voordoen. Bij deze proefnemingen moet het dier, een koe of een schaap, in een zooveel mogelijk rustigen toestand gehouden worden; dit is een van de eerste voorwaarden voor het herkauwen. Op eenige toestellen, die op verschillende plaatsen worden aangebracht, wor-

den nu de verschillende bewegingen, waarvan men de opeenvolging of gelijktijdigheid wil bepalen, overgebracht, en zoodoende worden die bewegingen tegelijk op een zelfde blad papier geregistreerd en geven de lijnen, die in fig. 217 zijn voorgesteld.

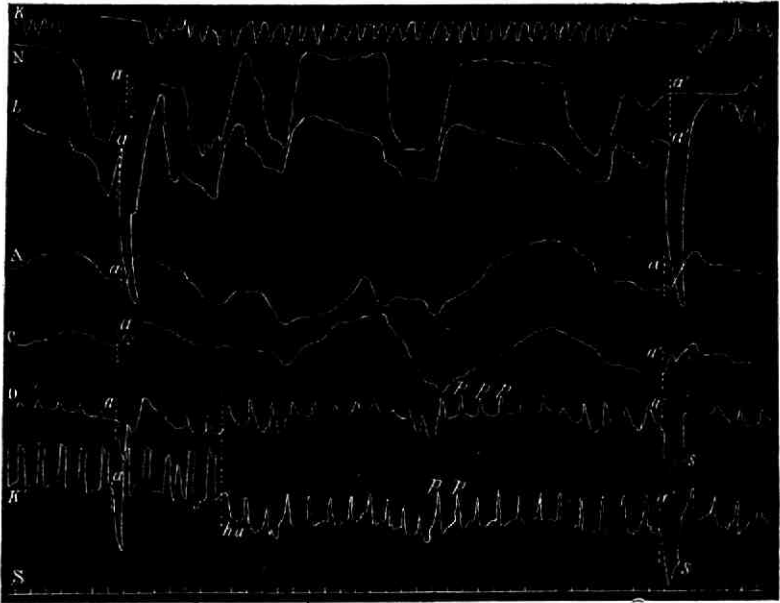


Fig. 217. Lijnen die de bewegingen bij het herkauwen aangeven. — K, beweging der kaken. — N, luchtdruk in de neusholten. — L, luchtdruk in de trachea. — A, beweging van den onderbuik. — C, beweging van den thorax. — O, lijn van den rechter boezem. — K', lijn van de rechter kamer. (In *la* is de sonde in de holle ader teruggetrokken). — S, sekonden.

Niet minder dan acht hefboomen zijn hierbij noodig, die hier allen tegelijkertijd op een cilinder schrijven. Een daarvan traceert de bovenste lijn K van de figuur; deze lijn geeft de bewegingen bij het kauwen aan; een tweede traceert de lijn N, die de drukking in de neusholten aangeeft. De drukking der lucht in de trachea wordt met behulp van een manometer bepaald (lijn T); de lijnen C en A wijzen bovendien de drukking in thorax en onderbuik aan; eindelijk is ook het hart onderzocht, zoodat de lijn O de bloedsdrukking in den boezem, K' die in de kamer voorstelt; eindelijk is de onderste lijn S een chronografische lijn, die de sekonden aanwijst.

Niettegenstaande hier een tal van bewegingen zijn geregistreerd, ontbreekt toch nog in de figuur de juiste aanwijzing van den doorgang van den spijsbal door den slokdarm. Deze doorgang moet met behulp van bijzondere toestellen geregistreerd worden, die elk uit een veerkrachtig zakje bestaan, dat wordt samengedrukt op het oogenblik dat de spijsbal door den slokdarm gaat; bij een andere reeks van proeven is dit oogenblik van doorgang zeer nauwkeurig bepaald.

In elke lijn wordt door een merkteeken  $\alpha$  het oogenblik aangegeven, waarop de herkauwing aanvangt. De bewegingen der kaken houden stil, men ziet de drukking in de neusholten en vooral in de borstkas dalen, tengevolge van een snelle daling van het middelrif. Deze in den thorax plaats hebbende lucht-aspiratie is een noodzakelijke voorwaarde voor het stijgen van den spijsbal. Een dergelijk ledig onstaat in de holten van het hart, getuige de vermindering van de bloedsdrukking in den boezem en in de kamer. De sluiting van de luchtpijpspleet is noodzakelijk voor de vorming van het genoemde luchtledig; ook ziet men, dat zoodra deze aspiratie in den thorax begint, de overeenstemming tusschen de lijnen, die den luchtdruk in de neusholten en in den thorax aanwijzen, verdwijnt. De figuur wijst dus duidelijk aan dat op het oogenblik waarop de herkauwing aanvangt, het middelrif zich gedurende de sluiting van de luchtpijpspleet samentrekt, de lucht zich in de long verdunt, de ribben door den dampkringsdruk worden samengedrukt, de slokdarm zich uitzet, de voedingsstoffen zich hierin begeven en de kaken op hetzelfde oogenblik onbewegelijk worden. Onder den invloed van de plotselinge aspiratie, voortgebracht door de daling van het middelrif, zetten de kamer en de boezem zich uit; de hartdrukking, waarmee de beweging van het herkauwen gepaard gaat, heeft plaats op het oogenblik van de kamerdiastole en schijnt even lang als deze te duren; maar zij wordt ongetwijfeld verkort door de kamersystole, die voor het einde der aspiratie intreedt.

Daar nu proefondervindelijk is aangetoond dat bij het herkauwen alleen het middelrif een actieve werking uitoefent, was het van belang deze werking te beletten, om te zien wat hiervan het gevolg zou zijn.

Uit de proefnemingen van FLOURENS was reeds gebleken dat



het herkauwen nog voortgaat na het doorsnijden van de middelribszenuwen; het komt er echter op aan te onderzoeken waardoor het dier de werking van het middelrif vervangt. Nadat de bovenste tak van het middelrif, voortkomende uit het zevende paar nekzenuwen, was doorgesneden, bevond men dat nu de ribben zich plotseling uitzetten en zodoende de luchtverdunning in den thorax teweegbrengen, terwijl de onderbuik de uitwerking van den uitwendigen dampkringsdruk ondervindt en het middelrif op het oogenblik van de herkauwing teruggedrijft. De rollen zijn nu verwisseld, maar de uitwerking is dezelfde: deze uitwerking is namelijk altijd de snelle en aanmerkelijke vermindering van de drukking binnen in den thorax.

Als aanvulling van de hier vermelde proefneming is het TOUSSAINT gelukt door de prikkeling van het peripherische einde der middelribszenuwen de normale herkauwing als 't ware synthetisch daar te stellen. Om de voorwaarden van de herkauwing te verwezenlijken, werd een helper belast met den palm der beide handen de neusgaten van het dier te sluiten, terwijl de middelribszenuwen werden geprikkeld; de resultaten waren volkomen: bij elke prikkeling steeg de spijsbal in den slokdarm, het dier kauwde de stoffen eenige oogenblikken, alvorens ze in te slikken, of wel het slikte ze onmiddellijk in.

**Het registreeren van de bewegingen bij het slikken;  
proeven van ARLOING en CARLET.**

Volgens de onderzoekingen van ARLOING met betrekking tot de slikbewegingen mag men geen onderscheid maken tusschen de werkingen bij het doorslikken van vaste en van vloeibare stoffen; de bewegingen bij het doorslikken van vloeistoffen zijn meer opvolgend met elkaar verbonden, maar overigens gelijk aan die, welke bij het doorslikken van vaste stoffen plaats hebben; in het laatste geval geschieden de bewegingen met grootere tusschenpoozen.

Door het inbrengen van manometrische zakjes in de eerste spijsverteeringswegen van een paard, werden gelijktijdig de lijnen van drukking verkregen in de verschillende punten, waar de spijsbal voorbijging. Het onderzoek van de aldus verkregen tracés leidde tot deze gevolgtrekkingen:

1<sup>e</sup>. Bij het begin van het slikken beweegt het verhemelte zich naar boven;

2<sup>e</sup>. de nauwe afscheiding tusschen het bovenste gedeelte van de luchtpijp en de keel zet zich uit;

3<sup>e</sup>. de ingang van den slokdarm opent zich van te voren om den spijsbal door te laten.

Terwijl de voedingsstoffen doorgaan, blijft de holte van het strottenhoofd gesloten.

Onderzoekt men de luchtdrukking in de luchtwegen onder het strottenhoofd, dan bespeurt men dat er een aspiratie plaats heeft op het oogenblik van het slikken; deze wordt veroorzaakt door een daling van het middelrif gedurende de sluiting van de luchtpijpspleet. Deze werking der inademenskrachten spelen nu bij het slikken dezelfde rol als, volgens TOUSSAINT, bij de herkauwing. CARLET heeft op zich zelf proeven genomen, door de drukking van de achterste wangholte tegelijkertijd met de stijgende beweging van het strottenhoofd te registreeren, en is zodoende tot dezelfde gevolgtrekkingen geraakt.

#### **Het gelijktijdig registreeren van de verrichtingen der verschillende deelen van een stoomwerktuig.**

DEPRÈZ heeft de methode van het gelijktijdig registreeren aangewend om een belangrijk vraagstuk van de werktuigkunde op te lossen: namelijk bij een in werking zijnd stoomwerktuig de fasen van drukking op de beide oppervlakten van den zuiger in functie van de bewegingen van dezen zuiger te registreeren. Dit is dus ongeveer hetzelfde vraagstuk, dat WATT bij het bepalen van den arbeid van stoomwerktuigen trachtte op te lossen. DEPRÈZ heeft zich voor het gelijktijdig registreeren van deze drukkingen op verschillende plaatsen van rechthoekige platen bediend, waaraan gelijke bewegingen als die van den zuiger werden meegedeeld, zoodat nu de lijnen niet tengevolge van de traagheid der beweegbare deelen werden misvormd, maar door middel van een tal van punten nauwkeurig konden worden geconstrueerd, welke punten achtereenvolgens de verschillende graden van drukking in de verschillende plaatsen en in de opvolgende fasen van beweging aanwezen.

## VIERDE HOOFDSTUK.

### HET ACHTEREENVOLGENDE ONDERZOEKEN IN VERSCHILLENDE PLAATSEN VAN EEN ZELFDE VERSCHIJNSEL.

De achtereenvolgende beweging van een vloeistofgolf voorbij de verschillende punten van een buis. — Voortplanting van de spiergolf. — Beweging van geluidsgolven, enz.

Niet altijd kan men over een voldoende aantal toestellen beschikken om tegelijkertijd de opvolgende oogenblikken te registreren, waarop een beweging op verschillende plaatsen optreedt. Reeds vroeger hebben wij gezien hoe men het achtereenvolgend voorbijgaan van een vloeistofgolf in de verschillende punten van een buis door middel van een reeks van ontvangtoestellen kan registreren.

Stellen wij ons voor dat wij voor deze proefneming slechts over één ontvangtoestel en over één schrijfstift hebben te beschikken; dan zal men toch de voortplantingsbeweging van de vloeistofgolf kunnen bepalen door zijn toevlucht te nemen tot de methode van het achtereenvolgend registreren, maar alleen onder voorwaarde, dat men bij de reeks van bepalingen, die nu gedaan moeten worden, het verschijnsel altijd volkomen op dezelfde wijze moet doen plaats hebben. Dit is het eenige bezwaar dat zich hierbij aan den proefnemer voordoet.

Gesteld dat de lijnen van figuur 218 zijn verkregen door de

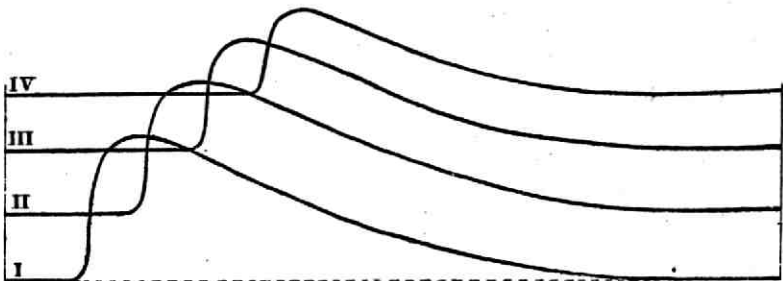


Fig. 218. Tracés verkregen door het achtereenvolgend registreren van de voortplanting van een golfbeweging. (Theoretische figuur).

phasen van zijdelingsche drukking in een veerkrachtige buis te

bepalen. Een eerste proef geeft in I het oogenblik aan, waarop een vloeistofgolf door de buis wordt voortgestuwd; de fasen van drukking worden aangewezen door de kromme lijn, die zich uit dit punt, als oorsprong, ontwikkelt. Bij een tweede proef II heeft men den ontvangtoestel over een bepaalden afstand verplaatst, en op hetzelfde oogenblik met betrekking tot de omwenteling van den cilinder wordt nu een tweede golf door de buis voortgestuwd. Deze proeven worden door een derde en vierde gevolgd, daarbij steeds zorg dragende dat de golf op hetzelfde oogenblik wordt voortgestuwd. Zodoende verkrijgt men een aantal met elkaar vergelijkbare lijnen, waarvan elke in 't bijzonder het voorbijgaan van een golf aanwijst onder een ontvangtoestel, die van het eene naar het andere einde der buis steeds over een bekenden afstand wordt verplaatst.

Deze lijnen geven ons dezelfde aanwijzing als de tracés, verkregen bij het gelijktijdig registreeren, mits slechts bij de opvolgende proeven telkens dezelfde stoot aan de vloeistof is gegeven; het beste middel om deze gelijkheid van beweging te verkrijgen, is den stoot voort te brengen door een gewicht, dat telkens van een zelfde hoogte valt.

Het is niet altijd noodig de aldus verkregen lijnen juist boven elkaar te plaatsen, wanneer men slechts zorg draagt door een merkteeken in elke lijn het oogenblik aan te geven, waarop de beweging der golf is aangevangen. Heeft men dan eenige achtereenvolgende bepalingen gedaan, dan plaatst men de papierstrooken, op elke waarvan een lijn is getraceerd, zoodanig boven elkaar, dat de merkteekens der verschillende lijnen in een vertikale lijn komen te liggen. In fig. 218 vallen deze merkteekens in de vertikale lijn I—IV samen.

De methode van *het achtereenvolgend registreeren* kan in een groot aantal omstandigheden van dienst zijn. Men kan haar aanwenden om de voortplanting van de spiergolf door een vezelbundel te volgen. De spier wordt aan een harer uiteinden geprikkeld, en men registreert het oogenblik, waarop de spiergolf voorbijgaat onder een ontvangtoestel, dien men achtereenvolgens in verschillende punten der spier plaatst. Deze methode heeft niet alleen het voordeel dat men met een enkelen toestel kan volstaan, maar ook kan men de bepaling doen in een tal van

punten, die te dicht bij elkaar zijn gelegen om het gelijktijdig registreeren toe te laten.

De voortplanting van het geluid is op dezelfde wijze bestudeerd.

De proeven van REGNAULT kwamen hierop neer, dat door middel van een chronograaf teekens op een draaienden cilinder werden geregistreerd; welke teekens dienden om de afstanden te bepalen, die door een geluidsgolf van een zeker beginpunt tot aan verschillende punten werden doorloopen.

Ook de proeven van HELMHOLTZ betreffende de snelheid der zenuwwerking zijn volgens deze methode genomen; hij prikkelde hierbij de zenuw in verschillende punten en bepaalde de achtereenvolgende vertragingen in de beweging met betrekking tot vertikaal boven elkaar aangebrachte merkteekens. In 't algemeen kan deze methode met vrucht worden aangewend, waar men zich ten doel stelt de snelheid en de fasen van de voortplanting eener beweging te bepalen.

## VIJFDE HOOFDSTUK.

### HET ACHTEREENVOLGEND ONDERZOEKEN VAN VERSCHILLENDE PHASEN VAN EEN VERSCHIJNSEL.

Het achtereenvolgend onderzoeken van de verschillende fasen van een elektrischen stroom. — Achtereenvolgend onderzoek van de stoomspanning in stoomwerktuigen. — Het onderzoeken van de spierkracht op verschillende oogenblikken gedurende den spierschok; van de prikkelbaarheid van het hart in de verschillende fasen der systole.

Terwijl in het voorgaande hoofdstuk werd nagegaan hoe men een verschijnsel kan onderzoeken in verschillende punten van de ruimte, zullen wij nu het verschijnsel beschouwen in opvolgende oogenblikken. Volgens deze methode kunnen de snelste werkingen, die anders aan de waarneming zouden ontsnappen, worden onderzocht en geregistreerd.

#### **Het achtereenvolgend onderzoeken van de verschillende fasen van een elektrischen stroom.**

Om de veranderlijke fasen van een elektrischen stroom te

bepalen, kwam GUILLEMIN op het denkbeeld, den duur van dezen veranderlijken toestand in een aantal oogenblikken met zeer korte tusschenpoozen te verdeelen, zoodat de verandering van het eene oogenblik tot het andere oneindig klein kon geacht worden. Hij nam hierbij zijn toevlucht tot het gebruik van rotatie-toestellen, waardoor een elektrische stroom in een metaaldraad werd opgewekt, terwijl vervolgens de elektrische toestand van dezen draad in eenige opvolgende oogenblikken werd onderzocht. Bij deze onderzoekingen bediende GUILLEMIN zich van den galvanometer; daar nu de naald, tengevolge der traagheid, niet oogenblikkelijk den juisten evenwichtsstand inneemt en alleen doorslaat, voor zoover de stroom gedurende een aanmerkelijk tijdsverloop door gaat, moest ook de stroom gedurende een zekeren tijd op den galvanometer werken. Door een rotatie-toestel werd een elektrische stroom eenige malen achter elkaar gesloten; dit sluiten van den stroom geschiedde altijd op een zelfde oogenblik van de omwenteling van den toestel; nu werd telkens na een zekeren tijd na elke sluiting, de stroom op nieuw gedurende korten tijd gesloten, en zoo werd bij deze achtereenvolgende sluitingen de stroom in den galvanometerdraad opgewekt. Telkens had nu een onmerkbaar afwijking van de naald plaats; hierbij voegde zich weer een tweede afwijking, en zoo vervolgens, telkenmale dat de stroom werd gesloten. Kwam nu op een zeker oogenblik de galvanometernaald in rust, dan wees zij door haar stand de intensiteit van den stroom aan gedurende een eerste reeks van onderzoekingen. Bij een tweede reeks proefnemingen bepaalde GUILLEMIN de intensiteit van den elektrischen stroom, behoorende tot een volgende phase van den elektrischen toestand, en zoo vervolgens, totdat de naald haar maximumafwijking bereikte of totdat zij, niettegenstaande het afwisselend sluiten van den stroom bleef aanhouden, niet meer afweek. 1)

Bij deze proeven werden de amplituden van de afwijkingen der galvanometernaald aangegeven door een reeks van ordinaten, behoorende tot een kromme lijn, terwijl de tijddeelen, zooals ge-

---

1) Deze afwijking geeft in werkelijkheid slechts de helft van het ware bedrag aan, want de galvanometer ondervindt den invloed van den sluitingsstroom slechts gedurende de helft van den tijd van sluiting.

woonlijk, op de abscissen-as werden afgemeten. Deze lijnen hebben zeer belangrijke aanwijzingen gegeven omtrent den duur van den veranderlijken toestand der stroomen, alsmede met betrekking tot de verschillende intensiteit in de opvolgende oogenblikken (zie fig. 34, pag. 72).

Volgens dezelfde methode heeft BERNSTEIN de fasen van de elektrische verandering der spieren bepaald gedurende den spierschok.

Ook de duur van den elektrischen stroom van den sidderrog laat zich op deze wijze bepalen. Daartoe wordt een stroom op een bepaald oogenblik voortgebracht, en nadat men de geleiding, waardoor de elektrische stroom van het dier moet heengaan, heeft gesloten, onderzoekt men met behulp van een kikvorschpoot den elektrischen toestand van de geleiding. Beweegt zich de gevoelige kikvorschpoot, dan is dit een bewijs dat de stroom doorgaat. Door nu deze proef te herhalen in eenige opvolgende oogenblikken, steeds met grootere tusschenpoozen van het begin van het verschijnsel verwijderd, kan men den toestand van den elektrischen stroom in de verschillende oogenblikken van zijn duur, benevens het begin en het ophouden bepalen met een graad van nauwkeurigheid, die afhangt van het aantal onderzoekingen, gedurende den duur van het verschijnsel gedaan.

Gesteld dat in fig. 219 O het oogenblik aanwijst, waarop een



Fig. 219. Het bepalen van den duur van een elektrischen stroom door achtereenvolgende waarnemingen.

zenuw van den sidderrog wordt geprikkeld, en dat de opvolgende punten 1, 2, 3, 4, enz., van elkaar verwijderd zijn op gelijke afstanden, die ieder met een honderdste deel van een sekonde overeenkomen, terwijl gedurende die kleine tijddeelen het elektrisch orgaan van den sidderrog in verbinding is gesteld met een metaaldraad, waaraan een gevoelige kikvorschpoot is verbonden, zoodat deze met den draad een gesloten keten vormt. Bij de twee eerste onderzoekingen 1 en 2, die op de prikkeling

van de elektrische zenuw volgen, vertoont de figuur nog geen seintekens, waaruit blijkt dat de kikvorschpoot onbewegelijk is gebleven, en dat dus de ontlading van den sidderrog dezen nog niet heeft bereikt. Op het oogenblik 3 is de poot echter in beweging, hetgeen in de figuur wordt aangewezen door een vertikaal streepje; hetzelfde bemerkt men op de oogenblikken 4, 5, 6, 7, 8, 9 en 10; op het oogenblik 11 en in de daaropvolgende oogenblikken werkt de poot niet meer; de stroom moet dus nu geëindigd zijn, en heeft dus in het geheel acht honderdsten van een sekonde geduurd, terwijl het begin van den stroom  $\frac{3}{100}$ e sekonde na de prikkeling van de zenuw plaats vond, en evenzoo de stroom tien honderdsten van een sekonde na de prikkeling is opgehouden.

Om deze proef te verwezenlijken werd de elektrische zenuw steeds op een zelfde oogenblik van de omwenteling van den cilinder, in *e* (fig. 220) geprikkeld. Door een metaalgeleiding, die

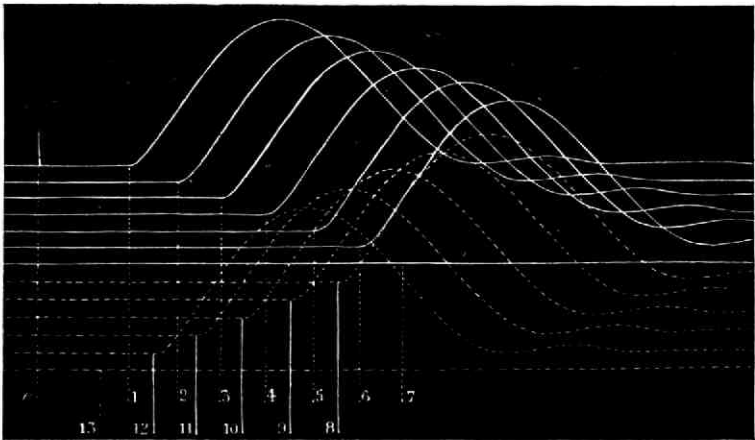


Fig. 220. Het meten van den duur van den elektrischen stroom van een sidderrog door achtereenvolgende proefnemingen met een kikvorschpier als seingever.

naar willekeur gedurende een zeer kort tijdsverloop en op verschillende oogenblikken verplaatst kon worden, kon de keten gesloten worden, waardoor de stroom van den sidderrog moest loopen om den kikvorschpoot te bereiken. Om eindelijk het samenval van de lijnen te voorkomen, die bij de achtereenvolgende proefnemingen werden geregistreerd, werd de registreerstift tel-



kens een weinig verplaatst, zoodat de lijnen sportsgewijze onder elkaar kwamen te liggen.

Figuur 220 toont ons aan dat het eerste optreden van den elektrischen stroom van den sidderrog heeft plaats gehad op het oogenblik 1; dat bij de achtereenvolgende proefnemingen de stroom in de oogenblikken 2, 3, 4, 5 en 6 is doorgestaan, maar dat op het oogenblik 7 de stroom was geëindigd. Door de onderzoekingen nog later na het oogenblik van prikkeling voort te zetten, heeft men den stroom weer in 8, 9, 10, 11 en 12 teruggevonden; maar in het punt 13, dat te dicht bij het oogenblik van prikkeling was gelegen, werd geen stroom waargenomen, zoodat deze nog niet bestond.

Het spreekt van zelf dat aan deze bepalingen des te meer waarde kan worden toegekend, naarmate de onderzoekingen elkaar met korter tusschenpoozen opvolgen.

#### **Achtereenvolgend onderzoek van de stoomspanning in stoomwerktuigen.**

Door achtereenvolgend registreeren is DEPRÉZ er in geslaagd

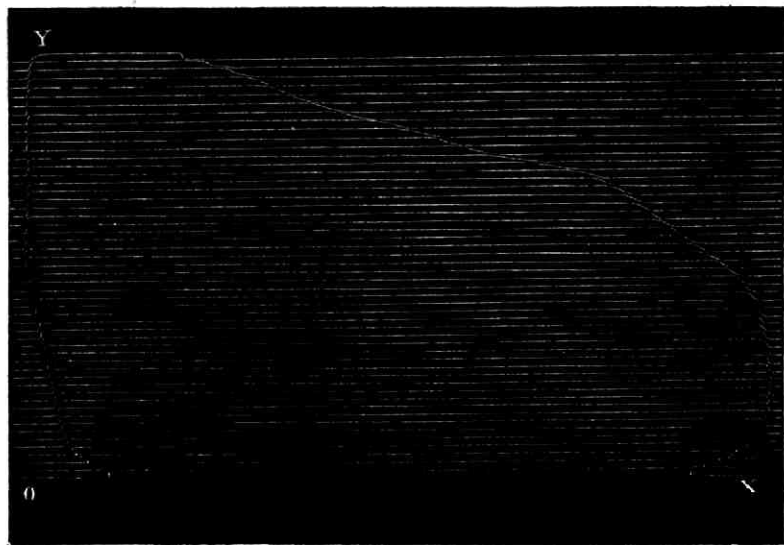


Fig. 221. Lijn van de stoomspanning in den cilinder van een stoom-  
werktuig, volgens de tracés van den manometer van DEPRÉZ.

de spanning van den stoom gedurende de verschillende fasen

van de beweging van den zuiger te bepalen. Daar bij deze proefneming de spanning in de opvolgende oogenblikken niet altijd dezelfde was, moesten de toestellen, waarmee het bedrag dezer spanningen bepaald werden, ook achtereenvolgens een verschillend weerstandbiedend vermogen bezitten. Gesteld dat men in de opvolgende oogenblikken 1, 2, 3, 4 het bedrag van de spanning wil kennen, dan laat men den stoom op een metaalmanometer werken, wiens membraan voor de uitgeoefende inwendige drukking slechts tot een zeker bedrag mag uitwijken; gedurende de proefneming laat men nu het weerstandbiedend vermogen van den manometer gelijkmatig toenemen. Figuur 221 wijst de reeks van deze achtereenvolgende bepalingen aan; zij zijn ten getale van 53 voor een enkelen zuigerslag en vormen een gesloten kromme lijn.

**Het achtereenvolgend onderzoeken van de kracht van  
een spier gedurende de verschillende fasen  
van den spierschok.**

Door de hierboven aangegeven wijze van proefneming in de physiologie aan te wenden, heeft BLOCH de krachten gemeten, die bij een spiercontractie in de verschillende oogenblikken van de verandering in lengte worden ontwikkeld. Hij bediende zich hiervoor van een myograaf, waarvan de hefboom bij zijn afwijking, tengevolge van het trekken der spier, een elektrischen stroom moest verbreken, die op een elektromagnetischen seinstoestel werkte. Door den weerstand, dien de spierkracht had te overwinnen, gelijkmatig te laten toenemen, nam BLOCH waar dat het verbreken van den stroom op veranderlijke oogenblikken plaats had.

In figuur 222 bemerkt men een steeds toenemende vertraging gedurende het verkorten der spier. Wanneer de spier weer tot haar oorspronkelijke lengte terugkeert, dan wordt de stroom, telkenmale dat de kracht van de spier door de kracht van de gespannen veer wordt overwonnen, gesloten. De teekentjes, die in de figuur het verbreken en het sluiten van den stroom aangeven, zijn gelegen op een kromme, die de verschillende oogenblikken aangeeft, waarop de spierkracht bevonden is gelijk te zijn aan de veranderlijke kracht van een veer. Deze lijn beant-

woordt nauwkeurig aan de verschillende fasen van de spierkracht zelf, indien men aanneemt dat de ordinaten der lijn ach-

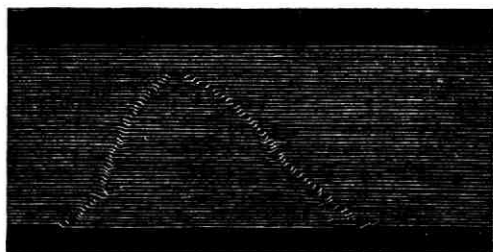


Fig. 222. Bepaling van de kracht van een spier in de verschillende oogenblikken van een spierschok. (Proef van BLOCH naar de methode van DEPRÈZ).

tereenvolgens met de langzaam toenemende krachten overeenkomen. Men kan bij deze proef gemakkelijk de spankracht der veer langzaam doen toenemen, wanneer men maar zorg draagt de veer lang genoeg te nemen, zoodat de modulus van veerkracht bij de achtereenvolgende uitrekkingen weinig verandert.

#### **Achtereenvolgende onderzoekingen van de prikkelbaarheid van het hart in de verschillende fasen der systole.**

De hier aangegeven methode van onderzoek leidt ook tot zeer bevredigende uitkomsten, wanneer men den graad van prikkelbaarheid van het hart van een dier wil bepalen, dat geprikkeld wordt door elektrische stroomen, die gelijke intensiteit hebben, maar die in verschillende oogenblikken van de hartsperiode worden aangewend.

Om het prikkelen steeds gelijkmatig en op dezelfde wijze te doen plaats hebben, kan men zich het best bedienen van inductieslagen, die ontstaan bij het verbreken van een stroom. Het is dan opmerkelijk hoe die steeds onderling gelijke prikkelingen toch zeer verschillende uitwerkingen teweegbrengen. Nu eens zal het hart op de prikkeling reageeren, een andermaal weer niet. De beweging kan soms plotseling optreden (na  $\frac{1}{10}$  sekonde), soms ook kan er een aanmerkelijke vertraging van  $\frac{1}{2}$  sekonde, of zelfs meer, plaats hebben. De opgewekte systole kan in enkele gevallen even sterk zijn als die, welke uit zich zelf plaats heeft, terwijl zij daarentegen somtijds als 't ware geheel mislukt.

Uit de genomen proeven is nu overtuigend gebleken dat het hart altijd op dezelfde wijze naar de prikkeling zal luisteren, wanneer deze ook steeds op hetzelfde oogenblik, dus in dezelfde phase van de systole of diastole wordt aangewend; prikkelt men daarentegen in verschillende phasen van de systole, dan zijn de reactiebewegingen van het hart ook verschillend.

Uit de onderstaande figuur kan blijken hoe deze proef moet worden ingericht.

Figuur 223 toont ons een kikvorsch, uitgespreid op een kurken

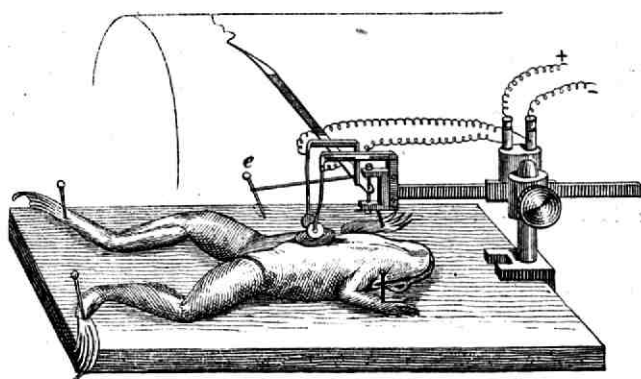


Fig. 223. Onderzoek van de prikkelbaarheid van het hart van een kikvorsch in verschillende oogenblikken van de hartsperiode.

plaat; het hart van den kikvorsch is blootgelegd en ter hoogte van de kamer gevat tusschen de beenen van een myografische tang; de beenen van deze tang zijn ieder aan een omgebogen arm bevestigd. Een van deze armen is vast; de andere arm is beweegbaar en voorzien van een hefboom, die rechthoekig op dezen arm is bevestigd en met zijn puntig uiteinde op een gezwarten cilinder schrijft. Aan het beweegbare been der tang is een draadje van caoutchouc bevestigd, dat verder aan een speld *e* is vastgemaakt en als een veer werkt; bij elke systole van de kamer worden nu de beenen van de tang van elkaar verwijderd, waarbij de caoutchoucdraad gespannen wordt, terwijl bij elke diastole de beenen weer tot elkaar naderen tengevolge van het trekken van den draad.

Door de meerdere of mindere spanning van dezen caoutchoucdraad wordt het karakter van de bij deze proeven verkregen

tracés zeer gewijzigd. Is de spanning groot, dan wordt de kamer met kracht samengedrukt, waardoor het bloed verhinderd wordt de kamer gedurende de diastole te vullen; alsdan verkrijgt men nog maar alleen myografische lijnen van de kamer, die nu werkt even alsof het hart geïsoleerd was. Is de spanning gering, dan heeft de diastolische vulling der kamer plaats en het tracé wijst al de bijzonderheden van den normalen hartslag aan.

In fig. 224 zijn de eigenaardigheden aangewezen die het hart

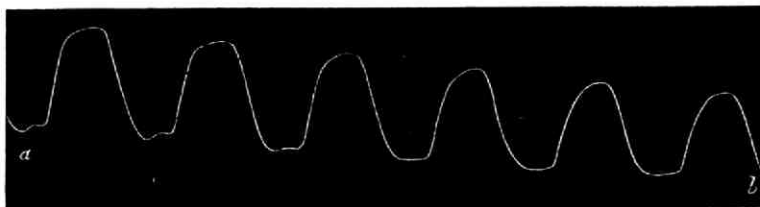


Fig. 224. Tracés van de hartslagen van den kikvorsch onder den invloed van een steeds toenemende drukking.

van den kikvorsch vertoont, wanneer de trekkracht van den gespannen draad van den myograaf langzaam toeneemt. De lezer zal uit den vorm van het tracé gemakkelijk den graad van drukking kunnen nagaan, die op de kamer werd uitgeoefend.

Bij den hier beschreven myograaf zijn de beenen van de tang door ivoren stukjes, die de beenen met de omgebogen armen verbinden, geïsoleerd. Elk der beenen is met een metaaldraad verbonden, zoodat het hart aan elektrische prikkelingen van verschillenden aard kan onderworpen worden. Men kan nu door de kamer constante stroomen of inductiestroomen in dwarse richting laten gaan.

Verder plaatst men, ten einde het juiste oogenblik aan te geven waarop de prikkeling plaats heeft, wier uitwerking men wil nagaan, onder de punt van den hefboom, die de hartbewegingen traceert, de stift van een seingever van DEPRÈZ, en registreert hiermede met een volkomen juistheid het oogenblik, waarop de prikkeling heeft plaats gehad.

Wil men bijv. het hart door een inductiestroom prikkelen, dan laat men door den seintoestel van DEPRÈZ den hoofdstroom van een inductieklos gaan. Juist op het oogenblik van het verbreken

van den hoofdstroom zal nu door den seingever dit verbreken van den stroom worden geregistreerd; dit oogenblik valt samen met het optreden van den inductiestroom, die de prikkeling teweegbrengt.

Op deze wijze is men nu in staat het hart gedurende verschillende phasen van de systole en diastole te prikkelen.

In figuur 225 zijn de tracés voorgesteld, die bij deze proeven zijn verkregen. Van de lijn 1 tot de lijn 3 weigert het hart te reageeren op de prikkeling; *deze periode van weigering heeft plaats bij het optreden van de systole*. Van de lijn 4 tot de lijn 8 reageert het hart op de prikkelingen, maar met verschillende snelheden. De hier plaats hebbende vertraging komt overeen met hetgeen door HELMHOLTZ *den verloren tijd* voor de willekeurige spieren wordt genoemd. *Deze vertraging wordt geringer, naarmate het hart wordt geprikkeld in een meer gevorderde phase van de systole*; terwijl zij vrij groot is voor de lijn 4, bijna  $\frac{1}{2}$  sekonde, is zij bijna nul voor de lijn 8. (Om die verschillende vertragingen beter te doen uitkomen, heeft men dat gedeelte van het tracé gearceerd, dat het tijdsverloop aangeeft tusschen het oogenblik van prikkeling en het oogenblik van het optreden van de opgewekte systole).

Vergelijkt men de op verschillende oogenblikken opgewekte systolen met elkaar, dan bemerkt men *dat de opgewekte systole des te sterker is, naargelang zij na een grooter tijdsverloop na de willekeurige systole, die haar voorafgaat, plaats heeft*. Het schijnt dat het hart een zekere rust noodig heeft om zijn zenuw- of spierkracht te herkrijgen, en dat de beweging, die wordt uitgelokt door de prikkeling, des te sterker is, naarmate deze rust meer volkomen is geweest.

Verder bemerkt men in de figuur dat de amplitude der opgewekte systolen in lijn 4 gering, in lijn 5 iets grooter is; daarna wordt zij weer kleiner in lijn 6, en neemt op nieuw toe in de lijnen 7 en 8.

Dit verschijnsel is niet in tegenspraak met hetgeen hierboven is gezegd; want indien men bijv. in de lijn 6 een zwakkere systole opmerkt dan in de voorafgaande en in de volgende lijn, is dit daaraan toe te schrijven dat de systole van de lijn 6 eerder heeft plaats gehad.

Het oogenblik, waarop de uitgelokte systole optreedt, is bij deze proeven afhankelijk van twee oorzaken: ten eerste tracht het

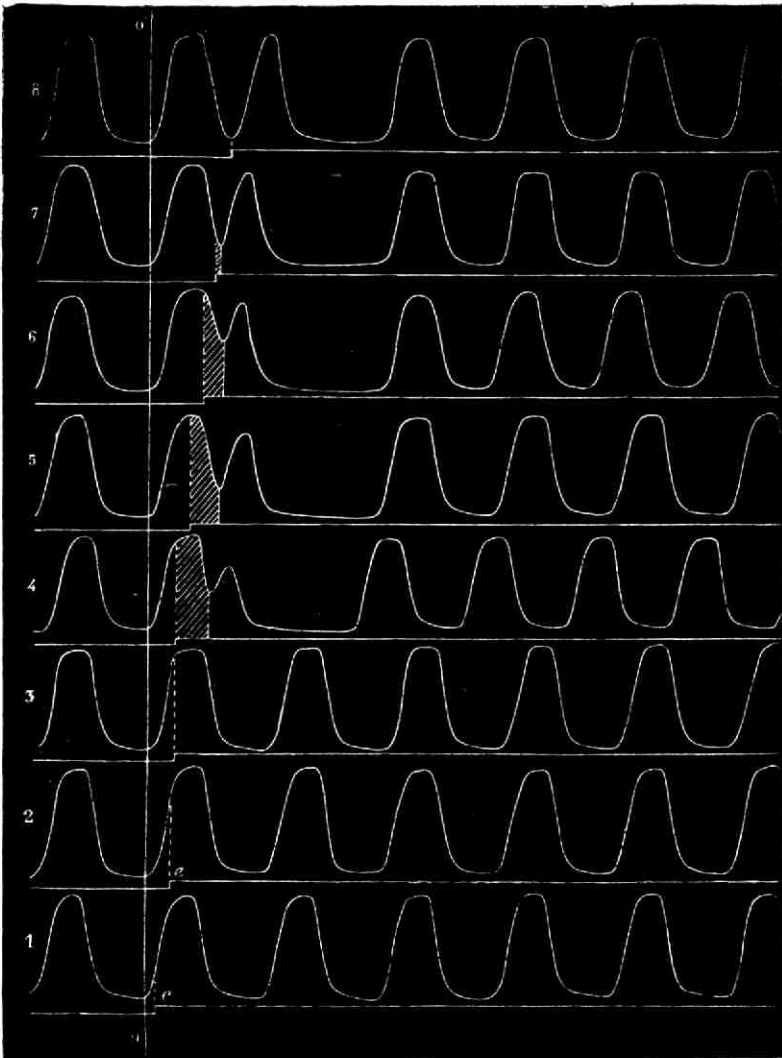


Fig. 225. Het prikkelen van het hart van een kikvorsch op verschillende oogenblikken van de hartsperiode. De lijn  $oo'$  stelt het gemeenschappelijk begin der hartsperioden voor, gedurende welke de prikkeling is aangewend.

later aanbrenge van de elektrische prikkeling het optreden van deze beweging meer en meer te vertragen; ten tweede tracht de

trapsgewijze vermindering van den verloren tijd dit optreden meer te verhaasten. Al naargelang nu de eene of de andere invloed de overhand heeft, zullen de uitgelokte systolen vroeger of later optreden en een meer of minder groote amplitude vertoonen, zooals fig. 225 aanwijst.

*Na elke opgewekte systole ontstaat er een periode van rust, waardoor de rhytmus van de hartsbeweging, een oogenblik verstoord zijnde, weer wordt hersteld.* Op deze wijze zal dus in een bepaalden tijd altijd hetzelfde aantal systolen plaats hebben, onverschillig of het hart al dan niet wordt geprikkeld. Het bestaan van deze periode van rust is van veel belang, want zij leidt tot de gevolgtrekking dat *het arbeidsvermogen van het hart tracht onveranderlijk te blijven.*

Uit een tal van proefnemingen is gebleken dat het hart het aantal van zijn bewegingen regelt naar de weerstanden, die het bij iedere systole heeft te overwinnen; vermeerderd men de bloedsdrukking in de slagaderen, dan zal het hart, daar het bij elke systole een zwaardere belasting moet opheffen, zijn kloppingen vertragen; wordt daarentegen door een bloeditstorting de weerstand bij elke systole verminderd, dan zal elke hartsbeweging minder arbeid besteden en door een kortere periode van rust gevolgd worden: het hart versnelt dan zijn bewegingen. Zoo dienen de proeven, waarbij men de systolen van het hart door elektrische prikkelingen kunstmatig opwekt, tot een bevestiging van *de wet der onveranderlijkheid van het arbeidsvermogen van het hart.*

---

## ZESDE HOOFDSTUK.

### METHODE DER STROBOSKOPIE.

**Methode der stroboskopie; proeven van PLATEAU.** — Het onderzoeken van trillingsbewegingen door een trillende spleet of met behulp van een oogenblikkelijke verlichting.— Het analyseeren van de bewegingen van trillende snaren, van de gangen van een paard, enz. — Stroboskopische synthese van de bewegingen van dieren. — Oogenblikkelijke fotografie.

Men geeft den naam stroboskopie, afgeleid van *στροβός*, draaiing, en *σκοπεω*, ik zie, aan een zeer eigenaardige methode van waar-



neming, die door PLATEAU is uitgevonden. Wanneer een periodiek verschijnsel regelmatig terugkeert, en het tijdsverloop tusschen twee opvolgende herhalingen van dit verschijnsel te kort is, dan dat het oog de beweging voldoende kan analyseeren, neemt men dit verschijnsel waar op enkele oogenblikken, die altijd juist samenvallen met den tijd waarop steeds hetzelfde gedeelte van de periodieke beweging is volbracht; bij het waarnemen nu gedurende die korte oogenblikken, zal het bewegend lichaam op die momenten schijnen stil te staan.

PLATEAU beschrijft aldus de grondbeginselen van zijn methode:

„Het doel dat ik mij in deze verhandeling heb voorgesteld, is eenvoudig een denkbeeld te geven van mijn toestel en van de uitkomsten, waartoe deze geleid heeft; ik stel mij voor in een afzonderlijk werk dit onderwerp meer breedvoerig te ontwikkelen. 1)

„Stelt men zich voor een zwarte schijf, van metaal of van papier, waarin eenige nauwe spleten zijn gemaakt, loopende in de richting van het middelpunt naar den omtrek en op gelijke afstanden van elkaar verwijderd. Wordt nu een dergelijke schijf snel om haar middelpunt rondgedraaid, dan zal zij zich aan den beschouwer voordoen als een doorschijnende gazen massa, door welke men de voorwerpen duidelijk kan onderscheiden. Stellen wij ons nu verder voor dat de schijf in gemeenschap is gesteld met het raderwerk van een uurwerk, zoodat men hiermede de snelheid van beweging der schijf naar willekeur kan regelen, en zien wij nu door de draaiende schijf naar een of ander voorwerp, dat zich met groote snelheid periodiek beweegt, bijv. naar een trillende snaar.

„Wij kunnen ons nu de snelheid van de schijf zóó geregeld denken, dat elke spleet juist voorbij het oog gaat op het oogenblik dat de trillende snaar een van de uiterste punten van hare trillingswijdte heeft bereikt. Onder deze omstandigheden ziet nu het oog de snaar altijd in denzelfden stand (aannemende dat gedurende zekeren tijd de trillingswijdte onveranderd blijft) en daar de spleten nu zoo snel achter elkaar voor het oog verschijnen, dat de opvolgende indrukken op het netvlies zich tot één indruk

---

1) Deze aanhaling is ontleend aan *Die optisch-akustischen Versuche*. E. MACH  
Prag, 1873.

zullen vereenigen, zal de snaar zich voor den waarnemer als volmaakt onbewegelijk voordoen. Daar wij nu in de hier onderstelde omstandigheden de snelheid van de schijf naar willekeur kunnen laten veranderen, is het duidelijk dat men steeds de bovengenoemde uitwerking zal kunnen teweegbrengen, en daar dezelfde redeneeringen gelden voor elke willekeurige periodieke beweging van een voldoende snelheid, volgt hieruit dat met bovenbedoeld werktuig elk voorwerp, dat een zeer snelle beweging heeft, als schijnbaar onbewegelijk kan worden waargenomen. Zoo zal men dus in een groot aantal gevallen den waren vorm van lichamen kunnen waarnemen, die door de te groote snelheid niet nauwkeurig te onderscheiden zijn.

„Reeds heb ik elders (*Supplément au traité de la lumière de Sir J. F. Herschel, traduit par MM. Verhulst et Quetelet, I, II, p. 481*) de hier aangegeven denkbeelden ontvouwd; het schein mij echter noodzakelijk voor een juist begrip van deze verhandeling, ze hier nog eens in herinnering te brengen.

„Alvorens verder te gaan, moet ik opmerken dat om het lichaam in een schijnbaar onbewegelijken stand te krijgen, de snelheid van de schijf niet juist zóó behoeft geregeld te worden, dat een spleet voorbij het oog gaat juist op het oogenblik dat het lichaam denzelfden stand inneemt; het verschijnsel zou zich toch blijkbaar evenzeer voordoen, wanneer het terugkeeren van het voorwerp in denzelfden stand juist een willekeurig geheel aantal malen plaats greep in het tijdsverloop, waarin twee opvolgende spleten voorbij het oog gaan; want daar gedurende dit tijdsverloop het lichaam niet wordt gezien, zullen de wijzigingen, die in zijn beweging gedurende dien tijd plaats kunnen hebben, hoegenaamd geen verandering teweegbrengen in het waargenomen verschijnsel. Daaruit volgt dat er inderdaad een grenssnelheid bestaat, en wel die, waarbij het aantal der in een bepaalden tijd voorbijgaande spleten gelijk is aan het aantal malen, dat het lichaam in een bepaalden stand terugkeert; maar nu zal evenzeer bij die snelheden, welke een evenmatig deel zijn van de grenssnelheid, dezelfde uitkomst worden verkregen, tenminste voorzoover die snelheden groot genoeg zullen zijn om den indruk onafgebroken te doen schijnen. Laat men dus de snelheid van de schijf langzamerhand veranderen, dan kan men gemakkelijk eenigen term

van deze reeks van snelheden verkrijgen, waarbij de schijnbare onbewegelijkheid wordt voortgebracht.

„Dit vastgesteld zijnde, zullen wij nu het geval onderstellen, dat de snelheid der schijf niet meer nauwkeurig met een der termen van deze reeks overeenkomt, maar dat zij zeer weinig daarvan afwijkt. Heeft nu in dit geval de snaar bijv. haar grootste trillingsuitwijking, wanneer de eerste spleet voorbij het oog gaat, dan zal zij op het oogenblik dat de volgende spleet voorbijgaat, niet meer dien zelfden stand innemen, en bij het voorbijgaan der volgende spleten meer of minder ver uit dien stand afgeweken schijnen. De snaar schijnt dus nu niet meer onbewegelijk te zijn; maar hare schijnbare beweging zal nu zeer langzaam zijn in vergelijking met hare ware beweging; men kan zelfs die schijnbare beweging zoo langzaam maken als men verkiest, door de snelheid der schijf dicht te doen naderen tot die, waarbij de schijnbare onbewegelijkheid werd verkregen. Zoo komen wij dus met behulp van ons werktuig tot deze merkwaardige uitkomst, dat wij een zeer snelle beweging veranderen in een beweging van denzelfden aard en wel zoo langzaam, als men wil. Alsdan zal het gemakkelijk vallen al de eigenaardigheden van de beweging te bestudeeren, die tengevolge van de groote snelheid der beweging door de onmiddellijke waarneming niet konden worden onderzocht. Door op deze wijze met de bekende hulpmiddelen een snaar te noodzaken zich in een zeker aantal deelen te verdeelen, die op zichzelf staande trillingen volbrengen, ben ik er in geslaagd de schijnbare snelheid der beweging naar willekeur te verminderen en de snaar verscheidene malen achtereen langzaam van de eene golfbeweging tot de tegenovergestelde te zien overgaan.

„Nu blijft ten slotte nog over de bepaling van de snelheid van het lichaam, bijv. de bepaling van het aantal trillingen, die een snaar in de sekonde volbrengt. Dit zou zeer gemakkelijk zijn, indien men slechts met zekerheid de bovenbedoelde grenssnelheid van de schijf kon bepalen; want alsdan zou het voldoende zijn het aantal spleten en de omwentelingssnelheid van de schijf te kennen, om daaruit onmiddellijk af te leiden hoeveelmaal het lichaam in een zekereren tijd in een bepaalden stand is teruggekeerd. Ongelukkigerwijze is het onmogelijk, uitgezonderd in een paar bizondere gevallen, te weten welken term van de reeks der

snelheden men bereikt heeft, wanneer de schijnbare onbewe-  
lijkheid is verkregen. Men kan echter door middel van twee  
waarnemingen den tijd berekenen, die verloopt tusschen het twee-  
maal achtereen terugkeeren van het lichaam in denzelfden stand.  
Het werktuig wordt eerst met een willekeurige snelheid in bewe-  
ging gesteld; daarna doet men deze snelheid kleine veranderingen  
ondergaan totdat het waargenomen lichaam onbewegelijk schijnt,  
en men teekent het aantal omwentelingen op, die de schijf in de  
tijdseenheid maakt; het werktuig is hiertoe van een teller voor-  
zien. Daarna doet men de snelheid der schijf langzamerhand afne-  
men, totdat het voorwerp op nieuw onbewegelijk schijnt, en men  
teekent weer het aantal omwentelingen op, die de schijf in de  
tijdseenheid maakt. Zij nu  $n$  het aantal omwentelingen in de tijds-  
eenheid bij de eerste waarneming,  $n'$  het aantal omwentelingen  
bij de tweede waarneming,  $f$  het aantal spleten der schijf en  $x$  de  
tijd, die verloopt tusschen het tweemaal achtereen terugkeeren  
van het lichaam in zijn zelfden stand, dan komt men door een  
eenvoudige beschouwing tot de volgende formule:

$$x = \frac{n - n'}{n n' f}$$

„Bij het gebruik van deze formule wordt alleen verondersteld  
dat men bij het overgaan van de eerste tot de tweede waarne-  
ming, ook van een term van de reeks van snelheden tot den  
onmiddellijk daarop volgenden term overgaat. Nu is het vrij ge-  
makkelijk de snelheid van het werktuig zoo langzaam te doen  
afnemen, dat men zeker is, geen term te hebben overgeslagen.

„Vatten wij het bovenstaande samen, dan kan de door mij  
aangewezen toestel dienen, om van een lichaam, dat voorzien is  
van een periodieke beweging, die te snel is dan dat het oog van  
dit lichaam een duidelijken indruk kan ontvangen, 1<sup>e</sup> den vorm  
te bepalen, door het lichaam in een schijnbaar onbewegelijken  
stand te brengen; 2<sup>e</sup> al de eigenaardigheden der beweging waar  
te nemen, door deze beweging schijnbaar naar willekeur te ver-  
tragen; 3<sup>e</sup> de ware snelheid, of ten minste den duur van een  
periode van zijn beweging te vinden door middel van twee waar-  
nemingen en een formule

„Ik stel mij nu voor met behulp van dezen toestel een menigte

proeven te nemen, die het onderwerp zullen uitmaken van de verhandeling, waarvan ik in den aanvang heb gesproken. Ik zal daarna een uitvoerige beschrijving geven van den toestel en van de wijze, waarop men dien moet aanwenden."

De methode van PLATEAU sluit zich dus geheel bij de methode der achtereenvolgende onderzoekingen aan; ook SAVART behoort als een der grondleggers van deze methode te worden aangemerkt. In plaats van gedurende een zeer korten tijd het achter een scherm geplaatste lichaam voor het oog zichtbaar te maken, nam hij zijn toevlucht tot een oogenblikkelijke verlichting om zoodoende de periodieke verplaatsingen en veranderingen van een lichaam waar te nemen. De verlichting die in een donker vertrek door een elektrische vonk wordt voortgebracht, duurt zoo kort, dat het snelst bewegende voorwerp op het oogenblik, dat de vonk overspringt, als onbewegelijk wordt waargenomen. Op deze wijze heeft SAVART de veranderingen in de gedaante van den vochtstraal waargenomen, alsmede de gedaantewisselingen, die vallende druppels ondergaan in verschillende oogenblikken gedurende hun val.

TÖPLER en LISSAJOUS hebben volgens de stroboskopische methode de trillingen van snaren en van staven bestudeerd.

Men kan voor een talrijk publiek de opvolgende trillingsbewegingen zichtbaar maken, door een trillend lichaam door middel van een heliostaat zoodanig te verlichten, dat de lichtbundel bij korte tusschenpoozen invalt. Dezelfde resultaten worden verkregen, wanneer men de trillende vlammen van KOENIG tot lichtbron neemt.

Eindelijk heeft men beproefd door een bewegelijke spleet de samengestelde bewegingen van de gangen van het paard, van den gang van den mensch en van het vliegen van den vogel waar te nemen. Het aantal malen dat het in beweging zijnde lichaam moest worden zichtbaar gemaakt, moest nu geregeld worden naar de periode van deze beweging, ten einde altijd denzelfden stand te verkrijgen, of het verschijnsel in opvolgende en zeer dichtbij elkaar gelegen fasen der beweging zichtbaar te maken. Men kan de hier vermelde proeven omkeeren: d. w. z. in plaats van de periodieke bewegingen te analyseeren, kan men naar deze methode ook een periodieke beweging kunstmatig samenstellen. PLATEAU heeft daartoe een zoogenaamden phena-

kistikoop 1) uitgedacht, waarmee schijnbaar een onafgebroken beweging wordt voortgebracht door middel van eenige standen, die elkaar met tusschenpoozen opvolgen en zich achtereenvolgens aan het oog vertoonen. Zoo zijn o. a. de proeven van MATHIAS DUVAL, met betrekking tot de voorstelling der gangen van een paard zeer merkwaardig.

**Stroboskopische synthese van de bewegingen van een paard. Oogenblikkelijke fotografie.**

DUVAL is er in geslaagd met behulp van den phenakistikoop de bewegingen van het paard in zijn verschillende gangen synthetisch daar te stellen. Wij hebben vroeger gezien (fig. 85 tot 88) hoe de rhythmici der verschillende gangen door figuren in den vorm van het notenschrift duidelijk worden voorgesteld; hetgeen nu deze figuren met betrekking tot den rhythmus aanwijzen, is door DUVAL in een bewegelijken vorm teruggegeven. Hij heeft daartoe eenige figuren geteekend, die den stand van het paard in de verschillende oogenblikken van den telgang voorstellen; zestien figuren waren voldoende om de verschillende standen voor te stellen die elk der ledematen achtereenvolgens bij den telgang inneemt. Worden deze figuren in den phenakistikoop geplaatst, dan zal de opeenvolging dier beelden den indruk geven van een paard dat in den telgang loopt.

Ook hebben wij vroeger gezien dat de verschillende gangen van het paard allen kunnen beschouwd worden als afgeleid uit den telgang (pag. 190), door het tijdsverschil tusschen het neerzetten van de voor- en achtervoeten telkens iets grooter te nemen. Door DUVAL wordt nu deze overgang van den telgang tot de andere gangen op de volgende wijze daargesteld: elke stand van het paard is afgebeeld op twee boven elkaar liggende papierstrooken; uit de tweede helft der bovenste strook is een gedeelte uitgesneden; het paard is nu voor de eene helft op de bovenste, voor de tweede helft op de onderste strook afgebeeld: de voorhand op de eerste helft der bovenste, de achterhand op de tweede helft der onderste strook. Door nu de bovenste strook ten opzichte

---

1) Afgeleid van het grieksche woord *phenakistikos*: bedriegelijk.

der onderste meer of minder te verschuiven, verkrijgt men een reeks van beelden, wier opeenvolging den indruk van de verschillende gangen, den telgang, den stap of den draf zal geven, naargelang van het tijdsverschil, waarin twee opvolgende beelden van de voor- en achterhand van het paard voor het oog verschijnen. Men maakt hierbij gebruik van een schuifiniaal, die met den toestel ronddraait. 1) Door de omwentelingssnelheid van den toestel te regelen, kan men de bewegingen van het paard meer of minder snel doen uitvoeren, waardoor de weinig geoefende waarnemer de opeenvolging van de standen der ledematen bij elken gang gemakkelijk kan volgen en waardoor hij spoedig in staat zal zijn om ook bij het levende dier de opeenvolgende bewegingen, die op het eerste gezicht zoo verward schijnen, met gemak waar te nemen.

\* MUYBRIDGE te San-Francisco is er in geslaagd door middel van de oogenblikkelijke fotografie afbeeldingen van het paard in de snelste gangen te verkrijgen; niettegenstaande de tijd van poseeren niet meer bedroeg dan  $\frac{1}{500}$  e van een sekonde, waren de beelden nochtans volmaakt nauwkeurig. Door een reeks van deze beelden in de opvolgende oogenblikken van een zelfden gang te vervaardigen, verkreeg MUYBRIDGE zoötropen, die den gang van het paard met volkomen juistheid teruggeven. Dezelfde methode voor het analyseeren van de gangen van het paard is in Frankrijk door DUHOUSSET, in Hongarije door SZEKELY gevolgd. Algemeen worden bij de oogenblikkelijke fotografie de platen lichtgevoelig gemaakt met broomzilverhoudende gelatine.

De methode van MUYBRIDGE komt in het kort hierop neer. Aan de eene zijde van den afgebakenden weg, dien het paard heeft te doorloopen, is een lang gebouw geplaatst, waarin een aantal fotografietoestellen op gelijken afstand van elkaar (bijv. van een voet) zijn opgesteld; tegenover dit gebouw, van de andere zijde van de baan, is een wit scherm geplaatst. Elk der verschillende toestellen staat in verbinding met een zeer dunnen draad, die over den weg is gespannen; zoodra het paard in zijn beweging een der draden verbreekt, wordt hierdoor een elektrische stroom gesloten, tengevolge waarvan het voorwerp glas van den

1) Zie voor verdere bijzonderheden hieromtrent *La Machine animals*, p. 82.

photografietoestel aan het licht wordt blootgesteld, maar terstond daarna door de werking van een krachtige stalen veer wordt bedekt. Op deze wijze werd het mogelijk de lichtgevoelige plaat van elken toestel slechts gedurende  $\frac{3}{100}$ de sekonde aan het licht bloot te stellen juist op het oogenblik, dat het paard zich tegenover den toestel bevond. Terwijl het paard dus achtereenvolgens de verschillende draden verbreekt, zal door elk der toestellen een fotografisch beeld gevormd worden van den stand dien het paard heeft op het oogenblik, dat het zich voor den toestel bevindt.

De oogenblikkelijke fotografie heeft in den laatsten tijd zeer groote vorderingen gemaakt. De fotograaf HENLEY ON THAMES slaagde er in de locomotief op de lijn van Great-Western te fotografeeren, op het oogenblik dat de snelheid van den trein 95 kilometer in het uur bedroeg; de lens was hierbij niet langer dan  $\frac{3}{100}$  sekonde onbedekt. Merkwaardig is ook het zoogenaamd fotografisch geweer, dat in het vorige jaar door MAREY is vervaardigd, in navolging van den zoogenaamden astronomischen revolver, die indertijd door JANSSEN voor het waarnemen van den overgang van Venus is uitgedacht. MAREY verkreeg met dezen toestel nog zeer duidelijke afdrucken op de lichtgevoelige plaat, wanneer deze slechts het  $\frac{1}{1440}$ de deel van een sekonde aan het licht was blootgesteld. De beschrijving en afbeelding van dezen toestel kan men o. a. vinden in *Eigen Haard*, No. 19, Jaargang 1882.

Bij genoegsame lichtintensiteit kunnen fotografische beelden worden verkregen in een ongeloofelijk korten tijd; zoo heeft JANSSEN een duidelijk fotografisch beeld verkregen van de zon, waarin al de aan de oppervlakte der zon voorkomende bijzonderheden waren opgenomen, terwijl de lens hierbij slechts  $\frac{1}{100000}$  van een sekonde onbedekt bleef. Ook de bliksemstralen, waarvan de duur een nog veel kleiner deel van een sekonde bedraagt (volgens WHEATSTONE minder dan 0,000001 sekonde), zijn met voldoende juistheid gefotografeerd. De snelheid, waarmee het fotografisch beeld wordt gevormd, is behalve aan de gevoelige preparaten die hierbij worden aangewend, ook vooral aan de groote intensiteit van het licht te danken; om bijv. een fotografisch beeld van de maan te vormen, heeft men veel meer tijd noodig, dan in de bovengenoemde gevallen.



Wij mogen hier niet nalaten te vermelden dat voor korten tijd door FRANCIS GALLON is gevonden, dat het menschelijk oog even gevoelig is voor een korten lichtindruk als de gevoeligste fotografische plaat. Hij heeft een werktuigje uitgevonden waarmee men de indrukken, die het oog van zich bewegende voorwerpen ontvangt, gedurende zóó korten tijd ziet, dat men de achtereenvolgende phasen van de snelste beweging daardoor duidelijk kan waarnemen.

Dit toestelletje bestaat uit een vierkant kastje, waarvan het eene einde open is, terwijl aan het andere einde een kleine opening, zoo groot als de pupil, is aangebracht. Achter deze opening beweegt zich een plaatje met een smalle spleet; dit plaatje is verbonden aan een arm, die om een excentrisch geplaatste as kan draaien; deze arm is aan een boven het kastje uitstekenden knop verbonden. Drukt men slechts even op dezen knop, dan wordt de spleet een oogenblik voor de nauwe opening gebracht; de arm wordt daarna door een caoutchoucveer teruggetrokken. Door nu snel op den knop te tikken, kan men gezichtsindrukken verkrijgen, die niet langer dan  $\frac{1}{300}$ e seconde duren. (Zie *Nature* 13 Juli 1882 pag. 249) \*

---

# VIJFDE AFDEELING.

## TECHNIEK.

---

### EERSTE HOOFDSTUK.

#### GRAFISCHE VOORSTELLING VAN VERSCHIJNSELEN.

Grafische voorstelling van meteorologische verschijnselen; aanwendig van isografische lijnen ter vergelijking met gewone grafische lijnen op rechthoekige assen. — Lijnen van meteorologische waarnemingen te Utrecht gedaan; de normale temperatuur voor elke tien dagen des jaars en de afwijkingen die daarvan in elk tiental dagen in 1880 te Utrecht zijn voorgekomen; lijn van de volstreekte waarde der dampspanning bepaald uit den barometerstand en de spanning der droge lucht; regenhoeveelheden te Utrecht gevallen; maandelijksche gemiddelde regenhoeveelheid berekend uit de waarnemingen van 1848 tot 1880. — Overbrenging van lijnen die de windrichting aangeven in het rechthoekig coördinatenstelsel. — Grafische voorstelling van het rijzen en dalen van den waterspiegel van rivieren en meren. — Grafische voorstelling van de beweging der voeten van het paard bij het loopen in de onderscheidene gangen.

De meteorologen zijn de eersten geweest die hebben ingezien van hoeveel belang het was de talrijke en ingewikkelde uitkomsten van hunne waarnemingen door grafische lijnen voor te stellen. In Frankrijk werden in de tabellen van de temperatuursveranderingen bijna altijd de dagelijksche gemiddelden van de gedane waarnemingen opgenomen; dit dagelijksch gemiddelde wordt verkregen door van uur tot uur de aanwijzingen van den thermometer op te teekenen, en daarna de som dezer aanwijzingen door het aantal waarnemingen te deelen. Door MARIÉ-DAVY, die het gebruik van registreerwerktuigen bij de meteorologische waarnemingen zeer heeft bevorderd en uitgebreid, is het gebruik van de gemiddelde waarden behouden, welke waarden natuurlijk van zooveel te meer gewicht worden, naarmate men over een grooter aantal waarnemingen te beschikken heeft.

Wij zullen hier laten volgen de verschillende wijzen waarop in het *Meteorologisch Jaarverslag van Montsouris over 1878* de uitkomsten van enkele waarnemingen in grafischen vorm zijn meegeedeeld; de lezer kan dan zelf oordeelen aan welke wijze van voorstelling hij de voorkeur schenkt en uit welke figuren het verband tusschen de opvolgende veranderingen het best is op te maken.

De figuren 226 en 227 zijn twee verschillende wijzen van uitdrukking voor een zelfde verschijnsel, namelijk voor de uurlijksche veranderingen in den barometerstand voor de verschillende maanden van het jaar. Ongetwijfeld zal men fig. 226 veel duidelijker en gemakkelijker te begrijpen vinden dan fig. 227, maar toch drukt deze laatste figuur het verband tusschen de verschillende fasen van het verschijnsel veel beter uit. Een gestippelde lijn *M* geeft hier de maxima van de barometerhoogten aan, terwijl *m* de minima aanwijst.

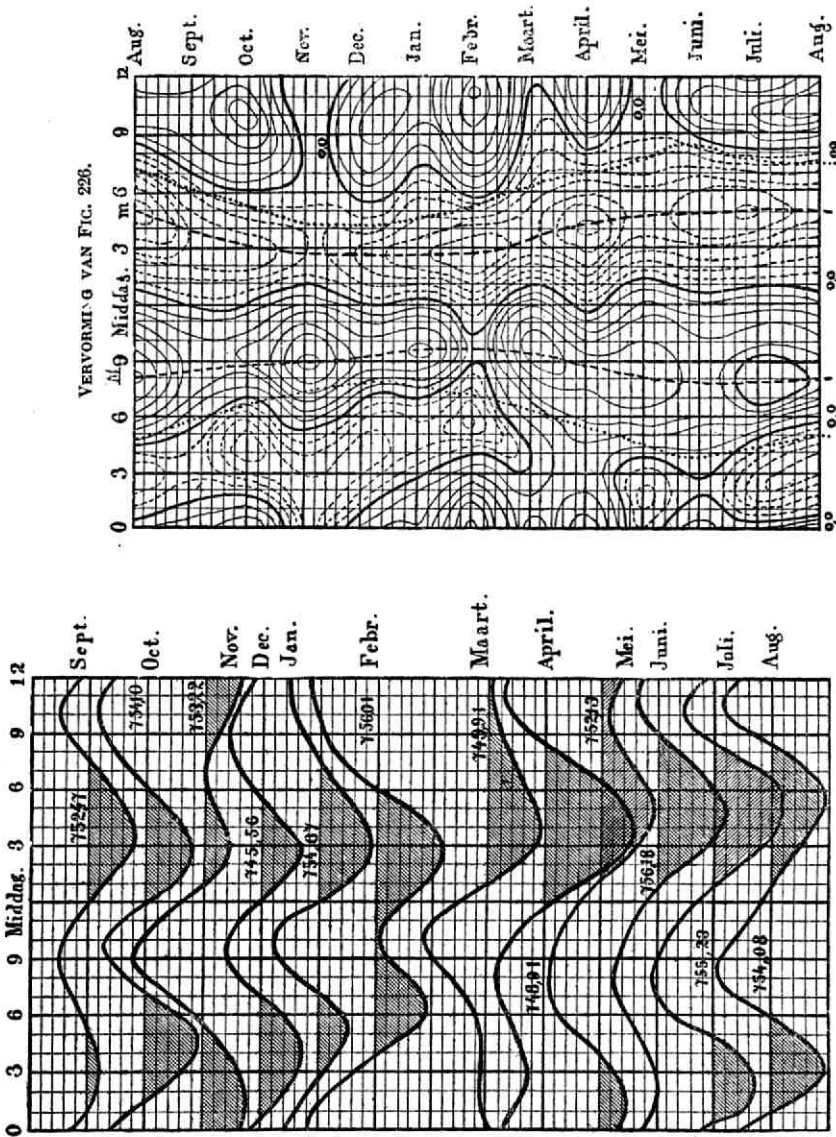
In de figuren 228 en 229 zijn weer op twee verschillende wijzen, evenals bij de beide vorige figuren, de uurlijksche veranderingen van de magnetische declinatie voor de verschillende maanden van het jaar voorgesteld.

De figuren 230 en 231 kunnen als voorbeeld dienen hoe een groot aantal meteorologische elementen in een figuur gezamenlijk kunnen worden voorgesteld. De eerste figuur stelt de regenhoeveelheid, den barometerstand, de luchttemperatuur in de schaduw en de bestralingssterkte voor. In de tweede figuur zijn de richting en de snelheid van den wind, de spanning van den waterdamp, de vochtigheid der lucht, de snelheid der verdamping, de verhouding van ozoon en de graad van bewolking opgenomen.

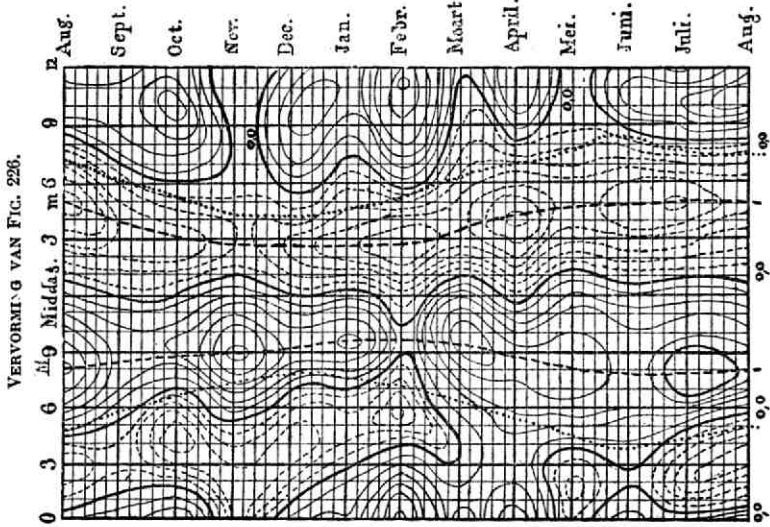
Bij de lijnen der regenhoeveelheden wijst de afstand tusschen twee opvolgende lijnen een millimeter regenhoogte aan. Voor de lijnen, die den barometerstand aangeven, geeft deze afstand een millimeter kwikhoogte aan. (Deze figuur is gearceerd voorzoover de lijn loopt over punten, die een drukking aanwijzen die beneden den normalen barometerstand (755 voor Montsouris) is gelegen; de barometerhoogte is des middags waargenomen).

Voor de temperatuursaanwijzingen zijn vier lijnen gebruikt; de eerste getrokken lijn geeft de gemiddelde temperatuur aan over een tijdsverloop van 60 jaren; de tweede getrokken lijn wijst de

gemiddelde dagelijksche temperaturen gedurende het loopende jaar aan; de gestippelde lijnen loopen over de minima. (Alles wat in



deze figuur beneden het gemiddelde van 60 jaar is gelegen, is gearceerd). Bij de lijn van de bestralingsterkte, die naar de aanwijzingen van den aktinometer is getraceerd, komt de afstand



tusschen twee evenwijdige lijnen overeen met 5, wanneer de constante zonnearmte gesteld wordt op 100.

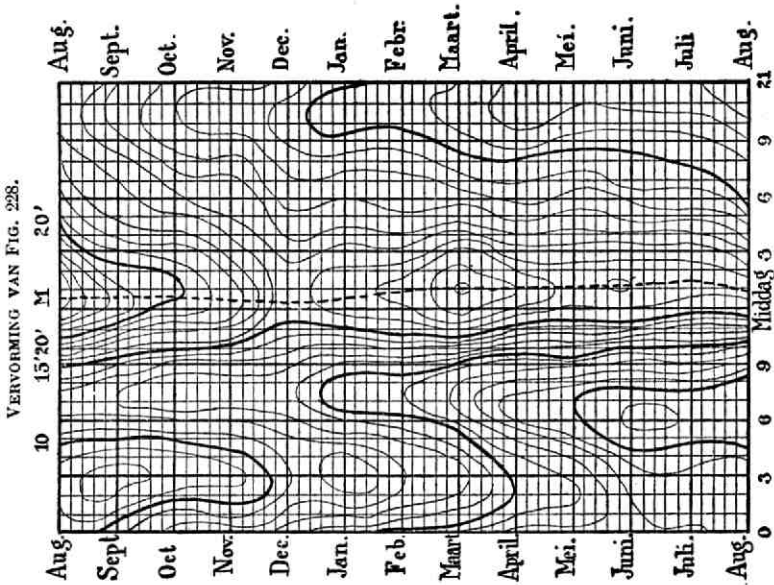


Fig. 229. Uurlijksche veranderingen van de magnetische declinatie.

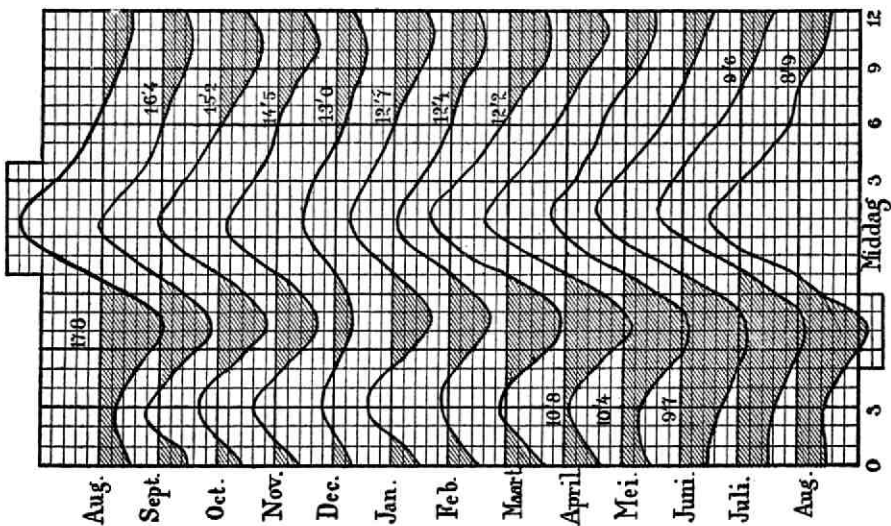


Fig. 228. Uurlijksche veranderingen van de magnetische declinatie.

In figuur 231 is de windrichting door eenige teekens op de evenwijdige lijnen aangewezen; het hoogste teeken duidt een noordewind, het laagste een zuidewind aan; waait de wind juist

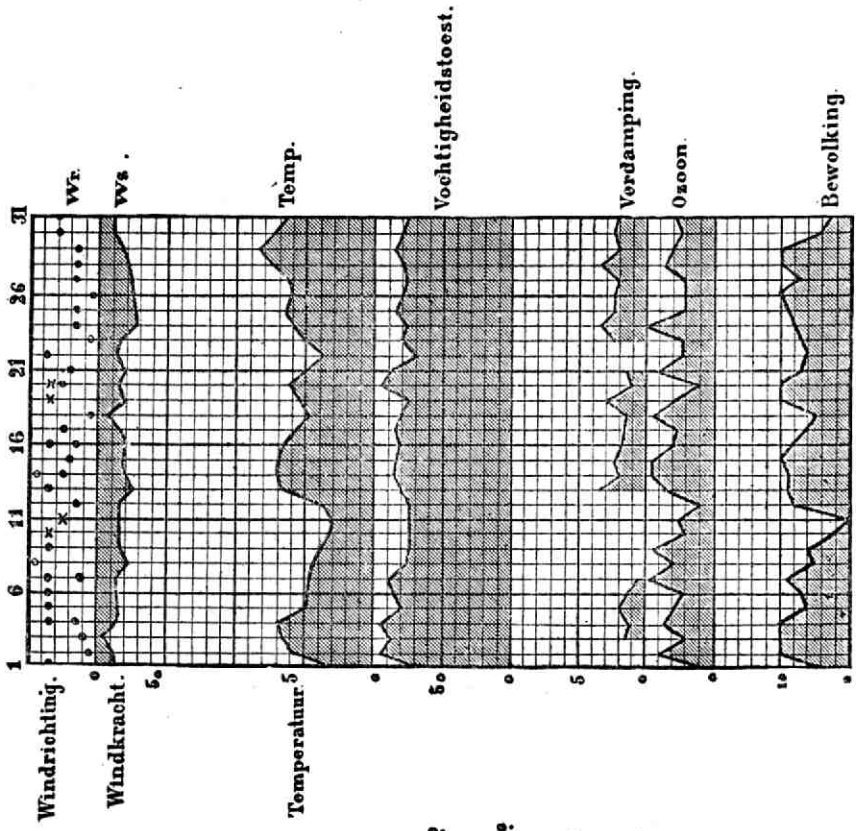


Fig. 231. Snelheid en richting van den wind; dampspanning, vochtigheidsstoestand, verdamping, ozoon, bewolking.

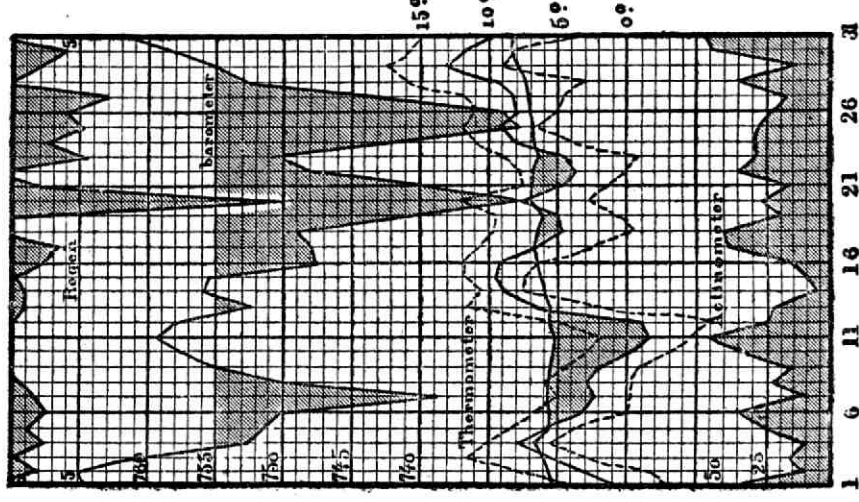


Fig. 230. Regenhoeveelheid, barometer- en thermometerstand, bestralingssterkte. (Maandelijksche veranderingen).

Regen.

uit het noorden of zuiden, dan wordt hij door een ledig cirkeltje aangewezen; helt hij naar het oosten over, dan wordt hij door een kruisje aangeduid. De hoogte waarop het teeken geplaatst is, wijst dus aan of hij uit het noorden of uit het zuiden waait; de soort van het teeken geeft aan of hij naar het westen of het oosten overhelt.

Bij de lijn, die de snelheid van den wind aangeeft, wijst de afstand tusschen twee evenwijdige lijnen op een weg van 10 kilometer, door den wind in één uur doorloopen.

Voor de dampspanning duidt de afstand tusschen twee evenwijdige lijnen 1 millimeter, voor de vochtigheidstoestand 10 honderdsten van de verzadiging met waterdamp, voor de verdampingssnelheid 1 millimeter en voor het ozoon 1 milligram ozoon aan. Voor de bewolking komt de helft van den afstand van twee evenwijdige lijnen overeen met een schaalverdeeling van 0 tot 10.

\* In figuur 232 is de loop van *de normale temperatuur* volgens de waarnemingen van BUYS BALLOT te Utrecht door een getrokken lijn voorgesteld, terwijl door een gestippelde lijn de afwijkingen van de waargenomen temperaturen voor elk tiental dagen over het jaar 1880 van deze normale temperatuur zijn aangegeven. De *normale temperatuur* van een bepaalde maand voor een bepaalde plaats wordt verkregen, door de gemiddelde temperaturen gedurende een reeks van jaren voor een bepaalde maand samen te tellen en deze som te deelen door het getal, dat het aantal der maanden uitdrukt, waarvan de temperaturen zijn opgenomen. Op overeenkomstige wijze wordt de normale temperatuur van een bepaalden dag van het jaar gevonden, door het rekenkundig midden te nemen van de gemiddelde temperaturen van dezen dag gedurende een lange reeks van jaren. De beteekenis van de normale temperatuur is hoogst belangrijk, daar hierop alleen de regelmatig terugkeerende en in denzelfden zin plaats hebbende werkingen van invloed zijn; zoodoende kunnen de oorzaken en wetten, waaraan de temperatuursveranderingen van een bepaalde plaats gebonden zijn, het best aan het licht komen. Zoo is bijv. uit de waarnemingen van BUYS BALLOT gebleken dat de normale temperatuur voor de maand Januari te den Helder bedraagt  $0^{\circ},53$ , te Maastricht daarentegen  $1^{\circ},42$ ; voor genoemde plaatsen zijn de normale temperaturen voor de maand Juli achtereenvolgens  $18^{\circ},17$

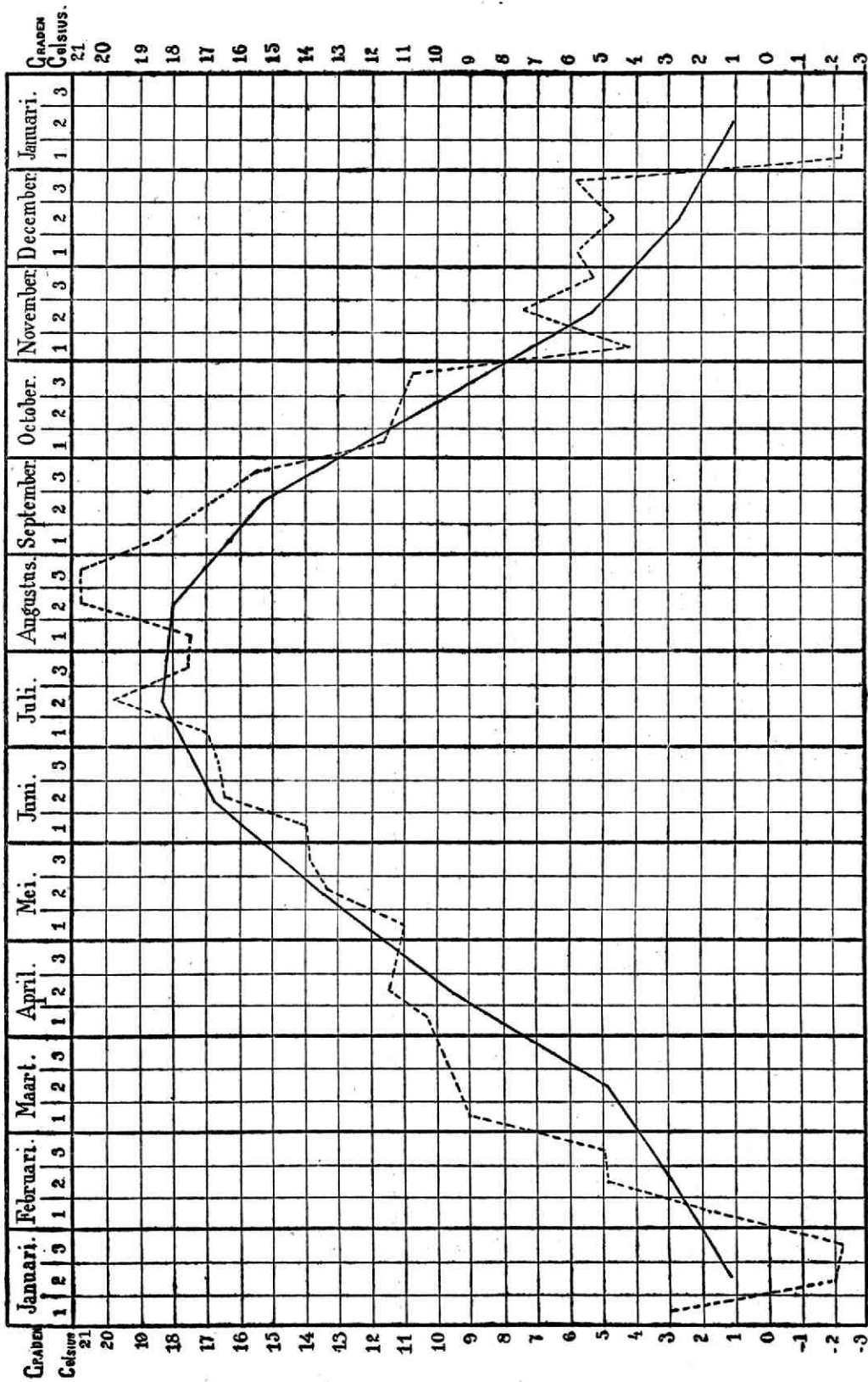


Fig. 232. Afwijkingen van de waargenomen temperaturen voor elk tiental dagen van het jaar 1880 van de normale temperatuur van elke maand te Utrecht. De getrokken lijn stelt den gang van de normale temperatuur voor; de gestippelde lijn loopt over de punten die de waargenomen temperaturen aangeven.



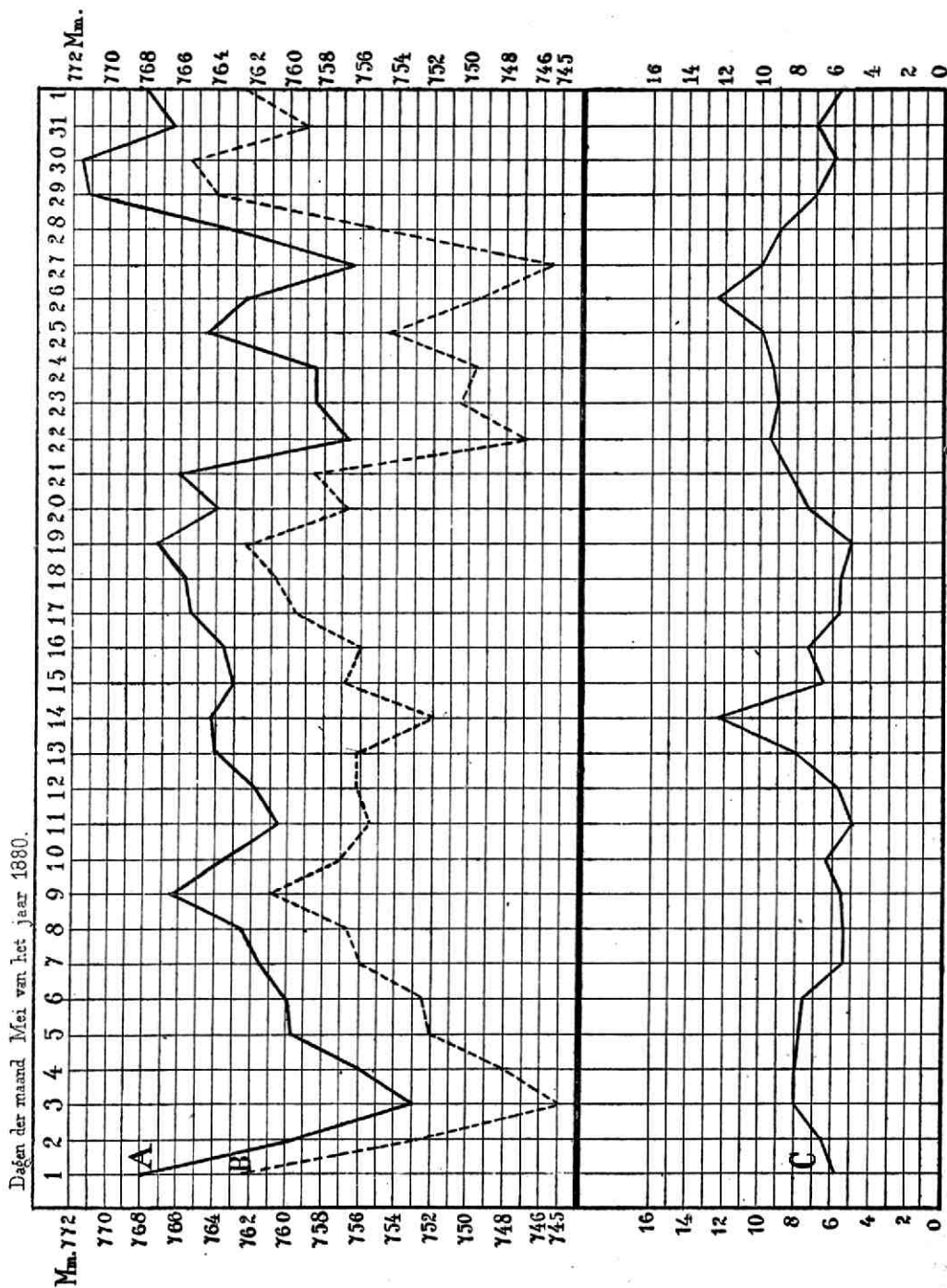


Fig. 233. A, Barometerstand; B, spanning der droge lucht; C, volstreckte dampspanning gedurende de opvolgende dagen der maand Mei 1880. De ordinaten van C zijn gelijk aan de verschillen der ordinaten van A en van B.

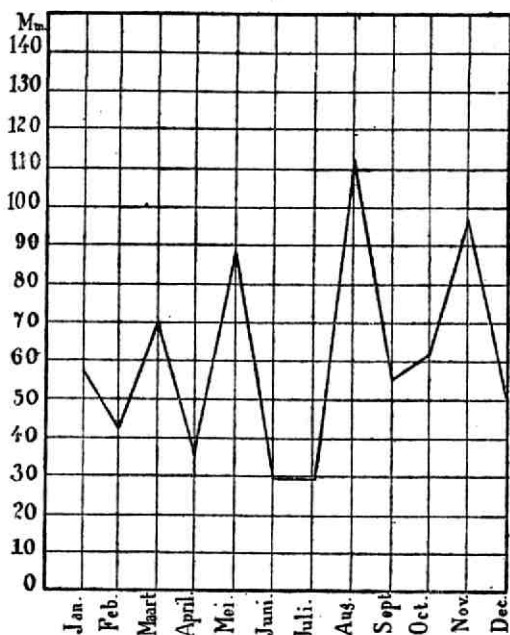


Fig. 234. Overzicht van de maandelijksche regenhoeveelheid te Utrecht gedurende 1878.

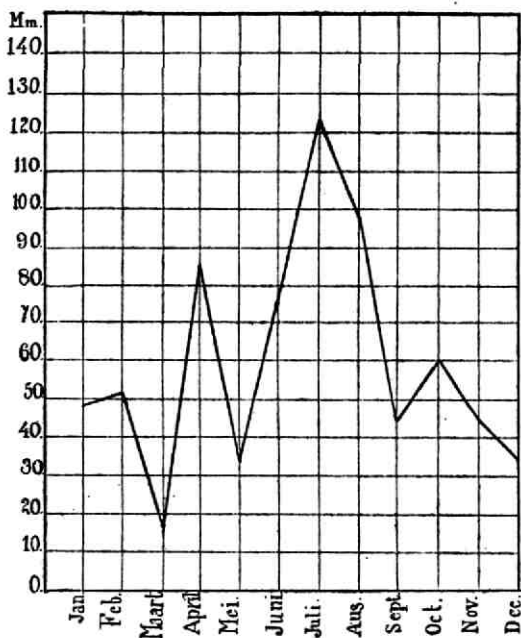


Fig. 235. Overzicht van de maandelijksche regenhoeveelheid te Utrecht gedurende 1879.

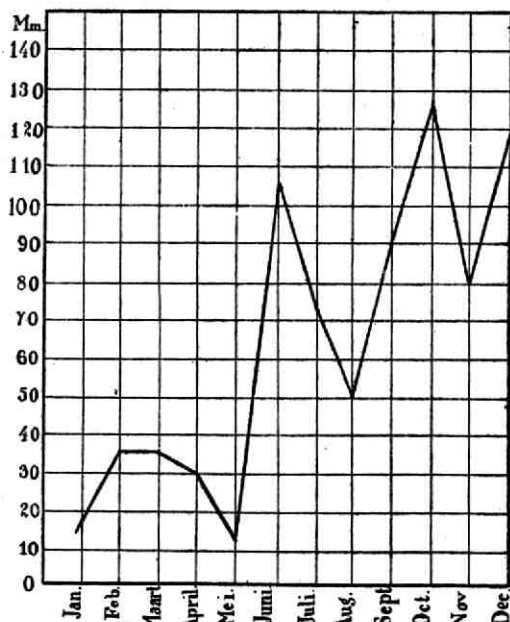


Fig. 236. Overzicht van de maandelijksche regenhoeveelheid te Utrecht gedurende 1880.

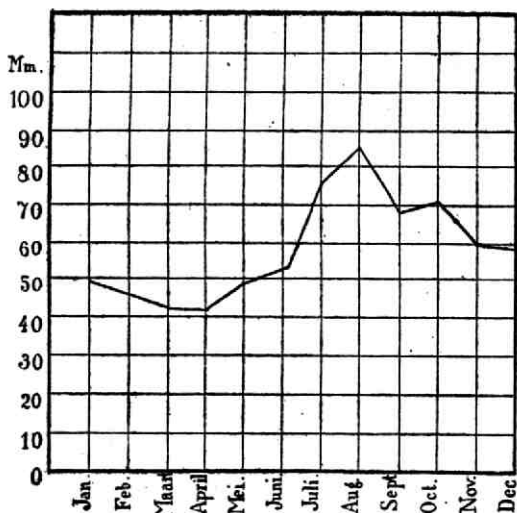


Fig. 237. Maandelijksche gemiddelde hoeveelheid regen te Utrecht gevallen, afgeleid uit waarnemingen gedaan van 1848—1880.

en 20°,69; deze verschillen zijn uit plaatselijke invloeden ten deele zeer goed te verklaren.

In figuur 233 zijn de barometerhoogten te Utrecht gedurende de opvolgende dagen der maand Mei 1880 door een getrokken lijn A voorgesteld; de gestippelde lijn B geeft de spanning der droge lucht aan. Het verschil dezer drukkingen geeft voor elken dag de volstreckte spanning van den waterdamp aan. Daar nu de lijn C getrokken is over punten, die de verschillen der ordinaten van de punten der lijnen A en B aanwijzen, stelt deze lijn C dus de volstreckte spanning van den waterdamp gedurende de opvolgende dagen voor.

De figuren 234, 235 en 236 geven ons een overzicht over de regenhoeveelheden die per maand te Utrecht gedurende de drie achtereenvolgende jaren 1878, 1879 en 1880 gevallen zijn; de cijfers bij de ordinaten-as wijzen de regenhoogten in millimeters aan (1). Eindelijk is in fig. 237 een overzicht gegeven over de maandelijksche gemiddelde hoeveelheid regen te Utrecht gevallen, afgeleid uit waarnemingen gedurende het tijdperk 1848—1880. \*

**Het overbrengen van lijnen die de windrichtingen aangeven in het rechthoekig coördinatenstelsel.**

De wijze waarop in de voorgaande figuren de verandering van windrichting is voorgesteld, verschilt merkbaar van de overige meteorologische figuren; de aanwijzingen van de windrichting zijn toch afgebroken en dus minder volmaakt. Het zou echter niet moeilijk zijn ook deze aanwijzingen tot het algemeene stelsel terug te brengen; men zou daarbij dezelfde wijze van voorstelling van de windrichting in vier hoofdstreken kunnen behouden, maar in plaats van slechts enkele punten aan te geven, (bij deze schaalverdeeling voor 8 verschillende richtingen) zou een doorlopende lijn kunnen ontworpen worden.

Hiertoe zou de anemograaf, die nu slechts punten voor acht verschillende richtingen kan traceeren, zoodanig veranderd moeten worden, dat nu de windrichtingen in een doorlopende lijn konden worden getraceerd. Dit nu is een vrij eenvoudige zaak; men

(1) \* Een eenvoudig toestel voor de automatische registratie van den regen wordt vermeld in het *Album der Natuur* Jaargang 1882, 11e aflevering, Bijblad pag. 85. \*

zou hiervoor een cilinder kunnen nemen, die met een windwijzer om een gemeenschappelijke as draaide, terwijl zijn oppervlakte in aanraking werd gebracht met een traceerstift, die zich met een gelijkmatige snelheid van boven naar beneden kon bewegen, zoodat deze stift op ieder uur zich juist zou bevinden tegenover die verdeelstreep, waarbij het overeenkomstig urecijfer is geplaatst.

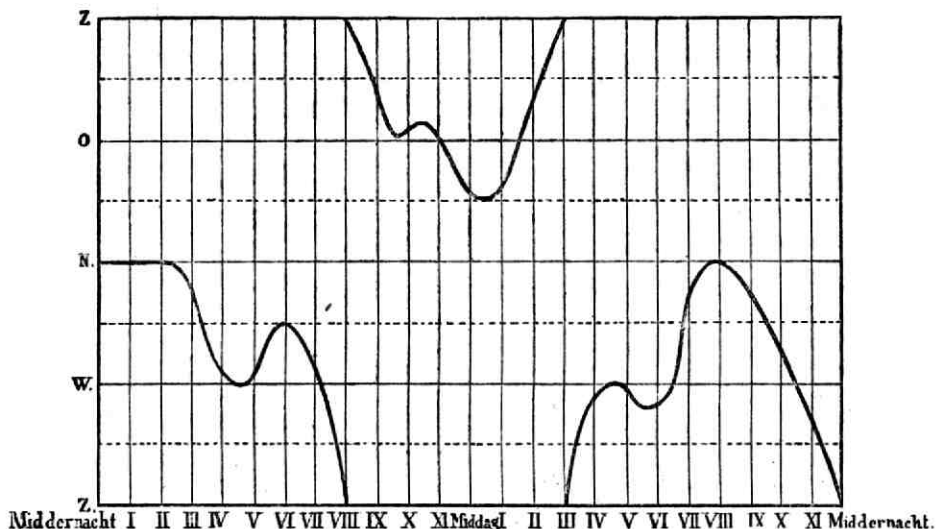


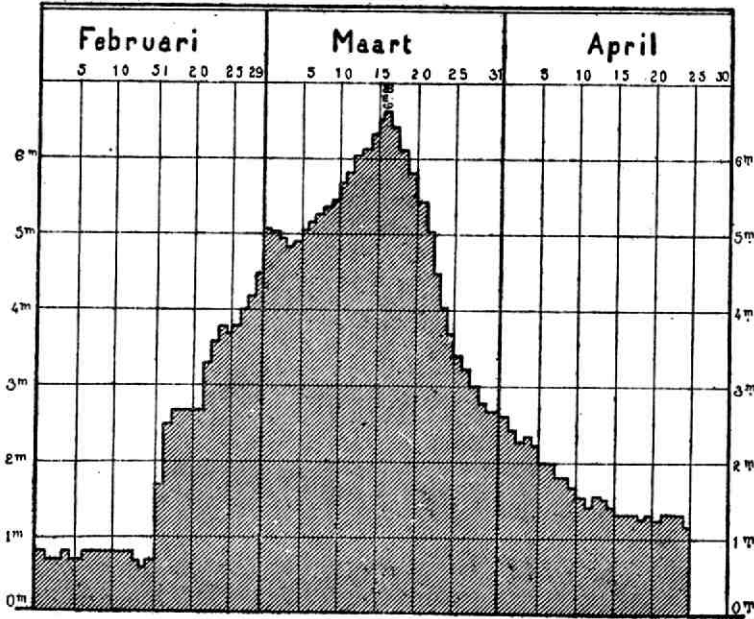
Fig. 238. Uurlijksche veranderingen van de windrichting voorgesteld in een doorlopende lijn in het rechthoekig coördinatenstelsel.

Het is bijna niet aan te nemen dat een dergelijke inrichting nog in geen meteorologisch observatorium zou zijn aangewend. Waarschijnlijk zou men met een dergelijk werktuig nog al eens gevaar loopen van verwarring en samenvalling van de verschillende tracés, wanneer namelijk de windrichting vrij snel veranderde; maar dit bezwaar zou ontweken kunnen worden door bij proeven van korten duur aan de stift een snellere beweging te geven.

#### **Grafische voorstelling van het rijzen en dalen van den waterspiegel van rivieren en meren.**

Met de hierboven besproken meteorologische verschijnselen hangen de stroomingen in de rivieren en hare bijrivieren, alsmede de stand van den waterspiegel in meren meer of minder nauw samen. Door de veranderingen in den stand van den water-

spiegel door lijnen aan te geven, krijgt men een overzicht over het verband tusschen enkele zaken, dat anders niet zoo gemak-



SCHAALVERDEELING.

Een millimeter op de ordinatenas wijst één decimeter waterhoogte aan.

Een millimeter op de abscissen-as wijst een dag aan.

Fig. 239. Het wassen van de Seine in 1876.

kelijk is te vinden. BELGRAND heeft in zijn werk over het bekken van de Seine aangetoond dat de veranderingen van den waterspiegel, die in de voornaamste bijrivieren plaats hebben, in de rivier te Parijs drie en een halven dag later optreden; dat het wassen van de Seine ongeveer het dubbel bedraagt van de waargenomen rijzing in de bijrivieren, uitgezonderd bij het dalen van den waterspiegel, als wanneer het verschil geringer is; de Seine bereikt dan slechts anderhalfmaal de hoogte van de bijrivieren.

Wast het water snel, dan kan men door dagelijksche metingen de noodige gegevens verkrijgen voor een lijn, die de veranderingen van den waterspiegel aanwijst; zoo is in fig. 239 het sterk wassen van de Seine in 1876 voorgesteld. De trapvormige gedaante der lijn toont aan dat de punten van waarneming niet

dicht genoeg bij elkaar liggen; de opmeting geschiedde ook slechts eenmaal per dag.

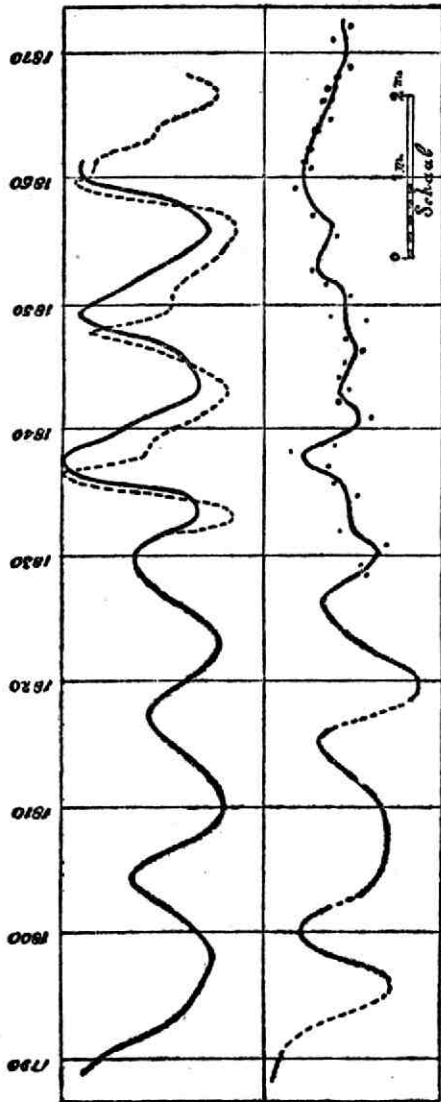


Fig. 240. De bewegingen van den waterspiegel van het Erie-meer en de perioden van de zonnevlekken op grafische wijze met elkaar vergeleken.

Het zou zeer wenschelijk zijn dat de hoogten der waterspiegels van een rivier en van hare bijrivieren onafgebroken werden geregistreerd met behulp van de toestellen, waarover wij later zullen spreken. Zulke lijnen, die volgens een zelfde schaal getraceerd waren, zouden met andere meteorologische lijnen gemakkelijk vergeleken kunnen worden. Door een dergelijke handelwijze zou men er alleen in kunnen slagen een juiste kennis te verkrijgen van de wetten, die de waterbeweging beheerschen.

Bij meren, die hun overtollig water niet door een rivier kunnen ontlasten, is de hoogte van het water afhankelijk van twee hoofdoorzaken: van den regen en van de meer-

dere of mindere verdamping; de daling van den waterspiegel wordt dus hier hoofdzakelijk door de zonnwarmte veroorzaakt. Nu heeft de Amerikaansche geoloog G. DAWSON uit een tal van waarnemingen, die gedurende een lange reeks van jaren met

betrekking tot den stand van den waterspiegel van het Erie-meer zijn gedaan, de lijnen van de gemiddelde veranderingen van dezen waterspiegel ontworpen, waarna hij deze lijnen heeft vergeleken met de lijnen der zonnevlekken; uit deze vergelijking meent hij te mogen besluiten dat er hoogst waarschijnlijk een betrekking tusschen beide verschijnselen bestaat. Uit fig. 240 blijkt, dat de loop der beide lijnen zeer overeenstemmend is voor zoover betreft de waarnemingen, die vóór het jaar 1830 zijn gedaan; maar uit de latere waarnemingen blijkt die overeenstemming niet. Uit de figuur blijkt verder dat de waterspiegel daalt wanneer het aantal zonnevlekken toeneemt; volgens sommige meteorologen zou dan ook de werkzaamheid der zon toenemen met het aantal zonnevlekken, zoodat de periode der zonnevlekken zou samenvallen met de warmste en droogste jaren. Natuurlijk kunnen alleen door voortdurende nauwgezette waarnemingen deze vraagstukken eenmaal opgelost worden; men beschouwe de hier vermelde figuur alleen als een voorbeeld, hoe de grafische lijnen van dienst kunnen zijn bij onderzoekingen van dezen aard.

**Grafische voorstelling van de beweging der voeten van het paard bij het loopen in de onderscheidene gangen.**

In navolging van de wijze waarop de loop van treinen met betrekking tot de snelheden, oogenblikken van vertrek en van aankomst, enz., grafisch kan worden voorgesteld (zie de fig. 8 en 9) zijn door LENOBLE DU TEIL eenige figuren ontworpen, die de beweging der voeten van het paard bij het loopen in de verschillende gangen aanwijzen. Even als twee treinen op een zekeren afstand elkander achterna loopen (fig. 8), worden ook bij den telgang de twee voeten van het paard gelijktijdig opgelicht en weer neergezet. Bij den draf vindt men deze gelijktijdige bewegingen weer terug bij de voeten, in diagonale richting gelegen (bijv. de rechtervoorvoet en de linkerachtervoet). Deze verschillende betrekkingen nu tusschen gelijktijdige en opvolgende bewegingen maken, eigenlijk gezegd, het karakter der verschillende gangen uit.

Wij hebben vroeger (pag. 150) gezien hoe men uit de afdrukken van de voetstappen van het paard de juiste standen van de voeten

in de verschillende gangen kan leeren kennen, terwijl op pag. 189 is aangegeven hoe de rhythmici der verschillende gangen worden opgeteekend. Door nu deze beide zaken met elkaar in verband te brengen, is LENOBLE DU TEIL er in geslaagd de figuren te construeeren, die hiernevens zijn teruggegeven.

Beschouwen wij eerst fig. 241, waarin *de telgang* is voorgesteld. Wij zien hier dat elk der gebroken lijnen, die de beweging en het stilhouden van een der voeten aangeeft, juist dezelfde fasen vertoont als de lijn van een voet die aan dezelfde zijde is gelegen, zoodat LV (linkervoorvoet) tegelijkertijd met LA (linkerachtervoet) beweegt en stilhoudt; hetzelfde geldt voor RV en RA. De gelijktijdigheid van deze bewegingen blijkt nu uit de figuur door het op elkaar vallen van de begin- en eindpunten der lijnen LV en LA; wat betreft den afstand, waarover deze beweging zich uitstrekt, deze wordt gevonden uit den afstand tusschen de afdrukken van LV en LA op den grond.

Deze afdrukken zijn aan den linkerkant van de figuur afgebeeld. Men heeft dus alle elementen bijeen, welke noodig zijn voor de constructie van de grafische figuur van den telgang, wanneer men de rhythmici en de wegen kent; LENOBLE DU TEIL neemt nu verder evenals IBRY bij de grafische voorstelling van de beweging van treinen aan, dat de beweging die plaats heeft tusschen elke twee opvolgende rustpunten, eenparig is; deze veronderstelling komt, volgens de proeven hieromtrent op den mensch genomen, zeer nabij de waarheid. Bij snelle gangen echter is de beweging veranderlijk, zoodat het er dan op aankomt de werkelijke fasen van de beweging te bepalen; hoe dit door aanwending van een caoutchoudraad kan geschieden, zal in het tweede hoofdstuk worden aangetoond.

In fig. 242 is *de gestrekte gang* voorgesteld; de volgorde waarin de voeten worden neergezet is RV, LA, LV, RA; de afstanden tusschen de opvolgende steunpunten zijn ontleend aan de afdrukken op den grond; zij zijn aan den linkerkant van de figuur voorgesteld.

Bij *den gewonen draf* heeft de opvolging der steunpunten diagonaalsgewijze plaats; de oogenblikken, waarop RV wordt opgeheven en LA wordt neergezet, vallen samen; hetzelfde geldt voor LV en RA. De doorloopen weg wordt door den afstand van twee



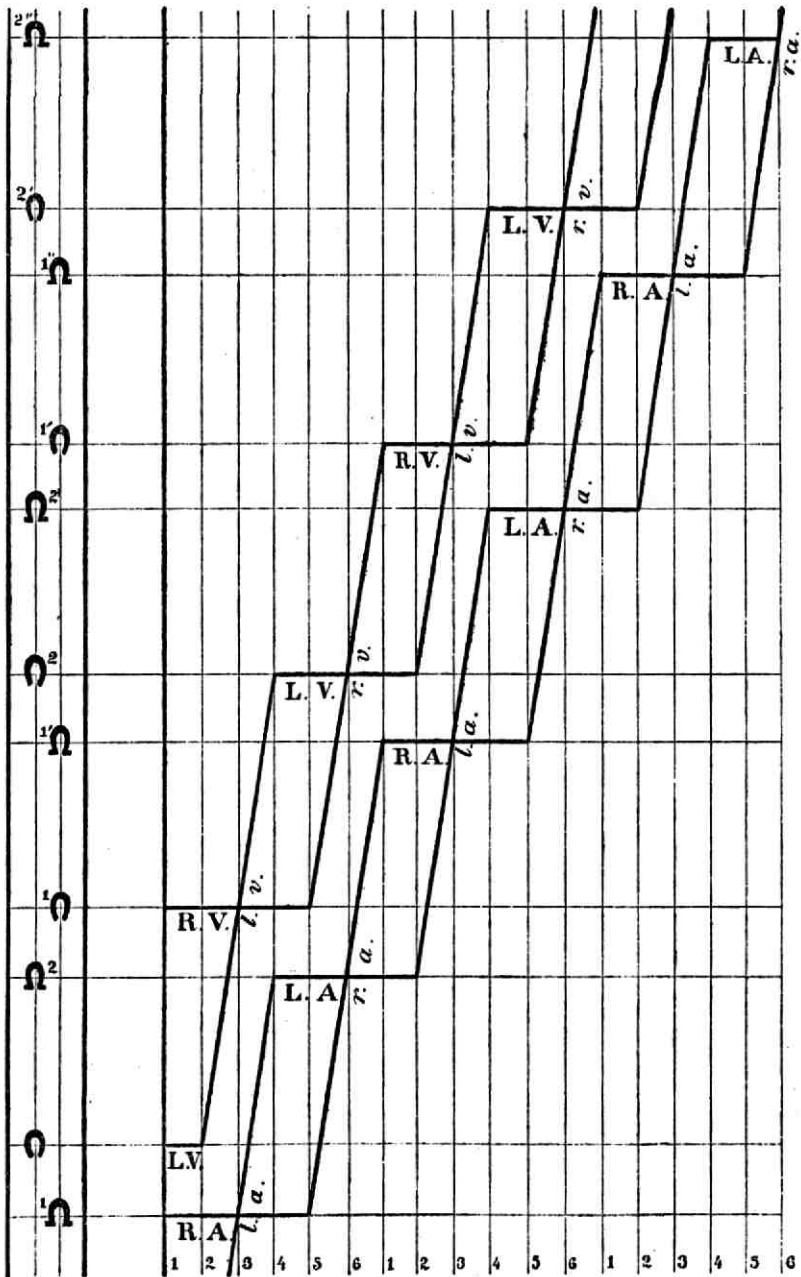


Fig. 241. Beweging der vier voeten bij den telgang.

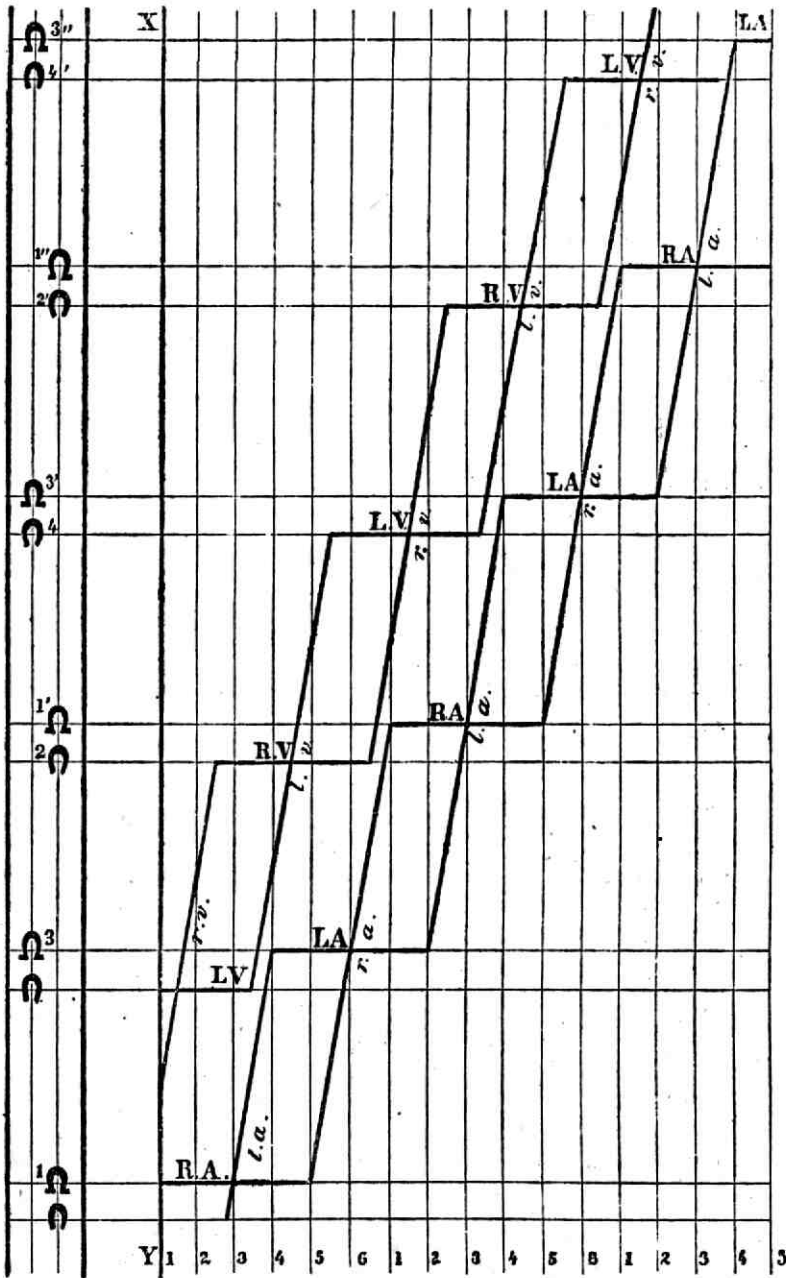


Fig. 242. Beweging der vier voeten bij den gestrekten gang.

op elkaar volgende afdrukken aangewezen. Het op elkaar vallen van de afdrukken wordt door den stand van RV en RA op een zelfde horizontale lijn aangeduid. Op dezelfde wijze geeft IBRY in zijn figuren aan dat twee treinen na elkaar bij een zelfde station zijn stilgehouden.

Bij *den galop* eindelijk (fig. 244) wordt de eigenaardige rhythmus uitgedrukt door den hoefslag in drie tempo's, als volgt: LA, vervolgens LV en RA, dan RV (voor den rechtschen galop). Twee voeten hebben hier een gelijktijdige beweging: LV en RA. De afdrukken RV en LA zijn dichter bij elkaar dan die der andere voeten.

Bij de hier beschouwde figuren is de snelheid van beweging tusschen twee opvolgende steunpunten eenparig ondersteld; verder is aangenomen dat bij het draven de voeten in diagonale richting van den grond worden opgeheven, juist op het oogenblik waarop de andere voeten worden neergezet; zoodat de in deze figuur voorgestelde gang niet tot de zwevende gangen behoort, aangezien het dier gedurende geen enkel oogenblik den grond heeft verlaten. Zeker is het dat sommige paarden op deze wijze draven; maar het blijft een zeldzaam geval, zoodat het van belang is hierbij de meer voorkomende gevallen te vergelijken, waarin het lichaam van het dier gedurende een zeer korten tijd den grond niet meer aanraakt.

De kapitein RAABE heeft belangrijke opmerkingen gemaakt betreffende de verhouding tusschen de snelheid van het lichaam en die van de ledematen van het paard. Zoo zal in elken gang, waarbij de tijd, dien de voet op den grond staat, gelijk is aan dien, gedurende welken de voet wordt opgeheven, de voet bij zijn verplaatsing een snelheid moeten bezitten, die gemiddeld dubbel zoo groot is als die van het lichaam, want dit laatste beweegt zich vooruit, zoowel bij het steunen van den voet op den grond, als gedurende den tijd dat de voet is opgeheven; de voeten moeten dus een tweemaal grootere snelheid bezitten, daar zij den zelfden weg in een tweemaal korteren tijd afleggen. Ook zou volgens RAABE de vooruitgaande beweging van het lichaam met des te minder ongelijkheid plaats hebben, naarmate de beweging sneller is; bij de snelste gangen zou deze beweging naderen tot de eenparige.

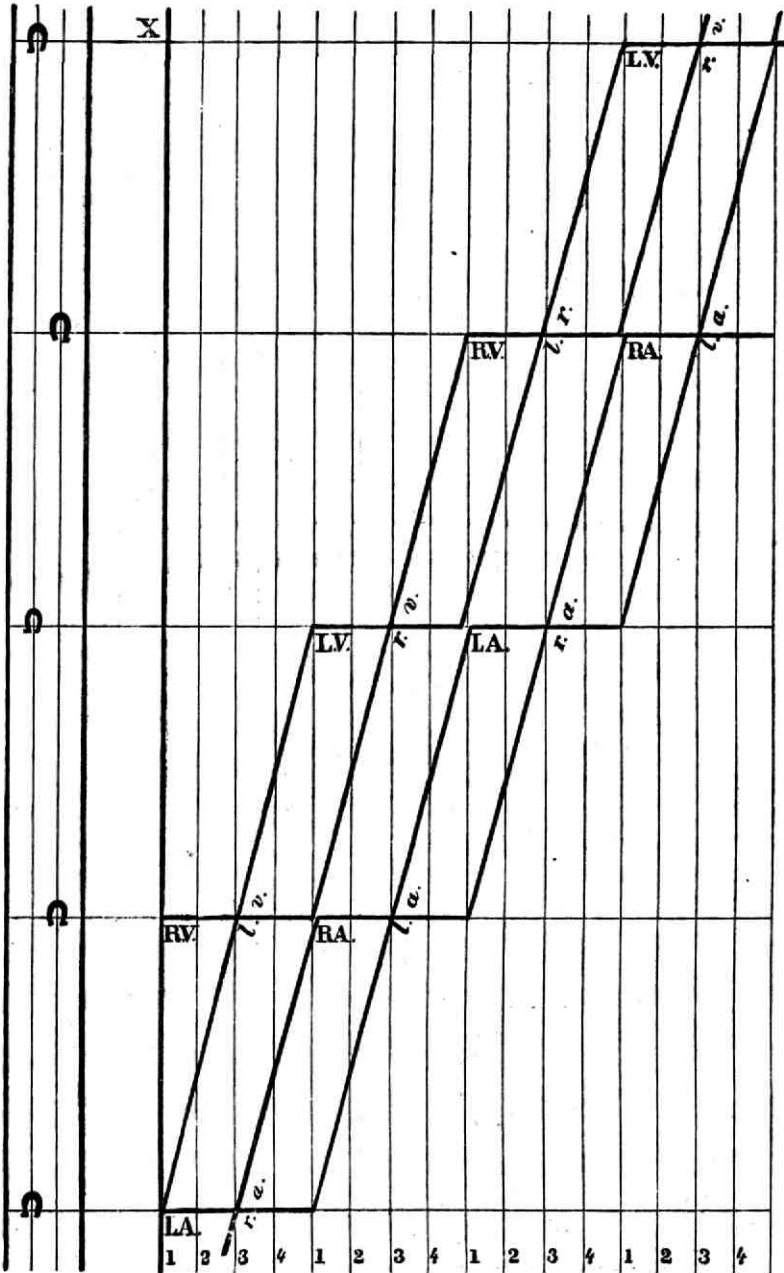


Fig. 243. Beweging der vier voeten bij het draven.

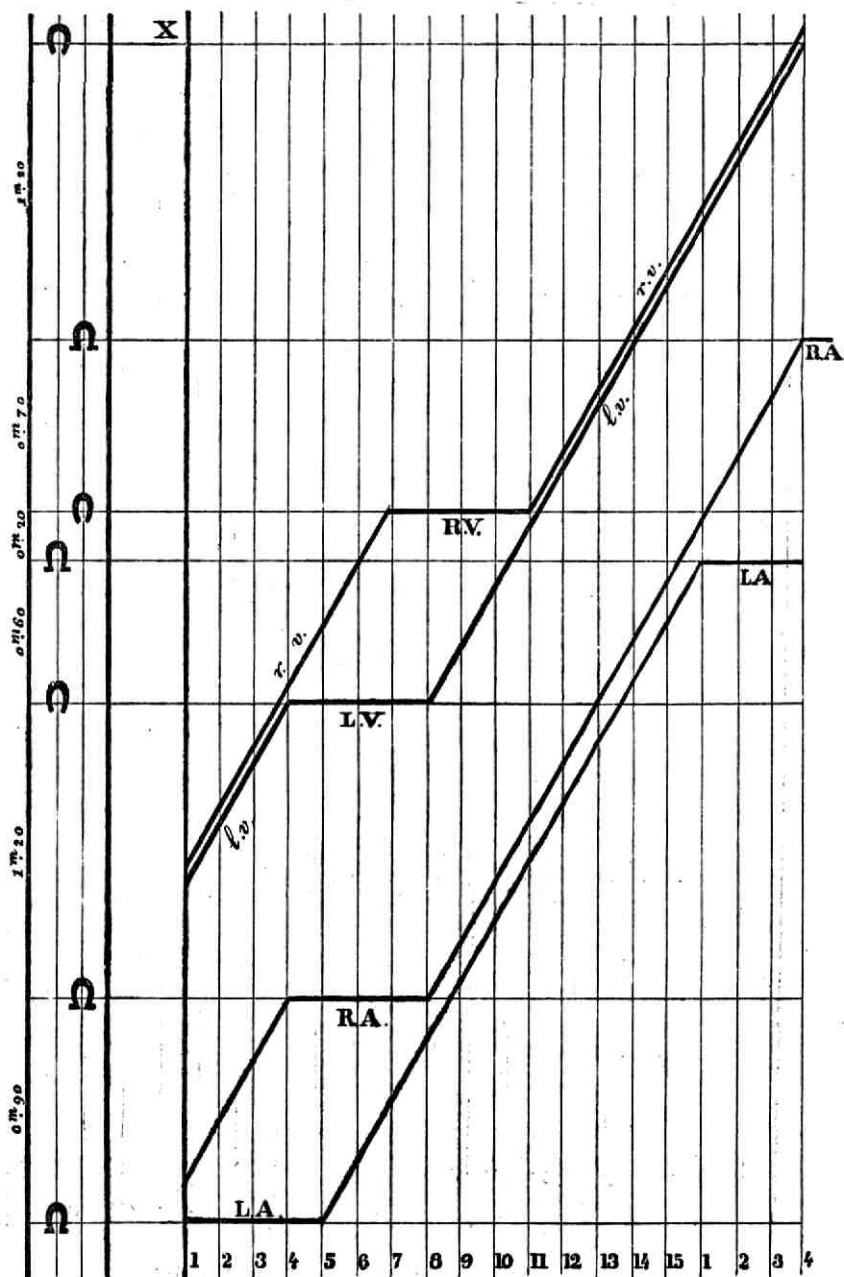


Fig. 244 Beweging der vier voeten bij het galopperen.

## TWEEDE HOOFDSTUK.

### REGISTREERWERKTUIGEN.

Samenstelling der werktuigen. — Het overbrengen van bewegingen door middel van de lucht. — Beschrijving van de trommel met hefboom. — Het verkleinen van de beweging door middel van een caoutchoucdraad. — Het proefondervindelijk controleeren van de trommel met hefboom; methode van DONDERS. — Het nauwkeurig overnemen der getraceerde lijnen. Heliogravure. Photographie op hout. Photolitho- en photozincografie. Photolithozincografie.

### Samenstelling der werktuigen.

Elke proefnemer moet ten allen tijde in staat zijn om wijzigingen aan te brengen aan de toestellen, die hij gebruikt; ook moet hij enkele eenvoudige werktuigen zelf kunnen samenstellen. Zoo kunnen uitmuntende hefboomen vervaardigd worden van licht hout, dat gemakkelijk met de vijl is te bewerken; stroohalmen en afgevijlde pennen kunnen dienen voor het maken van schrijfstiften, naalden voor draaiings-assen.

De vervaardiging van enkele fijne en samengestelde werktuigen moet men echter overlaten aan bekwame werktuigkundigen; als zoodanig dienen vooral genoemd te worden BRÉGUET, die de regulators, fijne raderwerken en de meeste physiologische toestellen vervaardigt; VERDIN, voor de constructie der chronografen, elektrische seintoestellen, manometers enz.; TATIN, voor de hodo-grafen, de logs, de wijzermanometers en de toestellen, die in 't bijzonder bestemd zijn voor het bestudeeren van bewegingen bij verplaatsing van het lichaam; RÉDIER voor de meteorologische registreertoestellen, enz.

\* In ons land worden enkele physiologische toestellen ook vervaardigd door de werktuigkundigen, die aan de physiologische laboratoria der universiteiten verbonden zijn. Zoo worden onder anderen sommige toestellen, zooals de cardiograaf, de pneumograaf en eenige ophthalmologische instrumenten vervaardigd door KAGENAAR, custos en mechanicus van het physiologisch laboratorium der hoogeschool te Utrecht \*.

### **Het overbrengen van bewegingen door middel van de lucht.**

In 1860 kwam BUISSON op het denkbeeld om de kloppingen van de slagaderen door middel van de lucht over te brengen op een sphygmograaf. Reeds vroeger was beproefd dit overbrengen te doen plaats hebben met behulp van een looden buis, die aan beide uiteinden was voorzien van zakjes van caoutchouc; deze toestel werd geheel met water gevuld. Wanneer nu een van deze zakjes door de vena jugularis in het hart was gebracht, was er een aanmerkelijke kracht noodig om het zakje samen te drukken en de in de buis bevatte vloeistofkolom in beweging te brengen; alleen de kamer was in staat deze uitwerking voort te brengen. BUISSON verving daarom bovengenoemden toestel door een anderen, waarbij de overbrenging der bewegingen niet door middel van water, maar met behulp van lucht geschiedde. Hij bediende zich daartoe van twee trechters, wier halzen door een caoutchoucbuis waren verbonden; over den mond van elk der trechters was een elastisch vlies gespannen, evenals bij den toestel, die onder den naam van sphygmometer van HÉRISON bekend is; werd nu een drukking op het vlies van een der trechters uitgeoefend, dan werd het vlies van den anderen trechter door de samendrukking der lucht opgeheven. BUISSON bracht nu aan het vlies van den tweeden trechter een licht schijfje aan, waarop een kleine kam was geplaatst, waardoor de hefboom van een sphygmograaf werd opgelicht.

Werd het vlies van den eersten trechter op een slagader geplaatst, dan werden de kloppingen van de slagader naar den registreerenden hefboom overgebracht.

Vóór BUISSON heeft de Amerikaansche physioloog UPHAM te Boston op een dergelijke wijze beproefd de uitwendige bewegingen van het hart op een elektrische schel te doen werken; hij nam deze proeven op een jong geneesheer, GROUX genaamd, een lijder aan *fissura sterni congenita*, bij wien de hartkloppingen juist aan de oppervlakte werden waargenomen, daar het hart hier in enkele punten alleen door het huidvlies was bedekt. De afbeelding van

den toestel van UPHAM kan men vinden in een verhandeling, die door GROUX in 't licht is gegeven. 1)

Hoe vernuftig deze toestellen ook zijn uitgedacht, toch mogen deze proefnemingen niet van onjuistheid vrijgepleit worden. Voor 't overige verdient de toestel van BUISSON de voorkeur boven dien van UPHAM: de toestel van BUISSON is alleen met lucht gevuld, terwijl een der trechters alsmede een gedeelte der buis van den toestel van UPHAM met water is gevuld, waardoor de tracés van den vorm der bewegingen minder juist worden.

#### Beschrijving van de trommel met hefboom.

Deze toestel, waarvan wij het gebruik reeds zoo menigmaal hebben vermeld, is aldus samengesteld: een metalen doos is van een horizontale buis voorzien, zooals in fig. 245 is aangetoond,

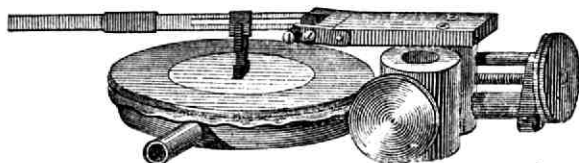


Fig. 245. De trommel met hefboom met haar verschillende onderdeelen.

en van boven gesloten door een dun en zwak gespannen caoutchoucvlies. Op dit vlies is een licht schijfje van aluminium vastgelijmd; dit schijfje is door middel van een om twee verschillende punten beweegbaar verbindstuk (geleding) met den registreerenden hefboom verbonden. Door een dusdanige verbinding is de volkomen beweegbaarheid van den hefboom verzekerd; deze draait om een zijner uiteinden vrij om een horizontale as en is in de lengte voorzien van een spleet, waarin het verbindstuk glijdt, dat den hefboom met het vlies vereenigt. Hierdoor is men nu in staat de schommelingen van den hefboom te vergrooten of te verkleinen; want een zelfde verplaatsing van het vlies der trommel zal aan den hefboom een des te grootere schommeling meedeelen, naargelang deze verplaatsing door het verbindstuk wordt overge-

1) *Fissura sterni congenita. New observ. and experim.* 2e uitgave, Hamburg, 1859.



bracht in een punt, dat dichter bij de draaiings-as van den hefboom is gelegen.

Om dus het werktuig meer of minder gevoelig te maken, verschuift men den vierkanten ring, die zich aan den bovenkant van het verbindstuk bevindt, langs den hefboom achter- of vooruit, waarna men den vertikalen stand van het verbindstuk herstelt, door de trommel met behulp van de stelschroef, die zich aan de rechterzijde der figuur bevindt, naar achteren of naar voren te bewegen.

Zijn twee trommels met hefboomen met elkaar verbonden, zooals op bladz. 156 is voorgesteld, dan werkt de eene trommel als ontvanger, de andere als registreerende trommel. Elke beweging, die aan den hefboom van de eerste trommel wordt meegedeeld, wordt door den hefboom van de tweede trommel eenigszins verzwakt teruggegeven, tengevolge van de veerkracht van de lucht, die de beweging van de eene naar de andere trommel overbrengt. Men kan echter, door het verbindstuk van het vlies der registreerende trommel dichter bij de as van den hefboom te plaatsen, de beweging van dezen hefboom zóó regelen, dat hij de beweging van den eersten hefboom onveranderd teruggeeft.

Om de beweging vergroot over te brengen, moet de hefboomsarm van de eerste trommel langer zijn dan de hefboomsarm van de registreerende trommel.

Men moet altijd bewegingen van groote amplitude trachten te vermijden, vooral wanneer die bewegingen snel plaats hebben. Een schommeling van één centimeter per sekonde wordt volkomen nauwkeurig overgebracht; maar herhaalden zich dergelijke schommelingen tien- of twintigmaal in een sekonde, dan zouden zij spoedig misvormd worden door de traagheid van den hefboom.

Er komen gevallen voor, waarin men met de hierboven aangegeven handelwijze, waarbij de verandering van de amplitude der hefboomsbeweging werd verkregen door het verschuiven van het verbindstuk langs den hefboom, niet kan volstaan. Wanneer men bijv. zeer groote bewegingen zoodanig wil verkleinen, dat de lijn op een blad papier van de gewone afmetingen kan getraceerd worden, dan moet men tot het volgende middel zijn toevlucht nemen.

### **Het verkleinen van een beweging door middel van een caoutchouddraad.**

Een gelijkslachtige caoutchouddraad zal in al zijn punten worden uitgerekt, wanneer hij aan een trekkracht wordt onderworpen. Neemt men nu een dergelijken draad van een meter lengte, met een der uiteinden stevig vastgemaakt, terwijl aan het andere einde getrokken wordt, dan zal elk punt van den draad des te meer verplaatst worden, naargelang dit punt zich verder van het bevestigde uiteinde bevindt. Gesteld dat op den in rust zijnden draad tien verdeelstreepjes zijn aangegeven, waardoor de draad in tien gelijke deelen is verdeeld, en dat tengevolge van de trekkracht het vrije uiteinde een meter doorloopt, zoodat de draad tot op het dubbel van zijn lengte is uitgerekt; dan zal het eerste deelstreepje, van het vaste uiteinde afgerekend, tien centimeter, het tweede deelstreepje twintig centimeter doorloopen hebben, enz. De verplaatsing van eenig deel van den draad zal dus des te grooter zijn, naarmate dit deel dichter bij het vrije uiteinde gelegen is.

Bevestigt men nu een onrekbaren draad met zijn eene uiteinde aan den registreerenden hefboom, met zijn andere uiteinde in een bepaald punt van den caoutchouddraad, dan zal men zodoende de beweging, die aan het uiteinde van dezen draad wordt meegedeeld, in de gewenschte verhouding kunnen verkleinen; wil men bijv. de beweging op het  $\frac{5}{6}$ <sup>e</sup> terugbrengen, dan bevestigt men den draad van den hefboom in een punt van den caoutchouddraad, dat op het  $\frac{5}{6}$  der lengte van dezen draad van het vaste uiteinde is gelegen.

In sommige gevallen moet deze methode van het verkleinen der beweging worden gevolgd om een cilinder te doen wentelen, zooals o. a. bij het registreeren van den spierarbeid.

### **Het proefondervindelijk controleeren van de trommel met hefboom.**

Het proefondervindelijk controleeren der registreertoestellen komt hierop neer, dat men die toestellen aan een beweging van een

volkomen bekenden vorm onderwerpt en vervolgens nagaat, of het tracé dezen vorm getrouw teruggeeft. Volgens deze methode is o. a. de juiste werking van den sphygmograaf gecontroleerd door de professoren MACH te Weenen, CZERMACK te Pest, DONDERS te Utrecht, KOSCHLAKOFF te Berlijn, enz.

Men kan echter ook de juiste werking van deze toestellen nagaan, wanneer men den eenen toestel door den anderen controleert; zoo is o. a. de juistheid van de aanwijzingen van den sphygmoskoop bewezen, door aan te toonen dat bij het registreeren van den pols van een slagader door dezen toestel een tracé wordt verkregen, dat volkomen gelijk is aan het tracé, dat men verkrijgt door den sphygmograaf op dit bloedvat te plaatsen. Zoo heeft ook FICK te Zürich den sphygmograaf gecontroleerd door middel van zijn werktuig, dat hij *Federkymographion* noemt.

De meest volmaakte methode van controle is wel die van DONDERS. Om aan het registreerwerktuig een volkomen bekende beweging mee te deelen, en vervolgens na te gaan of die beweging voldoende juist wordt getraceerd, bedient DONDERS zich van een excentriek, die met een bekende snelheid ronddraait. Deze excentriek licht den korten arm van een knievormigen registreerenden hefboom op, die stevig wordt tegengehouden door een veer, en op deze wijze alle golfvormige bewegingen van den excentriek zoo nauwkeurig mogelijk moet opteekenen. De bewegingen van dezen hefboom deelen zich weer op haar beurt aan den registreertoestel mede, wiens werking gecontroleerd moet worden. De bewegingen van het vlies van de eerste trommel worden door een buis naar de tweede trommel en den daarbij behoorenden hefboom overgebracht, die nu op den cilinder een lijn zal traceeren, die onmiddellijk boven het tracé van den eersten hefboom is gelegen. De twee aldus verkregen tracés moeten nu volkomen gelijk zijn. 1)

Nu heeft men bevonden dat de overeenstemming der beide tracés des te nauwkeuriger is, naarmate de excentriek langzamer draait; wordt de beweging sneller, dan krijgt men kleine verschillen, die op een vervorming van de beweging door het werk-

1) Zie voor bijzonderheden hieromtrent: *Du mouvement dans les fonctions de la vie*, p. 190.

tuig zelf wijzen. Deze vervorming is een gevolg van de traagheid van den hefboom; dit gebrek is te verhelpen door de wrijving van de stift over het papier te vermeerderen; men kan zoodoende de lijnen meer tot volkomen gelijkheid brengen.

Bij enkele physiologische werkingen, waarbij plotselinge spierbewegingen plaats grijpen, kan deze methode van DONDERS met vrucht worden aangewend om na te gaan of ook een fout in het tracé is ingeslopen, en om in dat geval de grootte van die fout te bepalen.

Steeds blijft de groote hinderpaal voor het volkomen getrouw opschrijven van de tracés de traagheid van den registreerenden hefboom. Om dit bezwaar zooveel mogelijk te verminderen, moet men zich vergenoegen met tracés van zeer geringe amplitude; wel is waar zijn zulke tracés moeilijk te lezen, maar de optische werktuigen komen weer in dit bezwaar te gemoet.

Al deze gebreken verdwijnen, wanneer men kan registreeren met den idealen hefboom zonder gewicht, d. w. z. met een lichtstraal, die de snelste bewegingen naar willekeur vergroot en zonder eenige vervorming teruggeeft. Op een kleinen spiegel, draaibaar om een vertikale as, wordt de te bestudeeren beweging opgevangen; deze beweging bestaat dikwijls slechts in een nagenoeg onmerkbaar schommeling. Een in de nabijheid geplaatste lichtbron werpt een bundel evenwijdige stralen op den spiegel, door welken zij naar een scherm worden teruggekaatst. De kleinste beweging van den spiegel verraadt zich door een zeer groote schommeling van het lichtbeeld; de amplitude van deze schommeling wordt niet alleen vergroot in reden van de afstanden van den spiegel en het scherm, maar tengevolge van de bekende eigenschap dat bij draaiende spiegels de verplaatsing van het beeld tweemaal grooter is dan die van het voorwerp.

Op een dergelijke wijze heeft CZERMACK den vorm van den slagaderlijken pols bestudeerd en de juistheid van de tracés van den sphygmograaf gecontroleerd. Een gebrek van deze methode is dat zij slechts al te vluchtige beelden doet ontstaan; in enkele gevallen echter kan zij leiden tot het werkelijk registreeren van bewegingen. Hiertoe moet het scherm, waarop de teruggekaatste lichtbundel valt, lichtgevoelig worden gemaakt, zoodat een photographisch beeld van de beweging van den lichtbundel ontstaat.

Voor zeer zwakke bewegingen is een dergelijke methode hoogst aanbevelenswaardig; bijv. de schommelingen van de magneetnaald, de bewegingen van de kwikkolom van den barometer of van den thermometer, worden op deze wijze fotografisch geregistreerd.

### **Het nauwkeurig overnemen der getraceerde lijnen.**

Voor de verspreiding van de uitkomsten der grafische onderzoekingen is het van 't grootste belang de verkregen tracés met volkomen juistheid weer te geven. Laat men het overnemen van de tracés aan teekenaars over, dan loopt men bijna altijd gevaar dat de afbeeldingen in meerdere of mindere mate van de oorspronkelijke tracés zullen afwijken; de teekenaar ziet zoo licht een kleine kromming of onverwachte uitwijking van de lijn over 't hoofd en zal zich doorgaans vergenoegen met een kopie, die wel in hoofdtrekken de oorspronkelijke lijn voorstelt, doch vaak in allerlei kleine bijzonderheden daarvan verschilt; dit heeft dan onvermijdelijk tengevolge dat verkeerde gevolgtrekkingen en valsche voorstellingen met betrekking tot het grafisch bestudeerd verschijnsel worden gemaakt. Ook voor het onderling vergelijken van tracés van overeenkomstige verschijnselen is het noodig dat de tracés met de grootste nauwgezetheid worden overgenomen; de kleinste bijzonderheid in den vorm eener lijn is voor den physioloog, voor den proefnemer in 't algemeen, van het hoogste belang.

De grootste nauwkeurigheid bij het overnemen van tracés wordt bereikt met de heliogravure. Behalve dat men hierbij alle onjuistheden, die uit de hand van den teekenaar te verwachten zijn, vermijdt, kan men tevens naar willekeur de tracés, die niet op een behoorlijke schaal zijn getraceerd, vergrooten of verkleinen.

Daarentegen is deze handelwijze niet bijzonder kostbaar, wanneer men van een groot aantal tracés tegelijkertijd de heliografische afdrukken op koper! overneemt.

Is men genoodzaakt tot andere handelwijzen zijn toevlucht te nemen, dan biedt zich daartoe in de eerste plaats aan de *photografie op hout*. De graveur verkrijgt hierdoor een naar gelang van omstandigheden vergroot of verkleind, maar toch altijd zeer getrouw beeld van de lijn, die hij op een andere wijze niet zonder

groote moeielijkheden zou kunnen overnemen; bij de aanwending der fotografie vermijdt men al die bronnen van fouten, die bij het afdrucken van den lijn en bij het omgekeerd overbrengen van die lijn op hout ontstaan.

\* In den laatsten tijd is de methode der *photolitho-* en *photozincografie* 1) meer en meer in gebruik gekomen, die weinig kostbaar is en in nauwkeurigheid niet voor de bovenstaande methoden onderdoet. Hierbij wordt partij getrokken van de bekende eigenschap van het asphalt, om, na door het licht te zijn beschenen, onoplosbaar te worden in benzine, en van de eigenschap van oplossingen van dubbelchroomzuren zouten die vermengd zijn geworden met eiwit, gelatine, suiker, zetmeel, enz., om door de lichtinwerking onoplosbaar te worden in water of het vermogen te verliezen in water op te zwellen, welke eigenschappen zich des te sterker openbaren, naargelang het licht langer op die stoffen heeft ingewerkt. Deze methode komt dan in het kort hierop neer:

Van een teekening, een tracé of een gravure, wordt een negatief photographisch cliché vervaardigd, dat in de schaduwen volkomen doorzichtig moet zijn; daarna wordt de lithografische steen of het zink met asphalt of met een der chromaatmengsels bedekt, gedroogd en vervolgens onder het negatief cliché aan de inwerking van het licht blootgesteld; dat gedeelte van het asphalt of van het chromaatmengsel, dat door de beschuttende werking van het negatief niet door het licht is beschenen, wordt door oplossing in benzine of water verwijderd en men heeft nu een beeld op steen of zink in bruine of groene lijnen op blanken grond. Om het zink voor de boekdrukkers gereed te maken, moeten nu de blanke tusschenruimten worden weggenomen; dit geschiedt langs chemischen weg door etsing met zuuren, waarbij de met asphalt of inkt gedekte lijnen onaangetast blijven; de tusschenruimten worden nu ingebeten en daardoor dieper; na eindelijk het zink afgewasschen te hebben, is het cliché op zink voor de

---

1) \* De in dit werk voorkomende figuren zijn allen, naargelang van den aard der oorspronkelijke gravures en teekeningen, volgens deze procédés vervaardigd in het atelier van G. J. THIEME te Arnhem. \*

pers gereed, daar nu de lijnen en punten voorkomen als verhevenheden in een plat vlak.

Daar deze methode dus geheel langs mechanischen weg plaats heeft (photografische overbrenging en chemische etsing) is ook vooral voor het overnemen van tracés de grootste nauwkeurigheid gewaarborgd. Ook verschaft de groote lichtgevoeligheid, die met genoemde stoffen nog op bijzondere wijze kan worden verkregen, de gelegenheid om ook des winters nog betrekkelijk snel goede resultaten te verkrijgen.

Ook kan men voor het overnemen van tracés tot de zogenoemde *photolithozincografie* zijn toevlucht nemen, waarbij het tracé fotografisch op steen wordt overgebracht en hier den lithograaf dient als basis voor zijn graveerarbeid, waarna de overdruk van steen weer in zink wordt geëts \*.

Eindelijk blijft nog een handelwijze te vermelden, die even goed, maar veel eenvoudiger is en bovendien sneller is aan te wenden dan de fotografie, namelijk *de direkte overbrenging* van het oorspronkelijk tracé op het hout, waarop de gravure moet gemaakt worden. Dit direkt overbrengen heeft aldus plaats:

Het registreeren van het tracé moet geschieden op een bijzondere soort van papier, bekend onder den naam van decalqueerpapier. Dit is gewoon papier waarop men een laag stijfelpap heeft uitgespreid, en dat daarna gesatineerd is. Dit papier wordt zoodanig op den cilinder gebracht dat het met stijfsel bedekte oppervlak, waarop het roetzwart moet worden aangebracht, naar buiten is gekeerd. Het tracé wordt op de gewone wijze gevormd (waarbij is op te merken dat het goed gesatineerde stijfseloppervlak bijzonder geschikt is om het glijden van de schrijfstift gemakkelijk te maken); daarna wordt het papier afgenomen, en, om het zwart te fixeeren, door met vernis bedeeden alcohol heengetrokken.

Om nu het tracé op het hout over te brengen, brengt men op de oppervlakte van het hout een laag van een zwakke oplossing van gelatine, en wrijft deze oppervlakte met den vinger, om de opdrogende gelatinelaag gelijkmatig daarover uit te spreiden. Zoodra nu de oppervlakte van het hout nog slechts een weinig kleverig is, is het gunstige oogenblik gekomen voor het overbrengen van het tracé op het geprepareerde hout. Men legt nu

het papier met die zijde, waarop het tracé is gevormd, op de gelatine, wrijft vervolgens zachtjes over den rug van het papier, om goed verzekerd te zijn dat de beide oppervlakken in alle punten met elkaar in aanraking zijn, en men laat het geheel drogen.

Nadat alles gedroogd is, maakt men het papier, waarop het tracé was gevormd, goed nat met water; na verloop van een minuut ongeveer kan men nu het papier aan een der hoeken opnemen en het geheel van het hout losmaken. Het aldus losgemaakte papier is nu geheel wit en heeft al zijn roetzwart op het hout achtergelaten, zoodat nu het tracé volkomen juist op het hout omgekeerd is overgebracht en dus nu geheel voor den graveur gereed is. Men krijgt spoedig in deze manier van werken de noodige bedrevenheid, wanneer men begint met zich op enkele tracés te oefenen, waarbij men niet bevreesd behoeft te zijn dat zij bedorven worden; men zal dan zodoende onjuistheden leeren voorkomen, die soms ten gevolge zouden kunnen hebben dat het origineel verloren zou zijn gegaan, zonder dat men er in geslaagd was dit goed op het hout over te brengen. Heeft men echter met een tracé te doen, dat bezwaarlijk te herkrijgen en daarom kostbaar is, dan moeten wij de beginnenden aanraden liever hun toevlucht te nemen tot de fotografie op hout en vooral tot de heliogravure.

Eindelijk kan men de tracés even goed op glas, als op hout overbrengen; alsdan verkrijgt men doorschijnende clichés, die met behulp van de tooverlantaarn geprojecteerd en aanmerkelijk vergroot kunnen worden; ook laten zich deze doorschijnende clichés gemakkelijk met het mikroskoop behandelen.

De optische vergrooting van tracés is onvermijdelijk bij enkele proeven, waarbij men zich moet vergenoegen met mikroskopische lijnen, zooals o. a. voorkomt bij het nagaan van afwisselende en zeer snelle bewegingen; hierbij zouden lijnen van de gewone grootte gewoonlijk tot foutieve uitkomsten leiden.



## DERDE HOOFDSTUK.

### CHRONOGRAFIE.

De cilinder met regulator. Polygrafen. — Het registreeren volgens een schroeflijn. — Het brengen van het papier op den cilinder; het zwart maken; het fixeeren der tracés. — Het controleeren van den regelmatigen gang van het raderwerk. — Het regelen van de omwentelingssnelheid van den cilinder naar den aard van het verschijnsel dat men wil registreeren. — Riemschijven. — Chronografen. De elektrische chronograaf. — Het synchronistisch trillen van twee chronografen; het onderzoeken van het synchronisme. — Elektrische seinen.

#### **De cilinder met regulator. Polygrafen.**

Bij de meeste physiologische proeven wordt een cilinder gebruikt, die 28 centimeter lang is en wiens omtrek 42 centimeter bedraagt. Door dezen cilinder, die van dun koper is vervaardigd en van binnen door tusschenschotten is ondersteund, loopt een stalen as, wier eene uiteinde juist past in een punt van een schroef, die door een bronzen schijf heenloopt en als support dient. De cilinder, aldus geplaatst, kan vrij en onafhankelijk van het raderwerk van den regulator draaien; hij moet goed in evenwicht gesteld zijn, zoodat het onverschillig is, in welken stand men hem plaatst.

Wil men den cilinder door middel van het raderwerk doen draaien, dan plaatst men op de as, die men heeft uitgekozen, een van die stukken, die de kunstdraaiers gewoonlijk een gaffel (toe) noemen, en bevestigt daaraan een der uiteinden van de cilinderas, terwijl het andere uiteinde dezer as in de daarmee overeenkomstige schroef van het support grijpt.

De cilinder wordt met den regelaar op een stevige plank opgesteld, die in enkele gevallen ook in vertikalen stand moet kunnen staan, wanneer de noodzakelijkheid zich voordoet op een vertikalen cilinder te registreeren; deze gevallen zijn echter hoogst zeldzaam.

De hierboven beschreven physiologische registreerwerktuigen zijn vrij zwaar en omvangrijk en moeten zooveel mogelijk op een vaste plaats in een laboratorium of hospitaal worden opgesteld. Het zal echter dikwijls voorkomen, vooral bij het klinisch onderzoek van zieken buiten de hospitalen, dat men over een gemak-

kelijk verplaatsbaren toestel moet kunnen beschikken. Hiertoe zijn die toestellen aan te bevelen, waarbij een strook papier zonder eind zich langzaam beweegt, waarop met een pen met inkt wordt geschreven (fig. 246); of, en dit zijn nog de eenvou-

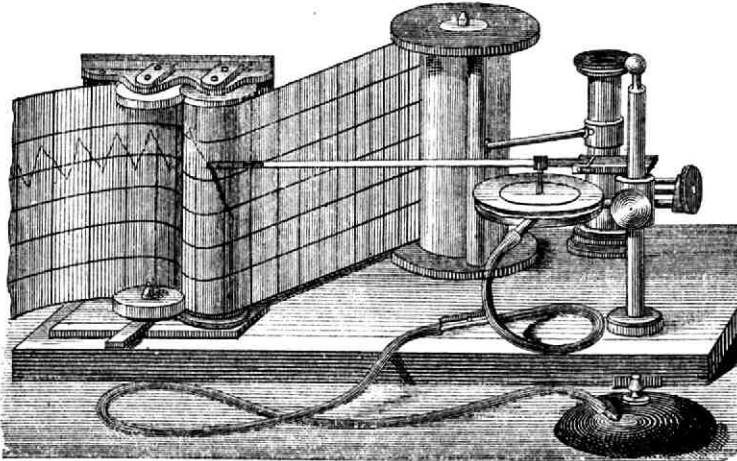


Fig. 246. Polygraaf met een strook papier zonder eind.

digste en minst kostbare, die een kleinen cilinder dragen, waarop men met drie stiften te gelijk kan schrijven. 1)

### Het registreeren volgens een schroeflijn.

Wil men een verschijnsel gedurende een aanmerkelijk langen tijd registreeren, dan moet dit geschieden bij verschillende omwentelingen van den cilinder, terwijl bij elke nieuwe omwenteling de registratie in een ander punt van den cilinder moet aanvangen. In dit geval is het van veel belang het registreeren volgens een schroeflijn te doen plaats hebben, een handelwijze, die waarschijnlijk van DONDERS afkomstig is. Hiertoe is het noodig dat de registreerstift zich langzaam in een richting, evenwijdig aan

1) \* MAREY heeft nu kort geleden een gemakkelijk verplaatsbaar werktuig samengesteld, *de klinische polygraaf* genoemd, dat bijzonder geschikt is voor het grafisch bestudeeren van den pols, den hartslag, de ademhaling en de spiercontracties. Een beschrijving daarvan vindt men in zijn werk: *La circulation du Sang.* \*

de cilinderas, verplaatst; men kan bijv. bij het registreeren van trillingen van geringe amplitude op deze wijze te werk gaan; zij worden dan in den vorm van een schroeflijn opgeschreven, wier omgangen dicht bij elkaar liggen, zonder echter ooit samen te vallen. Neemt men het papier van den cilinder af, dan vertoonen zich deze omgangen als eenige evenwijdige lijnen.

Deze verplaatsing van de registreerstift wordt verkregen door een bijzondere inrichting, 1) waarbij de verplaatsing wordt veroorzaakt door het raderwerk zelf, dat den cilinder in beweging brengt. Deze manier van verplaatsing is te verkiezen boven een andere, 2) waarbij de stift door een uurwerk wordt bewogen, dat onafhankelijk is van den regulator; de snelheid van verplaatsing kan hierbij dikwijls veranderen en maakt het tracé minder nauwkeurig.

**Het brengen van het papier op den cilinder; het zwart maken; het fixeeren der tracés.**

Het papier, waarop het tracé moet gevormd worden, moet zoo effen, dun en stevig mogelijk zijn. Soms kan men papier gebruiken, dat met zinkwit is geglansd, maar dit laatste moet zeer sterk zijn, want anders bestaat de kans dat het bij 't zwart maken verbrandt.

De bladen worden van te voren door den boekbinder op de juiste afmeting gesneden; een der randen van elk blad wordt met gom bestreken, die men laat opdrogen. Op het oogenblik dat men de bladen gebruikt, maakt men het met gom bestreken gedeelte nat. Om het papier op den cilinder te brengen, wordt deze op de bovenste as van den regulator geplaatst; het papier wordt zoodanig onder den cilinder geschoven, dat de kant, waar zich de gegomde rand bevindt, naar boven is gekeerd. Men laat nu het papier goed om den cilinder aansluiten en draagt zorg dat de vochtige gegomde rand juist op den tegenovergestelden rand komt te liggen, waarop hij zorgvuldig wordt bevestigd.

Voor het zwartmaken moet de cilinder zoo hoog geplaatst

1) \* MAREY noemt dit: *chariot entraîné par le rouage.* \*

2) *Chariot automateur.*

zijn, dat men de vlam van een kleine kaars onder den cilinder kan aanbrengen. Men bedient zich dan van kaarsen met een grove pit, met weinig was; deze kaarsen kan men horizontaal houden, zonder dat de was afdruipt. De kaars aangestoken zijnde, brengt men die zoodanig onder den cilinder, dat de punt van de vlam het papier aanraakt; vervolgens laat men den cilinder draaien. Daar de warmte van het papier zich direkt aan den metalen cilinder meedeelt, zal het papier niet verbranden tengevolge van de vluchtige aanraking met de vlam, vooral wanneer men de kaars van het eene einde van den cilinder naar het andere beweegt.

Ook kan men van petroleum- of terpentijnlampen gebruik maken, die een sterk walmende vlam geven en daarom het zwartmaken bespoedigen; men verkrijgt daarbij echter dikwijls een te vlokkige en te dikke laag. Men kan ook de kaars in een wagentje plaatsen, dat zich langzaam langs den cilinder voortbeweegt; hier toe is dan een bijzondere inrichting noodig, die wel dienstig is om tijd te besparen.

Nadat het papier is zwartgemaakt, wordt de cilinder op de voor de proef geschikte as van het raderwerk geplaatst.

De punt van de registreerstift moet eenigszins schuin ten opzichte van den cilinder en nimmer in een richting worden geplaatst, tegenovergesteld aan die, volgens welke de cilinder ronddraait.

Nadat het tracé is gevormd, wordt het papier in vernis gedoopt. Dit vernis wordt bereid door ongekleurde gomlak in alcohol van 36° op te lossen; de oplossing moet verzadigd zijn. Na bijvoeging van een kleine hoeveelheid Venetiaansche terpentijn, wordt de oplossing eerst door linnen, daarna door papier gefiltreerd.

Wil men een blad papier van groote afmeting in het vernis doopen, dan gebruikt men daarvoor een spoelbak, zooals de fotografen gebruiken, die het geheele blad kan bevatten; een ondiepe zinken bak, in den vorm van een dakgoot, is het meest aan te bevelen. Men neemt het blad papier bij de uiteinden, waarbij de zwarte oppervlakte naar boven is gekeerd; het blad wordt met het midden in het vernis gedompeld; daarna worden door zijdelingsche bewegingen de beide helften van het papier achtereenvolgens in het vernis gebracht; vervolgens laat men het papier uitdruipen en drogen.

**Het controleeren van den regelmatigigen gang van  
het raderwerk.**

Hiertoe kan men gebruik maken van het registreeren van de slingerbewegingen van een astronomisch uurwerk of van de trillingen eener stemvork. Gesteld dat gedurende eenige omwentelingen van den cilinder de trillingen van een zelfde stemvork zijn geregistreerd; wanneer nu de beweging van den cilinder eenparig is geweest, dan moeten de verkregen golffijntjes overal denzelfden afstand van elkaar hebben. Men neemt nu op een der golffijnen bijv. tien trillingslijntjes tusschen den passer, en brengt deze passerswijdte op een andere willekeurige golffijn van den cilinder over; wijst dan deze afstand weer juist tien trillingen aan, dan is dit juist een bewijs voor den regelmatigigen gang van den cilinder.

**Het regelen van de omwentelingsnelheid van den  
cilinder naar den aard van het verschijnsel  
dat men wil registreeren. Riemschijven.**

Hoe sneller de beweging is, die men wil registreeren, hoe sneller de cilinder zal moeten draaien. Daar de grafische methode bijzonder geschikt is voor het bestudeeren van bewegingen, die uiterst langzaam of uiterst snel plaats hebben, moeten de cilinders dus ook bijzonder langzaam of zeer snel kunnen bewogen worden.

Denken wij ons een zeer langzame beweging, waarbij bijv. in een uur de schrijfstift een lengte doorloopt, gelijk aan de hoogte des cilinders, en stellen wij dat de cilinder 1 omwenteling in de minuut maakt. Gedurende de geheele verplaatsing van de stift zal nu de cilinder 60 omwentelingen maken, zoodat op den cilinder 60 lijnen worden getraceerd, die een zoo flauwe helling zullen vertoonen dat zij evenwijdig schijnen te loopen met de as der abscissen. Om nu een enkele lijn te verkrijgen, waaruit men den aard der te bestudeeren beweging beter kan beoordeelen, moet men zooveel mogelijk de snelheid van den cilinder gelijk maken aan die van de stift.

In het hier beschouwde geval zou dus een cilinder, die één omwenteling per uur maakte, het best voldoen. Omgekeerd zal

men bij zeer snelle bewegingen aan den cilinder een groote snelheid moeten geven, soms een of meer omwentelingen in de sekonde.

Voor physiologische en geneeskundige waarnemingen zijn de hierboven beschreven cilinders met regulators en de polygrafen bijna altijd voldoende; in elke sekonde gaat een centimeter papier voorbij de stift. Om grootere of kleinere snelheden aan den cilinder te geven, moet men gewoonlijk zijn toevlucht nemen tot riemschijven.

Om den cilinder een grootere snelheid te geven dan die, welke de snelste as van het raderwerk hem meedeelt, wordt de cilinder zoodanig opgesteld dat hij kan draaien, en op de as een riemschijf van kleine middellijn aangebracht. Op de snelste as van het raderwerk plaatst men een riemschijf van groote middellijn en verbindt nu de beide riemschijven door een touw zonder eind. De snelheid van den cilinder wordt nu zooveelmaal vergroot, als uit de verhouding der middellijnen van de beide riemschijven voortvloeit. Plaatst men de kleinste riemschijf op de as van het raderwerk, de grootste op die van den cilinder, dan wordt de beweging in dezelfde reden verkleind.

In sommige gevallen, bijv. bij het registreeren van den groei van planten, moet de cilinder slechts één omwenteling maken in een dag, een maand, soms in een jaar. Zulke langsame bewegingen kunnen door een stelsel van hulpraderen gemakkelijk verkregen worden. Neemt men bijv. als beweegkracht de as van een uurwerk, die in 12 uren ronddraait, en plaatst men op deze as een tandrad dat op een rad werkt met 10-maal meer tanden, dan draait dit laatste rad in 120 uren rond; door nu dit laatste rad weer op een derde rad met 10-maal meer tanden, dit derde weer op een vierde te laten werken, enz., krijgt men omwentelingen, die in 1200, 12000 uren, enz., worden volbracht. Zodoende kan men door hulpraderen aan een cilinder een beweging geven, die langer dan 14 jaren duurt. Daar men deze langsame beweging van den cilinder met aanmerkelijke kracht kan doen plaats hebben, zal het mogelijk zijn in dit geval de lijn op het koper van de cilinder met een graveernaald te traceeren, zonder dat de gang der beweging wordt verstoord.

Ofschoon de verscheidenheid der verschijnselen een ruime keus overlaat voor de snelheden, die men aan den cilinder moet geven,

moet men toch hierbij niet al te willekeurig te werk gaan; daarom is het goed zekere verhoudingen vast te stellen tusschen de tijdsverdeelingen en de metrische verdeelingen, zoodat een weg van 10 centimeter, door het papier van den cilinder doorloopen een der gebruikelijke tijdsverdeelingen aangeeft.

Zoo zou men bijv. de volgende schaal kunnen vaststellen volgens afnemende snelheden:

10 cM. papier in  $\frac{1}{10}$  e sekonde bij het bestudeeren van elektrische verschijnselen;

10 cM. papier in 1 sekonde voor de mechanische verschijnselen, de snelheid der zenuwwerkingen, de voortplanting van het geluid in verschillende middenstoffen, enz.;

10 cM. papier in 10 sekonden bij de myografie, de proeven op den bloedsomloop, de hartsbewegingen, enz.;

10 cM. papier in 1 uur bij de hodografie, het registreeren van temperatuursveranderingen, enz.;

10 cM. papier in 1 dag bij het registreeren van den groei van planten, verdampings- en endosmose-verschijnselen, enz.

### Chronografen.

Wordt een cilinder door een uurwerk rondbewogen, dan moet men den geregelden gang, zooals boven gezegd is, steeds door het registreeren van isochrone trillingen controleeren; hiertoe dienen de chronografen.

De *lucht-chronograaf* bestaat uit een trommel met hefboom; deze trommel ontvangt de beweging van een groote stemvork, waarvan het eene been op het vlies van een andere luchttrommel werkt. In fig. 247 is deze stemvork met luchttrommel voorgesteld; de twee beenen der stemvork zijn ieder van een zwaar stuk lood voorzien; de stemvork zelf wordt opgehangen. Het eene been is van een verschuifbaar stuk voorzien, waarop een stift is aangebracht die verbonden is met het vlies van een daartegenover geplaatste trommel. De heen- en weergaande bewegingen van de stemvork deelen zich aan het vlies van de trommel mede en verwekken evenzoo veel luchtstooten in de buis, die deze trommel met de registreerende trommel verbindt; de hefboom van deze laatste nu registreert op den zwartgemaakten cilinder tril-

lingen van dezelfde snelheid en amplitude, als door de stemvork zelf zouden zijn opgeschreven. Deze inrichting heeft het voordeel dat het registreerwerk tuigje niet zwaar en gemakkelijk te plaatsen is naast andere overeenkomstige toestellen.

De stemvork zelf moet zwaar zijn, wil zij langen tijd de haar medegedeelde beweging behouden; een vuistslag op een der beenen brengt haar langer dan een minuut in trilling.

De afstand, waarover de trillingen door de lucht kunnen worden overgebracht, bedraagt ruim 10 meter. Naar gelang het verschuifbare stuk op het eene been van de stemvork zich meer of minder dicht bij het ondereinde (fig. 247) bevindt, zullen de amplituden meer of minder groot zijn.

Deze inrichting is nog zeer goed geschikt voor het registreeren van tiende deelen van sekonden; om snellere trillingen te registreeren moet men zijn toevlucht

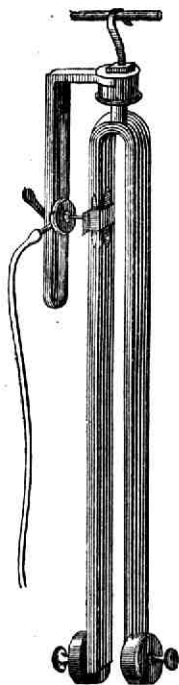


Fig. 247. Stemvork van 50 T, die zijn trillingen aan een trommel met hefboom meedeelt.

### De elektrische chronograaf.

De geheele toestel bestaat uit een batterij, een stemvork die als stroomverbreker dient en den chronograaf. Deze laatste bestaat uit een fijn toeloopende stift, die aan een stalen plaatje bevestigd en voorzien is van een stukje week ijzer; tegenover dit laatste is een elektromagneet geplaatst. Is de stift bestemd om honderdste deelen van een sekonde te registreeren, dan moet zij met het stalen plaatje op een bepaalde lengte gesteld worden, waartoe een stelschroefje dient, door middel waarvan men de lengte van het trillend gedeelte kan veranderen en de trillingen kan regelen. Om nu de stift 100 trillingen per sekonde te doen maken, moet de stroom in den elektromagneet honderdmaal in de sekonde doorgaan, hetgeen met behulp van den stroomverbreker geschiedt.



Zooals fig. 248 toont, doorloopt de stroom van een batterij de stemvork met elektromagneet, die als stroomverbreker dient en

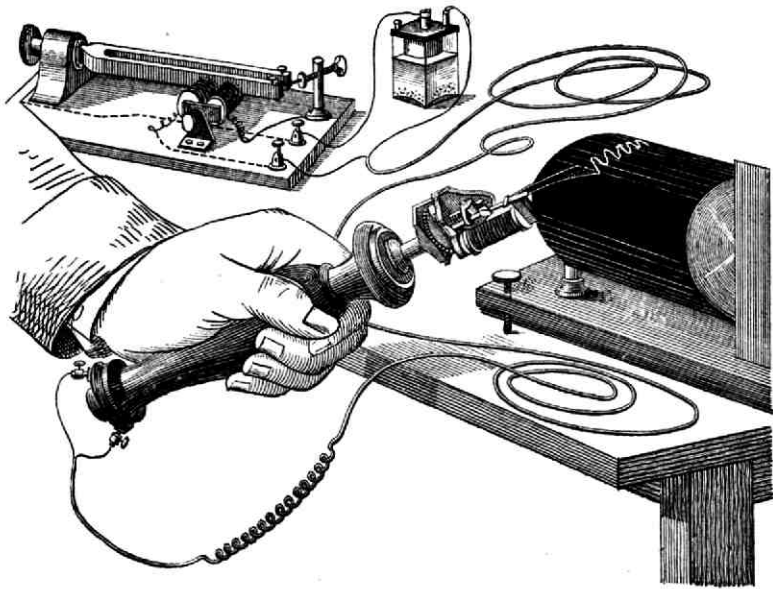


Fig. 248. Een chronograaf die in de hand gehouden wordt en 100 trillingen in de sekonde maakt.

daarna de windingen van den elektromagneet van den chronograaf; deze elektromagneet onderhoudt de trillingen van de schrijfstift.

Is de toestel zoodanig geregeld, dat de stift van den chronograaf volkomen op dezelfde wijze kan trillen als de stemvork, dan zal, zoodra de stroom gesloten is, de stift beginnen te trillen; kan echter de stift niet gelijkmatig met de stemvork trillen, dan zal alleen deze laatste bij het sluiten van den stroom in beweging geraken, terwijl de stift onbewegelijk blijft. Men kan dan met behulp van het stelschroefje de stift spoedig zoo stellen, dat zij met de stemvork meetrilt; het trillen duurt dan zoo lang, als de batterij een voldoende kracht behoudt.

Met een zelfde chronograaf kan men trillingen van verschillende snelheden verkrijgen; hiertoe heeft men slechts als stroomverbrekers verschillende stemvorken te nemen, die het gewenschte aantal trillingen maken, en de stift van den chronograaf naar die stemvorken te regelen.

Stelt men de stift van den chronograaf juist een octaaf hoger dan de stemvork, dan kan men den chronograaf bijv. 200 trillingen in de sekonde laten doen, terwijl de stemvork er 100 maakt.

Het onafgebroken registreeren van den tijd geschiedt zoo nauwkeurig en gemakkelijk, dat men zelfs bij het gebruiken van regulators nog altijd zijn toevlucht neemt tot het chronografisch registreeren, voor het geval dat men een korten tijdduur moet meten. Men telt alsdan op het tracé hoeveel trillingen tusschen de teekens, die het beginnen en het ophouden van het verschijnsel aangeven, zijn opgeschreven, waarvan elke trilling  $\frac{1}{10}$ ,  $\frac{1}{100}$  of  $\frac{1}{1000}$  sekonde vertegenwoordigt. In sommige gevallen kan men den duur van  $\frac{1}{25000}$  sekonde nog aflezen.

Zooals de chronograaf in fig. 248 is voorgesteld, is hij weinig geschikt voor het registreeren van een korten tijdduur, aangezien door de verplaatsing van de hand de trillingen verkeerd kunnen worden opgeschreven.

De chronograaf moet dus een onbewegelijken stand innemen met betrekking tot den cilinder, waarop hij schrijft, en dient ingericht te zijn zooals fig. 249 aantoont. Hier is een chrono-

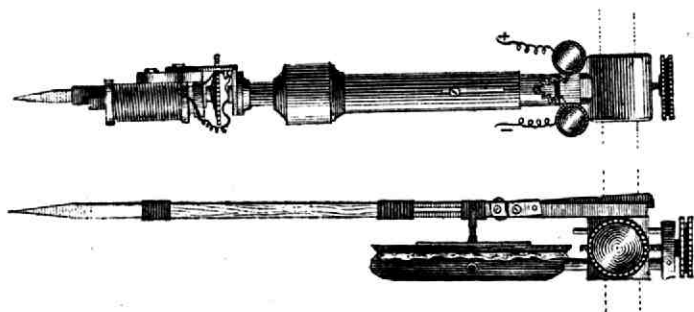


Fig. 249. Een chronograaf en een trommel met hefboom bestemd voor gelijktijdig registreeren

graaf naast een trommel met hefboom geplaatst, om aan te toonen dat beide toestellen aan een zelfden standaard zijn bevestigd; de stift van den chronograaf en de punt van den hefboom der trommel liggen op een zelfde verticale lijn, waaruit een volmaakte overeenstemming tusschen de aanwijzingen van beide werktuigen voortvloeit.

Wil men de trillingen van een chronograaf bij tusschenpoozen registreeren, dan kan men gebruik maken van den toestel, in fig. 250 afgebeeld, waar de chronograaf bevestigd is aan een

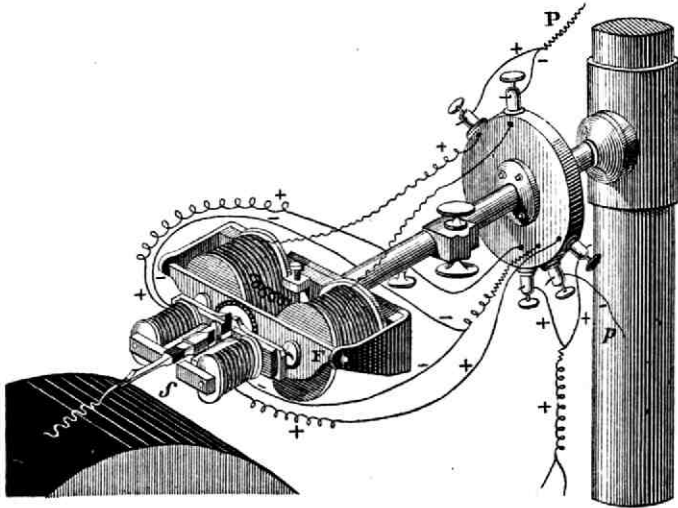


Fig. 250. Chronograaf bestemd voor het registreeren bij tusschenpoozen.

schommelend draagstuk en waarbij de aanraking van de schrijfstift met den cilinder door een elektromagneet E wordt tot stand gebracht.

### **Het synchronistisch trillen van twee chronografen; het onderzoeken van het synchronisme.**

Wanneer men twee chronografen met gelijke stroomverbrekers in een stroomgeleiding plaatst, dan moeten zij beiden synchronistische trillingen volbrengen.

Beschouwen wij elk dezer trillende chronografen, dan zien wij dat elke stift een beweging maakt, waarvan de grenzen twee divergeerende beelden vormen, gelijkende op een V. Plaatsen wij nu beide chronografen in richtingen, loodrecht op elkaar, zooals in fig. 251 is voorgesteld, dan zullen de beide V's elkaar kunnen doordringen, zonder dat de stiften tegen elkaar botsen, dit is een bewijs voor het volkomen synchronisme der beide stiften.

Wordt een chronograaf door een sterke lichtbron verlicht en

wordt daarna de chronograaf verplaatst in het vlak, waarin de trillende beweging plaats heeft, dan ziet men de beelden van de

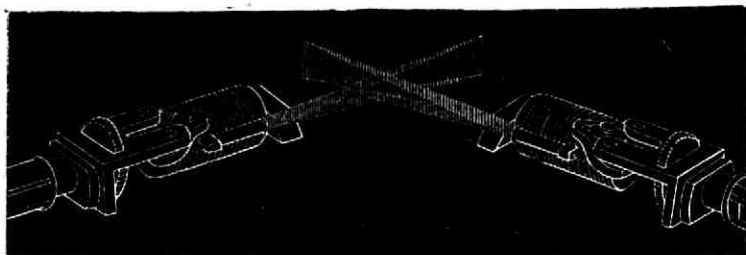


Fig. 251. Twee synchronistisch trillende chronografen met gelijke stroomverbrekers; de stiften trillen in dezelfde ruimte zonder elkaar te ontmoeten.

stift naast elkaar verschijnen, zoodat zij zich schijnbaar voordoen als een reeks van onbewegelijke stiften (fig. 252), die des te meer van elkaar verwijderd zijn, naarmate de verplaatsing sneller is geweest.



Fig. 252. Beelden van de trillende stift ontstaande bij verplaatsing van een sterk verlichten chronograaf.

Maakt de stift 100 trillingen per seconde en ondergaat zij daarbij een verplaatsing van 1 meter in de sekonde, dan ontwaart men een reeks beelden, zooals die aan de linker zijde van fig. 252 zijn voorgesteld, waarbij de afstand der beelden 1 centimeter bedraagt. Bij het begin en bij het einde van de verplaatsing vallen de beelden gedeeltelijk samen, omdat dan de snelheid van de verplaatsing geringer is.

Dit verschijnsel is gemakkelijk te verklaren. Bij de verplaatsing van den chronograaf voegt zich de beweging, die aan de stift

wordt meegedeeld, bij hare trillende beweging, wanneer beide bewegingen in dezelfde richting geschieden; de verplaatsing van de stift is nu te snel, om duidelijk met het oog onderscheiden te kunnen worden. Maar gedurende elke trilling krijgt de stift telkens een beweging, in richting tegengesteld aan de richting der verplaatsing. Deze bewegingen heffen elkaar gedeeltelijk op, waaruit een periode van schijnbare onbewegelijkheid voortvloeit, gedurende welke de stift duidelijk is te onderscheiden. Deze periode doet zich in elk honderdste deel van de sekonde voor; doorloopt nu de stift met eenparige snelheid in 1 sekonde een weg van 1 meter of 100 centimeter, dan zullen zich dus deze beelden op een afstand van 1 centimeter van elkaar vertoonen.

Bij minder snelle verplaatsingen krijgt men beelden, zooals de volgende groepen in fig. 252 voorstellen.

Deze methode kan soms dienstig zijn voor het beoordeelen van de snelheid van enkele bewegingen, die zich bij verplaatsing voordoen. Indien men bijv. de trillende stift van den chronograaf door een elektrisch licht in een Geisslersche buis verving, dan zou men in de duisternis schoone beelden kunnen krijgen, waarbij enkele bewegingen, die op een andere wijze niet zijn waar te nemen wellicht behoorlijk onderzocht zouden kunnen worden.

### **Elektrische Seinen.**

Naarmate men met het gebruik van elektro-magnetische sein-toestellen meer vertrouwd begon te geraken, zag men ook meer en meer in dat deze werktuigen, waaraan men aanvankelijke en oogenblikkelijke werking had toegekend, aan een merkbare vertraging onderhevig waren, die tot foutieve uitkomsten bij tijdmetingen konden leiden. Hoewel men kan aannemen dat de elektriciteit zich door een langen draad bijna oogenblikkelijk voortplant, mag men de elektromagnetische beweegkrachten, door den stroom opgewekt, op verre na niet beschouwen als oogenblikkelijk te ontstaan. De elektriciteit kan, evenals andere krachten, een massa alleen een verplaatsing doen ondergaan, door daaraan oorspronkelijk een versnelde beweging 1), wier optreden langzaam plaats heeft, mee

1) De vorm van deze beweging is overigens zeer samengesteld, want de elektro-magnetische aantrekking neemt toe naarmate de afstand tusschen de elkaar aantrek-kende lichamen afneemt.

te deelen; bovendien blijft de magnetische aantrekking nog na het ophouden van den stroom ontstaan, waaruit volgt dat een elektro-magnetische seintoestel leidt tot het vergrooten van den waarschijnlijksten duur der verschijnselen.

Het is het streven van MARCEL DEPRÈZ geweest de elektro-magnetische seintoestellen zooveel mogelijk van genoemde gebreken te ontdoen.

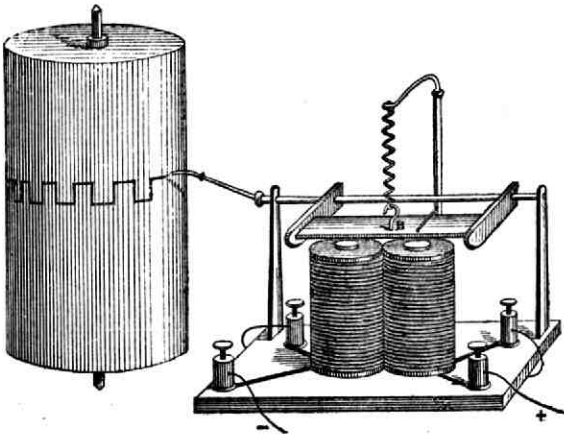


Fig. 253. Theoretische voorstelling van den elektrischen seintoestel van DEPRÈZ.

Beschouwen wij figuur 253, waar twee elektro-magneten zijn voorgesteld, die, op het oogenblik dat de stroom doorgaat, het daarboven geplaatst week ijzer aantrekken en de schrijfstift doen dalen, waardoor op den draaienden cilinder de onderste horizontale lijn ontstaat; maar zoodra het week ijzer is aangetrokken, wordt de stroom weer verbroken en wordt de stift door de spiraalveer naar boven getrokken en nu de bovenste horizontale lijn getraceerd tot op het oogenblik, dat de stroom weer gesloten wordt. Dit afwisselend stijgen en dalen van de getraceerde lijn schijnt volgens verticale lijntjes te geschieden, wanneer men den cilinder niet sneller doet draaien dan overeenkomt met een verplaatsing van een of twee centimeter van den omtrek per seconde. Bij een snellere beweging van den cilinder is echter duidelijk waar te nemen dat de stift langzamerhand van den eenen stand in den anderen overgaat.

Er heeft dus een vertraging plaats in de beweging der stift

bij het openen en sluiten van den stroom. Nu is het noodig deze vertraging te kennen om het juiste oogenblik van het beginnen en het ophouden van een verschijnsel te kunnen bepalen; maar vooral komt het er op aan de oorzaak dier vertraging zooveel mogelijk weg te nemen, ten einde het aantal seinen te vermeerderen, die de toestel in een bepaalden tijd kan geven.

Voor het geval dat de seinen elkaar met korte tusschenpoozen moeten opvolgen, moet men den tijd, gedurende welken het magnetisch worden en het verdwijnen der magneetkracht duurt, zooveel mogelijk verkorten; hierin nu is DEPRÈZ geslaagd; hij heeft het verdwijnen van de magneetkracht en van de beweging,

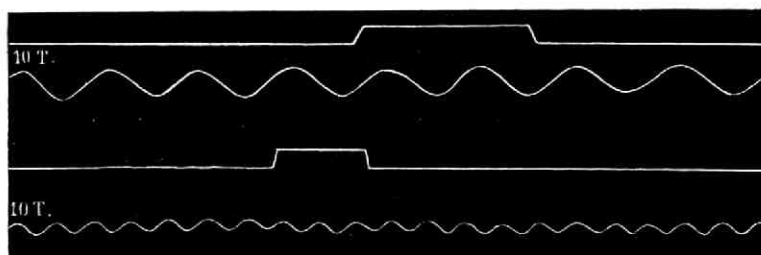


Fig. 254. Bovenste lijn, de lijn van den elektrischen seintoestel; de stijging van het tracé is het sein van het verbreken van den stroom. — Tweede lijn, golflijn van een chronograaf van 10 trillingen; de cilinder draait snel. De twee overige lijnen stellen hetzelfde voor bij een minder snelle cilinderbeweging.

die daarmee gepaard gaat, tot het  $\frac{1}{4000}$  van een sekonde, en den duur van het magnetisch worden tot  $\frac{1}{300}$  sekonde teruggebracht, zoodat nu deze toestellen in een sekonde van 400 tot 450 seinen kunnen geven met een enkel element van BUNSEN. Door in de stroomgeleiding nog een kern, met een stuk week ijzer gewaepend, op te nemen, verkort DEPRÈZ den duur der seinen nog meer, zoodat hij er 700 à 800 in de sekonde verkrijgt. 1)

1) Om die groote snelheid van de seinen te verkrijgen, vermindert DEPRÈZ aanmerkelijk de weekijzeren massa, die door den elektro-magneet wordt aangetrokken; daarbij maakt hij ook de stift en alle andere beweegbare deelen zoo licht mogelijk. Daarentegen geeft hij een sterke spanning aan de veer, die het sluitstuk van den elektro-magneet moet terugtrekken, zoodra deze zijn magneetkracht verliest; deze veer oefent een trek-

Voor physiologisch gebruik moeten de elektrische seintoestellen van DEPRÈZ dezelfde lengte en dezelfde afmeting hebben als de andere registreertoestellen

In fig. 214, pag. 418 is een seintoestel van DEPRÈZ voorgesteld, opgesteld naast een trommel met hefboom; de twee toestellen zijn even lang, zoodat hunne aanwijzingen volkomen gelijktijdig geregistreerd kunnen worden.

Voor het geval dat men over een voldoende ruimte kan beschikken om een grooteren toestel te plaatsen, kan men gebruik maken van het werktuig, in fig. 255 voorgesteld, waarin een caoutchouc-

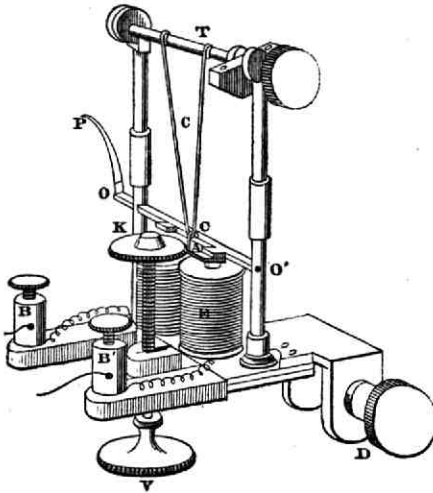


Fig. 255. Seintoestel waarbij de spanning van de veer van het sluitstuk geregeld kan worden.

draad geslagen is om een as T en verder is vastgemaakt aan een haakje, dat bevestigd is aan het sluitstuk A; door dezen draad wordt het sluitstuk, dat om de as  $oo'$  draait, met meer of minder kracht naar boven getrokken; de registreerstift  $oP$  is aan de as  $oo'$  bevestigd.

kracht uit van nagenoeg 200 gram op een sluitstuk dat slechts 120 milligram weegt; de beweging kan dus zeer snel zijn. (De snelheid van de stift zou, nadat hij een millimeter heeft doorloopen, 10 meter in de sekonde bedragen).

Door het plaatsen van een tweeden elektro-magneet in de stroomgeleiding ontstaan er op het oogenblik van het openen en sluiten van den stroom extra-stroomen die de snelheid, waarmee de magneetkracht opgewekt wordt en verdwijnt, vergrooten.



Verder staat de schroef V in verbinding met een schijfje K, waartegen het sluitstuk aanleunt; door middel van deze schroef kan men dus den afstand tusschen het week ijzer en de kernen van den elektro-magneet regelen.

Het werktuig wordt met de schroef D aan een standaard bevestigd. De tijd, die voor het magnetisch worden en voor het verdwijnen der magneetkracht noodig is, hangt af van den afstand waarop het sluitstuk van den elektromagneet is verwijderd, van de dikte der draden, de hoedanigheid van het ijzer, enz. Men zal dus noodzakelijkerwijze de vertraging, die bij het magnetisch worden en bij het verdwijnen der magneetkracht plaats heeft, altijd eenigszins op het gevoel moeten regelen en tot een bekend bedrag terugbrengen. Maar voor alles blijft het noodig de grootte van deze vertraging te kunnen bepalen; wij zullen daarom nagaan op welke wijze dit kan geschieden.

#### **Vertraging der elektrische seinen.**

HELMHOLTZ heeft een methode uitgedacht, waardoor men met bizondere juistheid de vertraging van een elektrisch sein kan bepalen. Daartoe wordt op den cilinder de plaats aangegeven, waar het seinteeken zou ontstaan, indien er geen vertraging plaats vond; door vergelijking met de plaats, waar het seinteeken in werkelijkheid gevormd wordt, vindt men de vertraging. De proef wordt hierbij zoo ingericht, dat de cilinder zelf op een zeker oogenblik gedurende zijn omwenteling den elektrischen stroom verbreekt of sluit.

Eerst laat men nu den cilinder zeer langzaam bewegen op het oogenblik waarop het sein zal worden opgeteekend, zoodat de snelheid van beweging op nul kan gesteld worden. Daarna geeft men aan den cilinder zijn wentelende beweging en laat het sein weer opteekenen. Dit tweede teeken bevindt zich nu iets verder dan het eerste, omdat van af het oogenblik waarop de stroom is verbroken tot het oogenblik waarop het weer is opgeteekend, de cilinder een gedeelte van zijn wenteling heeft volbracht. Dit bedrag, met den chronograaf gemeten, geeft nauwkeurig de vertraging van het sein aan.

Op overeenkomstige wijze heeft DEPRÈZ de vertraging van zijn

seintoestellen bepaald. Hij brengt daartoe in een der grondvlakken van den draaienden cilinder een sector van gehard caoutchouc aan. Twee metalen stukken, die ieder in aanraking zijn met het grondvlak van den cilinder, sluiten den stroom wanneer zij met het metaal des cilinders in aanraking zijn; de stroom is verbroken, wanneer de isoleerende sector zich onder die stukken bevindt. Na zonder snelheid de plaats der seinen van het openen en sluiten van den stroom bepaald te hebben, bepaalt men op nieuw de plaats van die seinen, wanneer de cilinder zeer snel draait.

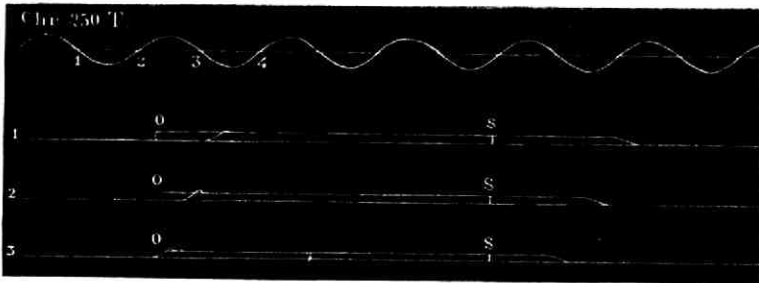


Fig. 256. Bovenste gollijn, chronografisch traec van 250 trillingen; de cijfers 1, 2, 3 en 4 wijzen de tijddeelen aan die met  $\frac{1}{500}$  sekonde overeenkomen. Lijn 1, O, oogenblik waarop de stroom verbroken wordt; het schuine lijntje geeft de beweging der stift aan op het oogenblik dat de magneetkracht verdwijnt. Deze vertraging overtreft het  $\frac{1}{500}$  van een sekonde. S, sluiting van den stroom; het daaropvolgend hellend lijntje is het seinteken van het maguetisch worden; de vertraging bedraagt hier ongeveer  $\frac{1}{200}$  sekonde. — Lijnen 2 en 3, tragsgewijze vermindering der vertragingen.

DEPRÉZ heeft de vertraging bij zijn toestellen tot op  $\frac{1}{30000}$  van een sekonde teruggebracht, terwijl met zijn nieuwste toestellen 1500 dubbele seinen in de sekonde en 3000 seinen kunnen worden gegeven, wanneer men afzonderlijk de openings- en sluitingsstroom gebruikt.

#### Met gelijkmaken van de vertragingen der elektrische seinen.

Alle tijdmetingen hebben nagenoeg altijd ten doel verhoudingen en opeenvolgingen te bepalen, zoodat wanneer verschillende seintoestellen tegelijk worden aangewend, die elk een bijzonder ver-

schijnsel aangeven, de betrekking van de onderlinge opvolging van die verschijnselen niet zal veranderen, wanneer elk dier seintoestellen met dezelfde vertraging werkt. Daarom is het van veel belang bij seintoestellen, die gelijktijdig moeten worden aangewend, de vertragingen zooveel mogelijk gelijk te maken. Geeft men aan seintoestellen van dezelfde constructie, van eenzelfde ijzer-soort, dezelfde geleiddraden, dezelfde afmetingen in alle deelen, dan is het hoogstwaarschijnlijk, dat wanneer die toestellen allen op dezelfde wijze geregeld zijn, zij ook op volkomen gelijke wijze zullen werken. Volgens de boven aangegeven methode van HELMHOLTZ kan men de vertragingen van die toestellen ten opzichte van elkaar vergelijken en bij een mogelijk verschil met behulp van de schroeven ze met betrekking tot elkaar regelen. Hierbij is op te merken dat de vertraging bij het verdwijnen der magneetkracht van twee zaken afhankelijk is: van den duur van het afnemen der magneetkracht en van de kracht waarmee het sluitstuk door zijn veer wordt weggetrokken. Daar nu tengevolge van hun constructie al deze toestellen hoogstwaarschijnlijk gelijke elektro-magnetische hoedanigheden bezitten, moet men zich dus vooral van de volkomen gelijkheid van de werking der veeren overtuigen.

DEPRÉZ gaat hiertoe aldus te werk: voor de veeren gebruikt hij vrij lange caoutchoucdraden, waaraan gelijke gewichten zijn opgehangen; zijn deze draden uitgerekt en de gewichten in evenwicht met de veerkracht der gespannen draden, dan kan men deze in hun gespannen stand bevestigen en de gewichten weg nemen; men weet nu stellig dat alle draden even sterk gespannen zijn en dus gelijke trekkrachten uitoefenen. In 't algemeen bedient men zich hierbij van een enkel gewicht, waarmee men achtereenvolgens al de caoutchoucdraden spant.

#### **Vertraging der luchtseinen.**

Deze vertraging is recht evenredig met de lengte en omgekeerd evenredig met de doorsnede der buizen. De veerkracht der buizen kan hierbij verwaarloosd worden, daar de drukking der lucht, die noodig is voor het overbrengen der seinen, te zwak is om deze veerkracht in de beweging te doen deelen.

Om de snelheid van overbrenging door de lucht te meten, maakt men gebruik van den toestel, die in fig. 68, pag 156, is voorgesteld; de beide trommels worden aan een zelfden staander zoodanig bevestigd, dat de punten der registreerstiften juist vertikaal boven elkaar komen te liggen. Men laat den cilinder wentelen en terwijl nu de twee onbewegelijke stiften twee evenwijdige rechte lijnen op het zwart gemaakt papier traceeren, klopt men op de buis, zoodat deze op dat oogenblik een weinig wordt samengedrukt. Door deze plotselinge drukking ontstaan er twee luchtstooten in tegengestelde richting, die elk op een der beide trommels werken. Er worden nu twee seinen opgeteekend (fig. 257) die juist boven elkaar zouden liggen, dus die synchro-

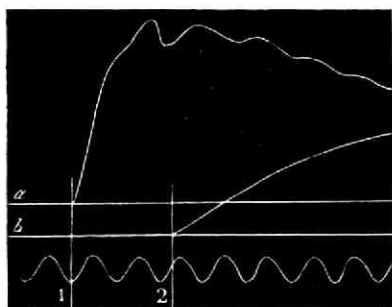


Fig. 257. Vertraging der luchtseinen.

nistisch zouden zijn, indien de stoot juist in het midden der buis had plaats gehad; is dit echter niet het geval geweest, dan liggen die seinteekens op een zekeren afstand van elkaar. Men behoeft nu slechts dezen afstand met den chronograaf in tijddeelen uit te drukken en het verschil in lengte te kennen van de deelen der buis, gerekend van de uiteinden tot het punt, waar de stoot is aangebracht, om onmiddelijk de snelheid van voortplanting der luchtseinen hieruit te kunnen berekenen.

Deze snelheid nadert des te meer tot de snelheid van voortplanting van het geluid, naarmate men wijdere buizen gebruikt.

Voor buizen van 4 millimeter middellijn bedraagt zij 280 meter per sekonde.

Het is bijna overbodig te vermelden dat het voor 't geval, dat men twee toestellen voor luchtseinen gebruikt, voordeelig is

aan de buizen, door welke de seinen worden overgebracht, juist dezelfde lengte te geven.

**Het meten van den duur van psychische werkingen  
volgens de methode van Donders.**

Volgens de proefnemingen van HIRSCH reageeren wij met verschillende snelheid op een indruk, dien een onzer zintuigen ontvangt. DONDERS, die deze proeven heeft herhaald, vond dat de tijd, die tusschen een gevoelsindruk en de daarop volgende reactie verliep, bijna  $\frac{1}{4}$ <sup>e</sup> seconde bedroeg; bij de indrukken op het gehoorwerktuig zou de vertraging  $\frac{1}{6}$ <sup>e</sup>, en bij de gezichtsindrukken  $\frac{1}{3}$ <sup>e</sup> seconde bedragen.

Het valt vrij moeilijk te bepalen welk aandeel de hersenwerking in deze vertraging heeft, aangezien volgens DONDERS de totale vertraging uit de volgende elementen is samengesteld:

1. De werking op de voor indrukken gevoelige elementen van de organen der zintuigen.
2. De mededeeling aan de peripherische gangliëncellen en de toeneming van de werking, die noodig is voor de ontlading.
3. De overbrenging door de gevoelszenuwen tot aan de gangliëncellen van het ruggemerg.
4. De toenemende werking in deze cellen.
5. De overbrenging tot aan de zenuwcellen van het waarnemingsorgaan.
6. De toenemende werking in deze cellen.
7. De toenemende werking van de zenuwcellen van het orgaan van den wil.
8. De overbrenging tot aan de cellen der motorische zenuwen.
9. De toenemende werking van deze cellen.
10. De overbrenging door de beweegzenuwen tot aan de spieren.
11. De latente werking in de spier.
12. De toenemende werking die noodig is om den weerstand van den seingever te overwinnen.

Van deze verschillende elementen kan men alleen de snelheid van voortplanting in de zenuwen en de latente werking in de spieren bepalen. Door de totale vertraging met dezen tijdduur te verminderen, komt men tot het besluit dat de psychische werking zelve minder dan  $\frac{1}{10}$ <sup>e</sup> seconde duurt.

Bij de proefnemingen merkt men echter dikwijls een grootere vertraging op; deze zal zich altijd voordoen wanneer de hersenwerking samengesteld is, inplaats van zich tot een enkelvoudige reactie op een ontvangen prikkeling te bepalen. Ook is de vertraging altijd grooter, wanneer de reactie verschillend moet zijn volgens den aard of de hoedanigheid der indrukken.

**Bepaling van den tijd gedurende welken de dalende beweging van den vleugel van een vogel plaats heeft.**

Enkele theoretische beschouwingen leiden tot de meening dat een vogel, naarmate hij zich sneller verplaatst, in de lucht een meer weerstandbiedend steunpunt vindt, waaruit volgens de bekende wetten der spierwerking een vertraging van de dalende beweging der vleugels moet voortvloeijen. Om de juistheid van deze hypothese nategaan, was het noodig chronografisch den duur van de dalende vleugelbeweging en de snelheid, waarmee een vogel zich verplaatst, te meten.

Daar hier een zuiver werktuigkundig vraagstuk moest opgelost worden, kon men van een kunstvogel gebruik maken waarbij met behulp van een veer het dalen van den vleugel met een standvastige kracht plaats had. Op elektro-magnetische wijze werd het dalen van den vleugel opgewekt; evenzoo werd bij het einde der daling weder een elektrische stroom gesloten. Door een elektro-magnetischen seintoestel werd het begin van het dalen van den vleugel opgeschreven als een stijging van de getraceerde lijn, terwijl door het dalen van deze lijn het einde der daling van den vleugel werd aangegeven. 1)

Figuur 258 toont ons de uitkomsten van 6 achtereenvolgende waarnemingen. Bij elke proef wijst de bovenste lijn *a* door een meer of minder langdurige verheffing den duur van het dalen van den vleugel aan; men bemerkt dat deze duur van de eerste tot de zesde proefneming steeds aangroeit. De onderste lijn in de figuur wijst den duur van één sekonde aan.

Bij de eerste proef werd de vogel niet voortbewogen; de snel-

---

1) Zie voor verdere bijzonderheden hieromtrent *Travaux du laboratoire*, 1e jaargang, pag. 216.

heid van voortbeweging werd bij de volgende proefnemingen steeds grooter, zooals door de lijnen *b* wordt aangewezen; uit deze chronografische tracé's *b* kan men toch de snelheid van ver-

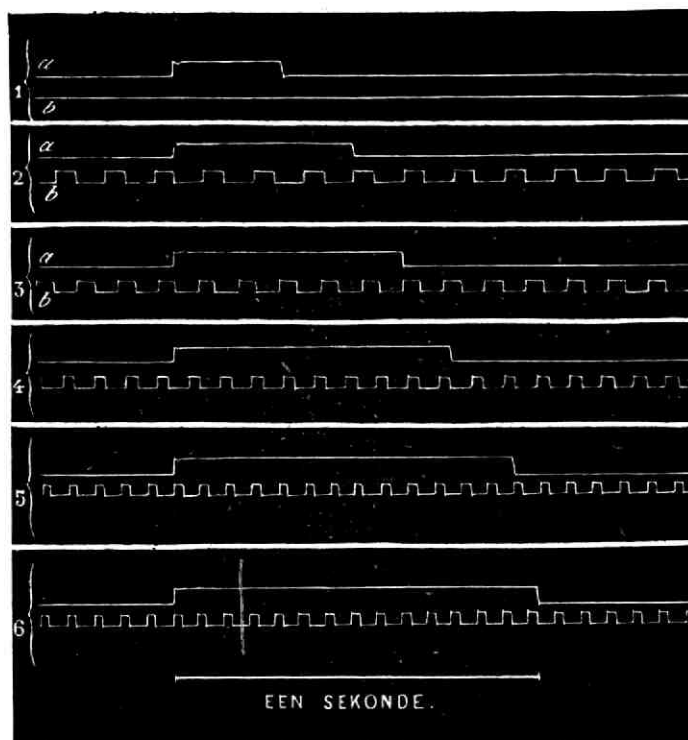


Fig. 258. Bepaling van den tijd gedurende welken de dalende beweging van den vleugel van een kunstvogel, die zich meer of minder snel voortbeweegt, plaats heeft.

plaatsing nauwkeurig berekenen, daar de vogel in beweging werd gebracht door middel van een koord, dat om een schijf van bekende middellijn was geslagen; elke omwenteling der schijf werd door twee seinen van een elektro-magnetischen toestel aangegeven, zoodat hoe meer seinen in de lijnen *b* opgenomen werden, des te sneller was de verplaatsing geweest.

Zoo is dan hier chronografisch aangetoond dat de duur van het dalen van den vleugel toeneemt in reden van de snelheid van verplaatsing.

### Merkstrepen.

Wanneer verscheidene lijnen onder elkaar zijn getraceerd en men wil nauwkeurig nagaan of sommige punten van die lijnen juist onder elkaar liggen, dan zou het niet voldoende zijn dit op het oog te beoordeelen. Vooral wanneer de tracé's een groote amplitude hebben, moet men in aanmerking nemen dat de punt der registreerstift een cirkelboog beschrijft en zich daarbij meer of minder van de vertikaal verwijderd. (Zie fig. 268.)

Men maakt dan voor een dergelijke beoordeeling bij twee lijnen, die gelijktijdig zijn getraceerd, gebruik van merkstrepen, die verkregen worden als volgt:

Nadat op den cilinder onderscheidene lijnen zijn getraceerd, laat men den cilinder stilstaan en drukt al de registreerende hefboomen tegen het papier in eenig punt, dat dicht bij die plaatsen van de lijnen is gelegen waarvan men de bijzonderheden onderling wil vergelijken; daarna, terwijl de cilinder steeds onbewegelijk blijft, worden al de luchtbuizen samengedrukt, die op de trommels met hefboom werken. Worden er tevens elektro-magnetische seinstoestellen gebruikt, dan laat men ook deze werken. Ligt men vervolgens de registreerstiften weer op, dan ziet men op het papier eenige streepjes of cirkelboogjes, en dit zijn nu de merkteekenen, bestemd om het gewenschte onderzoek zoo nauwkeurig mogelijk te verrichten.

Men neemt nu een gedeelte van de eerste lijn, begrepen tusschen het merkstreepje en een bepaald punt, dat men wil onderzoeken, tusschen den passer, en brengt deze passerswijdte over op een tweede lijn, om te zien of de afstand tusschen een merkstreepje en een bepaald punt der tweede lijn, even groot is als het gemeten deel van de eerste lijn. Op deze wijze bevestigt men het synchronisme van twee verschijnselen; zoo is bijv. het volkomen synchronisme van de systolen der beide hartkamers bepaald.

Ook voor het meten van de vertraging van twee werkingen, of van het tijdsverschil tusschen de oogenblikken, waarop twee verschijnselen plaats hebben, maakt men gebruik van deze merkstreepjes.

Figuur 259 toont bijv. aan de uitwerking van opgewekte on-



regelmatigheden in de hartkloppingen op de arterieele drukking. Met behulp van de merkstreepjes E, door gestippelde lijntjes voorgesteld, laten zich de lijntjes gemakkelijk met elkaar vergelijken.

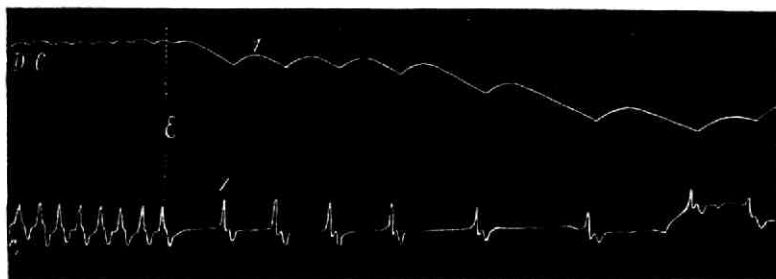


Fig. 259. D. C. Drukking in de carotis van een konijn; A hartslagen. In het punt E worden de neusgaten met een druppel ammoniak geprikkeld. — De hartslagen worden minder frequent terwijl de drukking vermindert. Bij het einde van het tracé volgen twee hartkloppingen sneller op elkaar; de drukking begint te stijgen. (Proeven van FRANÇOIS FRANCK.)

In de figuren 140 en 144 bemerkt men dat de cirkelboogjes, die aldaar de merkteekens uitmaken, in tegengestelden zin zijn getraceerd. De reden hiervan is dat bij de toestellen, die voor het traceeren van deze lijnen zijn gebruikt, de punten der beide hefboomen naar elkaar toe waren gekeerd. Bij de verbinding van den hemodromograaf van CHAUVÉAU met den sphygmomkoop (zie fig. 132 pag. 267) wordt dit vermeden, zoodat hiermee de boogjes in denzelfden zin worden getraceerd.

## VIERDE HOOFDSTUK.

### HET REGISTREREEN VAN RECHTLIJNIGE BEWEGINGEN MET ONVERANDERLIJKE EN MET VERANDERLIJKE RICHTING.

Beschouwing van de lijn die bij het werktuig van PONCELET en MORIN door een vallend lichaam getraceerd wordt. Wet der snelheden Evenredigheid van de snelheden met de krachten. — Samenstelling van den hodograaf. Beschouwing van het tracé verkregen van een in beweging zijnd rijtuig. — Toestel om de bewegingen gedurende het loopen te registreeren. — Elektrische relais. — Wijze waarop de slede met schrijfstift moet voortbewogen worden. — Vereischten van een goede registreerstift. — Voorzorgen in acht te nemen bij het bevestigen van een registreerstift. — Het ontwijken en de correctie van de misvorming die in het tracé ontstaat tengevolge van den cirkelboog, dien de hefboom beschrijft.

#### Beschouwing van de lijn die bij het werktuig van Poncelet en Morin door een vallend lichaam getraceerd wordt.

Wanneer men door het beginpunt  $O$  der kromme lijn (fig. 260) een lijn  $O X$  trekt evenwijdig aan de as van den cilinder, dan kan men op deze lijn als ordinaten-as de tijddeelen afmeten; op

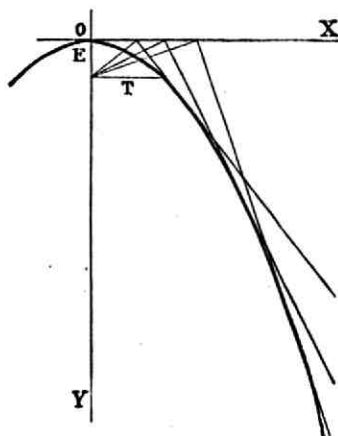


Fig. 260. Parabolische lijn, getraceerd door een vallend lichaam.

de lijn  $O Y$ , loodrecht op  $O X$  getrokken, dus op de as der abscissen, telt men de doorloopen wegen. Men kan zich nu overtuigen dat voor de verschillende punten der kromme lijn de vier-

kanten der ordinaten evenredig zijn met de abscissen, d. w. z.: *de doorloopen wegen zijn evenredig met de vierkanten der tijden*, hetgeen juist de wet der eenparig versnelde beweging uitdrukt.

Hieruit volgt dat de kromme lijn een parabool is; 1) trekt men in verschillende punten raaklijnen aan de kromme, dan zullen de loodlijnen, op deze raaklijnen opgericht in de punten waar zij de lijn  $O X$  snijden, elkaar allen ontmoeten in één punt, het brandpunt van de parabool.

### Wet der snelheden.

De wet der snelheden van vallende lichamen luidt aldus: de snelheden zijn evenredig met de tijden. Ook deze wet kan uit de getraceerde parabool worden afgeleid; de snelheid in eenig punt der parabool wordt toch uitgedrukt door den tangens van den hoek, dien de raaklijn aan dit punt maakt met de as  $O X$ ; \* uit een eenvoudige meetkundige beschouwing blijkt nu dat de tangens van dezen hoek ook gevonden wordt door de ordinaat van het beschouwde punt der kromme te deelen door de tot dit punt behorende subnormaal; nu is de subnormaal van elk punt der parabool standvastig en wel gelijk aan den halven parameter. Noemt men dus de snelheid voor eenig punt der getraceerde parabool  $V$ , de ordinaat van het punt  $T$  (volgens het bovenstaande wordt toch door de lengte der ordinaat den tijd aangegeven dien het vallende lichaam heeft besteed om van  $O$  af den weg te doorloopen, gelijk aan de abscis van het beschouwde punt), de parameter  $2p$ , dan is  $V = \frac{T}{p}$  of  $\frac{V}{T} = \frac{1}{p}$ . Daar nu de verhouding  $\frac{V}{T}$  constant is, volgt daaruit dat de snelheden evenredig zijn met de tijden. \*

1) \* De topvergelijking van de parabool is toch  $y^2 = 2px$ , waarin  $2p$  een constante grootheid is, de *parameter* genoemd. Deze vergelijking geeft dus aan dat voor alle punten der parabool de vierkanten der ordinaten evenredig zijn met de abscissen. In deze vergelijking ligt dus de wet van de eenparig versnelde beweging opgesloten, zoodat de grafische uitdrukking voor deze wet altijd de parabool moet zijn. Zie nog hieromtrent: JAEGER, *Beginselen der Analytische Meetkunde van het platte vlak*, Hoofdst. X, 's Hage, HENRI J. STEMBERG. \*

Ook de standvastige versnelling der zwaartekracht voor een bepaalde plaats kan met het werktuig van PONCELET en MORIN gemakkelijk bepaald worden. \* Zij wordt uit de parabool door de waarde van  $\frac{1}{p}$  gevonden. \*

#### Evenredigheid van de snelheden met de krachten.

Door MORIN en TRESCA is deze wet aangetoond voor krachten, die kleiner waren dan de zwaartekracht. Daartoe verbonden zij het vallend lichaam door middel van een draad aan een ander lichaam, dat zich vrij over een zeer glad plat vlak kon bewegen; dit laatste lichaam werd dus door den val van het eerste mee-gesleept.

Daar de zwaartekracht nu slechts op één der lichamen kon werken en een massa moest voortbewegen, gelijk aan  $\frac{P+p}{g}$ , volgde hieruit een geringere snelheid, terwijl toch de beweging eenparig versneld bleef.

Voor deze soort van proeven kan men ook met vrucht van het werktuig van Atwood gebruik maken; de draad, die de gewichten  $P$  en  $p$  verbindt, wordt nu over een der raderen geslagen; zoodoende worden de aanmerkelijke wrijvingsweerstand vermeden, die met het gebruik van een ondersteuningsvlak altijd gepaard gaan.

Voor krachten, grooter dan de zwaartekracht, kan men tot een lichaam, dat met constante veerkracht werkt, zijn toevlucht nemen. Elke constante kracht toch werkt als de zwaartekracht, d. w. z. deelt aan een massa een eenparig versnelde beweging mede. Gesteld dat een veer met een constante kracht van bijv. 200 gram op een massa werkt, die slechts 100 gram weegt, en deze massa in horizontale richting voortbeweegt, dan zal daardoor deze massa een eenparig versnelde beweging verkrijgen, wier snelheid dubbel zoo groot zal zijn als die, welke de zwaartekracht aan deze massa zou hebben gegeven. Men kan de proef op de volgende wijze inrichten:

Boven een met roetzwart bedekten cilinder, die een eenparige ronddraaiende beweging bezit, plaatst men een slede (fig 261), die van 4 kleine wielen is voorzien, waardoor zij gemakkelijk over twee smalle richels, evenwijdig aan de cilinder-as kan

voortbewogen worden. Is nu de slede door middel van een draad aan een haakje bevestigd, zooals de figuur aantoont, en aan den anderen kant voorzien van een draad, die over een schijf loopt en een gewicht  $G$  draagt; dan zal op het oogenblik waarop de draad, die de slede tegenhoudt, wordt doorgebrand, de slede door het gewicht worden voortgetrokken en zal de lijn traceeren van de eenparig versnelde beweging.

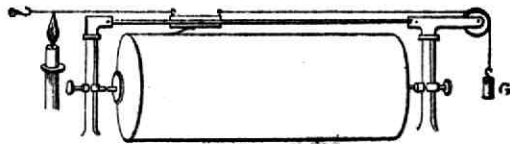


Fig. 261. Inrichting van den toestel, waarmede de wetten van de eenparig versnelde beweging onder de werking der zwaartekracht of van andere standvastige krachten grafisch worden bewezen.

Wordt nu het gewicht  $G$  opgehangen aan een caoutchouddraad van een meter lengte, dan heeft men in dezen draad een veer, die met constante kracht werkt; de draad rekt uit en krijgt een veerkracht (spanning) gelijk aan  $G$ .

Op het oogenblik nu dat de andere draad wordt doorgebrand, stelt zich de slede in beweging, onder de werking der veerkracht  $G$  van den caoutchouddraad. Daar nu het gewicht van de slede tweemaal, driemaal, enz. kleiner kan zijn dan  $G$ , zal deze veerkracht aan de slede bewegingen kunnen meedeelen, wier versnelingen tweemaal, driemaal, enz. grooter zullen zijn dan die van de zwaartekracht. Het gewicht van de slede wordt veranderd door losse stukken, die men van de slede kan wegnemen of daaraan toevoegen. Figuur 262 toont enkele lijnen aan, die met dezen toestel zijn verkregen.

Wanneer het gewicht van  $G$  gelijk was aan dat van de slede, zoodat bijv. elk van beiden 100 gram woog, dan waren de omstandigheden dezelfde alsof de slede onder de werking der zwaartekracht viel; alsdan werd de lijn 1 getraceerd. Bleef het gewicht van  $G$  even groot, maar werd dat van de slede door het opleggen van de losse stukken tot 200 gram verdubbeld, dan werd de lijn 2 beschreven: de snelheid was nu tweemaal kleiner; werd het gewicht van de slede verminderd tot de helft, 50 gram, dan werd de snelheid

tweemaal groter. \* Deze uitkomst sluit weer geheel aan bij onze bovenstaande beschouwing (pag. 506); de snelheid  $V$  bleek toch omgekeerd evenredig te zijn met de grootheid  $p$ ; inderdaad is

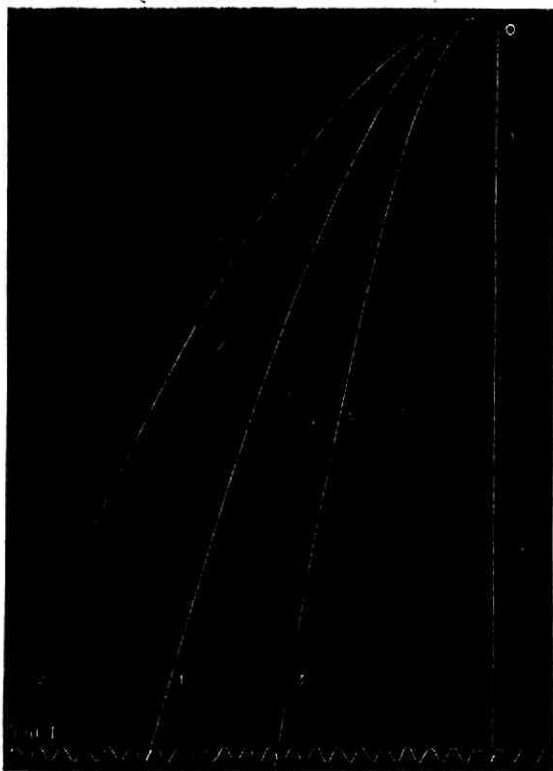


Fig. 262. Lijnen getraceerd met den toestel van fig. 261. — 1. Val onder de werking der zwaartekracht. — 2. Val onder de werking van een kracht gelijk aan de helft der zwaartekracht. — 3. Val onder de werking eener kracht gelijk aan het dubbel der zwaartekracht.

in lijn 2 (fig. 262) de parameter tweemaal groter dan die van de parabool 1; in lijn 3 is de parameter de helft van die van lijn 1. Na gelijke tijden, dus voor dezelfde waarden van  $T$ , moet dus  $V$  voor lijn 2 tweemaal kleiner, voor lijn 3 tweemaal groter zijn dan voor lijn 1. \*

### Samenstelling van den hodograaf.

Het raderuurwerk, dienende om den cilinder in beweging te brengen, alsmede het raderwerk, waardoor de stift bewogen wordt, zijn beiden in den cilinder geplaatst (fig. 263); hierdoor neemt ook het werktuig zoo weinig mogelijk plaatsruimte in, en blijven deze deelen beveiligd voor stof en andere storende invloeden. De cilinder is door een soort van diaphragma in twee deelen verdeeld; in het onderste deel is het uurwerk geplaatst, waardoor de cilinder rondbewogen wordt; in het bovenste deel bevindt zich het raderwerk voor de stift.

Om de beweging van den cilinder door middel van het raderuurwerk mogelijk te maken, is het diaphragma verbonden met een holle, eenigszins kegelvormige as, waarvan de opening naar beneden is gekeerd. Een massieve kegelvormige as, die verbonden is met de trommel van het uurwerk, grijpt in de opening en neemt bij haar omwenteling den cilinder mede; de omwentelingssnelheid wordt geregeld op zes cM. papier per uur.

In het bovenste deel van den cilinder wordt de schrijfstift in beweging gebracht; een luchtbus mondt uit in een metalen trommel, waarvan het membraan van geoliede zijde is vervaardigd. Dit vlies laat bij het heen- en weergaan telkens een tand voorbijgaan van een rad; dit rad is tevens de kop van een lange schroef, die in een der holle zijkolommen van het werktuig is aangebracht. Deze schroef loopt door een moer, die de registreerstift bevat; bij elke geheele omdraaiing van de schroef zal de stift ter hoogte van een pas zijn gestegen, hetgeen overeenkomt met  $\frac{1}{2}$  millimeter; heeft de schroefkop honderd tanden, dan zijn er twee honderd luchtstooten, dus 200 omwentelingen van het wagenrad noodig, om de stift één millimeter te laten doorloopen. Is de stift met haar draagstuk aan het bovenste punt van de kolom gekomen, dan valt dit door zijn eigen gewicht naar beneden, zoodat nu de stift onmiddelijk een tweede klimmende lijn kan traceeren. De tracé's van den hodograaf sluiten volkomen zuiver bij elkaar aan, zoodat het eindpunt van het eene tracé op éézelfde vertikaal is gelegen met het beginpunt van het volgende. Op deze wijze kan men als 't ware een onbepaald groot aantal lijnen op het papier van den

cilinder laten opschrijven, zonder dat men voor verwarring of samenvalling behoeft te vreezen.

**Beschouwing van het tracé verkregen van een in beweging zijnd rijtuig.**

Zij in fig. 264 A de lijn, die van een in beweging zijnd rijtuig met den hodograaf is verkregen. Reeds bij den eersten oogopslag ziet men dat de helling van deze lijn met betrekking tot de horizontale lijn veranderlijk is; soms loopt de lijn juist horizontaal; die gevallen wijzen op een volkomen stilstand van het voertuig; nu en dan is de stijging vrij snel; hoe sneller de lijn klimt, des te sneller is de beweging geweest, d. w. z. des te meer omwen-

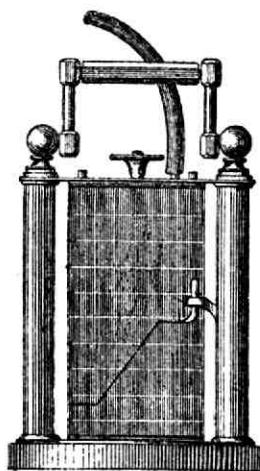


Fig. 263. De hodograaf.

telingen heeft het wagenrad in een bepaalden tijd gemaakt. Let men op de verschillende hellingen en op het meer of minder goed onderhoud van den weg, dan bevindt men dat een snelle stijging van de lijn bijna altijd met een daling of met een beter onderhouden gedeelte van den weg overeenkomt. Omgekeerd, wanneer de lijn langzaam stijgt, is dit veelal te wijten aan een opgaande helling, een minder goed onderhouden of nieuw bestraat gedeelte van den weg, enz. Deze voorloopige opmerkingen betreffende de betrekkelijke snelheden van de beweging in de ver-



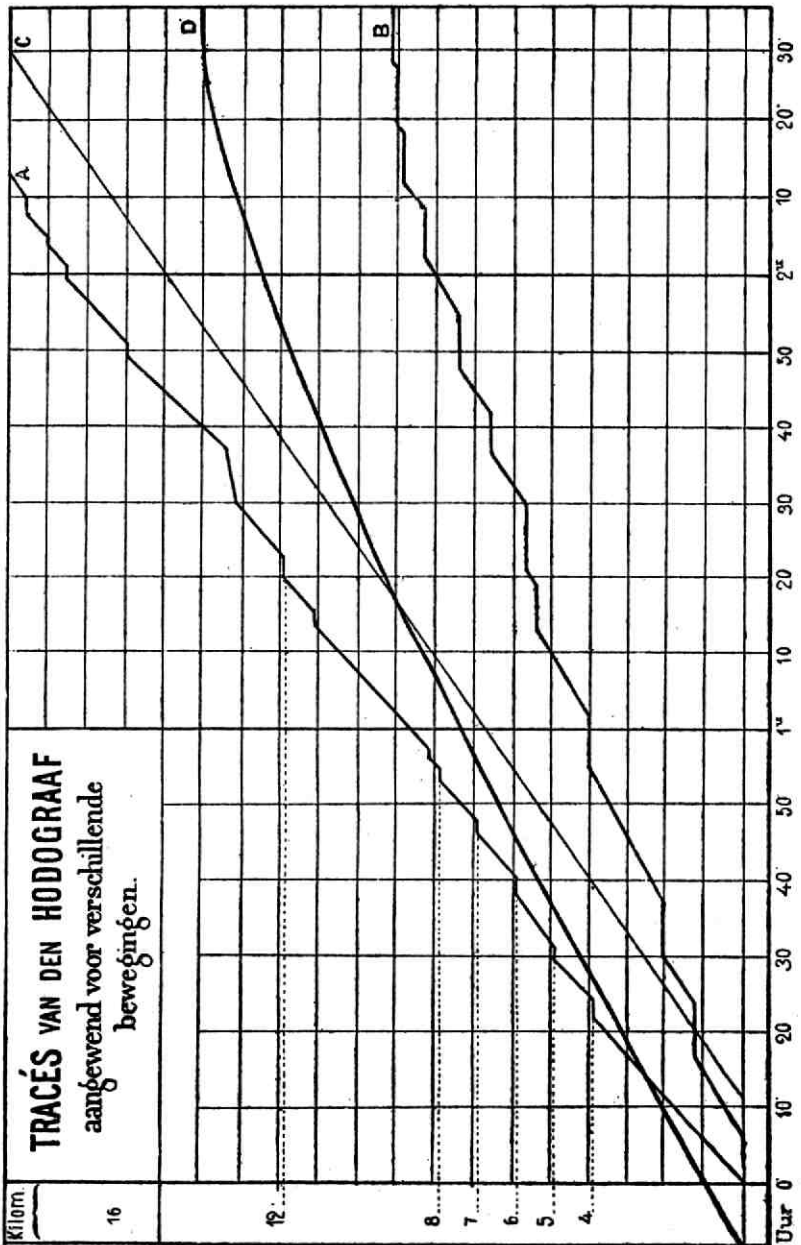


Fig. 264. Tracés verkregen met den hodograaf.

schillende oogenblikken zijn van veel minder belang dan de juiste bepalingen, die uit de getraceerde lijn zijn te maken, zooals de bepaling van de volstreckte afstanden tusschen verschillende punten; van den tijd besteed om een bepaald deel van den weg te doorloopen; van den duur van stilstand; van de werkelijke snelheid van het voertuig op een bepaald oogenblik.

De tijdsbepaling volgt onmiddellijk uit de samenstelling van het werktuig; het uurwerk deelt aan den cilinder een volkomen eenparige beweging mede, bijv. van 1 millimeter papier in de minuut. Daaruit volgt dan dat na verloop van een uur 60 millimeters papier voorbij de stift zijn gegaan, zoodat op het gequadrilleerd papier elke millimeter een minuut, elke centimeter 10 minuten voorstelt. Men kan dus van te voren de uurverdelingen gemakkelijk op het papier aangeven.

Het meten van de wegen geschiedt zuiver experimenteel; daartoe houdt men stil bij een mijlpaal, gaat voort tot een volgende mijlpaal, houdt hier weer stil, gaat weer voort tot een derde mijlpaal, enz. Zodoende verkrijgt men een tracé, dat door de oogenblikken van stilstand in gelijke deelen is verdeeld; de vertikale afstand tusschen twee opeenvolgende oogenblikken van stilstand, dus afgemeten op de ordinaten-as, komt nu overeen met een kilometer.

Om deze bepaling zoo juist mogelijk te doen, is het noodig verschillende kilometers te doorloopen; een enkele bepaling, gedaan tusschen twee opvolgende mijlpalen, kan licht tot onnauwkeurigheid leiden, vooral wanneer de proef op een vrij langen weg wordt genomen.

Het is duidelijk dat het bepalen van deze kilometrische schaal voor elk voertuig ook afzonderlijk moet geschieden. Het kan zelfs gebeuren dat op een langen weg een verandering in de schaal kan worden teweeg gebracht door het afslijten van de radbanden; over 't algemeen behoeft men echter met deze kleine veranderingen geen rekening te houden.

Na het vaststellen van de tijddeelen en van de kilometrische schaal kan men tot de nauwkeurige analyse van het hodografisch tracé overgaan.

*Bepaling van afstanden.* Op dwarswegen, op wegen door steden of door velden, is het soms zeer lastig afstanden te meten of

te bepalen, welke de kortste weg is die naar een bepaalde plaats voert, waarop verschillende wegen uitloopen. Men doorloopt nu een zekeren weg met den hodograaf en draagt zorg dat zoowel het oogenblik van vertrek, als dat van aankomst door een duidelijk merkbare horizontale streep wordt aangewezen. De afstand dezer strepen, afgemeten op de ordinatenas, zal nu een zeker aantal malen de lengte bevatten, die overeenkomt met een kilometer; hieruit is dus de afstand met juistheid te bepalen; dezelfde proef, herhaald voor een anderen weg, wijst aan welke der twee wegen de kortste is.

*Bepaling van den voor het afleggen van een weg besteden tijd.* Men laat zoowel uit het begin- als uit het eindpunt van het tracé loodlijnen vallen op de x-as: het aantal millimeters, begrepen tusschen de voetpunten dezer loodlijnen, geeft het aantal minuten aan, die voor het afleggen van den weg zijn besteed. Om den totalen duur van oponthoud te bepalen, verricht men dezelfde constructie voor elk der horizontale deelen die in het tracé voorkomen; de som dezer projecties geeft den tijd van oponthoud aan.

Nu de afstand en de tijd bekend zijn, is de snelheid, waarmee de geheele weg, of een deel van den weg is doorlopen, alsmede de gemiddelde snelheid gemakkelijk te berekenen.

#### **Toestel om de bewegingen gedurende het loopen te registreeren.**

Ofschoon het vrij gemakkelijk schijnt om de aanmerkelijke kracht, die het been bij het loopen uitoefent, aan te wenden tot het voortbrengen van luchtstooten in den hodograaf, stuit men toch bij deze proefnemingen op een tal van bezwaren; die eigenaardige bezwaren zullen hier met een enkel woord worden vermeld, ten einde daardoor proefnemers, die zich met dit onderwerp zouden willen bezighouden, voor vruchteloze pogingen en moeite te bewaren.

De krachtige opzwellung van de spieren, die men gewaar wordt wanneer men gedurende het loopen de hand op de dij legt, schijnt wel in de eerste plaats voor dit doel geschikt. Wordt nu de dij met een soort van dijharnas omsloten, dan zou men kunnen verwachten dat de vormveranderingen van de dij een dergelijke uit-

werking teweeg zouden brengen als de volumeveranderingen van den thorax bij het registreeren der ademhalingsbewegingen. In deze verwachting wordt men teleurgesteld doordat de totale omtrek van de dij zeer weinig verandert; want terwijl de buigspieren zich samentrekken, verslappen de trekspieren, en omgekeerd. — Een toestel, waarmee de opzwellings der spieren zelf wordt opgevangen, geeft betere resultaten, maar hierbij ontmoet men weer dit bezwaar dat de knoop van den ontvangtoestel zich te veel verplaatst. Door een soort van breukband kan men wel een tamelijk vast steunpunt vinden voor den toestel; maar dit veroorzaakt een ondragelijken last, zoodat het beter is naar een ander middel omtezien.

Het meest verkieselijk middel bestaat dus daarin dat men gebruik maakt van het steunen van den voet op den grond. Daartoe kan men zich van de inrichting bedienen, die in figuur 83 pag. 166 is voorgesteld; de kleine holte, die in een dikke zool van caoutchouc is aangebracht, kan zeer goed dienen om den hodoograaf in werking te brengen. Dergelijke zolen zijn echter zeer ongemakkelijk bij het doorloopen van groote afstanden, zoodat het hiervoor van belang is dezen toestel een weinig te wijzigen. Men kan dan in de buiging van de zool een toestelletje aanbrenge, dat met vier schroeven aan den hiel wordt bevestigd; dit toestelletje bestaat uit een klein zakje met sterke wanden, dat telkens, wanneer de voet wordt neergezet, door een soort van stop, die door een klein uitstekend stukje, dat door een scharnier aan de voorzijde van den hiel is verbonden, wordt platgedrukt. Een dun buisje gaat langs de binnenzijde van den voet naar boven en is verbonden met een caoutchoucbuis met dikke wanden, die door de broekspijp loopt tot aan het middel, om zich van daar naar den hodoograaf te begeven.

Het dragen van zulk een toestel veroorzaakt geen last en men kan hiermee op een gewonen weg in snellen gang gemakkelijk twee en meer mijlen afleggen, zonder dat de toestel onbruikbaar wordt; alleen moet men omzichtig zijn, dat men den voet op den vlakken grond en niet op kleine losse steentjes zet, die het werktuig licht onbruikbaar zouden kunnen maken.

Om eindelijk ook dit laatste bezwaar te ontwijken en den hodoograaf dus op allerlei wegen te kunnen gebruiken, is de toestel aanbevelenswaardig, die in fig. 265 is voorgesteld.

Binnen in den hiel is een kleine luchttrommel aangebracht, waarin zich een koperen veer bevindt. Aan den bovenwand der

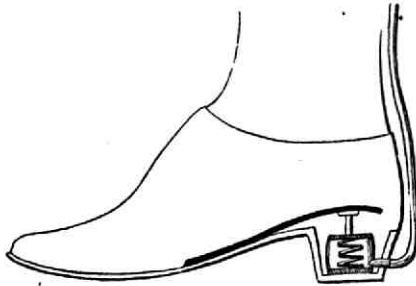


Fig. 265. Schoen bestemd om den hodograaf bij het neerzetten van den voet in werking te brengen.

trommel is een knop bevestigd, waarop een stalen tongetje steunt, dat een deel van de zool uitmaakt. Door het drukken van den voet op dat tongetje wordt bij elken tred de lucht uit de trommel voortgestuwd door een buis, die achter den hiel naar boven loopt.

Door TATIN te Parijs is onlangs een luchtzool samengesteld, die waarschijnlijk nog de voorkeur verdient boven de genoemde toestellen, daar deze in alle schoenen kan aangebracht worden en waarvoor dus geen bijzonder schoeisel vereischt wordt.

#### **Elektrisch relais.**

Wanneer het alleen te doen is om de frequentie van zekere werkingen met tusschenpoozen aan te geven of die frequentie door den hodograaf in den vorm eener lijn te laten registreeren, dan maakt men gewoonlijk gebruik van een elektrisch relais. Een zeer aanbevelenswaardig model, dat uit een stroomverbreker en een elektro-magnetischen toestel bestaat, die dient om den mechanischen arbeid bij tusschenpoozen te doen plaats hebben, is het volgende.

*De stroomverbreker.* — Denken wij ons een trommel met hefboom, welke trommel de beweging opvangt, die den hodograaf in werking moet brengen; wanneer die beweging wordt veroorzaakt door het kloppen van het hart of van een slagader, of door de ademhaling, dan is zij te zwak om den hodograaf direkt in werking te brengen; men laat haar alsdan alleen een blaadje

mica C, in fig. 266 voorgesteld, in beweging brengen, waardoor de afgebroken werking van een elektro-magnetischen toestel wordt

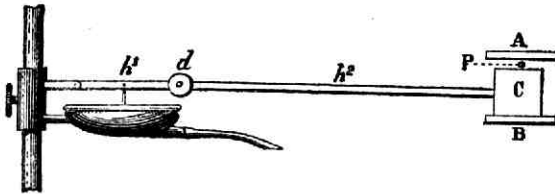


Fig. 266. Stroomverbreker met micaplaatje.

teweegebracht, dien wij aanstonds zullen beschouwen. Het mica-blaadje C is bevestigd aan een hefboom, die in  $d$  gebroken is; de twee stukken van dezen hefboom zijn bevestigd aan schijfjes  $d$ , die op een zelfde as zijn geplaatst. De geringe wrijving van de twee schijfjes is voldoende om het uiteinde van den hefboom  $h^2$  mee te nemen en  $h^2$  in het verlengde van  $h^1$  te houden, wanneer althans de beweging van  $h^2$  geen weerstand ontmoet. De toestel wordt zoodanig geplaatst dat de schommeling van den hefboom in een horizontaal vlak plaats heeft, zoodat in fig. 266 het vlies van de trommel vertikaal zou moeten geplaatst worden.

Het micablaadje is bestemd om bij elke schommeling den elektrischen stroom te verbreken; daartoe doorsnijdt het een kwikdruppel, die in de figuur in P is voorgesteld; deze kwikdruppel verbindt de uiteinden van den geleidraad; een dergelijke inrichting treft men wel bij de sterrekundige uurwerken aan. Deze toestel voldoet nu aan de voorwaarde dat, onafhankelijk van de veranderingen waaraan de kracht, die het vlies der trommel in beweging brengt, onderhevig is, steeds bij den eersten stoot die aan het vlies wordt gegeven, de stroom van het relais zal verbroken worden. Het micablaadje wordt namelijk in zijn schommeling beperkt door twee vaste beletsels A en B; heeft nu C den kwikdruppel doorsneden en dus den stroom verbroken, dan stuit C tegen A; een verdere uitwijking van het vlies der trommel zal dus alleen tengevolge kunnen hebben dat de hefboom  $h^1$  om  $d$  draait, zoodat de twee hefboomen alsdan een inspringenden hoek vormen, die naar den kant van A is gekeerd. Bij de eerstvolgende teruggaande beweging van het vlies wordt nu het plaatje naar den kant van B gevoerd en zoodoende wordt de stroom weer

gesloten; een verdere teruggaande beweging van het vlies kan alleen tengevolge hebben dat de hefboom  $h'$  weer om  $d$  in tegenovergestelde richting draait.

*De elektro-magnetische toestel.* — Om den hodograaf in werking te brengen is het een vereischte de luchtbewegingen zoo sterk mogelijk te maken; men moet daarom ook zorgen dat het sluitstuk van den elektro-magneet groote uitslagen maakt; daartoe kan men met vrucht gebruik maken van den toestel van ROBERT HOUDIN. Hierbij is aan het sluitstuk van den magneet een flauw bolle oppervlakte gegeven, die in aanraking is met een andere oppervlakte, insgelijks flauw bolvormig, die om een der uiteinden draaien kan. De twee bolvormige oppervlakken zijn zoodanig gekozen, dat het aanrakingspunt verandert, naargelang het sluitstuk dichterbij den kern van den elektro-magneet komt, en dat de hefboomsarm dus in een gunstigen stand is geplaatst, wanneer de magneetkracht geringer is. Op deze wijze wordt een voldoende uitslag verkregen om genoegzaam sterke luchtstooten op te wekken.

Bij snelle bewegingen, wanneer de fasen van magnetische werking van ongelijken duur zijn, 't geen meestal voorkomt, zal de in de toestellen besloten lucht langer samengedrukt of verdund zijn, of omgekeerd. Daar nu door de buizen altijd een weinig lucht ontwijkt, en deze lucht op den langen duur zich in die richting begeeft, waarin de werking van den meest langen duur plaats heeft, kan het gebeuren dat de luchttrommels spoedig te veel of te weinig lucht bevatten en daardoor weigeren te werken.

Men ontloopt dit bezwaar door zooveel mogelijk aan de beide fasen van magnetische werking denzelfden tijdduur te geven, of door te zorgen dat de ontsnapping van lucht in tamelijk ruime mate kan plaats vinden, zoodat daardoor de drukking in de trommels, gedurende den tijd die tusschen twee opeenvolgende bewegingen is begrepen, zich zooveel mogelijk in evenwicht kan stellen met de uitwendige drukking. Zoodoende verliest men weliswaar een gedeelte der beweegkracht; maar bij een sterke batterij heeft dit niet veel te beteekenen.

**Wijze waarop de slede met schrijfstift moet voortbewogen worden.**

Voor het zuiver registreeren van een rechtlignige beweging is

het noodig dat de stift zelf zich volgens een rechte lijn beweegt. Om deze rechtlijnige beweging van de stift zoo volkomen mogelijk daartestellen, bedient men zich van een lichte slede, die met vier rolletjes over twee smalle richels loopt, zooals in fig. 267 is voorgesteld. Aan den onderkant van de slede C is een onbuigzame stift met fijne punt bevestigd, die door een excentriekje iets hooger of lager gesteld kan worden, zoodat zij de met roetzwart bedekte oppervlakte aanraakt, zonder te krassen.

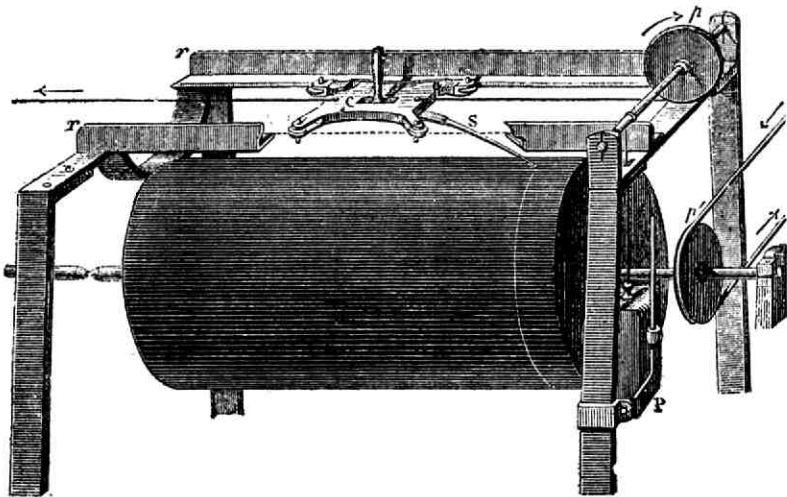


Fig. 267. Slede met schrijfstift voor het registreeren van rechtlijnige bewegingen.

De slede is gewoonlijk van een aluminium vervaardigd, om haar zoo licht mogelijk te maken, hetgeen vooral van belang is voor snelle bewegingen. De radertjes zijn voorzien van cirkelvormige groeven; hierin passen de smalle kanten der rails  $r r$ , die een kleine zijdelingsche drukking op de slede uitoefenen, waardoor deze in evenwicht blijft.

De verbinding van de slede met het punt, welks bewegingen geregistreerd moeten worden, geschiedt eenvoudig door een draad.

Door een tegenwicht wordt de beweging der slede in tegenovergestelde richting verkregen; dit tegenwicht kan men daarstellen door het aanbrengen van een veer of van een caoutchoudraad; de wijze, waarop de teruggaande beweging in fig. 267 wordt verkregen, verdient de meeste aanbeveling; de draad, die het tegenwicht draagt, is geslagen om een verdikking van de as;



de beweging van het tegenwicht is hierbij slechts zeer gering.

Voor het registreeren van zeer zwakke bewegingen, waarbij de wrijving van de radertjes over de rails te veel weerstand zou bieden, wordt de stift aan een drijver bevestigd, zooals vroeger in fig. 126 is aangewezen.

#### **Vereischten van een goede registreerstift.**

Men zou licht meenen dat elk voorwerp met een fijne punt geschikt was om als een goede registreerstift dienst te doen; de ervaring heeft echter geleerd dat dit lang niet het geval is. Een registreerstift moet de volgende eigenschappen in zich vereenigen: *zoo licht mogelijk zijn; volkomen buigzaam zijn in die richting waarin zij het papier ontmoet en volkomen onbuigzaam in tegenovergestelde richting; zij mag niet verbogen worden door de rimpels van het papier, en moet altijd in aanraking zijn met het met roetzwart bedekt oppervlak.* Aan deze vereischten wordt zooveel mogelijk voldaan, wanneer men zich van een stuk balein of van een ganzepen bedient, die zeer fijn is afgevijld en in den vorm van een scherpen hoek is afgesneden.

Wij zullen de noodzakelijkheid van deze vereischten even toelichten. De stift moet zoo licht mogelijk zijn; want bij een registreerenden hefboom maakt de stift de grootste bewegingen; elke zware massa, die zich met groote snelheid moet bewegen, verandert den vorm van haar beweging. Soms moet de stift van een chronograaf tweehonderdmaal en zelfs meermaal in de sekonde trillen. Verzwaart men de stift door het aanbrenge van een kleine massa, dan ziet men terstond de amplitude der bewegingen afnemen.

De stift moet zeer buigzaam zijn in de richting, waarin zij tegen den cilinder drukt; want ware dit niet het geval, dan zou door de kleinste oneffenheid van het cilinderoppervlak een sterke wrijving tegen de stift worden teweeggebracht, of wel de aanraking van de stift met het papier zou een oogenblik ophouden. De punt der stift moet dus niet alleen het papier aanraken, maar een weinig tegen het papier aangedrukt worden; tengevolge der buigzaamheid zal dan de wrijving niet al te sterk zijn. De stift moet in tegengestelde richting daarentegen weinig buigzaam zijn; want de bewegingen, die de stift moet traceeren, zijn evenwijdig aan de

cilinder-as; deze bewegingen zijn soms zeer gering, zoodat zij, wanneer men ze met een stift wilde registreeren die in alle richtingen buigzaam was, vaak onzichtbaar zouden worden tengevolge van het ombuigen der stift. Zoo zou bijv. met een haar, dat aan het uiteinde van een registreerenden hefboom bevestigd werd, in de meeste gevallen geen merkbare beweging kunnen getraceerd worden. Om deze reden zijn ook de veertjes van penneschachten als registreerstiften verwerpelijk, ofschoon zij overigens, wegens hun bijzondere lichtheid, zeer aanbevelenswaardig zouden zijn.

**Voorzorgen in acht te nemen bij het bevestigen van een registreerstift.**

De bevestiging van de stift aan den hefboom geschiedt gewoonlijk door aankleving met een klein stukje wecke was; hierdoor wordt het gewicht der stift weinig vermeerderd. Om de punt der stift in de juiste richting te plaatsen, moet men zich van te voren vergewissen van de richting, waarin de cilinder draait, het papier moet zich bij de draaiing steeds van de punt afwenden en deze nooit tegemoet gaan. Een registreerstift moet het papier altijd onder een zeer schuinen invalshoek ontmoeten; op deze wijze wordt de aanraking tusschen de stift en het papier het best verzekerd. Met een weinig praktische ervaring krijgt men spoedig de handigheid om de stift in den voordeeligsten stand te plaatsen. Wil men met verschillende hefboomen gelijktijdig registreeren, dan moet men zorg dragen dat zij even lang zijn, hetgeen gemakkelijk te doen is wanneer de stiften met was aan de hefboomen zijn bevestigd.

Wordt een stift onder een slede bevestigd, die zich slechts in één richting beweegt, dan moet de punt der stift naar achteren gekeerd zijn (fig. 267). Bij een heen- en weergaande beweging van de slede moet men de stift meer zijwaarts aanbrengen, in een richting met betrekking tot de omwenteling van den cilinder, zooals hierboven is gezegd.

**Het ontwijken van de misvorming die in het tracé ontstaat tengevolge van den cirkelboog dien de registreerende hefboom beschrijft.**

Wordt een rechtlijnige beweging door middel van een draad aan het uiteinde van een registreerenden hefboom overgebracht, dan beschrijft het uiteinde van de stift een cirkelboog, die de lengte des hefbooms tot straal heeft. Dit bezwaar kan ontweken worden door gebruik te maken van mechanische of van meetkundige hulpmiddelen; ook kan men het ontwijken door zeer lange hefboomen te gebruiken, die slechts zeer kleine bewegingen traceeren.

De verbinding van een rechtlijnige en kromlijnige beweging bij het stoomwerktuig, namelijk van de beweging van den zuigerstang met die van den hefboom, door middel van het parallelogram van WATT is algemeen bekend. Door VIERORDT is een dergelijk parallelogram aangebracht aan zijn sphygmograaf, om daardoor de schrijfstift te noodzaken zich evenwijdig aan de cilinder-as te bewegen. Een dergelijke verbinding is echter aftekeuren bij alle toestellen, die snelle bewegingen moeten overbrengen; daarentegen zou zij uitstekende diensten bewijzen bij het registreeren van zeer langsame bewegingen.

Het aanbrengen van verbeteringen kan dus in 't algemeen beter langs den volgenden weg geschieden. Zij (fig. 268)  $o$  het beginpunt van de getraceerde lijn; indien de cilinder onbewegelijk was en de hefboom over de hoogte  $O V$  werd opgeheven, dan zou hij niet de vertikaal  $oO$ , maar den boog  $o z$  beschrijven die in  $o$  door  $oO$  geraakt wordt. Hoe meer de hefboom stijgt, des te

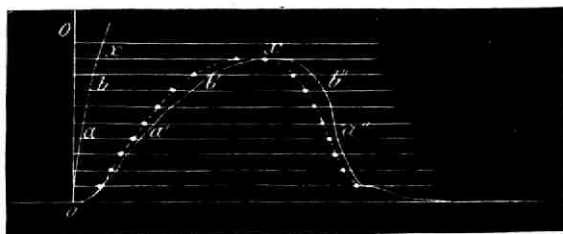


Fig. 268. Correctie van de cirkelbogen die bij tracés ontstaan.

meer verwijderd zich de boog van de vertikaal. Daar nu de lengte

van den hefboom standvastig blijft gedurende de beweging van den cilinder, zal eenig punt van het tracé des te meer van  $O$  afwijken, naargelang dit hooger is gelegen. Om nu de correctie aantebrengeu, beschrijft men met de lengte des hefbooms als straal een cirkelboog  $ox$ , die  $O$  in  $o$  raakt. Trekt men nu eenige lijnen evenwijdig aan de abscissen-as, dan zullen deze lijnen zoowel den cirkelboog  $ox$ , als het tracé snijden. De afstand waarover nu eenig snijpunt van het tracé met een dezer lijnen naar links moet verplaatst worden, wordt aangewezen door den afstand, waarop het snijpunt van den cirkelboog  $ox$  met deze lijn van  $oO$  is verwijderd; zoo moeten de punten  $a'$  en  $a''$  verplaatst worden over een afstand  $oa$ ;  $b'$  en  $b''$  over een afstand  $ob$ , enz. Door deze correctie nu voor een tamelijk groot aantal punten te doen, zal men de lijn kunnen trekken die deze nieuwe punten verbindt; deze lijn is alsdan het verbeterd tracé. De invloed van de cirkelbogen op den vorm van het tracé zal des te sterker zijn, naarmate de verplaatsing van het papier sneller geschiedt.

Wil men de fout verminderen door den hefboom langer te nemen, dan ontmoet men dit bezwaar, dat daardoor de naschommelingen van den langeren hefboom toenemen en het tracé misvormen. De hierboven aangewezen methode verdient dus bijna altijd de voorkeur.

Registreert men echter met een hefboom van middelmatige lengte en vergenoegt men zich met bewegingen van kleine amplitude, dan is het verschil tusschen het getraceerde lijntje en de rechte lijn zoo uiterst gering, dat de correctie hier gerust achterwege kan blijven. Men krijgt dan op deze wijze fijne tracés, die, door ze te photografeeren of te projecteeren, sterk vergroot kunnen worden, zonder dat zich alsdan eenige misvorming in het vergroot tracé zal voordoen. Deze handelwijze is altijd aan te bevelen bij zeer fijne onderzoekingen, waarbij geringe en snelle bewegingen plaats hebben.

---

## VIJFDE HOOFDSTUK.

### MYOGRAFIE.

Het nut van de myografie. — Myografen. Verschillende stelsels. — Myograaf met direkte werking. — De myograaf met dubbele werking. — Myograaf met luchttransport. — De voornaamste resultaten waartoe de myografie heeft geleid. — Hartmyograaf.

#### **Het nut van de myografie.**

Aangezien de meeste levensfunctiën zich aan ons in den vorm van bewegingen openbaren en de oorsprong van elke beweging in een spier zetelt, moet de spierwerking boven elke andere physiologische studie, volgens een' bepaalde methode worden bestudeerd. Door de myografie worden, beter dan door eenig ander middel van onderzoek, de schijnbare verschillen aangetoond, die de werking der verschillende spieren vertoont; bovendien is zij bijzonder geschikt om te bewijzen dat tusschen die schijnbaar verschillende werkingen een nauwe overeenkomst bestaat. Een methode die bij het myografisch onderzoek boven alles aanbevelenswaardig is, is deze: telken male dat zich eenige schijnbare bijzonderheid in de werking eener spier heeft voorgedaan, moet men onderzoeken of diezelfde bijzonderheid zich ook bij de andere spieren in minderen graad vertoont; bijna altijd zal men vinden dat de gevonden verschillen tusschen de verschillende soorten van spieren slechts kleine wijzigingen zijn in hare functiën. Zoo werken bijv. de willekeurige spieren, het hart, het spijsverteringskanaal, de slagaderen, de vaatwanden, schijnbaar zoo verschillend in hunne bewegingen, toch op dezelfde wijze: allen toch ondergaan onder den invloed eener zenuwwerking een verkorting, die gevolgd wordt door eene verslapping of ontspanning. Deze elementaire werking, deze zoogenaamde schok kan bij sommige spieren eenige honderdste deelen van een minuut, bij andere spieren weer enkele minuten duren; deze verschillen in tijdduur maken echter geen wezenlijk onderscheid uit tusschen de verschillende werkingen. Deze schokken volgen elkaar nu eens met lange, dan weer met zoo korte tusschenpoozen op, dat zij nagenoeg samenvallen en zodoende al die verscheidenheden in de intensiteit en in den

duur der spierwerkingen te weeg brengen 1). Wij zullen in dit hoofdstuk aantoonen dat het hart, dat oppervlakkig beschouwd zoo veel verschilt van de andere spieren, des te meer overeenkomst daarmee vertoont, naarmate men de verrichtingen van het hart van meer nabij en met meer nauwkeurige hulpmiddelen leert kennen.

### Myografen.

Het uitgangspunt voor alle myografische apparaten is de myograaf van HELMHOLTZ. Deze toestel bestond in hoofdzaak uit een metalen raam, welks basis om een horizontale as kon draaien en waaraan een stang met een verschuifbaar tegengewicht bevestigd was, waardoor de toestel in evenwicht werd gehouden. Het raam werd opgeheven door een in verticale richting gestrekte spier. Het vrije deel van het raam was van een stift voorzien, die een lijn traceerde op een met roetzwart bedekten cilinder, die om een verticale as draaide. Het spannen van de spier geschiedde door middel van gewichtjes, die in een schaal werden geplaatst dat aan het raam van den myograaf hing.

Met dit werktuig gelukte het HELMHOLTZ den tijd te bepalen die verloopt tusschen het oogenblik, waarop de spier wordt geprikkeld en het oogenblik, dat de daardoor opgewekte samentrekking plaats grijpt (verloren tijd); ook kon hij den duur bepalen van de overbrenging van de werking der beweegzenuw, maar de verkregen lijnen waren niet de juiste uitdrukking van de beweging: want de zich bewegende massa was veel te zwaar dan dat de samentrekking der spier getrouw kon worden geregistreerd.

VOLKMANN gebruikte bij zijne proeven betreffende de spierbeweging meestal de m. hijpoglossis van den kikvorsch; deze spier is vrij lang, als zij in rust is; zij kan daardoor een aanmerkelijke samentrekking ondergaan en dus voor het direkt registreeren worden aangewend.

BOECK en WUNDT maakten achtereenvolgens in 1855 en 1858 de uitkomsten bekend van hun onderzoekingen betreffende de uitwerking van de vermoeienis op den vorm van de lijn der

1) \* Deze theorie is sedert lang ingeleid en ontwikkeld door MAREY in zijn werken: *Du Mouvement dans les fonctions de la vie; la Machine animale.* \*

spierbeweging. Zij vonden dat de spierschok door vermoeienis langer duurt, en dat hierbij vooral de periode van verslapping gerekt wordt. Zij gebruikten echter bij het registreeren van deze lijnen een cilinder die te langzaam ronddraaide, zoodat alle bijzonderheden niet konden worden geregistreerd.

Om zich van de regelmatige ronddraaiende beweging van den cilinder te verzekeren, kwam THIRY op het denkbeeld een sirene aan te brengen aan het uurwerk, dat den cilinder in beweging bracht: uit de onveranderlijkheid, alsmede uit de hoogte van den toon leidde hij de regelmatigheid en de snelheid der beweging af.

Sommige physiologen, zooals DU-BOIS-REYMOND, FICK en VALENTYN, hebben den registreerenden cilinder vervangen door glazen platen, waaraan een eenparige rechtlijnige of ronddraaiende beweging werd gegeven. Wanneer men alzoo de verscheidenheid nagaat, die in de toestellen, welke dienen moesten om de spierbeweging te bestudeeren, bestond, dan zal men moeten toegeven dat de myografie er alleen bij kon winnen, wanneer zij tot de algemeene regels van de grafische methode werd teruggebracht.

In den laatsten tijd worden alle bewegingen, die in de physiologie worden bestudeerd, behoudens zeer weinige uitzonderingen, geregistreerd op een cilinder, wiens eenparige beweging verzekerd wordt door een regulator van FOUCAULT of van VILLARCEAU. De snelheid meet men met behulp van stemvorken of chronografen; het registreeren geschiedt op met roetzwart bedekt papier, dat om den cilinder is gespannen. Deze methode is evengoed dienstig voor het opvangen van de tracés der spierbeweging als van die van andere bewegingen; voor het wetenschappelijk onderzoek en voor het onderling vergelijken van de uitkomsten van verschillende proefnemingen is dit van zeer groot belang.

Om bij het onderzoeken van spierbewegingen zoo eenvoudig mogelijk te werk te gaan, wordt de pees van de spier door een onrekbaren draad aan het onderende van den hefboom verbonden, die zich in een horizontaal vlak beweegt (fig. 269). Voor het onderzoek van de beweging van alle soorten van spieren kan deze horizontale hefboom dienen.

Deze hefboom moet naar den kant van het beweegbare uiteinde zeer licht en dun zijn: dit is vooral noodig uithoofde van de snelle en plotselinge bewegingen, die zich bij spierschokken voordoen.

Voor de stift mag men geen zwaar lichaampje nemen, zooals bijv. een stalen pen; het meest voldoet hier een stukje dun hoorn of dun balein, waaraan een fijne punt is gesneden.

De lengte van den hefboom moet gemiddeld op 12 cM. worden genomen; bij deze lengte worden de kleinste bewegingen nog met voldoende juistheid geregistreerd. De misvormingen die hierbij in het tracé kunnen voorkomen, zijn zoo gering, dat zij zonder eenig bezwaar verwaarloosd kunnen worden. Deze opmerkingen gelden voornamelijk voor het goed registreeren van de verkorting der spieren; wij zullen nu nagaan wat er noodig is om ook de ontspanning of verslapping der spieren nauwkeurig te kunnen registreeren. De hefboom moet daartoe ook de tegengestelde beweging, die het gevolg is van de ontspanning der spier, getrouw kunnen volgen en opschrijven; hiertoe wordt gebruikt gemaakt van een gewichtje, gewoonlijk 15 à 20 gram, geplaatst in een schaalje dat aan een draad hangt, die over een schijf is geslagen en aan het onderende van den hefboom is vastgemaakt. Op deze wijze kan men door het veranderen van het gewicht de uitwerking van toenemende- of afnemende spanningen op de spiercontractie nagaan, terwijl men tevens de grootte der kracht kent (in grammen uitgedrukt), die aan de spier trekt. Wil men deze kracht doen veranderen, zooals bijv. bij het bestudeeren van de veerkracht der spier noodig is, dan kan men het schaalje vervangen door een kleinen trechter, waaruit een geregelde uitvloeiing van kwik plaats vindt.

In fig. 269 zijn de verschillende deelen van den myograaf voorgesteld. De as, om welke de hefboom draait, is bevestigd aan een metalen plaat; aan deze metalen plaat is een houten plank bevestigd, aan wier bovenzijde een kurken plaat is aangebracht. Deze plaat, waarop de kikvorsch bevestigd wordt, moet met gegomde taf of met guttapercha bekleed worden voor het geval dat met spierversgiften wordt gewerkt, omdat anders die vergiften in de plaat dringen en de kikvorschen, waarop later proeven worden genomen, zouden aantasten. De kikvorsch wordt met spelden op de plaat bevestigd, of wel men plaatst op de plaat een losse spier met behulp van een tangetje, waartusschen het boveneinde der spier of het been, waaraan deze vastzit, wordt gevat. In beide gevallen wordt de pees van de spier met een



metaaldraad of met een zijden koordje stevig aan het knopje bevestigd, dat op den looper van den hefboom is aangebracht; deze looper wordt meer of minder dicht bij de as van den hefboom met een klein schroefje vastgezet, naargelang van de amplitude die men aan het tracé wenschte te geven.

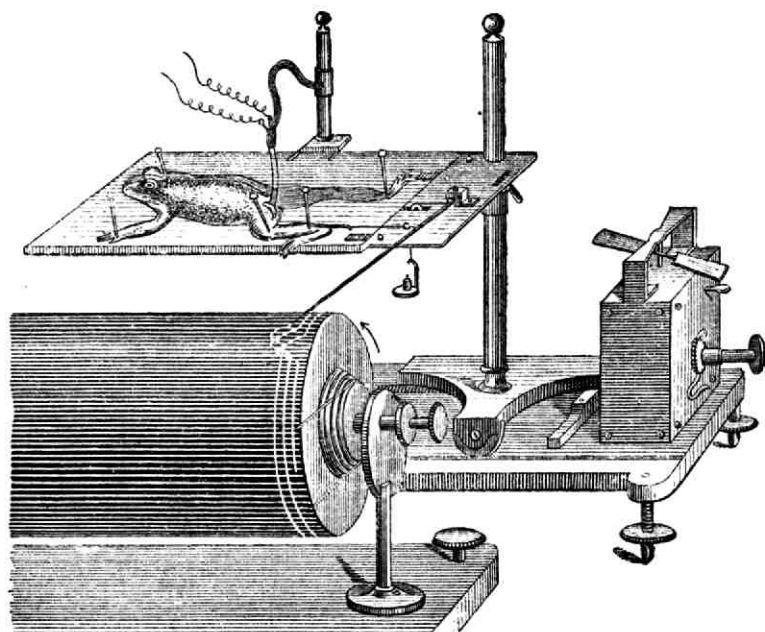


Fig. 269. Myograaf met direkte werking.

Men moet vooral zorgen dat de beweging van de spier in een horizontaal vlak plaats heeft, evenwijdig aan dat, waarin zich de hefboom beweegt, anders zou men gevaar loopen dat de hefboom nu en dan werd opgelicht of naar beneden gedrukt, waardoor storingen in het tracé zouden ontstaan. Ook moet de richting waarin de spier trekt, zooveel mogelijk loodrecht zijn op de richting van den hefboom; onder een scheeven hoek zou de hefboom maar een gedeelte van de spierwerking ondervinden.

De spierschokken en spiercontracties worden meestal opgewekt door elektrische prikkelingen; hiertoe is aan de kurken plank een staander bevestigd, waaraan zich een looden staaf bevindt, die de geleiddraden van den elektrischen toestel vasthoudt; hierdoor

kan men de prikkeling in elk willekeurig punt van de spier of van de zenuw aanbrengen.

Bij het aanwenden van elektrische prikkelingen moet men er op letten dat de stroom niet op de metalen deelen van den toestel overgaat; het is daarom aanbevelenswaardig de kurken plank door een reep gutta-percha van den myograaf te isoleeren en tevens de pees van de spier door een zijden koordje met den hefboom te verbinden.

Voor het aanbrengen der elektrische prikkelingen kan men, zooals CHAUVEAU doet, Leidsche flesschen gebruiken; meer aanbevelenswaardig is een Engelsche toestel, *micro-farad* geheeten, waarmee men de hoeveelheid elektriciteit kan bepalen, die voor elke prikkeling wordt gebruikt. Wordt deze toestel door een constante batterij geladen, dan verkrijgt men prikkelingen van bijzonder gelijke werking.

Om het opdrogen der spieren en zenuwen te voorkomen, plaatst men daarboven een bakje van kurk of gutta-percha, met vocht gevuld, waardoor de draden van den elektrischen toestel heenloopen.

#### De myograaf met dubbele werking.

Nu en dan is het noodig twee spieren van een dier tegelijkertijd te onderzoeken, wanneer bijv. de eene spier aan koude, de andere aan warmte wordt blootgesteld, of wanneer men op de eene spier vergift, zooals curare, laat inwerken, terwijl de andere door onderbinding tegen de

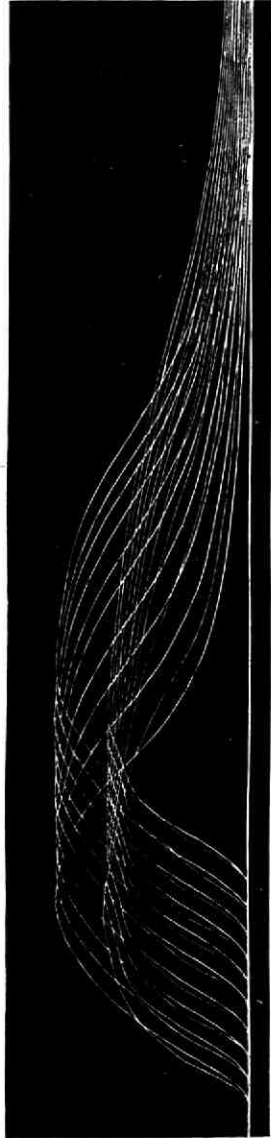


Fig. 270. Tracés van de m. m. gastrocnemius van den kikvorsch verkregen met den dubbelen myograaf. Het onderste tracé is dat van een spier die aan den invloed van koude werd blootgesteld.

inwerking van het vergift beveiligd blijft. CHAUVEAU heeft dergelijke vergelijkende onderzoeken met positieve en negatieve unipolaire werkingen der batterij gedaan. Daartoe wordt aan den enkelvoudigen myograaf een tweede hefboom aangebracht, evenwijdig met en een weinig boven den eersten; de punten der stiften moeten even hoog liggen, die van de bovenste wordt een weinig omgebogen en steekt iets vooruit, zoodat de beide tracés met een tusschenruimte van  $\frac{1}{2}$  millimeter worden opgeschreven. Figuur 270 toont ons tracés, die op deze wijze zijn verkregen. Wanneer bij deze plaatsing der hefboomen de beide tracés in elkaar loopen, dan plaatst men den ondersten hefboom zoodanig, dat hij den bovensten onder een scherpen hoek kruist; hierdoor krijgt men dan twee niet parallelle tracés, waardoor hun onderlinge vergelijking veel moeilijker wordt.

#### **Myografische proeven.**

Beschouwen wij het geval waarin met den enkelvoudigen myograaf de werking van een kikvorschspier wordt bestudeerd. De levende kikvorsch wordt op de kurken plank bevestigd, door de vier pooten met spelden vast te steken; de pees van den gastrocnemius wordt blootgelegd en door een zijden draad aan het haakje van den hefboom verbonden; om de bovenste aanhechting van den gastrocnemius onbewegelijk te maken, steekt men nog een speld onder de knie tusschen de tibialis en peroneus. Het komt er nu op aan de spontane bewegingen van den kikvorsch, of wel die bewegingen te registreeren, die men opwekt door strychnine-vergiftiging, door het prikkelen van de zenuwcentra of van de beweegzenuwen van de spier zelf.

De voornaamste proef bestaat in het vergelijken van de uitwerking van een enkele prikkeling met die van eenige snelle prikkelingen; in het eerste geval verkrijgt men een spierschok, in het laatste geval tetanus.

Om de uitwerking van afzonderlijke prikkelingen van verschillende intensiteit op een gezonde of op een vermoeide, vergiftigde, verwarmde of afgekoelde spier te bestudeeren, is het noodig de proef dikwijls te herhalen. Om de verwarring, die hierdoor in de tracés ontstaan zou, te vermijden, zorgt men dat de getraceerde

lijnen dakpansgewijze over elkaar komen te liggen, 1) hetgeen met bijzonder daartoe ingerichte toestellen gemakkelijk te verkrijgen is.

*Periodieke prikkelingen.* Met kan zich hiertoe van een condensator bedienen, zooals in fig. 271 is voorgesteld. De condensator is in doorsnede voorgesteld door  $i$ ; de bovenste plaat is door een draad

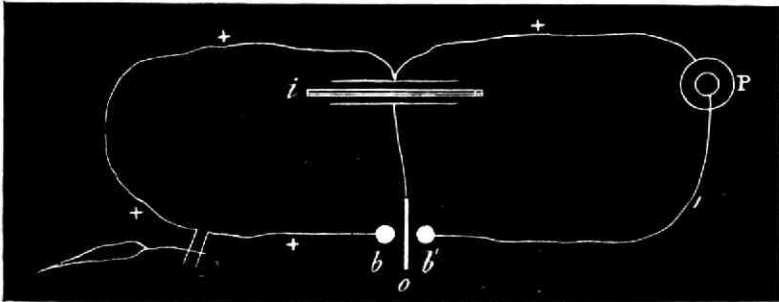


Fig. 271. Inrichting van een condensator met onderdeelen bestemd voor het prikkelen van een zenuw

verbonden met een pool der constante batterij P en tevens met een bol  $b$ . Deze draad, met het teeken  $+$  voorzien, is in eenig punt met de zenuw van een kikvorsch in aanraking: een tweede draad, met het teeken  $-$ , verbindt de andere pool der batterij met den bol  $b'$ . De onderste plaat van den condensator is door een draad met een beweegbaar stuk  $o$  verbonden, dat beurtelings met de bollen  $b$  en  $b'$  in aanraking kan komen. Is  $o$  in aanraking met  $b'$ , dan wordt de condensator geladen. Is  $o$  in aanraking met  $b$ , dan ontladtd zich de condensator, omdat de beide platen alsdan door een zelfden draad zijn verbonden; door deze ontlading wordt de zenuw geprikkeld.

Wilde men de zenuw niet bij het ontladen, maar bij het laden van den condensator prikkelen, dan zou men haar met den negatieven draad in aanraking moeten brengen.

De beweging van het stuk  $o$  moet geregeld worden naar de beweging van den cilinder en zich bij elke omwenteling op een zelfde oogenblik of met een bepaalde vertraging herhalen.

In fig. 272 is nu de toestel voorgesteld, waardoor men de op-eenvolging van de ontladingen van den condensator regelt.

1) \* MAREY noemt dit; *l'imbrication des tracés* \*

Op de as van den registreerenden cilinder zijn twee concentrische tandraden aangebracht; het rad  $R$  heeft 100 tanden,  $R'$  99. Op een verplaatsbaar support bevindt zich een derde rad met 100 tanden, dat voorzien is van een stift, door middel waarvan het uiteinde van een slingerende staaf bij elke omwenteling van het rad wordt opgelicht.

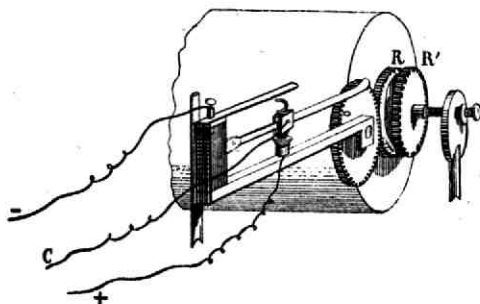


Fig. 272 Toestel dienende om de ontladingen van den condensator in verband met de wentelende beweging van den cilinder te regelen.

Die slingerende staaf nu is het beweegstuk  $o$  dat in fig. 271 beurtelings de beide bollen  $b$  en  $b'$  aanraakt. Het gedeelte van deze staaf, waartegen de stift van het rad tikt, is van glas.

Laat men nu het rad, waaraan de stift is bevestigd, in het rad  $R$  grijpen, dan zal telkens na een geheele omwenteling van den cilinder de zenuw geprikkeld worden. Om in dit geval het samenvallen der tracés te ontwijken, geeft men aan den geheelen myograaf een kleine zijdelingsche verplaatsing; dit geschiedt door middel van een bijzonder daartoe ingericht raderwerk, dat den myograaf over smalle rails voorbeweegt.

Op deze wijze worden de lijnen getraceerd, zooals in fig. 273 is voorgesteld; de lijnen liggen hier boven elkaar 1); van beneden naar boven lezende, volgt men de veranderingen die door de vermoeidheid in de bewegingen zijn veroorzaakt.

Door afkoeling en bloedarmoede van de spier worden uitwerkingen teweeggebracht, overeenkomstig met die, welke het gevolg

1) \* MAREY noemt dit: *imbrication verticale*.\*

zijn van vermoeidheid. Door een lijn te trekken die de oogenblikken aanwijst waarop de prikkelingen bij elke omwenteling van

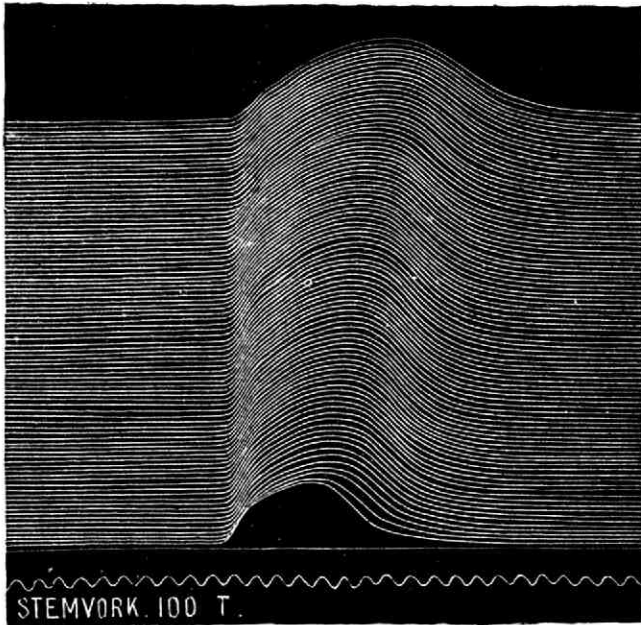


Fig. 273. Lijnen van spierschokken boven elkaar getraceerd.

den cilinder plaats hebben, bemerkt men dat het tijdsverloop tusschen de prikkeling en het begin van den spierschok grooter wordt, naarmate bovengenoemde invloeden zich in sterker mate doen gelden.

In figuur 274, waar de lijnen naast elkaar 1) zijn getraceerd, komen de verschillen in amplitude, die zich onder bepaalde invloeden bij den spierschok voordoen, duidelijk uit.

Hiertoe houdt men den myograaf in onbewegelijken stand, maar nu laat men het rad, dat van de stift is voorzien, grijpen in het rad R' met 99 tanden, zoodat nu elke prikkeling plaats heeft na een geheele omwenteling van den cilinder plus  $\frac{1}{100}$  van een omwenteling. Deze wijze van registreeren is vooral aan te bevelen voor de dubbele tracés, die men met den myograaf met dubbele

1) \* *Imbrication latérale.* \*

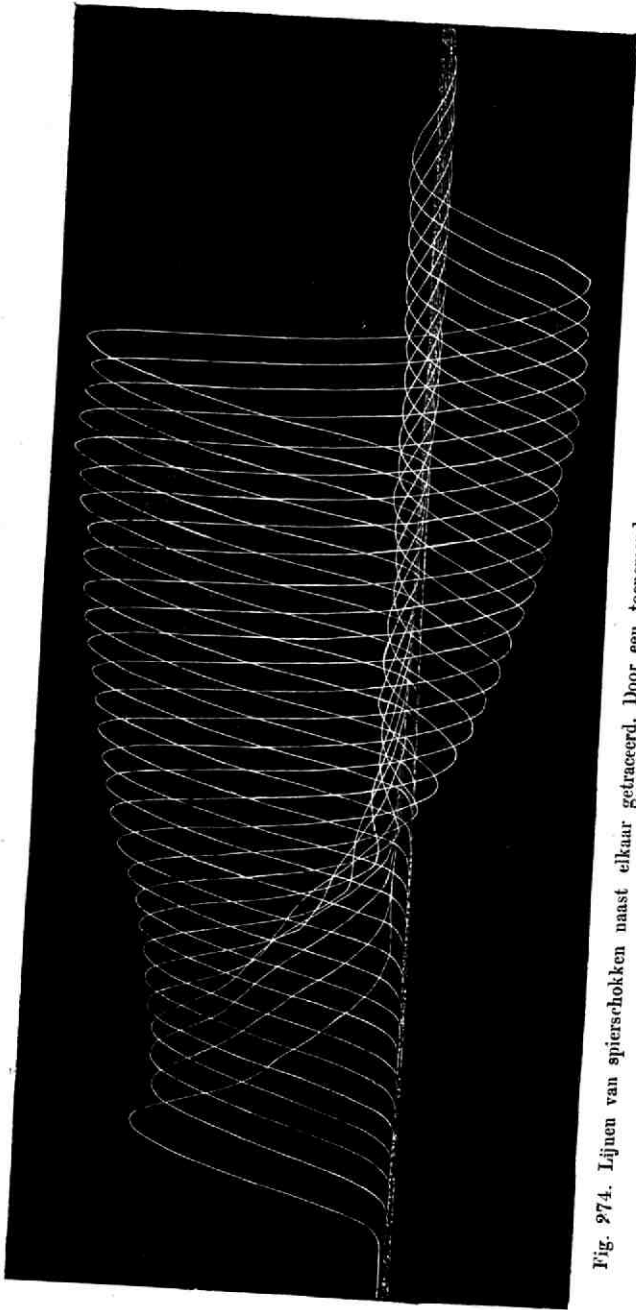


Fig. 274. Lijnen van spierschokken naast elkaar getraceerd. Door een toenemende verwarming van de spier wordt de amplitude der schokken steeds grooter.

werking verkrijgt; of wanneer men, met den enkelvoudigen myograaf werkende, lijnen krijgt die beneden de as der abscissen dalen, zooals voorkomt bij het langzamerhand verwarmen van een spier (fig. 274).

Eindelijk wordt volgens een derde manier, waarop de lijnen kunnen getraceerd worden, de verwarring van de lijnen vermeden; deze manier, waarbij de lijnen in schuine richting boven elkaar 1) worden opgeschreven, is vooral aanbevelen bij het nagaan van de uitwerking van vergiften.

Figuur 275 geeft een voorbeeld van deze wijze van registreeren;

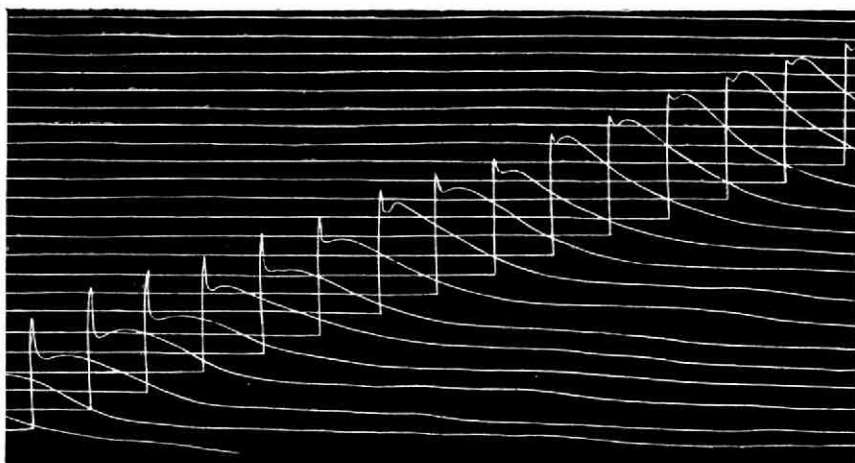


Fig. 275. Lijnen van spierschokken in schuine richting boven elkaar getraceerd.  
(Werking van veratine).

zij wijst de veranderingen in de spierschokken aan onder den invloed van veratrine. Hierbij is de spier of de zenuw geprikkeld door middel van toestellen die men *excitators* noemt. Nu eens zijn het kleine haakjes, waarin de geleiddraden eindigen en die men onder de zenuw schuift, 't geen een vrij gebrekkige handelwijze is; dan weer gebruikt men niet polariseerbare elektroden van geringe afmetingen; ook wendt men wel, volgens CHAUVÉAU, unipolaire prikkelingen aan. Daartoe schuift men onder den kikkorsch een blad metaal, dat met een der elektroden wordt

1) \* *Imbrication oblique.* \*



verbonden en brengt de andere elektrode op de ontbloote zenuw of door de bekleedselen heen aan. De op een klein oppervlak aangebrachte elektrode werkt alleen en geeft volkomen plaatselijke prikkelingen.

Wat betreft den myograaf met luchttransport, deze is vrij uitvoerig op pag. 226 beschreven. Hij heeft dit voordeel boven den enkelvoudigen myograaf dat men proeven kan nemen op dieren, die in een ruimte aan verschillende temperaturen, aan dampen van ether, chloroform, enz., worden blootgesteld.

### Spiercontractie en tetanus.

Door de myografie wordt het samengestelde van de spierwerking aangetoond, den zoogenaamden tetanus, die in een spier door

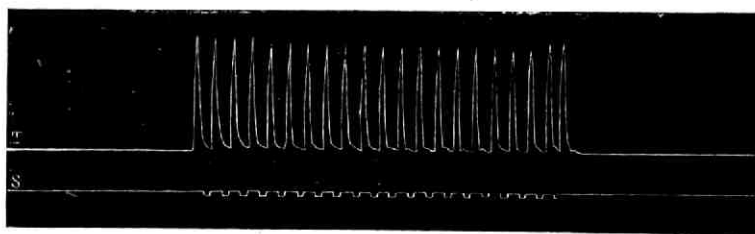


Fig. 276. M, spierschokken opgewekt door inductieslagen met eenige tusschenpoozen. S, elektrische seinen

een reeks van elektrische prikkelingen of door strychnine wordt opgewekt.

De bekende onderzoeken van WEBER, HELMHOLTZ en DU-BOIS-REYMOND zijn bevestigd geworden door de myografische

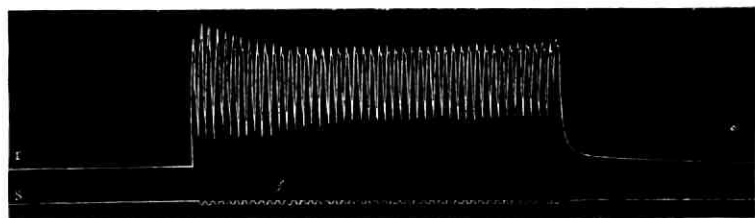


Fig. 177. Onvolkomen tetanus die den overgang van de schokken van de vorige figuur tot de bijna volkomen sameuvalling dezer schokken (volgende figuur) aantoon.

analyse, die tot in de kleinste bijzonderheden heeft aangetoond

op welke wijze de elementaire werkingen bij spiercontracties en schokken met elkaar in verband staan.

Wij zullen hier volstaan met drie tracés te geven, waarbij men

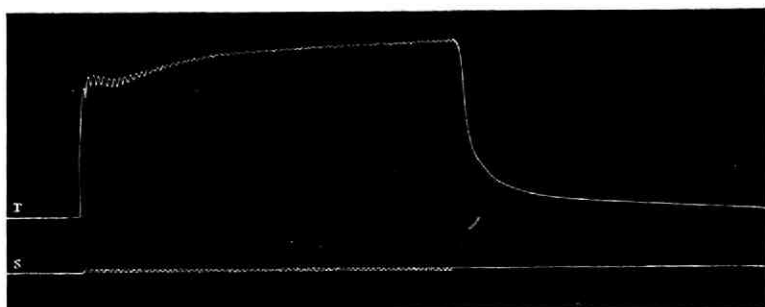


Fig. 278. Overgang van snelle schokken tot tetanus, 20 prikkelingen per seconde.

de vorming van tetanus kan volgen en waaruit duidelijk blijkt in hoever de myografie in staat is de spierwerking in hare elementen te ontleden.

### Myografie in de kliniek.

Het onderzoek van de spieren bij den gezonden mensch is nooit zoover voortgezet als bij de dieren; toch is ook dit onderzoek zeer gemakkelijk tengevolge van de eenvoudige inrichting der toestellen die voor den mensch kunnen worden aangewend.

Vroeger werden hiervoor myografische tangen gebruikt; daar zij echter moeilijk te behandelen zijn, gebruikt men liever een toestel, zooals in fig. 114 pag. 232 is aangewezen, waarmee de spierzwelling wordt geregistreerd.

De aanwending is hoogst eenvoudig: een van de trommels van den myograaf met luchttransport wordt met haar onderkant op een buigzame plaat van guttapercha of van metaal vastgemaakt; het vlies van de trommel wordt door een lichte veer, die zich binnen in de trommel bevindt, een weinig naar buiten gespannen en is in het midden van een kleinen koperen knop voorzien, waaraan een geleiddraad is vastgesoldeerd. Deze toestel wordt door middel van een band bevestigd op het vleezig deel der spieren, wier zwelling men wil onderzoeken; op een tegenover-

gesteld punt van het lid, om hetwelk de band is geslagen, wordt een groote metalen plaat geplaatst, die de tweede pool vormt van den stroom die den prikkel opwekt. De ontlading van den inductiestroom veroorzaakt nu den spierschok; de beweging, die hierdoor aan het vlies van de eerste trommel wordt meegedeeld, wordt door middel van de lucht naar een trommel met registreerenden hefboom overgebracht, en zoo wordt de spierschok van den mensch even goed als van eenig dier geregistreerd. Evenzoo kan men bij den mensch een spier in tetanus brengen en dezen nauwkeurig registreren. Ook is op deze wijze het onderzoek naar den verloren tijd, naar de snelheid van overbrenging der zenuwwerking, enz. mogelijk gemaakt.

Wordt een dergelijk onderzoek ingesteld bij iemand, die aan loodparalyse lijdt, dan zal men bijv. met volkomen juistheid kunnen bepalen, welke spieren naast de verlamde gezond zijn gebleven; ook kan men het langzaam terugkeeren van het contractievermogen onder den invloed van de behandeling nagaan.

Ook voor het onderzoek op bevende spieren is deze methode zeer aan te bevelen.

Al deze onderzoekingen zijn nog zeer nieuw; maar in onze dagen is de myografie een methode geworden, die voldoende nauwkeurig en rijk genoeg is aan resultaten om van het gebied van de zuivere proefneming overgebracht te worden op dat van het klinisch onderzoek.

### **De hartmyograaf.**

Voor het bestudeeren van de bewegingen der hartspier is het van belang dezelfde myografische methode aan te wenden als voor het onderzoek van de bewegingen der willekeurige spieren. De toestel, die hiervoor kan gebruikt worden is dezelfde als die, welke vroeger is aangegeven voor het onderzoeken van den hartslag bij kleine dieren. De massa der kamer wordt een weinig tusschen de beenen van de myografische tang samengedrukt; zoodoende wordt de opzwellung van de hartspier waargenomen, zoodat dit onderzoek geheel overeenkomt met het bestudeeren der spierzwellingen op den mensch (pag. 231). Men kan hierbij het hart

prikkelen door elektrische stroomen, die door de beenen van de tang geleid worden.

De myografische proeven, genomen op het hart van een kikvorsch in de natuurlijke ligging, hebben tot dit merkwaardig resultaat geleid: dat het hart niet altijd op dezelfde wijze aan de elektrische prikkelingen gehoorzaamt en dat de verschillende wijzen, waarop het aan de prikkelingen gehoor geeft, afhankelijk zijn van het oogenblik der hartsperiode, waarop de prikkeling plaats heeft. Reeds vroeger hebben wij bij de bespreking van het achtereenvolgend registreeren op dit verschijnsel gewezen. Dat het hart veel overeenkomst heeft met de andere spieren, wordt

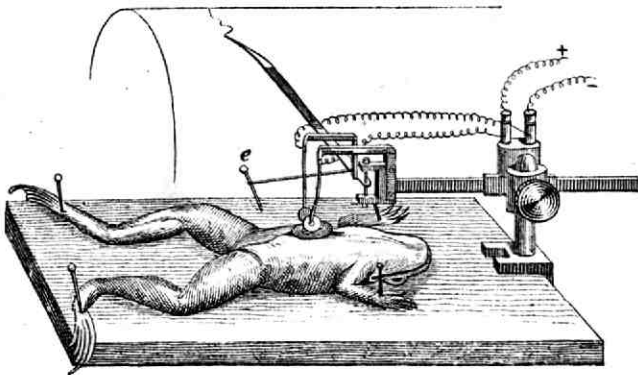


Fig. 279. Myografisch onderzoek van het hart van een kikvorsch. Stroomdraden loopen naar de beide beenen van de tang, waartusschen het hart is gevat; op deze wijze wordt het hart geprikkeld.

bewezen door aan te toonen dat het intermitterend en rhythmisch karakter der systolen van dit orgaan geheel overeenkomt met de achtereenvolgende schokken, die bij een contraheerende spier plaats hebben; alleen onderscheiden zich de bewegingen van het hart door den langeren duur der schokken (uitgezonderd bij den schildpad en bij dieren in den winterslaap) en door den aanmerkelijken tijdduur, waardoor twee opvolgende hartbewegingen gescheiden zijn. Door dit laatste worden de hartsystolen verhinderd om in tetanus of in voortdurende contractie over te gaan.

Men kan echter het naderen tot den tetanus bespeuren wanneer men op eenigerlei wijze den rhythmus der systolen versnelt. Zoo kan men door verwarming den rhythmus van het hart ver-

snellen, totdat het in een bijna volkomen tetanus overgaat. Deze toestand komt geheel overeen met dien van een spier die al sneller en sneller geprikkeld wordt.

Beschouwt men een schok van de hartspier op zich zelf, dan bemerkt men een aanmerkelijk verschil in den duur van deze beweging, naar gelang men den boezem of wel de kamer onderzoekt. Deze beide deelen van het hart bestaan uit spiervezelen, die met verschillende funktiën bedeeld zijn.

De boezem geeft een snelle beweging van korten duur; de beweging van de kamer daarentegen is geleidelijker en langzamer. Om deze verschijnselen goed waar te nemen, moet men een geïsoleerd hart nemen, dat zijn eigen bewegingen heeft verloren. Men is in dat geval zeker dat elke systole, die zich alsdan voordoet, het gevolg is van de kunstmatige prikkeling die op het orgaan werkt en men kan alzoo nauwkeurig den tijd bepalen, die verloopt tusschen de prikkeling en de reactie van de spier, alsmede den duur en de fasen van de opgewekte beweging.

Deze proeven toonen de overeenkomst tusschen het hart en de overige spieren op overtuigende wijze aan; men vindt toch dat volgens de algemeene wet de kamer, wier beweging langzamer is dan die van den boezem, een *verloren tijd* vertoont (de tijd die verloopt tusschen het begin der prikkeling en het begin der beweging), die grooter is dan die van den boezem. Insgelijks merkt men bij alle spieren op dat de duur van den verloren tijd evenredig is met den duur der spierwerking zelf.

Een geïsoleerd hart schijnt zijn gevoeligheid voor schokken, prikken of andere traumatische werkingen zelfs dan nog te behouden, wanneer het niet meer op vrij sterke inductieslagen reageert. Ook bemerkt men duidelijk de voortplanting van de spiergolf over de vezels van de kamer, wanneer deze verzwakt is en nog slechts langzame systolen vertoont. Aan dit verschijnsel heeft men sedert langen tijd den naam gegeven van peristaltische bewegingen van het hart; het schijnt echter verkieselijk te zijn het met den naam van *voortplanting van de spiergolving* te bestempelen, aangezien men daardoor de overeenkomst aanduidt van de golfbeweging in de hartspier met die in de willekeurige spieren.

Om dit verschijnsel duidelijk waar te nemen, moet men wachten totdat er geen spontane bewegingen meer van de kamer plaats

hebben. Men prikkelt vervolgens dit orgaan bijv. dicht bij den rechter rand; men kan alsdan het voortplanten van de aldus opgewekte systole tot aan den linker rand der kamers volgen. Deze overbrenging duurt van een halve tot een geheele sekonde.

Volgens ENGELMANN zou de voortplanting der beweging in de hartspieren van de eene cel op de andere plaats hebben, zonder dat het noodig is eenige zenuwwerking aan te nemen voor het opwekken van deze bewegingen.

Hierdoor wordt op een nieuwe overeenkomst tusschen het hart en de andere spieren gewezen. Men weet toch dat in de spiervezel de golf van punt tot punt voortgaat, zonder dat hierbij eenige zenuwwerking in het spel treedt, want deze voortplanting heeft ook plaats bij een spier, wier zenuwen door curare gedood zijn.

**Elektrische prikkeling van het hart terwijl dit zijne spontane bewegingen volbrengt.**

De borst van een kikvorsch wordt geopend, het hart tusschen de beenen van de tang geplaatst en door inductieslagen geprikkeld. Wanneer de stroom vrij zwak is, dan bemerkt men dat het hart niet aan de prikkeling gehoorzaamt, wanneer deze plaats heeft op het oogenblik van de systole, terwijl daarentegen het hart des te spoediger en krachtiger op den prikkel reageert, naar gelang deze in een meer gevorderde phase van de diastole plaats vindt (voor bijzonderheden betreffende de proef zie men pag. 435). Het hart vertoont dus telkens een zekere periode van weigering; het is van belang te onderzoeken in hoeverre de duur en de veranderingen van deze periode van verschillende invloeden afhankelijk zijn.

*Invloed van de intensiteit der inductiestroomen op de prikkelbaarheid van het hart.*

De periode van weigering doet zich alleen voor bij inductiestroomen van geringe intensiteit; wordt deze vermeerderd, dan verdwijnt zij. Het is moeilijk hiervoor de absolute sterkte der inductiestroomen aan te geven; men kan na eenige oefening spoedig de stroomsterkte zoodanig regelen, dat de periode van weigering optreedt.

*Invloed van de temperatuur op de prikkelbaarheid van het hart.*

Door verhooging van de inwendige temperatuur blijft de periode van weigering uit en wordt de prikkelbaarheid van het hart vermeerderd. Fig. 280 geeft hiervan een voorbeeld. Ook hier bemerkt men, terwijl de periode van weigering uitblijft, dat het verschil in duur van den verloren tijd afhangt van de phase der hartsperiode, waarbij de prikkeling plaats heeft: de verloren tijd is het grootst, wanneer de prikkel plaats heeft bij het begin der systole.

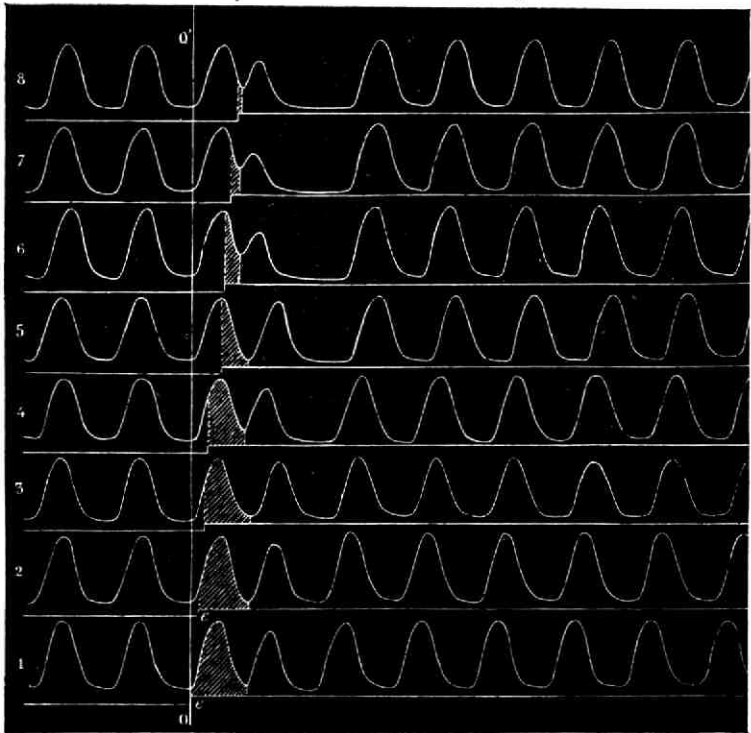


Fig. 280. Elektrische prikkeling van een hart dat aan verwarming is blootgesteld. De prikkeling heeft plaats op verschillende oogenblikken van de hartsperiode.

Zoo heeft dan het verminderen van de prikkelbaarheid van het hart en het toenemen van den verloren tijd onder de werking van dezelfde invloeden plaats. Wordt een willekeurige spier met den myograaf onderzocht, dan ziet men dat de amplitude der schokken door vermoeidheid afneemt, terwijl in dat geval de duur der schokken en ook die van den verloren tijd toeneemt. Hetzelfde

neemt men waar bij het afkoelen der spier of bij vermindering van intensiteit van de prikkeling. De bij het hart waargenomen verschijnselen komen dus weer overeen met die, welke bij de andere spieren worden aangetroffen.

Wanneer de elektrische prikkelingen niet van intensiteit veranderen, dan kan men door afkoeling van het hart den verloren tijd doen toenemen en de periode van weigering doen optreden. Dit leidt van zelf tot de vraag of de veranderingen in prikkelbaarheid van het hart in de verschillende oogenblikken der hartsperiode niet afhankelijk zijn van rhythmische veranderingen in zijn temperatuur; uit een onderzoek van de temperatuur van het hart door middel van thermo-elektrische naalden is gebleken dat deze rhythmische veranderingen in de temperatuur hoogst waarschijnlijk bestaan, en dat de orde, waarin zij voorkomen, juist die is, zooals bovengenoemde hypothese aangeeft.

*Invloed van achtereenvolgende inductieslagen op de rhythmische beweging van het hart.*

Onder den invloed van snel herhaalde inductieslagen geraken de gewone spieren in den toestand van tetanus; bij het hart daarentegen worden de hartslagen versneld.

Gesteld dat het hart bij zijn eigen rhythmische beweging éénmaal in de sekonde klopt en dat men het blootstelt aan 10 inductieslagen per sekonde, dan zal de snelheid der hartbeweging slechts tweemaal of driemaal grooter worden. Een gewone spier zou in deze omstandigheden minstens 10 contracties hebben verricht.

Om een duidelijk begrip te geven van de wijze, waarop het hart zich hierbij gedraagt, is in fig. 23 het aantal prikkelingen, die op het hart worden uitgeoefend, tegelijk met het aantal der verrichte systolen voorgesteld. Door een elektrischen seintoestel, door welchen de inductiestroom loopt, is het aantal prikkelingen opgeschreven; elke bocht van de onderste kronkelende lijn vertegenwoordigt een inductieslag.

Figuur 281 toont de uitkomsten van proeven aan, waarbij inductiestroommen van onveranderlijke intensiteit, maar van ongelijke snelheid, zijn aangewend; lijn 1 werd verkregen met 16 inductieslagen, lijn 2 met 14, en lijn 3 met 8 slagen in de sekonde. Men merkt bij de drie lijnen op dat de snelheid der opgewekte systo-



len nagenoeg dezelfde blijft. Terwijl aldus de snelheid van opvolging van de hartslagen zeer weinig invloed ondervindt van die van de prikkelingen, zal deze door een verandering in de kracht

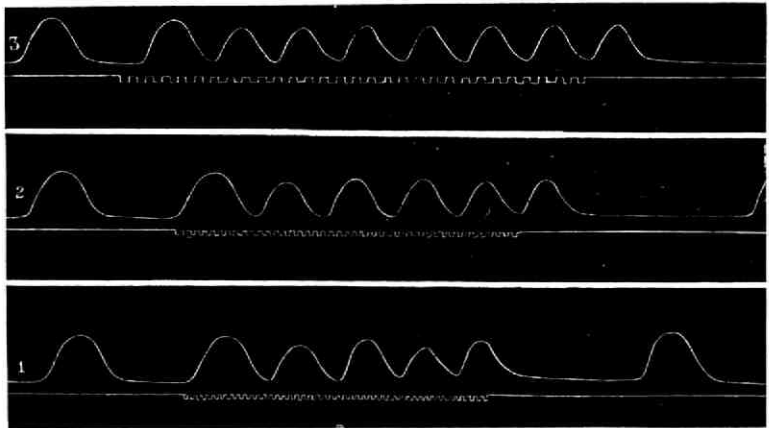


Fig. 281. Prikkeling van het hart door inductieslagen; de lijn die onder elk traecé voorkomt geeft door het aantal bochten het aantal inductieslagen aan.

van prikkeling wel gewijzigd worden. Hoe krachtiger de inductieslagen zijn, des te talrijker worden de systolen; zij kunnen zelfs nagenoeg in tetanus samenvallen. De lijnen van fig. 282 zijn met inductieslagen van verschillende intensiteit verkregen lijn 1 met

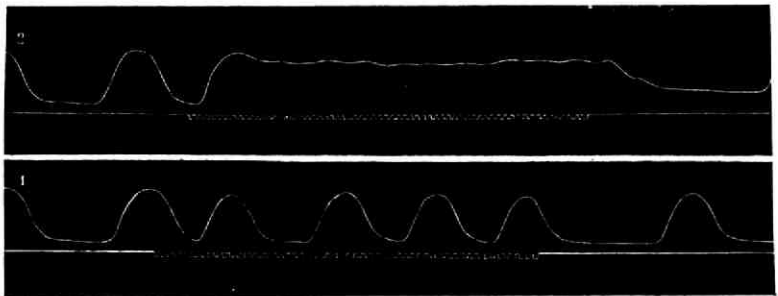


Fig. 282. Prikkeling van het hart door inductieslagen van gelijke snelheid, maar van ongelijke intensiteit. Lijn 1, zwakke slagen. Lijn 2, sterke slagen.

zwakke, lijn 2 met sterke slagen, doch steeds van dezelfde snelheid.

In deze twee typen treft men weer de overeenkomst aan met

hetgeen in een gewone spier plaats heeft, waarbij meer of minder snelle contracties plaats vinden. Zoodra de schokken zeer snel op elkaar gaan volgen, vallen zij samen en de spier schijnt in een toestand van voortdurende contractie te zijn. Terwijl in lijn 2 het samenvallen der systolen duidelijker uitkomt, is in lijn 1 het aantal systolen grooter.

Om het verschijnsel meer sprekend voor te stellen, zijn in fig. 283 de hartbewegingen afgebeeld die ontstaan door inductiestroommen van onveranderlijke snelheid maar van veranderlijke intensiteit. Om deze stroommen voort te brengen werd de kern van den inductieklos langzamerhand in den klos geschoven en weer daaruit teruggetrokken. Men ziet dat van *a* tot *b* (terwijl de stroomsterkte toenam) het aantal systolen is toegenomen; van *b* tot *c* (terwijl de stroomsterkte afnam) zijn de systolen in aantal verminderd.

Bij het toenemen der stroomsterkte blijft echter het aantal der opgewekte systolen ver beneden dat der prikkelingen. In *c* vertoont het hart een lange periode van rust, gewoonlijk langer dan die, welke op een enkele prikkeling volgt.

Deze bijzonderheden, waardoor het hart zich van de andere spieren onderscheidt, zijn alleen hieraan toe te schrijven, dat het hart telkens een periode van weigering vertoont, en dat deze periode samenvalt met de systole der kamers. Deze hypothese verklaart de onregelmatigheid, welke reeds door BOWDITCH 1)

1) Arbeiten aus der physiologischen Anstalt zu Leipzig 1872.

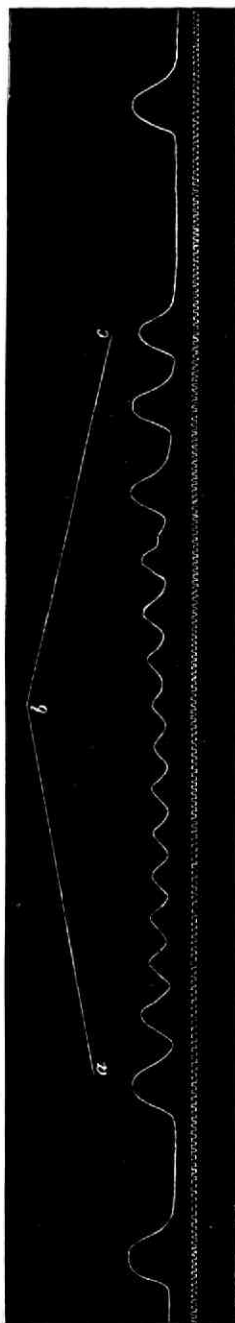


Fig. 283. Het hart van een kikvorsch, dat geprikkeld wordt door inductiestroommen van toenemende sterkte van *a* tot *b*, van afnemende sterkte van *b* tot *c*.

was opgemerkt, waarmede de door prikkelingen opgewekte systolen plaats hebben; zij verklaart tevens waarom de contracties van het hart, bij zijn onvolkomen tetanus, in aantal beneden het aantal der inductieslagen blijven. Daar toch de inductieslagen alleen dan een systole kunnen opwekken wanneer het hart prikkelbaar is, zal een verandering in de frequentie der prikkelingen, waardoor de periode van weigering niet wordt gewijzigd, geen merkbare verandering in de frequentie der systolen teweeg kunnen brengen; maar wel zal deze verandering plaats grijpen, wanneer de stroomsterkte toeneemt, daar alsdan de periode van weigering korter wordt; bij een voldoende stroomsterkte kan zelfs deze periode geheel verdwijnen. Zoodoende zal dus in dit geval het aantal prikkelingen, die zonder uitwerking blijven, steeds minder worden. Aangezien ook bij een hart, dat aan verwarming is blootgesteld, de periode van weigering afneemt, is het gemakkelijk te begrijpen dat een verwarmd hart gemakkelijker te tetaniseeren is, dan een hart dat aan afkoeling is blootgesteld.

*Invloed van de stroomen eener batterij op de hartbewegingen.* — De stroomen eener batterij kunnen op twee verschillende manieren worden aangewend: als korte prikkelingen, overeenkomstig met die, welke de inductiestroomen geven; of als prikkelingen van langen duur, zoogenaamde constante stroomen.

Om het hart van een kikvorsch te prikkelen door stroomen, waarvan men het begin en het ophouden, even als bij de vorige proeven, wil registreeren, gaat men op de volgende manier te werk.

De stroom loopt door den reeds vroeger beschreven seintocstel en wordt gesloten door een sleutel van DU BOIS-REYMOND. Van dezen sleutel loopt een stroomdraad naar het hart van den kikvorsch, zoodat dit, wanneer de sleutel geopend is, een deel van de hoofdgeleiding uitmaakt. Wordt nu de sleutel neergedrukt, dan loopt door het hart geen stroom, aangezien de weerstand van de weefsels van het hart oneindig groot kan geacht worden met betrekking tot den weerstand van den metalen sleutel; in dit geval loopt de stroom door den seintocstel en de stift neemt den laagsten stand in. Zoodra de sleutel wordt geopend, loopt de stroom door het hart, maar door den weerstand van het hart wordt nu de stroom zoo verzwakt, dat de seintocstel zijn magneetkracht verliest, even alsof de stroom verbroken was. De stift

gaat nu naar boven en blijft in dien stand totdat de sleutel op nieuw gesloten wordt en de stroom niet meer door het hart loopt.

Blijft de sleutel slechts gedurende  $\frac{1}{3}$  seconde geopend, dan gedraagt zich het hart als bij de inductieslagen. Figuur 284 toont

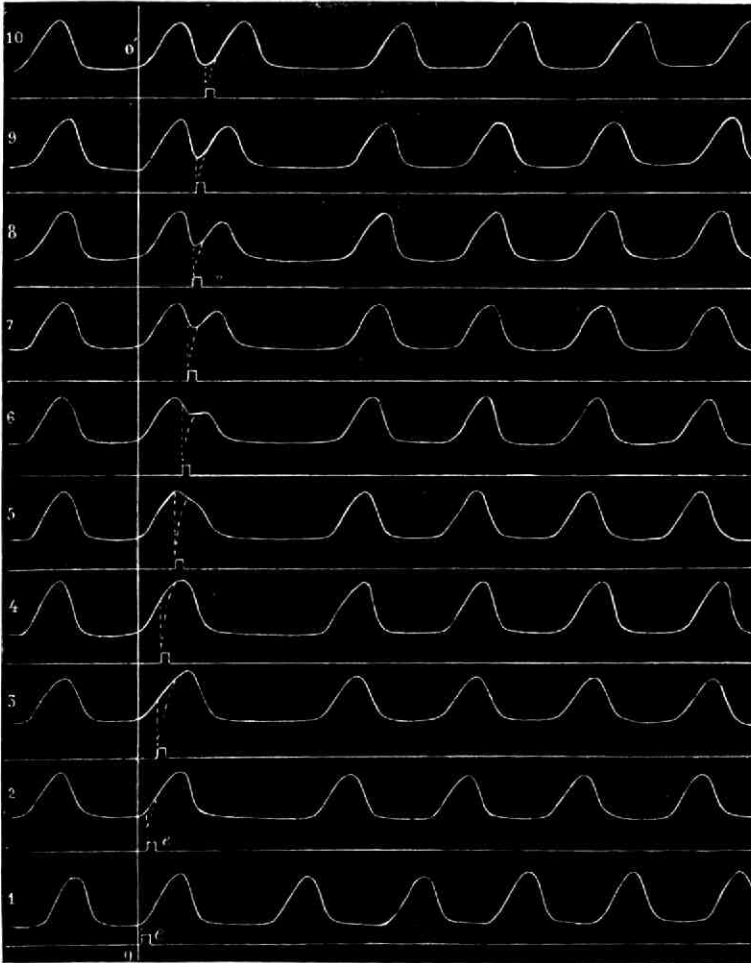


Fig. 284. Prikkeling van het hart van een kikvorsch door korte stroomen eener batterij, aangewend in verschillende oogenblikken der hartsperiode.

eenige prikkelingen, die verkregen zijn met korte doorgangen van den stroom van één element van DANIELL van groote afmeting. Men zal nu bemerken dat de periode van weigering uitblijft en dat de verloren tijd in de verschillende gevallen bijna

altijd even groot is. Dit is nu niet toe te schrijven aan een bijzondere werking van den stroom eener batterij op het hart, maar alleen een gevolg van de groote intensiteit van den stroom. Wordt deze verminderd, dan treden alle verschijnselen, die vroeger bij de inductiestroomen werden gevonden, weer op.

Is de stroom constant en afgebroken, dan werkt hij als inductiestroomen, die elkaar snel opvolgen, en brengt een meer of minder volmaakt tetanus teweeg, al naargelang de sterkte van den stroom is.

De periode van weigering vertoont zich ook hier, wanneer namelijk de constante stroom op het oogenblik der systole het hart prikkelt.

Ook de uitkomsten van deze proeven toonen dus op overtuigende wijze aan dat het hart in alle opzichten een duidelijke overeenkomst vertoont met de andere spieren, uitgezonderd in één punt: dat het op het oogenblik van den schok, dat overeenkomt met de periode van samentrekking, minder gevoelig is voor elektrische prikkelingen.

Nu blijft echter nog de vraag te beantwoorden, of het wel zeker is dat de spieren van het organisme niet een phase van mindere prikkelbaarheid vertoonen. De juiste beantwoording dezer vraag, van zooveel belang voor de physiologie, blijft den physiologen zeer aanbevolen. 1)

*Gevolgtrekkingen.* De gevoeligheid van het hart voor prikkeling is in de verschillende oogenblikken van een hartsperiode ongelijk.

Door een enkele krachtige prikkeling wordt altijd een systole opgewekt; is de prikkeling zwak, dan zal het hart hieraan slechts in sommige oogenblikken gehoor geven.

Bij elke hartsperiode vertoont het hart een *periode van weigering*; deze valt samen met het begin van de systole der kamers. De duur van deze periode is veranderlijk en hangt af van de intensiteit der prikkeling en van de omstandigheden, waarin zich het hart bevindt.

---

1) Door BOUDET te Parijs zijn proeven genomen, waarvan hij de uitkomsten nog niet heeft gepubliceerd, maar waaruit hij besluit dat wanneer twee prikkelingen, die op een spier worden uitgeoefend, te snel op elkaar volgen, alsdan de tweede prikkeling niet de totale uitwerking van de eerste heeft.

Bij *geringe intensiteit der prikkeling* duurt de periode van weigering minstens even lang als de systole; bij vermeerdering van intensiteit wordt de duur dezer periode kleiner tot zij ten laatste verdwijnt.

Door *warmte* kan de periode van weigering verkort worden en zelfs geheel verdwijnen, terwijl door *koude* de duur toeneemt.

Door de kunstmatig opgewekte systolen wordt de rhythmische beweging van het hart niet merkbaar veranderd; de buitengewone arbeid, dien het hart alsdan verricht, weegt op tegen een langere periode van rust. Hierin is een nieuw bewijs gelegen dat het hart streeft naar onveranderlijkheid van arbeidsvermogen.

Een opgewekte systole zal des te kleiner *amplitude* hebben, naarmate zij spoediger de voorafgaande willekeurige systole volgt.

De *verloren tijd* van een opgewekte systole is des te korter, naarmate het oogenblik van de prikkeling, die haar deed ontstaan, verder van de voorafgaande willekeurige systole is verwijderd.

Wordt het hart door *eenige opvolgende zwakke inductieslagen* geprikkeld, dan zullen de meeste dier prikkelingen het hart ongevoelig vinden; door de snelheid van opvolging dezer inductieslagen te vermeerderen, wordt de snelheid van opvolging der systolen nagenoeg niet veranderd.

Door de intensiteit der inductieslagen te vermeerderen zonder de snelheid van opvolging te veranderen, wordt de duur der periode van weigering korter en nadert het aantal der systolen meer tot dat der prikkelingen, zoodat bij krachtige inductieslagen, die elkaar snel genoeg opvolgen, het hart geheel in tetanus wordt gebracht.

Snel afgebroken stroomen van een batterij hebben dezelfde uitwerking als inductiestroomen.

De constante stroom van een batterij werkt bij geringe intensiteit als een reeks van onafgebroken prikkelingen en versnelt alleen de rhythmische beweging van het hart een weinig. Door een sterken stroom wordt de rhythmische beweging meer versneld en kan het hart in tetanus gebracht worden.

Ook de andere spieren zullen op een dergelijke wijze aan een myografisch onderzoek moeten onderworpen worden; belangrijke toepassingen zijn daarvan voor de geneeskunde te verwachten. LEGROS en ONIMUS hebben reeds enkele myografische proeven

genomen op het spijsverteeringskanaal. FRANÇOIS FRANCK heeft het tijdsverloop bepaald tusschen de oogenblikken waarop een prikkeling en de daarop volgende vernauwing der bloedvaten plaats vindt; wij zullen hierop later terugkomen.

## ZESDE HOOFDSTUK.

### PNEUMOGRAFIE.

Het grafisch bestudeeren van de ademhalingsbewegingen. VIERORDT en LUDWIG. — Aanwending der werktuigen; beteekenis der tracés. — Pneumograaf met luchttransport. — Lijnen van de thoraxbewegingen. — Verband tusschen de thoraxbewegingen en de abdominale bewegingen. — Verband tusschen de ademhalingsbewegingen en de beweging van de in- en uitgeademde lucht. — Grafische bepaling van de volumina der in- en uitgeademde lucht. — Frequentie en rhythmus van de ademhaling in normalen toestand. — Invloeden die het karakter der ademhaling wijzigen; invloed van een vernauwing der respiratiewegen; heletselen gesteld aan de luchtbeweging bij de inspiratie of bij de expiratie.

#### **Het grafisch bestudeeren van de ademhalingsbewegingen en van de invloeden waardoor deze gewijzigd worden.**

Kort nadat de uitkomsten van het grafisch onderzoek van den pols door VIERORDT waren bekend gemaakt (1855), verscheen een werk van VIERORDT en LUDWIG over de ademhalingsbewegingen. 1) Voor het onderzoeken der ademhalingsbewegingen gebruikten beide physiologen den sphygmograaf van VIERORDT. De dieren of de menschen, waarop de proeven werden genomen, moesten hierbij op den rug liggen; de knop van den sphygmograaf, die bij het onderzoeken van den pols op het bloedvat rust, steunde op het borstbeen; de lijn der ademhalingsbewegingen werd door den langen arm van den sphygmograaf op den cilinder van een kymografion getraceerd. Uit deze lijn werd de snelheid der ademhalingen afgeleid; daartoe werd het aantal der ademhalingen geteld voor een bekenden en altijd even grooten tijdsduur, bijv. voor een geheel omgang van den cilinder.

1) VIERORDT en LUDWIG. *Beiträge zur Lehre von den Athembewegungen.* (Arch. für physiologische Heilkunde, 1855 t. XIV, p. 253),

Ook werd nauwkeurig de duur der inademiingen, der uitademingen en van het tijdsverloop daartusschen bepaald; daartoe projecteerde men de kromme lijn op de as der abscissen, d. w. z. op de horizontale lijn, die den omtrek van den cilinder voorstelt. Uit de projectie van de kromme op de ordinaten-as leidde men de amplitude der bewegingen af. Ook trachten deze physiologen de *vitale capaciteit* van de long te bepalen. Daartoe werd de cilinder stilgehouden gedurende den tijd, dat een diepe inademing en een zooveel mogelijk volledige uitademing plaats had; de hefboom van den sphygmograaf traceerde alsdan een grooten cirkelboog. Door de uiteinden van dezen boog werden twee horizontale en dus evenwijdige lijnen getrokken, wier afstand de maat voor de vitale capaciteit in grafischen vorm aangaf. Waren deze merkteekenen eenmaal vastgesteld, dan kon men bij een ademhalingstracé nagaan in hoever de borst, terwijl zij met lucht gevuld werd of wel deze uitdreef, tot de grenzen der vitale capaciteit naderde.

Ook trachtten VIERORDT en LUDWIG de betrekking te bepalen die bestaat tusschen de amplitude van een ademhalingslijn en de hoeveelheid lucht, welke op het oogenblik van de ademhaling in beweging wordt gebracht. Zij gebruikten daartoe den spirometer en leidden uit hunne waarnemingen af dat *de hoogte der lijnen nagenoeg evenredig is met de hoeveelheid ingeademde lucht*.

Door eindelijk de amplitude en de frequentie der ademhalingsbewegingen te vergelijken, kwamen zij tot de gevolgtrekking *dat de borst zich des te minder uitzet naarmate de ademhaling meer frequent is*.

Deze zijn de voornaamste gevolgtrekkingen waartoe de arbeid der beide Duitsche physiologen geleid heeft; hunne overige bepalingen kunnen hoogstens dienen tot het afleiden van gemiddelde waarden, die echter van weinig belang zijn, aangezien zij op geen enkel bijzonder geval van toepassing zijn. Inderdaad bestaat er geen standvastige betrekking tusschen den duur der expiraties en inspiraties en wanneer men ook over 't algemeen kan aannemen dat de tijd van inspiratie het kortst is, kan de verhouding van den duur van in- en uitademing door sommige invloeden weer geheel omgekeerd worden.



### Aanwending der werktuigen; beteekenis der tracés.

Het werktuig, dat als pneumograaf het meest is aan te bevelen, is in fig. 285 afgebeeld; reeds vroeger gaven wij daarvan een

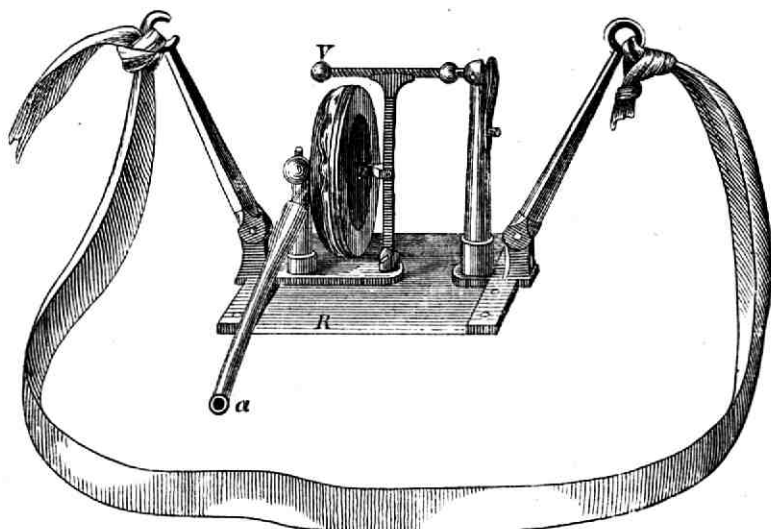


Fig. 285. De pneumograaf.

beschrijving 1) (pag. 233); de werking begint wanneer men de schroef V in verbinding stelt met de stang, die op de trommel werkt; de werking houdt op wanneer men de schroef oplicht.

Om de beteekenis van deze lijnen goed te begrijpen volgen wij in gedachte de verschillende bewegingen, die door de verschillende deelen van den toestel gedurende de ademhaling worden uitgevoerd. Gedurende de inspiratie zet de borst zich uit, de band zal langer worden in de punten, waarin hij veerkrachtig is, d. w. z.: hij zal de armen van den toestel doen uitwijken; deze toestel zuigt door de buis de lucht van de registreerende trommel op; het vlies van deze trommel daalt dus en de daarop rustende

1) \* Door MAREY is ook een pneumograaf samengesteld, waarbij alle naar buiten uitstekende deelen zijn vermeden en die gemakkelijk onder de kleederen kan worden aangebracht. Overigens geeft dit werktuig dezelfde tracés als het bovengenoemde. \*

hefboom insgelijks. — Gedurende de expiratie vermindert de omvang der borst, het vlies van de trommel van den pneumograaf wordt naar binnen gedrukt; dat van de registreerende trommel wijkt naar buiten en licht de hefboom op. Elke stijging in de lijn wijst dus op een expiratie, elke daling op een inspiratie.

De tracés worden van de linker naar de rechter zijde gelezen. Men kan hierbij op een zelfden cilinder met verschillende hefboomen schrijven, waarvan elke in verbinding staat met een afzonderlijken pneumograaf. Hierdoor is men in staat de bewegingen van den thorax en die van het onderlijf ten opzichte van vorm en synchronisme met elkaar te vergelijken. Ook kan men tegelijkertijd de ademhalingsbewegingen en het kloppen van het hart registreren.

Om den duur der geregistreeerde verschijnselen nauwkeurig te bepalen, laat men door een elektrischen toestel de sekonden op het papier opteekenen; deze voorzorg is overbodig, wanneer men de omwentelingssnelheid van den cilinder heeft bepaald. Deze proeven worden verder zoo ingericht, dat de persoon, op wien de proef genomen wordt, niet op den rug behoef te liggen, zooals bij de proeven van LUDWIG en VIERORDT. Ook kan nu de experimentator proeven nemen op zich zelf, hetgeen een groot voordeel is. Voor 't overige was de toestel van VIERORDT geheel vrij van gebreken; alleen was hij moeilijk aan te wenden.

In fig. 286 zijn tracés van ademhalingsbewegingen voorgesteld met aanwijzing van den duur en van de amplituden, alsmede van de frequentie der hartslagen: de twee bovenste lijnen wijzen de ademhalingsbewegingen aan, T de bewegingen van de borstkas, A de bewegingen van het onderlijf (abdominale bewegingen). C wijst de hartslagen aan, terwijl S getraceerd is door den toestel, die de sekonden aangeeft. De duur van een sekonde wordt aangeduid door de lengte van een halven centimeter.

Men merkt in de figuur bij de lijnen, die de periode van uitademing aanwijzen, een tal van kronkelingen op. Deze ontstaan door de schommelende beweging, welke de hartslagen teweegbrengen in de wanden van de borstkas en van het onderlijf

Wij zullen nu de bijzonderheden van elk dezer lijnen nader beschouwen.

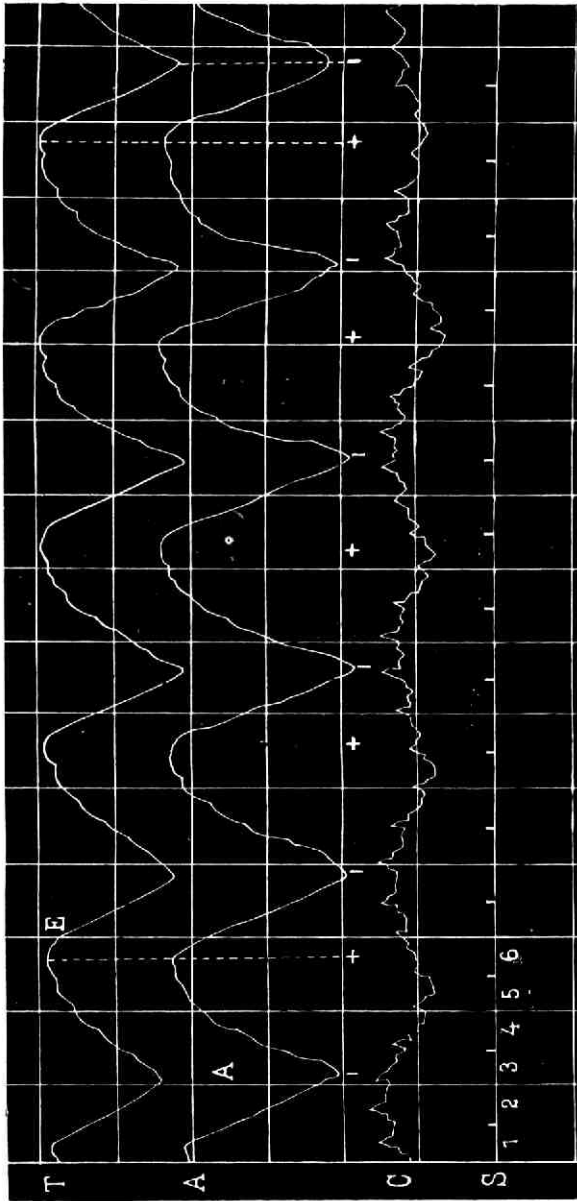


Fig. 286. Lijnen van de ademhalingsbewegingen; T, tracé van de bewegingen van den thorax; A, tracé van de abdominale bewegingen; C, tracé van de hartslagen; S, sekonden; één sekonde wordt aangegeven door een halven centimeter.

### Lijn van de thoraxbewegingen.

Om den duur van inspiratie en van expiratie bij een ademhalingscurve te bepalen, kan men aldus te werk gaan.

Volgens hetgeen zoo even is gezegd, wordt elke inspiratie door een dalende, elke expiratie door een klimmende lijn aangewezen. De eerste inspiratie van de lijn T heeft dus plaats van het begin tot aan het punt A; de eerste expiratie heeft plaats van A tot E.

Men plaatst nu op een der horizontale lijnen merkteekens juist onder de punten, die de afscheiding tusschen de inspiraties en expiraties aangeven. Onder het einde van elke expiratie, dus onder het hoogste punt van elke lijn plaatst men een kruisje, onder het laagste punt een streepje. Volgt men de figuur van links naar rechts, dan stelt de afstand tusschen een streepje en een volgend kruisje den duur van een expiratie, die van een kruisje tot een volgend streepje den duur van een inspiratie voor. Men kan dus den duur van elk dezer perioden bepalen naar het aantal millimeters, die zij bevatten. Om den gemiddelden duur van elke ademhalingsperiode te vinden, zet men op een verdeelde lijn al de lengten naast elkaar af die met de inspiraties overeenkomen, en indien nu een geheel aantal respiraties in de lijn bevat is, behoeft men de gevonden lengte slechts van 30 cM. (een lengte die overeenkomt met een minuut) af te trekken, om den duur der expiraties te vinden. Deelt men nu den gevonden tijd door het aantal ademhalingen en zet men deze deeling tot in twee decimalen voort, dan krijgt men den gemiddelden duur der ademhaling met een voldoende nauwkeurigheid.

*Rhythmus der ademhaling.* — De inspiratie en de expiratie maken de twee natuurlijke verdeelingen van de ademhalingsbeweging uit. Volgens sommigen zou na elke phase van de ademhalingsbeweging een phase van rust intreden, en wel de langste na de inspiratie. Dit is echter onjuist; schijnt ook al bij het einde der inspiratie de beweging der borst een oogenblik stil te staan, zoo is toch de onbewegelijkheid der thoraxwanden nooit volkomen. Trouwens men bemerkt in de tracés nergens een horizontaal lijntje, maar alleen een vertraging bij het klimmen der lijn.

De amplitude der beweging wordt blijkbaar bepaald door de

vertikale hoogte der inspiratie of der expiratie; deze amplituden zijn niet altijd even groot voor elke respiratie, maar die ongelijkheid verdwijnt na verloop van eenige oogenblikken; was dit niet het geval, dan zou de geheele lijn stijgen of dalen.

De amplitude van een ademhalingstracé kan onder verschillende invloeden, onafhankelijk van de kracht der ademhalingsbewegingen, veranderen, zooals bijv. tengevolge van de wijze waarop de band van den pneumograaf wordt bevestigd, van zijn meerdere of mindere spanning, van de gevoeligheid van den toestel met hefboom, enz. Is echter eenmaal de toestel bevestigd, dan blijft de amplitude bij een geregelde ademhaling even groot, en verandert alleen, wanneer de ademshalingsbewegingen zelf veranderen. Door het onderling vergelijken van de verschillende amplituden van de kronkelingen van een tracé kan men de verschillende bewegingen met elkaar vergelijken, waardoor het tracé is ontstaan. De amplitude van zulk een lijn geeft echter niets volstrechts aan, zoolang men niet proefondervindelijk de hoeveelheid lucht heeft bepaald, die bij een ademhaling in beweging is gebracht.

#### **Verband tusschen de thoraxbewegingen en de abdominale bewegingen.**

Een der eerste vragen, die zich bij het grafisch onderzoek der ademhalingsbewegingen voordoen, is deze: in welk punt moet de band van den pneumograaf aangebracht worden? is het onverschillig of men dien op de borstkas of op het onderlijf aanbrengt?

Deze vraag wordt direkt beantwoord, wanneer men gelijktijdig met twee gelijke toestellen de thoraxbewegingen en de abdominale bewegingen registreert; de beide tracés zijn dan nagenoeg evenwijdig en vertoonen alleen een verschil in amplitude, dus in intensiteit der beweging (zie fig. 286). Had men de gevoeligheid van den toestel, die hier de abdominale bewegingen opschrijft, eenigszins verminderd, dan zou men twee volkomen congruente tracés hebben verkregen. 1)

---

1) Men verandert de gevoeligheid van het werktuig, dus ook de amplitude van het tracé, door de trommel met het stuk dat den hefboom oplicht, iets voorwaarts of

In abnormalen toestand der ademhaling behoeven deze twee tracés niet parallel te zijn; in den normalen toestand echter zijn zij steeds evenwijdig. 1)

Daaruit volgt dat het onverschillig is in welk punt men den band van den pneumograaf bevestigt; alleen moet men zorg dragen, om de bewegingen gemakkelijk te kunnen registreeren, dat men het punt zoodanig kiest, dat de bewegingen niet te sterk en niet te zwak zijn.

### **Verband tusschen de ademhalingsbewegingen en de beweging van de in- en uitgeademde lucht.**

Hiertoe wordt gelijktijdig met het tracé der ademhalingsbeweging een ander tracé opgevangen, dat de hoeveelheden lucht aangeeft die de borst elk oogenblik opneemt en uitdrijft. Daartoe neemt men een bak, van ongeveer twee liters inhoud, waaraan twee buizen zijn aangebracht; de wijdeste van die buizen wordt voor den mond geplaatst, om daardoor te ademen; de nauwste is verbonden met een trommel met hefboom.

Bij elke inspiratie wordt de lucht in den bak verdund, waardoor de hefboom van de registreerende trommel daalt; bij elke expiratie wordt de lucht samengedrukt en de hefboom stijgt.

Regelt men de gevoeligheid der registreerwerktuigen zoodanig, dat zij tracés geven met gelijke amplituden, dan bespeurt men dat men weer volkomen gelijke tracés verkrijgt. Hieruit volgt dat de uitwendige ademhalingsbewegingen een intensiteit hebben, evenredig met de hoeveelheden lucht, die de borst ieder oogenblik opneemt of uitdrijft. 2)

achterwaarts te verschuiven, zoodat het aangrijppingspunt van de kracht, die op den hefboom werkt, meer of minder dicht bij de draaiings-as van den hefboom valt.

1) De zonderlinge afwisselingen van de gemeten drukkingen in den thorax en in het onderlijf, door LUCIANI gevonden, zijn hoogst waarschijnlijk aan een gebrek van de door hem bezigde toestellen toe te schrijven.

2) Het overbrengen van deze luchtbewegingen uit den bak naar den hefboom met trommel geschiedt zoo nauwkeurig en oogenblikkelijk, dat elke golving in de lijn der thoraxbewegingen gepaard gaat met een gelijktijdige golving in het tracé der luchtbewegingen. Alleen zijn hiervan uitgezonderd de kleine kronkelingen, die in het tracé van de thoraxbewegingen door de hartslagen worden teweeggebracht.

Deze overeenkomst tusschen beide tracés is alleen volkomen bij een geheel vrije ademhaling; zal de hoeveelheid lucht, die in de borstkas treedt of daaruit verdreven wordt, in direkte betrekking staan met de uitgeoefende spierwerking, dan moet de doorgang voor de lucht zoo ruim zijn, dat zij nagenoeg geen weerstand daardoor ondervindt. Wanneer bijv. bij een sterke expiratie de lucht geen gemakkelijken uitweg vindt, dan wordt zij in de long samengedrukt en vermindert in volume, waardoor de borstkas zich meer kan samentrekken dan het volume uitgeademde lucht toelaat. Omgekeerd zal bij een krachtige inspiratie de borst zich kunnen uitzetten, wanneer de lucht, die in de long bevat is, verdund wordt.

Wordt de doorgang van de lucht zoo moeilijk mogelijk gemaakt en stellen wij, om het verschijnsel duidelijker te maken, dat de luchtwegen geheel gesloten zijn; dan kan de borst nog eenige bewegingen van uitzetting of samentrekking verrichten, maar deze hebben geen andere uitwerking dan het verdunnen of het verdichten van de daarin bevatte lucht. De holte der borstkas vertoont nu in deze omstandigheden een merkbaar verschil met de holten van het hart; want deze laatste werken bij hunne systolen en diastolen op een onsamendrukbare vloeistof, die zich ook niet kan uitzetten, zoodat de volumeverandering van het hart altijd gepaard gaat met een werkelijke vermeerdering of vermindering van zijn inhoud; terwijl bij de ademhalingswerking de thoraxbewegingen op een uiterst samendrukbare stof werken.

In fig. 287 is het tracé der thoraxbewegingen bij het ademen



Fig. 287. Lijn der thoraxbewegingen verkregen bij het ademen door een nauwe buis.

door een nauwe buis voorgesteld. Eerst bemerkt men een plotselinge stijging, waardoor wordt aangeduid dat de vernauwing van den thorax heeft plaats gehad door de lucht samen te drukken, die in de long is bevat; daarna heeft de stijging langzaam

plaats, waardoor wordt uitgedrukt dat elke nieuwe samentrekking onmogelijk is, tenzij er lucht uit de buis treedt, hetgeen slechts zeer langzaam plaats heeft.

De snelle daling der lijn van af het hoogste punt beteekent dat de lucht in de long verdund wordt door de inspiratiekrachten; daarna zet de daling zich langzaam voort, tengevolge van den doorgang van de lucht, die door de buis wordt ingeademd.

#### **Grafische bepaling van de volumina der in- en uitgeademde lucht.**

Om het volume der in- en uitgeademde lucht te bepalen, is het voldoende de hoeveelheid lucht te kennen, die, in het hierboven beschreven reservoir samengeperst, een stijging van den hefboom veroorzaakt gelijk aan die, welke in het tracé voorkomt. Hiertoe wordt het reservoir door een buis verbonden met den klokspirometer van HUTCHINSON; men drukt nu op de klok, totdat de uitgedreven lucht den registreerenden hefboom tot aan het hoogste punt van het tracé heeft opgelicht; men teekent op dat oogenblik op de verdeelde klok den stand van den waterspiegel op; heft daarna de klok op, totdat de hefboom een stand heeft ingenomen overeenkomende met het laagste punt van het tracé, en teekent nu den stand van den waterspiegel op nieuw op; alsdan is het volume, dat van het reservoir in de klok is overgegaan, gemakkelijk te berekenen.

Dit volume lucht is gelijk aan dat, wat bij de expiratie uit de long is verdreven. Wij hebben echter vroeger gezegd dat het tracé van de thoraxbewegingen evenwijdig is met het tracé van de luchtbewegingen; zoodat men uit het tracé der thoraxbewegingen het volume lucht kan affeiden, dat in een zekeren tijd in beweging is gebracht, wanneer men eenmaal het volume lucht heeft bepaald, dat met een der geregistreeerde ademtochten overeenkomt. 1)

1) Op deze methode is aan te merken dat de temperatuur van de lucht, die bij de ademhaling in beweging wordt gebracht, van invloed kan zijn op deze bepalingen, daar de lucht in de long en in het reservoir ongelijke temperaturen bezitten. De ervaring bewijst echter dat deze invloed nagenoeg nul is. Werd de lucht in het reservoir na eenige ademhalingen merkbaar verwarmd, dan zou het geheele tracé der luchtbewegingen langzamerhand stijgen; dit stijgen nu heeft in zoo geringe mate plaats, dat men het zonder bezwaar buiten rekening kan laten.



Bij een geregelde ademhaling is het voor het bepalen van de in een zekeren tijd in beweging gebrachte lucht voldoende, dat men de luchthoeveelheid van een enkele respiratie vermenigvuldigt met het aantal respiraties, die in dien tijd hebben plaats gehad.

#### **Frequentie en rhythmus van de ademhaling in normalen toestand.**

Een tal van invloeden kunnen de ademhalingsbewegingen wijzigen; het is hiermede gesteld als met den bloedsomloop: door de houding, de spierwerking, de temperatuur, het opnemen van spijzen, enz. kunnen beide funktiën zeer gewijzigd worden.

Voor de ademhaling voegt zich nog de wil bij bovengenoemde oorzaken van verandering, daar wij ten behoeve van het spreken of van een spierbeweging de bewegingen van de borstkas gedurende eenigen tijd naar willekeur kunnen wijzigen of zelfs kunnen opheffen. Deze storende oorzaken zouden voor het grafische onderzoek zeer lastig zijn, indien men ze niet nagenoeg geheel buiten werking kon doen blijven. Daartoe is het voldoende zijn aandacht af te wenden van het tracé, dat op automatische wijze ontstaat, en zich met iets anders bezig te houden waarbij een zekere oplettendheid vereischt wordt, bijv. met lezen. Juist om deze reden geven de zieken, die pneumografisch onderzocht worden, gewoonlijk valsche tracés; verkeerden zij in een zekeren toestand van krachteloosheid of onvermogen, dan kan men over 't algemeen tracés verkrijgen, die den waren toestand der ademhaling aangeven.

Van de willekeurige werkingen, die van invloed zijn op de ademhaling, dient in de eerste plaats het hardop lezen vermeld te worden. Iemand die hardop leest, vult zijn borst zoo spoedig mogelijk met lucht en drijft die lucht zoo langzaam mogelijk uit. Daardoor ontstaat een belangrijke wijziging in den rhythmus der ademhaling; de inspiratie duurt veel korter en de expiratie veel langer dan in den normalen toestand; nemen wij als normaal type 100 inspiraties op 200 expiraties, dan heeft men bij het hardop lezen 40 inspiraties op 200 expiraties. Ook het zingen verandert den rhythmus der ademhaling sterk: 18 inspiraties op 282 expiraties. Men kan de ademhaling gedurende een zekeren tijd staken; de inspiratie 30 tot 40 sekonden, de expiratie 25 tot 30 sekonden; ook kan men de beweging versnellen tot 120 respiraties in de minuut.

Draagt men zorg dat dergelijke werkingen worden vermeden, die, daar zij afhankelijk van den wil, den rhythmus der ademhaling zoozeer kunnen wijzigen, dan krijgt men een volkomen regelmatig ademhalingstracé. Verdeelt men zulk een tracé, dat bijv. de ademhaling gedurende een of twee minuten voorstelt, in twee gelijke deelen, dan ziet men dat de twee helften juist een gelijk aantal respiraties vertoonen en dat de betrekkelijke duur der inspiraties en expiraties in beide helften even groot is. Men zou zich zelfs verwonderen over de treffende overeenstemming, die men uit een vergelijking van zulke tracés opmerkt, wanneer men niet in de bewegingen van het hart een tal van voorbeelden aantrof, waaruit de regelmatigheid van een functie van het organisch leven duidelijk aan het licht komt.

#### **Invloeden die het karakter van de ademhaling wijzigen.**

*A. Invloed van de nauwheid der ademhalingswegen.* — Registreert men de bewegingen die zich bij de vrije ademhaling met den mond half open voordoen, en die, welke plaats hebben wanneer men uitsluitend door een buis ademt, die meer of minder nauw is, dan ziet men dat het tweede tracé van het eerste verschilt in frequentie, amplitude en rhythmus. Hoe nauwer de buis is, des te sterker wordt het verschil tusschen de beide tracés. In fig. 288 is de lijn A verkregen bij normale ademhaling; het tracé O is verkregen bij de ademhaling door een nauwe buis. Wij zullen nu de verschillen tusschen beide tracés nagaan.

*Frequentie.* — De nauwheid der ademhalingswegen vermindert de frequentie der ademhaling.

Deze vertraging in de ademhaling, veroorzaakt door den weerstand, die aan de lucht bij haar doortocht geboden wordt, stemt overeen met die welke wij vroeger hebben opgemerkt bij de beweging van het hart, toen wij hebben aangetoond dat de bewegingen van het hart langzamer worden, wanneer het bloed, dat uit het hart stroomt, eenig beletsel ontmoet. Dit is niet het eenige punt van overeenstemming tusschen den bloedsomloop en de ademhaling, twee functiën, die zoo nauw met elkaar zijn verbonden en die onophoudelijk op elkaar werken.

*Amplitude.* — De amplitude van de ademhaling vermeerderd

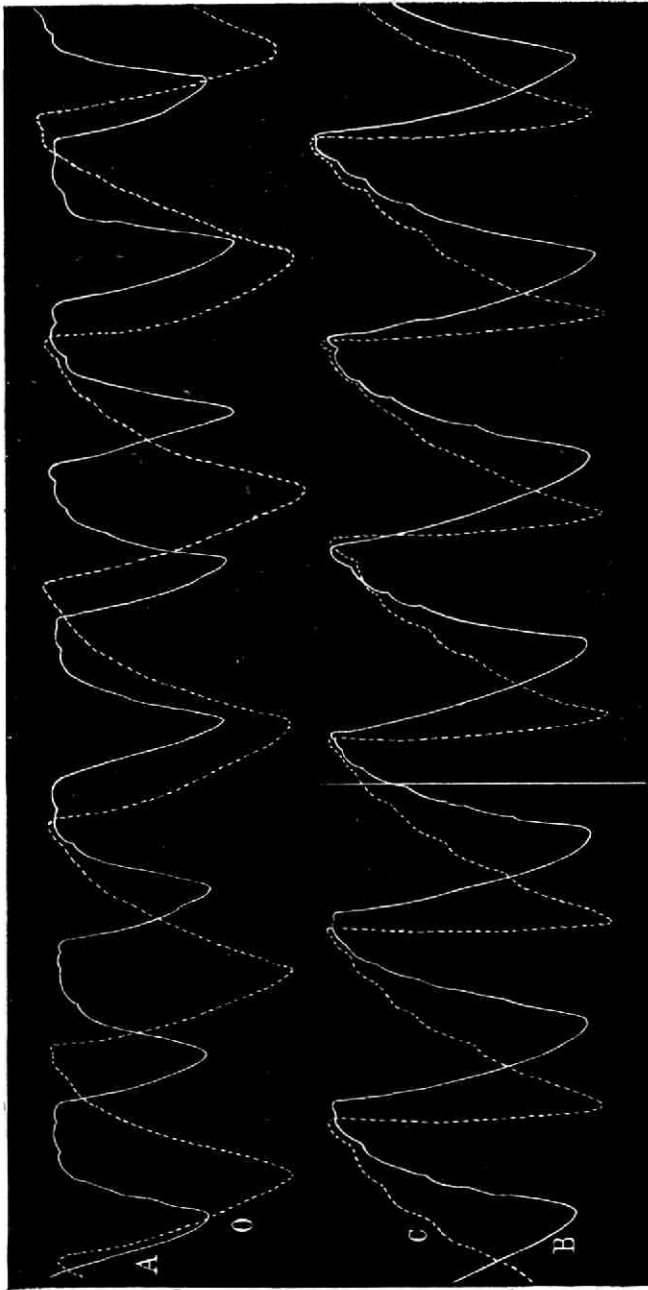


Fig. 285. Tracés van de ademhalingsbewegingen van den mensch.

onder den invloed van een beletsel dat aan den doorgang van de lucht is gesteld.

Wij merken dus een zekere compensatie op tusschen de verminderde frequentie en vermeerderde amplitude, zoodat de ademhaling zoo weinig mogelijk lijdt onder het beletsel, dat aan den doortocht van de lucht is gesteld. Hieruit vloeit een nagenoeg onveranderlijk bedrag der luchthoeveelheden voort, die in een bepaalden tijd in beweging worden gebracht, zoodat de bloedbereiding nagenoeg onveranderd plaats heeft; hierin zien wij weer een nieuw punt van overeenkomst met de werking van het hart, welks systolen in 't algemeen met des te sterker golven optreden naarmate zij zeldzamer zijn.

De compensatie van de mindere frequentie door de grootere amplitude der respiraties is in geen deele constant; een buitengewone vernauwing der ademhalingswegen heeft een belemmering en een benauwheid tengevolge, die iedereen wel bekend is, en die zich in een duidelijke vermindering van de bloedbereiding openbaart, hetgeen bewijst dat op dit oogenblik een niet voldoende hoeveelheid lucht in de longen dringt.

*Rhythmus.* — Tengevolge van een vernauwing van den luchtweg verandert de verhouding van den duur der inspiratie en dien der expiratie; de duur van de eerste wordt langer.

B. *Invloed van een beletsel dat aan den doortocht der lucht gesteld wordt bij de inspiratie of bij de expiratie.* — Om deze uitwerking na te gaan kan men zich bedienen van een koperen buis van twaalf millimeters middellijn en tien centimeters lang, dus wijd genoeg om door haar opening vrij adem te halen. In deze buis is een klep aangebracht in wier middelpunt een opening van drie millimeter middellijn is gemaakt.

De luchtstroom kan slechts in één richting de klep openen; in de tegenovergestelde richting sluit hij de klep en heeft geen anderen doortocht dan de nauwe opening in de klep.

Naargelang men dus het eene of het andere uiteinde dezer buis voor den mond plaatst, wordt de inspiratie of de expiratie belemmerd.

In fig. 288 zijn vier tracés der ademhaling voorgesteld, die op deze wijze zijn verkregen.

De lijn A is bij de vrije ademhaling getraceerd; de lijn O bij

het ademen door een nauwe buis, zoodat dus zoowel de inspiratie als de expiratie belemmerd was, bij de lijn B was alleen de inspiratie, bij C alleen de expiratie belemmerd. Vergelijkt men de lijn A met de lijnen B en C, dan bemerkt men dat deze laatste lijnen een geringere frequentie en een grootere amplitude vertoonen; het verschil in rhythmus van beide lijnen is een gevolg van den zin, waarin het beletsel aan de luchtbeweging is gesteld. Steeds wordt die phase van de ademhaling verlengd, welke door het beletsel wordt belemmerd. Zoo wordt bijv. in C de expiratie verlengd.

C. *Invloed van een uitwendige samendrukking der borst.* — Wanneer om het bovenlichaam een gordel wordt geslagen die stevig wordt aangetrokken, zoodat daardoor de frequentie, de rhythmus en de amplitude der ademhaling aanmerkelijk worden gewijzigd dan zullen door dien uitwendigen druk de ademhalingsbewegingen worden versneld; de amplitude wordt aanmerkelijk verminderd, hetgeen gemakkelijk te begrijpen is, daar een onrekbare band zich krachtig tegen het uitzetten van de borst verzet. De rhythmus wordt zoodanig gewijzigd dat de inspiratie en expiratie meer gelijk worden, doordat de eerste in duur toeneemt ten koste van de tweede.

Wij geven hieronder een beknopt overzicht van de veranderingen die in de ademhaling plaats hebben tengevolge van het belemmeren der luchtbeweging.

BELEMNERING VAN DE EXPIRATIE EN DE INSPIRATIE.	}	Amplitude +	}	Inspiratie +	
		Frequentie —			}
		Rhythmus . . . . .			
BELEMNERING VAN EEN DER BEIDE RESPIRATIE- PHASEN.	}	Belemmering van de inspiratie.	}	Amplitude +	
				Frequentie —	}
		Rhythmus . . . . .		Expiratie. —	
		Belemmering van de expiratie .		Amplitude +	
		Frequentie —		}	Inspiratie +
		Rhythmus . . . . .			
UITWENDIGE SAMENDRUKKING VAN DE BORST.	}	Amplitude —	}	Inspiratie +	
		Frequentie +			}
		Rhythmus . . . . .			

*Gevolgtrekkingen.* De ademhalingsbewegingen kunnen met al

hare eigenaardigheden op grafische wijze worden voorgesteld, waardoor het mogelijk is geworden enkele verschijnselen op te merken, die op geen andere wijze waarneembaar zijn.

Wij durven met alle recht van deze physiologische studie, die nog slechts in wording is, verwachten dat zij ons met nieuwe kenteekenen van den vorm der ademhaling in een of ander bepaald geval zal bekend maken. Wij mogen het voorshands als waar beschouwen dat de geringe wijzigingen in de samentrekbaarheid der long den rhythmus der ademhalingsbewegingen zullen veranderen, daar dergelijke wijzigingen overeenkomen met een belemmering der ademhaling. De zuiver physiologische verschijnselen, die zich tot hiertoe hebben geopenbaard, leiden tot deze gevolgtrekkingen :

1<sup>e</sup>. De thoraxbewegingen en de abdominale bewegingen zijn in den normalen toestand volkomen gelijk, zoodat zij bij gelijktijdige registratie hetzelfde tracé geven.

2<sup>e</sup>. Genoemde bewegingen zijn door haar amplitude steeds evenredig met de hoeveelheid lucht, die daardoor in beweging wordt gebracht.

3<sup>e</sup>. De hoeveelheden lucht, die in een zekeren tijd werden in- en uitgeademd, kunnen uit de amplituden der respiratiecurven worden bepaald.

4<sup>e</sup>. Er bestaat geen normale rhythmus, noch een normale frequentie van de ademhaling; maar men kan de invloeden bepalen, waardoor rhythmus en frequentie gewijzigd worden.

5<sup>e</sup>. Geschiedt de ademhaling door een nauwe buis, dan neemt de frequentie af en de amplitude toe, terwijl de rhythmus verandert doordat de duur der inspiratiephase wordt verlengd.

6<sup>e</sup>. Werkt het beletsel voor de ademhaling slechts in één zin, hetgeen geschiedt wanneer men in de buis een klep aanbrengt die zich slechts naar één zijde opent, dan wordt alleen de duur van *die* respiratiephase verlengd, die den invloed van het beletsel ondervindt.

---

## ZEVENDE HOOFDSTUK.

### SPHYGMOGRAFIE EN CARDIOGRAFIE.

De sphygmograaf. — Polslijnen van den gezonden en van den zieken mensch; koortsen, acute aandoeningen, cholera. — Vormen van de polslijnen bij hartaandoeningen, bij slagaderbreuken. — Sphygmograaf met luchttransport; het gelijktijdig registreeren van den hartslag met het kloppen der slagaderen. — Cardiografie op den mensch.

#### De sphygmograaf.

De veranderingen van de bloedsdrukking worden met behulp van den sphygmograaf geregistreerd uit de veranderingen in de bloedvaten, welke veranderingen door een vermeerdering of vermindering in de bloedsdrukking worden te voorschijn geroepen. Met dit werktuig onderzoekt men dus de veranderingen in drukking op het uitwendige van het bloedvat.

Voor een middellijke waarneming is deze bepaling niet minder juist, waarvan men zich kan overtuigen, wanneer men de aldus verkregen vormen van de polslijnen vergelijkt met de fasen der bloedsdrukking, welke hen doen ontstaan.

De twee soorten van sphygmografen die voor dit onderzoek dienen, de *sphygmograaf met direkte werking* en de *sphygmograaf met luchttransport* zijn reeds vroeger (pag. 309—312) beschreven. De eerste drukt op de slagaderen door middel van een veer, wier spanning door een schroefje wordt geregeld. De slagaderlijke wand zal door de spanning der veer en door de toenemende bloedsdrukking beurtelings dalen en stijgen, welke bewegingen door een hefboom vergroot worden overgebracht. Deze hefboom moet bijzonder licht zijn, wil hij deze zwakke bewegingen getrouw teruggeven; tevens moet hij vast verbonden zijn aan de veer, die op de slagader drukt. 1)

---

1) Een tal van sphygmografen zijn in de laatste jaren samengesteld, wier gebruik tot eenige belangrijke werken en verhandelingen over sphygmografie heeft geleid, zooals:

A. T. KEYS, M. D. Cincinnati, Ohio. *The new sphygmograph; or, Instrument adapted at sphygmograph, sphygmometer, cardiograph, cardiometer, and the other uses* New York, 1876).

De sphygmograaf wordt op de art. radialis geplaatst. Dit bloedvat biedt dit voordeel aan dat het door de weerstandbiedende

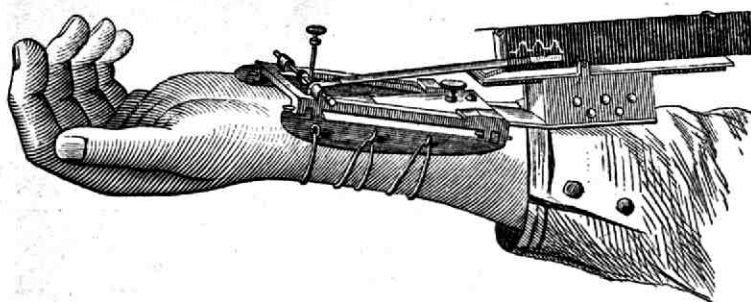


Fig. 289. De sphygmograaf met direkte werking.

binnenvlakte van het daaronder liggend spaakbeen wordt ondersteund; zonder dit ondersteuningsvlak zou het bloedvat de veranderingen der bloedsdrukking niet aan den sphygmograaf kunnen doen gevoelen, daar het zich alsdan aan de drukking van den sphygmograaf zou onttrekken.

Gedurende de schommelende beweging van den hefboom wordt door middel van een uurraderwerk een rechthoekige plaat, waarop de hefboom met een stift schrijft, eenparig voortbewogen met een snelheid van ongeveer 1 centimeter in de sekonde.

In fig. 290 zijn eenige polscurven van de art. radialis voorgesteld, die een groot verschil in vorm, amplitude en regelmatigheid der pulsaties vertoonen.

---

JULIUS SOMMERBRODT. *Ein neuer Sphygmograph und neue Beobachtungen an den Puls-curven der Radial-Arterie.* (Breslau, 1876). Berl. Klin. Wochenschrift No. 15 u. 31.

POND, M. D. RUTLAND, Vermont. *Sphygmographe à colonne liquide dont la charge varie au moyen d'un piston et est indiquée par un cadran.* (Prospectus sans date), Pulsspiegel. *Photophysygmographie. Mittheilungen aus dem physiologischen Privat-Laboratorium von J. N. CZERMACK*, in Prag, 1864.

\* *De pansphygmograaf* van Dr. P. Q. BRONDGEEST te Utrecht, 1873; deze dient zoowel voor het registreeren van den pols van de verschillende slagaderen als voor het opteekenen van den hartstoot en de ademhaling; terwijl de sphygmograaf van MAREY in 't bijzonder voor het registreeren van den pols der art. radialis bestemd is, kan de pansphygmograaf ook dienen voor het registreeren van den pols van andere slagaderen, zooals van de art. carotis sinistra, de art. temporalis sinistra, de art. cruralis sinistra, de art. subclavia sinistra, enz. \*



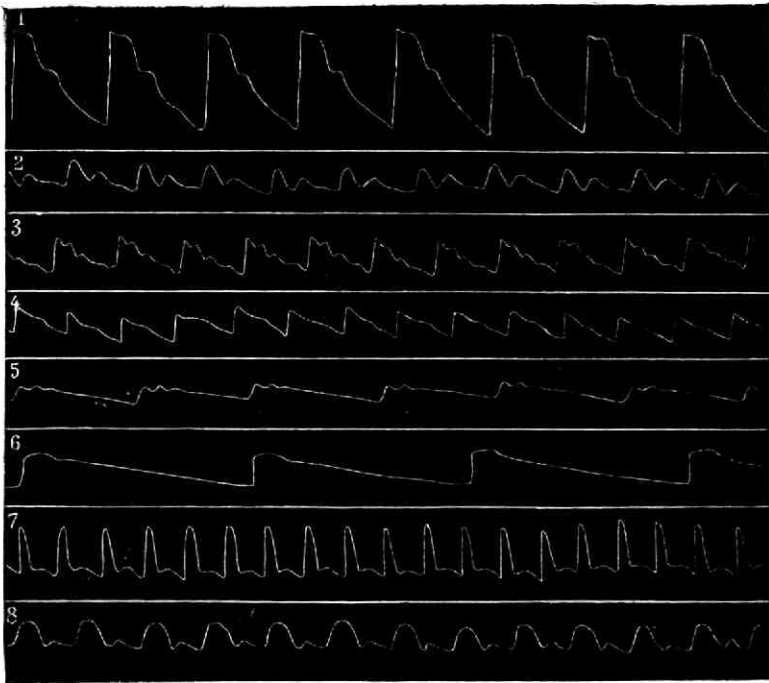


Fig. 290. Koortspols van een bejaard man lijdende aan atheroom van de slagaderen. — 2. Afnemende typhoïde-koorts. — 3. Loodvergiftiging. — 4. Rheumatische pericardites met koorts. — 5. Herstellen van een typhoïde koorts. — 6. Pols van een bejaard persoon, bijzondere vorm van de polsslagen. — 7. Wondkoorts in verband met een etterende heupgewrichtsontsteking. — 8. Slagaderbreuk van de aorta.

### Analyse eener polscurve.

Bij het beschouwen eener polscurve hebben wij te letten op het stijgen, op den top en op het dalen van het tracé.

Het stijgen der lijn heeft meer of minder snel plaats, naargelang van de wijze waarop de vermeerdering van de bloedsdrukking in de slagader plaats heeft; de amplitude der lijn of de hoogte, die zij bereikt, drukt de intensiteit der verandering uit, die in de drukking van het arterieele bloed heeft plaats gevonden. (In fig. 290 is het stijgen van den pols zeer snel voor de tracés 1, 3, 4, 6 en 7; het is langzamer voor de tracés 2, 6 en 8).

De top van de polslijn vertoont nu eens een puntigen vorm

(tracés 1, 3 en 4), dan weer een platten (tracé 5) of meer afgeronden vorm (tracés 2 en 8). Daar dit gedeelte van het tracé overeenkomt met het maximum der bloedsdrukking, duidt een afgeplatte vorm van den top een periode van onveranderlijkheid van drukking aan, zooals in lijn 6; een puntige vorm wijst op een plotselinge daling der drukking. De afgeplatte vorm wijst aan dat het bloed, dat door de kamer is voortgestuwd, na de slagader gevuld te hebben, zijn grootste drukking een korten tijd behoudt tengevolge eener voortzetting van de werking der kamer; deze vorm van pulsatie wordt bij oude menschen waargenomen, bij wie het hart een zware en lange bloedgolf in de vaten uitzendt. Ook wordt deze vorm in verschillende trappen waargenomen bij een sterke slagaderlijke spanning. De puntige vorm ontstaat wanneer de bloedgolf slechts een oogenblik het onderzochte punt van het bloedvat sterk doet uitwijken. De afgeronde vorm, die het midden houdt tusschen den puntigen en den afgeplatten vorm, duidt het voorbijgaan van een langere en in 't algemeen sterkere golf aan.

Het dalen der lijn wijst op het afnemen van de bloedsdrukking; dit ontstaat tengevolge van het onophoudelijk afvloeien van het bloed door de capillaire vaten. In dit deel van het tracé merkt men verschillende kleine bochten op, die men met den naam van *dicrotisme* of *polycrotisme* bestempelt.

#### Het dicrotisme van den puls.

Dit verschijnsel ontstaat door een secundaire bloedgolf die op de eerste golf volgt. Dit verschijnsel laat zich gedeeltelijk verklaren uit de beweging van vloeistofgolven in veerkrachtige buizen. Door een eersten stoot van de kamer wordt een zekere hoeveelheid bloed in de slagaderen voortgestuwd, dat in den vorm van golven in elk der slagaderen doordringt, die van de aorta uitgaan. Van daar gaat de beweging in een centrifugale richting voort en wijst door de eerste opheffing van den hefboom van den sphygmograaf aan dat zij zich tot onder den sphygmograaf heeft voortgeplant. Nauwlijks is deze eerste beweging geëindigd, of zij wordt door een tweede van mindere intensiteit gevolgd. Dit is de secundaire of *dicrotische* golf, wier richting insgelijks centrifugaal is;

soms wordt deze nog door een derde golf gevolgd, maar dit heeft alleen plaats wanneer het hart niet al te spoedig een nieuwe hoeveelheid bloed uitzendt.

De centrifugale richting dezer golven kan aangetoond worden met behulp van den hemodromograaf van CHAUVÉAU, die door de richting waarin de naald afwijkt, de richting der vloeistofbeweging in het bloedvat aanwijst. De veronderstelling dat de dicrotische golven centripetale golven zouden zijn die door terugkaatsing van het bloed tegen de beletselen, stroomafwaarts van het onderzochte punt gelegen, zouden ontstaan, is ongegrond; want de lengte der bloedgolven overtreft de lengte der arterieele uiteinden, die stroomafwaarts van den sphygmograaf liggen. Drukt men de slagader even voorbij den sphygmograaf dicht, dan blijft het dicrotisme bestaan met een vermeerderde amplitude, waaruit dus duidelijk de centrifugale richting der dicrotische golf blijkt.

Komen er verscheidene kronkelingen in de polslijn voor, dan bestempelt men dit verschijnsel met den naam van polycrotisme. Deze vormen van den pols doen zich bijna altijd voor, wanneer de hartbewegingen zeer langzaam plaats hebben, zooals bij herstellende koortslidders (fig. 290, lijn 5); bij koortslidders is de polycrotische pols altijd een gunstig teeken, dat op het wijken der ziekte wijst.

Er is echter een andere vorm van polycrotisme, dat bij chronische vergiftiging door loodzouten wordt waargenomen. Deze vorm, die in de figuren 290, 302 en 303 is voorgesteld, is kenbaar aan den bijzonder puntigen vorm van de lijn. Waarschijnlijk is deze vorm een gevolg van plotselinge en korte stooten van de kamer, waardoor het bloed met een bijzonder groote snelheid in de slagaderen gedreven wordt.

Somtjids zijn dergelijke bochten ook op te merken in het stijgend gedeelte der polslijn; de stijging heeft dan als 't ware in twee tempo's plaats. De golf van de kamer dringt dan onregelmatig en met stooten in de slagaderen, eerst snel, en daarna langzamer uithoofde van de weerstanden die het hart bij het vol-eindigen der systole ontmoet. Deze vorm is normaal voor den pols der aorta bij groote dieren; ook bij oude menschen wordt hij waargenomen, in gevallen van veranderingen in de wanden der slagaderen; ook merkt men hem soms op bij insufficientie van

de aorta, wanneer die gepaard gaat met het oud worden der slagaderen. LANDOIS heeft een zeer eigenaardigen vorm van dirotisme beschreven, die dikwijls bij typhoïdekoorts voorkomt; hierbij schijnt de tweede stoot van den pols sterker te zijn dan de eerste. Dit is slechts schijnbaar waar en de naam van *anacrotisme*, waarmee men dezen vorm heeft bestempeld, is ten eenenmale onjuist.

Bij dezen vorm, die in figuur 291 is voorgesteld, vertoont zich

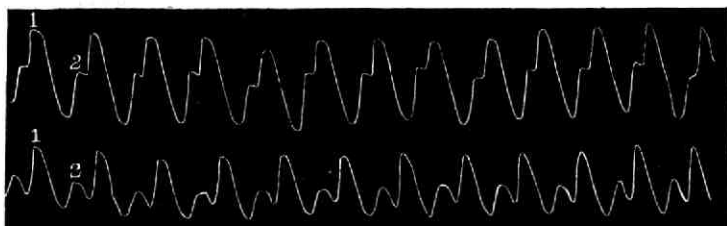


Fig. 291. Dirotische pols waarbij de tweede pulsatie niet den tijd heeft op te treden voor de aankomst van een nieuwe systole.

de eerste pulsatie of de eerste golf op het oogenblik 2, en door de te groote frequentie der hartpulsaties is de secundaire golf, die op de golf 2 volgt, niet in staat op te treden, waardoor het bedoelde verschijnsel ontstaat.

De vorm van den pols is af hankelijk van het uur van den dag, van de uitwendige temperatuur, van den toestand van rust, van de spierbeweging, ook van het gebruik van warme en van alcoholische dranken. Eindelijk is de ademhaling van invloed op den vorm, de frequentie en de amplitude van den pols.

#### **Physiologische veranderingen van de amplitude van den pols.**

Elke invloed, waardoor de middellijn van een slagader vergroot wordt, doet ook de amplitude der pulsaties toenemen. Van twee spaakbeenslagaderen van ongelijke middellijn geeft de grootste ook den sterksten pols. Eveneens zal een vergrooting van volume eener slagader ook een vergrooting van de amplitude der polslijn van die slagader tengevolge hebben. Een verslapping van de wanden der slagader, die bijv. kan verkregen worden door verhooging van temperatuur, vergroot de amplitude der polslijnen; om deze reden

kloppen de slagaderen in ontstoken deelen sterker, niet omdat het bloed met meer kracht daarheen wordt gestuwd, zooals men vroeger meende, maar omdat de slagaderwanden in die deelen verslapt zijn.

De amplitude van den normalen pols kan dus niet juist worden bepaald, daar zij met het volume van de onderzochte slagader verandert; ook is zij afhankelijk van den graad der drukking, die door de veer van het werktuig wordt uitgeoefend. De pogingen die door een tal van geneesheeren in het werk zijn gesteld om met den sphygmograaf het bedrag der bloedsdrukking te bepalen, zijn allen mislukt tengevolge van de talrijke invloeden, waardoor de sterkte van den pols wordt veranderd en die vereischen dat een meer of minder sterke drukking op de wanden van het bloedvat moet worden aangewend (vergelijk pag. 311). In 't algemeen moet men bij het aanwenden van den sphygmograaf op den tast onderzoeken welke drukking het meest geschikt is, d. w. z. welke de grootste amplitude aan het tracé geeft. Steeds moet men voor oogen houden dat de sphygmograaf slechts betrekkelijke aanwijzingen geeft en dat door de amplitude der tracés alleen de intensiteit der veranderingen van de slagaderlijke drukking wordt aangewezen.

Uit de onderstaande voorbeelden kunnen wij zien welke physiologische veranderingen kunnen plaats hebben tengevolge van temperatuursverandering van het lichaam.

De drie in fig. 292 voorgestelde polscurven wijzen den invloed

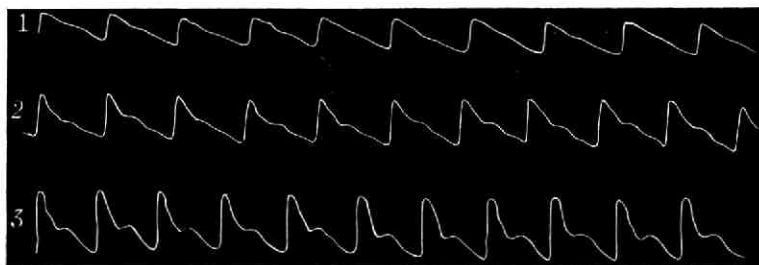


Fig. 292. Veranderingen die in polslijnen plaats hebben bij het toenemend warmer kleeden.

van het aanwenden van een toenemend warmere bekleeding van het lichaam aan. Hierdoor is de middellijn van de slagader toegenomen, tengevolge waarvan de amplitude van den pols is ver-

groot en het dicotisme scherper uitkomt; ook de frequentie der pulsaties is een weinig toegenomen. Dat het dicotisme zich steeds scherper afteekent is een gevolg van de toenemende snelheid waarmee de bloedgolven door het hart worden voortgestuwd, alsmede van de meerdere elasticiteit der bloedvaten.

De pols bij het ontwaken is traag en vertoont een afgeronden vorm; later op den dag nemen de frequentie en de snelheid toe; deze beide vormen van den polsslag op een zelfden persoon geregistreerd, zijn in fig. 293 voorgesteld. Het gebruik van warme en vooral van alcoholische dranken versnelt den rhythmus van den pols en doet de amplitude en het dicotisme toenemen.

De polslijnen, die alsdan verkregen worden, gelijken veel op die van koortslidders; bij dronkenschap kan de pols tot den vorm van typhoïd-koorts naderen, even als de onderste curve van fig. 292.



Fig. 293 Polslijnen bij het ontwaken en in den namiddag.

Ditzelfde type is door CHAUVÉAU waargenomen bij het beklimmen van den Mont-Blanc; hij registreerde toen de polslijn op zich zelf en op zijn gids. Waarschijnlijk wordt dit type hoofdzakelijk veroorzaakt door de bijzondere vermoeienis; ook zou het belangrijk zijn dergelijke tracés te verkrijgen van personen die in luchtballons opstijgen; waarschijnlijk zou dit kunnen leiden tot de physiologische verklaring van dat eigenaardige gevoel, dat men op hooge bergen en in hoog gelegen deelen van den dampkring ondervindt.

Door gymnastische oefeningen wordt de pols evenzeer eigenaardig gewijzigd; figuur 294 toont dat aan.

Proeven op dieren genomen hebben aangetoond dat de bloeddrukking na een hevigen spierarbeid aanmerkelijk daalt en dat deze daling de oorzaak is van de vormveranderingen van den

pols. De kracht van den pols staat toch werkelijk niet in een noodzakelijke betrekking tot de kracht waarmee het hart de bloed-

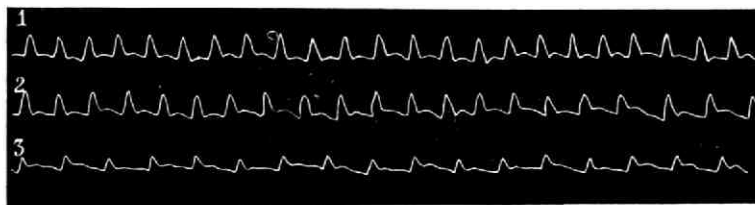


Fig. 294. Invloed van gymnastische oefeningen op den pols, lijn 1. In de lijnen 2 en 3 krijgt de pols langzamerhand zijn normaal karakter terug.

golven in de slagaderen voortstuwt, maar zij hangt af van de overmaat van de kracht van het hart boven de drukking van het bloed in de slagaderen, daar hierdoor de weerstand wordt aangegeven, dien het hart moet overwinnen om zich te ontlasten. Daaruit volgt dat de bloedsdrukking in de slagaderen des te lager zal zijn, naarmate het hart met meer kracht en snelheid zijn golf uitzendt. Deze voorwaarden zijn gunstig voor de amplitude en voor de korthed van den pols en voor een duidelijk dicotisme.

De sphygmograaf met direkte werking geeft altijd de nauwkeurigste polslijnen; daarom wordt deze bij voorkeur voor het bepalen van normale typen en pathologische typen van den pols gebruikt, terwijl de sphygmograaf met luchttransport in meer bijzondere gevallen wordt aangewend.

#### **Tracés van den pols bij verschillende ziekten.**

De koortspols is eerst recht belangrijk wanneer men een reeks van tracés verzamelt, zoodat men de veranderingen in de amplitude, in den vorm en in de frequentie der pulsaties met gemak kan volgen. Wij zullen nu van dergelijke reeksen verschillende belangrijke typen beschouwen, waarbij de verandering van den pols bijzonder gemakkelijk te volgen is.

Figuur 295 stelt de polsvormen voor bij een typhoïde-koorts. Men ziet dat in den hevigen toestand der ziekte de frequentie der pulsaties het grootst is, dat het dicotisme sterk, de onstuimigheid van den pols aanzienlijk is; deze kenteekenen wijzigen

zich van dag tot dag, de amplitude en de frequentie nemen af;



Fig. 295. Polslijnen bij een typhoïde-koorts naar LORAIN.

de secundaire golvingen worden minder sterk, maar tevens talrijker.  
Reeds vroeger merkten wij op dat deze vermeerdering van de



secundaire golvingen een zekere aanwijzing zijn voor het afnemen

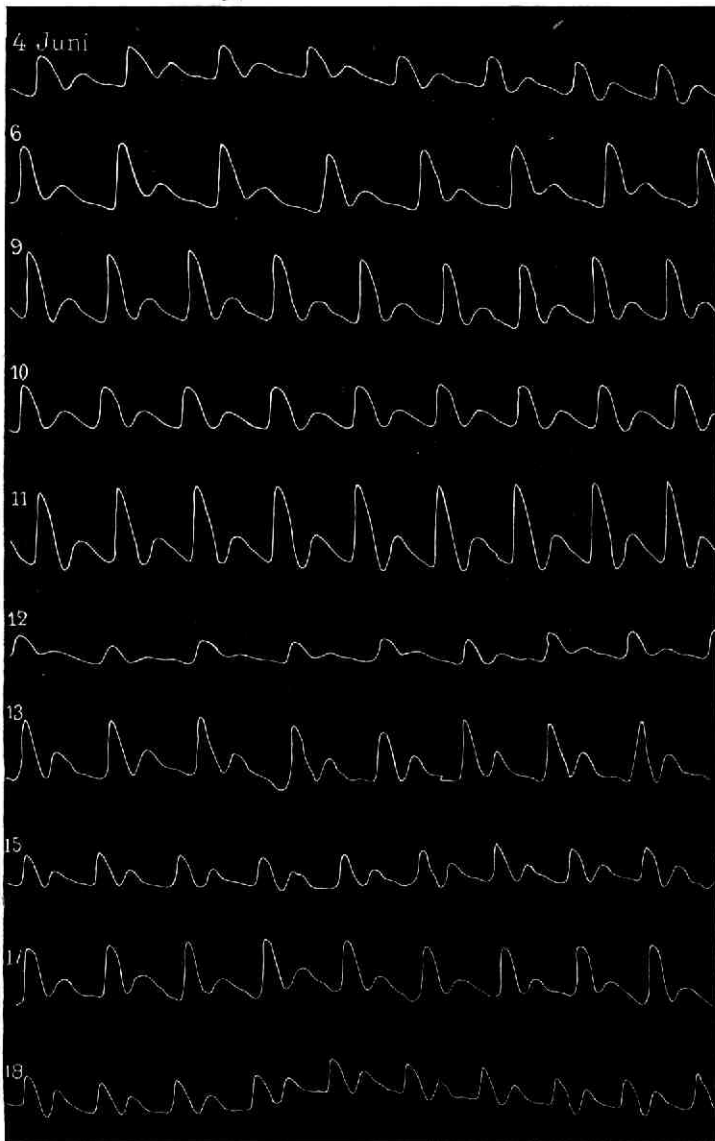


Fig. 296. Hevige typhoïde-koorts (eerste phase) naar LORAIN.

der ziekte; wordt de koorts weer heviger, dan wijst de pols dit onmiddellijk aan, door naar het eerste type terug te keeren.

Heeft de ziekte geen gunstig verloop, dan bespeurt men in de



Fig. 297. Typhoïde-koorts (laatste phase) naar LORAIN.

polyslijnen ook niet dien geregelden overgang van den koortsvorm en van het sterk dicrotisme tot het polycrotisme met zwakke amplitude.

Wij bemerken zulks in de polslijnen van de figuur 296 en 297: de typhoïde-koorts eindigde hier met een etterende oorspeekselsklierontsteking, waarop de dood volgde. Hier is geen geregelde verandering in den vorm der polslijnen te bespeuren. Reeds in de eerste phase van den 12<sup>en</sup> Juni af, verzwakte de pols, maar werd daarna weer sterker. Den 20<sup>en</sup> Juni werd de pols op nieuw zwakker, hetgeen samenging met het optreden van een zwelling der lymphklieren die de parotis omgeven en die dientengevolge etterden. Nadat een korten tijd de hevige koorts zich had herhaald, werd de zieke koud en krachteloos. Deze laatste phase is door een buitengewoon zwakken pols met een duidelijk dicrotisme gekenmerkt.

Bij alle koortsaandoeningen met regelmatig verloop is steeds een overeenkomstige vormverandering van den pols waar te nemen, die naar polycrotisme overhelt; wij geven nog als voorbeeld daarvan de polslijnen bij twee gevallen van longontsteking, waarop genezing is gevolgd. Een van deze gevallen, fig. 298, kenmerkte

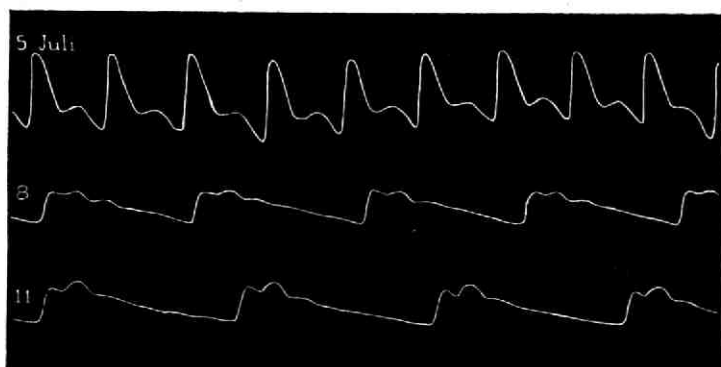


Fig. 298. Longontsteking gevolgd door genezing.

zich in het begin door een toestand die veel overeenkomst heeft met typhoïd; de pols vertoonde dezelfde omstandigheden als bij de typhoïde-koorts. Al te veel gewicht moet men aan dezen polsvorm met een scherp onderscheiden dicrotisme niet hechten; deze vorm heeft niets kenmerkends en wordt steeds waargenomen wanneer het hart een lichte golf met tamelijk veel snelheid in zeer rekbare bloedvaten uitzendt. Deze vorm doet zich nu ook voor in den koortstoestand bij acute ziekten en verdwijnt langzamer-

hand, naarmate de arterieele spanning toeneemt en de hartwerking gelijkmatiger wordt, terwijl zij allengs meer weerstand heeft te overwinnen. Een trapsgewijze vormverandering van den pols is nog in fig. 299 voorgesteld.

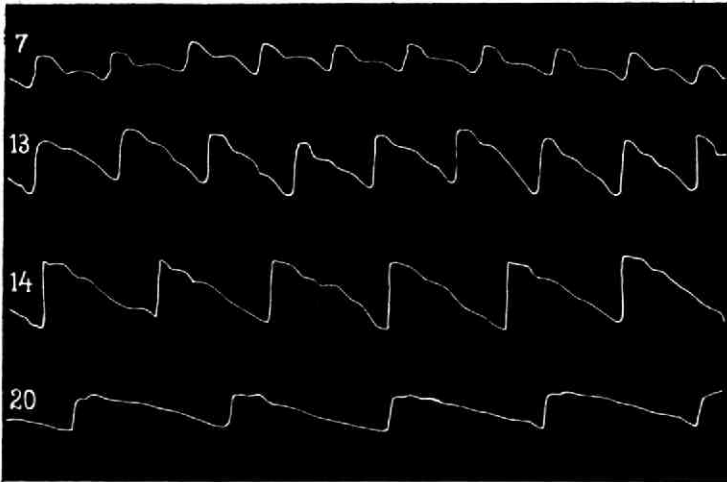


Fig. 299. Longontsteking gevolgd door genezing.

Een ziekte die den vorm van den pols ook sterk verandert is de ontsteking van het hartvlies; in fig 300 zijn die polslijnen voorgesteld, zooals LORAIN ze heeft verkregen. Het dicrotisme komt hierbij nog veel scherper uit dan bij de typhoïde-koorts. De dicrotische golf wordt hier telkens ingehaald door een nieuwe golf, die door het hart is uitgezonden, even als op pag. 571 is besproken.

Bij geen enkele ziekte worden zulke sterke veranderingen in den pols waargenomen als bij de cholera (fig. 301). Hierbij veranderen de bloedsdrukking en de middellijn der slagaderen in bijzondere mate. In het stadium algidum is de pols nauwelijks merkbaar (lijn 1); indien daarop reactie volgt, wordt de amplitude van den pols grooter en het dicrotisme duidelijker. Na een zeer kenbare reactie treedt op nieuw een stadium algidum in (lijn 6). Het geheele tracé vertoont golvingen, die overeenkomen met ademhalings-bewegingen; zij werden hier voortgebracht door het stuwen van bloed naar de long. Het terugkeeren van het stadium algidum is bijna een zeker voortteeken van den dood.

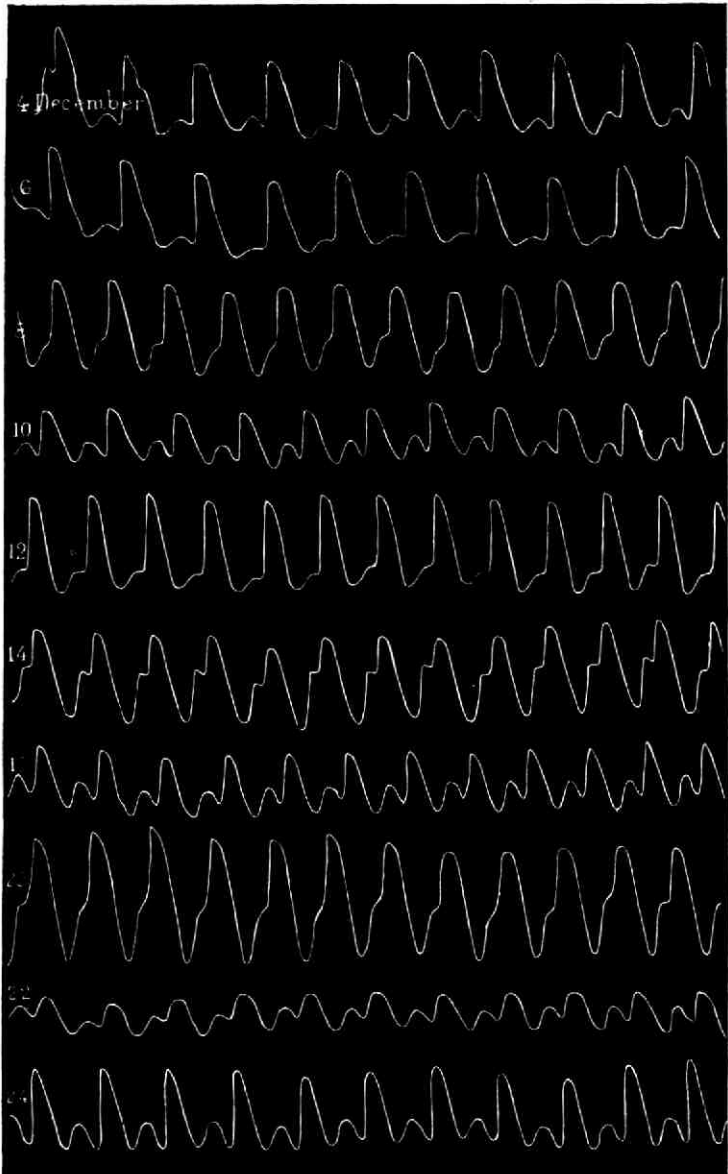


Fig. 300. Rheumatische endopericardites. Polslijnen van enige achtereenvolgende dagen, naar LORAIN.

Bij zeeziekte vertoonen zich de polsvormen in het klein als bij

een aanval van cholera; dezelfde kenteekenen van den puls



Fig. 301. Polslijnen bij cholera.

worden gedurende de perioden van koude en van warmte waargenomen.

Chronische vergiftiging door loodzouten geeft aan den puls

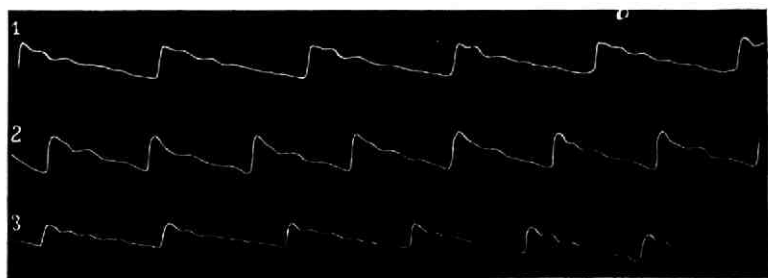


Fig. 302. Polseurven bij loodvergiftiging naar LORAIN

bijzondere kenmerken, waarvan de figuren 302 en 303 de voornaamste typen aangeven.

Ofschoon het niet duidelijk verklaard is hoe deze polsvormen



Type van den polsvorm bij loodvergiftiging.

ontstaan, is toch hun klinische waarde experimenteel bevestigd, zoodat zij van veel belang zijn voor de diagnostiek.

### De pols bij hartziekten.

Zooals te verwachten is, vertoont de pols zeer bijzondere vormen bij de organische gebreken van het hart en vooral in het geval van aandoening der kleppen. Meestal is de plaats van het deel van het hart, dat aangedaan is, direkt uit een beschouwing van het tracé te herkennen; toch moet men in dergelijke gevallen geen enkel element der diagnostiek ongebruikt laten, en het ausculteeren en percuteeren verbinden met het gebruik van den sphygmograaf. De polsvormen, die wij zullen beschrijven, komen voor bij de voornaamste aandoeningen; wij zullen tevens de eenvoudigste vormen van hartziekten bespreken.

*Insufficiëntie van de aorta.* — Figuur 304 stelt de polsvormen

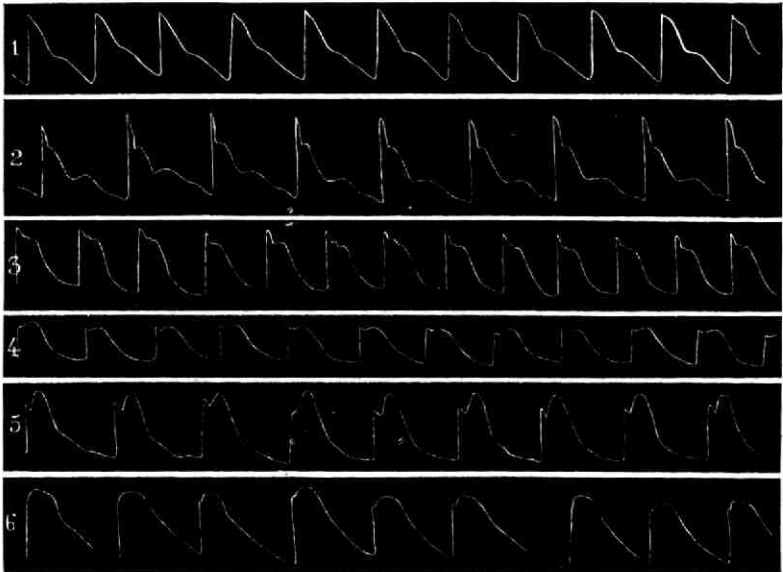


Fig. 304. Puls bij insufficiëntie van de aorta.

bij deze ziekte voor. Overal bemerkt men een onstuimig optreden van den polsslag; is de aandoening niet gecompliceerd, dan is de regelmatigheid der curven volkomen. Het, dirotisme ontbreekt

bij een sterk onvermogen der kleppen. Bij het ausculteeren bemerkt men een diastolisch geruisch aan de hartpunt.

*Vernauwing van de aorta.* — Het stijgen der polslijn heeft langzaam, of in twee tempo's plaats, (fig. 305), vooral wanneer

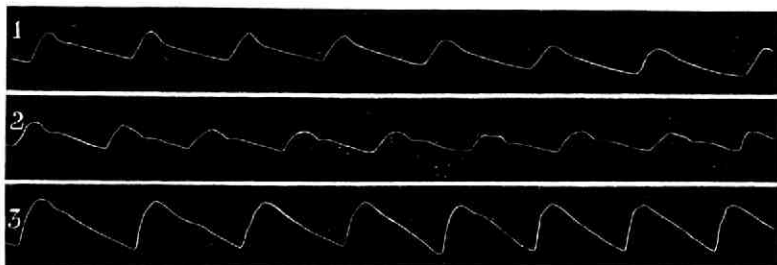


Fig. 305. Polslijnen bij een sterke vernauwing van de aorta.

de vernauwing gepaard gaat met een verharding en een dilatatie der aorta. De pols vertoont een stijgenden of horizontalen top, 't geen aanduidt dat de kamer zich langzaam ledigt. Weinig of geen diastolisme, want de bloedgolf dringt langzaam in de slagaderen. Bij het ausculteeren ontwaart men een systolisch geruisch aan de hartpunt, dat zich tot in de slagaderen uitbreidt.

*Insufficiëntie van de mitralis, onregelmatigheid van den pols die sterke of zwakke pulsaties vertoont zonder geregelde perioden.* — De zwakke pulsaties vertoonen een sterk diastolisme (fig. 306),

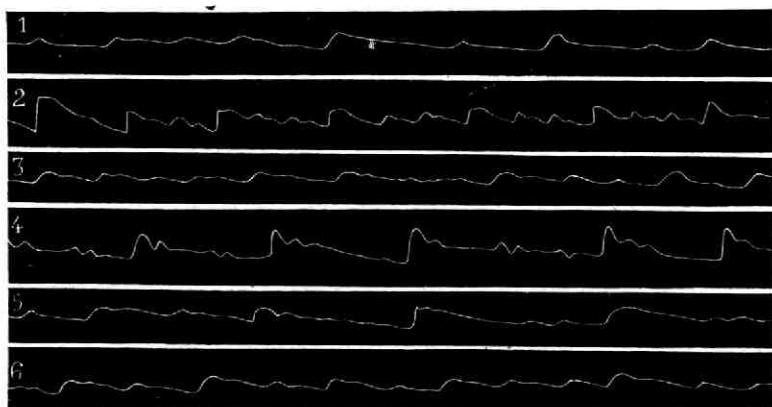


Fig. 306. Polslijnen bij insufficiëntie van de mitralis.

't geen aanduidt dat de kleine golven snel in de slagaderen drin-



gen. Deze polsvormen kunnen door digitalis sterk gewijzigd en geregeld worden; alsdan neemt de amplitude der pulsaties toe.

Deze lijnen zijn verkregen op personen van verschillenden leeftijd; van daar het verschil van de lijnen 1 en 2 met de lijnen 3

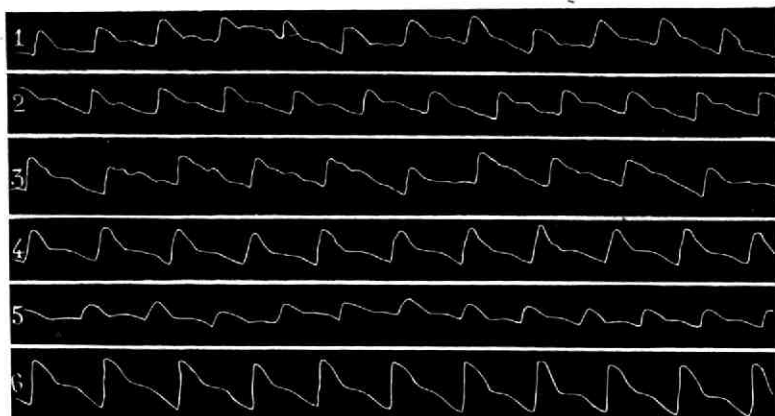


Fig. 307. Polslijnen bij een vernauwing voorkomende aan de mitralis.

tot 6. Bij het ausculteeren bemerkt men een systolisch geruisch aan de hartpunt, d. w. z. op de plaats, waar de pulsatie wordt voortgebracht.

*Vernauwing voorkomende aan de mitralis.* Hierbij is de puls regelmatig, (fig. 308) weinig veranderd in vorm; de polslijnen

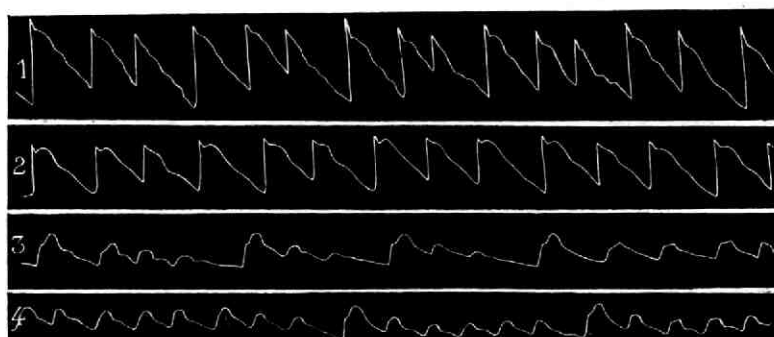


Fig. 308. Polslijnen bij aandoening van de beide hartopeningen.

vertoonen gewoonlijk een meer scherpen top en een minder afgerond dicrotisme dan bij den normalen puls. Bij het ausculteeren

bemerkt men een diastolisch of presystolisch geruisch aan de hartpunt.

Brengt men deze polslijnen dus in verband met de aanwijzingen, die bij het ausculteeren worden verkregen, dan komt men gemakkelijk tot een juiste diagnose van den aard der hartaandoeningen. Bepaalt men zich alleen bij ausculteeren, dan kan er omtrent den aard der aandoening twijfel blijven bestaan in die gevallen, waarin het zelfde geruisch in den zelfden tijd der hartsperiode wordt waargenomen. In zulke gevallen heffen de polslijnen allen twijfel op. Zoo kunnen de polslijnen allen twijfel wegnemen die kan bestaan omtrent een vernauwing aan de mitralis en insufficiëntie van de aorta; bij beiden hoort men toch een diastolisch geruisch; maar de haakvormige top van de polslijn en de afwezigheid van dicrotisme wijzen alsdan uitdrukkelijk op de insufficiëntie van de halvemaanvormige kleppen der aorta.

Zoo worden eveneens de vernauwing van de aorta en de insufficiëntie van de mitralis, die beiden een systolisch geruisch doen hooren, onderscheiden door de polslijnen: bij insufficiëntie van de mitralis wordt toch steeds een karakteristieke onregelmatigheid in de polscurve waargenomen.

Figuur 308 toont ons eenige polslijnen die verkregen worden in die gevallen, waarin beide hartopeningen zijn aangedaan.

Enkele polsvormen kunnen wel eens tot vergissing aanleiding geven en schijnbaar wijzen op een hartaandoening, in 't bijzonder op insufficiëntie van de aorta. Wanneer namelijk de rhythmus van de hartbewegingen langzamer wordt, dan heeft dit noodzakelijkerwijze een lage drukking in de slagaderen op het oogenblik van elk der systolen ten gevolge; want gedurende de lange periode van rust van 't hart, heeft de bloedstroom, die van de slagaderen naar de aderen loopt, den tijd gehad de drukking te verminderen. Alsdan bemerkt men een groote onstuimigheid in de eerste periode der pulsatie; maar daar de vertraagde systolen in 't algemeen systolen zijn waarbij veel bloed in de slagaderen wordt voortgestuwd, zal de beweging van het bloed, zoodra de slagaderen gevuld zijn, bemoeilijkt worden, zoodat een gedeelte van de stijging der polslijn zeer langzaam plaats heeft, zooals figuur 309 aantoont. Dergelijke typen worden wel *anacrotisch* genoemd; deze komen voor bij het oud worden der slagaderen, bij

een langsamen pols, omdat alsdan de kamer twee weerstanden van veranderlijke intensiteit ontmoet; de eene weerstand is ge-



Fig. 309. Polslign van een bejaard persoon; de klimming der lijn heeft afgebroken plaats.

ring bij het begin en de andere neemt steeds toe, aangezien slagaderen van oude personen weinig uitrekbaar zijn en dus de doorstroming van het bloed bemoeilijken.

Ook komt dit type voor bij bejaarde menschen, ingeval van insufficientie van de aorta. De krachtige stoot, dien het bloed bij het begin der systole van het hart ontvangt, veroorzaakt soms een kleinen schok van den hefboom, waardoor een haakvormige punt in het tracé ontstaat, die het kenmerk is van de insufficientie der aorta en van den *pols van Corrigan*. Dergelijke typen komen onder anderen voor in fig. 304.

#### De pols bij slagaderbreuken.

Bij een slagaderbreuk neemt men onder het gezwel een belangrijke verandering in den pols waar; de onstaimige pulsatie maakt plaats voor een bijzonder trage, en dikwijls is het onmogelijk den pols te voelen, omdat de vinger te langzaam wordt opgeheven. In fig. 310 is N de lijn van den gezonden pols, A de

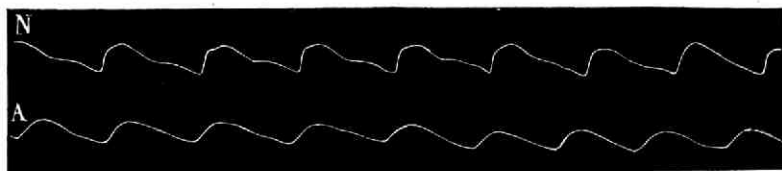


Fig. 310. Veranderingen in den pols bij een slagaderbreuk.

polslign bij een slagaderbreuk. De veerkracht van den breukzak is de oorzaak van deze verandering.

Terwijl dus onder het gezwel de pols onderdrukt is, wordt zijn amplitude boven op het gezwel sterk vergroot (fig. 311). De reden hiervan is dat de bloedsdrukking binnen in den breukzak nu op een vrij groote oppervlakte werkt.

Men heeft dus hierin weer een uitstekend middel om de gezwellen, die een werkelijke expansiebeweging bezitten, te onder-

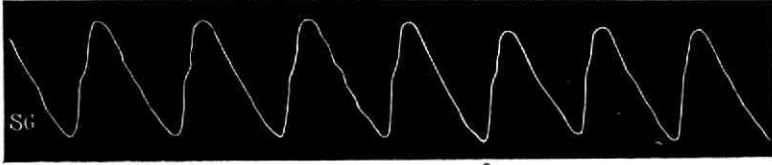


Fig. 311. Polslijn verkregen door den sphygmograaf boven op het gezwell der slagaderbreuk te plaatsen.

scheiden van die, welke eenvoudig door de pulsaties van een daaronder liggende slagader worden voortgebracht; in het laatste geval geeft de sphygmograaf toch nagenoeg geen aanwijzingen. Voor de diagnose van slagaderbreuken is bijzonder aantebevelen de sphygmograaf met luchttransport, zooals wij zullen zien.

#### **Gebruik van den sphygmograaf met luchttransport.**

De sphygmograaf met luchttransport (fig. 312) heeft boven den

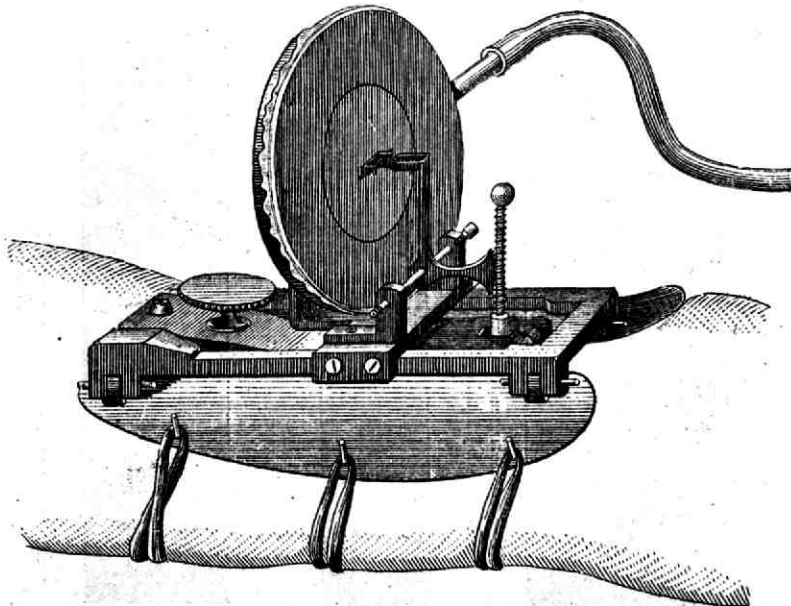


Fig. 312. Sphygmograaf met luchttransport.

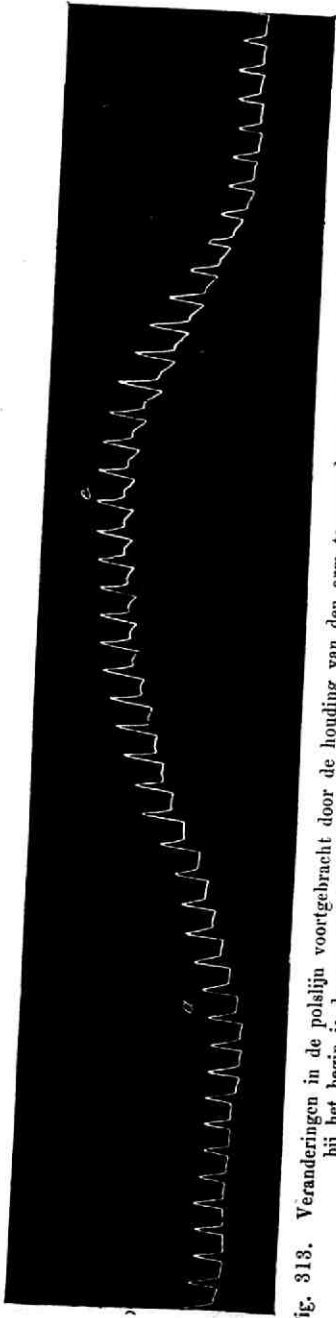


Fig. 313. Veranderingen in de polslijn voortgebracht door de houding van den arm te veranderen, waarop de luchtsphygmograaf is aangebracht; bij het begin is de arm opgeheven; in *a* laat men den arm dalen; in *e* wordt de arm op nieuw opgeheven.

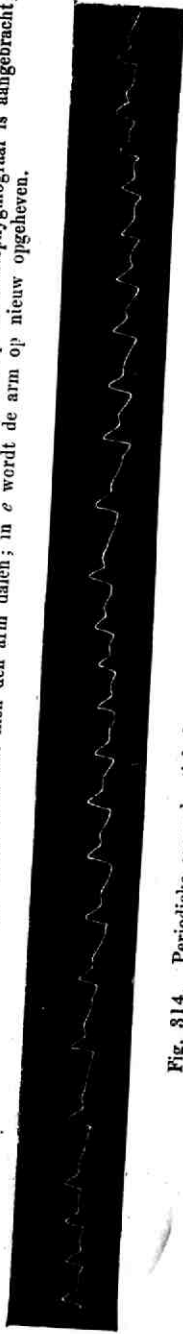


Fig. 314. Periodieke onregelmatigheden van den pols samengaunde met de ademhaling.

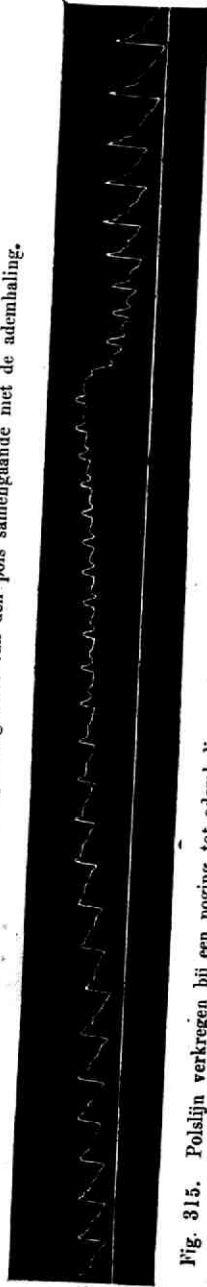


Fig. 315. Polslijn verkregen bij een poging tot ademhaling met gesloten stem spleet; de pols wordt sterk dicotrisch; bij het staken van deze poging daalt de drukking; de pols krijgt langzamerhand zijn gewone amplitude terug.

gewonen sphygmograaf dit voordeel, dat de persoon, op wien de proef genomen wordt, den arm, waarop de toestel is geplaatst, vrij kan bewegen.

De verschillende houdingen, waarin men den arm kan plaatsen, veroorzaken veranderingen in de arterieele drukkingen, welke gemakkelijk te voorzien zijn; het tracé stijgt, wanneer men den arm laat dalen, en daalt, wanneer men den arm omhoog houdt (fig. 313).

Daar men met dezen toestel tevens lange polslijnen kan verkrijgen, is men in staat gedurende een vrij langen tijd de veranderingen in den rhythmus, in de amplitude en in den vorm van den pols te volgen. Zoo ziet men in fig. 314 de periodieke veranderingen in de frequentie van den pols, welke afhangen van de ademhalingsbewegingen. Fig. 315 stelt een polslijn voor die verkregen is bij een poging tot ademhaling met gesloten stem spleet. Het is onnoodig langer te wijzen op de voordeelen die uit deze manier van registratie voortvloeien; jammer is 't dat de sphygmograaf met luchttransport minder gevoelig is en alleen bij personen, die een sterken pols hebben, juiste tracés geeft. Men kan dezen sphygmograaf in verbinding met den cardiograaf aanwenden en zodoende tracés verkrijgen, die het verband aanwijzen tusschen den vorm en de opeenvolging van den hartslag met betrekking tot de slagaderlijke beweging.

#### **Bepaling van de plaats eener slagaderbreuk uit de vertraging van den pols.**

Het kan soms gebeuren dat bij slagaderbreuken, die in het bovenste gedeelte van het lichaam voorkomen, de verzwakking van den pols der art. radialis uitblijft; de middellijn van de slagader is toch in dat geval grooter geworden en wij hebben gezien dat de amplitude van den pols eener slagader toeneemt met de vermeerdering van de middellijn van dit bloedvat. De onderzoekingen van FRANÇOIS FRANCK leiden er zelfs toe om aantemen dat deze uitzetting der slagaderen van den rechter arm in enkele gevallen het gevolg van de slagaderbreuk zou kunnen zijn. Ten gevolge van de ontwikkeling van het gezwel zouden de sympathische gangliën samengedrukt en geätrophieerd, en de vaatzen-

wen van dit lid zodoende verlamd worden. Nu blijft in deze gevallen nog altijd als aanwijzing voor de plaats van de slagaderbreuk de vertraging van dit bloedvat over; daar deze vertraging voortdurend aanhoudt, is dit kenmerk vooral van veel belang. Om deze vertraging te bepalen, registreert men den hartslag en den polsslag tegelijkertijd, zoodat de beide curven boven elkaar komen te liggen.

In fig. 316 zijn de aldus verkregen tracés van den hartslag

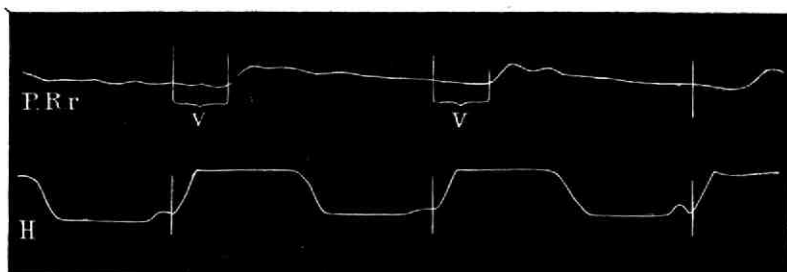


Fig. 316. Pols van de rechter hand en hartslag bij een slagaderbreuk; *v*, tijdsverloop tusschen den polsslag en den hartslag. (Deze tracés zijn bij een snelle omwenteling van den cilinder geregistreerd.)

(H) en van den polsslag van de rechter art. radialis (P. R. r) voorgesteld; *v* duidt het tijdsverloop tusschen pols- en hartslag, dus de vertraging van den pols aan.

In fig. 317 zijn de zelfde lijnen voorgesteld, maar nu voor de

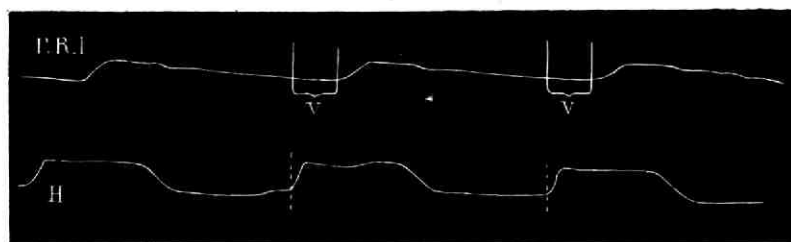


Fig. 317. Pols van de linker hand en hartslag bij een slagaderbreuk; *v*, vertraging van den pols (omwentelingssnelheid van den cilinder is dezelfde als voor fig. 316).

linker art. radialis en den hartslag. Uit een vergelijking van beide figuren blijkt dat de vertraging bij den rechter pols grooter is dan bij den linker; met den chronograaf gemeten was de vertra-

ging van den rechter pols 0.16 sekonde, van den linker pols 0.11 sekonde, zoodat het verschil 0.05 sekonde bedraagt.

Is de hartslag te zwak om een duidelijk tracé te geven, dan registreert men de pulsatie van het gezwel zelf; onverschillig of het tijdsverloop tusschen den hartslag en de pulsatie van het gezwel groot of klein is, de verhouding der vertragingen zal toch dezelfde blijven. Zoo heeft men bij iemand, die aan een slagaderbreuk in het bovendeele van het lichaam leed, de volgende cijfers gevonden voor de vertragingen ten opzichte van de pulsatie van het gezwel: rechter pols 0.21 sekonde, linker pols 0.14 sekonde, verschil 0.07 sekonde.

---

#### CARDIOGRAFIE.

##### **Toestellen voor het registreeren van den hartslag bij den mensch.**

Deze toestellen berusten op hetzelfde beginsel als de sphygmograaf; zij moeten aan de voorwaarden voordoene dat zij door de wanden der borstkas heen de kamer samendrukken, om de volumeveranderingen hiervan terug te geven.

Hiervoor kan in de eerste plaats de sthetoskoop van *König* gebruikt worden, een soort van trechter, die door een dubbel vlies is gesloten; tusschen de vliezen wordt lucht of water gebracht, (1) zoodat zij den vorm vertoonen van een biconvexe lens. Deze toestel kan gebruikt worden voor ausculteeren, terwijl hij met de luchttrommel met hefboom verbonden, de hartslagen registreert. Voor het laatste is hij het minst aan te bevelen wegens geringe gevoeligheid.

Beter voldoet de toestel die in fig. 318 is voorgesteld Een houten schaal, die een weinig is uitgehold, heeft een afgeronden rand; wordt deze schaal stevig op de wanden van de borst ge-

---

(1) \* Het gebruik van water heeft de voorkeur bij het registreeren van langsame perioden, zonder hevige schokken; het gebruik van lucht heeft de voorkeur bij het registreeren van snelle perioden. \*



plaatst, dan is de lucht, die tusschen de huid en de schaal is bevat, volkomen afgesloten. Deze lucht staat nu in gemeenschap

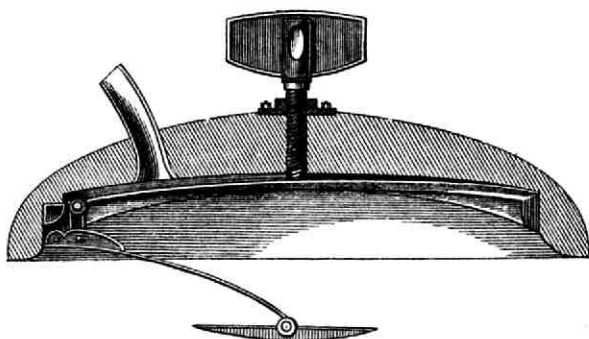


Fig. 318 Toestel met veer om den hartslag te registreeren.

met een buis, die in den bodem der schaal uitmondt en naar de trommel van een cardiograaf loopt. Op den bodem der schaal is verder een veer aangebracht, die men met behulp van een schroef, die buiten de schaal uitsteekt, meer of minder kan spannen. Naar gelang van de spanning van deze veer, zal een klein ivoren plaatje, dat bestemd is om op de hartstreek een veerkrachtigen druk uitte oefenen, meer of minder uitspringen. Hierdoor ontstaat een luchtbeweging, waardoor de hefboom van den cardiograaf in beweging wordt gebracht.

Bij dezen toestel, die uit den aard der zaak vrij stevig is, kan men de gevoeligheid door middel van de schroef regelen, zoodat er weinig gevallen zullen voorkomen, waarin hij geen nauwkeurige aanwijzingen geeft. Bij dieren is hij echter minder goed te gebruiken, daar bij de plaatsing van de houten schaal op de behaarde huid de lucht niet volkomen wordt afgesloten. Men kan de aansluiting dan wel is waar een weinig verbeteren door de huid op de plaats, waar de toestel wordt aangebracht, met zeepwater te bevochtigen of met een vetachtige stof in te smeren, maar nog beter is 't van den toestel gebruik te maken die in fig. 319 is afgebeeld.

Binnen in een houten klos, wiens bodem is doorboord, bevindt zich een metalen trommel, waarin een buis uitmondt die door de klos heenloopt. De trommel is aan den onderkant door een caoutchoucvlies gesloten; dit vlies wordt door een zwakke springveer,

die in de trommel is aangebracht, een weinig naar buiten gestooten. Op het vlies is een plaatje van aluminium, en hierop een knopje

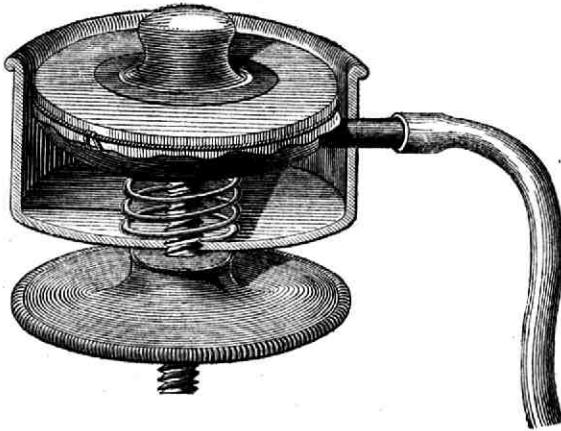


Fig. 319. Luchttrommel waarop de hartslag werkt.

van kurk aangebracht. De houten klos wordt op den borstwand geplaatst, zoodat het uitstekende knopje rust op het punt, waar de hartslag moet onderzocht worden; om dit knopje meer of minder sterk op de hartstreek te doen drukken, bedient men zich van de schroef, die aan den onderkant van de klos is aangebracht. Deze toestel kan zoowel voor dieren, als voor menschen gebruikt worden en is daarom in zoover te verkiezen boven den toestel van fig. 318. Beide toestellen geven gelijke tracés.

Door het gelijktijdig registreeren van den hartslag en van den slagaderlijken pols heeft men het verband leeren kennen, dat tusschen beide verschijnselen bestaat; daaruit is gebleken dat eenige systolen der linker kamer sterke bloedgolven in de slagaderen uitzenden, maar dat enkele dezer systolen werkeloos blijven en een hoeveelheid bloed in de bloedvaten voortstuwen, die niet voldoende is om een volkomen pulsatie te doen ontstaan. FRANÇOIS-FRANCK heeft de oorzaken hiervan nagegaan en is tot de volgende resultaten gekomen.

Eenige kamersystolen hebben niet de noodige kracht om de drukking der aorta te overwinnen en de positieve verandering in de arteriële drukking teweeg te brengen, welke zich uitwendig in de pulsatie openbaart: dit zijn dus systolen, welke mislukken

tengevolge van gebrek aan kracht 1). Ten tweede treft men kamersystolen aan, die gepaard gaan met een teruggang van bloed in den boezem door het orificium auriculo-ventriculare; deze systolen mislukken tengevolge van de terugstreaming door de mitralis 2). Eindelijk zijn er systolen die intreden vóórdát de diastolische ver-slapping het bloed heeft veroorloofd van de boezems in de kamers te stroomen, zoogenaamde verdubbelde of, liever gezegd, vervroegde systolen 3). Deze vervroegde systolen hebben geen slagaderlijken polsslág ten gevolge, daar de kamerholte niet den tijd heeft het bloed uit de boezems op te nemen.

Wij zullen achtereenvolgens elk dier groepen van hartstoringen beschouwen en de uitkomsten der waarnemingen, bij dieren gedaan, met de klinische verschijnselen in verband brengen.

Men brengt een sonde aan in het hart van een paard en tevens een tweede sonde in de aorta; zoodoende registreert men tegelijkertijd de bloedsdrukking in de kamer en den pols der aorta.



Fig. 320. Sterke en zwakke kamersystolen en de pols der aorta bij een paard. De zwakke systolen zijn niet sterk genoeg om een polsslág voort te brengen.

Men bemerkt dat het aantal der kamersystolen gelijk is aan het dubbel van het aantal arteriële slagen, hetgeen hieruit voortvloeit, dat om den anderen een kamersystole optreedt, die te zwak is om het bloed in de vaten voort te stuwen; door de merkstreepjes die

- 1) Systoles avortées par défaut d'énergie.
- 2) Systoles avortées par reflux mitral.
- 3) Systoles redoublées, anticipées.

in de tracés geplaatst zijn, wordt dit duidelijk aangetoond. Is de kracht bij een systole dus niet in staat de bloedkolom te verplaatsen, die tegen de halvemaanvormige kleppen der aorta drukt, dan stroomt er geen bloed in dit bloedvat en de pulsatie blijft uit.

In fig. 321 is het geval voorgesteld dat de pulsatie uitblijft tengevolge van een terugstroming van bloed in den boezem. Door

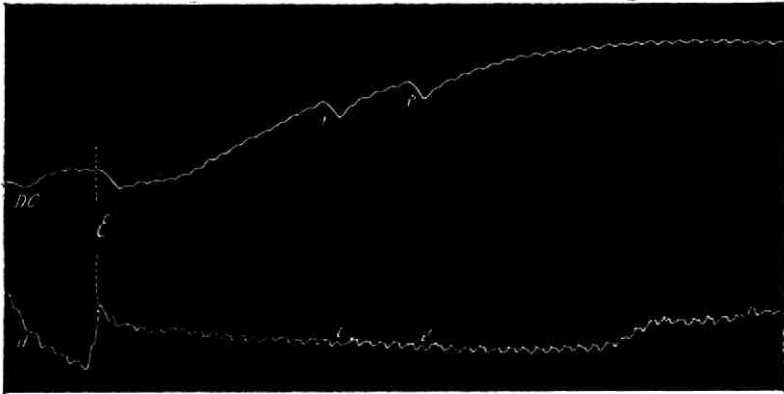


Fig. 321. D C, Drukking in de carotis van een konijn. H, hartslag. In *i* en *i'* neemt men systolen zonder uitwerking en vermindering in drukking waar.

een metaalmanometer, aangebracht aan de slagaderen van een konijn, wordt de lijn van de veranderingen van bloedsdrukking in de slagaderen geregistreerd (D C); een tweede lijn (H) wijst de hartslagen aan. Bij enkele punten *i*, *i'*, merkt men op dat de bloedsdrukking op enkele oogenblikken eensklaps vermindert.

Juist op die oogenblikken heeft de hartslag niet volledig plaats, hetgeen uit de geringe hoogte en den afgeronden top van het tracé merkbaar is; alsdan heeft er een terugstroming van bloed in den boezem door de mitralis, die insufficient is geworden, plaats. Deze terugstroming van bloed geeft aanleiding tot een systolisch geruisch, dat merkbaar is bij het ausculteeren. Dergelijke gevallen doen zich voor bij dieren die door chloral zijn vergiftigd. Figuur 322 toont daarvan een voorbeeld; de terugstroming heeft plaats in het punt S; tegelijkertijd neemt men het mislukken der pulsatie waar. Om het onderscheid in vorm van deze beide laatste soorten van hartslagen goed te doen uitkomen, zijn deze in fig. 323 op grooter schaal voorgesteld. N°. 1 komt overeen met de normale pulsatie, n°. 2 met de terugstroming door de mitralis. Daar de

buitengewoon sterke bloedsdrukking, die de terugstrooming teweegbrengt, tengevolge van die terugstrooming plotseling vermindert, daarna weer aangroeit en op nieuw een terugstrooming veroor-

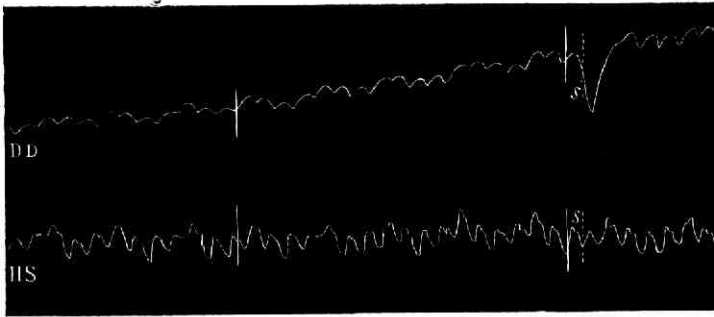


Fig. 322. H S, hartslagen. D D, veranderingen van de bloedsdrukking in de dijslagader. In S, het uitblijven van den polsslag samengaande met een mislukte systole in S.

zaakt, ziet men dikwijls dat dit verschijnsel geregeld periodiek terugkeert. Men zou al licht geneigd zijn om bij het levend wezen dezen regelmatig terugkeer aan de periodiciteit der ademhalingsbewegingen toetschrijven; men leert echter de ware oorzaak van dit verschijnsel kennen, wanneer men proeven neemt op den nagebootsten bloedsomloop. Tevens neemt men dan waar dat de terugstrooming dan alleen plaats heeft, wanneer de bloedsdrukking

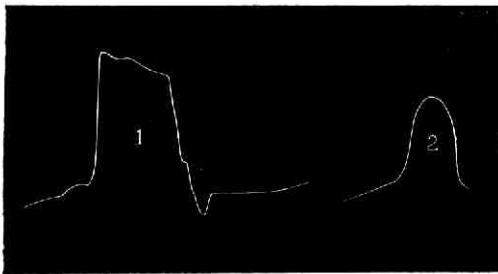


Fig. 323. 1, normale pulsatie; 2, mislukte pulsatie.

in de slagaderen tot een zeker bedrag opklimt. Vier pulsaties van eene zekeren rhythmus zijn hier noodig om de bloedsdrukking tot de vereischte hoogte op te voeren; door de frequentie der hartslagen te veranderen, wordt ook de periode der onregelmatigheden gewijzigd; door dezen rhythmus te vertragen, werd het tijdsverloop

tusschen twee opvolgende polsslagen verlengd; met andere woorden, er was een grooter aantal kamersystolen noodig om de bloedsdrukking tot die hoogte op te voeren, waarbij een terugstrooming werd teweeggebracht.

Eindelijk is in de frequentie der kamersystolen nog een derde reden van het mislukken dezer systolen gelegen. Reeds vroeger hebben wij aangetoond dat eene toenemende frequentie der hartslagen gepaard gaat met een vermindering van de slagaderlijke drukking. Terwijl het hart sneller klopt, verricht het meer arbeid; want het heeft alsdan (tusschen twee systolen in) den tijd niet om zich te vullen en kan datgene, wat het van de aderen heeft ontvangen, niet naar de slagaderen toezenden. Veelal merkt men bij de vergiftiging door chloral deze versnelling in de hartbeweging op; die versnelling gaat dan met een daling van de bloedsdrukking gepaard, die even lang aanhoudt als de versnelde beweging; daarna stijgt de bloedsdrukking weer, zelfs een oogenblik boven haar normaal bedrag. De reden hiervan is dat in den tijd waarin de systolische bewegingen, die zonder uitwerking bleven wegens te groote frequentie, plaats hadden, het bloed zich in den boezem en in de aderen heeft opgehoopt, zoodat de kamers overmatig gevuld zijn wanneer zij weer hare normale bewegingen beginnen. Het gevolg van die overvulling is het voortstuwen van zwaardere bloedgolven, tengevolge waarvan de slagaderlijke drukking een oogenblik sterk toeneemt.

Bij insufficiëntie van de mitralis, die uit een organische belediging van de kleppen voortvloeit, begeeft zich een deel van de golf der kamer naar de aorta, terwijl een ander gedeelte naar den

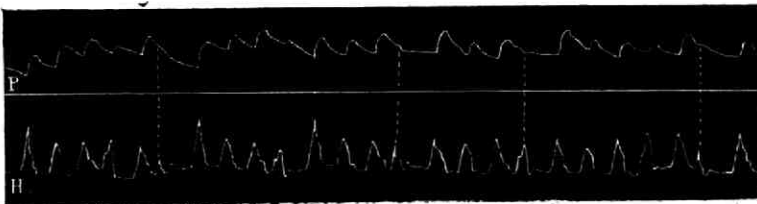


Fig. 324. Het kloppen van het hart (onderste lijn) en het kloppen der carotis (bovenste lijn) van een zieke die aan insufficiëntie van de mitralis lijdt.

boezem gaat; daar deze gedeelten zeer ongelijk zijn, ontstaat hieruit een onregelmatigheid in den pols. Nu eens is de pols

sterk, doordat de bloedgolf nagenoeg in haar geheel in de aorta dringt; een andermaal is de pols zwak en scherp dicrotisch, doordat het bloed bijna geheel in den boezem terugstroomt. Figuur 324 stelt deze hartaandoening en den invloed daarvan op den pols van een slagader voor.

Veel overeenkomst met bovenstaand type hebben de lijnen, in fig. 325 voorgesteld; ook dezen stellen de pulsaties van het hart

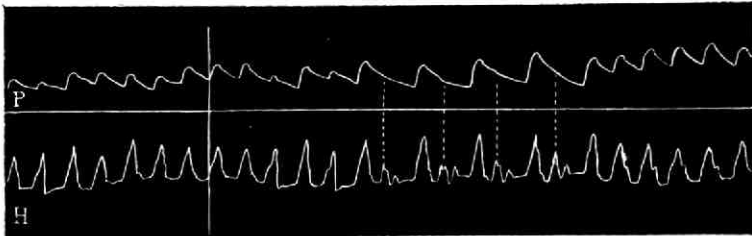


Fig. 325. Het kloppen van het hart (H) en de pols der carotis (P). De gestippelde lijnen wijzen op mislukte systolen evenals in fig. 324.

en van de carotis voor bij een zieke die aan insufficiëntie van de mitralis lijdt; hier vertoonen echter de golvingen van de hart-curve vorksgewijs verdeelde toppen, waar de systolen zonder uitwerking zijn gebleven; het dicrotisme van de polsslagen ontbreekt hier tengevolge van atheroom der slagaderen.

Wanneer wij in 't oog houden dat deze wijzigingen in den vorm van den hartslag ontstaan zijn uit een gelijktijdige verandering van den rhythmus der beide kamers, dan zien wij dat tusschen de werkingen van beide holten van het hart een volkomen synchronisme bestaat; geen enkel verschijnsel wijst er op dat dit synchronisme nu en dan, zooals sommigen beweren, niet zou plaats hebben.

Wij zullen hier niet verder uitweiden over de verschillende vormen van den hartslag bij organische aandoening der kleppen 1). Alleen willen wij er nogmaals op wijzen dat de cardiografie een der belangrijkste elementen der diagnose moet worden, daar zij de kostbare aanwijzingen, die men door percuteeren en auscul-teeren verkrijgt, aanvult en zelfs verbetert; want zij leert ons

1) Meer bijzonderheden daaromtrent vindt men in het werk van MAREY: *La circulation du Sang*.

kennen in welken graad de hartwerking gestoord is. Gaat men alleen af op de aanwijzingen van het percuteeren en ausculteeren, dan loopt men dikwijls gevaar mis te tasten. De vorm van de curven der hartslagen wijst toch duidelijk aan op welke wijze het hart zich vult en ontledigt. Door bloedarmoede kan bij een gezond hart een sterker geruisch ontstaan dan bij enkele beleedigen der kleppen, waardoor de geregelde beweging van het bloed wordt verstoord. Ook zal bij elke hartaandoening een verergering der ziekte zich meestal openbaren in een vermindering van intensiteit van het geruisch, wanneer het hart, niet meer in staat zijnde de beletselen te overwinnen, zwakker wordt en steeds gebrekkiger werkt.

---

## ACHTSTE HOOFDSTUK.

### HET METEN VAN DE DRUKKING DOOR MIDDEL VAN MANOMETERS.

Het overbrengen van de schommelingen der kwikzuil van een manometer naar een trommel met hefboom. — Verdeeling van veerkrachtige manometers. — Verbetering van de aanwijzingen van manometers door middel van den palpeur van DEPRÉZ. — Wijze waarop de drukking naar de registreerende manometers moet worden overgebracht. — Het bepalen van negatieve drukkingen in de holten van het hart. — Wijze waarop de veerkrachtige manometer moet worden aangewend. — Het meten van de bloedsdrukking door middel van een tegendruk die op de organen wordt uitgeoefend. Invloed van een uitwendige drukking op den bloedsomloop.

#### **Het overbrengen van de schommelingen der kwikzuil van een manometer naar een trommel met hefboom.**

Bij het kymografion van LUDWIG, dat het eerste registreerwerk-  
tuig was welks werking gebaseerd was op de beweging van een kwikkolom, geschiedt het registreeren door middel van een ivoren drijver, die op het kwik rust; deze drijver is voorzien van een vertikale stang, waaraan een schrijfstift is bevestigd. De nadeelen van deze inrichting zijn dat de drijver niet altijd nauwkeurig de bewegingen van het kwik volgt; dat men een cilinder moet gebruiken, die om een vertikale as draait; dat de drijver met stift veel plaats inneemt en weinig geschikt is voor het gelijktijdig registreeren. Om deze verschillende redenen is het dus van veel



belang, den drijver door een trommel met hefboom te vervangen, die men kan plaatsen waar men wil, en die bij het gelijktijdig registreeren gemakkelijk naast andere dergelijke trommels is op te stellen.

De verbinding van den manometer met de trommel is hoogst eenvoudig. Men brengt de buis van den manometer in de caoutchouc-buis van de trommel en zorgt dat de sluiting hermetisch plaats vindt; alsdan zullen de schommelingen van den hefboom volkomen gelijk zijn aan die van de kwikkolom. Verder zal dit werktuig des te gevoeliger zijn, naarmate de kwikkolom een grooter middellijn heeft; want daar deze evenals de zuiger van een pomp werkt, worden in dat geval ook grootere luchthoeveelheden verplaatst. De wijdte van den manometer mag echter een zekeren grens niet te boven gaan: de hoeveelheid bloed namelijk, die de manometer opneemt, mag niet een al te groote vermindering teweegbrengen in de totale hoeveelheid bloed van het dier; het is daarom zaak voor dergelijke proeven zooveel mogelijk groote dieren te gebruiken.

#### **Verdeeling van veerkrachtige manometers.**

De schaalverdeeling van alle veerkrachtige manometers en sonden moet naar de verdeeling van een standaardmanometer worden aangebracht; voor dezen standaard kiest men den kwikmanometer. Daar de veerkracht van het metaal van den metaalmanometer weinig verandert, zou voor dezen manometer de verdeeling slechts eenmaal behoeven aangebracht te worden; daar echter de trommel met hefboom, waarmede de metaalmanometer verbonden wordt, niet altijd even gevoelig is, moet deze voor of na elke reeks van proefnemingen telkens op nieuw verdeeld worden; wanneer men het volstrekt bedrag van de drukking wil bepalen.

Men neemt daartoe een glazen flesch, die met den metaalmanometer in gemeenschap wordt gesteld of waarin men de sonden of zakjes van den cadiograaf plaatst: in deze zelfde flesch laat men een buis van een kwikmanometer uitmonden, alsmede een buis, waardoor men luecht van verschillende drukking in de flesch kan brengen. Al die buizen en sonden worden door een

wijden stop aangebracht en moeten met luchtdichte sluiting in den hals der flesch bevestigd worden. Men plaatst nu verder de registreertoestellen als bij de gewone proefnemingen en brengt zooveel lucht in de flesch, totdat de manometer een drukking van 1 cM. kwikhoogte boven de gewone dampkringsdrukking aanwijst; vervolgens teekent men bij elken hefboom den stand aan, waarin deze drukking hem heeft gebracht. Men laat nu de luchtdrukking toenemen tot 2 cM. en teekent op nieuw den stand van elk der hefboomen op. Deze proef wordt nu bij toenemende drukking vijftien- of twintigmaal herhaald, totdat de hefboomen den hoogsten stand hebben bereikt, dien zij bij de cardiografische lijnen innemen. Zodoende heeft men voor elken hefboom een experimenteetele verdeeling verkregen, waardoor men in een tracé het werkelijk bedrag der uitgeoefende drukkingen kan bepalen.

Na aldus een verdeeling voor de sonden aangebracht te hebben, kan men bijv. de kracht bepalen, die door elk der kamers wordt uitgeoefend. Wij hebben opgemerkt dat bij het paard de verhouding van de krachten, die door de rechter en linker kamer werden uitoefend, ongeveer was als 1 tot 3; het volstrekke bedrag van de hoogste drukking, door elk der kamers ontwikkeld, bedroeg dus 30 en 95 millimeter kwikhoogte.

Men kan ook voor de sonden een verdeeling aanbrengen voor drukkingen, kleiner dan de dampkringsdruk. Dit geschiedt op dezelfde wijze, als boven is gezegd, alleen met dit onderscheid, dat men in plaats van de lucht in de flesch samentedrukken, nu de lucht door opzuiging verdunt.

#### **Verbetering van de aanwijzingen van manometers door middel van den palpeur van Deprez.**

De veerkracht van alle metaalmanometers verandert met den graad van spanning der membranen; hetzelfde is het geval met de trommel met hefboom. DEPREZ heeft nu een werktuigje uitgedacht, door hem *palpeur* genoemd, waardoor de uitslagen van een willekeurigen manometer evenredig zullen zijn met de drukkingen, die op den manometer werken. De palpeur bestaat uit een metalen stiftje, dat aan een of ander registreerwerktuig (bijv. aan den registreerenden hefboom) wordt bevestigd en dat zich over

een gebogen vlak van een van te voren bepaalde kromming met eenige wrijving beweegt.

In figuur 326 is de werking van den palpeur  $p$  voorgesteld; door de wrijving van  $p$  over een gebogen vlak wordt de beweging

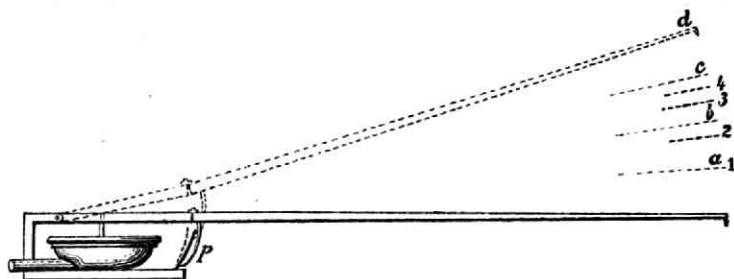


Fig. 326. Verbetering van de aanwijzingen van registreerende hefboomen door middel van den palpeur van DEPRÈZ.

van den hefboom zoo geregeld, dat de uitslagen evenredig zijn met de toenemende drukkingen. (Het is toch bekend dat de veerkracht van het membraan zoodanig verandert, dat de toenemende stijging van den hefboom minder groot is dan de toenemende drukking, die op het membraan werkt).

Te dien einde bedient men zich van een gebroken hefboom; de twee deelen worden met elkaar verbonden door een veerkrachtig en dun metaalplaatje, zoodat het voorste gedeelte van den hefboom in een vertikaal vlak kan draaien, zonder dat het achterste stuk in deze beweging deelt. De palpeur is nu ongeveer loodrecht aan den onderkant van het voorste stuk van den hefboom aangebracht, vlak bij de plaats waar de verbinding der beide stukken plaats heeft; hij heeft een gebogen gedaante, terwijl de holle kant naar het achtereinde van den hefboom is gekeerd; de achterwaarts gerichte punt schuurt over een gebogen vlak, dat aan de doos der trommel is bevestigd. Door dit gebogen vlak worden nu de bewegingen van den palpeur en van het vooreinde van den hefboom gewijzigd, zoodat deze merkbaar verschillen van de bewegingen van het achtereinde des hefbooms.

Had het gebogen vlak een kromming, gelijk aan die van den cirkelboog, dien de hefboom zou beschrijven zonder de werking van den palpeur, dan zou toch het uiteinde van dien hefboom denzelfden cirkelboog doorloopen, aangezien de punt van den pul-

peur dan steeds rakend zou blijven aan het gebogen vlak. Is daarentegen dit vlak sterker gebogen, dan zal de palpeur met den hefboom gedurende de beweging opgelicht worden, zoodat het voorste deel van den hefboom een uitspringenden hoek zal maken met het achterste deel; was in het gebogen vlak een uitholling aangebracht, dan zou de palpeur aldaar naar beneden uitwijken, zoodat alsdan de beide deelen van den hefboom een inspringenden hoek (van boven gezien) zouden maken. Men kan dus, door de kromming van het oppervlak van te voren door berekening te bepalen, of, wat nog gemakkelijker is, experimenteel te construeeren, de foutieve uitslagen van den hefboom vermijden, die het gevolg zijn van de veranderingen in de veerkracht van het membraan. Voor deze proefondervindelijke bepaling van de kromming van het gebogen vlak gaat men aldus te werk.

Wij weten dat de fout van het membraan deze is, dat bij een toenemende spanning de veerkracht te sterk aangroeit, zoodat dus bij sterke drukkingen de aanwijzingen te zwak zijn en bijgevolg vergroot moeten worden. Gesteld nu dat de toestel drukkingen moet registreeren van 4 centimeter kwikhoogte en dat de hefboom een stand heeft ingenomen, overeenkomende met 1 centimeter drukking, dan is het duidelijk dat voor 4 centimeter drukking de hefboom een viermaal grooteren weg dan voor 1 centimeter zal hebben te doorloopen; dit nu is niet het geval; tengevolge van de veranderlijke veerkracht van het vlies neemt hij bij 2, 3 en 4 cM. drukking de standen 2, 3 en 4 in, zooals die in fig. 326 zijn aangeduid, terwijl hij voor die drukkingen de standen *b*, *c* en *d* zou moeten innemen.

Om nu te zorgen dat die laatste standen werkelijk door den hefboom zullen worden ingenomen, brengt men het uiteinde van den hefboom in 't hoogste punt *d*, terwijl men de drukking in de trommel tot 4 centimeter opvoert. Teekent men nu den stand van de punt van den palpeur aan, dan verkrijgt men één punt van de gevraagde kromming. Laat men nu de drukking achtereenvolgens dalen tot 3, 2 centimeter enz., en geeft men nu voor elk dier drukkingen de plaats van de punt van den hefboom aan, terwijl het uiteinde van den hefboom de standen *c*, *b*, enz. inneemt, dan verkrijgt men zoodoende een reeks van punten, waaruit de gevraagde kromming met genoegsame nauwkeurigheid kan worden bepaald.

**Wijze waarop de drukking naar de registreerende manometers moet worden overgebracht.**

Om zeker te zijn dat de grafische bepaling van de drukking eener vloeistof met voldoende juistheid geschiedt, moet het overbrengen van deze drukking geschieden door middel van een vloeistofzuil die bij een zeer geringe hoogte een zoo groot mogelijke middellijn heeft. Gebruikt men een vloeistofzuil die te lang is, dan zal deze bij plotselinge veranderingen in drukking schommelende bewegingen maken, die de tracés even sterk misvormen als de eigen schommelingen van een kwikkolom.

Moet men gelijktijdig de drukkingen in twee slagaderen traceeren, die ver van elkaar liggen, dan moet de drukking overgebracht worden naar een trommel met hefboom door middel van een luchtbuis, waarbij de schommeling van de vloeistofkolom verwaarloosd kan worden. De manometer moet alsdan zoo dicht mogelijk bij het te onderzoeken bloedvat geplaatst worden, om hiervan de drukking door een vloeistofzuil te kunnen overbrengen, die zoo kort mogelijk is; wat nu de schommelingen van het water van den manometer aangaat, deze deelen zich door een lange buis aan de trommel met hefboom mede, waardoor het tracé niet merkbaar zal veranderd worden.

Wat hier gezegd is, geldt zoowel voor de drukking van het slagaderlijk als voor die van het aderlijk bloed. De registreerende metaalmanometer kan worden samengesteld met meer of minder gevoelige wanden en zodoende gebruikt worden voor het bepalen van zeer geringe drukkingen, zooals die voorkomen in de ingewandsholten, de sub-archnoïdeale holte, de pleurale holte, enz.

**Het bepalen van negatieve drukkingen in de holten van het hart.**

Bij het inbrengen van de sonden in de holten van het hart is het onmogelijk nategaan op welk oogenblik de drukking positief of negatief is. Bij de verdeling is het dus noodig een merkteken aan te brengen, waardoor het nulpunt wordt aangewezen, d. w. z. het oogenblik, waarop de drukking in het hart even groot is als de dampkringsdrukking. Hiertoe neemt men een metalen

zakje (fig. 327), dat den vorm en de grootte van een olijf heeft en verbonden is met een buis B. In dit zakje zijn op vele plaatsen kleine gaatjes gemaakt, waarna het bekleed is met een uiterst

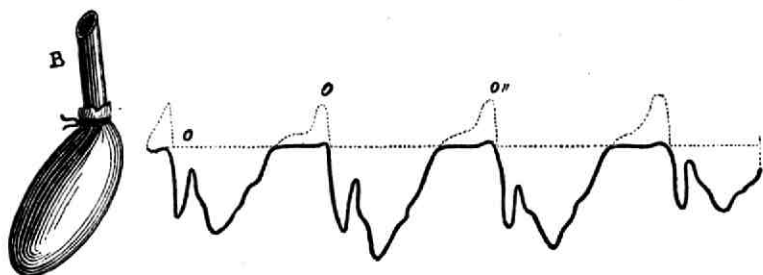


Fig. 327. Tracé van de negatieve drukkingen in den boezem van een paard  
De gestippelde lijnen wijzen de carven aan, die bij positieve drukkingen  
zouden zijn verkregen.

dun caoutchoucvliesje. Dit vliesje, gesteund door den metalen wand, zal aan de positieve drukkingen weerstand bieden, die op de buitenoppervlakte werken. Plaatst men het in een middenstof waarvan de drukking minder bedraagt dan de dampkringsdrukking, dan zal de lucht, die door de gaatjes van het metalen zakje dringt, het caoutchoucvlies des te meer spannen, naar gelang de uitwendige drukking op het zakje kleiner is.

Wordt dit zakje nu in gemeenschap gesteld met den cardio-graaf, dan kan aan den hefboom geen beweging worden meege-deeld, zoolang de drukking in het hart positief is; de hefboom traceert in dat geval een horizontale lijn. Zoodra echter de drukking kleiner wordt dan de dampkringsdrukking, zal de hefboom dalen; deze daling is evenredig met de vermindering in drukking. Figuur 327 toont ons de aldus verkregen tracés; de sonde was hier in den rechter boezem aangebracht. Men bemerkt uit de figuur dat de drukking in deze holte bijna altijd negatief is, uitgezonderd bij het einde van de vulling van den boezem en gedurende zijn systole.

**Wijze waarop de veerkrachtige manometer  
wordt aangewend.**

Bij de aanwending van den veerkrachtigen manometer zijn weer enkele voorzorgen in acht te nemen, wil men zeker zijn

juiste tracés van voldoende lengte te verkrijgen. In fig. 328 zijn twee met elkaar verbonden manometers voorgesteld; de eene is een kleine kwikmanometer *m* met een capillaire buis, welke

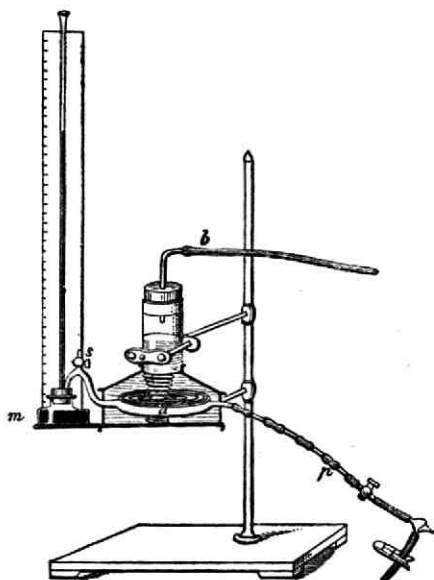


Fig. 328. Verbinding van een veerkrachtigen manometer met een kwikmanometer voor het bepalen van de volstrekte waarden der drukkingen.

dient om met de noodige juistheid het volstrekte bedrag van de aanwijzingen van den anderen manometer, die de veranderingen in de bloedsdrukking moet aanduiden, te bepalen.

Om dezen toestel te gebruiken, wordt hij eerst gevuld met een oplossing van koolzure soda; dit vocht wordt ingebracht door de opening van de kraan, die in de verbindingsbuis der beide manometers is aangebracht. Terwijl deze vulling plaats heeft, wordt de buis *p* in de hoogte gehouden en de lucht ontsnapt door de kanul, die aan het uiteinde van deze buis is aangebracht.

Is al de lucht verdreven, dan sluit men de kraan bij *p* en brengt nog meer koolzure soda in den manometer, ten einde dezen onder een zekere drukking te stellen. Deze voorzorg is noodig om te vermijden dat het bloed in de overbrengingsbuis stroomt, tengevolge waarvan het oogenblikkelijk zou stremmen. In 't algemeen moet men de drukking van den manometer regelen naar de

arterieele drukking van het dier, waarop de proef genomen wordt: die manometrische drukking mag een weinig, maar niet al te veel de bloedsdrukking overtreffen: dit laatste kan vooral zeer gevaarlijk zijn, wanneer men op de carotis moet experimenteren. In dit geval kan toch op het oogenblik, waarop de slagader met den manometer wordt verbonden, de soda-oplossing in de carotis dringen, tengevolge waarvan het dier binnen weinige oogenblikken kan sterven. Wordt de dijslagader met den manometer verbonden, dan kan het bij een te groote overmaat van drukking van den manometer gebeuren dat het dier met een achterpoot of met beide achterpooten hevig begint te trekken, zoodra de soda-oplossing tot in de zijslagaderen is doorgedrongen; door deze stuiptrekkingen kan de kanul loslaten of de manometer omvallen. Het is moeilijk aan te geven welke graad van drukking de manometer moet bezitten; bij benadering kan men nemen voor dijslagader: 16 cM. kwikhoogte bij een hond, 8 cM. bij een konijn; voor de carotis: 14 cM. kwikhoogte bij een hond, 7 cM. bij een konijn.

Neemt men de proef op het centrale einde der carotis, dan kan men het te snel indringen van de soda-oplossing voorkomen door de slagader beneden de kanul half dicht te knijpen op het oogenblik dat de verbindingskraan wordt geopend; ook kan men met den vinger de tegenovergestelde carotis samendrukken en zodoende beletten dat de soda-oplossing door deze slagader tot in de hersenen doordringt, tengevolge waarvan het dier zou sterven. Een groot ongemak, dat zich bij deze proeven voordoet, is de vorming van bloedklonters. Men kan dit echter veel voorkomen door te experimenteren op nuchtere dieren en daarbij gebruik te maken van kanulen, die met zorg zijn vervaardigd en in wier verwijding altijd een weinig soda-oplossing aanwezig blijft. Het is daarom voor den proefnemer van belang de vereischten, waaraan een goede kanul moet voldoen, te kennen.

De glazen kanul heeft een schuine lipvormige opening (fig. 329), wier randen, na met amarilpoeder te zijn afgeslepen, even in de vlam zijn gehouden, waardoor zij volkomen effen worden, hetgeen een eerste voorwaarde is om de snelle vorming van bloedklonters te vermijden. Dit lipvormig uiteinde der kanul is nu gemakkelijk in de insnijding, die in de slagader is gemaakt, te brengen,



ook bij kleine slagaderen. Voor de carotis van het konijn moet de uitwendige middellijn van het buisje der kanul slechts 2 tot  $2\frac{1}{2}$

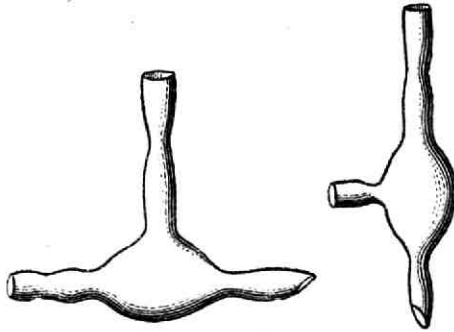


Fig. 329. Glazen kanulen waardoor de slagaderen met den metaalmanometer verbonden worden.

millimeter bedragen. Voor een hond kan de middellijn iets grooter zijn.

Een zoo sterke vernauwing van het buisje der kanul als in figuur 329 is aangegeven, is minder aanbevelen; die vernauwing behoeft slechts even merkbaar te zijn om het uitglijden van den bevestigingsdraad te vermijden, vooral wanneer men zorg draagt den draad, waarmee de slagader aan de kanul wordt bevestigd, nog bovendien om het vertikale zijbuisje van de kanul vast te knopen. Het wijdeste gedeelte van de kanul vormt een soort van reservoir voor de soda-oplossing. Bij de proef dringt het bloed in deze verwijding en vermengt zich met het alkalische vocht; vermindert de drukking in de slagader een weinig, dan dringt een deel van dit vocht in het bloedvat, waardoor de stremming van het bloed zoo lang mogelijk wordt belet. Deze verwijding van de kanul biedt daarbij nog dit voordeel aan dat het overbrengen van de drukking naar den manometer nog een zekerer tijd kan voortduren, ook al hebben zich bloedklonters gevormd. Voor 't overige kan men de kanul van tijd tot tijd nazien en voor het geval, dat men een coagulatie waarneemt, de proef een oogenblik staken om de bloedklonters te verwijderen. Dit kan namelijk gebeuren, zonder de kanul wegtenemen en wel op de volgende manier. Terwijl men de slagader dichtknijpt, opent men het vertikale zijbuisje der kanul, dat aan een caoutchoucuis is bevestigd, die met een klemkraan

is gesloten. De vloeistof ontwijkt nu door dit zijbuisje en neemt de bloedklonters mee. Men sluit nu de kraan bij *p* (fig. 328) en stelt daarna den manometer weer onder de oorspronkelijke drukking. Men laat nu de slagader los, zoodat een bloedstraal nu met kracht in de kanul spuit en zodoende het benedeneinde van de kanul van nog achtergebleven verontreinigingen zuivert. Daarna wordt de zijbuis der kanul gesloten en de gemeenschap tusschen den manometer en de slagader weer hersteld, waarna het experimenteeren weer op nieuw kan plaats hebben.

Wat de buis betreft, die den manometer met de kanul verbindt, deze moet kort en wijd zijn; het meest geschikt is een buis, zooals in fig. 328 is voorgesteld, ontleend aan het voortreffelijk werk (Handbook) van prof. Sanderson, die bestaat uit eenige glazen buisjes en caoutchoucuisjes, welke in elkaar zijn geschoven; een dergelijke buis kan in allerlei richtingen gedraaid worden, zonder dat de gemeenschap tusschen manometer en slagader wordt verstoord.

Door TATIN is eenigen tijd geleden een metaal-manometer samengesteld, die van den hier beschreven manometer in zoover verschilt, dat de volstrekte waarden der drukkingen door een wijzer op een wijzerplaat worden aangewezen; deze wijzerplaat is naar de aanwijzingen van een kwikmanometer in honderdste en tweehonderdste schaaldeelen verdeeld. Het gebruik van kwik is dus bij dezen manometer vermeden, dat een groot voordeel is. De beweging van het membraan der metalen doos deelt zich aan een klein omgebogen mesje mede, dat een schroef laat ronddraaien, die de spil van den wijzer uitmaakt. Terwijl nu de wijzer de volstrekte waarden der drukkingen aangeeft, worden deze drukkingen tegelijkertijd overgebracht naar een trommel met hefboom door bemiddeling van een luchttrommel, die binnen in den toestel is aangebracht.

**Het meten van de bloedsdrukking door middel van een tegendruk die op de organen wordt uitgeoefend.**

Wanneer men in plaats van een bloedvat samen te drukken, dit in een middenstof dompelde, waarop een bekende drukking werd uitgeoefend, dan zou men, door deze laatste drukking langzamerhand te laten toenemen, een oogenblik bereiken waarop de inwendige drukking zou zijn overwonnen. Dit oogenblik zou daardoor worden aangewezen dat het bloedvat werd ingedrukt; het

lid dat deze uitwendige drukking ondervindt, zou bleek worden en in volume verminderen, aangezien dóór de groote uitwendige drukking het bloed niet meer hierin zou kunnen doordringen. De drukking, op dit oogenblik door den manometer aangewezen, zou dan juist gelijk zijn aan de slagaderlijke drukking.

Deze proef kan op de volgende wijze worden ingericht. Een sphygmoskoop, zooals die vroeger is beschreven, wordt in gemeenschap gesteld met de slagader van een dier. Het caoutchouc zakje wordt nu gevuld; de wanden blijven steeds gespannen en vertoonen zwakke op- en neergaande bewegingen, die ontstaan tengevolge van het toe- of afnemen van de inwendige drukking. Onder deze omstandigheden maakt de drukking der vloeistof voortdurend evenwicht met de veerkracht van de wanden van het caoutchouc zakje.

Men vult nu den glazen cilinder, waarin zich het caoutchouc zakje bevindt, met water, en verbindt daarna dezen cilinder door een buis met een manometer, die insgelijks met water is gevuld. Men zal dan opmerken dat in dezen manometer slechts zeer geringe schommelingen plaats hebben, aangezien hij van de bloedsdrukking weinig invloed ondervindt, daar deze door de veerkracht van de wanden van het caoutchouczakje grootendeels in evenwicht wordt gehouden.

Eindelijk wordt de buis T verbonden met een schroefspuit C (fig. 330), die met water is gevuld. Wordt nu door middel van deze spuit een zekere hoeveelheid water in de buis T gedreven, dan zal de manometer terstond een verhoogde drukking aanwijzen, terwijl zijn schommelingen grooter worden. De oorzaak hiervan is dat het volume van het zakje S kleiner geworden is en dat de veerkracht van de nu minder gespannen wanden van dit zakje slechts gedeeltelijk de bloedsdrukking in evenwicht kan houden; een deel van de bloedsdrukking werkt dus nu direkt op den manometer en doet de schommelingen daarin ontstaan.

Brengt men met de spuit nog meer water in de buis T, dan zal de manometer weer een hoogeren druk aanwijzen, de schommelingen zullen toenemen, terwijl het volume van het zakje S kleiner wordt; de wanden van S worden voortdurend slapper en bieden op een gegeven oogenblik geen weerstand meer aan de bloedsdrukking, die nu in haar geheel op den manometer zal

werken. Alsdan zal de manometer juist de grootte van de bloedsdrukking en de veranderingen, die deze ondergaat, aanwijzen.

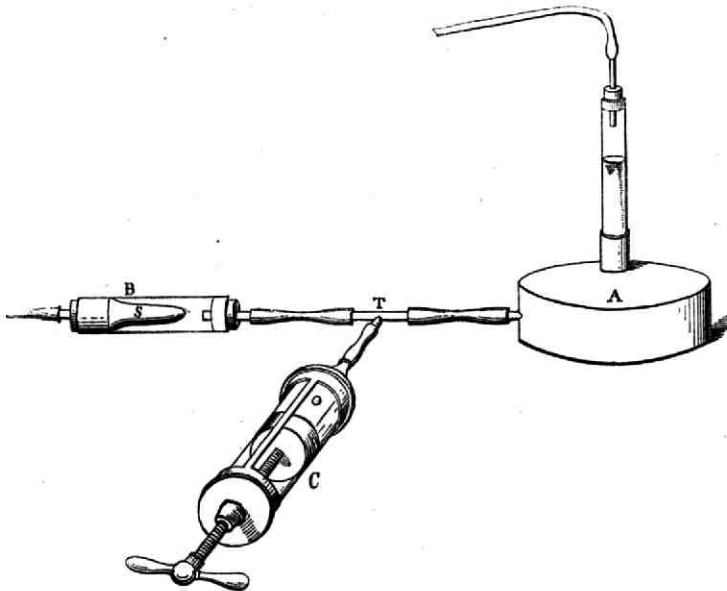


Fig. 330. Het meten van de drukking in het inwendige van een sphygmoskoop door een uitwendig aangebrachten tegendruk.

Brengt men nu nog meer water in de buis T, dan stijgt het water wel in den manometer, maar de schommelingen nemen af; bij het afnemen der bloedsdrukking zullen nu de wanden van het zakje telkens tegen elkaar kleven, zoodat zij de buis verstoppen en de benedenwaartsche schommelingen in den manometer beletten; alleen kan nu beweging in den manometer nog plaats hebben, wanneer de bloedsdrukking haar grootste bedrag heeft bereikt. Maar stijgt nu de drukking van het water nog een weinig, dan verdwijnt alle beweging in den manometer. In figuur 331 zijn de verschillende phasen van dit verschijnsel voorgesteld. Bij het einde van het tracé, toen de manometer geenerlei beweging meer vertoonde, bedroeg hier de drukking 9 centimeter.

Om op deze wijze de slagaderlijke drukking bij den mensch te bepalen, kan men gebruik maken van den toestel die in fig. 333 is afgebeeld. 1)

1) \* Deze toestel is reeds voor ongeveer vijfentwintig jaar door MAREY uitgevonden en voor dit doel gebruikt. \*

De arm wordt gestoken in een cilinder van metaal, die aan een der uiteinden is voorzien van een soort van armsgat (fig. 332). Aan den bovenkant van dezen cilinder is een glasplaat aangebracht, zoodat men zien kan wat binnen in den cilinder gebeurt.

Het armsgat in den metalen cilinder bestaat uit een kegelvormige mof van caoutchouc, die den voorarm stevig omsluit. Daar deze mof bij het toenemen der drukking door te sterke spanning zou kunnen bersten, is zij nog omgeven door een tweede mof van zijden taf, die tegelijkertijd dun en niet uitrekbaar is. Beide moffen worden tegelijkertijd in den cilinder geschoven; de caoutchouc mof is langer dan de zijden mof, zoodat de eerste luchtdicht de huid van den voorarm omsluit, terwijl de laatste alleen de stevige sluiting verzekert. Bracht men samengeperste lucht in dezen toestel, dan zou men de zijden taf zich zien spannen en een bolle gedaante zien aannemen, terwijl zij den voorarm omsluit.

Verder is aan de achterzijde van den cilinder met vier stevige riemen een soort van metalen stootplaat bevestigd, waartegen de arm steunt, wanneer hij bij het aanwenden van een sterken druk geneigd ware zich terug te trekken; men kan toch de drukking in den cilinder tot een zoodanig bedrag laten toenemen, dat de kracht van een gewoon mensch deze niet zou

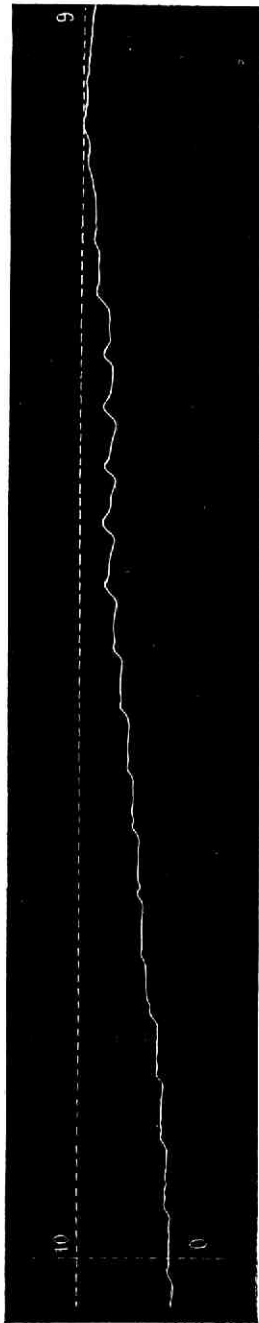


Fig. 331. Registratie van de volumeveranderingen van den sphygmoskoop S (fig. 330) waarop drukkingen worden uitgeoefend van nul tot 9 centimeter kwikhoogte.

kunnen weerstaan; met behulp van deze stootplaat

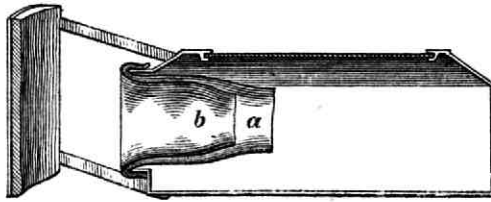


Fig. 332. Doorsnede van den toestel bestemd voor het aanwenden van een drukking op den voorarm en de hand;  $\alpha$ , mof van caoutchouc;  $b$ , mof van zijden taf met koorden vastgebonden, belet den arm voor den uitgeoefenden druk te wijken.

kan men aan een druk van 30 of 40 kilogram gemakkelijk weerstand bieden.

De cilinder wordt verder door middel van twee buizen, van kranen voorzien, in gemeenschap gesteld met den toestel, die de drukking uitoefent, en met den manometer, die deze drukking moet aanwijzen, zooals in fig. 333 is aangetoond.

De toestel, waarmee de drukking wordt aange-

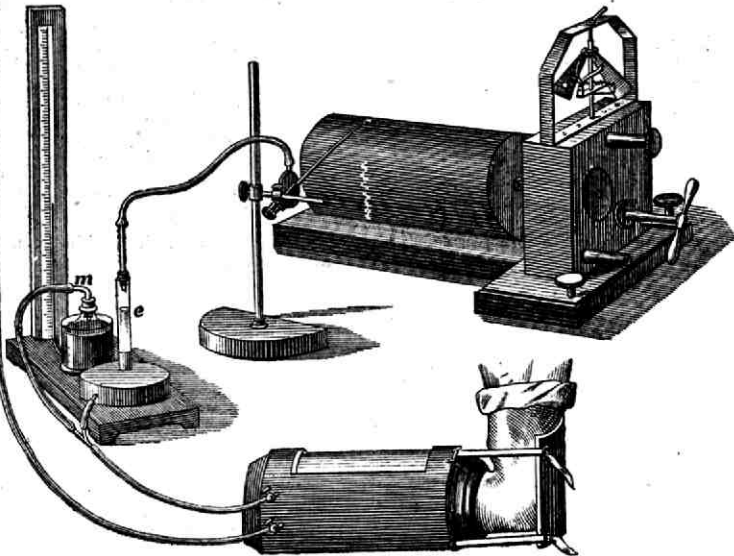


Fig. 333. Toestel voor het registreeren van de drukking in de bloedvaten van de hand.

bracht, bestaat uit een glazen bak R, met water gevuld, die door middel van een koord, dat over een schijf loopt, op een willekeurige hoogte kan gebracht worden; een lange caoutchouc buis verbindt dezen bak met den metalen cilinder. Door den manometer M worden de drukkingen aangewezen. Eindelijk worden door een trommel met hef boom de pulsaties van de door het water omringde organen op een draaienden cilinder opgeschreven; tegelijkertijd wordt dan de amplitude dezer bewegingen, alsmede het bedrag der drukking, geregistreerd. 1)

In fig. 334 zijn eenige tracés voorgesteld die de pulsaties van de hand bij toenemende drukkingen aantonen.

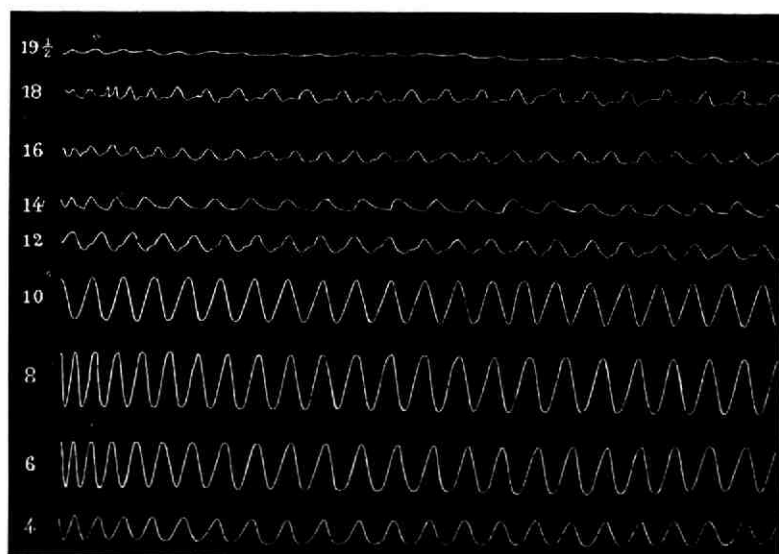


Fig. 334. Volumeveranderingen van de hand onder de werking van toenemende uitwendige drukkingen.

Het bepalen van de arterieele drukking kan ook hier geschieden zonder dat het noodig is telkens den kwikmanometer te raadplegen. Men slaat daartoe het koord *c*, waaraan het waterreservoir hangt, om een riemschijf van een rad, waardoor de beweging

1) Om de aanwijzingen van den registreerenden manometer te controleeren, kan men tegelijkertijd met dezen manometer ook een kwikmanometer met den cilinder in gemeenschap stellen.

van den cilinder wordt geregeld; hierdoor zal de beweging van den cilinder geëvenredigd zijn met de drukking die op de hand wordt uitgeoefend. Bij een groote verplaatsing van het reservoir zal nu de cilinder slechts een klein deel van zijn omwenteling volbrengen, zoodat de verdeelingen 5, 10, 15, 20 van fig. 335 overeenkomen met vermeerderingen van drukking van 5, 10, enz. cM. kwikhoogte.

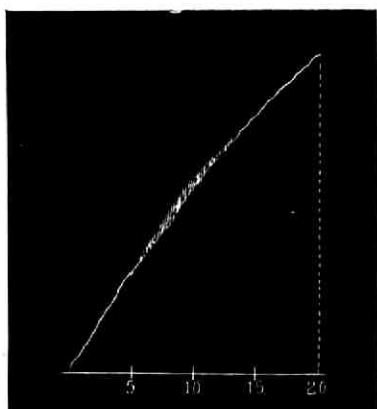


Fig. 335. Tracé van de veranderingen van de bloedsdrukking in de hand geregistreerd op een cilinder wiens omwenteling geëvenredigd is met de uitgeoefende drukking.

Daar de stijging van het reservoir langzaam plaats heeft, zoo zullen de pulsaties bijna samenvallen, maar toch kan men altijd de veranderingen in amplitude uit het tracé opmaken. De lijn toont verder aan dat de metaalmanometer een toenemende drukking aanwijst met rhythmische veranderingen, even als de pols. Deze veranderingen treden eerst bij een bepaalden graad van uitwendige drukking op, ongeveer bij 5 cM. kwikhoogte: bij 10 cM. bereiken zij haar grootste waarde, zooals de figuur aantoont, en zij verdwijnen bij een drukking van ongeveer 14 cM.

Geschiedt de proefneming op deze wijze, dan heeft men het voordeel dat het tracé zeer weinig plaats inneemt en dat men daaruit nauwkeuriger dan uit andere tracés kan opmaken bij welken graad van drukking de veranderingen in de arteriële pulsaties plaats hebben.

Om de bloedsdrukking in de bloedvaten van den mensch te



bepalen, gebruikt KRIES 1) een glazen plaatje, dat op de huid wordt geplaatst en waarop een bekende drukking wordt uitgeoefend. Deze op het glas uitgeoefende drukking nu, waarbij de weefsels verbleeken, zou hier overeenkomen met die, waarbij de bloedsdrukking in de capillaire vaten wordt overwonnen, zoodat op deze wijze het bedrag hiervan bepaald zou kunnen worden.

Uit de resultaten van deze proefnemingen blijkt echter dat deze toestel vrij ongevoelig is; toch mag het een vernuftig denkbeeld genoemd worden om te beproeven op deze wijze de drukking in de haarvaten te bepalen, die, zooals reeds vroeger werd vermeld, veel geringer is dan de arteriële drukking. BASCH 2) heeft beproefd de bloedsdrukking af te leiden uit de volumeveranderingen van organen, welke veranderingen door een toestel, overeenkomstig met die van MOSSO of van BUISSON, werden aangewezen. Uit hetgeen vroeger betreffende de aanwijzingen van deze toestellen is gezegd, kan men hiervan slechts bepalingen verwachten, die een betrekkelijke waarde hebben.

#### **Invloed van een uitwendige drukking op de veranderingen in den bloedsomloop.**

De hierboven vermelde proef verklaart enkele verschijnselen, die tot nu toe vrij duister waren. Zoo is het optreden van krachtige pulsaties in sommige samengedrukte organen zeer goed te verklaren, wanneer men aanneemt dat het bloed in die organen afwisselend toevloeit en terugstroomt; het toevloeien heeft plaats tengevolge van de werking van het hart, het terugstroomen is een gevolg van den uitwendigen druk, die op de bloedvaten wordt uitgeoefend.

Beschouwt men de figuren 334 en 335, dan ziet men dat de schommeling haar maximum bereikt, wanneer bij de uitgeoefende uitwendige drukking het bloed nog in de weefsels kan doordringen op het oogenblik van het maximum der hartswerking,

---

1) KRIES (onder toezicht van LUDWIG), *Ueber den Druck in den Blutcapillaren der menschlichen Haut* (Arbeiten aus der phys. Anstalt zu Leipzig, 1875; p. 69).

2) Zie BASCH, *Die Volumetrische Bestimmung des Blutdrucks am Menschen. Medizin. Jahrb. IV. Wien, 1876*

terwijl op het oogenblik van de maxima der bloedsdrukking het bloed wordt teruggedreven.

Men zal nu bijv. het overmatig optreden van kloppingen in een ontstoken deel gemakkelijk kunnen verklaren, wanneer zich het verschijnsel voordoet, dat men beklemming noemt, hetzij dat de huid, sterk gespannen, de weefsels overmatig samendrukt, hetzij dat de beklemming binnen in een der peesvliesen plaats heeft. Nu en dan kunnen die kloppingen ook het gevolg zijn van een mechanische samendrukking. Zoo voelt men dergelijke kloppingen in de voeten, wanneer men lang op te nauwe schoenen heeft geloopt, of in de hand, wanneer men te nauwe handschoenen draagt.

Bij sommige organen kan men reeds op het gezicht het verschijnsel van arteriële kloppingen waarnemen, die ontstaan tengevolge van een uitwendige drukking. Zoo heeft men opgemerkt dat de slagaderen van het netvlies zichtbaar kloppen wanneer men den oogbol eenigszins samendrukt. Eigenaardig en tevens moeielijk te verklaren is het dat hierbij dan tevens kloppingen in de aderen van het netvlies plaats hebben.

Het samendrukken van sommige organen zal het achtereenvolgens optreden van storingen in de verschillende funktiën dezer organen tengevolge hebben. Bij het samendrukken der hand vertoont zich een vermindering van de gevoeligheid; het schijnt van veel belang de kenmerken en den aard van dit verschijnsel te bestudeeren. Door LEYDEN is aangetoond dat een drukking, binnen in de schedelholte uitgeoefend, bloedarmoede van de hersenen met storing van hun funktiën tengevolge heeft. FRANÇOIS-FRANCK heeft ook den invloed van de samendrukking der hersenen op de hartbewegingen onderzocht, en heeft daarbij zeer merkwaardige verschijnselen waargenomen. Dezelfde physioloog heeft den invloed van drukkingen nagegaan die binnen in het pericardium worden uitgeoefend; hij vond dat een drukking van 2 cM. kwikhoogte voldoende is om de hartwerking en de drukking in alle slagaderen te doen ophouden. Dit is hieraan te wijten dat bij een dergelijke drukking het aderlijke bloed niet meer in de boezems kan dringen, en daar nu het hart geen bloed meer ontvangt, zendt het ook geen bloed meer in de slagaderen uit. Dit ophouden van de hartbeweging is echter slechts voorbijgaand;

want spoedig zal tengevolge van den stilstand in de toevoerende vaten van den boezem de drukking daarin weer stijgen, waardoor de uitwendige druk weer wordt overwonnen en het hart weer begint te werken. Door nu op nieuw de drukking in het pericardium te doen toenemen, wordt de beweging van het bloed op nieuw belet.

Uit een en ander blijkt dat deze merkwaardige onderzoekingen nog voor groote uitbreiding vatbaar zijn. Wat betreft de uitwerking van drukkingen, in de holte van het pericardium uitgeoefend, hieruit heeft FRANÇOIS-FRANCK de vaak doodelijke storingen in den bloedsomloop verklaard, die door bloeduitstortingen in het pericardium worden veroorzaakt.

---

## NEGENDE HOOFDSTUK.

### VOLUMEVERANDERINGEN VAN ORGANEN.

Overzicht van de verschillende methoden gevolgd bij het bestudeeren van de volumeveranderingen van organen die het gevolg zijn van veranderingen in de bloedsdrukking.— Proeven betreffende de volumeveranderingen der hand. Invloed van mechanische werkingen. — Verschijnselen welke afhangen van de werking der vaatzenuwen — Gevolgtrekkingen waartoe de proeven betreffende de volumeveranderingen der hand hebben geleid. — Volumeveranderingen van het hart in de verschillende oogenblikken van de hartsperiode.

**Overzicht van de verschillende methoden gevolgd bij het bestudeeren van de volumeveranderingen van organen die het gevolg zijn van veranderingen in de bloedsdrukking.**

In 1846 werd door PRÉGU 1) aan de Akademie van Wetenschappen een verhandeling aangeboden over *de beweging der ledematen met betrekking tot het hart en de ademhaling*. PRÉGU nam zijn eerste proeven op een lijk, dat in een bak met lauw water was geplaatst; bij inspuiting van water in een der ledematen

---

1) Prégu, C. B. *Acad. Sc.* 1846, t. XXII, p. 682 en *Müller's Arch. für Anat. Jahrgang* 1847.

hadden zich de bloedvaten uitgezet, tengevolge waarvan het water over de randen van den bak was gevloeid. Later herhaalde hij zijn proeven op het levend lichaam en nam dezelfde verschijnselen waar die POISEUILLE had opgemerkt bij het experimenteren op een groote slagader, namelijk dat bij elken hartstoot en bij elke slagaderlijke diastole de vloeistofspiegel steeg en dat in het tegenovergestelde geval, wanneer het hart in rust bleef en het bloed door de aderen wegvloeide, de vloeistofspiegel daalde.

PIÉGU nam verder waar dat de grootte dezer bewegingen, alsmede de mindere of meerdere snelheid, waarmee zij plaats hadden, in verband stond met de ademhalingsbewegingen, en dat de daling van den vloeistofspiegel het sterkst was bij de inspiratie en de stijging haar grootste bedrag bereikte gedurende de expiratie. PIÉGU merkte verder de overeenkomst op tusschen deze verschijnselen en die, welke BOURGOUNON 1) heeft waargenomen bij zijne onderzoekingen betreffende de beweging der hersenmassa door middel van een buis, die in den schedel van een dier was geschroefd.

Later werd door PIÉGU in een verhandeling, die hij in 1872 schreef 2), gewezen op de gelijkheid der oorzaken van deze overeenkomstige verschijnselen; in plaats van dus de bewegingen der hersenen toe te schrijven aan het opheffen tengevolge van de uitzetting der slagaderen van de basis, nam hij als oorzaak hiervan aan de algemeene uitzetting der bloetvaten, die in dit orgaan tengevolge van den toevoer van slagaderlijk bloed plaats had; evenzeer schreef hij de inzinking der hersenmassa toe aan de vernauwing der kleine bloedvaten.

In 1850 verscheen het werk van CHELIUS 3) waarin melding werd gemaakt van het overbrengen der polsbewegingen door middel van een kleine waterzuil in een vertikaal geplaatste buis, die buiten een cilinder uitstak, in welken een der ledematen was besloten. CHELIUS gaf een verbeterde inrichting van den hierbij

1) BOURGOUNON, Th *Paris*, 1839.

2) PIÉGU, *Arch. phys.*, 1872.

3) CHELIUS, *Beitrage zur Vervollständigung der Physikalischen Diagnostik. Vierteljahrsschrift für die praktische Heilkunde, herausgegeben von der Med. Facultät in Prag. VII. Jahrgang, 1850, XXII B., S. 108.*

te gebruiken toestel, door dezen vrij op te hangen, waardoor de invloed van de spierbewegingen van het lid en die van de bewegingen van het lichaam op de rijzing en daling van den vloeistofspiegel zooveel mogelijk werd weggenomen.

Mosso sloeg denzelfden weg in als CHELIUS, ofschoon hij met diens arbeid onbekend was, en stelde op zeer vernuftige wijze zijn zoogenaamden *Pletysmograaf* samen. Bij al deze proeven werden de uitkomsten alleen met het oog waargenomen en nog niet geregistreerd; eerst na 1847, toen door LUDWIG het gebruik van zelfregistreerende werktuigen in de physiologie was ingevoerd, begon men er aan te denken die zelfregistratie ook dienstbaar te maken aan dergelijke onderzoekingen, als waarvan hierboven sprake was.

Zoo werden het eerst door FICK 1) met behulp van het kymografion de bewegingen van uitzetting en inkrimping van de hand geregistreerd. De verplaatsingen van de vloeistof werden overgebracht naar een kwikmanometer met U-vormige buis, waarvan het lange been een drijver bevatte, die op een papierstrook de ademhalingsbewegingen en de polsbewegingen van het onderzochte lid registreerde.

Terwijl de gevoeligheid van den toestel van FICK niets te wenschen overlaat, is dit werktuig aan dit gebrek onderhevig dat door de snelheid, waarmee de verplaatsing van de vloeistof geschiedt, de aanwijzingen misvormd worden.

De cilindervormige buis van den manometer is zeer nauw, zoodat de vloeistofzuil op het oogenblik, dat het bloed naar het lid toegevoerd wordt, zich voorbij het punt beweegt waar zij zou moeten stilhouden, en omgekeerd.

Terwijl FICK zich in 't bijzonder heeft beziggehouden met het bestudeeren van de volumeveranderingen der hand in verband met de bewegingen van het hart en van de ademhaling, stelde Mosso zich ten doel de bewegingen der bloedvaten te registreeren onafhankelijk van den invloed der hartsbeweging en der ademhalingsbewegingen. De toestel, welken Mosso daartoe gebruikte, is inderdaad uitstekend 2); wij zullen de hoofdzaken hiervan even vermelden.

1) A. FICK, *Untersuch. a. d. Züricher physiol. Laborat.* I, p. 1.

2) A. Mosso, *Von einigen neuen Eigenschaften der Gefäßwand.* Leipzig, 1874. *Movimenti dei vasi sanguigni nell'uomo.* Acad. Scient. di Torino. 1875.

In een glazen cilindervormige mof, die geplaatst is op een tafeltje dat vrij is opgehangen, wordt de arm tot aan den elleboog ingebracht. Een sterk caoutchouevlies sluit den toestel aan den bovenkant en houdt de uitvloeiing van het water tegen, waarmee deze is gevuld. In het tegenovergestelde uiteinde van den cilinder is een horizontale rechthoekig omgebogen buis aangebracht, die uitmondt in een verdeeld reageerbuisje, dat in een mengsel van alcohol en water drijft. Dit buisje wordt in evenwicht gehouden door een gewichtje, waarmee het door tusschenkomst van een kleine katrol is verbonden. Het buisje zal dieper inzinken, zoodra het volume van het in den cilinder besloten lid grooter wordt; bij het kleiner worden van dit volume zal het buisje daarentegen stijgen. Daar nu deze bewegingen van het buisje gepaard gaan met een rijzende en dalende beweging van het gewichtje, waaraan het buisje verbonden is, viel het Mosso gemakkelijk aan dit gewichtje een stift te bevestigen die de bewegingen op een papierstrook of op het kymografion van LUDWIG registreerde. Bij elke volumevermeerdering van den arm (dus bij elke uitzetting van de bloedvaten) steeg de stift, terwijl zij bij elke volumevermindering (dus bij elke vernauwing van de bloedvaten) daalde.

Het is bekend dat BUISSON de hartslagen registreerde door op de hartstreek een trechter te plaatsen, die met lucht was gevuld, en die door middel van een caoutchoubuis met een tweeden trechter was verbonden, waaraan een membraan met een registreerenden hefboom was aangebracht „Vervangt men,” zeide BUISSON, „den trechter, die de beweging ontvangt, door een beker-glas met water, waarin de hand wordt gedompeld, dan zal men evenzeer de bewegingen van het water op deze wijze kunnen registreeren.” Zoo veranderde BUISSON den toestel, die door PIÉGU het eerst was uitgedacht, in een zelfregistreerenden toestel.

De gebreken, die aan den toestel van BUISSON eigen waren, werden door FRANÇOIS-FRANCK zooveel mogelijk weggenomen: boven het vlies, waardoor de voorarm wordt gestoken, bracht hij een stevig metalen deksel aan, dat aldus de bewegingen van het vlies belette, dat anders de volumeveranderingen van de hand bijna geheel zou hebben overgenomen. Om te snelle schommelingen van het water te vermijden, waardoor het tracé zou kunnen

misvormd worden, is aan de overbrengingsbuis een verwijding aangebracht, waarin de schommelende beweging van het water

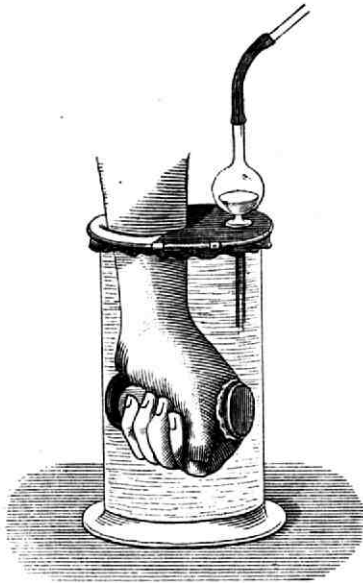


Fig. 336. Toestel bestemd voor het registreeren van de volumeveranderingen van de hand.

vrij kan plaats hebben (fig. 336). Bovendien wordt de persoon, op wie de proef genomen wordt, een handvat in de hand gegeven, zoodat de hand een nagenoeg onbewegelijken stand zal innemen. Eindelijk is de geheele toestel aan een band van caoutchouc opgehangen, zoodat bij een onwillekeurige beweging de hand zich met betrekking tot het glas, waarin zij gedompeld is, weinig of niet kan verplaatsen.

Het water van den toestel zal nu tengevolge van de volumeveranderingen van de hand een schommelende beweging verkrijgen, die in vorm met de polsbeweging overeenkomt en die, evenals deze, vertraagd wordt op het oogenblik waarop de hartslag plaats heeft.

Figuur 337 stelt het tracé van den hartslag en dat van de volumeveranderingen van de hand bij gelijktijdige registratie voor.



Fig 337. H, tracé van den hartslag; V, tracé van de volumeveranderingen van de hand; de merkstrepen duiden de coïncidentie van de tracés aan.

**Proeven betreffende de volumeveranderingen der hand.  
Invloed van mechanische werkingen.**

*Uitwerking van het samen-  
drukken van de slagader.*

Wanneer de hand en de voorarm in den toestel zijn gedompeld, dan wordt het tracé van de volumeveranderingen geregistreerd volgens een lijn die nagenoeg horizontaal loopt.

Op een bepaald oogenblik drukt men zonder schokken met den vinger van de vrijgebleven hand de slagader van den schouder in de vouw van den elleboog dicht.

Wanneer de slagader geheel is dichtgedrukt, zal daardoor de hoofdtoevoer van het bloed verbroken zijn; het bloed kan nu alleen door nauwe zijslagaderen toevloeden en uit het ingedompelde lid wordt dan het bloed door de vrijgebleven aderen afgevoerd. In figuur 338 ziet men van het punt *c* af de pulsaties van het tracé ophouden, de lijn daalt langzamerhand tot zekere diepte beneden de horizontale lijn, waarbij de sterkste volumevermindering plaats heeft; zij blijft nagenoeg in dezen stand doorloopen tot in *c'*, waar de samengedrukte slagader wordt vrijgelaten.

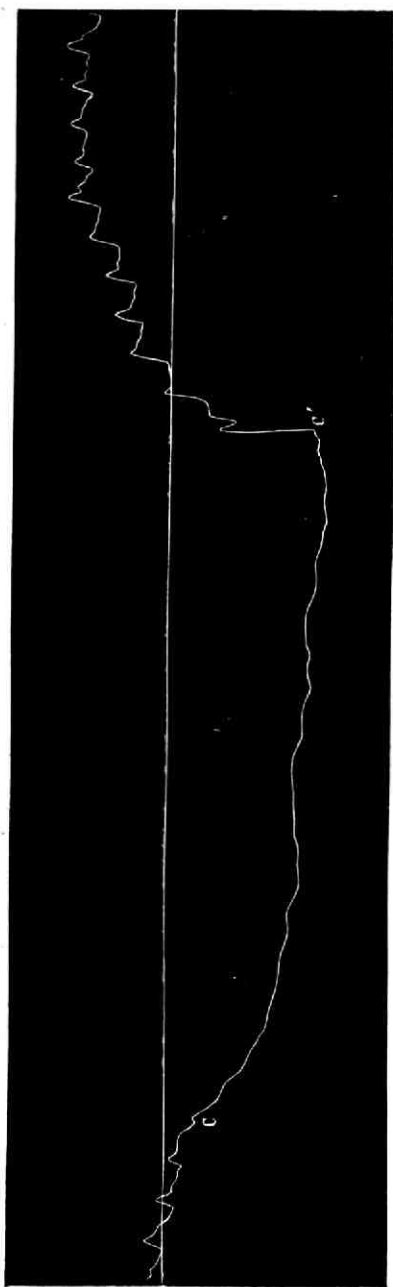


Fig. 338. Volumevermindering van de hand bij het samendrukken van de slagader van den schouder in de vouw van den elleboog (in *c*). De slagader wordt vrijgelaten in *c'*.



*Uitwerking van het samendrukken van de aderen.* — Terwijl de toestel is opgesteld als boven, begint men met eenige pulsaties te registreeren, om hiermee later de afwijkingen van het tracé te vergelijken.

Op het oogenblik, aangewezen door het punt C in beide tracés van fig. 339, wordt langzamerhand een band toegesnoerd die om den arm boven de vouw van den elleboog is geslagen, evenals bij het aderlaten geschiedt.

Tengevolge van dit toesnoeren wordt de aderlijke afvloeiing onmogelijk gemaakt, terwijl toch de toevoer van bloed door de slagaderen nog kan plaats hebben. Nadat dit toesnoeren een zekeren tijd heeft geduurd, wordt de band eensklaps of ook langzamerhand losgemaakt; beide gevallen zijn in fig. 339 voorgesteld.

Men heeft nu na te gaan welke veranderingen hierdoor in den bloedsomloop van het ingedompelde lid zijn teweeggebracht, 1<sup>e</sup> *gedurende de samendrukking*, 2<sup>e</sup> *na de samendrukking*.

1<sup>e</sup>. Gedurende de samendrukking zullen de aderen een steeds kleinere hoeveelheid bloed afvoeren, totdat ten slotte de afvoer geheel is belet. Men ziet dientengevolge het volume van de hand trapsgewijze toenemen; die volumevergrootingen worden echter steeds geringer, omdat het door de slagader toegevoerde bloed een steeds aangroeiende drukking ontmoet en dientengevolge ook bij kleinere hoeveelheden in het lid toevloeit. De eerste pulsaties hebben een grootere amplitude dan in den normalen toestand omdat de toevoer geen evenwicht maakt met de afvloeiing; dat die amplitude langzamerhand vermindert, is te wijten aan het steeds langzamer indringen van het bloed. Evenzoo vermindert langzamerhand het dicrotisme, dat aanvankelijk zeer merkbaar was.

2<sup>e</sup>. Na de samendrukking zal de volumevermindering snel plaats grijpen bij het plotseling vrijmaken van den arm, terwijl de amplitude der pulsaties vrij snel toeneemt, daar nu de toevoer van het bloed weldra geen weerstand meer ontmoet. De volumevermindering, alsmede het toenemen der amplituden heeft minder snel plaats, wanneer de band langzaam wordt losgemaakt; de pulsatie keert nu langzaam tot het normale type terug.

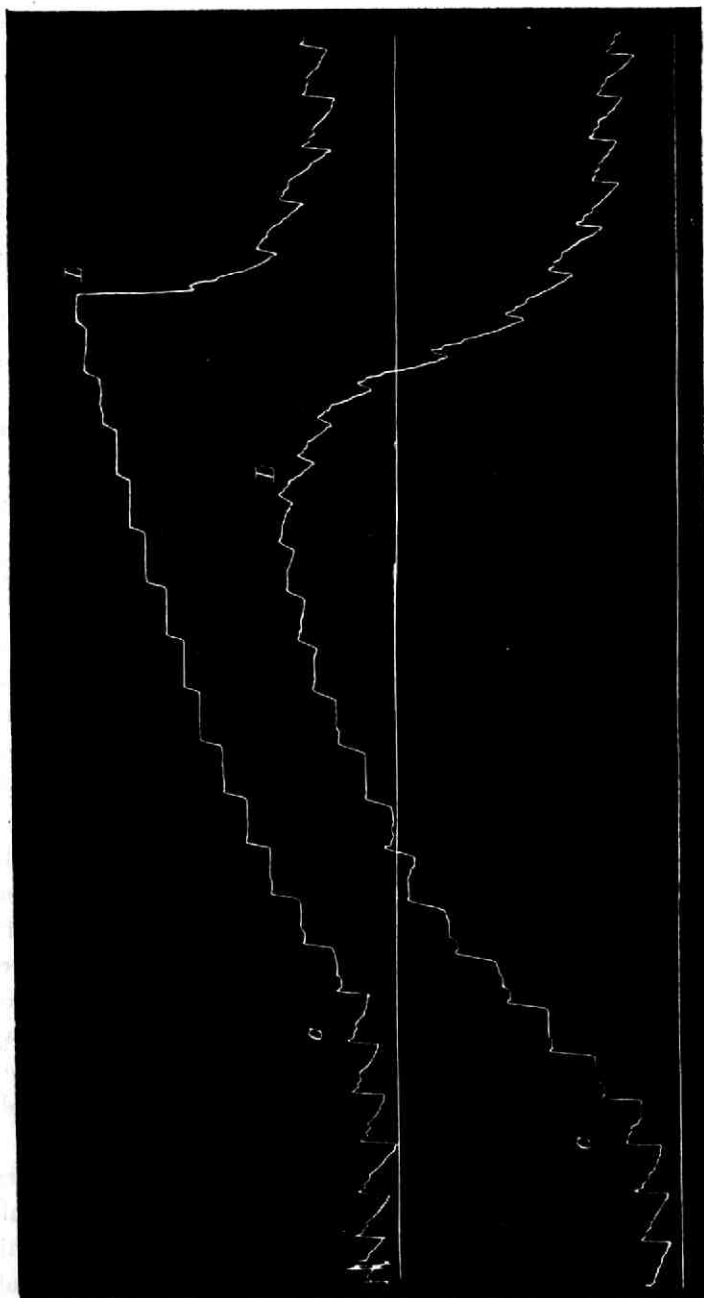


Fig. 339. Uitwerking van de samendrukking der aderen teweeggebracht door een band die op het oogeblik C om den arm boven de vouw van den elleboog stijf wordt toegebonden. In de punten L wordt de band losgemaakt; plotseling in het bovenste tracé, langzamerhand in het onderste tracé.

### Verschijselen welke afhangen van de werking der vaatzenuwen.

Tot de gemakkelijkst waarneembare verschijnselen, die teweeggebracht worden door de werking der vaatzenuwen, behoort de vernauwing der vaatwanden en de daaruit voortvloeiende vermindering in de hoeveelheid bloed, die in de vaten wordt toegelaten; verder de daling in temperatuur en de vermindering van volume.

De eenvoudigste wijze, waarop men de werking der vaatzenuwen kan laten optreden, geschiedt door het aanwenden van koude. Wordt voor en aan de binnenzijde van de vouw van den elleboog een stuk ijs gelegd, terwijl de hand en het onderste gedeelte van den voorarm in den toestel zijn gedompeld, dan zal er een zekere tijd verlopen voordat de volumevermindering der ingedompelde deelen plaats heeft. Dit is merkbaar uit het tracé van fig. 340; het ijs werd slechts gedurende een zeer korten tijd, van F tot F', op den arm gelegd; 4 sekonden daarna trad de volumevermindering in, welke gedurende 15 sekonden aanhield. Ook hierbij is de gewone opeenvolging van verschijnselen weer merkbaar, zooals zich steeds bij een zenuwprickeling voordoet: een verloren tijd, een periode van toeneming, en een periode van afneming of van verslapping.

Een dergelijke uitwerking wordt voortgebracht door het prikkelen van de huid door middel van inductiestroomen, zooals fig. 341 aantoont. Ook hier dalen de pulsaties beneden de horizontale lijn eerst na

Fig. 340. Volumevermindering van de hand voortgebracht door het leggen van een stuk ijs voor en aan de binnenzijde van de vouw van den elleboog.



eenige oogenblikken nadat de prikkeling, opgewekt door de inductiestroom, heeft opgehouden.

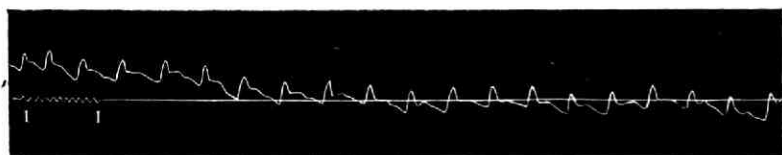


Fig. 341. Volumeveranderingen van de hand. De elektrische prikkeling is aangewend van 1 tot 1. De pulsaties dalen na deze oogenblikken langzaam beneden de horizontale lijn.

### **Gevolgtrekkingen waartoe de proeven betreffende de volumeveranderingen der organen hebben geleid.**

Aan de onderzoekingen van FRANÇOIS-FRANK betreffende de volumeverandering der organen ontleenen wij het volgende:

1. De dubbele bewegingen van de hand vertoonen dezelfde overeenkomst met de hartwerking als de pols van een enkele slagader; deze bewegingen moeten beschouwd worden als direkt te ontstaan door de volumeverandering der kleine bloedvaten.

2. De uitzetting van de bloedvaten der hand geschiedt na een bepaalden tijd nadat de hartsystole heeft plaats gehad; deze vertraging is even groot als de tijd, die verloopt tusschen de hartsystole en het optreden van den pols in de art. rad.; zij neemt toe of af, naargelang de uitstroaming uit het linker hart langzaam of snel plaats heeft.

3. Elke volumeverandering van de hand gaat gepaard met een enkelvoudig of dubbel dicrotisme, gelijk aan dat van den arterieelen pols.

4. Het volume der onderzochte organen vermindert onder den invloed van mechanische werkingen, zooals door het samendrukken van slagaderen, het leiden van bloed naar andere organen, het koppen zetten.

5. Dit volume neemt daarentegen toe, wanneer men op eenigerlei wijze het bloed in het orgaan ophoopt, zooals bij het samendrukken van de aderen der hand.

6. Door zenuwwerkingen, hetzij ze direkt zijn of bij reflexwerking, wordt het volume der organen gewijzigd tengevolge van een verandering van de middellijn der bloedvaten.

Wordt het water afgekoeld, waarin de hand is gedompeld, dan heeft er een vernauwing van de bloedvaten en een vermindering van volume plaats.

Het kortstondig afkoelen van de huid van den arm veroorzaakt een volumevermindering van de daarbij behoorende hand door de vernauwing der kleine bloedvaten, die het gevolg is van de reflexwerking der gevoelszenuwen op de vaatzenuwen.

Het optreden van deze reflexwerking wordt duidelijk aangetoond wanneer men de volumeverandering van een hand onderzoekt, terwijl de andere hand met een koud voorwerp in aanraking wordt gebracht; men bemerkt alsdan dat bij dit verschijnsel geen sprake is van afkoeling van het bloed of van een wijziging in de hartwerking; de tijd die verloopt tusschen den indruk en het optreden van de samentrekking der vaatspieren (de verloren tijd) neemt toe met de afmatting van deze spieren.

7. De ademhalingsbewegingen veranderen het volume der organen op dezelfde wijze als de arterieele drukking; bij de gewone ademhalingsbewegingen neemt het volume van de hand toe bij expiratie, terwijl het gedurende de inspiratie afneemt. Maar het verband tusschen de lijnen van volumeveranderingen en die van de ademhalingsbewegingen wordt gewijzigd door den vorm der respiratie.

8. Door de kracht, ontwikkeld bij de samendrukking binnen in de borstkas en in den buik, wordt slagaderlijk bloed naar de oppervlakte gedreven en de uitstrooming uit het hart gemakkelijk gemaakt.

#### **Volumeveranderingen van het hart in de verschillende oogenblikken van de hartsperiode.**

Vroeger is op bladz. 408 (zie fig. 206) de methode aangegeven, volgens welke men de volumeveranderingen van het hart kan onderzoeken. Het hart werd daarbij eenvoudig in een flesch met lucht geplaatst; spoedig bleek het gebrekkige van deze proefneming, daar door de veerkrachtige lucht een groot deel van de beweging wordt geabsorbeerd. FRANÇOIS-FRANCK heeft in deze methode een groote verbetering aangebracht. Hij plaatste het hart in een buisje, met lijnolie gevuld (fig. 342); door een

vertikale buis, die tot een bol is verwijd, kan de schommelende beweging van de olie, die door de volumeveranderingen van het

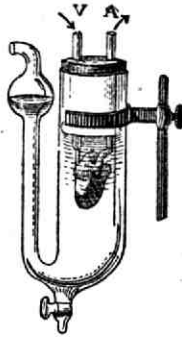


Fig. 342. Toestel bestemd voor het onderzoeken van de volumeveranderingen van het hart. V toevoerbuis; A afvoerbuis.

hart wordt veroorzaakt, vrijelijk plaats hebben. Het hart, dat door de buis A bloed ontvangt en dit door de buis V doet afvloeien, is nu in een onsamendrukbare middenstof gedompeld, zoodat de beweging van den vloeistofspiegel vrij sterk is. Deze beweging wordt zeer weinig verzwakt door de veerkracht van de lucht die in de overbrengingsbuis en in de trommel met hef boom is bevat. In fig. 343 is een tracé voorgesteld dat volgens deze methode

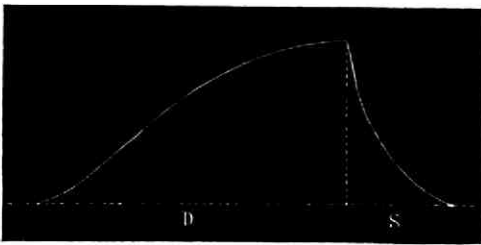


Fig. 343. Tracé verkregen met den toestel van FRANÇOIS-FRANCK; D volumevermeerdering gedurende de diastole; S volumevermindering gedurende de systole.

is verkregen; D komt overeen met de diastole, S met de systole.

De toestel is in zijn geheel in fig. 344 voorgesteld. Door een reservoir met gedefibrineerd bloed wordt het bloed in een daaronder geplaatst glazen vat op een constante hoogte gehouden; hieruit wordt het bloed door een buis in het hart geleid. Door een

tweede buis wordt het bloed uit het hart afgevoerd; deze buis staat in gemeenschap met een sphygmoscop P; de daarin uitgeoefende

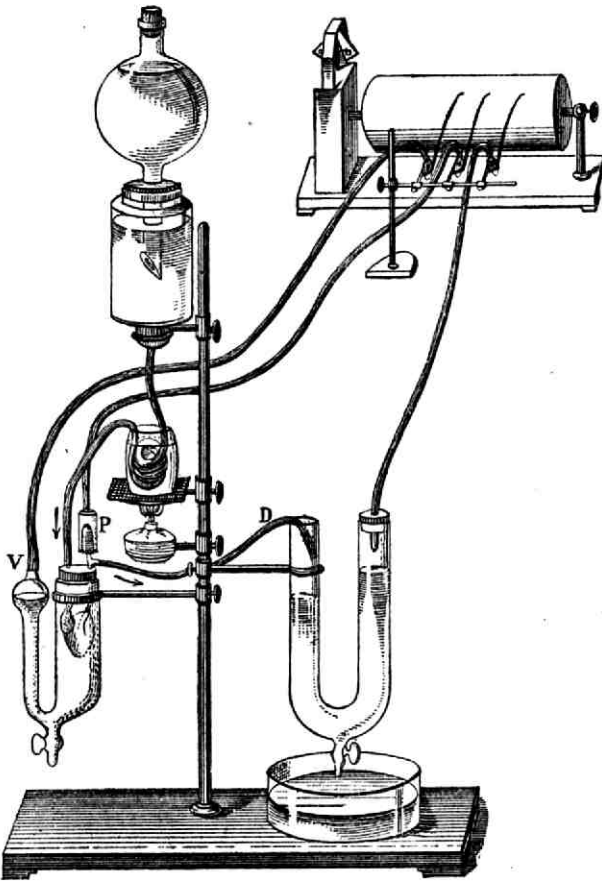


Fig. 344. Toestel bestemd om uit den kunstmatigen bloedsomloop bij het hart van een schildpad de volumeveranderingen van het hart (V), de veranderingen in de arterieele drukking (P) en de uitstroaming bij de systolen (D) te bestudeeren.

drukking wordt op een draaienden cilinder geregistreerd. In den sphygmoscop mondt een tweede buis uit die zich in D in een U-vormige buis ontlast, waarvan het eene been is gesloten en in gemeenschap staat met een tweede trommel met hefboom; deze registreert de phasen van uitstroaming van bloed uit het hart. Eindelijk worden de volumeveranderingen van het hart, merkbaar in de schommelingen van de olie in den bol V, door middel van een derde trommel met hefboom geregistreerd.

Daar de buis, door welke het hart het bloed ontvangt, door een metalen slang is geleid die in een glas met water is gedompeld, kan men zodoende het bloed verwarmen of afkoelen en dus de veranderingen nagaan, die daardoor in bovengenoemde werkingen worden teweeggebracht.

## TIENDE HOOFDSTUK.

### HET REGISTREEREN VAN VERSCHIJNSELEN VAN VERSCHILLENDE AARD.

De hemodromograaf van CHAUVEAU. — De manometrische log. — Het registreeren van trillingsbewegingen. — De phonautograaf van SCOTT. — De phonograaf van EDISON. — Trillende vlammen. — Aanwending der grafische methode bij chemische en physische onderzoekingen. — Het registreeren van veranderingen in waterstand van meren en zeeën. — Het registreeren van warmtehoeveelheden.

#### **Aanwending van den hemodromograaf van Chauveau.**

Bij de beschouwing van de beweging van vloeistoffen door buizen is de toestel van CHAUVEAU, alsmede de tracés welke daarmee zijn verkregen, in hoofdtrekken beschreven (zie fig. 132 en 133, pag. 266—268). Om de werking en inrichting van den toestel, die in fig. 132 in zijn geheel is voorgesteld, zooveel mogelijk te verduidelijken, is in fig. 345 een doorsnede van den hemodromograaf gegeven.

Het bloed stroomt door de buis T, die in doorsnede als een cirkeltje is voorgesteld; in deze buis is een plaatje of schijfje *p* geplaatst waaraan een lange, dunne staaf of naald L is bevestigd, die door een hollen cilinder is gestoken; het ondereinde van den cilinder is gesloten door een caoutchoucvlies, door 't welk de staaf heengaat. Het ondereinde der staaf L, dat in fig. 132 alleen zichtbaar is, is verder op de gewone wijze verbonden met het membraan van een luchttrommel.

Elke beweging die door het bloed, dat door de buis T stroomt, aan het schijfje *p* wordt meegedeeld, zal nu naar de luchttrommel worden overgebracht, die op haar beurt deze beweging weer meedeelt aan een trommel met hefboom.

Wat dezen toestel vooral belangrijk maakt, is dat het staafje



L de beweging van het bloed nagenoeg in haar geheel opvangt, omdat de oppervlakte van het schijfje *p* vrij groot is in vergelijking met de doorsnede der buis T, en ook omdat de bloedstroom in deze buis zich niet in verschillende zijwegen vertakt. De buis staat alleen door een nauwe spleet, waardoor het staafje heenloopt, in gemeenschap met een daaronder geplaatst reservoir. Daar het staafje door dit reservoir heenloopt, is het zoo vrij mogelijk in zijne bewegingen, die daaraan door het bloed worden meegedeeld.

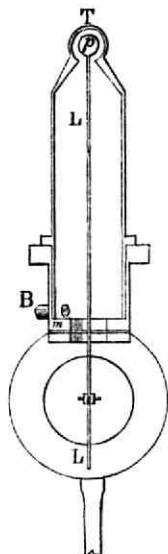


Fig. 345. Doorsnede van den hemodromograaf van CHAUVÉAT.

Verder bestaat het geheele reservoir uit twee helften, die ten opzichte van elkaar kunnen draaien. Men brengt nu eerst het staafje L in de bovenste helft, zoodat de middellijn van het schijfje *p* evenwijdig loopt met de onderste spleet van de buis T; daarna draait men de deelen van het werktuig een kwart cirkel om, waardoor het vlak van het schijfje loodrecht komt te staan op de as der buis, zooals voor de werking wordt vereischt.

De hemodromograaf kan alleen op groote dieren worden aangewend, omdat er een vrij sterke bloedstroom vereischt wordt om de staaf in beweging te brengen en de wrijvingsweerstand te overwinnen. Voor deze proeven zijn dus ongeveer dezelfde voorwaarden gesteld als voor de cardiografische proeven waarbij groote sonden in de bloedvaten moeten worden aangebracht; zij kunnen dus slechts genomen worden op groote dieren, zooals op een paard, een rund, een ezel.

Men brengt dan in een slagader een metalen buisje, dat bij een lengte van 4 of 5 centimeter een middellijn van zes millimeter heeft, en men laat nu, zorg dragende dat er geen lucht in de bloedvaten dringt, het bloed door deze buis stroomen. Gewoonlijk wordt de hemodromograaf op de carotis aangewend.

Na de slagader blootgelegd te hebben, geeft men daarin een insnijding in de lengte, en plaatst nu het buisje in de slagader, die aan de beide uiteinden van het buisje wordt vastgebonden; terwijl men nu beurtelings door het bovineinde en door het benedeneinde der slagader bloed in den toestel laat vloeien, verdrijft men daaruit door de buis B de lucht en een deel van de alkalische vloeistof, waarmede hij van te voren is gevuld. Alsdan is de toestel gereed om gebruikt te worden.

Ook is vroeger (pag. 268 en volgende) een toestel beschreven, die als hemodromograaf zou kunnen gebruikt worden en die berust op het beginsel van de buizen van PITOT (zie fig. 134 en 135); terwijl echter dit werktuig bijzonder geschikt is voor de bepaling van de snelheid en de drukking van vloeistoffen die door buizen stroomen, zal het als hemodromograaf minder goed kunnen dienen, daar het door de stremming van het bloed dikwijls weigert te werken.

Daarentegen bewijst deze toestel uitstekende diensten voor het bepalen van de snelheid van een lichaam dat zich in een vloeistof of middenstof beweegt. Een dergelijke bepaling vindt haar voor- naamste toepassing in het meten van de snelheid van schepen, zoodat het dus voor de hand lag een log naar dit beginsel samen te stellen. 1) Het komt ons belangrijk voor hiervan een korte beschrijving te geven.

#### **De manometrische log. 2)**

Reeds werd door PITOT zelf aangegeven, dat de buizen, die hij oorspronkelijk had bestemd voor het meten van de snelheid eener stroomende vloeistof, even goed geschikt waren voor het bepalen van de snelheid van een schip.

DARCY vond echter dat het werktuig van PITOT in zijn oorspronkelijken vorm minder voor dit doel geschikt was, en bracht daarom eenige wijzigingen aan het werktuig aan, waardoor het voor de waterbouwkundigen meer praktisch nut opleverde.

De toestel van PITOT bestond uit twee vertikale buizen, aan

1) \* Deze is door MAREY zelf uitgedacht \*

2) Een dergelijke log is bij ons waarschijnlijk meer bekend onder den naam van hydrostatische log.\*

het ondereinde in tegengestelden zin rechthoekig omgebogen; wanneer dus de onderste opening van de eene buis in dezelfde richting met den stroom is geplaatst, dan zal de opening van de andere buis juist tegen den stroom in zijn gericht. In de eene buis zal nu het water zooveel beneden de oppervlakte van den waterspiegel staan als het in de andere buis daarboven staat. Wat dezen toestel voor praktisch gebruik minder geschikt maakt is, dat die stijging en daling in de buizen dicht bij het oppervlak van het water plaats heeft, zoodat de waarnemer voor een nauwkeurige aflezing genoodzaakt is het oog dicht bij het oppervlak van het water te plaatsen. Om nu dit gebrek te verbeteren, vereenigde DARCY de beide beenen der vertikale buizen in een enkele buis, in den vorm van een omgekeerde Y; hij deed nu het water door opzuiging in deze beenen tegelijkertijd zoo hoog stijgen, dat men het verschil in hoogte van de beide waterkolommen gemakkelijk kon aflezen. De buizen werden door den romp van het schip heen in het water gebracht, terwijl binnen in het schip door een waarnemer de hoogteverschillen werden afgelezen. Om hieruit de snelheid van het vaartuig te meten, wordt echter vereischt dat het zich zonder slingeren en stampen in een zeer rustig water voortbeweegt; want de geringste slingering van het schip en de kleinste golfbewegingen veroorzaken bij dit werktuig zulke hevige schommelingen van het water in de beide buizen, dat het onmogelijk is de hoogteverschillen nauwkeurig waar te nemen.

Dit groote nadeel van den toestel van DARCY kan op de volgende wijze ontweken worden.

Men neemt twee metalen doozen, gelijkende op die van de aneroïde-barometers; deze met lucht gevulde doozen worden evenwijdig aan elkaar op een zelfde wijzerplaat bevestigd (fig. 346); de beide naar elkaar toegekeerde binnenvlakten der metalen doozen zijn met elkaar verbonden door een koperen staaf, die aan den bovenkant van tanden is voorzien, terwijl de gladde onderkant over een metalen schijfje loopt. De getande staaf werkt op een klein tandrad, op welks as een wijzer is geplaatst, die zich over de verdeelde wijzerplaat beweegt.

Wordt de drukking in een der doozen verhoogd, dan zal de doos opzwellen en de getande staaf zal naar de zijde van de tweede doos worden voortbewogen: hierdoor draait het tandrad met den

wijzer een zeker aantal graden rond. Bij gelijke toeneming van drukking in de beide doozen zullen de staaf en het tandrad onbe-

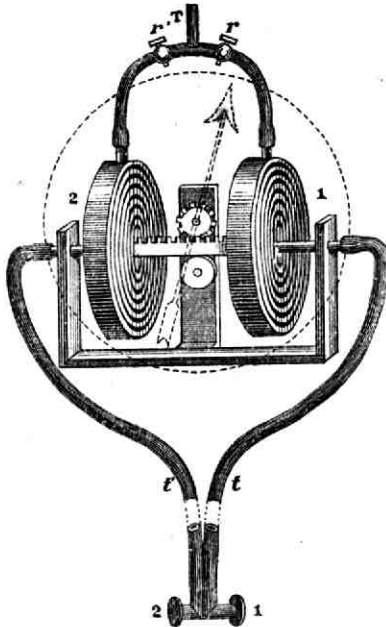


Fig. 346. De manometrische of hydrostatische log.

wegelijk blijven; bij ongelijke drukking zal de staaf zich naar den kant van de doos bewegen, waarin de kleinste drukking plaats heeft. Dit werktuig wijst dus het verschil van de drukkingen, alsmede de richting waarin de grootste drukking plaats heeft, nauwkeurig aan. Volgens de methode van DARCY worden nu deze beide doozen door opzuiging met water gevuld. Daartoe is aan elke doos een caoutchoucuisje met dikke wanden aangebracht; deze twee buisjes zijn in een enkele buis T vereenigd, waardoor de opzuiging van het water gemakkelijk kan plaats hebben; nadat dit geschied is, sluit men de kranen  $r$  en  $r''$ ; alsdan is de toestel voor het gebruik gereed. Wordt deze toestel op een tafel in het schip opgesteld, dan blijkt hij geheel vrij te zijn van de storende invloeden, die zich bij het werktuig van DARCY zoo sterk laten gelden. De stand van de naald verandert niet, wanneer men de buizen van PITOT meer of minder diep indompelt, ook zelfs wanneer deze indompeling met groote snelheid

plaats heeft. Elke verandering in snelheid daarentegen zal onmiddellijk door de naald worden aangewezen en deze aanwijzingen kan men naar willekeur vergrooten, door het werktuig gevoeliger te maken. De proefnemingen met deze log op een meer, op een rivier en op zee genomen, hebben tot zeer voldoende resultaten geleid.

Deze log kan gemakkelijk zelfregistreerend gemaakt worden, zoodat zij alsdan, behalve voor het bepalen van de snelheid, ook zou kunnen dienen voor het meten van den afgelegden weg. Maar voor dit laatste schijnen andere in gebruik zijnde logs meer geschikt te zijn; daarentegen zal voor het meten der snelheid de hier beschreven log waarschijnlijk wel te verkiezen zijn boven andere daarvoor gebruikelijke metingen, die toch over 't algemeen vrij tijdroovend zijn en slechts een paar maal per dag kunnen herhaald worden. Kan daarentegen de scheepsbevelhebber zich elk oogenblik van de ware snelheid van het schip vergewissen door eenvoudig den stand van den wijzer op de wijzerplaat der log op te nemen, dan zal hem het regelen van den gang van het onder zijne bevelen staand zeil- of stoomschip daardoor vrij gemakkelijk gemaakt worden, zooals bij het in- of uitvaren van een haven, bij zee-manoeuvres, enz. Wij twijfelen er niet aan of de zeevaartkunde zal van dezen toestel veel nut kunnen hebben; in alle geval is de proefneming met dit werktuig sterk aan te bevelen.

#### **Met registreeren van trillingsbewegingen.**

#### **De phonautograaf van Scott en de phonograaf van Edison.**

Overbekend is het registreeren van de trillingen eener trillende staaf of van een stemvork op een met roetzwart bedekten cilinder, waarvan men in de geluidsleer en voor de chronografie zooveel gebruik maakt. Minder bekend is echter de wijze waarop CORNU en MERCADIER de trillingen van snaren hebben geregistreerd; zij verbonden daartoe de trillende snaar door middel van een dunnen metalen draad met de registreerstift; de trillende bewegingen werden nu door dezen draad naar de stift overgebracht; om dit overbrengen zoo volkomen mogelijk te doen plaats hebben, werd de draad nog in verbinding gebracht met een messingen draad, die aan den zolder aan bandjes van caoutchouc werd opgehangen;

zodoende kon de voortplanting van de trillende beweging langs den eersten draad zoo vrij mogelijk plaats hebben. Om de registreerstift zooveel mogelijk te beletten eigen bewegingen te maken, is deze bevestigd aan een der hoekpunten van een driehoekig metalen plaatje, welks kanten aan de hoekpunten boogvormig in lange scherpe punten uitloopen; een dezer punten is in een schroefstandaard vastgeklemd, terwijl aan een der andere punten de draad is bevestigd, die de trillingen moet overbrengen; aan de derde punt bevindt zich dan de schrijfstift.

In figuur 347 is het volgens deze handelwijze verkregen tracé

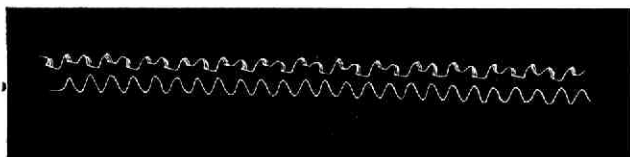


Fig. 347. Tracé van een toon en zijn octaaf, verkregen volgens de methode van CORNU en MERCADIER. Het onderste tracé is dat van een chronograaf, dienende om de toonhoogte te bepalen.

van een toon met de daarbij behorende octaaftoon voorgesteld; de overbrengingsdraad was hierbij 7 à 8 meter lang. Uit dit tracé blijkt dat men volgens deze methode niet alleen geluidstrillingen van verschillende toonhoogte, maar ook samengestelde trillingen, samenklinkende tonen en accoorden kan registreeren. Voor het registreeren van de trillingsbewegingen van den larynx is echter deze methode niet geschikt; beter leent zich daartoe de elektromagnetische seintoestel van DEPRÈZ, waarmee een tracé van de trillingen van den larynx is verkregen, zooals in fig. 90 is afgebeeld.

Volgens STEIN 1) zijn tracés van trillende snaren ook langs fotografischen weg te verkrijgen; daartoe wordt een dunne stemvork, tusschen wier beenen een klein zwart schermpje is gevat, op de snaar geplaatst; dit schermpje is in het midden van een kleine ronde opening voorzien. Terwijl nu de snaar trilt, laat men op het schermpje een sterke lichtbundel vallen; door de ronde opening valt nu een lichtende streep op een glasplaat, die met collodium is bestreken en die zeer snel, in een richting loodrecht op die

1) Zie het werk van Dr. STEIN: *Das Licht*, Leipzig 1878.

van den lichtbundel, kan worden voortbewogen. Zodoende wordt de golflijn van de trillende beweging der snaar fotografisch geregistreerd. 1)

\* Ten einde door grafische lijnen niet alleen het verschil in toonhoogte, maar ook het verschil in klank, d. w. z. het eigenaardig karakter van elk willekeurig geluid (door de Duitschers zeer juist met den naam van „Farbe” bestempeld) voor te stellen, bedient men zich van den *phonautograaf*, een werktuig dat door SCOTT en KÖNIG in 1864 is uitgedacht. \* Het bestaat uit een groote trechtvormige ton van metaal, wier binnenoppervlakte den vorm heeft van een omwentelingsparaboloïde en die aan den nauwen kant gesloten is door een dun vlies. Op de buitenzijde van dit vlies, dat in verschillende mate kan gespannen worden, is een borstelhaar bevestigd, welks uiteinde in aanraking is met een draaienden cilinder, die met een papier met roetzwart is bedekt. Elk geluid, dat in de nabijheid van de wijde opening van de trechtvormige ton wordt voortgebracht, wordt in het brandpunt der paraboloïde op het vlies geconcentreerd; hierdoor begint de stift te trillen en teekent een golflijn op den cilinder. \* Op deze wijze wordt duidelijk aangetoond dat een verschil in klank steeds gepaard gaat met een verschil in baan der trillingsbeweging; zoo zal de phonautograaf voor tonen van gelijke hoogte en intensiteit, maar door verschillende instrumenten, bijv. door een viool, een klarinet, een piano, enz. voortgebracht, steeds golflijnen van verschillende gedaante vertoonen. Terwijl door dit werktuig de banen van de meest samengestelde klanken, ook bij het spreken en zingen geuit, werden opgeschreven, dacht er bijna niemand aan dat door eenige wijzigingen aan enkele deelen van dezen toestel aan te brengen, een werktuig zou verkregen worden dat in staat is de geregistreerde klanken en woorden weer te geven. Voor den beroemden EDISON, den grootsten uitvinder van onze eeuw, wien in een tijdsverloop van nog geen 20 jaren meer dan 160 patenten op nieuwe uitvindingen werden verleend, was het weggelegd dit

---

1) \* Deze methode is dus weer een toepassing van de reeds vroeger besproken oogenblikkelijke fotografie. Merkwaardige uitkomsten hiervan, ook met betrekking tot het fotografisch geweer van MAREY, vindt men nog vermeld in het tijdschrift *De Natuur*, Jaargang 1882. \*

bewonderenswaardig verschijnsel in het leven te roepen, aan welks verwezenlijking zelfs KÖNIG, die gedurende twaalf jaren ijverig had gestreefd zijn phonautograaf meer en meer te volmaken, volgens zijn eigen getuigenis heeft gewanhoopt.

In 1877 maakte EDISON voor het eerst zijn *phonograaf* bekend, waardoor de klanken, die eerst door een aan dit werktuig aangebracht mondstuk opgevangen en door een plaatje met stift geregistreerd waren, weer als zoodanig werden teruggegeven. De hoofddeelen van dit werktuig bestaan uit een korte omgebogen buis, die aan de eene zijde van een mondstuk, aan de andere zijde van een dun ijzerplaatje (veel gelijkende op dat van den telephoon) is voorzien; in het midden van dit ijzerplaatje is een stiftje aangebracht, welks uiteinde in aanraking is met een draaienden cilinder, die niet zooals bij den phonautograaf met bewalmd papier, maar met eene dunne laag bladtin is bekleed. Daar in de as van den cilinder een schroef is ingesneden, zal de cilinder bij wenteling om zijn as tevens een verplaatsing naar rechts of naar links, naargelang van de wijze van omdraaiing, ondergaan. Spreekt of zingt men nu in het mondstuk, dan komt het ijzerplaatje in trilling, en het stiftje zal in het bladtin een groef traceeren, wanneer de cilinder tegelijkertijd wordt rondgedraaid. Wordt vervolgens de cilinder, terwijl voor een oogenblik de aanraking van het bladtin met het stiftje wordt opgeheven, teruggeschroefd tot iets verder dan waar de indrukken beginnen, daarna de aanraking van de stift met het bladtin hersteld en de cilinder in de vroegere richting zooveel mogelijk met dezelfde snelheid rondgedraaid, dan zal men, het oor voor den geluidstrechter plaatsende, weer dezelfde woorden en klanken hooren, die eerst in het bladtin waren geregistreerd. Het stiftje komt nu toch weer achtereenvolgens met al de punten van de vroeger getraceerde groef in aanraking en volbrengt weer dezelfde trillingen als vroeger, welke nu weer aan het trilplaatje worden meegedeeld en door het oor van den waarnemer worden opgevangen. De meest verwonderlijke en volgens de hedendaagsche theorie der geluidsleer moeilijk verklaarbare omstandigheid van dit verschijnsel is wel deze, dat de ontzaggelijk kleine trillingen, die door het bladtin aan de stift en aan het trilplaatje worden meegedeeld, in staat zijn om geheele volzinnen zoo duidelijk na te spreken, als hier inderdaad



het geval is. Alleen met behulp van een zeer sterk vergrootglas kan toch alleen het onderscheid tusschen de verschillende deelen van de in het blad tin getraceerde groeven waargenomen worden. Vooral door hen, die aan de hand van HELMHOLTZ in de bijzonderheden der geluidsleer zijn doorgedrongen, zal dit verschijnsel in de hoogste mate bewonderenswaardig genoemd worden. Een nauwkeurige beschrijving en afbeelding van den phonograaf is gegeven door LOGEMAN in *Het Album der Natuur*, Jaargang 1878. \*

### Trillende vlammen.

Van de eigenschap die gespannen vliezen vertoonen, om gemakkelijk in trilling te geraken, heeft KÖNIG gebruik gemaakt voor het daarstellen van trillende vlammen. Hij stelde een doos, waarvan een der wanden uit een dun gespannen vlies bestond, in gemeenschap met een gasleiding. Werd het vlies door geluidstrillingen in trilling gebracht, dan werden daardoor in het gas in de doos en in de buizen beurtelings verdichtingen en verdunningen opgewekt, waardoor de gasvlam in een trillende beweging werd gebracht, die geheel in overeenstemming was met die van den voortgebrachten toon. Beschouwde men nu alleen de trillende vlam, dan kon men alleen een kleine verstoring in de regelmatige gedaante waarnemen, die echter evenmin duidelijk te onderscheiden was als de trillende bewegingen van de beenen eener stemvork. Beschouwt men echter de beelden der trillende vlammen in een draaienden spiegel, dan ziet men geen onafgebroken lichtband, zooals bij een rustig brandende vlam het geval zou zijn, maar een duidelijk getanden lichtband, waarvan elke uitspringende punt met een trilling overeenkomt. In fig. 348 zijn trillende vlammen, in fig. 349 de beelden van die vlammen voorgesteld. In groep I van fig. 349 zijn de trillingen der drie vlammen onderling gelijk in aantal en in phase; in groep II is de middelste vlam aan trillingen blootgesteld, die een halven trillingstijd in phase verschillen en die elkaar dus bij interferentie vernietigen; van daar dat de middelste lichtband onafgebroken is.

De merkwaardigste toepassing van trillende vlammen wordt gemaakt bij het ontleden van samengestelde tonen volgens de

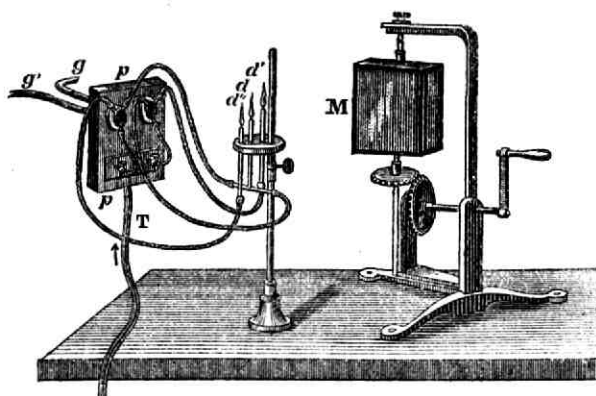


Fig. 348. Trillende vlammen van KÖNIG

methode van HELMHOLTZ Deze maakte daartoe gebruik van klankbollen of resonatoren, waarvan de eene opening de geluiden

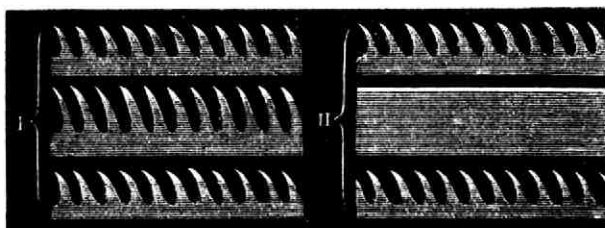


Fig. 349. Beelden der trillende vlammen in een draaienden spiegel gezien.

opvangt, terwijl de andere opening in het oor geplaatst of in gemeenschap gebracht kan worden met een gasreservoir. De vlam zal nu trillen of in rust blijven, naargelang de resonator spreekt of niet. Door nu verschillende van zulke klankbollen te gebruiken, die ieder met een bepaalden toon kunnen meeklinken, wordt door middel van de beelden der trillende vlammen gemakkelijk aangetoond dat het verschil in klinkers alleen door het bijklinken van enkele tonen van standvastige hoogte en van eenige harmonische boventonen wordt bepaald (fig. 350).

Ook bij deze proeven kan de oogenblikkelijke fotografie worden te hulp geroepen om de aldus ontstane beelden te bewaren. Gebruikt men in plaats van lichtgas, cyaangas, dan krijgt men een vlam die lichtgevend genoeg is om van het spiegelbeeld een

duidelijk fotografisch beeld op een lichtgevoelige plaat, waaraan

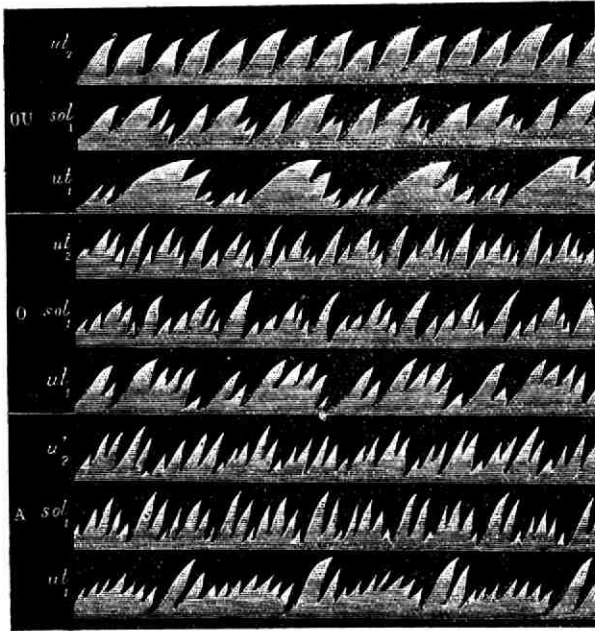


Fig. 350. Het ontleden van verschillende klinkers door middel van trillende vlammen. een beweging in horizontale richting wordt meegedeeld, te ontwerpen.

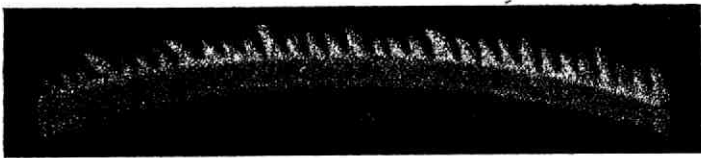


Fig. 351. Photographie van trillende vlammen; verhouding der trillingen: 1 tot 4.

**\* Aanwending der grafische methode bij chemische en physische onderzoekingen.**

Om voor een auditorium of voor een klasse de werking van een verdund zuur op een metaal, bijv. van verdund zwavelzuur op zink, zooals die gewijzigd wordt door de sterkte der oplossing, duidelijk zichtbaar te maken, is door MILLS op de volgende wijze te werk gegaan: 18 glazen buizen van gelijke grootte worden

met (gekleurd?) water gevuld en op gelijken afstand van elkaar, met de open benedeneinden vertikaal in even zoovele glazen troggen geplaatst; in dezen stand worden zij door een toestel, veel gelijkende op een proefglazenrekje, vastgehouden. Onder de opening van elke buis mondt een kleine getubuleerde retort uit; in deze achttien retorten zijn gelijke stukken gereinigd zink met gelijke hoeveelheden verdund zwavelzuur, doch van verschillende sterkte, gebracht, zoodat bijv. elke achtereenvolgende retort 3 pct. zwavelzuur meer bevat. De ontwikkelde waterstof zal nu in de vertikaal geplaatste buizen het water naar beneden drukken; de hoeveelheid waterstof, die in een bepaalden tijd in eenige retort wordt ontwikkeld, is dus zichtbaar door den stand van den waterspiegel in de bij die retort behoorende buis.

De standen van de waterspiegels in de opvolgende buizen vormen nu met elkaar een regelmatige kromme, die den gang der scheikundige werking duidelijk aangeeft. Het is duidelijk dat men in plaats van deze chemische „hoeveelhetskromme” ook een „tijds-kromme” zou kunnen verkrijgen, indien men in de retorten gelijke hoeveelheden verdund zwavelzuur van gelijke sterkte op gelijke hoeveelheden zink liet inwerken, maar nu zoodanig, dat in elke volgende retort de werking bijv. 5 minuten langer aanhield dan in de voorgaande.

Eigenaardig is de methode, die door HEINE (Giessen 1881) is gevolgd, om in korten tijd en zeer nauwkeurig het koolzuurgehalte van lucht te bepalen. Hij heeft daartoe gebruik gemaakt van de uitzetting, waaraan gassen bij absorptie van warmtestralen onderhevig zijn; laat men dan zulke gassen werken op een veerkrachtig vliesje, dat van een stift is voorzien die op een ronddraaienden cilinder schrijft, dan zal bij intermitterende bestraling dit vliesje in beweging geraken door de meerdere of mindere uitzetting van het gas en aldus op den cilinder een kromme lijn worden getraceerd. HEINE vond nu op deze wijze dat droge, koolzuurvrije dampkringslucht de stralende warmte bijna in 't geheel niet opsorpt. Koolzuur daarentegen doet dit sterk en een mengsel van lucht en koolzuur des te meer, naarmate dit meer koolzuur bevat. Hij heeft nu mengsels van koolzuur en lucht in vooraf bekende verhoudingen genomen, waarin de hoeveelheden koolzuur slechts zeer weinig verschilden, en daarmede op den cilinder kromme lijnen

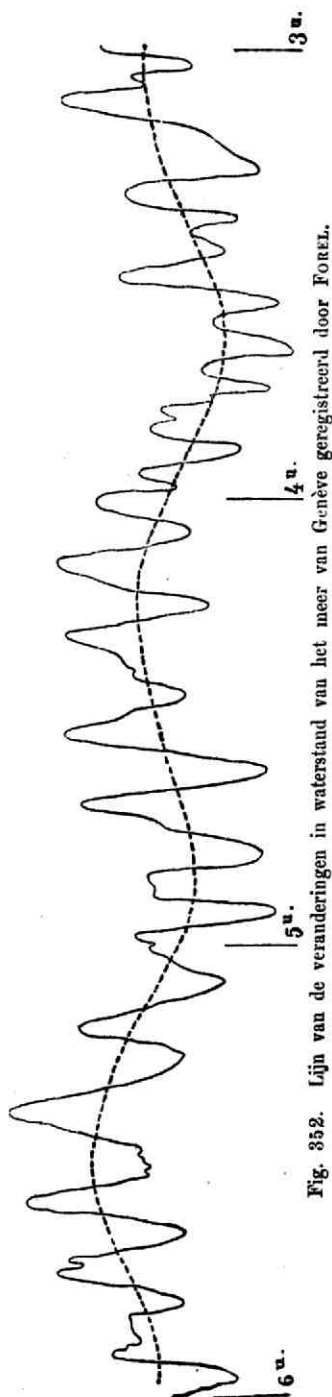


Fig. 352. Lijn van de veranderingen in waterstand van het meer van Genève geregistreerd door FOREL.

verkregen, die nog duidelijk genoeg te onderscheiden waren, om daaruit het gehalte aan koolzuur van zulk een mengsel, waarvan de verhouding onbekend was, nauwkeurig te bepalen. De juistheid, waarmee deze grafische bepaling van het koolzuurgehalte der lucht geschiedt, behoeft niet onder te doen voor die der beste chemische methoden; bovendien biedt deze methode nog het voordeel aan dat zij op zeer geringe hoeveelheden van een mengsel van lucht en koolzuur, bijv. op een of twee liter kan worden toegepast, terwijl het geheele onderzoek in zeer korten tijd afloopt.

Meer en meer nemen de natuur- en scheikundigen hun toevlucht tot grafische curven om met des te meer zekerheid te kunnen nagaan of de uitkomsten hunner onderzoekingen tot een zekere theorie of wet kunnen leiden. Als zoodanig noemen wij nog *Die Untersuchungen über die Dampfspannungen bei der Dissociation krystallwasserhaltiger Salze* von Dr. A. H. PAREAU in Utrecht, voorkomende in de *Poggendorffsche Annalen* 1875. \*

#### Het registreeren van veranderingen in waterstand van meren en zeeën.

Voor het registreeren van veranderingen in waterstand van meren en zeeën worden zoogenaamde *limnometers* of *limnografen* gebruikt. Een dergelijke toestel is in fig. 353 afgebeeld.

FOREL heeft met dit werktuig een tal van onderzoeken gedaan betreffende de rijzingen en dalingen van den waterspiegel (Seiches) van het meer van Genève. Uit deze onderzoeken is gebleken

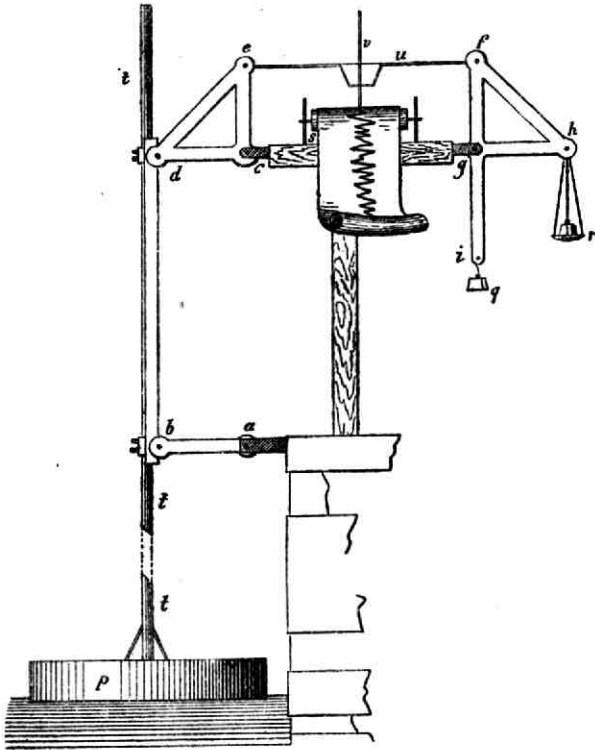


Fig. 353. Linnograaf van FOREL.

dat de waterspiegel van dit meer onophoudelijk verandert en in een schommelende beweging is, zooals zich die voordoet bij water, dat in een kom in lichte beweging wordt gebracht. Gewoonlijk hebben deze schommelingen plaats in een richting, samenvallende met de groote as van het meer; deze duren ongeveer een uur; met deze bewegingen gaan schommelingen gepaard in een richting, loodrecht op de eerste, wier periode veel korter is; deze schommelingen bedragen ongeveer zes per uur. De oorzaak van deze bewegingen is voornamelijk niet voldoende verklaard. Dergelijke schommelingen, waarop natuurlijk de Alpenwinden en de periodieke winden, die in deze streken waaien, veel invloed hebben,

komen ook voor bij de meren van Neufchâtel, van Brienz, van Thun; ook heeft men ze waargenomen in de Oostzee en in de Bothnische golf.

#### **Het registreeren van warmtehoeveelheden.**

Met den hierboven afgebeelden toestel van FOREL kan, evenals het geval is bij elken drijver met een groot oppervlak, een aanmerkelijke kracht ontwikkeld worden; met zulk een toestel kunnen de veranderingen van den stand van den waterspiegel nauwkeurig geregistreerd worden, zonder dat men hierbij behoeft te vreezen dat het tracé misvormd zal worden door de te overwinnen weerstanden, zooals inderdaad het geval was bij de toestellen, die in het vijfde hoofdstuk van de tweede afdeeling van dit werk (pag. 244—250) zijn beschreven. Ook moet men in 't oog houden dat hoe grooter de hoeveelheid is van een uitstroomende vloeistof, waarover men kan beschikken, des te nauwkeuriger zal men de phasen van uitstrooming kunnen nagaan. Dit laatste is vooral van belang bij het registreeren van de uitgestroomde hoeveelheden vloeistof bij den calorimeter van D'ARSONVAL, waarin de vloeistof bij een constante temperatuur wordt opgenomen en waaruit deze vloeistof insgelijks weer bij een constante temperatuur wordt afgevoerd. Uit het verschil van deze constante temperaturen en de hoeveelheid uitgestroomde vloeistof kan dan de hoeveelheid warmte bepaald worden, die in den calorimeter is ontwikkeld of opgenomen.

De toestel van D'ARSONVAL, in fig. 354 voorgesteld, bestaat uit een calorimeter, die in een besloten ruimte is geplaatst, welke op een constante temperatuur wordt gehouden; eigenaardig is de wijze waarop de temperatuur van den calorimeter hier wordt geregeld. Twee reservoirs van een cilinder-kegelvormige gedaante, met evenwijdige zijwanden zijn binnen elkaar geplaatst, de binnenste ruimte van het kleinste reservoir wordt op een constante temperatuur gehouden; de buitenste ringvormige ruimte wordt met water gevuld, dat door de vlam van een Bunsenschen brander wordt verwarmd. Door de groote hoeveelheid water, in deze ringvormige ruimte bevat, wordt de warmte regelmatig rondom de binnenste ruimte verspreid, zoodat hierin geen plotselinge temperatuursveranderingen kunnen plaats hebben. D'ARONVAL is

op het denkbeeld gekomen de volumeveranderingen der in deze ringvormige ruimte besloten hoeveelheid water te benuttigen voor

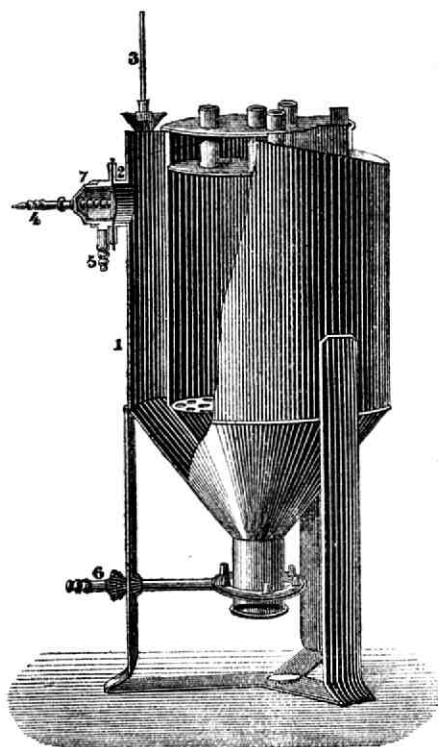


Fig. 354. De calorimeter van D'ARSONVAL.

het regelen van den gasstroom, die naar den brander gaat. Daartoe heeft hij in den wand van den buitensten cilinder een zijdeling-sche buis 2 aangebracht, die, in gemeenschap staande met de ringvormige ruimte, aan den buitenkant vertikaal is afgesloten door een caoutchoucvlies. Dit vlies vormt dus het eenige deel van den wand dat naar buiten kan uitwijken en zodoende de uitzetting van de watermassa kan aangeven. Nu wordt het gas, dat naar den brander wordt gevoerd, door de buis 4 naar een metalen kastje geleid, waar zij op geringen afstand van en loodrecht op het vlak van het vlies, juist tegenover het middelpunt uitmondt; uit dit kastje kan het gas door een opening 5 ontsnappen in een buis, die het naar den brander 6 voert. Op deze wijze wordt de gasstroom, die naar den brander gaat, door de volumeverande-



ringen van het water geregeld, en kan alleen een zoo groote hoeveelheid gas naar den brander stroomen als juist noodig is om de afkoelende werkingen op te heffen.

De gevoeligheid van dezen regulator is zoo groot dat men zeker kan zijn dat de temperatuur van de binnenste ruimte niet het  $\frac{1}{30}$  van een graad van den honderddeeligen thermometer verandert.

Binnen in deze ruimte is nu de calorimeter geplaatst; wij zullen aannemen dat een zekere hoeveelheid warmte hierin wordt ontwikkeld, die gemeten moet worden.

Bij elken calorimeter wordt het warmteverlies tegengegaan door middel van dikke wanden, bestaande uit slecht geleidende stoffen; zelfs wanneer de temperatuur van de binnenruimte tamelijk veel verschilt van die van de omgeving, wordt zoodoende het warmteverlies zeer gering gemaakt. Wordt dus deze handelwijze ook hier aangewend, waar de temperatuur van de binnenruimte constant is en weinig verschilt van die der omgeving, dan kan het warmteverlies in dezen calorimeter nagenoeg op nul gesteld worden. Wordt nu een kleine hoeveelheid warmte in dezen calorimeter ontwikkeld, dan zal daarvan naar buiten nagenoeg niets worden afgestaan.

Nu wordt door een metalen slang, die door den calorimeter loopt, water in den calorimeter gebracht, waarvan de temperatuur constant en juist één graad lager is dan die van den calorimeter zelf; zoodra dit water de temperatuur van den calorimeter zal hebben aangenomen, vloeit het af door een klep, die geopend wordt evenals bij een temperatuurregelaar. Het uitstroomende water heeft dus een temperatuur, die juist één graad hooger is dan die, waarbij het in den calorimeter kwam; derhalve vertegenwoordigt elke liter uitgestroomd water één calorie. Hoe meer warmte dus in een bepaalden tijd in den calorimeter wordt ontwikkeld, des te meer water zal er door de slang stroomen, aangezien de doorstroming van het water geregeld wordt door en afhangt van de temperatuursverhooging rondom de slang.

Men heeft dus ten slotte slechts de phasen van uitstrooming van het door den calorimeter afgevoerde water, door middel van een drijver, die in een reservoir is geplaatst dat dit water opvangt, te registreeren, zooals vroeger is aangegeven. Hierdoor is de registratie van een warmtehoeveelheid dan geheel terug-

gebracht tot de methode van het registreeren van de uitstrooming eener vloeistof.

E I N D E.

---

### NASCHRIFT VAN DEN BEWERKER.

---

Tusschen het verschijnen van het Fransche werk van MAREY en van de laatste afleveringen van deze Nederlandsche bewerking liggen ruim 4 jaren; zeker een tijdruimte, die groot genoeg is om een aantal nieuwe uitvindingen, vooral op het uitgebreid gebied waarop dit werk zich beweegt, in het leven te roepen — in 't bizonder in onze dagen, waar de uitvindingen elkaar zoo snel opvolgen (men denke slechts aan EDISON!). De nieuwe registreerwerktuigen, alsmede de verbeteringen die aan de reeds vroeger bestaande in dezen tusschentijd zijn aangebracht, zijn, voor zoover hun beschrijving in dit werk noodzakelijk werd geacht, dikwijls met verwijzing naar Nederlandsche tijdschriften, waarin deze beschrijvingen uitvoerig zijn opgenomen, door mij vermeld. Ik heb daarbij steeds getracht de hoofdstrekking van dit werk, een duidelijke uiteenzetting van de toepassing der grafische methode op de meest verschillende gebieden, niet uit het oog te verliezen, maar tevens ook de grenzen daarvan niet te overschrijden. Om dus geen ongewenschte uitbreiding aan dit werk te geven, zijn hierbij de toepassingen der grafische methode, voor zoover die betrekking hebben op onderdeelen van wetenschappen, waarvoor een bijzondere kennis van die wetenschappen wordt vereischt, en die niet in het oorspronkelijk werk voorkwamen, zooals bijv. grafische statica, dynamica, thermodynamica, enz., niet opgenomen. Om dezelfde reden kan men dan ook niet verwachten dat dit werk, naar aanleiding van hetgeen bijv. in de eerste honderd bladzijden

van de grafische statistiek is vermeld, een volledige theorie van de grafische statistiek bevat. Hetgeen ik met betrekking tot de grafische statistiek hier minder op zijn plaats vond, heb ik daarom meegedeeld in de technische aanwijzingen, welke ik als toelichting voor de grafische behandeling van statistische gegevens heb gevoegd bij de grafische voorstellingen, die met betrekking tot de statistiek en staathuishoudkunde van Ned. Indië zijn ontworpen, en die op de Internationale Koloniale en Uitvoerhandel-Tentoonstelling te Amsterdam zijn verkrijgbaar gesteld. De in deze toelichting gegeven kritische beschouwing over de grafische en geografische methode in de statistiek sluit geheel aan bij hetgeen in dit werk over de statistiek is meegedeeld. Evenzoo zullen bijv. zij, die zich uit dit werk de algemeene beginselen van grafische voorstelling van de verschillende vormen van arbeidsvermogen, van statica, enz., hebben eigen gemaakt, de bijzondere toepassingen daarvan vinden o. a. in de werken van RANKINE, *A Manual of the Steam Engine and other Prime Movers*; van DR. WEYRAUCH, *Ueber die graphische Statik*, en anderen.

F. M. J.

---

## ALPHABETISCH REGISTER.

### A.

Abdominale bewegingen, 556.  
Abscis, 25.  
Accelerograaf, 204.  
Accomodatie-vermogen van het oog, 82.  
Achtereenvolgend registreeren, 363.  
— van spierbewegingen, 427.  
— van de phasen van elektrische stroomen, 430.  
— van de stoomspanning, 432.  
— van de prikkelbaarheid van het hart, 435.  
Actinometer, 391.  
Acute ziekten, pols bij —, 579.  
Ademhalingsbewegingen, registreeren der —, 233, 550.  
— lijnen van —, 554, 562.  
— frequentie der —, 560.  
— invloeden die de — wijzigen, 564.  
— rhythmus der —, 555, 563.  
— verband tusschen de — en de beweging van de in- en uitademde lucht, 557.  
Afdruksels van voetstappen, 149.  
Afstandsmeting met den hodograaf, 513.  
Anacrotisme, 565.  
Analytische Meetkunde, 26.  
Anamorfsche tafels, 133, 135.  
Anamorfose, meetkundige —, 133.  
Anapnograaf, 271.  
Anemograaf, 458.  
Arbeidsvermogen, 275.  
— omzettingen van het —, 280, 282.  
— registreeren van —, 279, 323.  
— besparing van —, 331, 336.

Arbeidsvermogen, verlies van —, 331.  
— van het hart, 439.  
Areometer, registreerende —, 247.  
Atheroom der slagaderen, 568.

### B.

Balans van Rédier, 290.  
Ballistische vraagstukken, grafische oplossing van —, 206.  
Barometer, zelfregistreerende —, 308.  
Beweging, grafische voorstelling van een rechtlijnige —, 31; van een eenparige —, 31; van een veranderlijke —, 33.  
— bewijs van de wetten der eenparig versnelde —, 507.  
— registreeren van de voet — bij het loopen en draven, 210.  
— met veranderlijke richting, 223.  
— van vloeistoffen, 243.  
Botsing, bepaling van den duur van een —, 202.

### C.

Caloriën, 273, 280.  
— registreeren van —, 646.  
Calorimeter van d'Arsonval, 343, 646.  
Capaciteit, vitale — van de long, 551.  
Capillair-elektrometer, 351.  
Cardiograaf, 592.  
Cardiografie, 381, 434, 591, (zie verder *Hart*).  
Cardiografische curven, 385, 594.  
Chemie, aanwending der grafische methode in de —, 642, 291.

- Cholera, overzicht van de sterfte bij de — in 1832, 59.  
 — polslijnen bij — lijders, 581.  
 Chronografen, 166.  
 — elektrische —, 169, 487.  
 — lucht —, 486.  
 — onderzoek van het synchronisme van twee —, 490.  
 Chronografie, 165.  
 — toepassingen van de —, 173.  
 Chronografische stemvork, 167, 487.  
 Chronometer, 164.  
 Cilinder, 480.  
 — brengen van het papier op den —, 482.  
 — controleeren van den regelmatig-gang van den —, 484.  
 — regelen van de omwentelings-snelheid van den —, 484.  
 Coördinaten, 24.  
 — pool —, 37.  
 Correctie van de cirkelbogen die door den registreerenden hefboom worden beschreven, 522, 602.  
 Curven, 385 (zie verder Tracés, Polslijnen, Cardiografische lijnen, enz.).

**D.**

- Dampkringsdrukking, registreeren van de —, 145, 308.  
 Declinatielijnen, 99, 452.  
 Deprèz, elektromagnetische seintoe-stel van —, 144, 171, 492.  
 — proeven van — 425, 432.  
 Descartes, 5, 26.  
 Dicrotisme van den pols, 369, 569.  
 Donders, onderzoekingen van —, 81, 474, 500.  
 Drijver met schrijfstift voor het registreeren van de uitstrooming van vloeistoffen, 248.  
 Dromograaf, planetarische —, 131  
 Drukking, registreeren van de veranderingen in —, 293, 308, 599.  
 — in buizen, 306.  
 — in de bloedvaten van de hand, 613.  
 — in haarvaten, 305.  
 — in ingewandsholten, 390.  
 — in de pleurale holte, 307.  
 — in vloeistoffen, 367.  
 — van het bloed, 299, 388, 399.  
 — registreeren van de — van het

- bloed door middel van een tegen-druk, 609.  
 Drukking, overbrenging van de — naar registreerende manometers, 604.  
 — negatieve — in de holten van het hart, 604.  
 Druppelteller, 193.  
 Dynamograaf, 328.  
 Dynamometer van Poncelet, 279.  
 — met luchttransport, 328.

**E.**

- Elektriciteit, 281.  
 — bepaling van hoeveelheden —, 359, 642.  
 Elektrische ontladingen van den sid-derrog, 358, 398, 431.  
 Elektrische prikkeling van het hart, 541.  
 Elektrische spanningen, registreeren van —, 351.  
 Elektrische stroomen, grafische voor-stelling van de richting en fasen van —, 71, 428.  
 — invloed van — op de hartbewe-ging, 542.  
 Elektrische toestand van spieren, 411.  
 Elektrische verschijnselen, registree-ren van —, 351.  
 Elektrometer van Lippmann, 351.  
 Endosmose, registreeren van — ver-schijnselen, 292.  
 Evaporometer van Ragona, 286.

**G.**

- Gang van het paard, 189, 462.  
 — snelheid van den — van den mensch, 213.  
 Gelijktijdig registreeren, 362.  
 — — van bewegingen bij het her-kauwen, 421.  
 — — van bewegingen bij het slik-ken, 424.  
 — — van elektrische stroomen, 397.  
 — — van spierwerkingen, 412.  
 — — van stembewegingen, 413.  
 Gevoeligheid, graad van — voor ver-schillende deelen van het lichaam, 110.  
 — van de deelen van het netvlies, 114.  
 Gewichtslijnen, 39, 41, 84.

Gewichtspgaven van materialen be-  
noodigd voor den bovenbouw van  
metalen bruggen, 86.

Gewichtsveranderingen, registree-  
ren van —, 283.

— van planten, 288.

— van dieren, 290.

— bij scheikundige werkingen, 291.

Golfbewegingen, registreeren van  
—, 371, 426.

Groeilijnen, 38, 39, 41, 84.

— van planten, 207.

Grootheden, grafische voorstelling  
van —, 14.

Gymnastiek, invloed van — op den  
polsslag, 574.

## H.

Handelsverkeer op de deelen van een  
spoorweglijn, 89.

Harmonigraaf, 160.

Hart, kloppen van het —, 309,  
315, 407, 597.

— myografie, 317, 538.

Hartslag, registreeren van den —,  
315, 407, 592.

— bij kleine dieren, 318.

Hartsonde, 382, 386.

Hartziekten, 597.

— pols bij —, 582.

Helmholtz, onderzoekingen van —,  
141, 179.

Hemodromograaf, 267, 631.

Hemotachometer, 266.

Herkauwen, bewegingen bij het —,  
422.

Hodograaf, 215.

— samenstelling van den —, 510.

— tracés van den —, 214, 512.

— aanwending van den — voor het  
onderzoeken van den gang van  
den mensch, 219.

Hoogte, lijnen van gelijke —, 113.

Hypertrophie van het hart, 337.

## I.

Inductiestroomen, registreeren van  
de ontlading van —, 349, 356.

— van verschillende orde, 72.

Isanomalen, 122.

Isobarische lijnen, 116.

Isochimenen, 121.

Isoclinen, 122.

Isodynamen, 122.

Isografische lijnen, 112.

Isogonen, 122.

Isoparallagen, 122.

Isorachiën, 120.

Isotheren, 121.

Isothermen, 121.

## K.

Kanulen, 608.

Koers van effecten, grafische voor-  
stelling van den —, 49, 51.

Koolzuur, bepaling van het gehalte  
aan — in lucht langs grafischen  
weg, 643.

Krachten, beschouwing der —, 275.

— registreeren van —, 273.

Kymografion, 293; Feder —, 298.

## L.

Lalanne, methode van —, 123,  
126, 128, 130, 133, 135.

Larynx, trillingen van den —, 192,  
419.

Limnograaf, 645.

Lippen, beweging der —, 417.

Log, manometrische of hydrostati-  
sche —, 634.

Lucht, overbrenging van beweging  
door middel van —, 155, 470.

Luchtreis, grafische voorstelling van  
een —, 103.

Luchtseinen, 171.

— vertraging der —, 498.

Luchttrommel waarop de hartslag  
werkt, 593.

Ludwig, Kymografion van —, 143,  
263, 293.

## M.

Manometer, compensatie —, 294.

— veerkrachtige —, 295.

— registreerende metaal —, 299.

— verdeling van een veerkrachti-  
gen —, 600.

— wijze van aanwending van den  
veerkrachtigen —, 605.

Manometrische onderzoekingen, 301,  
599.

— sonden, 382, 386.

Merkstrepen, 503.

Meteorologische lijnen, 61, 62, 95,  
99, 118, 128, 449, 459, 461.

Meteorologische lijnen van Buijs Ballot, 96, 454.  
 Morin, toestel van —, 198, 326, 505.  
 Myograaf, 224.  
 — enkelvoudige —, 225, 527.  
 — hart —, 538.  
 — met dubbele werking, 529.  
 — met luchttransport, 226.  
 Myografie, 223, 524, 530.  
 — op den mensch, 231, 537.  
 Myografische tangen, 380.

### N.

Notenschrift als grafische uitdrukking van tijd, 18.

### O.

Ontladingen (zie *Elektriciteit*).  
 Oog, accomodatievermogen van het —, 82.  
 — gevoeligheid van het — voor lichtindrukken van korten duur, 448.  
 Oplosbaarheid van zouten, grafische voorstelling van de —, 75.  
 Ordinaat, 25.

### P.

Palpeur, 601.  
 Pantograaf met luchttransport, 162.  
 Parabolische tracés, 201, 505.  
 Periode van weigering bij de werking van het hart, 437, 542.  
 Periodiciteit, bepaling van de — van verschijnselen, 194.  
 Persoonlijke fout, meten van de —, 175; ongelijkheid van de —, 183.  
 Phenakistkoop, 366, 445.  
 Phonautograaf van König, 638.  
 Phonograaf van Edison, 639.  
 Photographie, van inductiestroomen, 356.  
 — oogenblikkelijke —, 366, 445.  
 — van trillende vlammen, 641.  
 Fotografisch geweer van Marey, 447.  
 Piëzometer, 268.  
 Pitot, buizen van —, 269, 633.  
 Plaatsbepaling, 24.  
 Plateau, proeven van —, 365, 440  
 Playfair, 27, 45.  
 Pluviometer, 251.  
 Pneumograaf, 233, 552.

Pneumografie, 555 (zie *Ademhalingsbewegingen*).  
 Pols, analyse eener —curve, 568.  
 — anacrotisme van den —, 565.  
 — dicrotisme van den —, 369, 569.  
 — polycrotisme van den —, 570.  
 — uurlijksche veranderingen van de frequentie van den —, 69, 70.  
 — theorie van den —, 309.  
 — veranderingen in de amplitude van den —, 571.  
 Polslijnen, 311, 568, 574.  
 — bij cholera, 581.  
 — » hartziekten, 582.  
 — » longontsteking, 578.  
 — » loodvergiftiging, 581.  
 — » rheumatische endopericardites, 580.  
 — bij slagaderbreuken, 586.  
 — » typhoidekoorts, 575.  
 Polygraaf, 481.  
 Poncelet, toestel van —, 197, 279, 326, 505.  
 Poolcoördinaten, 97.  
 Prikkelbaarheid van het hart, 434.  
 Prijsopgaven van materialen benodigd voor metalen bruggen, 86  
 Psychische werkingen, meten van den duur van —, 500.

### R.

Reactiebewegingen, registreeren van —, 236.  
 Regen, lijnen van hoeveelheden gevallen —, 457.  
 Regenmeters, 250.  
 Registreeren van bewegingen, 148;  
 — van het hart, van den pols, (zie aldaar).  
 Registreerstift, bevestiging der —, 521.  
 — vereischten van een goede —, 520.  
 Registreerwerktuigen, 137, 469.  
 — geschiedkundig overzicht van de —, 145.  
 — proefondervindelijk controleeren van —, 473.  
 — voor bewegingen van het hart, van den pols (zie aldaar).  
 Regulator, 166, 480.  
 Rekeningtafels, grafische —, 132.  
 Relais, elektrisch —, 222, 516.

- Rheograaf, 252.  
— elektrische —, 357.  
Ruimteverhoudingen, grafische voorstelling van —, 21.

## S.

- Schalen, 16.  
Schoen bestemd om den hodograaf in werking te brengen, 516.  
Seinen, 170.  
— elektrische —, 70, 492.  
— lucht —, 171.  
— vertraging der elektrische —, 496.  
— vertraging der lucht —, 498.  
Seintoestel, elektromagnetisch —, 171, 493.  
Slagaderbreuken, pols bij —, 586.  
— bepaling van de plaats van de —, 589.  
Slede met schrijfstift, 199.  
— beweging van de —, 519.  
Slikken, bewegingen bij het —, 424.  
Snelheid, bepaling van de — van in beweging zijnde massa's, 200.  
— van projectielen, 205, 399.  
— van het bloed, 399.  
— van de zenuwwerking, 178.  
Sonde, 382, 386.  
Sphygmograaf, 310, 566.  
— met luchttransport, 313, 587.  
Sphygmografie, 533 (zie verder *Pols*).  
Sphygmoskoop, 296.  
Spierbewegingen, 224 (zie ook *Myografie*).  
Spiercontractie, 536.  
Spiergolf, 378, 426.  
Spierkracht, onderzoek van de —, 433.  
Spierschokken, 434, 533.  
Statistiek, grafische — van de Engelsche staatsschuld, naar Playfair, 28.  
— — van den handel van Engeland, naar Playfair, 44.  
— — van de ontvangsten en uitgaven in Nederland en Ned. Indië, 46.  
— — van de veranderingen in de Fransche renten, 48.  
— — van het gebruik van stoomwerktuigen, in Frankrijk, 52.  
— — van de toeneming der bevolking in de verschillende provincien van Nederland, 54.

- Statistiek van de productie van beetwortelsuiker in Nederland, 55.  
— — van de prijzen van het rundvleesch te Amsterdam, 56  
— — van het gemiddeld aantal leerlingen der lagere scholen op één onderwijzer, in Nederland, 56.  
— — van de verhouding der recidivisten tot de veroordeelden in Nederland, 57, 58.  
— — der sterfte, 58.  
— — der sterfte tengevolge van de cholera in 1832, 59.  
— — der sterfte tengevolge van de pokkenepidemie in Nederland van 1870—73, 60.  
— — van het handelsverkeer op de deelen van een spoorweglijn, 90.  
— — van Nederlandsch Oost-Indië, 650.  
Statistische kaarten, 104.  
— — van het verkeer op verschillende wegen, 106.  
— — van de misdrijven, 109.  
— — van bevolking, 124.  
Stembewegingen, registreeren der —, 413.  
Stemvork, chronografische —, 167, 487.  
Stoomwerktuig, grafische bepaling van de verrichtingen der verschillende deelen van een —, 425.  
Stoomspanning, lijn van —, 432.  
Sterrekundige, het meten van de persoonlijke fout van den —, 175, 183.  
Strobografie, 367.  
Stroboscopie, 365, 440.  
Stroomen, stroomsterkte (zie *Electriciteit*).  
Stroomverbreker, 517.

## T.

- Temperatuur, lijnen van gelijke gemiddelde —, 128.  
— registreeren van de — van het organisme, 391, 342.  
Temperatuurslijnen, 66, 67, 71, 453.  
Temperatuursverdeling, 394.  
Tetanus, 536, 544.  
Thermograaf, 343.  
Thermometer, 338.  
— registreerende —, 339, 344.  
— registreerende metaal—, 340, 342.



Thermometer, registreerende lucht-  
—, 340.  
— registreerende vloeistof—, 341.  
Thoraxbewegingen, 555.  
— verband tusschen de — en de  
abdominale bewegingen, 556.  
Tijd, verloren — bij de zenuwwer-  
king, 179; — bij de spierwer-  
king, 437.  
Tijdmeting (zie *Chronografie*).  
Tracés, fixeeren der —, 482.  
— overnemen der —, 476.  
— van een vallend lichaam, 505.  
— misvorming der —, 522.  
Trenen, grafische voorstelling van  
den loop van —, 34, 36.  
Trillingsbewegingen, registreeren  
van —, 636 (zie ook *Chronografie*).  
Trillende vlammen, 640.  
Trommel met hefboom, 156.  
— beschrijving van de —, 471.  
— ontvangende en registreerende  
—, 156.  
— proefondervindelijk controleeren  
van de —, 473.  
— verkleinen van de beweging van  
de —, 473.  
Typhoïdekoorts, pols bij —, 575.

## U.

Udometer, 253,  
Uitstrooming van gassen, 271.  
— van vloeistoffen, 271.  
— lijn van voortdurende —, 257.  
— snelheid van —, 259.

## V.

Vaatzenuwen, de werking der —,  
626.  
Veerkracht, lijnen van —, 80.  
— der zenuwen, 81.  
— der slagaderen, 336.  
Veldtocht, grafische voorstelling van  
een —, 102.  
Vermenigvuldiging, grafische tafel  
van —, 132, 134.  
Verplaatsing, met tusschenpoozen:  
— aanhoudende —, 153.  
Verdamping, in de bladeren van  
planten, 288.  
— in de meteorologie, 285

Vierordt, sphygmograaf van —, 143  
296.  
Vleugelbewegingen, 192, 239, 501.  
Vloeistoffen, beweging van —, 243.  
— snelheid van — in buizen, 261.  
— uitstrooming van —, 244.  
Vochtafscheidingen, registreeren van  
—, 193.  
Voertuigen, registreeren van de be-  
wegingen van —, 214.  
Voet, registreeren van de aanraking  
der — en met den grond, 186.  
— bekleedsel bestemd voor het re-  
gistreeren van de bewegingen ge-  
durende het loopen, 186, 515.  
Voetbeweging van den mensch, 210.  
— van het paard, 189, 462.  
Voetstappen van het paard in de  
onderscheidene gangen, 150.  
Volkman, 143, 263.  
Voltmeter, registreerende —, 359,  
642.  
Volumeveranderingen van organen,  
319, 618.  
— van de hand, 322, 614, 623.  
— van het hart, 628.  
Voortplanting van de drukking in  
vloeistoffen, 367.  
— van golfbewegingen, 372, 379.

## W.

Warmte, 280.  
— registreeren van —hoeveelheden,  
345, 646  
— voortplanting van —, 77.  
Warmtewerking van de verschillende  
deelen van het zonnenspectrum, 78.  
Warmteverschijnselen bij elektrici-  
teit, 350.  
Waterdamp, grafische voorstelling  
van de hoeveelheden — bevat in  
een kub. meter lucht bij verschil-  
lende temperaturen, 76.  
Waterspiegel, grafische voorstelling  
van het rijzen en dalen van den  
—, 359, 461, 644.  
Weerstand, bepaling van den — in  
buizen, 335.  
Wet van den val van lichamen, 507.  
Wheatstone, proef van —, 158, 238.  
Windkaarten, 95, 96, 459.  
Windrichting aangewezen in door-  
loopende lijnen, 459.

**Y.**

Young, chronograaf van —, 140.

**Z.**

Zee, lijnen van gelijke hoogte der  
— op verschillende uren van den  
dag, 130.  
— veranderingen in waterstand van  
de —, 644.

Zenuwen, veerkracht der —, 81.  
Zenuwwerking, duur der —, 176.  
— snelheid der —, 178.  
Zonnespectrum, 78.  
Zonnevlekken, perioden van, 461.  
Zoötroop, 366.  
Zwaartekracht, werking der — gra-  
fisch voorgesteld, 201, 509.  
Zwart maken van het papier dat  
om den cilinder moet gespannen  
worden, 482.  
Zwelling van spieren, 229.

# INHOUD.

---

VOORWOORD VAN DEN BEWERKER . . . . .	Blz. 4.
INLEIDING . . . . .	» 3.

---

## EERSTE AFDEELING.

### GRAFISCHE VOORSTELLING VAN VERSCHIJNSELEN.

#### EERSTE HOOFDSTUK.

##### GRAFISCHE VOORSTELLING VAN GROOTHEDEN EN VAN HARE ONDERLINGE VERHOUDINGEN.

Elke grootheid kan door een lengte worden voorgesteld. — Het gebruik van schalen: voorstelling van getallen, afstanden, tijdruimten, krachten, enz. — Vergelijkende chronologie. — Grafische voorstelling van ruimteverhoudingen: coördinatenstelsels. — Denkbeeld van DESCARTES: lijnen die de betrekking tusschen twee veranderlijke grootheden uitdrukken. — Grafische statistiek. — Figuren van PLAYFAIR . . . . . Blz. 14.

#### TWEEDE HOOFDSTUK.

##### GRAFISCHE VOORSTELLING VAN GROOTHEDEN WAARBIJ DE TIJD EEN DER VERANDERLIJKEN UITMAAKT.

Grafische voorstelling van een rechte lijnige beweging; de eenparige beweging; de richting der beweging; de veranderlijke beweging. — Toepassingen: grafische voorstellingen van den loop der verschillende treinen op spoorweglijnen. — Voorstelling van langsame bewegingen: toename in grootte en gewicht van het kind op verschillenden leeftijd. — Lijnen die de fasen van een willekeurige verandering met betrekking tot den tijd voorstellen. \* — Grafische statistiek: overzicht van den toestand der Nederlandsche geldmiddelen, van de toename der bevolking in Nederland; grafische voorstelling van enkele opgaven van de medische, gerechtelijke, onderwijs- en handelsstatistiek. \* — Meteorologische lijnen. — Aanwending van grafische

lijnen in de geneeskunde. — Lijnen die de uurlijksche veranderingen van de temperatuur en van de gemiddelde frequentie van den pols voorstellen. — Grafische voorstelling van de richting en van de phasen van electriche stroomen . . . . . Blz. 30.

DERDE HOOFDSTUK.

BETREKKINGEN TUSSCHEN GROOTHEDEN WAARBIJ DE TIJD  
BUITEN BESCHOUWING BLIJFT.

Grafische voorstelling van het verband tusschen oorzaken en gevolgen; invloed van de temperatuur op de spanning van dampen en op de oplosbaarheid van zouten. — Voortplanting der warmte in een metaalstaaf; lijnen die de betrekking tusschen de intensiteiten van de warmte-, licht- en scheikundig werkzame stralen in de verschillende deelen van het zonnenspectrum voorstellen. — Lijnen die de drukking voorstellen welke een uitstroomende vloeistof in de verschillende punten van een afvoerbuis uitoefent. — Lijnen van veerkracht. — Lijnen die het accomodatievermogen van het oog op verschillende leeftijd voorstellen. — Lijnen die de verhouding aangeven tusschen gewicht en lengte van kinderen. — Grafische voorstelling van de verhouding der hoeveelheden van verschillende materialen benoodigd voor den bovenbouw van metalen bruggen. — Lijnen die het handelsverkeer op de verschillende deelen van een spoorweglijn voorstellen . . . . . Blz. 73.

VIERDE HOOFDSTUK.

DE GRAFISCHE VOORSTELLING VAN TWEE VAN ELKAAR AFHANKELIJKE GROOTHEDEN, VERBONDEN MET DIE VAN EEN DERDE VERANDERLIJKE GROOTHEID.

Grafische voorstelling van richtingen; richting waarin vallende sterren zich bewegen. — Richting, aantal en intensiteit der winden. — Declinatie-lijnen. — Magnetische storingen. — Grafische voorstelling van den veldtocht naar Rusland in 1812—1813. — Grafische voorstelling van een luchtreis. — Statistische kaarten. — Het verkeer op land- en waterwegen. — Grafische statistiek van misdrijven, van ziekten, van het onderwijs. — Vorm en uitgestrektheid van het gezichtsveld. . . . . Blz. 93.

VIJFDE HOOFDSTUK.

ISOGRAFISCHE LIJNEN.

Wijze waarop deze lijnen geconstrueerd worden. — Lijnen van gelijke hoogte. — Isobarische lijnen. — Isothermen, isochimenen en isothermen voor Europa. — Isorachiën. — Isogonen, isoclinen en isodynamen. — Lijnen van gelijke gemiddelde temperatuur. — Grafische voorstelling van de hoogte der zee op alle uren van den dag en voor alle dagen van een maand. — Grafische rekestafels. — Anamorfsche tafels . . . . . Blz. 112.

## TWEEDE AFDEELING.

## REGISTREERWERKTUIGEN.

## EERSTE HOOFDSTUK.

## HET REGISTREREN VAN DE VERPLAATSINGEN VAN LICHAMEN.

Verplaatsingen met tusschenpoozen — Afdruksels van voetstappen. — Fotografische beelden van de opvolgende standen van een lichaam. — Aanhoudende of continue beweging. — Werktuig dienende om zijn eigen beweging op te teekenen. — Staven van WHEATSTONE; proeven van KÖNIG en van LISSAJOUS; werktuig van TISLEY. — Pantograaf. — Het overbrengen van beweging op een afstand. . . . Blz. 148.

## TWEEDE HOOFDSTUK.

## CHRONOGRAFIE.

Chronometers; het grafisch meten van tijdruimten. — Draaiende cilinders en regulators. — Het controleeren van de cilinderbeweging met behulp van de stemvork. — Overbrenging van de chronografische aanwijzingen. — Elektrische seinen. — Luchtseinen. — Toepassingen van de chronografie; bepaling van het oogenblik waarop een verschijnsel zich voordoet. — Het meten van de persoonlijke fout. — Bepaling van tijdduur. — Opeenvolging en synchronisme. — Frequentie. — Regelmatigheid. — Periodiciteit . . . . Blz. 164.

## DERDE HOOFDSTUK.

## HET REGISTREREN VAN BEWEGINGEN.

De kennis van een beweging bestaat in het tweevoudig begrip van ruimte en tijd. — De beweging is enkelvoudig of samengesteld. — Het registreeren van een enkelvoudige rechthoekige beweging; val van lichamen. — Het registreeren van een spierbeweging. — Het registreeren van snelheden, van de verdeling van krachten, van den duur van botsingen, van versnellingen. — Curve van de snelheid van projectielen. — Het registreeren van een verplaatsing over een groote uitgestrektheid; herleiding op verkleinde schaal. — Het registreeren van de bewegingen der voeten bij het loopen. — Het registreeren van de bewegingen van een voertuig; de hodograaf. — Aanwending van den hodograaf voor het registreeren van de bewegingen van een rijtuig of van een trein, van menschen en dieren gedurende het loopen, van den gang van een beweegmachine, enz. — De hodograaf geeft de curve der frequentie van een verschijnsel, dat zich periodiek herhaalt; frequentie der hart- en ademhalingsbewegingen, enz. . . . . Blz. 197.

## VIERDE HOOFDSTUK

## RECHTLIJNIGE BEWEGINGEN MET VERANDERING VAN RICHTING.

A. *Het registreeren van rechtlĳnige bewegingen met veranderlijke richtingen.*

In de physiologie komen bij de beweging der organen slechts verplaatsingen voor die afwisselend in tegengestelde richtingen geschieden. — Spierbewegingen, de enkelvoudige myograaf; de myograaf met luchttransport. Myografie gegrond op het registreeren van de zwelling der spieren, aangewend op den mensch. — De pneumograaf, registreertoestel der ademhalingsbewegingen. — Het registreeren van bewegingen die voorkomen bij plaatsverandering; werking der ledematen; reactiebewegingen aan het lichaam meegedeeld.

B. *Het registreeren van samengestelde bewegingen welke plaats hebben in een zelfde vlak.*

Het registreeren van geluidstrillingen; tracés van KOENIG. — Het bepalen van de vleugelbewegingen van een insekt. — De vleugelbeweging van een vogel. — Tracés van de vertikale vleugelbewegingen. — Verschillende toepassingen. . . . . Blz. 223.

## VIJFDE HOOFDSTUK.

## BEWEGING VAN VLOEISTOFFEN.

Voorheen gebruikelijke metingen; verdeelde proefbuisjes. — Het registreeren van de veranderingen die een vloeistofspiegel ondergaat in het glas waarin de vloeistof stroomt. — Drijvend proefbuisje aangewend als een registreerende areometer. — Rheograaf. — Lijnen die de verschillende hoeveelheden bloed aangeven welke door het hart worden voortgestuwd. — Het registreeren van zeer zwakke en langsame uitstroomingen. — Lijnen der volumina en lijnen der snelheden; constructie en voordeelen van elk dezer lijnen . . . . . Blz. 243.

## ZESDE HOOFDSTUK.

HET REGISTREEEN VAN DE SNELHEID WAARMEDE VLOEISTOFFEN  
ZICH IN BUIZEN BEWEGEN.

1<sup>o</sup> *Methode.* — Men laat de vloeistof door ruimten van bekenden inhoud stroomen; VOLKMANN; LUDWIG; het registreeren van de hoeveelheden vloeistof die door een buis zijn gestroomd.

2<sup>o</sup> *Methode.* — De schroef met teller. — Handelwijze steunende op het gebruik van den hydrostatischen slinger. VIERORDT. — Bepaling van de snelheid van het bloed uit de afwijking van een beweegbare stift. CHAUVÉAU.

3<sup>o</sup> *Methode.* steunende op het gebruik van de buizen van PITOT. — Beschrijving van den toestel; lijnen van de snelheden van het bloed. Snelheid van de uitstrooming van gassen; gebruik der buizen van PITOT; snelheid van den wind. — Het omgekeerde der voorgaande proeven; de log; snelheid der beweging van een lichaam in de lucht . . . . . Blz. 261.

## DERDE AFDEELING.

HET REGISTREREEN VAN KRACHTEN EN VAN DE VERANDERINGEN  
DIE ZIJ ONDERGAAN.

De kracht openbaart zich in verschillende vormen. — Statische en dynamische toestand van krachten.  
 Omzettingen van het arbeidsvermogen. — Arbeidsvermogen van plaats en van beweging. — Het registreeren van arbeidsvermogen van beweging. — Arbeidsvermogen van warmte. — Temperatuur. — De registreerende thermometer. — Het registreeren van calorïën.  
 Elektrisch arbeidsvermogen. — De elektrische spanning geregistreerd door den elektrometer. — Intensiteit der elektrische stroomen. — Scheikundig arbeidsvermogen . . . . . Blz. 273.

## EERSTE HOOFDSTUK.

## HET REGISTREREEN VAN GEWICHTSVERANDERINGEN.

Snelle veranderingen in gewicht kunnen door achtereenvolgende wegingen niet nauwkeurig worden bepaald; de middelen om deze veranderingen te registreeren. — Toestellen van RÉDIER; toestel van SALLERON. — Registreerende areometer. Rheograaf.  
 Toepassingen: verdamping van vloeistoffen; verdamping in de bladen van planten; verdamping door uitwaseming en afscheidingen van het dierlijk lichaam,  
 Scheikundige werkingen die gepaard gaan met gewichtsveranderingen: Oxydaties, hydraatvormingen.  
 Registreerende barometer, thermometer, endosmometer . . . . . Blz. 283.

## TWEEDE HOOFDSTUK.

HET REGISTREREEN VAN VERANDERINGEN IN DRUKKING DOOR PROEVEN  
GENOMEN BINNEN IN DE ORGANEN.

Het gebruik van den manometer bij physiologische onderzoekingen; de kwikmanometer; het kymografion van Ludwie. — Voor- en nadeelen van het gebruik van den kwikmanometer; de compensatie-manometer. — Het registreeren van de aanwijzingen van den kwikmanometer door middel van de trommel met hefboom. — Veerkrachtige manometers; de sphygmoskop; de metaalmanometer aangewend door Fick. — Het proefondervindelijk vergelijken van de verschillende soorten van manometers. — Toepassingen: proeven op het paard; verhouding tusschen de bloedsdrukking in de linker kamer en die in de aorta. — Rhythmische veranderingen van de bloedsdrukking in de slagaderen. — Het meten van de krachten die bij de ademhaling in werking treden door middel van den manometer. — Drukking in de pleurale holte; het meten van de veerkracht der longen . . . . . Blz. 293.

## DERDE HOOFDSTUK.

HET REGISTREEREN VAN VERANCKERINGEN IN DRUKKING DOOR PRORVEN  
GENOMEN BUITEN OP DE ORGANEN.

Het belang van toestellen, die geen vermindering vereischen, voor geneeskundige toepassingen. — De bloedsdrukking in een slagader wordt bepaald door de grootte van den tegendruk die noodig is om haar te overwinnen; theorie van den pols. — Het registreeren van den pols; de sphygmograaf met direkte werking; de sphygmograaf met luchttransport. — Het meten van de volstreekte bloedsdrukking in de slagaderen van den mensch naar den uitwendigen tegendruk die met de eerste evenwicht maakt.

Het registreeren van den hartslag bij kikvorschen, bij groote en kleine zoogdieren. — Het bepalen van de drukking binnen in het hart door een tegendruk in het pericardium. — Het meten van de bloedsdrukking door volumeveranderingen van organen . . . Blz. 308.

## VIERDE HOOFDSTUK.

HET REGISTREEREN VAN TREKKRACHTEN EN VAN ARBEIDSVERMOGEN  
VAN BEWEGING.

Het registreeren van arbeidsvermogen van beweging. — Het registreeren van den arbeid verricht door spieren. — Het verlies van arbeidsvermogen van beweging bij schokken. — Besparing van den arbeid, verkregen door het aanwenden van bij tusschenpoozen werkende krachten door tusschenkomst van een veerkrachtig lichaam. — Arbeid verricht door hartspieren en in 't algemeen door de spieren die een werking op vloeistoffen uitoefenen. — Bepaling van den weerstand in buizen. — Het besparen van arbeidsvermogen van beweging van het hart door de veerkracht der slagaderen. Blz. 323.

## VIJFDE HOOFDSTUK.

## HET REGISTREEREN VAN TEMPERATUREN EN VAN WARMTEHOEEVELHEDEN.

Verschillende soorten van registreerende thermometers; luchtthermometers; vloeistofthermometers; metaalthermometers. — Het registreeren van de dierlijke warmte. — Het registreeren van warmtehoeveelheden. . . . . Blz. 338.

## ZESDE HOOFDSTUK.

## HET REGISTREEREN VAN ELEKTRISCHE VERSCHIJNSELEN.

Het grafisch bestudeeren van de verschijnselen die bij elektrische ont-ladingen plaats hebben; proeven van FEDDERSEN; fotografie der luchtverschijnselen. — Grafische analyse van elektrische ont-ladingen volgens de methode van DONDEERS. — Het registreeren van warmte-verschijnselen voortgebracht door elektriciteit; proeven van MASCART. — Het meten van elektrische spanningen gemeten door middel van den



elektrometer van LIPPMANN. — Het registreeren van de intensiteit van elektrische stroomen door middel van den rheograaf. — Het registreeren van elektriciteitshoeveelheden . . . . Blz. 347.

## VIERDE AFDEELING.

### HET GELIJKTJDIG EN ACHTEREENVOLGEND REGISTREEREN.

Het gelijktijdig registreeren leidt tot het bestudeeren van verschillende verschijnselen die zich op verschillende plaatsen voordoen. — Indeeling van de verschillende toepassingen van deze methode van registreeren.

Het achtereenvolgend registreeren leidt tot de registratie van enkele verschijnselen die in gewone omstandigheden niet door de toestellen worden aangewezen. Methode der stroboscopie van PLATEAU. Blz. 360.

### EERSTE HOOFDSTUK.

#### HET REGISTREEREN VAN EEN VERSCHIJNSEL DAT ZICH OP VERSCHILLENDE PLAATSEN VOORDOET.

Voortplanting van de drukking in vloeistoffen. — Proeven over de voortplanting van de golfbeweging van vloeistoffen. — Het registreeren van de spiergolf. — Cardiografie. — Verband tusschen de systolen van de rechter en linker holten van het hart. — Verband tusschen de systole der kamer en het kloppen van de aorta. — Het bepalen van de kracht die uitgeoefend wordt door de verschillende holten van het hart met behulp van den manometer. — Drukking in de ingewandsholten, proeven van LUCIANI. — Het gelijktijdig registreeren der temperaturen in verschillende punten van het organisme. — Het gelijktijdig registreeren van de ontladingen der twee elektrische organen bij den sidderrog en van de daarbij ontstaande inductiestroomen. — Snelheid van het projectiel in verschillende punten van de ziel van het kanon . . . . . Blz. 367.

### TWEDE HOOFDSTUK.

#### HET REGISTREEREN VAN VERSCHILLENDE VERSCHIJNSELEN DIE ZICH OP EEN ZELFDE PLAATS VOORDOEN.

Het gelijktijdig registreeren van de drukking en de snelheid van het bloed. — Betrekking tusschen de snelheid en de drukking van het bloed. — Het kloppen van het hart als ontstaande uit de veranderingen in de bloedsdrukking in verband met de volumeveranderingen van het hart. — Verband tusschen de veranderingen in de lengte eener spier en de veranderingen van haar elektrischen toestand Blz. 399.

## DERDE HOOFDSTUK.

HET GELIJKTIJDIG REGISTREREEN VAN VERSCHILLENDE WERKINGEN  
DIE IN VERSCHILLENDE PLAATSEN WORDEN ONDERZOCHT.

Het gelijktijdig registreeren van spierwerkingen en van de reacties die zich voordoen bij de beweging van het dier wanneer het zich verplaatst — Het registreeren der stembewegingen. — Bewegingen die plaats hebben bij het herkauwen; proeven van TOUSSAINT. — Slikbewegingen; proeven van CARLET. — Het gelijktijdig registreeren van de verrichtingen der verschillende deelen van een stoomwerktuig. Blz. 412.

## VIERDE HOOFDSTUK.

HET ACHTEREENVOLGEND ONDERZOEKEN IN VERSCHILLENDE PLAATSEN  
VAN EEN ZELFDE VERSCHIJSSEL.

De achtereenvolgende beweging van een vloeistofgolf voorbij de verschillende punten van een buis. — Voortplanting van de spiergolf. — Beweging van geluidsgolven, enz. . . . . Blz. 426.

## VIJFDE HOOFDSTUK.

HET ACHTEREENVOLGEND ONDERZOEKEN VAN VERSCHILLENDE PHASEN  
VAN EEN VERSCHIJSSEL.

Het achtereenvolgend onderzoeken van de verschillende fasen van een elektrischen stroom. — Achtereenvolgend onderzoek van de stoomspanning in stoomwerktuigen. — Het onderzoeken van de spierkracht op verschillende oogenblikken gedurende den spierschok; van de prikkelbaarheid van het hart in de verschillende fasen der systole . . . . . Blz. 428.

## ZESDE HOOFDSTUK.

METHODE DER STROBOSKOPIE.

Methode der stroboskopie; proeven van PLATEAU. — Het onderzoeken van trillingsbewegingen door een trillende spleet of met behulp van een oogenblikkelijke verlichting. — Het analyseeren van de bewegingen van trillende snaren, van de gangen van een paard, enz. — Stroboskopische synthese van de bewegingen van dieren. — \* Oogenblikkelijke fotografie. \* . . . . . Blz. 439.

## VIJFDE AFDEELING.

## TECHNIEK.

## EERSTE HOOFDSTUK.

## GRAFISCHE VOORSTELLING VAN VERSCHIJNSELEN.

Grafische voorstelling van meteorologische verschijnselen; aanwending van isografische lijnen ter vergelijking met gewone grafische lijnen op rechthoekige assen. — \* Lijnen van meteorologische waarnemingen te Utrecht gedaan; de normale temperatuur voor elke tien dagen des jaars en de afwijkingen die daarvan in elk tiental dagen in 1880 te Utrecht zijn voorgekomen; lijn van de volstreckte waarde der dampspanning bepaald uit den barometerstand en de spanning der droge lucht; regenhoeveelheden te Utrecht gevallen; maandelijksche gemiddelde regenhoeveelheid berekend uit de waarnemingen van 1848 tot 1880. \* — Overbrenging van lijnen die de windrichting aangeven in het rechthoekig coördinatenstelsel. — Grafische voorstelling van het rijzen en dalen van den waterspiegel van rivieren en meren. — Grafische voorstelling van de beweging der voeten van het paard bij het loopen in de onderscheidene gangen . Blz. 449.

## TWEEDE HOOFDSTUK.

## REGISTREERWERKTUIGEN.

Samenstelling der werktuigen. — Het overbrengen van bewegingen door middel van de lucht. — Beschrijving van de trommel met hefboom. — Het verkleinen van de beweging door middel van een caoutchoudraad. — Het proefondervindelijk controleeren van de trommel met hefboom; methode van DONDERS. — Het nauwkeurig overnemen der getraceerde lijnen. Heliogravure Photographie op hout. \* Photolitho- en photozincografie. Photolithozincografie. \* Blz. 469.

## DERDE HOOFDSTUK.

## CHRONOGRAFIE.

De cilinder met regulator. Polygrafen. — Het registreeren volgens een schroeflijn. — Het brengen van het papier op den cilinder; het zwart maken; het fixeeren der tracés. — Het controleeren van den regelmatigigen gang van het raderwerk. — Het regelen van de omwentelingsnelheid van den cilinder naar den aard van het verschijnsel dat men wil registreeren. — Riemschijven. — Chronografen. — De elektrische chronograaf. — Het synchronistisch trillen van twee chronografen; het onderzoeken van het synchronisme. — Elektrische seinen . . . . . Blz. 480.

VIERDE HOOFDSTUK.

HET REGISTREEREN VAN RECHTLIJNIGE BEWEGINGEN MET ONVERAN-  
DERLIJKE EN MET VERANDERLIJKE RICHTING.

Beschouwing van de lijn die bij het werktuig van PONCELET en MORIN door een vallend lichaam getraceerd wordt. Wet der snelheden. Evenredigheid van de snelheden met de krachten. — Samenstelling van den hodograaf. Beschouwing van het tracé verkregen van een in beweging zijnd rijtuig. — Toestel om de bewegingen gedurende het loopen te registreeren. — Elektrisch relais. — Wijze waarop de slede met schrijfstift moet voortbewogen worden. — Vereischten van een goede registreerstift. — Voorzorgen in acht te nemen bij het bevestigen van een registreerstift. — Het ontwijken en de correctie van de misvorming die in het tracé ontstaat tengevolge van den cirkelboog dien de hefboom beschrijft . . . . . Blz 505.

VIJFDE HOOFDSTUK

MYOGRAFIE.

Het nut van de myografie. — Myografen. Verschillende stelsels — Myograaf met direkte werking. — De myograaf met dubbele werking. — Myograaf met luchttransport. — De voornaamste resultaten waartoe de myografie geleid heeft. — De hartmyograaf . Blz. 524.

ZESDE HOOFDSTUK.

PNEUMOGRAFIE.

Het grafisch bestudeeren van de ademhalingsbewegingen: VIERORDT en LUDWIG. — Aanwending der werktuigen; beteekenis der tracés. — Pneumograaf met luchttransport. — Lijnen van de thoraxbewegingen. — Verband tusschen de thoraxbewegingen en de abdominale bewegingen. — Verband tusschen de ademhalingsbewegingen en de beweging van de in- en uitgeademde lucht. — Grafische bepaling van de volumina der in- en uitgeademde lucht. — Frequentie en rhythmus van de ademhaling in normalen toestand. — Invloeden die het karakter der ademhaling wijzigen; invloed van een vernauwing der respiratiewegen; beletselen gesteld aan de luchtbeweging bij de inspiratie of expiratie . . . . . Blz. 550.

ZEVENDE HOOFDSTUK.

SPHYMOGRAFIE EN CARDIOGRAFIE.

De sphygmograaf. — Polslijnen van den gezonden en van den zieken mensch; koortsen, acute aandoeningen, cholera. — Vormen van de polslijnen bij hartaandoeningen, bij slagaderbreuken — Sphygmograaf met luchttransport; het gelijktijdig registreeren van den hartslag met het kloppen der slagaderen. — Cardiografie op den mensch . . . . . Blz. 566.

## ACHTSTE HOOFDSTUK.

## HET METEN VAN DE DRUKKING DOOR MIDDEL VAN MANOMETERS.

Het overbrengen van de schommelingen der kwikzuil van een manometer naar een trommel met hefboom. — Verdeeling van veerkrachtige manometers — Verbetering van de aanwijzingen van manometers door middel van den palpeur van DEPRÉZ. — Wijze waarop de drukking naar de registreerende manometers moet worden overgebracht. — Het bepalen van negatieve drukkingen in de holten van het hart. — Wijze waarop de veerkrachtige manometer moet worden aangewend. — Het meten van de bloedsdrukking door middel van een tegendruk die op de organen wordt uitgeoefend. Invloed van een uitwendige drukking op den bloedsomloop. . . . . Blz. 599.

## NEGENDE HOOFDSTUK.

## VOLUMEVERANDERINGEN VAN ORGANEN.

Overzicht van de verschillende methoden gevolgd bij het bestudeeren van de volumeveranderingen van organen die het gevolg zijn van veranderingen in de bloedsdrukking. — Proeven betreffende de volumeveranderingen der hand. Invloed van mechanische werkingen. — Verschijnselen welke afhangen van de werking der vaatzenuwen. — Gevolgtrekkingen waartoe de proeven betreffende de volumeveranderingen der hand hebben geleid. — Volumeveranderingen van het hart in de verschillende oogenblikken van de hartsperiode . . . . . Blz. 618.

## TIENDE HOOFDSTUK.

## HET REGISTREEREN VAN VERSCHIJNSELEN VAN VERSCHILLENDE AARD.

De hemodromograaf van CHAUVEAU. — De manometrische log. — Het registreeren van trillingsbewegingen. — De phonautograaf van SCOTT. — \* De phonograaf van EDISON. \* — Trillende vlammen. — \* Aanwending der grafische methode bij chemische en physische onderzoekingen. \* — Het registreeren van veranderingen in den waterstand van meren en zeën. — Het registreeren van warmtehoeveelheden . . . . . Blz. 631.

NASCHRIFT VAN DEN BEWERKER . . . . .	» 649.
ALPHABETISCH REGISTER . . . . .	» 651.
INHOUD . . . . .	» 658