



**De piano en pianino en andere muziek-instrumenten : het  
klokkenspel, de viool, de trompet en de hoorn, verdere  
blaasinstrumenten, het orgel, de thermometer, de stoom en de  
stoommachine**

<https://hdl.handle.net/1874/234042>





**UBU**

**ACJ**

**174**



mm 10529

**DE PIANO EN PIANINO**

EN

**ANDERE MUZIEK-INSTRUMENTEN.**



DE PIANO EN PIANINO

EN

ANDERE MUZIEK-INSTRUMENTEN.

RIJKSUNIVERSITEIT TE UTRECHT



2558 973 4

ja

BRU-mg.

ACJ 174

# DE PIANO EN PIANINO

EN

## ANDERE MUZIEK-INSTRUMENTEN.

HET KLOKKENSPEL. DE VIOOL.

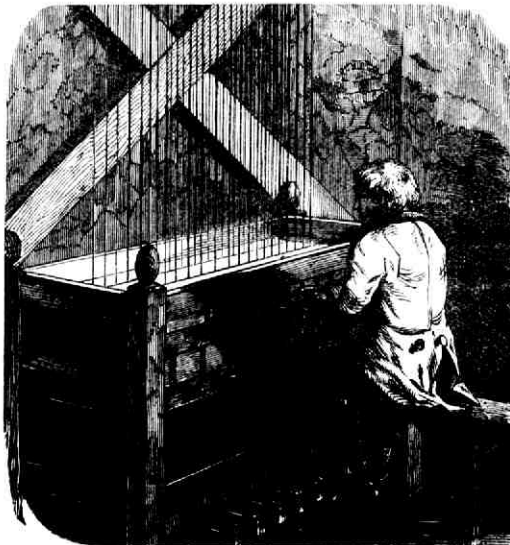
DE TROMPET EN DE HOORN. VERDERE BLAAS-INSTRUMENTEN. HET ORGEL.

DE THERMOMETER.

DE STOOM EN DE STOOMMACHINE.

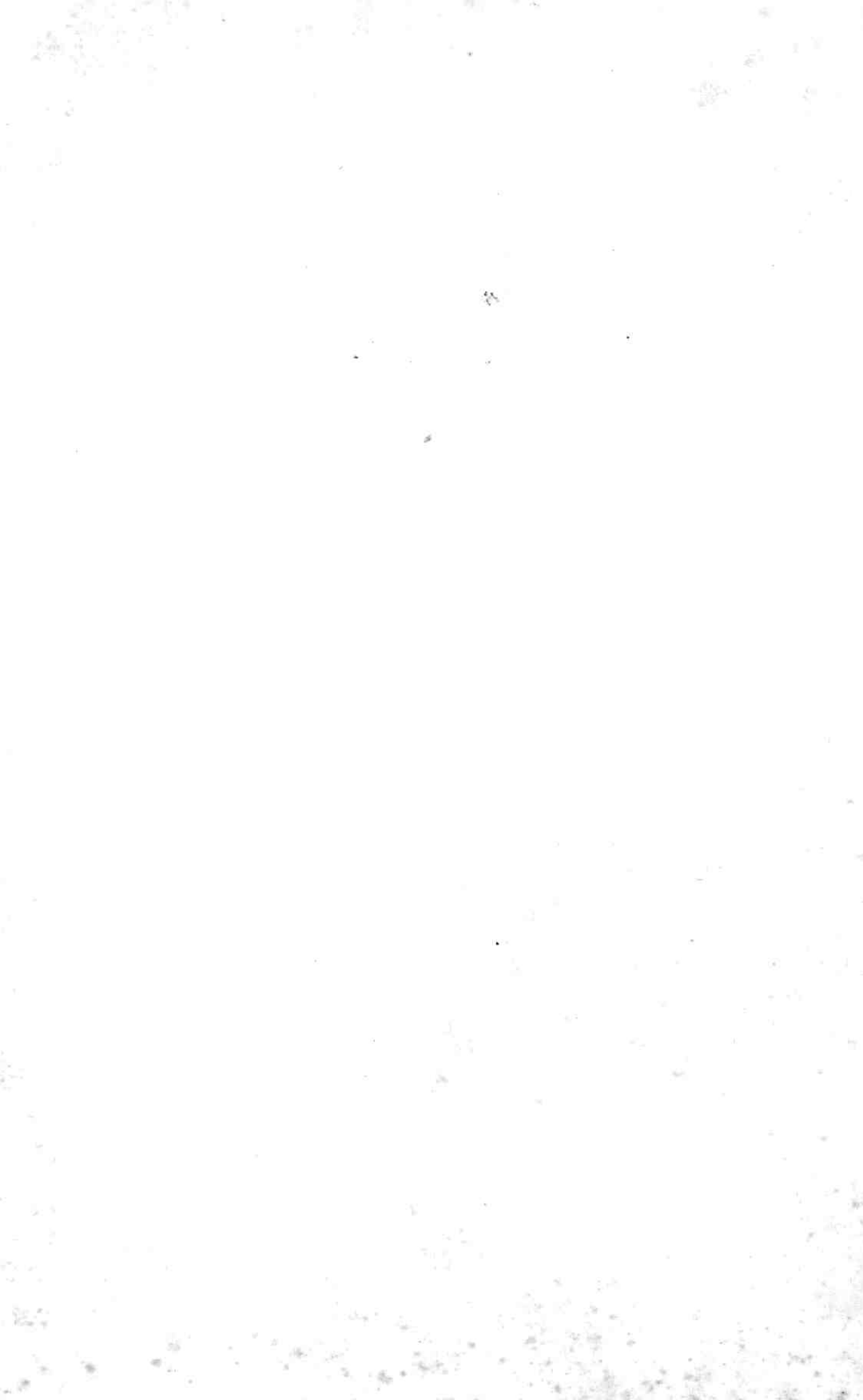
Met meer dan 100 Afbeeldingen.

BIBLIOTHEEK DER  
RIJKSUNIVERSITEIT  
UTRECHT

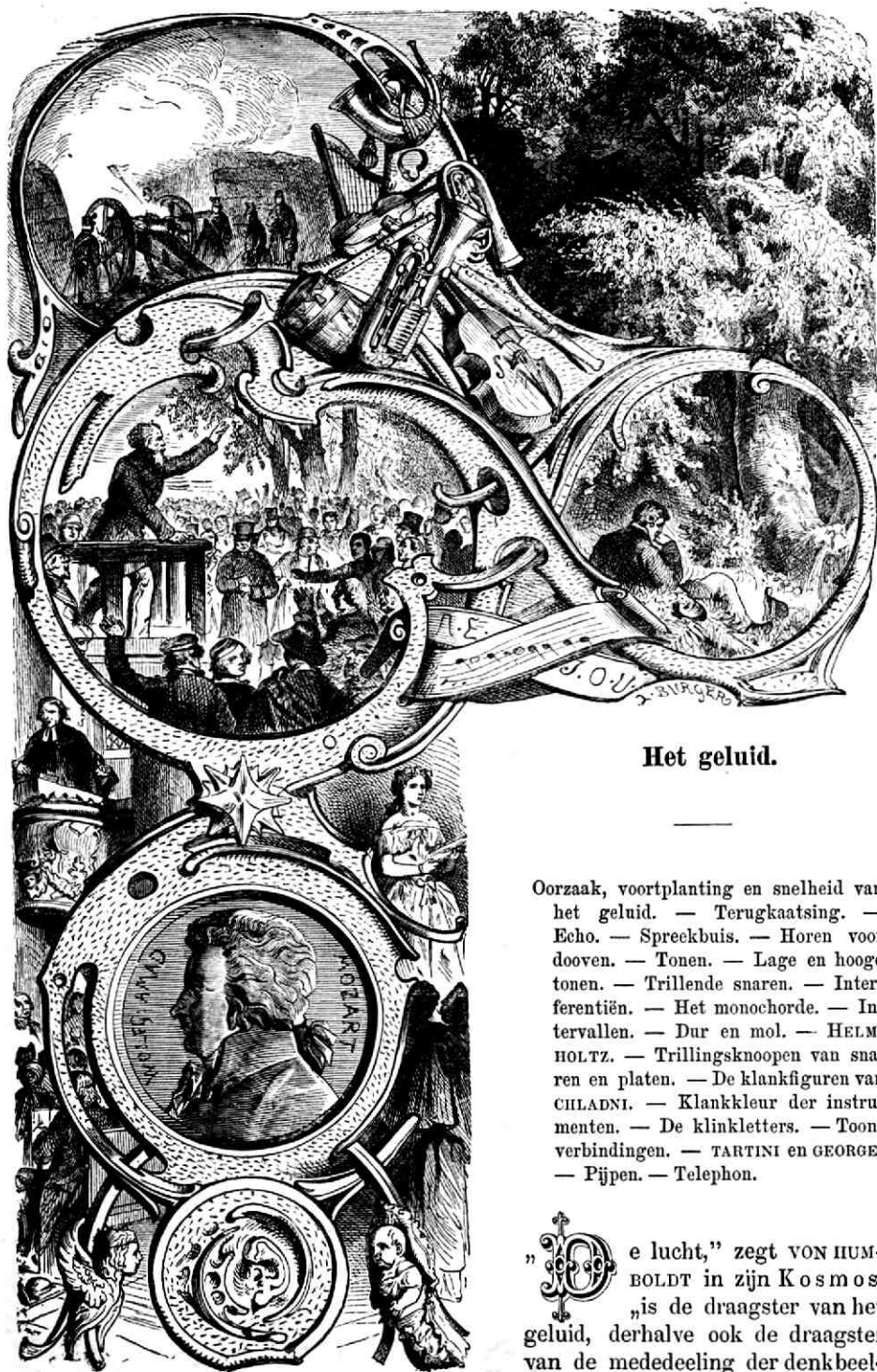


LEIDEN. — A. W. SIJTHOFF.

1877.







## Het geluid.

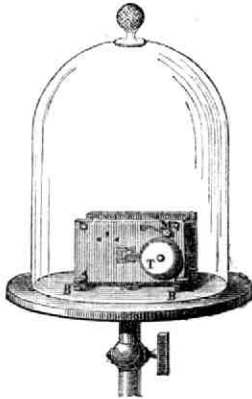
Oorzaak, voortplanting en snelheid van het geluid. — Terugkaatsing. — Echo. — Spreekbuis. — Horen voor dooven. — Tonen. — Lage en hooge tonen. — Trillende snaren. — Interferentiën. — Het monochorde. — Intervallen. — Dur en mol. — HELMHOLTZ. — Trillingsknoopen van snaren en platen. — De klankfiguren van CHLADNI. — Klankkleur der instrumenten. — De klinkletters. — Toonverbindingen. — TARTINI en GEORGE. — Pijpen. — Telephon.

„De lucht,” zegt VON HUMBOLDT in zijn Kosmos, „is de draagster van het geluid, derhalve ook de draagster van de mededeeling der denkbeelden, van het gezellig verkeer onder de volken. Indien de aarde den dampkring miste, gelijk de maan er geen

II C.

heeft, zouden wij ons haar hebben voor te stellen als eene droevige woesteni zonder eenig geluid."

Gelijk ons oog daardoor indrukken van het licht ontvangt, dat de gezichts-zenuwen door de golfbewegingen in den alom verspreiden licht-ether op eene bepaalde wijze worden aangedaan, zoo zijn de indrukken die wij door het oor ontvangen, mede niets anders dan het gevolg van bewegingen, die door middel der gehoorwerktuigen tot de gehoorzenuwen worden overgebracht. Wij hooren een geweeschot en kunnen tegelijk aan het rinkinken der vensterruiten bemerken, dat de lucht zware trillingen heeft ondergaan.

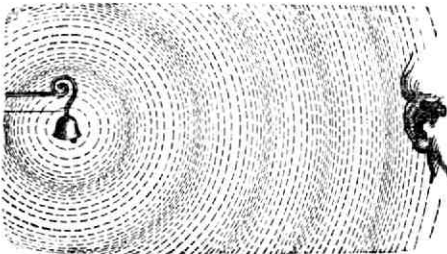


Al wat wij hooren noemen wij geluid, en daarom geven wij ook den naam van geluidstrillingen aan de golvende bewegingen welke het geluid voortbrengen. Zij worden voortgebracht door afwisselende verdikkingen en verdunningen der lucht. Waar lucht ontbreekt kunnen wij niets hooren. Op hooge bergen wordt onze stem uiterst flauw, dewijl de lucht er dunner is. SAUSSURE schoot op den Montblanc een pistool af en de knal was niet sterker dan het slaan van twee stukjes hout op elkander. Indien wij het slagwerk eener klok onder den recipiënt eener luchtpomp brengen, hooren wij de klok goed slaan zoolang de pomp nog niet in werking is. Maar naarmate de lucht door uitpompen verdund wordt, vermindert ook het geluid en wordt eindelijk, hoewel wij

den hamer zien slaan, geheel onhoorbaar als de lucht weggepompt is.

De voortplanting der geluidsgolven geschiedt gelijkmatig naar alle zijden, zoodat men het voorwerp dat geluid geeft, heeft aan te merken als het middelpunt van een steeds grooter wordenden kogel. Dienvolgens verspreidt zich het geluid naar ieder punt in eene rechte lijn, en in dezen zin spreekt men van geluidstralen. De voortplantingswijze van het geluid brengt mede, dat de sterkte met het toenemen van den afstand steeds moet afnemen, en wel, volgens eene zeer eenvoudige wiskundige wet, in evenredigheid tot het vierkant van den afstand, zoodat de knal van een pistool dat op een voet afstands van ons wordt

afgeschoten, honderdmaal sterker is dan indien het 10 voet van het oor is verwijderd.



In de lucht loopt het geluid met eene snelheid van ruim 1000 voet in de seconde. Terwijl dus een lichtstraal den afstand van de zon tot de aarde in 8' 13" doorloopt, zou het geluid daartoe 16 jaren en 8 maanden noodig hebben. Overigens kunnen wij uit het gezegde niet afleiden, dat de geluidsgolven enkel en

alleen door de lucht worden voortgeplant; zulks heeft ook plaats door vaste lichamen heen. Doch dit heeft niets te beduiden voor ons gehoor, want alleen luchtgolven worden door onze gehoorwerktuigen opgevangen. De snelheid van het geluid is zelfs in vloeibare en vaste lichamen grooter dan in de lucht. Voor tin is zij b. v. 7maal grooter; in ijzer, staal en glas  $10\frac{2}{3}$ , in zilver, geelkoper en notenhout even zooveel; in roodkoper 12, in ebbenhout  $14\frac{2}{3}$ , in dennenhout 18maal grooter dan in de lucht. Dennenhout is alzoo uitnemend geschikt om de geluidsgolven op te nemen; daarom is het van zoo veelvuldig gebruik bij het ver-

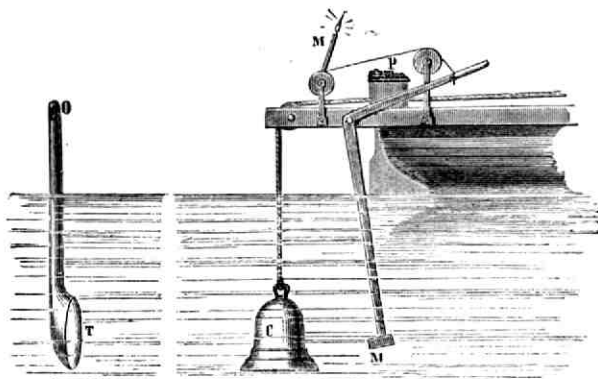
vaardigen van muziek-instrumenten. Vooral dient het voor snaren-instrumenten in die gedeelten welke door eigen golvingen moeten medewerken, terwijl fluiten, klarinetten en andere instrumenten, welke zelve niet in trilling geraken moeten, van ebben- of beukenhout, of van ivoor en dergelijke zelfstandigheden vervaardigd worden. Het brullen van den vulkaan Morne Garou op St.-Vincent hoorde men tot aan het Maracaiboo-meer, derhalve op een afstand van 150 geographische mijlen. Dit geluid werd niet voortgeplant door de lucht, maar door den grond; en het is bekend, dat de Wilden met veel nauwkeurigheid den afstand, de richting en de getalsterkte van vijanden onderkennen door het oor op den grond te leggen.

In vloeistoffen plant zich het geluid insgelijks zeer gemakkelijk voort, gelijk men bij het baden ontwaart. De onderstaande afbeelding vertoont een toestel om de snelheid van het geluid in water te meten. De klok C wordt onder water door middel van den hamer M aangeslagen. De afbeelding toont duidelijk hoe dit geschiedt. Nu weet men nauwkeurig den afstand tusschen de klok en den mond T der hoorbuis O. Wanneer nu op hetzelfde oogenblik waarop de hamer aanslaat, in M een licht wordt ontstoken, ziet de waarnemer in O dat zoo goed als onmiddellijk, terwijl hij eerst een weinig later den slag hoort, waarvan het geluid door de buis tot zijn oor wordt overgebracht. Die verloopende tijd, op een seconde-uurwerk afgelezen, doet hem dus weten hoe lang het geluid werk gehad heeft om van O tot T te loopen.

Terugkaatsing van het geluid. Indien geluidsgolvingen tegen belemmerende zelfstandigheden botsen, ondergaan zij verschillende wijzigingen. Zelfstandigheden die licht

beweegbaar, maar weinig elastiek zijn, geven de trillingen welke zij opnemen niet terug; wollen dekens, tapijten en dergelijke dempen dienvolgens het geluid op plaatsen waar zij uitgespreid zijn. Zij laten de golvingen noch geheel door, noch kaatsen ze krachtig terug. Met harde, elastieke lichamen daarentegen is het anders gesteld. Deze toch kaatsen de geluidsgolvingen terug, en wel volgens dezelfde wetten als het licht wordt teruggekaatsd. Nu zijn de geluidsgolvingen veel grooter en hebben veel meer tijd noodig; de langzaamste lichtgolwing geschiedt in  $50\frac{1}{4}$  millioenste gedeelte eener seconde, terwijl de laagste hoorbare toon uit golvingen van  $\frac{1}{16}$  seconde bestaat. Daarom worden tot eene volkomene terugkaatsing zeer groote en gladde oppervlakten vereischt, hoewel zij niet spiegelglad behoeven te zijn.

Indien de terugkaatsing-oppervlakte op eenigen afstand van ons en ook van het geluidgevend lichaam geplaatst is, zoodat het geluid vrij veel tijd noodig heeft om ons oor te bereiken, hooren wij de teruggekaatste geluidsgolvingen op zich zelve en later dan de onmiddellijk naar ons oor schietende; de eerste noemen wij eene echo. Bijaldien de omstandigheden gunstig zijn, kan zulk eene echo niet alleen woorden, maar ook geheele volzinnen herhalen; vooral zijn de streken van de quaderzandsteen-formatie met regelmatige, steile en groote wanden, gelijk



in Saksisch Zwitserland, Adersbach enz. bekend door talrijke echo's — tot groot ongerief der reizigers, daar de vindingrijkheid er op uit geweest is om van deze eigenschap der natuur partij te trekken en door middel van allerlei kras- en rateltuig het oor der vreemdelingen te vergasten op geluiden, bij welke de ketelmuziek nog een uitgezocht concert geeft. Beroemd is de echo der Lurley-rots, alsmede die op het slot Simoneta bij Milaan, waar door de herhaalde terugkaatsing een schot tot bijna 50 keeren herhaald wordt. Merkwaardig en vermaard is ook de echo op de voormalige, thans met Hofrust vereenigde buitenplaats Rustwijk bij Muiderberg, waar geheele redenen woord voor woord worden herhaald door eene echo, die verwekt wordt wanneer spreker en hoorder ieder op eene bepaalde plaats gaan staan. Door deze twee bijzonderheden onderscheidt zich deze beroemde echo van alle andere bekende op eene zeer merkwaardige, nog niet geheel verklaarde wijze.

Gebogene oppervlakten kunnen de afzonderlijke geluidsstralen evenzoo vereenigen als holle spiegels het licht, en zooals men weet wordt hiervan gebruik gemaakt bij het bouwen van concertzalen, schouwburgen en dergelijke gebouwen. Men zorgt er niet alleen voor de wanden te vervaardigen van zoodanige zelfstandigheden, die zoo weinig mogelijk het geluid opslorpen en onderdrukken, terwijl men, zooveel mogelijk, hoeken, pilaren en dergelijke geluidsbelemmeringen vermijdt; maar men tracht zich ook door zooveel doenlijk den elliptischen vorm te volgen, de wetten der geluidsterugkaatsing ten nutte te maken. De ellips heeft namelijk twee brandpunten. Alle stralen die van het eene brandpunt uitgaan, worden door den binnenomtrek zoo teruggekaatsd, dat zij alle op hetzelfde oogenblik in het andere brandpunt bijeenvallen; daardoor gaat zoo weinig van het geluid verloren, dat in eene zuiver elliptische ruimte op de bepaalde plaats het op de andere zachtst gesproken woord duidelijk gehoord wordt. De verraderlijke trappen, vensters en zalen, die bouwmeesters van vroegeren tijd dikwijls met groote moeite in kasteelen en andere gebouwen hebben aangebracht, zijn daarvan duidelijke bewijzen, en vermaard is het zoogenoemde oor van DIONYSIUS, eene tot gevangenis ingerichte spelonk, waarin naar men verhaalt de staatsgevangenen nooit een woord spreken konden zonder beluisterd te worden. Eveneens is bekend de zoogenoemde whispering-gallery (fluister-gaanderij) in den koepel der St.-Paulskerk te Londen, waar twee punten zijn, op een van welke men een op grooten afstand in het andere punt gefluisterde woord duidelijk hoort. Men verhaalt ook van eene kerk, die eene soortgelijke eigenschap had, welke daardoor aan het licht kwam, dat iemand in een ander gedeelte der kerk hoorde, hoe in den biechtstoel eene vrouw hare ontrouw beled.

Waar de geluidsgolven door zijwanden genoodzaakt worden zich slechts in ééne richting voort te planten, wordt hare kracht bijeengehouden en het geluid veel verder gedreven. De beroemde Fransche natuurkundige BIOT heeft proeven genomen met buizen, die voor eene waterleiding te Parijs werden gelegd. Hij plaatste zich in een stillen nacht aan het eene uiteinde eener buis van 900 meter lengte, en liet aan het andere uiteinde onderscheidene instrumenten spelen, spreken en geluiden van onderscheidene sterkte voortbrengen; hij kon niet bespeuren, dat eenig geluid door het afleggen van dien langen weg iets van zijne kracht verloren had; de zachtste toon werd duidelijk gehoord, en het eenige middel om niets te hooren, was, gelijk hij zich uitdrukt, dat aan het andere uiteinde der buis geen geluid gegeven werd.

Sedert lang heeft men van zulke waarnemingen gebruik gemaakt tot het vervaardigen van spreek- en hoorbuizen. In een oud werk, ten jare 1516 uit het Arabisch vertaald, te Rome gedrukt en ten onrechte aan ARISTOTELES toegeschreven,



wordt verhaald, dat ALEXANDER DE GROOTE een horen zou gehad hebben, met welken hij zijn leger op 100 stadiën afstand kon bijeenroepen; waarlijk, dat was wel een krijgshoren als die van den fabelachtigen ROLAND, waarop hij in het dal van Ronceval voor het laatst blies; maar het was geen spreektrumpet, die de woorden verstaanbaar overbrengt. Zulk een werktuig werd het eerst uitgevonden door den ridder SAMUËL MORLAND in 1670; hij nam er proeven mede te Deal, in tegenwoordigheid van den Engelschen koning KAREL II en van prins ROBERT. Hij bediende zich daartoe van eene koperen buis, ter gedaante van een afgeknotten kegel, 1,68 m. lang, aan het eene uiteinde 5 centim., aan het andere 52 centim. wijd. Een geluid, door deze buis voortgedreven, was op een afstand van 3 Eng. mijlen (1 uur gaans) hoorbaar. Twintig jaren vroeger had reeds de bekende ATHANASIUS KIRCHER een toestel aangeprezen om hardhoorigen in het verstaan te hulp te komen; deze bestond mede uit eene kegelvormige buis, welker nauwste uiteinde in het oor werd gestoken, terwijl de spreker den mond nabij het trechtervormige uiteinde brengen moest. KIRCHER heeft echter eerst later doen opmerken, dat als deze hoorbuis wordt omgekeerd en men aan de nauwe zijde spreekt, zij ook als spreekbuis te gebruiken is. In onzen tijd heeft de spreekbuis door de verschillende wijzen van telegraphieeren het nut, dat zij vroeger had, grootendeels verloren, hoewel de zoogenoemde spreektrumpet nog niet geheel buiten gebruik is op schepen, gelijk mede op hooge bergen of torens, om bevelen of boodschappen naar beneden te zenden, terwijl men ook de spreekbuizen, door welke men uit het eene vertrek van een huis naar het andere (b. v. in restauratiën uit de zaal naar de keuken) spreekt, tot deze toestellen rekenen kan.

De hoorbuis of hoortrumpet daarentegen heeft eene blijvende waarde en is in zeker opzicht voor het oor, wat het vergrootglas of de bril is voor het oog. Deze trompet bestaat uit eene buis, aan de voorzijde eenigermate kegelvormig, met eene verwijding aan den mond; zij beoogt eene grootere menigte geluidsgolven op te nemen en als het ware tot een bundel vereenigd naar het oor te zenden; doch hare bruikbaarheid beperkt zich tot hen, die nog niet „doof”, maar slechts „hardhoorend” zijn. Veel meer waarde hebben de geta-perdscha buizen, die door hare buigzaamheid allergemakkelijkst in het gebruik zijn, terwijl het door verbinding van onderscheidene mondstukken met eene hoofdbuis zelfs mogelijk is gemaakt, vrij doove menschen het genot van het deelnemen aan de gesprekken eener geheele tafel mogelijk te maken.

Reeds hebben wij de geluidsstralen met de lichtstralen vergeleken; die vergelijking heeft niet alleen betrekking op de wijze van voortplanting en terugkaatsing, want wij kunnen de overeenkomst nog verder opmerken en zullen dan, de verschillende bestanddeelen van het zonlicht kennende als onderscheiden in duurzaamheid en breekbaarheid, dergelijke eigenschappen in de geluidsstralen aantreffen.

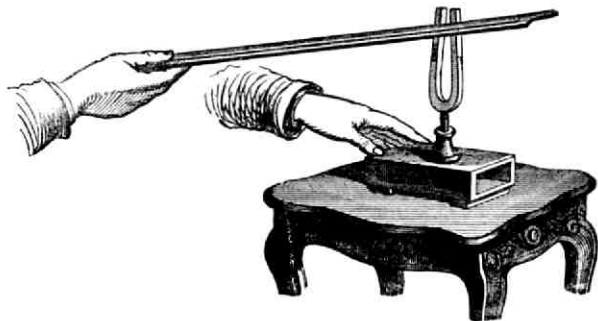
Een kanonschot, een voorbijrijdende wagen, een blatende kudde, een rollende donderslag — deze verschillende geluiden geven aan ons oor indrukken, die zich eenigermate laten vergelijken met hetgeen voor het oog het zonlicht, een vuurpijl, de bliksemstraal enz. zijn.

Doch evenals het licht in zijn oorspronkelijken toestand uit bepaalde bestanddeelen bestaat, zoo zijn de opgenoemde geluiden ook geene onsamengestelde golven: zij bestaan integendeel uit talrijke, naast elkander bestaande en regelmatige schommelingen, van welke elke, evenals de slinger van een uurwerk, eene eigenaardige beweging heeft, van andere onderscheiden door de grootte en de snelheid der slingeringen. Zulke regelmatige slingeringen brengen dat geluid teweeg, hetwelk men een toon noemt. Een toon staat tot het geluid,

gelijk eene kleur tot het witte licht. Evenals eene kleur het gevolg is van eene ontbinding der lichtstralen, zoo ook de toon van eene des geluids. Wij spreken van hooge en lage tonen, en deze uitdrukking wijst eenvoudig op het verschil in snelheid, waarmede de geluidsgolven op elkander volgen. De toon geeft ons eene bepaalde gewaarwording, terwijl het enkele geluid zoo iets niet teweegbrengt; en zoo zien wij dan ook hierin, gelijk overal in de natuur, dat alles te voldoen heeft aan den schoonen regel der orde, dat het willekeurige alle schoonheid mist, en dat harmonie en wetsgehoorzaamheid eigenlijk hetzelfde zijn.

Tot het onderzoek nopens den aard der tonen leent zich niets zoo goed als de zoogenoemde syrene, bestaande in een tandrad, tegen welks tanden men met eene enge buis blaast. Wanneer het rad draait, snijdt iedere tand den luchtstroom en houdt dien een oogenblik op. Zoolang de tand zich voor de opening der buis bevindt, wordt de lucht in de laatste verdikt, en door deze afwisseling ontstaan golven, die elkander te sneller opvolgen naarmate het rad met grooter snelheid omwentelt. Men kan het getal golven in een gegeven tijd bepalen en heeft bevonden, dat de laagste toon 33 slingeren in de seconde maakt; in de muziek duidt men dezen toon aan door groot C. Slingerings die nog langzamer zijn, openbaren zich slechts als afzonderlijke luchtbewegingen. De hoogste toon dien wij in staat zijn te onderscheiden, ontstaat door 24,000 slingeren

in de seconde. Wat dit getal te boven gaat valt buiten het bereik van onze gehoorwerktuigen. Overigens weten wij, dat elk elastiek lichaam geschikt is tot het voortbrengen van een muzikalen toon, bijaldien het namelijk in staat is om de lucht door snelle, regelmatige slingeren in eene door plotse-

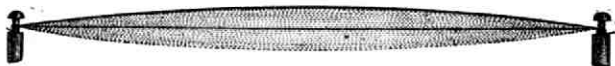


lijke verdunning en verdikking ontstane golfbeweging te brengen. Indien men tegen eene stemvork of eene klok slaat, of er met een strijkstok tegen strijkt, hoort men een toon. Door den slag zijn slingeren ontstaan, welke ten gevolge der elasticiteit van het staal of glas gelijkmatig voortduren en welke men gemakkelijk kan voelen, als men den steel der stemvork tegen de tanden houdt, of den rand van het glas met de punt van den vinger aanraakt; ja men kan de slingeren der stemvork door haar zelve laten aanduiden, als men aan het eene been eene stift vastmaakt en die tegen een voorgeschoven blad papier laat stooten. De slingeren kunnen ontstaan uit een enkelen stoot of slag, gelijk in dit geval; of aanhoudend voortgaan, gelijk in de viool en de blaasinstrumenten.

Eene gespannen snaar wordt door den met hars bestreken strijkstok uit hare rust getrokken; zij wil den oorspronkelijken toestand hernemen, maar wordt wederom door den strijkstok aangeraakt, en dienvolgens maakt ze honderden en duizenden slingeren in de seconde, en elke slingering veroorzaakt eene nieuwe luchtgolving, welke luchtgolven te zamen den toon voortbrengen. Bij de blaasinstrumenten zijn het de elastieke lippen of de slingerende tongetjes, veeren en plaatjes, die door de samengedrongen lucht bij het blazen in beweging gebracht worden; in sommige gevallen ook eigenaardige bewegingen van den luchtstroom, die wij later gelegenheid zullen hebben te behandelen.

Hoe de op deze onderscheidene oorzaken van het ontstaan der tonen rustende muziek-instrumenten onderling ook mogen verschillen, toch liggen bij alle zekere algemeene natuurbeginselen ten grondslag, omtrent welke ons het allereenvoudigste snaren-instrument, het monochorde, het noodig onderricht geven kan.

Het monochorde heeft, gelijk de naam aanduidt, ééne eenige snaar; deze is tot versterking van den toon op eene holle houten doos, een zoogenoemden klankbodem, gespannen. Het instrument kan ook twee snaren hebben. De snaar (of beide) ligt in het midden vrij op twee latten of zoogenoemde bruggen, en kan door het onderschuiven van een klein bruggetje of kammetje naar welgevallen korter gemaakt worden; de klankbodem heeft eene maatverdeeling. Wanneer de snaar met den strijkstok gestreken of met den vinger in beweging gebracht wordt, maakt zij zij- of zoogenoemde transversaal-slingeringen. Het punt der grootste afwijking ligt midden tusschen de beide spanpunten; bijaldien er twee snaren zijn en beide snaren even lang, even dik, even elastiek en even sterk gespannen, zullen zij ook in denzelfden tijd evenveel slingeringen maken. Maar zoowel de slingeringsruimte als de snelheid verschillen naargelang de dikte, het specifiek gewicht of de spanning der eene snaar verschilt van die der andere. Ten aanzien van dit verschil bestaan vaste en eenvoudige wetten, aangaande welke het monochorde ons langs den proefondervindelijken weg inlichting geeft. De spanning meet men het gemakkelijkst door het eene uiteinde der snaar over eene rol te laten loopen en met gewicht te bezwaren; men bevindt dan dat het aantal slingeringen eener snaar in evenredigheid staat tot den vierkantswortel uit dat hetwelk het gewicht voorstelt. Wanneer eene snaar, met een gewicht van één kilo bezwaard, 64 slingeringen in de seconde maakt, zal zij bij 4 kilo gewicht 128 slingeringen maken. Im-



mers de vierkantswortel van 4 is 2, met welk getal dus het getal slingeringen (64) moet vermenigvuldigd worden; zoo zou dezelfde snaar, met 9 kilo bezwaard, 3 maal  $64 = 192$  slingeringen in de seconde maken enz. Hieruit volgt, dat eene sterk gespannen snaar eene veel grootere drukking moet uitoefenen op de brug of kam waarop zij rust, ingeval zij overigens van dezelfde gesteldheid is, dan bij spanning tot lagere tonen. Doch om eene zekere gelijkheid van spankracht teweeg te brengen, is men daarom genoodzaakt de andere omstandigheden die invloed hebben op de hoogte van een toon te veranderen: lengte, dikte en zelfstandigheid. Het gewicht der snaar is in zooverre van invloed, dat de elastieke kracht wel het geheel te bewegen heeft, maar dit te spoediger gedaan wordt en dus meer slingeringen veroorzaakt, naarmate zij lichter, van geringer doorsnede is, en omgekeerd. De slingeringsgetallen van snaren van gelijke zelfstandigheid staan bij gelijke lengte en gelijke spanning tot elkander in de omgekeerde reden van hare dikte; doch ingeval de snaren van verschillende stoffen zijn, staan de slingeringsgetallen bij overigens gelijke omstandigheden in de omgekeerde reden der vierkantswortels uit elks specifiek gewicht. Daarom zijn de laagste snaren van guitars, violoncelen enz. met een metalen draad omspannen, die haar gewicht vermeerdert en de slingeringen verlangzaamt.

Deze verhoudingen komen echter minder in aanmerking bij het behandelen dan bij het vervaardigen der muziek-instrumenten. Ten einde niettemin bij violen, guitars, citers en dergelijke instrumenten uit eene in bepaalde spanning gebrachte snaar verschillende tonen te doen voortkomen, neemt men zijne toevlucht tot het inkorten van het slingerend gedeelte der snaar.



Naarmate eene snaar korter is volbrengt zij hare slingeringen sneller. Wanneer b. v. eene snaar 40 slingeringen maakt als zij over hare geheele lengte slingert, zal zij er 80 maken als men door het onderschuiven van een kammetje in het midden de snaar de helft korter maakt; viermaal zooveel, d. i. 160 slingeringen, als men slechts  $\frac{1}{4}$  van hare lengte laat slingeren enz. Uit deze omgekeerde verhouding van de slingerings- en lengte-getallen blijkt de reden, om welke men door het zetten van den vinger op verschillende punten eener snaar eene menigte verschillende tonen uit haar lokken kan; want als men den vinger op de snaar drukt en haar tegen het hout brengt, verkort men haar. Geene snaar kan lager toon geven dan als men haar over hare geheele lengte laat slingeren.

Gelijk elke kleur op zich zelve wel goed is, maar eerst door samenvoeging met andere een minder of meer aangename indruk op ons oog maakt, zoo is ook één toon op zich zelf geen voorwerp eener bijzondere bruikbaarheid; eerst door bijeenvoeging van verschillende tonen ontstaat eene toonspraak, die ons genot en aangename gewaarwordingen verschaft. Deze samenvoeging van tonen, 't zij de vereenigde werking van gelijkklinkende, 't zij de afwisseling door opvolgende klanken, heeft haar waren grond in eenvoudige wiskundige betrekkingen, in welke de slingeringsgetallen tot elkander staan.

Muzikale intervallen en toonladders. Als wij een steen in den vlakken waterspiegel van een vijver werpen, zien wij dat er kringvormige golfjes van dat punt naar den oever loopen. Denken wij ons nu een tweeden steen op dezelfde plaats in het water geworpen, die echter golfringen van dubbele snelheid veroorzaakt, dan zal in den regelmatigen loop der eerste, grootere kringgolven geen onregelmatigheid ontstaan. Het begin en het einde van elke zal ook door een aanvang en een einde van de tweemaal zoo kleine worden aangeduid en zich ten hoogste daardoor des te duidelijker kenbaar maken. Wanneer echter de tweede steen in denzelfden tijd, waarin de eerste twee golfjes deed ontstaan, er drie veroorzaakt, zullen de samenvallingspunten eerst na twee grootere golfringen liggen, en binnen dien omtrek de beide golvingen elkander veel meer storen dan vroeger. En zoo verder. Hoe samengestelder de onderlinge verhouding der golfringen is, des te meer ontstaat er eene ongeregelde golving, waarbij de ringen niet meer te onderscheiden zijn en geheel door elkander slingeren, maar ook des te ongeregelder den oever bereiken.

Ons oor nu is eenigermate de oever, tegen welken de kringen der toongolvingen botsen, en dezelfde wederkeerige samenvloeiingen, die twee golfringen op elkander uitoefenen, hebben ook plaats in het voortloopen der luchtgolven die door het gehoorwerktuig worden opgevangen.

Het geheel eener verbinding van tonen is des te aangener, naarmate de golfbeweging regelmatiger is, terwijl uit het opgemerkte volgt, dat de verhouding van twee tonen, tot elkander staande als 1:2, de redelijkste is, omdat zij de eenvoudigste is. Deze betrekking wordt in de muzikale kunstspraak aangeduid door het woord octaaf. De onderlinge afstand van twee tonen met betrekking tot hunne slingeringsgetallen heet in het algemeen een interval. De octaaf is eene zoo eenvoudige betrekking, dat men zelfs de beide tonen als gelijkwaardig aanmerkt en alle mogelijke intervallen tot de verhouding 1:2 terugbrengt. Men vindt haar op het monochorde, als men de beweegbare kam zoo plaatst, dat aan de rechterzijde der snaar  $\frac{2}{3}$  en aan de linkerzijde  $\frac{1}{3}$  van hare lengte valt; alsdan geeft het langste gedeelte eene octaaf lager dan het kortere. Schuift men de kam zoo, dat aan de rechterzijde  $\frac{3}{4}$  en aan de linker-  $\frac{1}{4}$  der snaar komt, dan staan de slingeringsgetallen in de verhouding 2:3 en wij bekomen dan het eenvoudigste

interval: de quint. Voorts 3:4 de quart; 4:5 de groote tert; 5:6 de kleine tert, enz.

De muzikale behoeften der volken hebben in den loop des tijds steeds samengestelder betrekkingen voor de immer toenemende verfijning leeren vinden, zoodat bij ons van lieverlede tusschen twee octaven een zeventallige toonladder ontwikkeld is, welks intervallen voor een grondtoon van 24 slingeringen zich in de volgende verhoudingen bewegen:

1	2	3	4	5	6	7	8
24	27	30	32	36	40	45	48
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2

De onderste getallen, meest breuken, geven de verhouding der slingeringsgetallen tot den grondtoon op. Bij deze toonladder liggen de eenvoudige intervallen: grondtoon, quint, quart, groote tert, kleine tert, octaaf ten grondslag. Bij de meeste tonen komen de quint en de groote tert als de eerste intervallen in de harmonische boventonen *C e g e e* vooral uit; zij vormen in zelfstandige vereeniging met den grondtoon den eenvoudigsten harmonischen klank: den drieklank in *Duur*. De nog overblijvende intervallen tusschen grondtoon en groote tert, sext en octaaf worden, als voor eene aangename opklimming te ver van elkander liggende, aangevuld, door van den grondtoon een nieuwen drieklank (grondtoon, tert en quint) te doen uitgaan en die quint eene octaaf lager te leggen.

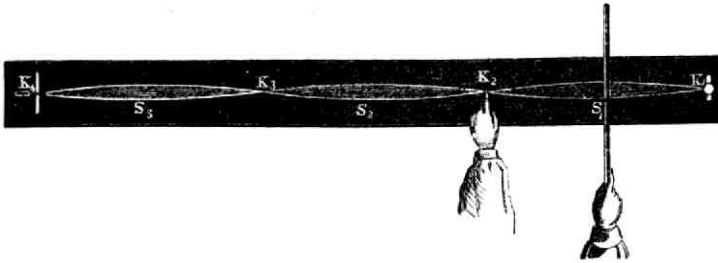
Naast de groote tert 4:5 onderscheidt zich door hare groote eenvoudigheid de verhouding 5:6, zijnde de kleine tert; zij is dienvolgens het uitgangspunt van eene andere toonladder, die in *Mol* geworden.

In de *Dur*-ladder is de overgang van de tert tot de quart en van de sextime tot de octaaf kleiner dan de overige; deze intervallen heeten halve tonen, dewijl men tusschen de overige tonen telkens een dergelijk interval invoegen kan. De overgang binnen eene octaaf van halve tot halve tonen is de chromatische toonladder. Doch wij kunnen door het voortgaan met deze beschouwingen niet van ons bestek afwijken. Dit slechts willen wij nog opmerken, dat ons toonstelsel in zijne tegenwoordige inrichting, met zijn *Dur*- en *Mol*-toonladder, hoezeer vatbaar voor eene juiste wiskundige voorstelling, met dat al niet de eenige in de natuur mogelijke is. Eene bepaalde ontwikkeling en smaak hebben het in het leven geroepen, en zoo ons de muziek van vreemde op andere grondregelen voortbouwende volken niet bevalt, hebben wij nog in geenen deele recht om haar leelijk te noemen. Gelijk wij onzen smaak gewend hebben aan bepaalde toonopvolgingen, zoo moeten wij ook aan anderen het recht toekennen om evenzoo op hunne wijze andere toonopvolgingen te bezitten.

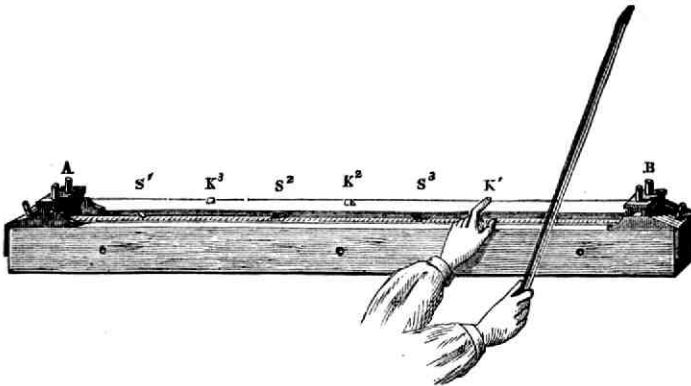
De vroeger vaak onjuist opgevatte verhoudingen van muzikale ontwikkeling hebben eerst in den nieuwsten tijd eene classieke voorstelling gevonden in *HELMHOLTZ'* leer der klankgewaarwordingen; deze arbeid, die grooten opgang gemaakt heeft, moet daarom vooral hier genoemd worden, dewijl niet alleen de theorie der muziek er een vasten grondslag door erlangt, maar ook de practische voorschriften tot het vervaardigen en behandelen van instrumenten er uit voortvloeien.

**Slingeringsknoopen.** De zoogenoemde flageolet-tonen der snareninstrumenten geven ons aanleiding tot eenige belangwekkende opmerkingen. Gelijk men weet liggen zij veel hooger dan die, welke voortgebracht zouden worden door eene over hare geheele lengte slingerende snaar; zij ontstaan daardoor, dat men de snaar op een bepaald punt vasthoudt en dus teweegbrengt, dat deze zich in gelijke deelen verdeelt, van welke ieder afzonderlijke slingeringen aanneemt. Eene voorwaarde daarbij is, dat de afstand tusschen het eindpunt *K* en

het punt van vasthouding deelbaar zij in de volle lengte en dus ook het overgeblevene gedeelte der snaar (zie  $K_2$  en  $K_4$ ); men behoeft er dan slechts even den vinger op te houden om dit punt onbeweeglijk te maken; de overige punten blijven dan van zelf in rust en worden slingeringsknoopen genoemd. Terwijl in de onderstaande figuur nog slechts één slingeringsknoop ontstaat:  $K_2$ , komen er bij het vasthouden van  $\frac{1}{4}$  der snaar (zie tweede afbeelding) twee:  $K_2$  en  $K_3$ ; wanneer men op deze gedeelten kleine stukjes kaartblad zet, blijven deze stil zitten, terwijl zij van de daartusschen liggende gedeelten der snaar ( $S_1$ ,  $S_2$  en  $S_3$ ) afvallen.



Gelijk reeds is opgemerkt, is deze verdeling, welke de snaren zelve bewerkstelligen, in de muziek van veel gebruik. De lichte aanraking eener snaar ter plaatse waar men den vinger zetten moet om eene quint te erlangen, geeft eene hooge octaaf; de lichte aanraking der quart de hooge duodecime; die der groote terts de hoogere dubbele octaaf, enz. Slingeringsknoopen ontstaan niet alleen in slingerende snaren, maar ook in slingerende kolommen en slingerende platen; wij komen bij het behandelen der vervaardiging van muziek-instrumenten op dit onderwerp terug. Het aangaande platen of platte vlakken gezegde brengt ons op



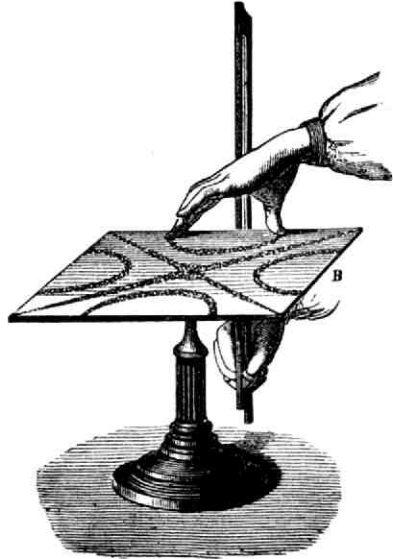
de klankfiguren van CHLADNI, van welke men op de afbeeldingen bladz. 11 het ontstaan der verschillende gedaanten ziet.

Eene plaat, om 't even van welken vorm, mits een regelmatig, wordt op een punt vastgemaakt, met fijn zand bestrooid en door middel van een vioolstrijkstok in trilling gebracht. Op alle trillende punten geraken de zandkorreltjes in eene levendige springbeweging, ten gevolge waarvan zij tot regelmatige figuren lijeenschuiven, welker middelpunt gelegen is ter plaatse waar de plaat is vastgemaakt. Men kan veranderingen in de figuren veroorzaken door hier of daar

de plaat met den vinger vast te houden en daardoor de trilling te beletten.

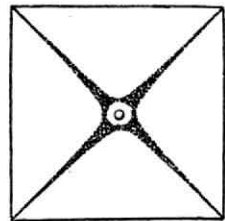
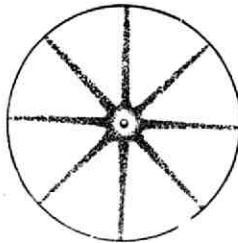
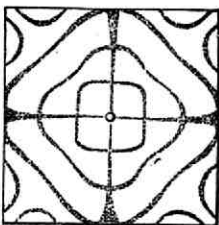
Boventonen. Deze opmerkingen zijn zeer belangrijk, dewijl datgene hetwelk wij hier opzettelijk en langs een bepaalden weg te voorschijn brengen, aanhoudend in de natuur van zelf ontstaat, zoodat wij kunnen beweren, dat een eenvoudige, onvermengde toon tot de allerezelzaamste natuurverschijnselen behoort. Doch van den graad en de soort der vermenging gaan de opmerkelijkste uitwerkselen uit.

Indien b. v. een vioolspeler op zijn instrument de eengestreepte C of eenigen anderen toon wilde doen hooren, zou hem dit met al zijne kunst onmogelijk wezen. Zoo vast en zeker kan hij niet grijpen, zoo handig niet met den strijkstok omgaan, dat geene andere tonen meer of minder medeklinken, daar de snaar zich zelve evenzoo verdeelt als bij de flageolet-tonen, of ook de overige bestanddeelen van het instrument klank voortbrengen, vooral ook daardoor, dat ten gevolge der ongelijke beweging van de snaar over hare geheele lengte kleine golvingen voortloopen, gelijkvormig aan de golvingen die wij zien ontstaan, wanneer aan het eene uiteinde van een gespannen koord een korte, sterke slag gegeven wordt. Al die onderscheidene omstandigheden veroorzaken afzonderlijke bijtonen, die alle samenvloeien tot dien éénen toon, welken wij in de muziek kortweg als vertegenwoordiger van de verlangde noot en ook daarom als een eenvoudigen toon aanmerken.



Staan de medeklinkende tonen onderling in eene onregelmatige verhouding, dan neemt de klank het karakter van gedruisch aan. Het suizen, bruisen, knarsen enz. bestaat wel uit regelmatig verloopende tonen, maar die onderling niet regelmatig genoeg zijn om tot een zuiver geheel ineen te smelten.

De bijtonen of boventonen — want zoo worden zij genoemd uithoofde van hunne hoogere slingeringsgetallen — van een in regelmatige trillingen gebracht



elastiek lichaam staan tot den grondtoon in een regelmatigen samenhang en de intervallen zijn altijd vaste, doch afhankelijk van de stof waaruit het trillende lichaam bestaat, ten deele ook van de meerdere of mindere spanning en de kracht met welke de beweging is veroorzaakt.

Voor gespannen snaren, opene buizen enz. worden de trillingsverhoudingen der boventonen door de volgende getallen uitgedrukt:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<i>c</i>	<i>e</i>	<i>g</i>	<u><i>c</i></u>	<u><i>e</i></u>	<u><i>g</i></u>	<u><i>b</i></u>	<u><i>c</i></u>	<u><i>d</i></u>	<u><i>e</i></u>	<u><i>f</i></u>	<u><i>g</i></u>	<u><i>a</i></u>	<u><i>ais</i></u>	<u><i>h</i></u>	<u><i>c</i></u>

Naarmate enkele van zulke boventonen buitengewoon sterk uitkomen, terwijl andere daarentegen zwakker worden of geheel verdwijnen, verandert de natuur van den klank, en de zoo te noemen klankkleur der verschillende instrumenten rust allermeeft op het verschillend uitkomen der hoogere deeltonen in de klanken, welke op het instrument worden teweeggebracht. Ja, het is zonderling dat de vorming der klinkletters, zelfs de rang in welken zij elkander opvolgen, met de opklimming van bepaalde boventonen in verband staat. Wanneer een zanger eene bepaalde noot zingt met de uitspraak *a*, laat hij door eene bepaalde werking in de mondholte geheel andere bijtonen hooren, dan wanneer hij er den klinker *o* of welken ook voor gebruikt. Bij de eenvoudige uitspraak der klinkers heeft hetzelfde plaats.

HELMHOLTZ heeft door zijne navorschingen niet slechts deze bijzonderheden in het licht gesteld, maar ook als proef daarvan door het bijeenmelten der benodigde tonen de klinkletters kunstmatig doen hooren. Hoewel de boven-tonen reeds lang aan de natuurkundigen bekend waren, heeft men er toch niet dat gewicht aan gehecht als tegenwoordig. Men had geene of hoogstens slechts zeer gebrekkige hulpmiddelen tot proefondervindelijk onderzoek, en hield dienvolgens veel voor eenvoudige tonen, wat men nu weet dat samensmeltingen van verschillende zijn. De inwendige inrichting van het oor is ook in nieuweren tijd eerst nauwkeurig genoeg onderzocht geworden, en daarmede is voor de gehoor-kunde (acoustiek) de weg geopend om zich uit de vernedering eene natuurkundige asschepoester tot den rang harer zusters te verheffen.

Verbindingstonen. Ontstaan de boventonen alle tegelijkertijd met den grondtoon en ligt hunne oorzaak in de toongevende lichamen zelve, er zijn ook omgekeerd tonen bemerkbaar, die eerst door het samenvloeiën van verschillende klankgolvingen in ons oor veroorzaakt worden. Deze zijn de zoogenoemde combinatie- of verbindingstonen, ook Tartinische genoemd naar den vermaarden vioolspeler TARTINI, die ze wel niet eerst ontdekt, maar er toch de aandacht meer bepaald op gevestigd heeft. De verbindingstonen ontstaan daardoor, dat ons oor de op ongelijke tijdstippen aankomende geluidsgolvingen tot één toon aaneenverbindt, en dientengevolge een eenigszins hoogerem toon hoort, welks slingeringsgetal de som van de slingeringsgetallen der gezamenlijke tonen is, en tevens daardoor, dat de afzonderlijke golven door interferentie versterkt, verzwakt of geheel vernietigd worden.

Gesteld dat een grondtoon en zijne terts op hetzelfde oogenblik geuit worden, dan valt de vierde golving van den eersten met de vijfde van den tweeden toon samen, en in hetzelfde oogenblik heeft eene ophooping der golvingen plaats. Geschiedt dit dikwijls genoeg in eene seconde, dan neemt het oor het geheel dier versterkingen, tusschen welke even zooveel verflauwingen liggen, als een nieuwen lageren toon op. Deze zijn zoogenoemde verbindings- (combinatie-) tonen, door SORGE, een Duitsch componist, omstreeks het jaar 1740 ontdekt. TARTINI heeft er zich nader mede bezig gehouden, en HELMHOLTZ ze verschil- (differenz-) tonen genoemd.

Wanneer de golfstroomingen niet snel genoeg op elkander volgen om als toon onderscheiden te kunnen worden, brengen zij slechts mechanische gewaarwordingen naar het oor over, welke te langzamer op elkander volgen naarmate de slingeringsgetallen der beide tonen nader bijeenliggen, en des te sneller naarmate zij onderling meer verschillen. De orgelmakers hebben hierin een zeer juist



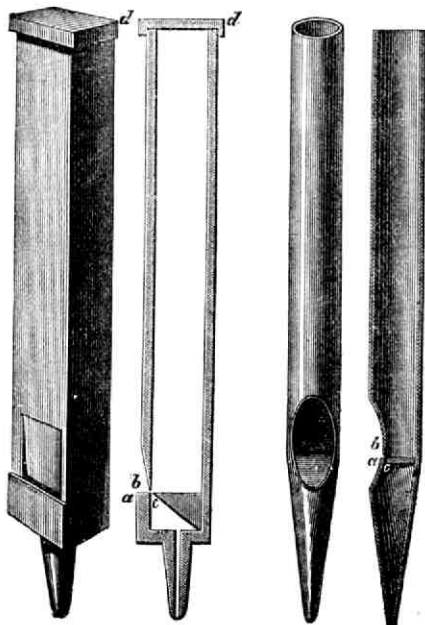
middel om de pijpen nauwkeurig in onderlinge verhouding te stemmen. Met deze verschijnselen hangt ook het zoo te noemen medespreken der snaren en pijpen samen. Wanneer men in den open bak van een klavier een bepaalden toon zingt, ontstaat een hoorbaar geruisch door het klinken van een groot aantal snaren, die ten gevolge der luchttrilling in beweging worden gebracht. In dit geruisch laat zich echter de gezongen toon merkbaar boven de andere onderscheiden, en deze toon klinkt nog voort als de andere reeds weggestorven zijn, dewijl op elke snaartrilling eene gelijktonige luchttrilling van den gezongen toon werkt, en door deze herhaalde kleine drukkingen de eerste steeds sterker worden aanzet. Alle andere snaren hebben slingeringen van andere snelheden; daarom kunnen de kleine, door luchttrilling ontstane stooten niet alleen niet in versterkenden zin werken, maar zij zullen nu en dan juist tegen elkander inwerken en den toon doen wegsterven.

**Slingerende luchtzuilen. Pijpen.** De blaas-instrumenten verschillen, zoo ten opzichte van hun uitwendig voorkomen als van behandelingswijze, grootelijks van de snaren-instrumenten, en toch rust hunne werking op hetzelfde beginsel van trilling. De golfvormige verdikkingen en verdunningen der lucht volgen elkander volkomen op dezelfde wijze op; alleen bestaat er verschil in de wijze van ze te doen ontstaan. Hare snelheid, waarvan de hoogte van den toon afhangt, verschilt naargelang van de lengte der trillende luchtzuil in het instrument, en deze staat in onmiddellijke verhouding tot de lengte van het instrument zelf, zoodat wij het beginsel van alle blaas-instrumenten kunnen terugbrengen tot eene eenvoudige rechte cilindervormige buis, in welke de lucht afwisselend verdikt en verdund wordt, gelijk het hoofdbeginsel van alle snaren-instrumenten in de heen- en wedergaande trillingen van eene gespannen snaar.

Wanneer wij in eene lange, aan de benedenzijde opene buis blazen, veroorzaken wij daardoor wel eene beweging der lucht in de buis, maar slechts eene, die gelijkmatig voortschrijdt en geene heen en weder slingerende, zooals tot het voortbrengen van een toon vereischt wordt. Zulk een kan b. v. worden teweeggebracht door eene aan den mond der buis trillende tong, die telkens als zij zich naar de buis beweegt, eene verdikking der voor haar liggende luchtdeeltjes veroorzaakt, en bij het terugtrekken eene verdunning. Men kan intusschen ook door de stootjes welke een luchtstroom ondervindt bij het stuiten tegen een tegenoverstaanden wand, eene luchtzuil tot trillen brengen, en die beide handeligen komen bij de vervaardiging van blaas-instrumenten in aanmerking. De trompet, de walddoorn, de bazuin, de klarinet en de fagot zijn voorbeelden van het eerste, de zoogenoemde tongwerken; daarentegen vertegenwoordigen de orgelpijpen in sommige registers, benevens de fluiten, het tweede. De afbeelding bladz. 14 maakt dit duidelijk. De eerste en derde figuur vertoonen het uitwendige, de tweede en vierde de doorsneden van orgelpijpen. In het benedeneinde wordt geblazen. Door een inlegstuk C geleid, stroomt de lucht naar den mond *a b* en ondergaat hier door stuiten tegen den bovenkant *b* eerst eenige verdikking. Deze duurt echter niet lang, daar zij terstond een uitweg naar buiten vindt; door de nastroomende lucht wordt echter hetzelfde gedurig herhaald, en alzoo ontstaan gedurige en snelle afwisselingen van luchtverdikking en verdunning. De daardoor veroorzaakte trillingen deelen zich mede aan de lucht in de pijp en trachten haar in dergelijke beweging te brengen. Daar echter de luchtzuil in de pijp het gemakkelijkst in haar geheel trilt, werkt zij door hare zwaardere bewegingen op de snelheid der aan den mond ontstaande golvingen, en geeft aan deze eene bepaalde snelheid. Iedere pijp heeft dienvolgens haar eigen toon, welks hoogte afhangt van de lengte der in de buis trillende luchtzuil, met andere woorden: van de lengte der buis zelve.

Het is klaarblijkelijk, dat iedere stoot, elke verdikking, die uit het punt *a* op de luchtzuil in de pijp werkt, zich in de geheele lengte van de laatste als eene verdikkingsgolving moet voortbewegen, totdat zij het gesloten uiteinde *a* der vierkante pijp bereikt; aldaar wordt zij teruggekaatst en keert naar de opening terug. De onderste luchtlaag bij *d* blijft daarbij in rust; aldaar ontstaat een trillingsknoop. De toon dien een gesloten pijp van  $\frac{1}{2}$  Par. v. lengte geeft, komt volkomen overeen met dien der syrene bij 512 stooten. In de lucht echter legt het geluid 1024 Par. v. in de seconde af, en daar de lengte der golvingen gelijk moet zijn aan de ruimte over welke zich het geluid gedurende de slingering van een luchtdeeltje voortplant, zoo moet iedere der golvingen die den aangeduiden toon doen ontstaan,  $\frac{1}{512} \cdot 1024 = 2$  voet lang zijn, en de lengte eener van boven geslotene zoogenoemd „gedekte” pijp bedraagt bijgevolg slechts  $\frac{1}{4}$  van die der golvingen, welke haren grondtoon veroorzaken. De hoogte van den toon is alzoo omgekeerd aan de lengte der buis.

Bij opene pijpen, gelijk de afgebeelde ronde, wordt de slingeringsknoop in het



midden gevormd; om denzelfden toon voort te brengen moet derhalve de opene pijp tweemaal zoo lang zijn als de gedekte. Dewijl de van hare hoogte afhangende trillingsnelheid eener pijp eerst de snelheid van den aan het mondstuk plaatsgrijpenden stoot regelen moet, spreekt eene dergelijke pijp niet oogenblikkelijk aan, doch zij vat zeer spoedig den toon.

Evenals de snaar der viool zich onder bepaalde omstandigheden uit zich zelve verdeelt en over hare lengte trillingsknopen doet ontstaan, zoo hebben ook de toongevende luchtzuilen onder bepaalde omstandigheden de eigenschap om zich in onderscheidene afdeelingen te splitsen, en dienvolgens hogere tonen te laten hooren. Het spreekt van zelf, dat men met een instrument altijd slechts een en denzelfden toon zou kunnen doen hooren, bijaldien de luchtzuil in eene pijp altijd slechts tot ééne wijze van trillen in staat

ware. Door de aangeduide eigenschap der trillende luchtzuil wordt intusschen de bespeler in staat gesteld om de verschillende tonen te doen hooren. Zulk eene behandeling echter onderstelt veel oefening en een fijn muzikaal gehoor, en vandaar dat men veel minder personen vindt die een blaas-instrument volkomen meester zijn, dan die het ver hebben gebracht in de behandeling van snaren-instrumenten.

De reeks van die hogere tonen, welke door de eigene verdeling der trillingen in eene opene buis ontstaan kunnen, wordt uitgedrukt door:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
			—	—	—	—	=	=	=	=	=	=	=	=	=
<i>C</i>	<i>c</i>	<i>g</i>	<i>c</i>	<i>e</i>	<i>g</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>b</i>	<i>g</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>c</i>

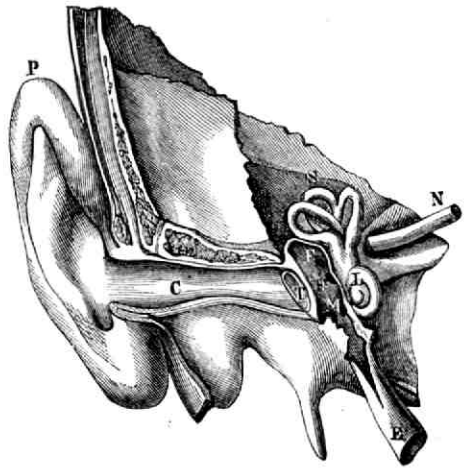
Verderop vallen de tonen nog meer samen. Aan alle blaas-instrumenten die uit ééne eenvoudige buis bestaan, maakt men die buis zeer lang, ten einde de boventonen zoo zuiver mogelijk te bekomen; zij worden daarom in hun grond-



toon zelden of nooit gebruikt. Daar het trillingsgetal der tonen zeer nauwkeurig bepaald is, kan men een instrument dat voor een bepaalden grondtoon vervaardigd is, ook niet wel voor een anderen toonaard bezigen. In de muziek zijn daarom bij deze soort van instrumenten ook verschillende exemplaren voor verschillende toonaarden in gebruik, die reeds op het oog daaraan te onderkennen zijn, dat zij des te langer zijn, naarmate de grondtoon lager is. Bij de horens b. v. zijn C-horens, F-horens, E-horens, bij de klarinetten C-klarinetten, D-klarinetten, B-klarinetten; voorts E-trompetten, Es-trompetten enz. Deze omstandigheid gedooft geen groote toonladder bij ieder afzonderlijk instrument, en dewijl de bespeler, bijaldien de muziek zich in verschillende toonaarden beweegt, telkens een ander instrument zou moeten nemen, en daar ook de eigenaardige klank van het eene niet die van het andere is, zijn deze instrumenten in eene harmonische muziek altijd eenigszins lastig. Men heeft er zich dienvolgens op toegelegd om instrumenten uit te vinden, die de voordeelen in zich vereenigen van op verschillende grondtonen gestemd te zijn, en is daarin op meer dan ééne wijze geslaagd.

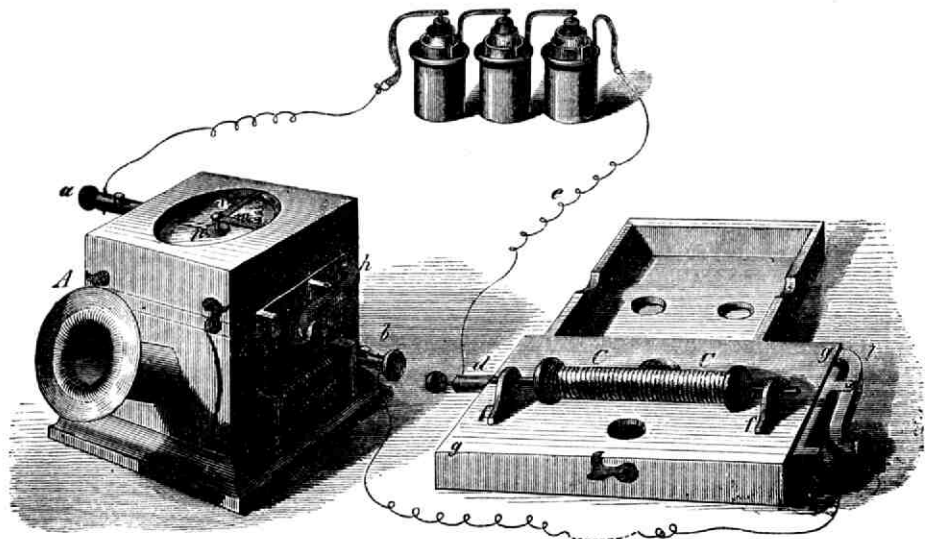
Het oor. In ons oor stooten de golvingen der lucht — en andere kunnen geen toon teweegbrengen — tegen het trommelvlies, een dun vlies, dat gespannen is voor de inwendige oorholte. Dit vlies neemt de trillingen op en brengt ze over op de overige inwendige deelen van het gehoorwerktuig, t. w. een beentje, dat de hamer genoemd wordt, die met zijn kop een gewricht vormt in het aanbeeld, dat door middel van een klein rond beentje verbonden is met een ander, den stijgbeugel, die met het breede einde aan het ovale venster sluit. Deze vier beentjes zijn begrepen in de holligheid van het trommelvlies, uit welke eene gemeenschapsbuis loopt naar de mondholte. Zij heet de trompet van EUSTACHIUS. Voorts heeft de holligheid van het trommelvlies door middel van het ovale venster gemeenschap met den doolhof, eene vochthoudende holte in het harde gedeelte van het slaapbeen. Aan dien doolhof nu deelen zich alle bewegingen der gehoorbeentjes mede, waardoor het vocht in eene heen en weder-gaande beweging geraakt, welke beweging in snelheid nauwkeurig overeenkomt met de hoogte van den toon die op de buitenzijde van het trommelvlies valt. Deze zuiver werktuiglijke bewegingen worden ten laatste door de gehoorzenuw opgenomen door middel van afzonderlijke vezelen, zoodat door een bepaalden toon ook altijd slechts bepaalde vezelen worden aangeroerd, en het is hierop dat de gewaarwording van het toonverschil rust.

Hoe de luchtgolvingen ook in getal en richting verschillen, toch heeft het oor zoodanige inrichting, dat het ze nauwkeurig kan onderkennen en onderscheiden in het gedruisch dat de buitenwereld onophoudelijk maakt, het rollen van een wagen, het lachen, spreken, het getjilp, gezang en geschreeuw der vogels, het tikken van een horloge, en honderderlei geluid in 'het dagelijksche leven, en dat wel als zich van alles door elkander laat hooren en allerlei geluiden tegelijk op het trommelvlies en de overige gehoorwerktuigen vallen. In dit opzicht is dat ge-



hoorwerktuig een hoogst bewonderenswaardig geheel, en veel fijner dan zelfs het oog. Want wanneer dit laatste zich vestigt op een waterspiegel, ten gevolge van het inwerpen van steenen op verschillende plaatsen bewogen in allerlei tegen elkander en naast elkander en over elkander loopende kringgolven, ziet het wel eene verwarde beweging, maar is niet in staat om den eenen kring van den anderen te onderscheiden. Wanneer daarentegen een stroom van tonen tot het oor komt uit een vol orkest, onderscheidt men niet alleen de verschillende instrumenten, maar een geoeffend oor onderkent ééne valsche stem, te midden van honderden zangers.

De telephonie. Het klinkt inderdaad wonderspreukig, als men verneemt dat het mogelijk is, door middel van den draad der electriche telegraphie op honderden mijlen afstands een gesprek te voeren, zoodat aan de eene zijde van den draad het oor met nauwkeurigheid opvangt wat de mond aan de andere zijde spreekt of zingt, even als stonden de beide personen in dezelfde kamer. En toch is die mogelijkheid reeds werkelijkheid geworden, ten minste in zoover, dat hetgeen er nog aan ontbreekt alleen een gevolg is eener onvolkomen samenstelling van het



werktuig, die met de voorhanden zijnde hulpmiddelen klaarblijkelijk kan en zal overwonnen worden.

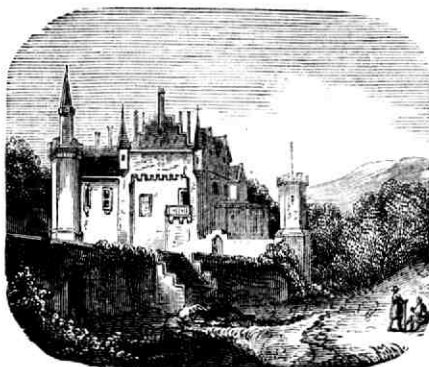
Het was eene gelukkige gedachte van REIS te Frankfort a/M. om de electriche telegraaf, gelijk zij een over zeeën en landen reikend oog was, ook tot een kunstmatig oor te willen maken. De electro-magnetische toestel in dit reusachtige gehoorwerktuig neemt de taak over der gehoorbeentjes, die de trillingen van het eene vlies naar het andere overbrengen, en het eenige onderscheid tusschen beide bestaat daarin, dat in het eene geval de luchtgolven op het trommelvlies worden veroorzaakt door spierbeweging, in het andere door trillingen in een ijzerdraad.

Wij geven hierboven eene afbeelding van den telephon van REIS. Hij heeft de volgende inrichting. Op het eene station bevindt zich een hol kastje, aan de voorzijde van eene spreekbuis voorzien, in welke de melodie wordt gezongen, welke op het andere station zal worden gehoord. Het kastje heeft aan de bovenzijde eene opening, strak bespannen met een vlies uit een dunnen varkensdarm vervaardigd. Op dit vlies ligt een zeer fijn platina-plaatje *p*, en daarop

bevindt zich de punt van een platina-veertje  $n$ , zoo geplaatst, dat het plaatje, wanneer het vlies in rust is, er juist door wordt aangeraakt, doch het plaatje verlaat zoodra het vlies in trilling komt. Door dit afwisselend aanraken en loslaten sluit of scheidt zich de electriche stroom die uit de Bunsensche batterij (van 3 of 4 elementen) door de klemschroef  $a$  in het platina-plaatje  $p$  en van daar naar het veertje  $n$  naar een tweede klemschroef  $b$  geleid wordt. Van  $b$  loopt de draad naar het andere station, loopt hier om de spiraal  $cc$  en van deze door de klemschroef  $d$  en den daarmede verbonden draad  $e$  in de batterij terug. In het midden der spiraal ligt een dunne ijzerdraad, met beide einden vastgemaakt in twee stijltjes, welke op den klankbodem  $gg$  rusten. De gedeelten  $hilk$  op beide stations behooren tot een seintoestel, door welken de opmerkzaamheid van den hoorder op het beginnen der mededeeling gevestigd kan worden.

Het overbrengen van den toon nu rust op het beginsel, dat het ijzeren staafje, telkens als het door den in de spiraal omloopenden electriche stroom magnetisch gemaakt wordt, in beweging geraakt. Hoe onbeduidend klein ééne beweging dier deeltjes ook is, toch is zij toereikende om door eene regelmatig snelle herhaling de gewaarwording van een toon teweeg te brengen, terwijl deze door middel van den klankbodem versterkt en hoorbaar gemaakt wordt. De opeenvolging der stroomingen hangt echter af van de trillingen in het vlies  $m$  op het eerste station, en dienvolgens moet er de nauwkeurigste overeenstemming van toon, hoogte en laagte bestaan tusschen den nabootsingstoestel op het andere, en den toon die in de buis A op het eerste station gezongen wordt.

REIS heeft met zijn toestel reeds in 1861 proeven genomen, en ze ten aanhoore van een grooten kring toehoorders herhaald. Eene melodie, met matige kracht gezongen, werd op een afstand van 300 voet duidelijk overgebracht. Sedert hebben ontelbare verbeteringen de werking zeer verhoogd, zoodat het vraagstuk van in de verte spreken theoretisch als opgelost kan worden beschouwd; zij het dan al dat de belangwekkende toestellen het nog zoo ver niet gebracht hebben, dat zij het een redenaar mogelijk maken tegelijk op eene willekeurige menigte ver van elkander gelegen plaatsen der aarde tal van toehoorders aan zijne lippen te doen hangen.





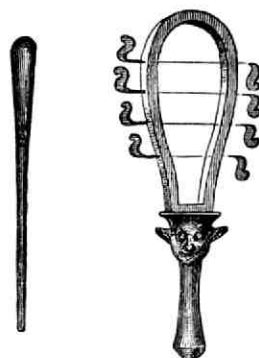
## De Muziek-instrumenten.

Maat-instrumenten. Castagnetten. — Tamboerijn. — Trom, enz. — Pauken. — Klokken en klokkenspel. — Melodie-instrumenten. De snaar-instrumenten. De harp en hare uitvinding. — De Egyptische harp. — De Davidsharp. — De pedaalharp. — De Eolusharp. — De luit, gitaar en citer. — De viool en dergelijke instrumenten. Hare geschiedenis. Theorie der viool. — Violoncel en contrabas. — Italiaansche violen. — STAINER. MITTENWALD. — De blaas-instrumenten. Trompetten en dergelijke instrumenten. Hunne inrichting en theorie. — De horen en bazuin. — Kleppen. — SAX en CERVENNY. — De fluit. — De klarinet. — De fagot. — Het stelsel van BÖHM. — Het orgel. Geschiedkundige bijzonderheden. Samenstelling van het orgel. Registers. Windladen enz.

**G**elijk bij alle volken de allereerste muziek ontstond uit zucht naar en welgevallen in eene maat of geregelde cadans, zoo vinden wij ook op de laagste trappen der beschaving bijna alleen zoodanige instrumenten, die door een daarop verwekt geluid de maat bij het dansen aangeven.

De maat-instrumenten. Van het ruwe houtblok, waarop de Fan-negers met houten knuppels slaan, tot de trommen en castagnetten, welker gebruik, hoezeer beperkt, echter niet geheel zelfs door de hedendaagsche Europeesche muziek versmaad wordt, zijn er eene menigte instrumenten, welker uitvoerige beschouwing, ook maar als voorloopers, niet valt in het bestek van dit werk. Als eigenlijke muziek-instrumenten staan zij op den laagsten trap; op zich zelven kunnen zij niet als middel tot uitdrukking van gewaarwordingen gelden. Daar echter in iedere muziek de maat evenzeer hare rechten heeft als melodie en harmonie, ja muziek zonder maat een onding is, zullen de maat-instrumenten altijd hunne plaats behouden.

In den oorspronkelijken vorm dezer instrumenten heeft de tijd geene wezenlijke verbeteringen weten aan te brengen, ja als wij de thans gebruikelijke vergelijken met die in den ouden tijd, zou men bijna zeggen dat in dezen achteruitgang is te bespeuren. Een groot aantal dergelijke instrumenten zijn, gelijk de hier afgebeelde kemkem of de Isis-klappen der oude Egyptenaars, voor ons nog alleen als voorwerpen van oudheidkunde in wezen. Intusschen hebben wij geen reden om ons te beklagen over een achteruitgang, die juist het gevolg is van smaakverfijning. Tegenwoordig bekleeden de maat-instrumenten nog slechts eene hoofdplaats in de muziek van die volken, welke hunne eigenaardigheden het meest onvervalscht hebben bewaard. De Spaansche volksmuziek bezigt bij de nationale dansen de castagnetten, holle houtjes in den vorm van noteschalen, die door middel van een koord om den vinger gebonden en op de maat tegen elkander geslagen worden. Daarbij dient de tamboerijn, een houten hoepel, met een blad perkament bespannen en dikwijls met schelletjes bezet, tot het maatslaan. Dit



instrument wordt bij het dansen gebruikt en in de linkerhand omhooggehouden, terwijl men het met de knokkels der rechtervingers klopt. Nauw verwant met de tamboerijn zijn de trommen in hare verschillende vormen, van de thans platte militaire af, tot de groote of Turksche. Zij bestaan alle uit een houten of koperen cilinder, aan beide zijden bespannen met een vel als dat van de tamboerijn, trommelvel genoemd.

Als metalen slag-instrumenten vermelden wij: de bekkens, koperen holle gesmede platen, die tegen elkander worden geslagen; den triangel, die uit een driekant, niet geheel gesloten stuk staal bestaat en aan een riempje of koordje in de hand gehouden, met een stalen staafje geslagen wordt; de halve maan met de schelletjes, die — gelijk aan het gewone sieraad, een paardestaart, te zien is — van de muziek der Janitsaren afkomstig is en door plotseling op- en nederrukken van den stok, waarop zij staat, geluid geeft; den Chineeschen tamtam, dien men beter uit nevensstaande afbeelding dan uit eene beschrijving leert kennen; en den gong, mede een Chineesch

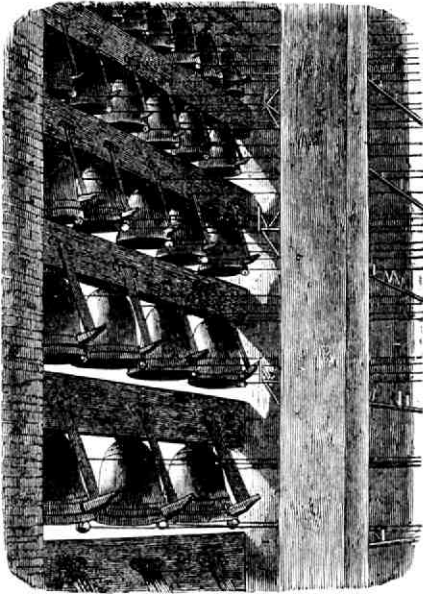


instrument, zijnde eene groote ellipsvormige trommel.

Geen der opgenoemde instrumenten onderscheidt zich door een bepaald kenbaren toon. Zij geven slechts klank, en uitdienhoofde is hunne muzikale waarde zeer gering. Overigens is de allernieuwste muziek in het bezigen van dergelijke voorwerpen weder veel verder gegaan, en de zucht om „effect te maken” heeft



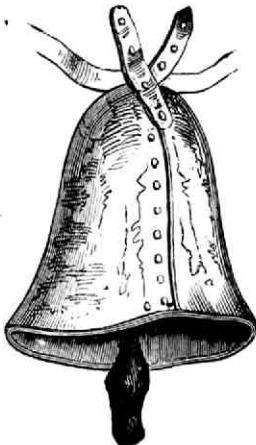
niet alleen aan schellen en anderen „levenmakenden” toestel plaats ingeruimd op het orkest, maar ook meer dan één componist heeft het voor eene schitterende zaak aangezien, de aandacht te trekken door het doen nabootsen van allerlei geluiden, zelfs het fluiten eener locomotief, het klappen eener zweep en dergelijke; kan dat den naam van vooruitgang dragen?



Een trap hooger, ofschoon met de opgenoemde nog verwant, staan die instrumenten, welke inderdaad reeds niet alleen maat-, maar ook toongevend zijn. Daartoe behooren hoofdzakelijk de pauken en het klokkenspel.

De pauken zijn tromvormige instrumenten; op een koperen ketel in den vorm van een halven kogel (waarnaar zij ook keteltrommen heeten) is een ezelsvel gespannen, dat met houten hammers geslagen wordt. Een paar zoodanige pauken behooren bij elkander. De toon kan door schroeven hooger of lager worden gestemd. Daar de pauken de beide hoofdtonen van het stuk waarin zij gebruikt worden, moeten aangeven, worden zij doorgaans paarsgewijze gebruikt, en wel zoo, dat de eene, zijnde de kleinste, den hoofdtoon, de andere, de grootste, een

langeren t. w. den dominant, aangeeft. De kleine wordt tusschen *f* en B, de groote tusschen *c* en F gestemd. Het spreekt van zelf, dat indien de componist in hetzelfde stuk de pauken in verschillende toon begeert te doen hooren, hij tusschentijd moet laten tot verstemmen door middel van de schroeven, of dat anders de orkestmeester voor meer dan één paar pauken, in de vereischte tonen gestemd, te zorgen heeft. Deze instrumenten, die niet alleen door slaan, maar ook door wrijving bespeeld worden volgens muziek, die in den bassleutel gesteld wordt, doen in het volle orkest eene zeer krachtige werking. BERLIOZ vooral heeft dit instrument zeer ontwikkeld.



Wat eene klok is behoeft niet te worden beschreven. Daar het vervaardigen van klokken eigenlijk bij de metaalgietery thuis behoort, zij hier alleen gezegd, dat de oudste klokken niet gegoten, maar van rond gesmede en vastgeklonken platen vervaardigd waren, gelijk men ziet in de nevensstaande afbeelding van de zoogenoemde Saufang in de Cecilia-kerk te Keulen, die uit de VI<sup>de</sup> eeuw herkomstig is.

De klokken zijn van Christelijken oorsprong. Volgens GRIMM is het Hoogduitsche woord *Glocken*, en dus ook het Nederlandsche klok ontleend van het oud-Duitsche woord *Clocha*, en dit weder van *clohen*, slaan, kloppen, afkomstig. In het Latijn noemt men ze *Campanae* of *Nolae*, naar sommigen willen omdat zij te Nola in Campanië zouden zijn uitgevonden; volgens anderen, omdat aldaar de beste grondstof tot het gieten van

klokken — klokspijs — gevonden wordt. De hoofdtoon eener klok hangt af van hare wijdte, dikte, zwaarte en de samenstelling der spijs. Doch elke klok geeft behalve haren hoofdtoon eene menigte boventonen, van welke vele zeer wanluident klinken. Daardoor en door de ontstaande combinatie-tonen, van welke men vooral bij het naklinken de lage hoort, erlangt het geluid zijn vollen toon. Daar het metaal zeer broos is en eene nabewerking op de draaibank met veel moeite en kosten gepaard gaat, is men er op uit om den verlangden toon terstond bij het gieten te treffen, en een goed stemmend geluid is uit dezen hoofde nogal kunstwerk. Klokkenspelen, samengesteld uit een grooter of kleiner aantal klokken, een toonladder uitmakende en in kerktorens opgehangen, werden vroeger meer dan tegenwoordig vervaardigd. Waarschijnlijk zijn de klokkenspelen ten jare 1477 te Aalst in Vlaanderen uitgevonden. Ons vaderland telt onderscheidene voortreffelijke: het vermaardste is dat in den toren der Nieuwe kerk te Delft, bestaande uit 38 klokken, dus ruim 3 octaaf. Nog drie klokken meer telt dat te Middelburg. Ook Arnhem, het paleis te Amsterdam, de domtoren te Utrecht, Goes enz., hebben uitmuntende klokkenspelen.

Het klokkenspel wordt op twee verschillende wijzen in werking gebracht. Elke klok heeft een hamer, voorzien van een ijzerdraad. Deze ijzerdraden komen uit een soort van klavier, de klavierbalk genoemd. De toetsen worden nedergedrukt, of met de hand, of door eene trommel. Het eerste, waarvan wij eene afbeelding geven, is het zoogenoemde beieren en geschiedt door de stads-klokkenisten bij feestelijke gelegenheden, op marktdagen enz. Men slaat op de toetsen met de pinkzijde der half gesloten hand, die van dikke handschoenen voorzien is; ook treedt men tevens een pe-



daal. Zeer onlangs heeft een Maastrichtenaar, met name F. SMULDERS, eene allernuttigste uitvinding gedaan, namelijk het vervaardigen van een handklavier, waardoor het klokkenspel op de wijze eener piano met veel gemakkelijker kan bespeeld worden.

Doch het klokkenspel dient ook om vóór den uurslag en op de kwartieren korter of langer te spelen. Daartoe dient eene zware ijzeren trommel met nootgaten, waarin volgens de melodie welke men er op wil zetten, stiften worden gestoken, die bij het rondloopen van de trommel tegen een anderen klavierbalk de toetsen aanraken. De trommel wordt omgevoerd door gewichten en staat door een raderwerk in verband met het uurwerk.

Men heeft in den laatsten tijd proeven genomen om de klokken te vervangen door groote staven van gietstaal. Deze zijn veel gemakkelijker op den verlangden toon te vervaardigen en ook veel gemakkelijker en goedkooper te plaatsen, daar zij niet behoeven te slingeren, maar slechts worden aangeslagen. Men heeft het voorbeeld reeds lang in het klein in de veeren onzer huisklokken, en er is geen twijfel aan of het klokkenspel kan ook vervangen worden door de bekende speel-doozjes op groote schaal te vervaardigen.



De vermelding van de klokken, die ieder op zich zelve tot de maat-instrumenten behooren, bracht ons op het klokkenspel, dat genoemd moet worden bij de

Melodie-instrumenten. De meer volkomene instrumenten, tot welke beschouwing wij nu overgaan, onderscheiden zich van de boven opgenoemde daardoor, dat hunne inrichting den kunstenaar eene min of meer vrije behandeling der toonverbindingen vergunt. In dit korte overzicht willen wij van de uit een muzikaal oogpunt meer eenvoudige tot de meer samengestelde, van die met welke men minder tot die met welke men meer kan doen, overgaan.

De bedoelde instrumenten worden verdeeld in zulke, die voor elken toon een afzonderlijk bestanddeel bezitten, 't zij eene snaar of een luchtkolom van bepaalde afmetingen, en in zulke, bij welke een toongevend lichaam door verandering van lengte, spanning als anderszins eene geheele reeks van tonen naar het welgevallen van den bespeler laat hooren.

De eerste, waartoe o. a. de harp, de piano-forte, het orgel enz. behooren, zijn ten aanzien van muzikale werkings-vatbaarheid eenigszins meer beperkt dan de laatste, de viool, de basuin en andere; doch het zou eene verkeerde beoordeeling zijn, indien wij uit die omstandigheid, het gevolg van zuiver werktuiglijke oorzaken, een besluit tot de geringere werking der eerstaangeduide trokken. Kunstvaardigheid in het behandelen, smaak en vooral het gevoel van den kunstenaar, geven aan ieder instrument eerst ziel en leven. Ook hierop is toepasselijk wat de apostel in een anderen zin zegt: „zonder de liefde een klinkend metaal en eene luidende schel.”

Daar wij hier ter plaatse minder te doen hebben met het aesthetische dan met het werktuiglijke der muziek-instrumenten, letten wij hoofdzakelijk op den vorm. Daarom beginnen wij in de eerste plaats met den eenvoudigsten vorm, bestaande in:

Gespannen snaren, tot een muziek-instrument bijeengevoegd.

De harp is onder de snaar-instrumenten in zoover het eenvoudigste, als elke der gespannen snaren hare eigene hoogte heeft. Elke snaar geeft dus een afzonderlijken toon, en deze wordt voortgebracht door tokkelen met de vingers. De verschillende lengten der snaren brengen een driekanten vorm mede, zoodat de kortere discantsnaren naar den eenen hoek, de langere bassnaren nabij de tegenoverliggende zijde zijn opgespannen. Aan de bovenzijde staan stiften, waarom de snaren gewonden zijn, zoodat men ze door draaien stemmen kan. De benedenzijde bestaat doorgaans uit een hollen klankbodem tot versterking van den toon.

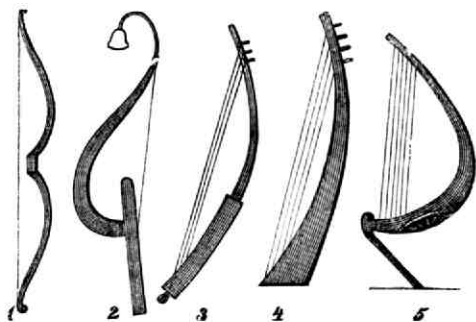
Dit wegens zijn heerlijken toon voortreffelijke oude instrument is helaas tegenwoordig door onderscheidene later uitgevondene verdrongen. Men vindt het nog hier en daar in den schouwburg, doch wel het meest in de handen van straatmuzikanten, maar ziet geen harp meer op het orkest en even weinig in den familiekring. Schotland maakt in dezen eene uitzondering, want daar heeft de oude Davidsharp tot heden toe hare plaats gehandhaafd in het familie- en volksleven.

De eenvoudigheid van samenstelling en het heerlijke van den toon welken eene eenigszins goede harp geeft, mag aangemerkt worden als de oorzaak, dat men haar bij bijna alle volken van eenige beschaving aantreft. Slechts de oude Hebreëuwen schijnen de harp niet gekend, althans niet ingevoerd te hebben. De inrichting der harp berust op zulke eenvoudige beginselen, dat men bij haar nauwelijks van een uitvinder of tijd van uitvinding spreken kan, zoodat de oudste volksverhalen genoodzaakt waren den uitvinder der harp onder de goden te zoeken, daar zijn leeftijd tot zoo hoogen ouderdom oplom, dat men geen nader kennis droeg van zijne persoonlijkheid. CENSORINUS, die het fabelachtige verhaal aangaande de uitvinding der harp zonder twijfel aan Grieksche schrijvers ontleend

heeft, meldt, dat Apollo de eerste was, die den vollen en heerlijken toon bemerkte, welken de koord van den boog zijner zuster Diana bij het losgaan liet hooren, en dat hij daarop eenige snaren naast elkander spande, ten einde door hare vereeniging een harmonisch geluid teweeg te brengen. Deze fabel is eene zeer schoone veraanschouwelijking der waarheid, dat één talentvol mensch door het verstandig toepassen eener enkele waarneming een belangrijken dienst aan het menschedom bewijzen kan. Het staat aan ons, of wij het verhaal aangaande zulk een oorsprong der harp willen aannemen of niet; toch schijnt er eenige waarheid bij ten grondslag te liggen, blijkens eene onderlinge vergelijking der oudste Egyptische harpen, waarbij het niet moeielijk is van de meer eenvoudige vormen tot de samengestelde op te klimmen. Dit ziet men in de onderstaande afbeelding, ontleend aan voorwerpen in het Louvre-museum te Parijs. De klove tusschen den vorm van den gespannen jachtboog (1), en den oudsten harpvorm (3), heeft FRANCESCO BIANCHINI getracht aan te vullen, door te beweren dat instrumenten als fig. 2 in eene oude sarkophaag gevonden zijn. Dit zij waar of niet, in allen gevalle heeft de afbeelding voor ons geene andere waarde dan die eener zeldzaamheid.

Bij de oude Egyptenaars, op welker overblijfselen wij het eerst de harp ontmoeten, had dit instrument verschillende vormen, naargelang van hare bedoeling.

De kleinere harpen (3 en 4) werden bij voorbeeld ook bij het optrekken van krijgslieden gebruikt, en bij die gelegenheid op den linkerschouder gedragen, vermoedelijk door middel van een riem, in nagenoeg horizontalen stand, en met beide handen bespeeld; het getal snaren was grooter bij grootere instrumenten, en bij ontwikkeling der muziek nam het meer en meer toe. Ook werd achtgegeven op den uitwendigen vorm en het



meer nauwkeurig afwerken van het instrument, en zoowel afbeeldingen als oorspronkelijke tot ons gekomen voorwerpen leveren blijk van de kunstvaardigheid en den smaak, waarmede de toenmalige instrumentmakers wisten te arbeiden. Vooral schijnt men alle mogelijke moeite te hebben besteed aan de instrumenten, welke bestemd waren voor de priesters, die er — en waarschijnlijk was dit het voornaamste gebruik dat er van gemaakt werd — zich bij de godsdienstplechtigheden van bedienden. Het houtwerk was zeer kunstig gesneden, beschilderd, met zinnebeeldige figuren versierd, verguld, en somtijds met leder, marokijn enz. overtrokken. Op het grafteeken van SESOSTRIS ziet men een priester die op de harp speelt; zijn instrument heeft 13 snaren. Aan de voorzijde draagt de kop eene goddelijke afbeelding met den heiligen PSCHENT. Zie de afbeelding bladz. 24.

Wij mogen het er voor houden, dat de harp van de Egyptenaars tot de Hebreërs is overgegaan. Doch een rechtstreeksch bewijs hebben wij er niet voor, want er zijn uit het oude Israelietendom geene afbeeldingen overgebleven, uit welke wij eene bevestiging van die onderstelling afleiden kunnen, terwijl ook de schriftelijke overleveringen er niets van melden. Ook de berichten aangaande Davids spelen op de harp <sup>1)</sup>, alsmede die in het boek Job <sup>2)</sup> kunnen even goed, zoo niet beter, op andere instrumenten toepasselijk zijn, terwijl de naam, in de bijbelvertaling

<sup>1)</sup> I Sam. XVI: 24.

<sup>2)</sup> Job XXI: 12.

voorkomende, geen genoegzamen waarborg voor den aard van het instrument levert <sup>1)</sup>. Wel is het bijna zeker, dat bij het nauwere verkeer, dat tusschen Egypte en Klein-Azië plaats vond, eene wederkeerige bekendheid met alle voortbrengselen van kunst en nijverheid niet zal hebben ontbroken, doch wij vinden nergens grond, dat de beide instrumenten kinnow en nebel <sup>2)</sup> inderdaad die instrumenten geweest zijn, welke wij door deze woorden aanduiden, weshalve wij ook deze vraag onbeslist moeten laten, tenzij wij willen aannemen wat door sommigen beweerd wordt, dat de Joden in den klank der harp geen behagen gevonden hebben, en dat dienvolgens dit instrument niet algemeen bij hen ingevoerd is.

Bij de Grieken daarentegen mogen wij het gebruiken der harp en dergelijke instrumenten als zeker aannemen, zij het dan al dat de kithara en dergelijke snaar-instrumenten niet volkomen gelijkvormig met de tegenwoordige harp waren. Eene menigte afbeeldingen, met name uit de overblijfselen van Pompeji en andere gedeelten van zuidelijk Italië, waarheen Grieksche gewoonten en beschaving het eerst verspreid waren, leveren daarvan sprekende bewijzen. Op monumenten van zuiver Romeinschen oorsprong vinden wij er echter geen voorbeelden van, en wellicht is de harp ook meer in gebruik geweest in de zuidelijke, door Grieksche kolonisten bevolkte landstreken, terwijl de meer ruwe aard der Romeinen, weinig toegankelijk voor de zachte indrukken der kunsten, muziek genoeg had aan de kleine trompet, wier schetterend geluid hun krijgsmansgeest beter uitdrukte.



Meer naar het noorden, in de wouden van Germanië, vinden wij reeds destijds, gelijk nog in de nevelachtige bovenlanden van Schotland, de harp als het eigenlijke nationale en heilige instrument, dat door de Barden bespeeld werd bij het opzingen hunner bezielden liederen. De als bovenaardsche klank maakt de harp ook boven ieder ander instrument geschikt om met hare tonen de bovenzinnelijke voorstellingen van het grijs verleden aanschouwelijk te maken, of den blik in de omnevelde beelden der toekomst te werpen. Een OSSIAN en FINGAL zonder harp kan men zich niet denken.

Uit oude afbeeldingen blijkt, dat de harp der IX<sup>de</sup> eeuw zeer weinig van de tegenwoordige verschilt. Doch dezen haren eenvoudigsten vorm heeft zij niet altijd behouden. De vermeerdering der snaren, gevolg van de ontwikkeling van muziek en muzikale eischen, bracht onderscheidene proeven ter verandering der gedaante van het instrument mede, inzonderheid ten einde het bij den toegenomen omvang behoorlijk draagbaar te houden. In oude handschriften uit de XII<sup>de</sup> eeuw vindt men afbeeldingen, harpen voorstellende van de zonderlingste en grilligste gedaanten, met vierhoekige, driekante en ronde kasten; somtijds staan zij met een dwarsstrik, in allerlei verzonnen dierenkoppen uitlopende, op den schouder van den bespeler; somtijds ook werden kleine harpen, gelijk die der meistreels, evenals tegenwoordig nog de gitaar eener straatzangster, aan een lint om den hals gehangen.

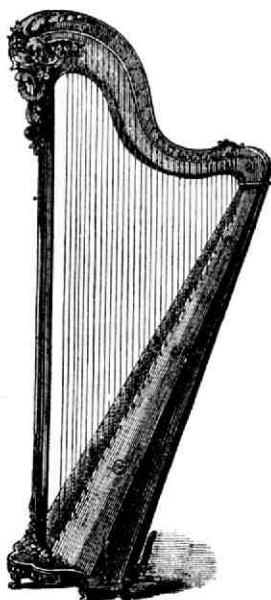
<sup>1)</sup> Het Hebreeuwse woord, in de Staten-vertaling „harp” vertaald, beteekent in allen gevalle een snaar-instrument; „luit” daarentegen een blaas-instrument.

<sup>2)</sup> In de Staten-vertaling der H. Schrift is het eerste woord „harp”, het tweede „luit” vertaald.

In de XVI<sup>de</sup> eeuw werd een harp voor andere instrumenten achteruit gezet. De in Italië en Spanje geliefde snaar-instrumenten: de gitaar, de theorbe, de mandoline en andere traden als solo-instrumenten in hare plaats; slechts daar, waar zij als 't ware een eigendom van het volksleven was, gelijk op de Britsche eilanden, behield zij haar oude aanzien. De thans nog gebruikelijke Schotsche harp is een vrij oorspronkelijk instrument, hetwelk een muzikalen smaak slechts zeer weinig bevredigen zou. In Engeland en Frankrijk zijn daarentegen harpen in veelvuldig gebruik, die zich door volkomene inrichting onderscheiden, en in dezen vorm onder de voortreffelijkste muziek-instrumenten te rekenen zijn.

De kunst heeft in den laatsten tijd het verbeteren der eenvoudige harp tot eene groote hoogte opgevoerd. Terwijl het oude instrument slechts één diatonischen omvang had en den bespeler weinig ruimte liet om zijne kunst ten toon te spreiden, heeft men van tijd tot tijd veel gedaan om dit gebrekkige te verhelpen. Om er zooveel snaren op te brengen als de chromatische toonladder eischt, was geene plaats op een instrument, welks grootte beperkt wordt door zijn aard en gebruik. Men behielp er zich dus eerst mede, dat men, gelijk nog de harpspeelsters op markten en kermissen doen, door spannen met een kruk onder het spelen de snaren een halven toon hooger stemde, voor zoover zij in den grondtoon van dit instrument te laag stonden voor een anderen toonaard. Daartoe was een samenstel van haken en krukken vervaardigd. Hoe ver men draaien moet, weet men spoedig door oefening. In den eersten tijd maakte men de snaar eenvoudig korter door vasthouden met den vinger. Maar reeds ten jare 1720 was de vermaarde harpspeler HOCHBRUCKER te Danauwörth de uitvinder van eene inrichting, die met den voet bestuurd werd en daardoor de snaren zooveel mogelijk verkortte en dus hooger stemde. Daarmede ontstond de pedaalharp, waardoor voor de volmaking van dit schoone instrument een nieuw tijdperk geopend werd. Zij werd dan ook in korten tijd door geheel Europa verspreid en door instrumentmakers en kunstenaars spoedig aanmerkelijk verbeterd. Vooral SEBASTIAAN EHRHARDT, uit den Elzas, later gevestigd te Parijs, waar hij onder den naam ERARD eene later beroemde fabriek van muziek-instrumenten oprichtte, bracht aanmerkelijke verbeteringen in de samenstelling der pedaalharp, door het uitvinden van een zeer vernuftigen toestel, die door middel van één enkel pedaal het instrument achtereenvolgens twee en een halven toon hooger kon stellen, zoodat wij terecht zulk eene pedaalharp „van ERARD” mogen rekenen onder de volmaaktste instrumenten die er bestaan. Eene eeuw was er sedert HOCHBRUCKER'S uitvinding verlopen, eer deze hooge trap van volmaking bereikt werd, gedurende welken tijd de harp van HOCHBRUCKER, thans tamelijk in onbruik, hare plaats zonder mededinging bekleedde. Trouwens, tegen de algemeene verspreiding der harpen van ERARD is de prijs, dikwijls f 1800 tot f 2200, een wezenlijk beletsel.

De klank of toon dezer soort van snaar-instrumenten is, afgescheiden van het onderscheid ten gevolge der zelfstandigheid van snaar — metaal of darm — ook vooral afhankelijk van de wijze waarop de snaren aan het slingeren gebracht worden. Dit kan geschieden door tokkelen met de vingers, of met een stift, ge-



lijk bij de harp, gitaar en citer, of door het aanslaan met een hamervormig lichaam, gelijk bij het klavier enz. Hoe grooter de ongelijkheden in de veroorzaakte beweging zijn, des te aanzienlijker is de kracht en het getal der boven-tonen; de klank wordt scherp en rinkelend, en hierin is de oorzaak gelegen, door welke eene snaar met de stift van een citerspeler getokkeld, anders klinkt dan met den vinger. In het eerste geval namelijk is de hoek, dien de snaar met de spitse punt van de stift maakt, scherper, en er loopen over de geheele snaar heen en weder bewegingsgolvingen, welke de oorzaak van talrijke boventonen worden. Daarmede overeenkomstig is bij de klaviervormige instrumenten het geval, indien de snaren aangeslagen worden met een harden, scherpkantigen hamer, die terstond na het aanraken der snaar weder afspringt; heeft daarentegen het aanslaan plaats met een breederen hamer, welks kop met vilt of zeem bekleed is, dan hoort men zulke wanklanken niet, daar de trillingen den tijd krijgen om zich over de geheele lengte van de snaar te verspreiden.

Nauw verwant met de harp is een ander snaar-instrument, dat zijne tonen laat hooren door de kracht van den wind, de Eolusharp. „De Eolusharp is een instrument, dat, evenals de zingende boom in eene Arabische vertelling, tonen laat hooren als men haar aan den wind blootstelt. Deze tonen hebben veel overeenkomst met de zacht toenemende en van lieverlede weder wegstervende gezangen van een op grooten afstand geplaatst koor; zij heeft meer van het harmonische goochelspel van bovenaardsche wezens, dan van een gewrocht van menschelijke kunst.” Aldus beschrijft MATTHISSON de werking van dit eenvoudige instrument, hetwelk bestaat uit een platten, loodrecht staanden hollen klankbodem, waarover 6—12 darmsnaren naast elkander en eenstemmig opgespannen zijn. Indien dit instrument aan den wind wordt blootgesteld, zoodat hij er in de lengte over strijkt, komen zij in trilling; zij geven den grondtoon aan, of laten verschillende accoorden hooren, waardoor eene reeks van harmonische tonen ontstaat, die wel niet regelmatig, maar daarom niet minder verrassend zijn, gelijk elk die dit instrument niet kende er zeker door is verrukt geworden.

De gitaar en de citer vertegenwoordigen eene geheele reeks van snaar-instrumenten, bestaande uit een min of meer rond, weerklinkend lichaam, van geluidgaten voorzien en bespannen met darm- of metalen snaren, waaruit men tonen laat voortkomen door tokkelen met de vingers, of met een metalen stift. Het holle lichaam is verbonden met een langen hals, aan welks uiteinde zich de wervels bevinden, die tot het spannen der snaren dienen; deze hals dient tevens om het instrument vast te houden, en door vasthouden met den vinger de snaren te verkorten tot het voortbrengen van een hooger toon dan ieders eigen grondtoon, waartoe men de snaar tegen den steel of hals aandrukt. Deze steel is voorzien van dwarslijnen, doorgaans van ivoor, welke de maat aanduiden der verkorting van elke snaar voor de verschillende hoogere tonen. De geheele klasse dezer instrumenten was vroeger begrepen onder den algemeenen naam luit, en ingevolge eene oude overlevering heeft de na eene overstrooming van den Nijl achtergebleven schaal eener schildpad aanleiding gegeven tot de uitvinding van dezen instrument-vorm. Men bespande die schaal met snaren, schiep behagen in de uitwerking en poogde later het holle lichaam na te maken van hout of andere grondstof. Dit verhaal geeft niet alleen een dunk, dat deze geheele klasse van instrumenten uit het Oosten tot ons gekomen is, maar ook, dat die, welker gedaante peervormig is, de oudste moeten zijn. Inderdaad waren de peervormig gebogen instrumenten veel verder verspreid dan de platte gitaarvormige, zelfs nog tot het laatst der vorige eeuw. Eene latere uitvinding spande de sna-



ren over eene brug, gelijk bij de viool. Nog tegenwoordig hebben de Indiërs, Perzianen en Arabiërs ontelbare vormen van luiten en gitaars, vrij gelijk aan den oorspronkelijken vorm. De onderstaande afbeelding van de chelys der Indiërs levert ons daarvan een voorbeeld. Bij ons echter heeft de vorm der gitaar wegens gemakkelijke vervaardiging den meesten opgang gemaakt. Vroeger bestonden er eene menigte soorten van dusdanige instrumenten, die wij meerendeels nog alleen bij naam kennen: de luit, de mandoline, de theorbe enz. behooren er toe. Zij waren dikwijls van elliptischen vormen hadden een molligen toon.

De oudere luiten hadden slechts weinige snaren, en de vijfsnarige luit was lang in gebruik; zij was gestemd c f a d f. Later werd dit getal aan wederzijden met twee snaren vermeerderd. Van lieverlede kreeg de luit tot 14 snaren. De hoogste, de chanterellen, gaven de melodie aan, terwijl de laagste de harmonie verstrekten.

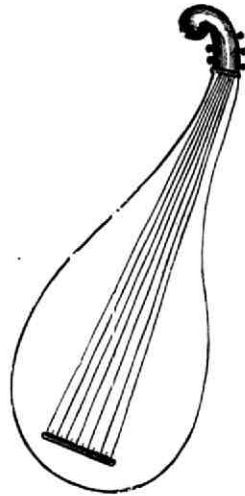
Hiertoe behoort ook de mandoline, ook mandora, mandorine genoemd, vooral in het zuiden van Italië en in Spanje in gebruik; zij was ook vroeger in Duitschland bekend, en MOZART heeft het air in den Don Juan, hetwelk tegenwoordig doorgaans pizzicato op de viool gespeeld wordt, oorspronkelijk voor de Napolitaansche mandoline geschreven.

De gitaar verving, gelijk reeds is aangeduid, in het eerst slechts de luit met ronden balg. Zij was goedkoper te vervaardigen, en uit dezen hoofde werd zij spoedig algemeen verspreid. Maar zij stond daarom ook lager in aanzien, en PRAETORIUS, die haar ten jare 1627 onder den naam *guinterna* of *chiterna* — vanwaar *citer* — als een Italiaansch instrument bekend maakt heeft, spreekt er met vrij veel minachting over, als een instrument voor straatmuzikanten. Volgens de beschrijving hadden de toenmalige gitaars bijna dezelfde gedaante als de tegenwoordige; zij hadden vijf, meest darm-snaren.

Het schijnt dat de gitaar uit Spanje, waar zij door de Mooren is ingevoerd, zich over Europa heeft verspreid. In Afrika gebruiken eenige negerstammen dergelijke instrumenten, gelijk de hieronder afgebeelde *citer* der Schekani's bewijst. In Duitschland kwamen zij sedert 1788 door de hertogin AMELIA van Weimar zeer in gebruik; de meeste instrumenten van deze soort zijn door den instrumentmaker OTTO te Weimar vervaardigd; op aanraden van den kapelmeester NAUMANN kregen zij omstreeks het jaar 1797 eene zesde snaar, de lage E, zoo-

dat de gitaar nu gestemd was: E A d g h e. De hooge belangstelling, die het instrument terstond bij het publiek vond, daalde echter al spoedig, en de genegenheid voor dit instrument is bij afwisseling gestegen en gedaald, zoodat de gitaar beurtelings in en uit de mode geraakte. Goedkoope prijs en gemakkelijke behandeling verschaffen haar ook nog heden ten dage veel beoefenaars; de hoofdzetel der vervaardiging van deze instrumenten is Markneukirchen.

De *citer* is het instrument der bergstreken. Zij is waarschijnlijk het oudste platbodem-instrument dat in Duitschland bekend is geweest en schijnt lang haar verblijf in Stiermarken te hebben gehad. Van daar kwam zij met de bergwerkers



in het Hartzgebergte, en verspreidde zich over al de berglanden van Duitschland. Haar naam heeft aanleiding gegeven om haren oorsprong, nevens dien der gitaar, uit de oude Grieksche Kithara af te leiden, doch ten onrechte. Immers, het is bekend dat de Ouden aan hun maat-instrumenten geen steel hadden; integendeel was de Kithara een harpvormig instrument, dat alleen gebruikt werd tot accompagnement van den zang. De citers daarentegen, hoewel aanvankelijk ook slechts ééntoonmatig gebruikt, hebben de meeste overeenkomst met het monochorde, en zijn er vermoedelijk uit ontstaan. Het zijn harmonie-instrumenten, zoodat zij niet van ouder dagteekening kunnen zijn dan die van de uitvinding der harmonie zelve.

Het beginsel, volgens hetwelk de citers vervaardigd zijn, is hetzelfde als bij de gitaar. Het lichaam bestaat eigenlijk uit een rechthoekigen driehoek, welker langste en schuinste zijde (hypothenuse) van den bespeler afgekeerd ligt. Het getal snaren is van lieverlede van 2 tot 31 gestegen, naarmate de harmonie-muziek steeds rijker samenvoegingen heeft vereischt. Zij liggen boven een langen steel, die, evenals bij de gitaar, door dwarslijnen is afgedeeld, en worden met de vingers der linkerhand neergedrukt, terwijl zij met die der rechter worden getokkeld. De bovensnaren, doorgaans 15 in getal, dienen ter aanduiding van de melodie; het zijn doorgaans koperen of metalen draden. Zij liggen naar den bespeler gekeerd en worden getokkeld door middel van een ring met haakjes, die aan den duim wordt gestoken. De lagere snaren dienen tot accompagnement en zijn doorgaans van darmen vervaardigd. Bij het bespelen legt men het instrument of op de knie, of voor zich op tafel.

Behalve deze zoo te noemen tokkelcitsers zijn er ook van afzonderlijken vorm, uit welke de tonen gehaald worden door middel van een strijkstok; de snaren liggen dienovereenkomstig niet plat, maar evenals bij eene viool, in gebogen vorm.

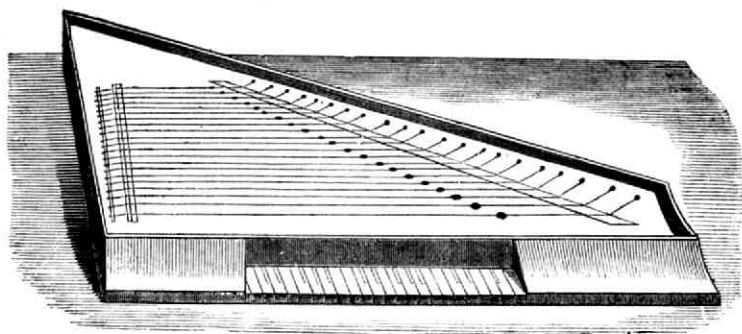
Het klavier en de daarmede verwante instrumenten, d. z. die, op welke de snaar door middel van een hamertje wordt aangeslagen, zijn reeds oud. Men verhaalt gewoonlijk, dat het klavier uit den dop gekomen is in den vorm van de monochorde, waarvan men reeds in de XI<sup>de</sup> eeuw in de kloosters gebruik maakte. GUIDO van Arezzo zou, naar men zegt, ten einde een bepaalden toon gemakkelijker te kunnen vinden, de monochorde voorzien hebben van houtjes, die door middel van toetsen werden in beweging gebracht. Intusschen beduidt dat weinig, daar de monochorde-snaar op andere wijze bespeeld werd, namelijk door verkorting, terwijl het klavier een instrument is, dat voor iederen toon eene afzonderlijke snaar heeft.

De uitvinding der toetsen is zeer oud, en 't is naar den Latijnschen naam van deze (clavis) dat die instrumenten den naam hebben, welke in de algemeene benaming klavier begrepen is. Men meent dat de oude Israëlieten instrumenten gehad hebben, de maschrotika en de magrepha, die met klophamertjes bespeeld werden, evenals de waterorgels der Grieken. Sommige berichten wekken ook het vermoeden, dat de oude Israëlieten reeds de snaren toon wisten te doen geven door penneschachten, met toetsen verbonden. Doch dergelijke berichten zijn zeer onzeker en hooger dan tot de XI<sup>de</sup> eeuw kunnen wij de toetsen en hamertjes niet opvoeren.

De oudste dier instrumenten dienden alleen om bij den zang den toon aan te geven en omspanden nauwelijks een octaaf. De toetsen zelve hadden destijds reeds hare tegenwoordige gedaante, die van een dubbelen hefboom, waarvan het eene uiteinde met den vinger nedergedrukt wordt, terwijl het andere verbonden was met eene stift, of beter een wigvormig blikken plaatje, dat met den platten

bovenkant tegen de snaar sloeg. Deze kleine voorwerpen werden van tijd tot tijd met meer snaren voorzien, zelfs tot 20; zij waren destijds 3 tot 4 voet lang, 2 voet breed en 4 of 5 duim hoog; de snaren liepen dwars van den rechter-voorhoek naar den linker-achterhoek. De 20 toetsen waren ingericht volgens ons notenstelsel, maar op de 7<sup>de</sup> en 15<sup>de</sup> plaats was eene b ingevoegd. Eerst later, in de XIV<sup>de</sup> eeuw, kwamen er nog cis en fis bij, en weder een eeuw later dis en gis. Nu werd het ook tijd om op beter schikking der toetsen bedacht te zijn en men kwam tot de thans nog gebruikelijke verdeling in platte en hooge toetsen. Ook breidde men ze steeds hooger en lager uit, zoodat men in het begin der XVI<sup>de</sup> eeuw reeds 35—38 toetsen had.

De verbetering dier clavichorden, zooals zij heetten (waaruit later de naam klavier ontstond) hield gelijken tred met de verbetering der overige snaar-instrumenten en vooral werd het hakkebord — thans een scheldnaam voor eene zeer slechte piano, maar vroeger die van een zeer geliefd instrument — van grooten invloed. Er bestaat eene afbeelding van uit het jaar 1536; de Benedictijner monnik LUCINIUS (Latijnsche vertaling van zijn Duitschen naam NACHTIGALL) geeft haar in zijn werk over de muziek. Volgens die afbeelding bestond het uit eene vierkante doos, bespannen met 5 darmsnaren van gelijke lengte, die door middel van krukjes werden gestemd; men sloeg ze met hamertjes die



met blik of leder beslagen waren. Volgens MICHAËL PRAETORIUS, die in 1619 eene afbeelding van dit instrument gaf, had het 16 snaren en werd ook met de vingers getokkeld. Later voegde men er nog meer snaren bij, en wel stalen, zoodat het in de XVIII<sup>de</sup> eeuw tot 3 octaaf omvang had en onder den naam cimbaal of Perzisch hakkebord in aanzien was.

Nevens het hakkebord moet ook het spinet als voorlooper onzer piano-forte worden genoemd. Het komt reeds in de XIV<sup>de</sup> eeuw voor en had de gedaante van een onregelmatig vierkant, overlans met snaren bespannen. De snaren werden aangeslagen door middel van vorkswijze toetsen die palmulae heetten en aan het einde van dopjes voorzien waren. In plaats van deze gebruikte men later ravenpennen en vandaar dat het instrument, ook clavi-cymbaleum (klavecimbaal) genoemd, den naam spinet verkreeg, naar de penneschacht (spinula). In de XVII<sup>de</sup> en XVIII<sup>de</sup> eeuw was het spinet veel in gebruik; het had 4 octaaf. Het kreeg in verschillende landen onderscheidene namen, als: symphonie, magadis, pectis en virginal. Doch de toon moet naar berichten en spotnamen uit dien tijd niet machtig veel aangenaams gehad hebben. De bovenstaande afbeelding stelt een klaviertje uit het jaar 1520 voor. Deze instrumenten hadden niet altijd voor elken toon eene afzonderlijke snaar, maar goedkoopheids halve liet men ook wel dezelfde snaar voor twee tonen dienen, hetgeen desnoods



kon bij de oorspronkelijke samenstelling, bij welke de aanslagstift, de *tangent*, met den hefboom der toets een geheel uitmaakt. In dat geval vormt de *tangent*, wanneer de toets stevig nedergedrukt wordt, de eigenlijke brug der snaar, zoodat alleen het daarboven liggende gedeelte klank geeft; deze toon is natuurlijk hooger ten gevolge van het korter worden van het slingerend gedeelte der snaar. Een snel, kort aanslaan van de stift geeft dus den toon der geheele snaar, een langer nederdrukken een hooger, terwijl men door een vereischt plaats en der stift den laagsten toon een half interval hooger kan doen worden. Klavieren met zoodanige inrichting heetten *gebundene*; vrije daarentegen die, bij welke iedere toon zijne eigene snaar had. Doch die gebonden klavieren kunnen geen ander dan een ellendig geluid hebben gegeven.

De verschillende lengten der snaren gaven aanleiding tot den vorm, die *vleugel* werd genoemd; reeds PRAETORIUS geeft eene afbeelding van zoodanig instrument; er blijkt reeds de algeheele overeenkomst met de tegenwoordige vleugels uit. Zij schijnen in de XVI<sup>de</sup> eeuw algemeen in gebruik geweest te zijn.

Men had ook instrumenten, welker afzonderlijke tonen door het gelijktijdig aanslaan van vier snaren werden voortgebracht; men noemde ze *viersnarig*. Eene dezer vier snaren werd dan somtijds een octaaf lager dan de grondtoon gestemd en eene tweede een quint hooger. Het aanslaan geschiedde als bij het spinet door ravenschachten, later met gouden plaatjes, die zeer kostbaar heetten en het ook waren. Het bezigen van vogel- (vooral raven-) pennen was overigens tot in het laatst der vorige eeuw in gebruik. Ten einde het naklinken te voorkomen vlocht men een band of eene reep laken tusschen de snaren achter de stiften, die de snaren aansloegen.

Grootelijks week van die vleugels het Neurenberger hakkebord af. Het was ook met snaren, en wel darmsnaren, bespannen, doch de tonen werden op eene geheel andere wijze voortgebracht, daar de snaren niet door hamertjes werden aangeslagen, maar men liet tegen iedere snaar een klein wielje omdraaien; de daardoor ontstane wrijving deed een toon ontstaan, naar dien eener viool zweemende. De beweging der wieltjes werd door een groot drijftrad veroorzaakt; het bevond zich buiten het instrument en werd met den voet getreden; door middel van toetsen werden de wieltjes in aanraking gebracht met de snaren. Deze uitvinding was afkomstig van HANS HAYDN te Neurenberg (1610); zoodanige instrumenten waren nog in het begin dezer eeuw in gebruik en zij ondergingen vele verbeteringen. Zij hadden ook weder onderscheidene namen, gelijk de taal van dien tijd verbazend rijk was op het punt van namen geven aan muziek-instrumenten.

Het oudere instrument, dat den naam klavier behield, doch ook klavecimbel genoemd werd, was insgelijks van vogelschachten voorzien en had in het begin der XVII<sup>de</sup> eeuw een omvang van  $4\frac{1}{3}$  octaaf. De toetsen der halve tonen werden hooger, die der diatonische lager gelegd, zooals sedert in gebruik is gebleven. Ten einde het instrument voor verschillende toonaarden te stemmen, volgde men op het voetspoor van den uitmuntenden organist ANDREAS WERKMEISTER (1698) den gebruikelijken weg der quint-opklimming, terwijl men de afzonderlijke intervallen een weinig lager liet zweven. Met de tegenwoordige instrumenten kan het oude klavier in geen de minste vergelijking treden, noch ten aanzien van zuiveren, molligen toon, noch ten opzichte van omvang en bewerking. De klavieren waren kleine, magere instrumenten, die den tegenwoordigen smaak in geenen deele meer bevredigen zouden. MOZART verhaalt nog, dat hem bij het bezoeken van een Italiaansch klooster het klavier aanhoudend werd nagedragen, ten einde men ieder oogenblik en overal genot van zijn spel zou kunnen heb-

ben — wel een bewijs, dat het kleine voorwerpen waren! De prijs was dan ook niet hoog: voor een goede vijftig gulden had men er een. Maar dit laatste was dan ook oorzaak, dat men ze even algemeen verspreid zag als tegenwoordig de pianino's. SCHUBERT zeide reeds voor eene kleine eeuw in zijne Aesthetik der Toonkunst: „alles speelt, slaat en trommelt op het klavier, edelman en burger, zwakke en sterke, man en vrouw, jongen en meisje — dat behoort zoo tot de opvoeding.”

Een onaangenaam iets, dat men bij geen der vermelde instrumenten kon ontgaan, bestond hierin, dat men geen meester was van de meerdere kracht of zachtheid van denzelfden toon, noch ook van het naklinken der snaren. In het eerste opzicht gaf het hakkebord, dat met in de hand gehouden hamertjes geslagen werd, eenige veranderingen, en deze brachten BARTOLOMEO CRISTOFALI te Padua op het denkbeeld om het eigenaardige van het hakkebord met dat van het klavier te vereenigen en de hamertjes te verbinden met toetsen, door welke zij tegen de snaren sloegen. Dit afscheiden of los maken van hamertje en toets maakt het wezenlijke uit van het onderscheid tusschen forte-piano en klavier, en CRISTOFALI, die dit denkbeeld het eerst verwezenlijkte, verkreeg daardoor inderdaad de verlangde versterkingen en verzwakkingen van den toon, die den naam (forte-piano, sterk-zacht) ten volle rechtvaardigden. Daar zijne uitvinding reeds in 1711 beschreven en afgebeeld is geworden, heeft hij alle recht op den naam van uitvinder der piano-forte. Het is echter mogelijk, dat de organist SCHRÖTER, geboren te Hohenstein in Saksen, die insgelijks op den naam van uitvinder der losse hamertjes aanspraak maakte, deze inrichting bedacht heeft zonder iets van CRISTOFALI te weten. SCHRÖTER leverde ten jare 1717 bij het Saksische hof twee modellen in; bij het eene sloeg het hamertje van boven, bij het andere van onderen. De eerste inrichting beviel hem zelven niet lang, en ook voor de andere inrichting vond hij eerst later de ter uitvoering noodige hulp, toen namelijk in het jaar 1726 de vermaarde orgel- en klaviermaker SILBERMANN te Freiburg zich de zaak aantrok en een instrument vervaardigde volgens de uitvinding van SCHRÖTER, maar door hem verbeterd. Bijna tegelijkertijd had zich ook te Florence, alsmede te Parijs, een instrumentmaker beziggehouden met het uitdenken van een toestel met hamertjes; maar hunne denkbeelden verwezenlijkten zich niet door uitvoering. De Deutsche uitvinding stond op zich zelve en SCHRÖTER is de algemeen als zoodanig erkende uitvinder van de forte-piano. Zeer snel verspreidde zich zijne uitvinding; zij gaf een krachtigen stoot aan het vervaardigen dezer soort van muziek-instrumenten; zelfs kan men zeggen dat het vervaardigen van toets-instrumenten van toen af een afzonderlijke tak van kunstvljt werd, want vroeger was het eene bijzaak voor orgelmakers en organisten. De familie SILBERMANN legde zich met groote kracht toe op het vervaardigen der nieuw uitgevonden forte-piano's, zoowel te Freiburg als te Straatsburg. Hunne instrumenten onderscheidden zich van de tot dusver gebruikelijke clavichorden alleen door de hamertjes, alsmede door een demper, bestaande in een lat, met doek overtrokken of met een wollen strook voorzien, die tegen de snaren kon worden gedrukt en het naklinken van den toon belette.

Door Deutsche kunstenaars werd de vervaardiging van piano-fortes volgens de inrichting van SCHRÖTER weldra naar Parijs en Londen overgebracht, waar er nog vele verbeteringen aan werden bedacht, zoodat het vaderland der piano-forte ze als eene nieuwe Fransche of Engelsche uitvinding terugzag. In Deutschland zelf was het de bekwame organist en instrumentmaker ANDREAS STEIN te Augsburg, een leerling van SILBERMANN, die de door SCHRÖTER uitgevonden inrichting verbeterde, of eigenlijk eene geheel nieuwe in het leven riep, en daardoor mogelijk

maakte hetgeen SCHRÖTER slechts gezocht had, te weten de wijziging van den toon. Nadat de zoon van STEIN zich te Weenen had gevestigd, bekwam de uitvinding den naam van het Weener mechanisme. De orgelmaker LENKER te Rudolstadt maakte zich verdienstelijk ten aanzien van den demper, daar hij in 1756 begon met in plaats van een algemeenen demper, aan elke snaar haren afzonderlijken te geven. In het eerst waren deze dempertjes in verband gebracht met de hamertjes, zoodat zij onder de snaren lagen; doch later gaf men hun den tegenwoordig gebruikelijken vorm, zoodat zij zich boven de snaren bevinden. Zij worden door het nederdrukken der toetsen opgeheven en zijn dan los van de snaar, doch vallen er op neder, zoodra men den toets loslaat.

De tijd na het eerste verschijnen der piano-forte tot aan het eerste vierde gedeelte onzer eeuw was vrij vruchtbaar in allerlei uitvindingen en verbeteringen met betrekking tot dit en andere muziek-instrumenten, die echter grootendeels slechts als voorbijgaande verschijnselen aan te merken en weder in vergetelheid geraakt zijn. ANDREAS STEIN maakte het staartstuk en de piano-forte tot één instrument en vervaardigde ze ook met fluitgeluid; zekere werktuigkundige HOHLFELD maakte in het jaar 1757 een vioolklavier; er werden instrumenten gemaakt met twee of drie klavieren en allerlei veranderingen, die naar men opgaf, zelfs tot 100, ja tot 250 liepen. MATTHEÛS MULLER vervaardigde te Weenen eene zogenoemde Ditanaklasis, een instrument, dat overeind stond en aan wederzijden een klavier en een snarenstel had. JOHANNES JACOBUS SNELL nam in het jaar 1790 eene niet kwalijk geslaagde proef om de snaren eener piano-forte te doen klinken door middel van een windstreaming, die door koperen buisjes werd veroorzaakt. Zijn instrument droeg den naam van Anemochorde; het moet een zeer aangename toon gegeven hebben en maakte te Parijs een buitengewonen opgang. Het was vooral geschikt tot het begeleiden van zang en voor een langzaam spel, waarbij de eene toon werd aangehouden totdat de andere zich liet hooren, evenals bij het orgel het geval is. Ook kwam een kundig werkmans op het denkbeeld om het oude met het nieuwe te vereenigen en een instrument te vervaardigen, dat door middel van een pedaal als piano-forte of als clavichorde kon worden bespeeld. Het langst hielden zich de bijvoegselen bij de piano-forte staande, welke het een of ander instrument nabootsten of voorstelden, b. v. de tamboerijn met de schelletjes, de fagot-trilling, het harpgetokkel enz. Doch in den laatsten tijd is men zich meer op eenvoudigheid gaan toeleggen, en tracht, bij het weglaten van die bijhangsels, de waarde der instrumenten meer te zoeken in kracht en schoonheid van toon, maar vooral in de volmaking van het mechanisme tot het gemakkelijk en aangenaam bespelen. De platte piano-forte heeft in den regel slechts één pedaaltrekker tot het opheffen van een demper, terwijl aan piano's en staartstukken somtijds nog een trekker verbonden is tot het verschuiven van het klavier.

De oudste piano-fabriek te Londen was vroeger de grootste der wereld; zij werd aldaar ten jare 1732 door den Zwitser TSCHUDI opgericht en droeg later, gelijk nog tegenwoordig, den naam van diens schoonzoon BROADWOOD. Zij heeft 500 werklieden in het werk en levert jaarlijks omtrent 2300 stuks af. Tot den jare 1852 had deze fabriek in het geheel een getal van 108,000 stuks afgeleverd. Altijd staan er 600 of 700 gereed om uit te laten kiezen. In 't geheel worden te Londen jaarlijks omtrent 23,000 pianino's gemaakt, ongeveer de gezamenlijke waarde van 2 millioen P. st. (24 millioen gulden), terwijl Frankrijk voor 16 millioen franken (7½ mill. gulden) levert, België 1500, Weenen 2500—3000 stuks, welk getal door Leipzig, Berlijn, Breslau en Stuttgart zeker overtroffen wordt. Doch de voornaamste piano-fabriek vindt men tegenwoordig te Leipzig, die van

BLÜTHNER, welke uit dien hoofde eene eenigszins uitvoerige beschrijving verdient.

In het westelijke gedeelte van Leipzig, ter plaatse waar de met villa's opgeleusterde Plagwitzstraat en de Weststraat uitloopen, ligt BLÜTHNERS pianofabriek, aan welker producten op de groote tentoonstelling te Weenen de eerste prijs werd toegekend. Zij beslaat 210,000 vierk. voeten en bestaat uit vijf groote gebouwen, van welke één, dat de gedaante van een hoefijzer heeft, het grootste gedeelte der werkplaatsen bevat. Op het binnenplein ziet men ontelbare zware boomstammen en kolossale balken opgestapeld, die voor eene fabriek als die van BLÜTHNER onmisbaar zijn. De houtstapel is eigenlijk de schatkamer van zulk een établissement, en gelijk men vroeger de gegoedheid eener huisvrouw taxeerde naar de meerdere of mindere gevuldheid van hare linnenkast, mag men naar de hoeveelheid en de waarde der verschillende houtsoorten die hier voorhanden zijn, tot den omvang der pianofabriek zelve besluiten. De stukken hout van verschillende grootte en soort zijn in deze ruimte, die 20,000 vierk. voeten groot is, naar de jaren geordend en gerangschikt en meerendeels voorzien van het jaartal van veiling. In het drooghuis is het daar onuitstaanbaar heet. Niet lang na de aankomst uit de Thüringsche of Poolische bosschen, van waar de meeste boomstammen komen en waar zij doorgaans in den wintertijd geveld worden, valt hun beurtelings dit verblijf in het drooghuis ten deel. Eene hoofdzaak is, dat het hout te voren luchtdroog moet zijn. Planken van denne- en pijnboomen bezitten reeds na een enkel jaar in de open lucht te hebben gelegen den graad van droogte, die vereischt wordt om naar het drooghuis overgebracht te kunnen worden; eiken-, beuken- en ahornhout moet daarentegen 2 of 3 jaren in de open lucht liggen vóór het de verdere bereiding kan ondergaan in het drooghuis, eene loods van 140 voet lengte en 30 voet breedte, waar eene warmte van 40 tot 50 graden Réaumur onderhouden wordt. Het machine-gebouw is het hart van het geheele organisme. Van de 380 werklieden, die de fabriek in dienst heeft, zijn natuurlijk slechts enkelen bij de machine zelve aangesteld, doch deze oefent door transmissie hare krachten in alle lokalen uit. De machine, 30 a 35 paardenkracht sterk, is naar het stelsel van CORLISS vervaardigd en heeft drie ketels. Zij brengt 41 andere machines en toestellen in beweging, die gezamenlijk het werk van 200 menschen verrichten. Er zijn 3 machines onder, die de snaren onspinnen. De heer BLÜTHNER heeft er zich bijzonder op toegelegd, bij de vergrooting van zijn établissement den arbeid zooveel mogelijk door machinerieën te vereenvoudigen; iets, waarin hij uitmuntend is geslaagd. De groote schaafmachine dient o. a. om ruwe planken spiegelglad te maken. In 20 a 30 seconden is dit werk aan de beide zijden der planken verricht. In ontelbare vormen moeten de ruwe stukken hout hier verwerkt worden voordat zij zoodanig bij elkander passen, dat er eene piano uit gemaakt kan worden. De verschillende modellen voor de groote stukken zijn ten getale van omstreeks 200 voorhanden en staan gerangschikt langs den muur der zaal, waar de schaafmachine geplaatst is. Op hoeveel verschillende wijzen de hulpmachines gebezigd worden tot het vervaardigen van de stukken die golvende lijnen hebben, als: de pooten, de gebogen kanten enz., moet men zelf zien, want het laat zich niet beschrijven. De werkkracht dezer machines is zoo groot, dat in BLÜTHNERS fabriek elken dag 1200 a 1250 instrumenten onderhanden kunnen zijn. In de smederij zijn 31 man werkzaam. De aanwending van ijzer bij de piano's is steeds toegenomen. Vooral in de laatste twintig jaren is gegoten ijzer er overvloedig bij aangebracht, totdat men op het denkbeeld kwam, ijzeren ramen uit één stuk te gieten. Bij BLÜTHNER is daarmede eene eigene gieterij belast en in de lokalen bij de smederij en ook elders ziet men die metalen ramen in groote hoeveelheden opgestapeld. Met de afwerking dier ruwe ra-

men, ten einde ze voor de plaatsing in het instrument geschikt te maken, zijn vele handen bezig, die er de vereischte gaten in boren, de oneffenheden wegne- men] enz. Deze werkplaats is eene der belangrijkste en uitgebreidste van de ge- heele fabriek. Op de zes verdiepingen van het middelgebouw worden de grond- stoffen zoover afgewerkt, dat zij gereed zijn om tot een compleet instrument in elkander gezet te kunnen worden. Eene der redenen, waarom de fabriek zoo veel en zoo goed werkt, is, dat de verdeling van den arbeid er zoo ver mogelijk is gedreven, zoodat een werkman, zich weken en soms zijn leven lang uitsluitend met het vervaardigen van één enkel onderdeel bezig houdende, daarin eene groote geoefendheid verkrijgt. Voor het vervoer van de deelen der piano's naar de ver- schillende werkplaatsen bestaan hijschmachines, die door alle verdiepingen heen gaan en waarvan vier door stoom in beweging worden gebracht. Één daarvan voert uit de verkoopzalen naar de pakkamer, en dientengevolge is eene piano, binnen een uur nadat de koper zijne keuze gedaan heeft, behoorlijk ingepakt op weg naar het station. In alle werkplaatsen waar schrijnwerkers arbeiden, wordt de lijm door stoom gesmolten en voor het drogen van verschillende deel- len der instrumenten zijn verwarmingskasten aangebracht, die met denzelfden warmtegraad zijn voorzien als het groote drooghuis voor het hout. Dit is vooral van groot belang in de zalen waar de klankbodems vervaardigd worden. Bij het samenlijmen der afzonderlijke stukken van het tot dit doel gekloofde, niet gezaagde hout is de grootste voorzichtigheid noodig; de vensters worden gesloten en vóór en na het lijmen gaat het hout in de verwarmde kast. Op deze werk- lieden wordt vooral vertrouwd; zij behooren tot de bedachtzaamsten en dragen de grootste verantwoordelijkheid. Ieder hunner maakt zijne klankbodems van het eerste tot het laatste af en zou zijne eer er mede gemoeid achten, indien die ooit in een afgewerkt instrument sprong. Bijzondere machines omspinnen en spannen de snaren. Ook het politoeren der instrumenten geschiedt in bijzondere werkplaatsen. Het in elkander zetten van het mechaniek geschiedt in bijzondere zalen, waarna de instrumenten geheel in orde worden gemaakt door de afwerkers en pianostemmers, om eindelijk in de verkoopzalen over te gaan. De ineenzetters en afwerkers behooren tot de meest ervaren werklieden en verdienen van *f* 1200 tot *f* 2100. Ieder ineenzetter ziet zijn instrument tweemaal na, waarbij hij het geheel uit elkander neemt. Is het daarna nog door den meesterknecht geïnspec- teerd, dan komt het in handen van den afwerker, die het weder herhaalde ma- len uit elkander neemt. Eerst dan is het gereed voor de laatste beproeving, welke in de verkoopzalen plaats heeft. De verkooplokalen bestaan uit negen groote en hooge zalen op de eerste verdieping, waar zich ook het kantoor, eene concertzaal en de magazijnen bevinden. De magazijnen kunnen bij eene jaarmarkt in het klein vergeleken worden; men vindt er 20 of 30 soorten van laken in alle denk- bare kleuren, vilt, scharnieren, schroeven, van de grootte eener mug tot 7 duim lengte, van eene middellijn van 2 millimeters tot 6 centimeters enz. In hulpma- gazijnen liggen de fijne houtsoorten, als: mahonie-, noten-, palissander- en ebbenhout. In groote mate heeft de fabriek haren bloei te danken aan de algemeene directie van den eigenaar, den heer JULIUS BLÜTHNER. Zelf in dit vak opgegroeid, is hij op de hoogte van elke bijzonderheid en kan hij dus zijn werklieden op het juiste oogenblik den juisten raad geven. Daarbij bezit hij in bijzondere mate de gaaf om zijne inzichten aan anderen mede te deelen, zoodat zijne meester- knechts slechts eene opgave in zeer algemeene trekken noodig hebben om zijne bedoelingen naar eisch uit te voeren. Van zulke meesterknechts telt de fabriek er 14, terwijl een broeder van BLÜTHNER als chef of inspecteur aan het hoofd staat. De meesterknechts moeten de werkzaamheden der onder hen gestelde

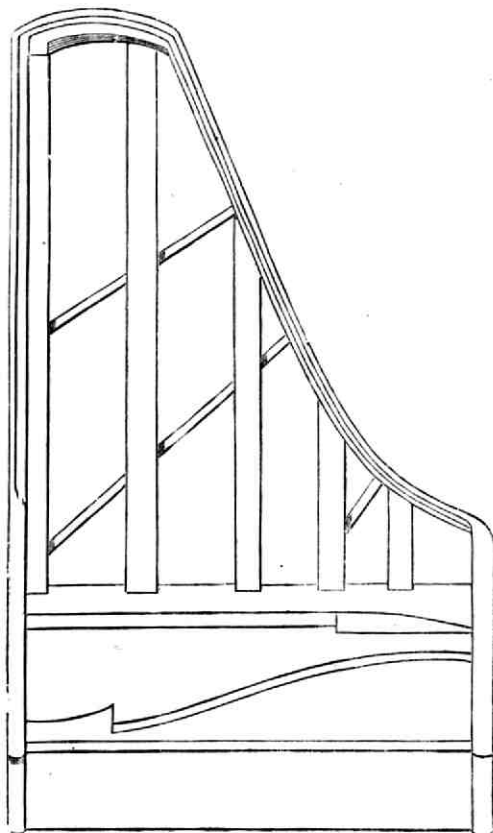


arbeiders leiden en daarover regelmatig rapporten aan den chef doen, omdat het dezen, bij de tegenwoordige uitgebreidheid der fabriek, onmogelijk is, een volledig toezicht in alle lokalen te houden.

De fabriek, die 7 November 1853 opgericht werd, begon met 3 werklieden en vervaardigde in het eerste jaar 10 staartstukken. In 1866 werd reeds de 500<sup>ste</sup> piano afgeleverd; tegenwoordig levert de fabriek 1500 instrumenten in het jaar af. De 3 werklieden waren 10 jaren na de oprichting der fabriek tot 40 gestegen, in 1866 tot 80, in 1871 waren er reeds 250 en tegenwoordig 380 (waarvan het  $\frac{7}{8}$  gedeelte gehuwd), die gezamenlijk f 306,000 arbeidsloon in het jaar verdienen.

Thans gaan wij over tot de vervaardiging en het mechanisme der piano-fortes. Zij hebben, behoudens eenige onder-afdelingen, drie voorname vormen: staartstukken, of vleugels, ten deele van groote afmeting, voor concerten; platte piano's, die meestal langwerpig vierkant, maar ook zes- en achtkantig, of ook wel rond zijn; en piano's met overeenstaande snaren, doorgaans pianino's genoemd. Al deze uitwendige verscheidenheden hebben natuurlijk ook invloed op den vorm en de plaatsing der inwendige deelen.

De kast, waarin de toongevende geesten huisvesten, is wel grotendeels schrijnwerkers-arbeid, maar om ze goed te maken is toch nog eene afzonderlijke kennis en veel zorgvuldigheid noodig. Het raam, op hetwelk al de snaren zijn uitgespannen, heeft ten gevolge dier spanning eene kracht te wederstaan, die



bij groote stukken van 225 snaren op meer dan 20,000 pond of 6 paardenkrachten berekend is. Deze kracht poogt de beide eindstukken van het raam naar elkander toe te trekken en moet door den tegenstand van het raam aanhoudend in toom gehouden worden, want indien het slechts een haarbreed medegaf, zou het instrument merkbaar ontstemd worden. Het blijven in een zuiveren staat van stemming is echter klaarblijkelijk een der eerste eischen, die men aan een goed gemaakt instrument doet. Uitgezocht en volkomen droog hout van onderscheidene soorten is de voorname grondstof tot dezen eersten aanvang van het fabrikaat, en men moet van eene goede bergplaats voorzien zijn, opdat het hout een behoorlijken tijd drogen kan. Dit drogen moet gedurende verscheidene jaren aanhouden en er zijn harde soorten van hout, die nimmer volkomen droog worden zoolang men ze als stammen of dikke blokken laat liggen; daarom zaagt men ze in dunne planken of zoodanige stukken, dat zij reeds eenigermate zijn voorbereid voor hunne toekomstige bestemming. Ook dat hout, hetwelk vol-

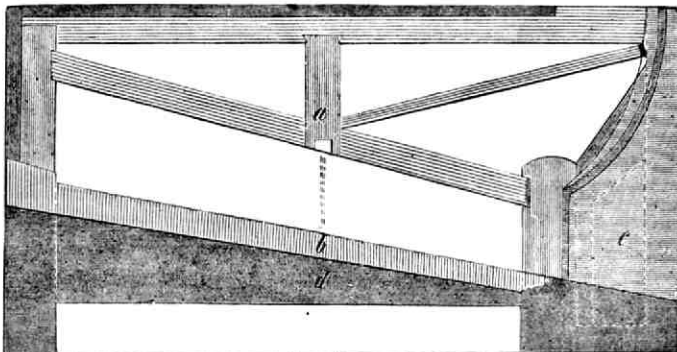


komen luchtdroog is, komt vóór het gebruik nog in de droogkamer, waar er door eene kunstmatige warmte het laatste overblijfsel van vochtigheid aan ontnomen wordt. De harde houtsoorten die men doorgaans gebruikt, zijn: eike-, beuke-, ahorn-, pijn- en denneboomen. De pianomaker moet niet alleen nauwkeurig bekend zijn met de eigenschappen en de geschiktheid van elke houtsoort in betrekking tot elks vastheid en rekbaarheid, maar ook kunnen beoordeelen wat hij met ieder afzonderlijk stuk doen kan, want klaarblijkelijk bestaat er een groot onderscheid ook in hout van dezelfde soort, naarmate het in den eenen of anderen tijd des jaars geveld of op de eene of andere standplaats gegroeid is. Geheel in tegenstelling met den wijngaardenier kiest de pianomaker zijn beste hout, dat het fijnste van draad en het hardste is, aan de noordelijke helling van bergen, van boomen, die afzonderlijk op een drogen, armoedigen grond gegroeid zijn. Meestal worden twee of drie afzonderlijke houtsoorten met elkander verbonden, opdat elke door hare bijzondere eigenschappen iets bijdrage tot het algemeene doel. Het geraamte namelijk wordt niet samengesteld uit stukken zoo groot mogelijk, maar uit onderscheidene dunne planken, bij welke men harde en zachte houtsoorten onderling verbindt, en wel door middel van goede lijm, op welke het bijzonder aankomt, daar deze stof de afzonderlijke stukken tot ééne enkele massa onafscheidelijk moet vereenigen. Bij het aaneenlijmen worden ook de stukken hout warm gemaakt en dan door middel van bindschroeven of op andere wijzen bijeengehouden, totdat alles volkomen droog geworden is. In onderscheidene fabrieken bezigt men hiertoe een even eenvoudig als bruikbaar middel. Omtrent 4 voet boven de lijmbank ligt eene soort van loos dekstuk; de aaneengelijmde houtstukken komen op de bank te liggen en nu neemt men dunne latten of veeren van elastiek hout, die een weinig langer zijn dan de afstand tusschen het hout en het dekstuk, doch ten gevolge van het drogen krombuigen en daardoor juist op de vereischte maat van lengte komen. Een dertig- of veertigtal zulke houten veeren, op één lijnstok gezet, geven het eene zeer sterke drukking; terwijl zij, zoodra alles droog genoeg is geworden, één voor één met een ruk kunnen worden weggenomen.

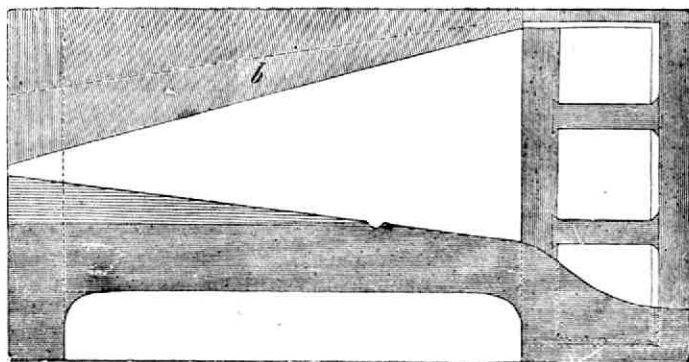
Daar men in den loop des tijds den toon der instrumenten steeds wilde versterken en daartoe de spankracht der snaren zoozeer opvoerde, dat men het raamwerk ook steeds meer tegenstand deed ondervinden, moest men het ook steeds sterker en sterker maken. Behalve de streksche en dwarse houtregels die men in het raam plaatste, voegde men er ook nog ijzeren spijlen bij, in het eerst slechts één of twee, daarna langzamerhand meerdere, totdat bij verder ontwikkeling van dit fabrikaat steeds meer en meer gebruik van ijzer gemaakt wordt. De beide wijzen van samenstelling, de Weener en de zoogenoemde Engelsche, onderscheiden zich reeds in het voorkomen der kasten zeer van elkander, zoo door de keuze van hout als door de bearbeiding en door de samenvoeging der afzonderlijke bestanddeelen; het Engelsche werk is dunner en minder zwaar, zonder daarom nog minder tegenstand te kunnen bieden.

Wat de platte piano's betreft, is de geheele samenstelling bij deze min gunstig voor eene veilige rekking der snaren, daar hier het klavier diep in het raam valt en dus de ruimte wegneemt, die voor schoren zou hebben kunnen gebruikt worden. Hier moet het grootste gedeelte van den tegenstand tegen het trekken der snaren gedragen worden door den bodem der kast, die daarom ook met bijzondere zorgvuldigheid moet behandeld worden, zoowel wat de bewerking als wat de keuze van het hout aangaat. Daarom wordt die bodem samengesteld uit drie op elkander gelijkende planken, de binnenste en zwaarste van eikenhout; de draad van deze loopt in dezelfde richting als de snaren, de beide andere zijn van dennenhout en liggen dwars op de eerste.

Bij platte piano's heeft men tweeërlei inrichting, die men eene vóór- en achter-stemmige kan noemen. Zij onderscheiden zich door de verschillende ligging der snaren, waarmede de dienovereenkomstige inrichting van de samenstelling des raams en de lengte der toetsen samenhangt. Het spreekt van zelf, dat deze verschillende ligging ook aanwijst waar de stemregel komt te liggen, dat is die zware houten regel, in welken de ijzeren pennen staan, om welke een gedeelte der snaren gewonden is. Bij het zoo te noemen vóórstemmige instrument, van welks bovengeraamte wij hieronder eene afbeelding geven, is b de stemregel,



aan welken het wigvormige steunstuk d is vastgelijmd; de snaren loopen van de pennen op den stemregel schuins naar het stuk c, waar zij mede zijn vastgemaakt; de snaren liggen dienvolgens zoo, dat zij zich van het linker-beneden naar het rechter-boveneinde uitstrekken. De stemregel, die in allen gevalle uit een stevig, hard hout bestaan moet, kan hier alleen zijn steun vinden in de beide zijwanden van de kast; overigens moet hij de hefboomen der toetsen beneden zich hebben en ligt dus van onderen los, waarom hij ook door eene ijzeren staaf van a naar b ondersteund wordt. Bij het achter-stemmige instrument, van welks inwendige inrichting wij hier insgelijks eene afbeelding geven, ligt de stemregel achter, hetgeen reeds op zich zelf het voordeel geeft, dat hij niet hol behoeft te liggen, maar over zijne geheele lengte op den bodem vastgelijmd is. Ook heeft men — en dit strekt mede ter aanbeveling van deze inrichting — daarbij eene grootere ruimte voor de snaren te zijner beschikking,



daar deze in eene omgekeerde richting van de vorige liggen; zij loopen van den stemregel links naar boren. Indien men zich de snaren van beiden voorstelt als boven elkander te liggen, zouden zij elkander schuins overkruisen, als  $\times$ . Nog meer ruimte wordt voor de snaren daardoor gewonnen, dat het klavierwerk met de hamertjes boven de snaren komt te liggen, zoodat de toetsen bij het drukken nederwaarts slaan. Zulke instrumenten worden in sommige der voornaamste fabrieken vervaardigd en moeten zich door eene gemakkelijke wijze van bespelen en door het lang zuiver blijven voordeelig onderscheiden. In het algemeen zijn zij echter nog weinig bekend.

Voor piano's heeft de bodem een vierkanten vorm en de snaren staan loodrecht of schuins in het raam, naarmate dit laatste zelf is gemaakt.

Het ijzer werd het eerst gebruikt bij staartstukken, daar men tusschen den stemregel en de daar tegenover liggende lat een paar korte schoren wilde plaatsen. Daar men ondervond, dat de aldus gemaakte instrumenten minder moesten gestemd worden, heeft dit aanleiding gegeven om ze meer en meer te gebruiken. Aan het staartstuk, op bladz. 35 afgebeeld, zien wij boven de snaren een viertal schoren met eenige bijstukken. Maar bovendien is aldaar nog meer gebruik van het ijzer gemaakt. Immers, men heeft ook op het bodemstuk eene ijzeren plaat geschroefd, op welke de stiften staan, aan welke de snaren zijn vastgemaakt. Ook de stemregel is nu en dan van ijzeren bekleedsels voorzien. Doch alle metalen schoren en platen zijn onnoodig, indien, gelijk in den laatsten tijd dikwijls plaats heeft, het geheele raam voor de snaren van ijzer gegoten wordt, zoodat alles één geheel uitmaakt. Daardoor is al het mogelijke gedaan om het instrument tegen valsch worden te beveiligen; maar de klank van zulke instrumenten is scherp, zoodat zij verkozen worden door allen die alleen op de duurzaamheid zien, namelijk de Noord-Amerikanen, gelijk dan ook de zaak zelve haren oorsprong, naar men wil, in Noord-Amerika heeft. De ondervinding daarentegen heeft geleerd, dat eene juiste vereeniging van hout en ijzer — het laatste in den vorm van schoorstukken of van tusschenliggende platen — een zeer gunstigen invloed heeft op den toon.

Eene deugdelijke verzorging door schoorstukken in platen of gegoten ramen wordt vooral gevorderd bij piano's en alle instrumenten met staande snaren, dewijl zij van beneden naar boven door onderscheidene luchtlagen loopen en daarom ook blootgesteld zijn aan verschillende warmtegraden, waaraan zij tegenstand hebben te bieden.

De ziel der piano's, evenals van alle snaar-instrumenten in het algemeen, is de klankbodem. Deze is het, die eigenlijk stem aan het instrument mededeelt; want eene gespannen snaar die aangeslagen wordt, beweegt zich wel voor het oog, maar geeft weinig of geen geluid voor het oor, tenzij zij in hare nabijheid een lichaam heeft, waaraan zij haren klank kan mededeelen. Eerst wanneer de trillingen van de snaar door middel van de brug op den klankbodem worden overgebracht, ontstaat er een toon. Doch nu laat het zich denken, dat niet elke plank van de gekozen houtsoort en dikte zich even goed tot een klankbodem leent. Deze en de snaren staan veel meer tot elkander in zulk een nauw verband en de eerste heeft een zoo grooten invloed op den toon, dat men niet nauwlettend genoeg kan zijn op de keuze van het hout voor, en de bewerking van dit gedeelte van het instrument. De klankbodem bestaat in eene plaat, welker gedaante afhangt van de ligging der snaren; zij bestaat uit dun hout, van boven vlak, maar aan de benedenzijde voorzien van onderscheidene houten latjes, die er in verschillende richting op zijn gelijmd, ten einde het geheel te ondersteunen en bijeen te houden. Aan de bovenzijde is slechts ééne lijst van stevig hout zoo op den klankbodem vastgemaakt, dat zij in de nabijheid der verbindingslijst komt te liggen en hetzelfde beloop heeft als deze. Dit is de brug, over welke de gespannen snaren zoo heenloopen, dat zij er vast op komen te liggen en er alzoo eene drukking aan mededeelen. De klankbodem is dus geen voorwerp van ingewikkelde samenstelling en de vervaardiging van dit gedeelte des instruments geschiedt gewoonlijk door middel van schaven en lijmen. Maar de hoofdzaak ligt in eene goede keuze en behandeling van het hout, alsmede in de overeenstemming, die er moet bestaan tusschen den klankbodem en de zwaarte der snaren, benevens de gesteldheid van het hout zelf. Het hout nu is zoo on-

derscheiden van hardheid en elasticiteit, dat men ternauwernood twee stukken zal vinden, volkomen aan elkander gelijk. Dit luistert zoo nauw, dat men zelfs in denzelfden stam nog verschil zal aantreffen, naarmate men eene plank uit zijne noord- of uit zijne zuidzijde zaagt. Bij het vervaardigen van den klankbodem komt alles aan op een geoeffend oog en een gerijpt oordeel, en werklieden die uitmunten in het maken van goede klankbodems, zijn niet alledaagsch en worden hoogelijk gewaardeerd. Tot het maken van klankbodems bedient men zich meestal van uitgezocht dennenhout, dat geheel vrij is van hars; doch ook andere houtsoorten, zooals van ceder-, lorke- en verschillende soorten van pijnboomen laten er zich mede zeer goed toe gebruiken. Men heeft ook beproefd om er zich toe te bedienen van metalen platen, vooral van koper en blik, alsmede van gespannen perkament, maar geene voldoen zoo goed als die van hout en alle zijn ook veel kostbaarder. De platen van eenig metaal veroorzaken een schellen, scherp toon. Men neemt tot het vervaardigen van klankbodems glad hout met rechtlopende vezels of jaarringen. De toon schijnt niet afhankelijk te zijn van de ligging dezer vezels met betrekking tot de snaren: evenwijdig, schuins of dwars. Men maakt het eene zoowel als het andere, en de hoofdzaak bestaat alleen daarin, dat men toeziet of het hout, overigens geschikt zijnde, kleine, dicht bijeenstaande jaarringen heeft, hetwelk tevens hardheid en gewicht aanduidt, dan of het meer open, breed gestreept en dus zachter is. Het eerste is geschikt om onder de hoogere snaren geplaatst te worden; het laatste dient meer voor de snaren van den bas. Bovendien maakt men den klankbodem voor den bas dunner, voor de hoogere octaven dikker. Een dun plankje van zacht hout laat reeds bij kloppen een lageren toon hooren dan een dikker en harder. De eigenlijke kunst van het vervaardigen der klankbodems bestaat alleen daarin, dat de klankbodem overal dezelfde elasticiteit hebbe als de snaar die er boven ligt — iets dat gemakkelijker gezegd dan gedaan is. Indien aan deze voorwaarden voldaan is, zal de klankbodem met de aangeslagen snaar gelijktijdige en harmonieerende trillingen geven; het eene lichaam zal aan het andere eene trilling van geheel overeenstemmenden aard mededeelen en aldus zal een heldere, zuivere toon kunnen ontstaan. Indien daarentegen geene genoegzame overeenstemming bestaat tusschen snaar en klankbodem, zoodat de eene of de ander te sterk of te zwak is, zullen beider trillingen elkander storen of geheel wegnemen, en er zal een geluid ontstaan, dat in geenen deele den naam van „toon” kan dragen. Er is nog iets. De klankbodem moet niet alleen van den discant naar den bas gelijkmatig dunner worden, maar daarbij hangt ook nog veel af van de kracht en den aard van het instrument, want staartstukken eischen zwaarder klankbodems dan kleiner instrumenten. De dikte ligt doorgaans tusschen de  $\frac{3}{8}$  en 1 centim. De noodige vastheid en de op alle plaatsen gelijkmatige elasticiteit heeft de klankbodem van de regels en lijstjes, die ter dikte van 2—3 centim. aan de benedenzijde worden aangebracht en van hetzelfde hout als deze zijn. Voor het getal en de richting der houtjes bestaat geen bepaalde regel; ten opzichte van de richting tracht men alleen zooveel mogelijk te maken, dat zij met betrekking tot de houtvezels dwars liggen, zoodat, wanneer het eene in de lengte van het hout wordt genomen, het andere over de breedte komt. Men heeft in houtrijke streken bekwaame menschen, die het hout voor klankbodems en andere gedeelten der piano's uitzoeken en ten ruwste gezaagd en geschaafd in den handel brengen.

Belangrijk is ook dat gedeelte der piano's, hetwelk men het bewegende mechanisme kan noemen, zijnde al wat behoort tot het aanslaan der snaren. Het is ook daaraan, dat de uitvindingsgeest het meest moeite heeft besteed tot

voortgaande verbetering. Vandaar dan ook, dat het getal van gebruikelijke inrichtingen zeer aanzienlijk is, zoodat wij alleen zooveel aangaande dit onderwerp kunnen zeggen als noodig is om er onze lezers eenigermate mede bekend te maken. De talrijke wijzigingen van het mechanisme hebben natuurlijk betrekking op het achterste gedeelte, het hamer- en demperwerk, terwijl de toetsen krachtens hare bestemming zeer eenvoudige voorwerpen zijn en dan ook nog denzelfden vorm hebben, dien men er aanvankelijk aan gegeven heeft. In de klavierwerken van de oude samenstelling worden de hamertjes door de toetsen zelve gedragen, terwijl in de instrumenten van den nieuweren tijd de toetsen geheel niet samenhangen met de overige gedeelten van het mechanisme en er slechts



door het aanstooten op werken. Daarin bestaat het kenmerkend onderscheid tusschen de oude en de nieuwe samenstelling. Men maakt de toetsen van zacht hout, dat echter niet krom trekt, zooals linden- en dennenhout enz. Gelijk het geheele mechanisme vooral een stelsel van onderscheidene samenwerkende hefboomen uitmaakt, zoo zijn ook de toetsen dubbele hefboomen, bij welke vooral het draai- of steunpunt van belang is, terwijl de lengte van den hefboom verschillen kan en afhankelijk is van de samenstelling van het instrument en de ligging der snaren. Het steunpunt voor de toetsen bestaat in een regel, op welken platte stiften geslagen zijn, die door

eene sleuf in den toets komen. Voor de hooge toetsen, die zooveel korter zijn, ligt het steunpunt naar evenredigheid verder voorwaarts. Van de ligging van het steunpunt hangt vooral af of het bespelen van het instrument luider of zachter zal zijn; voorts hangt daarvan en van het doorzakken der toetsen bij het bespelen (zijnde omtrent  $\frac{3}{4}$  centim.) af hoe hoog de andere zijde van den hefboom zal oplichten, zoodat klaarblijkelijk die geheele inrichting zoo moet worden samengesteld, dat de hamertjes zich naar den eisch kunnen bewegen. Wij hebben alzoo hier reeds eene menigte lengten en cijfers, onderling samenhangende, die met elkander in overeenstemming moeten zijn ten einde een goeden aanslag van het instrument teweeg te brengen.

Terwijl wij nu de verschillende mechanismen van de hamertjes een weinig nader willen in oogenschouw nemen, vestigen wij het eerst de aandacht op de oude inrichting van SCHRÖTER, zooals zij, na eene kleine wijziging door den Straatsburger SILBERMANN, bij de toenmalige instrumenten gebezigd werd. Daartoe diene de afbeelding bladz. 41. Het benedenste stuk is de achterzijde van den toets, waarop het hamertje met zijn drager staat. Wanneer de toets door het nederdrukken op de voorzijde opwaarts gaat, wordt de achterwaarts staande staart of snavel van het hamertje door den kant van de tegenoverstaande lijst tegengehouden; het hamertje zelf slaat nu om, en wel opwaarts. De speelruimte van den toets zelve wordt door de onderste zijde van die lijst beperkt. Daar nu de hamersteel een veel langeren hefboomsarm vormt dan het staarteinde, moeten ook de weg en de snelheid van den hamerkop in diezelfde evenredigheid grooter zijn. Bij de hedendaagsche instrumenten staat het dalen van den toets onder den vinger des spelers hiertoe in reden als 1 tot 8; alzoo is de weg, dien de hamerkop door-

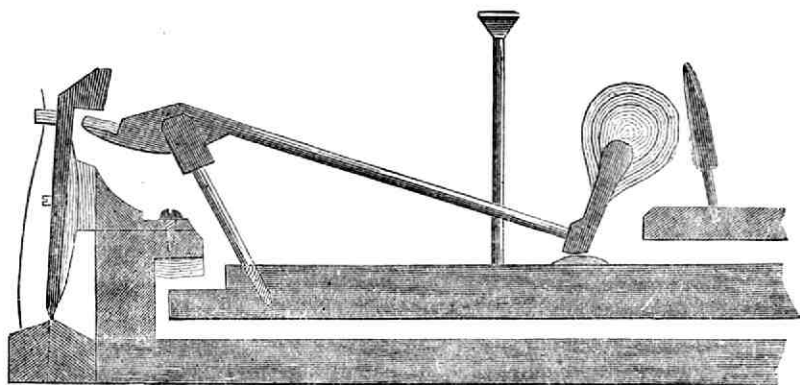
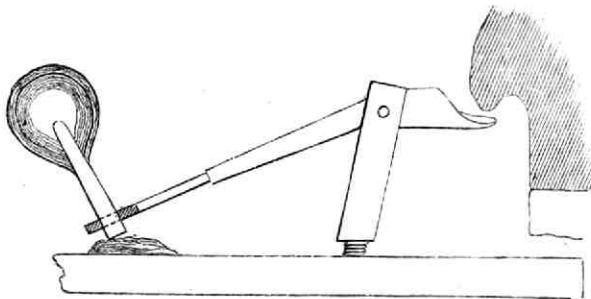


loopt in denzelfden tijd waarin de toets wordt neergedrukt, achtmaal langer en alzoo ook zijne snelheid achtmaal grooter.

Diezelfde SILBERMANN kwam ook reeds op het veel betere denkbeeld om den hamer van den toets af te scheiden, zoodat hij zich aan een afzonderlijken onbeweegbaren ligger beweegt en door middel van een op den toets staanden opstootter wordt voortgestuwd. Dit denkbeeld vond echter, zooals reeds gezegd is, in Frankrijk en Engeland — schoon alleen bij Duitsche fabrikanten — zijne voorstanders; later kwam het als eene Engelsche uitvinding in zijn oorspronkelijk

vaderland terug, ofschoon niet één Engelschman iets tot de volmaking had toegebracht. In Duitschland zelf sloeg men met de verbetering van het blijkaar zeer onvolkomen mechanisme van SCHRÖTER een anderen weg in: daar was het STEIN, een Augsburger, die er de inrichting aan gaf, welke zoo

langen tijd, en ten deele zelfs tot in onze dagen, als Weener mechanisme is in stand gebleven. STEIN bedacht ter vervanging van de harde afstootlijst den verenden achter-afstootter, die den hamer meer speling liet; om die speelruimte echter naar eisch te beperken, voegde hij er den hamervanger bij. De afstootter is op zijne lijst met een reepje perkament vastgelijmd, en eene draadveer drukt hem bij voortdoring binnenwaarts tegen de bekleede aanslaglijst. De hamer slaat door dezelfde oorzaak als bij het vorig mechanisme naar boven, dewijl zijn steel-eind tegen een beletsel aanstoot; hier echter is het beletsel een ontwijkend, want



op zekere hoogte der opheffing, nadat de hamer voortgedreven is, moet de ver-trager van het hellend vlak der hamergaffels afglijden; de hamer valt dan terstond terug, al blijft de toets nog opgeheven. Het voortduren der drukking op den toets heeft dan nog slechts die uitwerking, dat de demper niet nederzakt en de aangeslagen snaar alzoo blijft voortklinken. De afstootter heeft zich, nadat de hamer is afgevallen, weder tegen het bekleedsel gelegd; daalt de toets daarop weder, dan wijkt hij voor de drukking van de geronde onderzijde des gaffels andermaal terug, en schiet er weder boven zoodra de gaffel zoo laag is gedaald, dat de kop van den afstootter zich boven hem plaatsen kan.



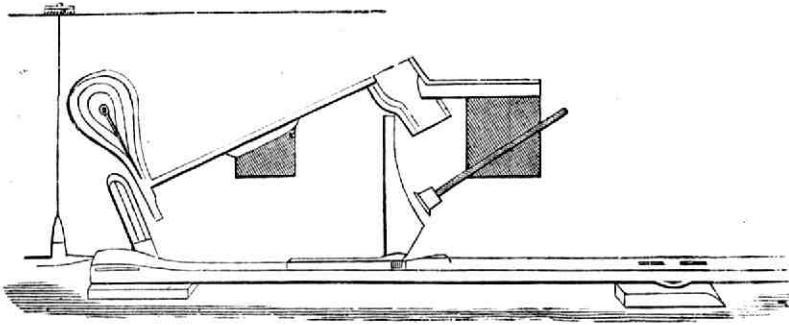
Alzoo blijkt, dat de werkzaamheid van den afstootter bestaat in een voortdurend inschieten van zijn kop beurtelings onder en boven den hem voorbijgaanden hamergaffel. Het afglijden — zoo noemt men zulk eene inrichting, waardoor de hamer van zelf, nadat hij heeft aangeslagen, terstond terugvalt — wordt onder een of anderen vorm op elke soort van mechanisme aangetroffen; het nut er van is klaarblijkelijk. De hamer wordt echter door de getroffen snaar met zoo veel kracht teruggekaatst, dat hij van zijn bekleeden *legger* zou kunnen opspringen; daarom is er dan ook een hamervanger, dat is een kleine, bekleede en een weinig schuins geplaatste tegenhouder, die den hamerkop of door de wrijving der beide zachte ruige oppervlakten, of ook wel door een meerder of minder klemmen, oogenblikkelijk in rust brengt. Hoe krachtiger een toets wordt aangeslagen, des te sterker slaat ook de hamer door de terugkaatsing in den vanger terug. Na het voorafgaande zal de inrichting van het op de vorige bladz. ond. afgebeelde Weener mechanisme wel geene verklaring meer behoeven. Het gedeelte dat in het midden rechtstandig is geplaatst, is de aflichter van de demping.

De zoogenaamde Engelsche mechanismen onderscheiden zich, zooals reeds is aangemerkt, in het wezen der zaak daardoor van het Weener, dat de hamers niet aan de toetsen vast zijn; zij liggen integendeel met hunne zwikjes in eene onbeweegbare lijst vastgeklemd, waardoor de mechanische verhoudingen veel eenvoudiger en gunstiger worden dan bij het voorgaande mechanisme. De beweging wordt van den toets op den hamer overgebracht door een opstootter of stoottong, die dus eene gewichtige rol bij het mechanisme vervult. Hij staat loodrecht op den toets en brengt den hamer, als die naar boven rijst, kort voor zijn draaipunt den stoot toe, die hem naar boven slaat. Zoodra de stoot heeft plaats gehad, wordt de hamer op eene bepaalde hoogte door afglijding vrij van den stooter en valt in zijn vanger terug.

Het afglijden wordt altijd teweeggebracht door eene vaststaande hindernis, die den opstootter, nadat die een eind gestegen is, tot eene zijdelingsche beweging dwingt, zoodat zijne spits haar stootpunt onder de hamernoot verlaten moet. Om die reden is de opstootter in den toets met een scharnertje vastgehecht — bij eenvoudige werken dikwijls met een reepje perkament, meestal echter met pen en gat. Eene kleine veer tracht hem voortdurend in een loodrechten stand te houden, en brengt hem dan ook telkens daarin terug, zoodra de afglijding heeft plaats gehad. Bij goede instrumenten is de inrichting somtijds zoodanig, dat het verbindingspunt van den stooter met den toets door stelschroefjes iets hooger of lager kan verplaatst worden; want het is blijkbaar van veel belang, dat de hoogte der opheffing nauwkeurig kan geregeld worden. De bovenste figuur bladz. 43 vertoont de meest gebruikelijke inrichting van het Engelsch mechanisme. Hier wordt het afglijden bewerkstelligd door eene schroef met een kop, die schuins door de hamerlijst steekt; en het is duidelijk, dat als de opstootter rijst, diens hellend oppervlak met den schroefkop in botsing komen en de opstootter zoo ver links uitwijken moet, dat de gaffel boven aan de hamernoot loslaat. Bij het in gereedheid brengen wordt door voor- en achterwaarts schroeven het punt gevonden, waar aanslag en afglijden het best en het snelst op elkander volgen. Op het achtereind van den toets rust een tweede hefboom, die den demper draagt.

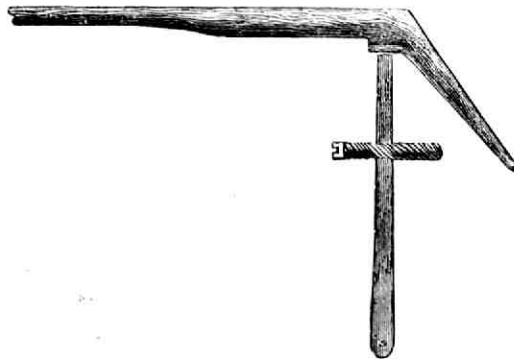
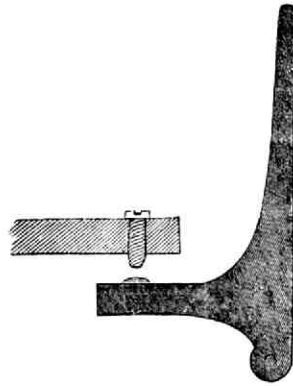
Het afglijden der stoottong kan nog onder verscheidene andere vormen voorkomen; wij geven bladz. 43 nog twee vormen, die veel gebruikt worden. Bij de onderste figuur steekt het stelschroefje in den opstootter zelve, en het is licht te zien, dat het rijzen van den laatste ook tegelijkertijd een wegduwen van dezen naar de rechterzijde door den schuins uitlopenden hamersteel moet ten gevolge hebben. Bij de bovenste constructie heeft de opstootter den vorm van een win-

kelhaak, wiens horizontale arm, als de toets rijst, door eene stelschroef, die loodrecht in eene lijst steekt, wordt tegengehouden, waardoor eveneens een uitwijken van de stoottong naar de linkerzijde wordt teweeggebracht. Die afglijdingen ech-



ter, waarbij hellende vlakken in toepassing gebracht zijn, vinden den meesten bijval en worden het veelvuldigst gebezigd, omdat zij, goed vervaardigd zijnde, de gladste uitvoering waarborgen, terwijl b. v. zulke mechanismen, die den winkelhaak tot grondslag hebben, zich al spoedig door een gevoel van trilling bij den speler kenbaar maken.

Een nieuwere vooruitgang in de piano-forte-constructie, die door velen wordt geprezen, maar bij anderen niet zoo hoog staat aangeschreven, is het zoogenaamde repetitie-mechanisme of de dubbele afglijding. Het denkbeeld daartoe is afkomstig uit de werkplaats van ERARD te Parijs, en door FRANS LITZ werd die nieuwigheid op de baan gebracht en beroemd gemaakt. Bij ieder gewoon mechanisme namelijk moet de toets na elken aanslag weder geheel kunnen opspringen, alvorens hij opnieuw kan worden aangeslagen, want de afgegleden stoottong moet eerst weder hare plaats onder het opstootpunt tegen den hamer hebben ingenomen. Het repetitie-mechanisme geeft daarentegen gelegenheid om den nedergedrukten toets bij voortdurende aan te slaan, wanneer hij maar gelegenheid heeft 1 a 2 millim. te rijzen. Hierdoor wordt den virtuos en veel gemak verschafft bij het uitvoeren van snelle trillers en pianissimo's, ofschoon het ontegenzeggelijk is, dat een geoefend speler met vlugge vingers op een gewoon instrument dat even goed zal uitvoeren. Maar dit is niet tegen te spreken, dat sommige kunstjes met het repetitie-mechanisme veel zekerder en gemakkelijker kunnen worden uitgevoerd, waarom een beroemd meester en onderwijzer gewoon is het een ezelsbrug te noemen. 't Is dan ook eigenlijk een punt





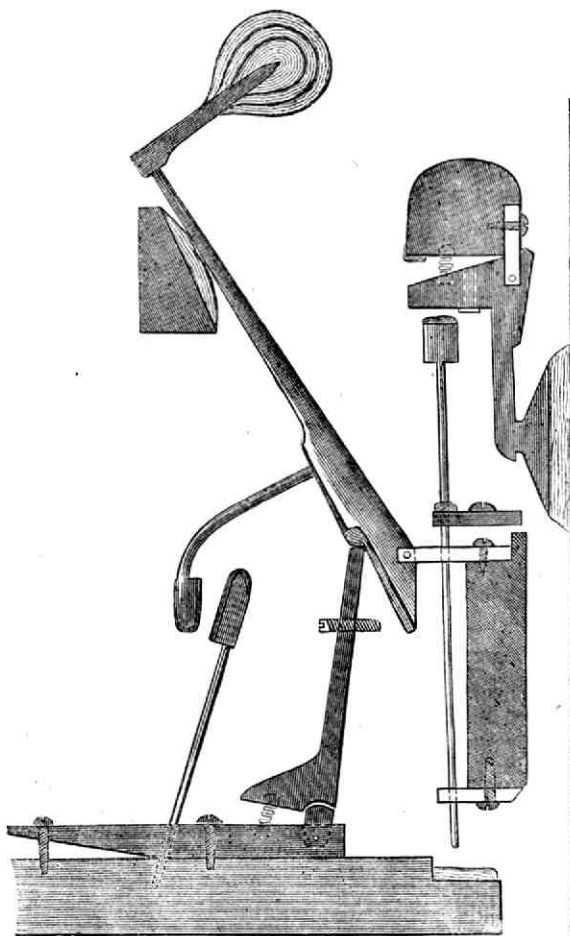
Ten laatste is de modelkamer ook nog met verscheidene benedenwaarts aanslaande mechanismen voorzien, en daaronder bevinden er zich ook die vrij samengesteld zijn. Bij sommigen vindt men reeds bekende deelen, de afglijdingen namelijk, maar met gewijzigde inrichting, terug. Bij benedenwaarts aanslaande mechanismen ligt het klavier boven de snaren; daarom wordt het achtereind van den toets niet gebezigd om een stoot naar boven aan te brengen, maar om er een van onder op naar boven te halen. In plaats van de stoottong gaat van den toets een verbindingsarm naar beneden, die of aan den hamer vastzit, of met een staarteinde er van, die boven het draaipunt uitsteekt, derwijze in verband is gebracht, dat hij beurtelings aanstoot en afglijdt.

In tegenstelling met de opwaarts slaande mechanismen staan de hamers schuins naar boven gericht en worden, wanneer het staartdeel een stoot naar boven ontvangt, natuurlijk benedenwaarts tegen de snaar aangeslagen. Eene veer of iets anders, tot dit doel aangebracht, heft den hamer terstond, nadat hij heeft aangeslagen, weder op.

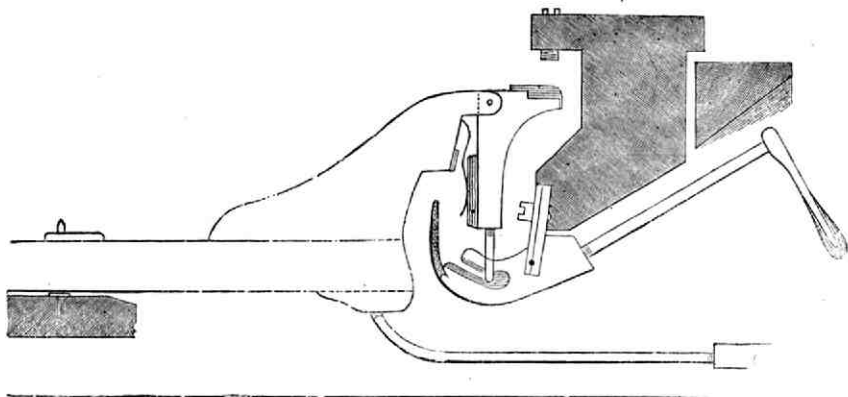
Het op blad. 46 afgebeelde mechanisme, dat van GREINER, is bij zijne groote eenvoudigheid zeer practisch en maakt veel opgang. De hamer wordt aangetrokken door een rechtstandigen draad, die van onder haakvormig is omgebogen en in eene sponning der hameroot ingrijpt. Het lichaam, dat aan het einde der laatste zichtbaar is, is eene soort van viltvanger.

De daarop volgende figuur is de afbeelding van een klavier en een hamermechaniek, zooals het zich in zijne natuurlijke ligging en samenvoeging pleegt voor te doen. Natuur-

lijkerwijze liggen de meeste deelen van het mechanisme buiten het gezicht, en het geheel ziet er niet zoo samengesteld uit als inderdaad het geval is. Het getal der stukjes van verschillende houtsoorten, ijzer- en koperdraad, laken, vilt, leder en perkament, benoodigd tot het mechanisme van een grooten vleugel, die naar de vernuftigste constructie gebouwd is, zal wel ruim 3000 bedragen, en ieder hunner is uit de hand bewerkt en met dezelfde nauwkeurigheid in het geheel op zijne plaats gesteld. Onderscheidene houtsoorten worden daartoe gebezigd, al naar gelang van hare hoedanigheden. De eene kiest men, omdat de staafjes die er uit vervaardigd worden, niet krom trekken, de andere, omdat het



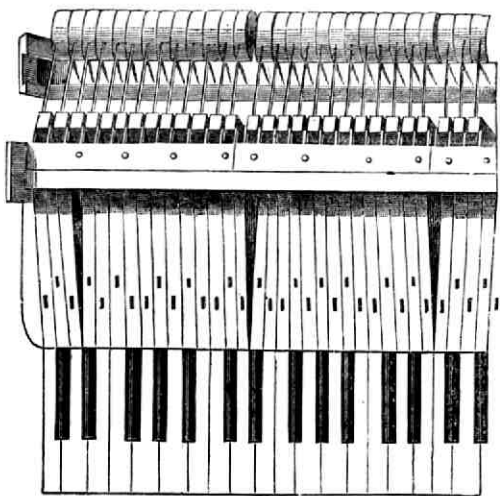
recht van draad is; nog andere soorten weder, omdat zij hard of week of taai enz. zijn. Het meest wordt appel- en perenhout, linden-, ook wel maghonie-, ceder-, fernambuc- en braziliëhout gebruikt. Het grenst aan het wonderbare, dat zulke zwakke houtjes kunnen doorstaan wat zoo dikwijls van de piano wordt gevergd; juist hierin kan de fabrikant toonen, dat hij zijne materialen kent en gepast



weet te kiezen; dat hij aan alle deelen de juiste verhouding en vormen gegeven en het geheel zoo in elkander gezet heeft, dat nergens de vrije beweging der deelen eenige stoornis ondervindt.

Van niet minder gewicht is de goede hoedanigheid der verschillende zachte stoffen, die bij het piano-mechanisme worden gebezigd, namelijk bij de hamers en de dempers.

Het goede overtrekken der hamers oefent een grooten invloed uit op het voortbrengen van een schoonen krachtigen toon. Wordt het bekleedsel door het aanslaan mettertijd hard, dan moet de toon veel verliezen; zoo zal ook een hard geworden demper de snaar niet meer volkomen tot zwijgen brengen, maar allicht een nasissend geluid doen hooren. Vroeger, toen men slechts schaapsleder en eene katoenen stof tot dit doel kende, waren dergelijke gebreken onvermijdelijk. Men leerde ook wel hartsleder tot het bekleeden der hamers gebruiken, en dit zou aan alle eischen voldoen, indien het



maar in genoegzame hoeveelheid te verkrijgen ware. Een belangrijke vooruitgang was het derhalve, toen men — allereerst in Engeland — voor de hamers en dempers bijzondere soorten van vilt begon te vervaardigen, die thans algemeen gebruikt worden en een zeer gewild handels-artikel geworden zijn. In Frankrijk werd de fabricage van dergelijke viltlen spoedig nagevolgd, maar Duitschland moest langen tijd zijn benoedigde uit beide landen ontbieden; het is echter op

den weg om zich ook in dit opzicht onafhankelijk te maken. Reeds jaren geleden zag men Duitsch hamervilt, dat op het oog zeer goed voldeed; er ontbrak nog slechts dat helder wit aan, waardoor het Engelsche en Fransche vilt zich onderscheiden: het was nog eenigszins geelachtig, en daarom trokken de pianomakers er de schouders voor op en meenden, dat men er toch wel op den eersten blik aan kon zien dat het geen Fransch voortbrengsel was. Ofschoon nu dat witte niets ter zake deed, wist men het toch mede spoedig aan het vilt te geven.

Het vilt voor de hamertjes is  $\frac{1}{4}$  of  $\frac{1}{5}$  centim. dik en uiterst fijn en zacht; het bestaat uit zuivere schapewol, somtijds echter vermengd met een weinig katoen. Het vilt dat men in de fabriek van BROADWOOD gebruikt, is naar men zegt van Hongaarsche wol uit de kudden van vorst ESTERHAZY; deze wol moet er uithoofde van hare groote fijnheid bij uitnemendheid geschikt voor zijn.

De dikte, ronding en zachtheid van de koppen der hamertjes is het grootst bij de laagste noten en neemt dus naar de rechterzijde evenzoo af als de lengte en dikte der snaren zelve. Slechts de bovenlaag van het vilt is van eene zoo fijne soort; onder haar ligt eene andere van grover gehalte. De stukjes vilt worden met lijm op het hout vastgemaakt en bij de grootere kussentjes minder, bij de kleinere sterker aangetrokken. Voor de discant-noten gebruikt men tegenwoordig ook leder in plaats van vilt.

Terwijl zoo de zachte hamertjes en dempers met de snaren in aanraking komen en eensdeels den toon helpen vormen, anderdeels hem doen zwijgen, is op andere plaatsen doek of leder gebezigd met het doel om elk bijkomend geluid te verhinderen, zoodat de gang van het mechanisme geheel en al onhoorbaar wordt. Overal dus, waar twee harde deelen van het mechanisme met elkander in aanraking komen, vindt men eene bekleeding met doek of eenige andere stof ter wegneming van alle mogelijke gedruis, b. v. aan de voorzijde der toetsen en daar waar zij in het binnenwerk eenigen hoorbaren stoot kunnen geven. Deze bekleeding is natuurlijk het dikst en zorgvuldigst gemaakt, waar men het lichtst den stoot zou kunnen hooren. Het aanslaan, terugvallen enz. der hamertjes geschiedt alzoo alles tegen eene soort van kussentjes; ja bij piano's van de beste soorten gaat de voorzorg zoo ver, dat zelfs de draden, b. v. tot opheffing van den demper, door gaatjes loopen, die van eene bekleeding voorzien zijn. In één woord, al wat slechts het allergeeringste gekras of gestoot of geluid zou kunnen veroorzaken, is met groote zorg zoo ingericht, dat eene zachte bekleeding de grootstmogelijke stilte bij de beweging van het mechanisme doet plaats hebben.

Doch ééne zaak bleef: het hamertje slaat tegen de snaar, daarmede is de toon aangegeven, maar de trillingen der snaar verflauwen en de toon sterft weg. Bij blaas-instrumenten daarentegen blijft de toon aanhouden zoolang wind in de buis wordt aangevoerd en hierdoor onderscheidt zich de piano van het orgel. De vindingrijkheid echter heeft hierin weten te voorzien. Men heeft een middel gevonden om de dempers, in verschillende groepen, afzonderlijk of gelijktijdig te kunnen oplichten. ZACHARIAS te Frankfort a/M., WOLFF te Parijs en EHRBAHR te Weenen hebben ieder op eene afzonderlijke wijze toestellen vervaardigd, met welke behulp men het geluid van een of meer toetsen, evenals die op een orgel, kan aanhouden. Men schijnt aan deze met den voet bestuurde toestellen den naam pedale sonale te zullen geven.

Wij komen nu tot de snaren, en alzoo tot het belangrijkste gedeelte van alles, te welks gevalle de overige gedeelten van het instrument dienen. De veranderingen, die sedert eene halve eeuw te dezen aanzien zijn ingevoerd, hebben



zowel betrekking op de soort van deugdelijkheid der snaren zelve, als op de dikte der draden, van welke zij gemaakt worden. De oude klavierfabrikanten bedienden zich van veel dunner draad en wel voor de lage tonen van ijzer-, voor de hoogere van koperdraad; het laatste werd nergens beter gemaakt dan te Neurenberg, gelijk het ijzerdraad te Berlijn. Tegenwoordig gebruikt men meestal gegoten staal, eene verbetering uit Engeland afkomstig, van waar langen tijd de stalen snaren — die van WEBSTER — overal naar elders werden ontboden. Dit is goeddeels nog het geval, want tot dusver bestaat er op het vasteland van Europa nog geene fabriek van deze snaren, die met de Engelsche wedijveren kan. Trouwens, men is nog niet achter het fijne van de bearbeiding der Engelsche stalen snaren, en vooral weet men niet juist, hoe zij gehard worden. De Engelsche snaren toch zijn hard en breken scherp af.

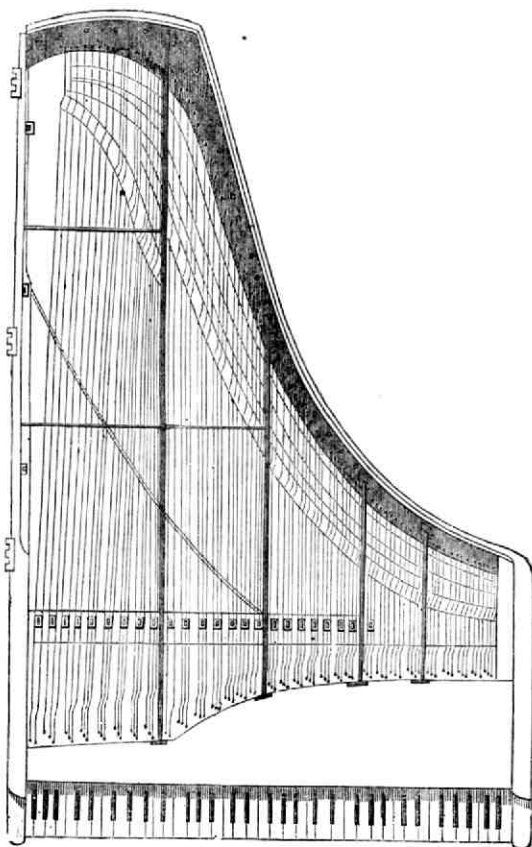
De toon eener snaar hangt af van hare lengte in zoover zij vrij trillen kan, van hare dikte en van den graad harer spanning. Deze drie zaken moeten in een zeker onderling verband staan, zal de krachtigste en zuiverste toon bereikt worden, welken de snaar onder gegeven omstandigheden voortbrengen kan. Doch hier komt nog bij, dat de snaar slechts dan het krachtigst en zuiverst klinkt, wanneer hare spanning zoo sterk is, dat het op springen af gaat; doch indien de zuiverste toon niet bij elken graad van spanning kan gevonden worden, dan is het natuurlijk, dat men het doel moet trachten te bereiken door eene gepaste verhouding tusschen de twee andere opgenoemde gegevens: de lengte en de dikte der snaar. Daarom is het een belangrijk werk, te weten hoe lang de snaren van bepaalde dikte zijn moeten, terwijl die dikte zelve weder afhangt van de samenstelling van het instrument. De pianomaker moet in dit geval eene soort van natuurkundige zijn en gehoorkundige berekeningen kunnen maken, behalve in die gevallen, in welke men er zich slechts op toelegt „manneke naar manneke” te werken. De gemiddelde lengte der snaren kan reeds daarom niet gelijkmatig afnemen, dewijl voor elken toon geen afzonderlijk nummer van snaren bestaat, en vandaar de harpvormige gedaante van den klankbodem en van de stiften daarop. De ware lengte van de snaar wordt alleen gemeten door den afstand tusschen de stiften aan de eene en die aan de andere zijde. Men behoeft dan ook een geopend instrument slechts te zien om zich te overtuigen, dat het tusschen die beide punten liggende gedeelte der snaar het eenige is, waardoor de trilling gaat en dus het geluid gegeven wordt.

Het volgende diene nog tot beter verstand der verhoudingen tusschen de dikte, lengte en spanning der snaren. Men zou twaalf snaren van dezelfde lengte en dikte zoo verschillend kunnen spannen, dat men de twaalf halve tonen van een octaaf bekwaam; en op dezelfde wijze zou men twaalf even dikke en evenredig gespannen snaren zoo verschillend van lengte kunnen maken, dat zij mede de twaalf halve tonen van een octaaf geven; terwijl eindelijk bij gelijke lengte en gelijke spanning de dikte der eene snaar zooveel van die der andere zou kunnen verschillen, dat hetzelfde doel bereikt werd. Maar in de practijk zou het eene al even onvoldoende zijn als het andere. Elke trap van dikte, lengte en spanning brengt een bijzonderen aard van toon mede; indien dus twee snaren van dezelfde lengte en dikte zoo verschillend worden gespannen, dat hare tonen een octaaf van elkander verschillen, zal de hooge misschien goed, de lage daarentegen zwak en flauw klinken. Doch indien men omgekeerd, ten einde de beide tonen te verkrijgen, de eene snaar slechts in lengte of ook in dikte van de andere laat verschillen, zal het onderscheid in de kracht van toon wel niet zoo groot zijn als in het eerstgenoemde geval, maar de gewenschte eenparigheid in kracht van toon zal zich toch niet laten bemerken. Het geoefend oor van

den instrumentmaker hoort reeds duidelijk het verschil tusschen twee onderscheidene nommers der snaren, hoewel er in hetzelfde stuk snaren geplaatst worden van 12 tot 20 verschillende nommers. In de practijk legt men zich daarop toe, dat men zoowel de lengte als de dikte, en ook in geringe mate de spanning van beneden naar boven laat afnemen. Er zijn daarvoor wel regelen, maar altijd moet men het gemiddelde nemen en ten laatste de beslissing der zaak overlaten aan de geoefendheid van het gehoor.

Zoodra men eene piano openmaakt, ziet men dat niet alle snaren van blank staal draad zijn; in den bas is de stalen snaar met fijn draad omwikkeld. Hiertoe bezigt men fijn, zacht koperdraad, of ook slechts voor het eerste octaaf koper, in de andere fijn ijzerdraad. Door den omgewonden draad is de snaar zwaarder geworden en alzoo genoodzaakt om langzamer slingeren te maken, met andere woorden: een lageren toon aan te geven. De omgewonden draad brengt daarbij hetzelfde teweeg alsof hij tot de snaar zelve behoorde; indien b. v. om eene snaar evenveel draad wordt gewonden als zij zelve weegt, dan klinkt zij, het overige gelijkstaande, een octaaf lager dan ingeval zij niet omwonden ware. Om echter een even lagen toon op eene snaar van de dubbele zwaarte te erlangen, zou men meer spanning moeten veroorzaken, niet dewijl de dikkere snaar inderdaad hooger gespannen moet worden, maar omdat er meer deeltjes in gevonden worden, die spanning eischen. Een ander belangrijk voordeel van het omwinden bestaat hierin, dat daardoor eene menigte bijtonen worden weggenomen, die anders, d. i. bij niet omwonden snaren, vooral in den bas, een onaangenaam geluid zouden geven.

Door dubbele of driedubbele snaren wordt, gelijk van zelf spreekt, een krachtiger toon voortgebracht; in dit geval brengt de vermeerdering der snaren hetzelfde teweeg als hare verzwaring. Vandaar dat alle kleinere instrumenten dubbel besnaard zijn; de groote worden driesnarig gemaakt, althans tot in de lagere bastonen, waar insgelijks slechts twee snaren voor elken toets zijn. Groote en fijnere pianino's met staande snaren worden tegenwoordig ook driesnarig bespannen, want deze heerlijke instrumenten, die dan ook meer en meer in gebruik komen, kunnen bijna tot dezelfde kracht gebracht worden als de staartstukken, en het is inderdaad verwonderlijk, dat zulk eene kracht van toon in een betrekkelijk zoo klein bestek is verborgen. Slechts zulke hooge instrumenten, als men



II C.

er aan het begin van dit hoofdstuk een uit de fabriek van BROADWOOD afgebeeld ziet, zijn niet zeer gezocht, dewijl zij, gelijk men mede op de afbeelding zien kan, moeilijk te stemmen zijn. De eigenaardige samenstelling dier instrumenten maakt, dat de toetsen hunne werking door middel van lange staafjes naar de boven in het werk liggende hamertjes moeten overbrengen.

Geenszins onverschillig is het, op welk punt het hamertje tegen de snaar slaat; er is slechts ééne plaats, waar de toon het helderst klinkt, en dat punt ligt niet, gelijk men vermoeden zou, in het midden. Eene snaar, die men in haar midden aanslaat, klinkt zwak en flauw, en een instrument, zooals men ze in de vorige eeuw volgens dat beginsel vervaardigde, moest wel den bijnaam van d'amour verwerven. Het beste punt voor het aanslaan ligt bij eene volkomen gespannen snaar op  $\frac{1}{3}$  van hare geheele lengte, en deze maat — eigenlijk tusschen  $\frac{1}{3}$  en  $\frac{1}{2}$  — is die, welke bij het vervaardigen van instrumenten wordt in het oog gehouden. Een aanslaan daar ter plaatse veroorzaakt anders gevormde en krachtiger trillingen in de snaar, dan dat in haar midden.

Eindelijk zal de kunstige en nauwluisterende vervaardiging van het instrument oogenschijnlijk geëindigd zijn — en toch is er nog veel arbeid aan te verrichten. Hetgeen nog volgt bestaat in het afwerken van het geheel en in het gelijkmaken der tonen. Eerst worden al de deelen van het inwendige mechanisme nauwlettend nagegaan, ten einde te zien of het naar eisch werkt dan of het nog op de eene of andere wijze moet verholpen worden. Men moet onderzoeken of de toetsen alle gelijkmatig doorgaan, en zoo neen, daaraan de noodige herstellingen doen, waartoe men zich van een gewicht bedient. Voorts moet alles nog nader worden in orde gebracht, met name de vereischte werking van alle veeren, de werking der hamertjes — in één woord, al wat betrekking heeft op de inwendige inrichting van het geheele mechanisme, terwijl daarna eerst wordt overgegaan tot het regelen van de onderlinge verhouding der tonen. In dit opzicht ontmoet men velerlei zwarigheden; er kunnen holle, schelle, krijschende en valsche tonen voorkomen; de oorzaak daarvan is niet altijd gemakkelijk te vinden en kan bestaan in de lederen bekleedsels, in de stof der snaren zelve of zelfs nog wel dieper. In de eerste gevallen voorziet men door het verhelpen van gebreken aan de bekleeding en door het aanspannen van eene nieuwe snaar; indien dit niet helpt, kan men het er voor houden, dat er andere gebreken schuilen, gelijk er zich bij de eene of andere gelegenheid dagelijks vertoonen. Misvattingen bij de vervaardiging der afzonderlijke deelen of bij het ineenzetten van het geheel kunnen een nadeeligen invloed op één of meer tonen uitoefenen; de brug, de klankborden, de richels, — in één woord al de afzonderlijke deelen kunnen verborgen gebreken hebben; er kan een plekje zijn, waar de lijm niet goed houdt, er kan hier of daar een splintertje zijn blijven zitten en dergelijke. Al die verholten vijanden moeten opgezocht en onschadelijk gemaakt worden. Eindelijk kunnen de tonen, elk op zich zelve, goed en zuiver zijn, en toch niet goed samenstemmen; kleine veranderingen in het mechanisme kunnen ook deze leemte verhelpen.

En zoo ontstaat eindelijk, door de vereeniging van vaardigheid, kunst en wetenschap, dat samenstel, hetwelk zijne bestanddeelen uit al de rijken der natuur, misschien uit alle werelddeelen heeft ontleend, en dat, geheel in orde zijnde, een sieraad van de huiskamer kan zijn en een deelnemend vriend in vreugde en droefheid — namelijk indien het met gevoel, kennis en smaak bespeeld wordt.

Doch van alle snaar-instrumenten is geen zoo volmaakt als de viool, 't zij men lette op hare gehoorkundige of op hare muzikale eigenschappen; tevens

Viool

echter heeft hierdoor de theorie harer vervaardiging aan de hoogste en moeilijkste eischen te beantwoorden.

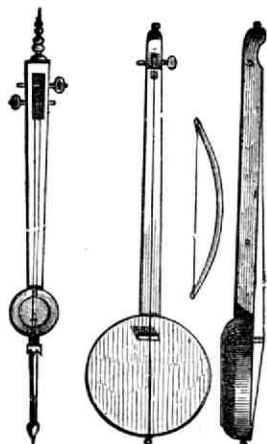
Het is opmerkelijk, dat niet in onzen tijd, maar in de zeventiende eeuw, 1600—1680, de vooruitgang van het vervaardigen der violen, tegelijk met de ontwikkeling der muziek-wetenschappen, heeft plaats gehad.

De viool bestaat uit eene klinkende houten holte, boven welke eenige snaren opgespannen zijn. De vorm van het instrument en de zelfstandigheid der snaren verschillen in de onderscheidene landen, in welke bij slechts eenigszins ontwikkelde beschaving, overal vioolvormige muziek-instrumenten worden aangetroffen. Overal echter vindt men dezelfde wijze van bespelen, namelijk door middel van een strijkstok, bespannen met paardenhaar, dat men met hars bestrijkt om het gladde te benemen, terwijl de tonen van elke snaar worden verhoogd door met den vinger ter vereischte lengte tegen den steel te drukken, aan welken men het instrument vasthoudt.

De nevensstaande afbeelding vertoont twee Arabische violen. Men vindt de viool bij de Hindoes als accompagnements-instrument, gelijk zij ook in de middeleeuwen in Europa door rondtrekkende zangers gebruikt werd. Het Fransche woord voor die driesnarige viool der middeleeuwen, *Rabel* of *Rebel*, is afkomstig van het Arabische *Rabib*, beteekenende eene soort van lier. Het woord *viool* is van het Spaansche *Violon*.

De viool is reeds vroeg in het Westen aangeland, blijkens talrijke oudere afbeeldingen op gebouwen en in handschriften. In het kapiteel van de St.-Georgekerk te Boscherville vindt men eene groep van elf muzikanten uit de XI<sup>de</sup> eeuw uitgehouwen, onder welke een (zie nevensstaande afbeelding), eene driesnarige viool heeft, weinig van de tegenwoordige verschillende. Aan de Nôtre-Dame-kerk te Parijs zag men vóór de omwenteling aan een der portalen een staande figuur, die voor koning *CHILPERIK* gehouden werd. Deze afbeelding dagteekent mede uit de XI<sup>de</sup> eeuw; het beeldje hield eene viool in de hand, welker meer sierlijke vorm van een aanmerkelijken vooruitgang in het vervaardigen dier instrumenten getuigt. Ook is uit de XII<sup>de</sup> eeuw de afbeelding van een violspeler bekend, in het portaal der abdijkerk van St.-Germain des Près te Parijs; zijne viool heeft 5 snaren. Uit een miniatuur der XIV<sup>de</sup> eeuw in de groote bibliotheek in de Rue Richelieu te Parijs, en uit eene gelijktijdig vervaardigde figuur aan het portaal der kapel St.-Julien des Ménétriers (zie de afbeelding bl. 52) blijkt, dat de toenmalige *Rebel* vrij nauwkeurig met eene driesnarige viool overeenkomt, ja dat de steel, evenals thans, in eene gesneden spiraalkrul uitloopt. Wij mogen dus vaststellen, dat de tegenwoordige viool reeds van dien tijd af dagteekent.

Gelijk wij uit de afbeeldingen op de St.-George-kerk zien, waren er vroeger, behalve de gewone vioolvormige instrumenten, nog veel grooter snaar-instrumenten, welke men, als de violoncello's, tusschen de knieën plaatste, en die met drie vier of vijf snaren naar landsgebruik, bespannen waren.



In het wezenlijke zijn dergelijke instrumenten zoo nauw aan de viool verwant, en in de ontwikkeling van hun gemeenschappelijk gebruik tot versterking of begeleiding der viool, dermate hand aan hand met deze gegaan, dat wij de geschiedenis van het voornaamste instrument tevens kunnen aanmerken als die der overige.

De kunst om violen te vervaardigen ontwikkelde zich vooral in het muzieklievend Italië, waar de instrumentale kerkmuziek niet anders dan hoogst bevorderlijk aan de ontwikkeling der kunst kon zijn. Daar heeft dan ook dit instrument zijn schitterendst levenstijdperk bereikt. De eerste violen met 4 snaren werden door zekeren TESTORI vervaardigd, doch zij waren nog zeer onvolmaakt en zwak van toon. De opvolger van TESTORI, ANDREAS AMATI te Cremona, bracht het vioolmaken spoedig tot een hoogen trap van volkomenheid, zoodat zijn naam zich ver buitenslands verspreidde, en de bestellingen, hem door KAREL IX



gedaan, aan de Italiaansche violen den voorrang boven alle andere verzekerden. Zijn zoon, of zonen, ANTONIO en HENRICO AMATI — het is onzeker of het twee personen zijn, dan wel of de verschillende namen slechts één aanduiden — wijdden hun geheele leven aan hetgeen hun vader zoo vermaard had gemaakt, waardoor zij het zoo ver brachten, dat de volmaaktste instrumenten die er bestaan, aan hunne kunstvaardigheid kunnen worden toegekend. De jaren 1594 tot ongeveer 1625 zijn dat tijdperk, waarin, naar men algemeen meent, de beste Amati-violen vervaardigd zijn. Deze schitterende roem was oorzaak, dat in de familie AMATI dit bedrijf bleef voortleven. In het tegenwoordige Beiersche stadje Füssen alleen werken zes vioolmakers voor de Cremonsche fabrieken. De groote hoeveelheid violen kon echter geen voordeeligen invloed uitoefenen op het gehalte, en vandaar dat omstreeks het midden der XVII<sup>de</sup> eeuw de faam op een anderen vioolmaker overging, ANDREAS GUARNERIO, die, evenals zijn zoon JOSEPH,

tot in het begin der XVIII<sup>de</sup> eeuw, zich te Cremona op het maken van strijkinstrumenten toelegde. Hun leerling was ANTONIO STRADIVARI, en dit drietal kunstenaars kan als waardige opvolgers en kunstgenooten van de AMATI'S worden genoemd. Een leerling van NICOLAAS AMATI te Cremona, en van den insgelijks beroemden VIMERCATI te Venetië — JACOB STAINER uit Absam in Tyrol — bracht dezen tak van kunstvljt naar Duitschland over.

Doch met hem is ook het classieke tijdperk van deze kunst gesloten. Na de genoemde kunstenaars is het vervaardigen van violen wel altijd een levendig beoefende tak van nijverheid, zoo in Italië als elders, gebleven, en zeer goede, ja voortreffelijke instrumenten zijn ook in lateren tijd gemaakt, maar geen roem zoo groot als die der genoemden viel na hen meer aan iemand ten deel. Men kan niet aannemen, dat goede violen vroeger beter betaald werden dan thans; integendeel zijn voor de allerbeste instrumenten prijzen te bedingen, die door de AMATI'S en GUARNERIO'S nooit zijn ontvangen. Het schijnt wel als heeft men het geheim verloren van de afmetingen, de keus van hout, het snijden der afzonderlijke gedeelten, het bijeenvoegen, ja zelfs het aaneenlijmen, hetgeen alles bij de oude vioolmakers als 't ware instinctmatig werd uitgevoerd, en slechts door het volgen der oude modellen kan men eenigermate hunne voortreffelijkhe

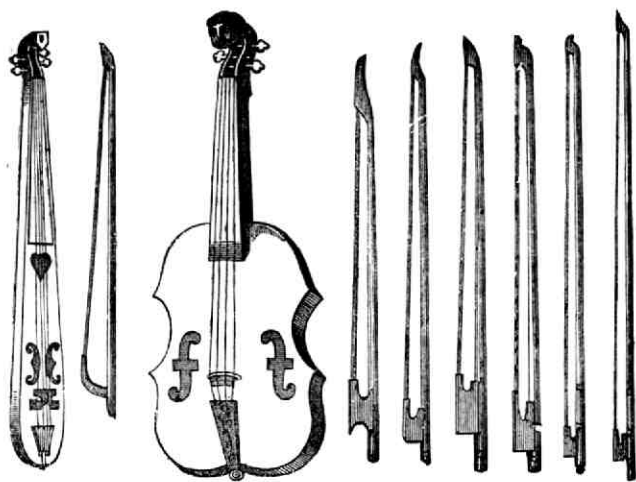


nabijkomen. Met dat al is de overheerlijke schoonheid der Amati's, Guarnerio's en Stradivari's ten deele een gevolg van hun ouderdom.

Immers de violen worden met de jaren beter, zoodat dezelfde instrumenten, welke tegenwoordig voor bijna volmaakt worden gehouden, voor honderd of minder jaren op dien roem nog geen aanspraak hadden, terwijl omgekeerd instrumenten, die heden ten dage in weerwil van hunne onberispelijke vervaardiging op verre na den zuiveren en vollen klank der oude violen niet kunnen bereiken, eene halve eeuw later misschien onder de allervoortreffelijkste zullen kunnen gerekend worden.

Maar evenals bij de wijnen, zoo schijnt ook bij de violen een grens te bestaan voor dat tijdperk van toenemende volmaaktheid, na hetwelk zij weder achteruitgaan, en waarschijnlijk zal hierin de reden te zoeken zijn, dat tegenwoordig aan de Guarnerio's en Stradivari's dikwijls de voorkeur gegeven wordt boven de Amati's. Intusschen schijnt in weerwil van dat alles een bereiken, laat staan een overtreffen dier voortreffelijkheid nauwelijks mogelijk te zijn.

Dat echter die hooge voortreffelijkheid niet bereikt is door het volgen van hetzelfde model, wordt door de instrumenten dier oude meesters voldoende bewezen. Onmiskenbaar veroorloofden zij zich meermaalen afwijkingen, en wel zulke belangrijke, dat geoefende beoordeelaars in staat zijn om den vervaardiger van ieder oud instrument op het oog te noemen. Het moge waar zijn, dat de beste vorm door de AMATI'S is uitgevonden, maar het is tevens waar, dat de overigen geen slaafsche navolgers van de AMATI'S waren. De veranderingen en bijzonderheden bewijzen, dat zij zelfstandig hun instrumenten vervaardigden volgens andere beginselen en geholpen door andere ondervinding.



De bovenstaande afbeeldingen vertoonen oude vormen van violen en strijkstokken volgens MERSENNE. Het grootste instrument is herkomstig uit de laatste helft der XVI<sup>de</sup> eeuw, en men ziet, hoe weinig verandering die vorm heeft ondergaan, als men het oog slaat op den tegenwoordigen. Het kleinere instrument is eene zoogenoemde zakviool (Pochette), welker gedaante het voor de dansmeesters gemakkelijk maakte, ze in de toenmalige groote zakken hunner wijde rokken te steken. Deze klasse is uitgestorven. Grootter dan de veranderingen aan de violen zelve zijn die aan de strijkstokken; de bovenstaande afbeelding vertoont die sedert het begin der vorige eeuw.

De bestanddeelen en theorie der viool. De houten holte der viool is uit onderscheidene stukken samengesteld, van welke ieder zijne bepaalde afmetingen heeft. De gebogen bovenbodem wordt van wit dennenhout (*Pinus abies*) of dergelijk hout gemaakt; de keerzijde benevens de zijstukken doorgaans van eschdoornhout (*Acer pseudoplatanus*). De onderbodem is mede gebogen, schoon

Bestanddeelen en theorie der viool. De houten holte der viool is uit onderscheidene stukken samengesteld, van welke ieder zijne bepaalde afmetingen heeft. De gebogen bovenbodem wordt van wit dennenhout (*Pinus abies*) of dergelijk hout gemaakt; de keerzijde benevens de zijstukken doorgaans van eschdoornhout (*Acer pseudoplatanus*). De onderbodem is mede gebogen, schoon



niet zooveel als die, op welken de snaren liggen. De deugdzaamheid van het hout, vooral van dat der bovenbodems, heeft den grootsten invloed op de schoonheid van den klank, dewijl het hoofdzakelijk zijne veerkrachtige eigenschappen zijn, welke ronding en volheid aan den toon geven. De keuze en het bewerken van het hout voor den bovenbodem is dan ook een zeer gewichtig gedeelte der kunst van den vioolmaker, en men verhaalt dat oude meesters zelve het hout in de bosschen uitgezocht en zich daartoe tochten naar de afgelegenste bergstreken getroost hebben. De jaarringen moeten met groote regelmatigheid op elkander volgen en mogen noch te nabij aan, noch te ver van elkander liggen. Binnen in het lichaam der viool is een dennen staaf over de lengte vastgelijmd, zoodat zij juist onder den linkervoet der kam ligt. Op die wijze wordt de laagste G-snaar op eene eigenaardige wijze met den boventoon verbonden. De discant-snaren worden zoo ondersteund, dat onder den rechtervoet van den kam tusschen de beide bodems een rechtopstaand cilindervormig staafje vastgeklemd zit. In den bovenbodem zijn twee klankgaten van *f*-vorm uitgesneden. Deze openingen zijn van het grootste belang voor den klank, doch zij werken op eene geheel andere wijze dan men vroeger meende, toen men onderstelde, dat zij een uitweg openden voor de stooten der lucht binnen het instrument.



De snaren loopen in de lengte over den bovenbodem. Zij liggen ten deele over een plankje, toets genaamd, en worden op ongeveer gelijke afstanden over den gebogen kam geleid. De vereischte lengte bekomen zij door zich uit te strekken tot nabij het uiteinde van den steel, aan welks kop de snaren op wervels gewonden zijn, die tot het stemmen, d. i. het teweegbrengen van de tot een zuiveren toon vereischte spanning, kunnen worden aangedraaid. Bij dezen steel vat de bespeler de viool en kromt er zijne vingers zoo om, dat deze boven de snaren komen, ten einde die des vereischt op den toets te kunnen drukken en ze alzoo korter maken, waardoor zij hooger tonen laten hooren.

De snaren zijn zoo opgespannen, dat aan de linkerzijde de dikkere of lagere bas-, rechts de dunneren of hoogere, de discant-snaren, liggen. De eerste zijn met zil-verdraad overtrokken. De stemming is van links naar rechts *G d a e*. Die stemming is evenwel niet altijd dezelfde geweest; BARBELLA b. v. stemde *a d fis cis*, LOLLI *D d a e*, PAGANINI *as es b f*, enz.

De Alt-viool onderscheidt zich van de viool door meerder grootte; zij mist de hoogste snaar der laatste, doch heeft daarentegen eene lagere dan de laagste der viool. Nog grooter is de violoncel, zie afbeelding bladz. 55, die daarom ook niet, als de viool, tusschen den schouder en hals kan worden gelegd, maar op den grond rust, en tusschen de knieën geplaatst wordt. Reeds sedert den vroegsten tijd heeft men verschillende vioolvormige instrumenten van verschillende grootte en toonhoogte gehad; vooral was in de XVII<sup>de</sup> eeuw de viola de gamba zeer in zwang. Zij was grooter dan de Alt-viool en kleiner dan de violoncel, en diende in concerten vooral tot accompagnement der viool. De violoncel in hare tegenwoordige gedaante is eene uitvinding van ANTONIO DE TARDIEU, een geestelijke van Tarascon, broeder van een destijds vermaard kapelmeester. Zij was in het eerst met 5 snaren bespannen, gestemd *C G d a d*; de vijfde, de *d*, liet men echter al spoedig weg. In Frankrijk werd de violoncel onder LODEWIK XIV ingevoerd; bij het orkest verscheen zij in 1720. De voor eenigen tijd overleden SERVAIS te Brussel was de beroemdste violoncellist van den tegenwoordigen tijd.

De contrabas, dikwijls ook bas genoemd, is een vioolvormig strijk-instru-

ment van zeer groote afmetingen; zij heeft stevige snaren, die niet dan met vrij wat lichaamskracht door de vingers kunnen worden nedergedrukt; ja bij de buitengewoon groote contrabassen, die nu en dan — meer als eene aardigheid dan tot eigenlijk gebruik — gemaakt zijn, heeft men het grijpen met de vingers tot het erlangen van hooger tonen doen bewerkstelligen door een mechanisme.

In de muziek speelt de viool de melodie, terwijl de laatst beschrevene instrumenten dienen tot harmonisch accompagnement, waarbij de contrabas den grondtoon aangeeft.

De Italiaansche violen zijn doorgaans iets langer en smaller dan die, welke elders worden gemaakt. De beste Amati's hebben een sterk gebogen bovenbodem, tot van een duim; zij zijn rank, sierlijk en hebben geene hoeken die veel vooruitsteken. De rand is vrij zwaar en met smaak afgerond. De geluidopeningen staan, uithoofde van hare geringe breedte, dichter bij elkander. De benedenbodem is meest van gevlamd eschdoornhout en met bruin barnsteenlak gekleurd. Men vindt echter ook instrumenten, met name van NICOLAAS AMATI, die eenigszins anders van afmetingen en ook helderder gekleurd zijn. De bovenbodems der Stradivari's zijn veel platter, terwijl de violen van GUARNERIO meer overeenkomst hebben met die van NICOLAUS AMATI. STAINER ging nog verder; hij maakte den bovenbodem zoo krom, dat men, de viool horizontaal voor zich houdende, door de beide *f*-openingen heen kon zien.

Het is moeielijk te zeggen, welke der afzonderlijke gedeelten van de viool en de met haar verwantschapte snaar-instrumenten medewerken tot de zuiverheid en helderheid van den toon. Er komen hier zoo vele en veelsoortige bijzonderheden in aanmerking, dat het hoogst moeielijk is, den invloed van iedere afzonderlijke met volkomen juistheid aan te wijzen. SAVART heeft getracht de theorie der viool uit natuurkundige beginselen in het licht te stellen, maar zoo goed als vruchteloos, daar het doodkistvormige instrument, dat hij uit zes recht-



hoekige plankjes samenstelde, met geen viool te vergelijken was, hoewel SAVART het aanmerkte als de eigenlijke standaardviool. De wetten van trillende vlakken, gelijk men ze in de natuurkunde uit eenvoudige beginselen afleidt, worden bij de viool zeer ingewikkeld, deels door den vorm van het instrument in het algemeen, deels door de kromming van den bovenbodem, deels door de plaatsing, den vorm om de grootte der *f*-openingen, deels door de dikte van het hout, deels door de geheele bijeenvoeging der deelen, en wat dies meer zij. Gewis heerscht daaromtrent de grootste regelmatigheid, maar het is onmogelijk de uitwerking in al hare samenstellende oorzaken te ontbinden. Het is waar, te veel zou het gezegd zijn, als men alle natuurwetenschap wilde afwijzen bij het opsporen der factoren van den beteren of minderen klank der viool; integendeel kan ook ten deze de theorie uitnemende diensten bewijzen, maar dan wachte zij zich van a priori voor te schrijven hoe eene viool zijn moet. Zij spore integendeel a posteriori op waardoor eene viool goed is.

De viool is meer dan eene eenvoudige bijeenvoeging van stukjes hout en van

de snaren; zij is een geheel, in zoover gelijk aan een levend wezen, dat ook bij haar al de deelen zoo nauw onderling verbonden zijn, dat er geen kan worden gemist, geen gebrekkig kan wezen, of het geheel wordt gebrekkig — de ziel is er uit.

De eigenaardige werking van den klank der strijk-instrumenten vindt volgens HELMHOLTZ daarin zijn grond, dat de grondtoon vooral sterk uitkomt en sterker dan in de snaren van klavier en gitaar, die nabij haar uiteinde worden aangeslagen of getokkeld, terwijl de eerste boventonen daarentegen betrekkelijk zwakker zijn en eerst de hoogere boventonen van de zesde tot de tiende duidelijk kunnen onderscheiden worden en de scherpe toon-onderscheiding teweegbrengen, die het kenmerk van alle strijk-instrumenten is. De nieuwere instrumentmakers, onder welke vooral BULLAUME te Parijs, PADEWET te Carlsruhe, GRIMM te Berlijn, OTTO te Keulen en LEMBÖCK te Weenen uitmunten, hebben er zich ook minder op toegelegd om violen te maken volgens nieuw uitgedachte beginselen, dan om de oude modellen na te volgen, en de wijze waarop zij zich van hunne taak hebben gekweten, legt beter dan iets anders het getuigenis af, dat dit voorshands de eenige goede weg is.

Men heeft wel allerlei nieuwe violen van koper, zilver, met elliptische of geheel ronde buiken, met metaaldraden gespannene enz., vervaardigd, maar al heeft men op die wijze bruikbare instrumenten te voorschijn gebracht, toch waren het geen violen meer, maar andere muziek-instrumenten met geheel nieuwe ondoelmatige eigenschappen. Wil men den vioolklank hebben gelijk wij dien in het oude instrument zoo gaarne hooren, dan blijft er niets over dan dat wij met dezelfde hulpmiddelen denzelfden weg inslaan als AMATI, GUARNERIO en STRADIVARI.

Het vervaardigen van violen in Duitschland heeft een ouden, aanzienlijken zetel te Mittenwald in Beieren. Het wordt daar fabriekmatig uitgeoefend, en zoowel de goedkoope prijs als de goede qualiteit hebben de Mittenwalder violen zoo bekend gemaakt, dat wij een paar woorden over dien tak van kunstvljt willen zeggen. Hij dagteekent van de XVII<sup>de</sup> eeuw en is verbonden met den arbeid van den ouden meester STAINER. JACOB STAINER, geboren te Absam, bij Hall in het Inndal, den 14<sup>den</sup> Juli 1672, kwam als knaap bij een orgelmaker, doch verwisselde spoedig wegens lichaamszwakheid dat bedrijf met het minder krachten eischende vervaardigen van violen, hetwelk destijds te Cremona bloeide. Door aanbevelingen kwam STAINER bij NICOLAUS AMATI, wiens methode hij zich zoo eigen maakte, dat AMATI den wensch koesterde om STAINER bij zich te houden en tot schoonzoon te hebben. Dit laatste schijnt aanleiding te hebben gegeven, dat STAINER heimelijk vluchtte en zich te Venetië bij VIMERCATI vervoegde. Later vestigde hij zich in zijne geboorteplaats Absam en richtte er eene vioolmakerij op, waartoe de plaats uitnemende gelegenheid aanbood, wegens de in de nabijheid groeiende voortreffelijke houtsoorten, die hij dan ook met veel nauwkeurigheid uitzocht. Weldra verspreide zich zijn naam en lokte onderscheidene leerlingen en medehelpers. Onder hen bevond zich ook zekere EGIDIUS KLOTZ, uit Mittenwald, een stadje, eenige uren ten noorden van Absam gelegen. Deze KLOTZ, wiens instrumenten bijna met de Stainers gelijk gesteld worden, keerde naar Mittenwald terug en leidde zijn zoon mede in hetzelfde vak op, hetwelk hij in den grond verstond, toen hij, om zich nog verder te volmaken, naar Italië trok. Daar te lande bezocht de jonge KLOTZ de beroemdste werkplaatsen, en hield zich vooral te Cremona en te Florence een geruimen tijd op. In het achtste jaar keerde hij naar Mittenwald terug met het plan, om zijne geboorteplaats tot een Duitsch Cremona te verheffen. Zijne veelzijdige ontwikkeling stelde hem in staat om aan zijne leerlingen mededeeling te doen van de theoretische grondslagen,

volgens welke de vervaardiging van snaar-instrumenten in Italië plaats had. Inderdaad bracht hij door zijne krachtige pogingen het destijds zeer armoedige plaatsje tot nieuwen bloei, en thans nog, na twee eeuwen, moet die geheele streek dien man als haar weldoener zegenen, hoewel overigens de muzikale nakomelingschap zijn naam slechts weinig in eere schijnt te houden. SCHAFF-HÄUTL heeft in zijn uitmuntend verslag van het muzikale gedeelte der tentoonstelling te München in 1855 den verdienstelijken stichter der Mittenwalder fabrieken van instrumenten voor het eerst in een helder licht gesteld en zijn geschrift is hier genoegzaam onze eenige bron.

Met recht noemt hij MATHIAS KLOTZ een engel in den nood. Trouwens, dat de door hertog SIGISMUND beleedigde Venetiaansche kooplieden de beroemde jaarmarkt te Botzen sedert bijna twee eeuwen niet meer hadden bezocht, was de bron van aanzienlijke welvaart geworden voor Mittenwald, naar welke plaats zich die markt inmiddels verplaatst had. In 1679 echter had Botzen zijne aloude jaarmarkt hersteld en tevens ontstond een nieuwe handelsweg over Finstermünz, Fernstein en Reutte; daardoor echter verdroogde de welvaartsbron van Mittenwald, en slechts eene geheel nieuwe industrie, gelijk KLOTZ en zijn zoon JOSEPH haar in het leven riepen, kon de volkomene verarming van dien omtrek voorkomen.

De vroeger zeer in zwang zijnde, en ten tijde der kloosters ook doelmatigste wijze van verkoopen, het rondventen, was de eerste van welke zich de vioolmakers bedienden; met hun fabrikaat op den rug trokken zij van huis tot huis en vergenoegden zich, als eenvoudige berglieden, met eene geringe winst. Intusschen maakte de verandering in de handelsbetrekkingen weldra eene andere verkoopwijze noodig. Kooplieden, opkoopters, werden voor lage prijzen eigenaars van het fabrikaat, en op die wijze hebben zich handelshuizen gevormd, die nog heden ten dage de Mittenwalder violen naar alle wereldeelen verzenden. Men staat verbaasd over de fabelachtige goedkoopheid, waarvoor de minste, maar toch altijd nog goed bewerkte soorten verkrijgbaar zijn; eene viool van een rijksdaalder is reeds zeer goed, terwijl de goedkoopste voor vijf en een halven gulden het dozijn te koop zijn. Behalve te Mittenwald vindt men ook belangrijke vioolmakerijen te Markneukirchen en te Klingenthal in Saksen.

Alvorens onze beschrijving van het vervaardigen der strijk-instrumenten te eindigen moeten wij ook nog melding maken van het paardenhaar, waarmede de strijkstok, en de snaren, waarmede het instrument zelf bespannen wordt. Het paard en het schaap hebben het aloude, naar het schijnt onverstoorbare voorrecht om de twee voornaamste hulpmiddelen te leveren voor de violvormige muziekinstrumenten, welke tot de schoonste uitvindingen van den menschelijken geest op dit gebied behooren. Alleen de zijderups kan eenigermate den dienst van het schaap vervangen; van de Chineezzen hebben wij geleerd uit de draden van haar spinsel bruikbare quintsnaaren te vervaardigen, doch zij bezitten den vollen toon der darmsnaar niet; daarentegen zijn zij minder blootgesteld aan springen, en uit dezen hoofde worden zij nogal eens gebezigd door diegenen, welke het op een goedkoopje moeten aanleggen.

Het bezigen van darmen van dieren tot allerlei snaar-instrumenten schijnt overoud te zijn; in Duitschland werden reeds voor vier eeuwen niet alleen draad-, maar ook darmsnaaren vervaardigd, vooral te Neurenburg en te Augsburg. Het is echter algemeen bekend, dat Italië sedert lang geacht wordt de beste snaren te leveren: de vioolspeler zou zijn instrument minachten, als Rome — eigenlijk Napels, schoon Rome er den naam van heeft — hem de snaren niet leverde;

maar tegenwoordig worden in Duitschland en Frankrijk misschien betere snaren vervaardigd dan in Italië, dewijl van daar nog slechts quintsnaven begeerd worden, waartoe ook die grondstof moet worden verwerkt, welke overigens juist de beste niet is.

De oorzaak van den grooten naam der Italiaansche snaren heeft men lang gezocht in een fabriekgeheim, of wel daarin, dat het warme, droge klimaat invloed had op de natuurlijke gesteldheid der schapen. Doch de eigenlijke grond ligt in de omstandigheid, dat de meeste Italiaansche schapen reeds in hun eerste levensjaar ter slachtbank worden gevoerd, omdat hun wol de moeite van het aanhouden niet loont. De snaren-fabrikanten hebben dus in den slachttijd geen gebrek aan goede darmen, vooral omdat zij ze goed betalen. Voor de quinten dienen de allerbeste; zij zijn zoo fijn, dat elke snaar er drie bevat. Ook de fabrieken te Lyon leveren driedraads-snaven, hetgeen mogelijk wordt gemaakt doordien in sommige streken van het zuiden van Frankrijk de schapen zeer klein blijven; overigens maakt men ze tweedraads, of slijt ook wel — hetgeen men vooral te Parijs goed verstaat — de darmen overlans en verwerkt die reepen in plaats van geheele darmen.

In Italië begint het slachten der lammeren en het vervaardigen van snaren omstreeks Paschen; die dieren zijn dan echter nog te jong en hebben weinig of geen gras gegeten; de snaren die er van komen, deugen volstrekt niet, hoewel zij een uitnemend fraai voorkomen hebben. Men herkent ze daaraan, dat zij niet volkomen glad, maar een weinig rimpelig zijn. Van Juni tot September zijn de darmen op het best; later worden zij te dik voor quinten, en leveren nog alleen de zwaardere nommers; doch men verstaat tegenwoordig in Italië de kunst van de darmen te slijten, ten einde ook die zwaardere tot quinten te verwerken. Nog eer het jaar om is, neemt de fabricage een einde, om met Paschen te worden hervat.

Bij de vervaardiging van snaren komt het vooral aan op groote zorgvuldigheid in het behandelen der darmen, eer men ze ineendraait. Men bezigt alleen de dunne darmen. Gelijk de huid, zoo bestaat ook de zelfstandigheid der darmen uit drie lagen, van welke alleen de middelste bruikbaar is, zoodat het buitenste en het binnenste gedeelte verwijderd moeten worden. De darmen moeten dienvolgens eene soort van ontbinding ondergaan, ten gevolge waarvan het onbruikbare los wordt en gemakkelijk kan worden weggenomen. Zoodra dus terstond na het slachten de darmen schoongemaakt zijn, legt men ze in Italië 24 uren te welken in schoon water, dat onderscheidene malen ververscht wordt. In de fabriek van SAVARESE te Parijs laat men gedurende 12—15 uren door den steenen weekbak water van 25° langzaam doorloopen en er dan nog 5 uren lang een waschrad in rondgaan. Bij warm weder kan men deze ontbinding ook met stroomend water bewerkstelligen, doch dan mislukt de bewerking zelfs bij de Italianen meer dan eens.

Zoodra de darmen uit dit weekwater genomen zijn, worden zij door middel van een stomp mes op eene plank geschrapt en alzoo van het slijmerige binnenvel ontdaan, waarna het buitengedeelte in reepen afgehaald wordt; deze reepen worden te Parijs mede gedraaid, gezwaveld en gladgemaakt, waarna zij voor het maken van zweepen, enz. dienen. De overgebleven middelvliezen moeten nu nog hunne eigenlijke bewerking ondergaan; deze bestaat in eene behandeling met alkalisch loog, dat eerst zeer zwak, maar daarna sterker en sterker genomen wordt. In Italië gebruikt men wijnmoer, bij SAVARESE te Parijs wijnmoer met potasch, somtijds ook wel enkel potasch. Inmiddels echter gaan de darmen wel twintigmaal door de handen der werklieden, dewijl zij telkenmale als zij uit eene



loogoplossing genomen worden om in eene sterkere te worden gelegd (hetgeen doorgaans elken dag plaats heeft), vooraf tusschen den duim en den wijsvinger doorgetrokken worden, van welke de eerstgenoemde voorzien is van een koperen kapje; daardoor ondergaan de darmen eene zekere drukking en worden van alle aanhangende onzuivere zelfstandigheden ontdaan, en tevens uitgerekt. Bij elke verwisseling van loogoplossing blijven de darmen een uur lang in de lucht hangen, zoodat zij half droog worden, in welken toestand zij nog eens op de beschrevene wijze tusschen duim en vinger worden doorgehaald. Bij deze herhaalde behandeling worden zij steeds zuiverder en doorschijnender; zij worden gedurig boller en drijven eindelijk op het water. Als het zoo ver is, moeten zij onverwijld in schoon water worden afgespoeld tot het wegwasschen van alle loogdeelen, gesponnen en opgedraaid, doch dit laatste eerst nadat men ze zorgvuldig gesorteerd heeft. Hierbij zoekt men de fijnste darmen uit, die geschikt zijn voor driedraads-quintsnaren; men voegt lichte bij lichte, donkere bij donkere (welke laatste rood of blauw kunnen geverfd worden), sorteert ook naar de dikte en splijt de zwaarste, indien men zooveel mogelijk quintsnaren noodig heeft. Daar de darmen altijd nog aan het eene einde dunner zijn, legt men die, welke voor één en dezelfde snaar bestemd zijn, overshands bijeen, ten einde eene gelijkmatige dikte te erlangen. Als men ze tot dit doel later afschrapt, maakt men dat de snaren bij het gebruik hare gladheid verliezen.

Het spinnen of bijendraaien der nog natte darmsnaren heeft plaats op eene soort van touwslagerswiel; men moet daarbij nauwkeurig op de snaar letten en er altijd den vinger heen en weder over laten gaan, ten einde bultjes te voorkomen en eene zuivere winding te bekomen. De snaren houden gemiddeld een paar honderd draaiingen, de quinten meer, de dikkere betrekkelijk minder. Men brengt het echter niet ineens tot den vereischten trap van draaien, maar van lieverlede. Wanneer de eerste, losse draaiing heeft plaats gehad, spant men de snaar dadelijk en terwijl zij nog vochtig is, op een raam met pennetjes, ten einde ze te houden zooals ze zijn. Zoodra het raam vol is, wordt het in de zwavelkamer gebracht. Aldaar ondergaan de snaren eerst eene vereischte verhitting, zoodat zij in 12 uren eenigszins, doch in den regel niet geheel, droog zijn. Daarna steekt men de zwavel aan en sluit het vertrek. Na een etmaal neemt men er de nu gebleekte snaren uit en doet ze op het wiel eene tweede draaiing ondergaan. Zulks is voor dunne snaren toereikend, doch bij zwaarder nommers herhaalt men het zwavelen en draaien nog — naar vereischt wordt — een- of tweemaal. In de fabriek van SAVARESE te Parijs blijven de darmen 2—8 dagen in de zwavelkamer, doch men neemt ze er nu en dan uit, om ze nat te maken en aan de lucht bloot te stellen. Ten laatste worden de opgespannen snaren gladgeslepen, waartoe men ze natmaakt en er een bundel paardenhaar 50- of meermalen over strijkt. In Frankrijk vervangt men dezen vermoeienden arbeid door een eenvoudig mechanisme. Eindelijk worden de snaren met poeder van glas droog gepolijst en met goede olijfolie ingewreven.

Voor de hoogste mandoline-snaren gebruikt men alleen tweedraads-snaren, tot vioolquintsnaren driedraads, of, bijaldien men er het noodige niet voor bezit, 4—6 bijeengedraaide halve; voor de *a*-snaar 3—4 geheele, voor de *d*-snaar 6—8. Voor gitaren neemt men fijner snaren, voor de violoncel tot 10, voor harpen tot 22, voor de quintsnaar van den contrabas tot 40, voor den D contrabas tot zelfs 85. Naarmate de snaar zwaarder is, kan men van den uitersten eisch der volkomenheid iets laten vallen en zich van eene andere grondstof bedienen. In Duitschland en Frankrijk gebruikt men ook darmen van kalveren, in Italië mede die van geiten.



De geschiedenis der blaas-instrumenten is nauw verbonden met die der muziek in het algemeen. In het eerst kende de muziek slechts weinige tonen, en de oudste uitvinders hadden bij het vervaardigen hunner instrumenten eene betrekkelijk gemakkelijke taak. Het instrument dat ons dien vroegsten toestand het best vertoont, is de zoogenoemde panfluit, eene bijeenvoeging van onderscheidene gedekte pijpen, bestaande in buizen die onderling in lengte verschillen, zoodat de laagste en langste zich in het midden bevindt, en de kortere en hoogere aan weerskanten regelmatig afloopen. Men vindt haar nog enkele malen als kinderspeeltuig; men blaast er op als in het pijp gat van een sleutel, zoo namelijk, dat men den luchtstroom schuins in de pijp laat vallen en tegen de zijde stooten.

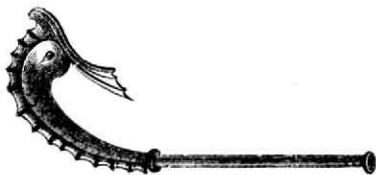
Zeer spoedig echter werd ook gebruik gemaakt van de opmerking, dat eene luchtzuil, in eene gedekte pijp in trilling gebracht, korter wordt als men haar gelegenheid geeft om naar buiten te ontsnappen eer zij het uiteinde der pijp heeft bereikt. Wanneer men derhalve in eene pijp overlangs onderscheidene gaten snijdt, geven deze, één voor één geopend, onderscheidene tonen, afhangende van den afstand tusschen het gat en het uiteinde der pijp. Deze gaten werden in het eerst zoo geboord, dat zij voor den grondtoon met de vingers konden worden dicht gehouden; door het oplichten van den eenen of anderen vinger kon men den verlangden toon doen spreken. Onze fluit, klarinet, fagot enz. zijn voorbeelden van zulke instrumenten, alsmede de zeer oude Tscheng der Chineezers.

De geheele reeks van blaas-instrumenten laat zich dienvolgens in drie klassen verdeelen: 1) die, welke slechts één toon geven, 't zij gedekt of open, zooals wij die in de orgels aantreffen; 2) die, welke bij gelijkblijvende lengte door verschillend blazen meer tonen geven, gelijk de trompet, de waldhoren enz., die ketelvormige mondstukken hebben; 3) die, bij welke tonen van verschillende hoogte door verlenging of verkorting der trillende luchtzuil worden teweeggebracht. De laatste zijn ook weder zeer onderscheiden, naarmate veranderde lengte der luchtzuil door verandering van de lengte der buis of door zijgaten veroorzaakt wordt. Onze verdere beschouwing doet ons dienvolgens onderscheidene wegen inslaan, en het behoort tot ons onderwerp, althans de voornaamste instrumenten nader te beschrijven.

De trompet en horen. De oude blaas-instrumenten waren zoo ingericht, dat er slechts weinige vast bepaalde tonen op gevonden werden; het waren dus of opene buizen, die één enkelen toon konden geven, of zulke, die door zijgaten verschillende tonen konden voortbrengen. Tot de laatstgemelde klasse behooren buiten kijf die instrumenten, welke men in de oudheid met den naam fluiten aanduidde; doch men denke daarbij niet zoozeer aan onze hedendaagsche dwarsfluiten dan wel aan instrumenten, wier inrichting en werking meer met die van onze klarinet en hoboë overeenkomen.

De trompet en de horen — in beider oorspronkelijken vorm hetzelfde instrument — schijnen tot de alleroudste instrumenten te behooren, in zoover de natuur zelve er den vorm van aanbod in schulpen, runderhorens enz. Wij vinden in de Ilias het gedruisch van den strijd vergeleken bij het geklank der trompet (Salpinx), en hoewel ons geene afbeeldingen uit den overouden tijd van HOMERUS overgebleven zijn, laat zich toch uit die vergelijking het een en ander afleiden aangaande den aard van het instrument. Reeds de Grieken bedienden zich voor hunne trompetten niet alleen van rechte buizen, maar ook van gebogene, want op de eigenaardigheid van den toon heeft het geen invloed, of de trillingen der luchtzuil in eene rechte of in eene gebogene lijn plaats hebben. Van het mondstuk af wordt de buis in kegelvormige gedaante wijder, en loopt

eindelijk uit in eene soort van beker, van meerder of minder wijdte. In later tijd onderscheidde men verschillende instrumenten naar den uitwendigen vorm en bezigde ze tot verschillende doeleinden. Met de lange, rechte trompet b. v. werd het volk tot offeren geroepen. De voorste wijdte, de mond, erlangde onderscheidene vormen, gelijk bij de Celtische trompet (zie de nevensstaande afbeelding), de Carnon of Garnix, dien van grillig ontworpen dieren. Op de Trajanuskolom te Rome vindt men onderscheidene dergelijke instrumenten afgebeeld. De Paphlagonische trompet liep in een ossekop uit, de Medische in eene soort van klok; evenzoo de Tyrreensche of Etruscische. De Romeinen bedienden zich in den oorlog van trompetten, die dikwijls eene gebogene buis hadden; zij noemden ze tuba. Onze tegenwoordige jachthorens, welke bijna geheel kringvormig zijn, zoodat zij doorgaans onder den linkerarm van den persoon die ze blaast worden gehouden en de beker boven zijn hoofd staat, herinneren den lituus (kromhoren) der Romeinsche ruitery. Op zulk een instrument blies de buccinator, als hij het oogenblik aankondigde dat de gladiatoren van het gevecht met wapenen tot dat met de vuisten overgingen.



De heldere klank van al de tot deze soort behorende instrumenten maakt ze vooral ten openbaren gebruike geschikt. Bij de Romeinen was het een voorrecht der aanzienlijken, met trompetgeschal begraven te worden; bij den gemeenen man moest men het met een fluitje doen. Bekend zijn de klanknabootsende versregels van ENNIUS:

At tuba terribili sonitu tarantantara dixit,

en van VIRGILIUS:

At tuba terribilem sonitum procul aere canoro.

In Egypte schreef men de uitvinding der trompet aan Osiris toe, en wij vinden op oude monumenten talrijke voorstellingen; betrekking hebbende op het gebruik van dit instrument, zoowel bij het marcheren van krijgsbenden als tot het geven van signalen en het bijeenroepen van volk. In Egypte leerden de Israëlieten de trompet kennen, die bij hunne godsdienstplechtigheden eene aanzienlijke plaats bekleedde. „Maak u twee zilveren trompetten; van dicht werk zult gij ze maken; en zij zullen u zijn tot samenroeping der vergadering en tot den optocht des legers,” heet het in de H. Schrift <sup>1)</sup>, waarbij zelfs de verschillende klanken tot verschillende doeleinden worden opgegeven. Bij de bestorming van Jericho schijnen mede trompetvormige instrumenten — bazuinen, ramshorens, koherim — gebruikt te zijn geweest. De oudste vorm dezer



<sup>1)</sup> Num. X: 2.

blaas-instrumenten was, naar de monumenten te oordeelen, recht, voor zoover zij namelijk van koper vervaardigd werden; dierenhorens hadden natuurlijk hun eigene gedaante. De halfcirkelvormige vinden wij het eerst bij de Egyptenaars en Lydiërs.

De Chineezzen bedienen zich van koperen instrumenten, welker uitvinding zij in den tijd van FOE-HI (2950 j. v. •Chr.) plaatsën. De onderstaande afbeelding vertoont den beroemden gouden horen, een instrument met rijke versierselen. Bij de Hindoes vinden wij soortgelijke instrumenten mede reeds in de vroegste tijden vermeld. Het is waar, bij verschillende volken vindt men ten gevolge van onderscheid in smaak groot onderscheid in gedaante, in stof en dientengevolge in klank, zoodat vele dier instrumenten afwijken van hetgeen wij eene trompet noemen; maar het beginsel is bij allen hetzelfde.



In de trompet en soortgelijke instrumenten trilt een luchtzuil, welker dikte ver door hare lengte overtroffen wordt; door het verschil in kracht van blazen kan zij genoodzaakt worden om zich in verschillende deelen te splitsen en daardoor de tonen van de diatonische toonladder voort te brengen. Uit dien hoofde noemen wij hier niet alleen de eigenlijke trompetten, maar ook den horen, welks Duitsche naam waldhoren (boschhoren) zijn oorsprong te kennen geeft.

Daar de eerste tonen, die men op dergelijke instrumenten kan voortbrengen, zeer ver uit elkander liggen, en wel de tweede een octaaf, de derde een 12<sup>mo</sup>, de vierde twee octaaf boven den grondtoon, zoo zijn die boventonen, welke na genoeg bij elkander liggen om aan alle muzikale eischen te voldoen, reeds tonen van eene aanmerkelijke hoogte, en om ze met de noodige zuiverheid en kracht voort te brengen, moet, gelijk reeds gezegd is, de buis zeer lang gemaakt worden. De waldhoren heeft eene lengte van 27 voet en stemt in Es. Deze toon echter wordt niet gebruikt, doch wel de hoogere tonen B, *es*, *g*, *b*, *des*, *es*, *f*, *g*, *as*, *a*, *b* enz. Deze groote lengte maakt ombuiging noodig, doch zulke gebogen buizen te vervaardigen heeft veel moeite in. Trouwens, het is bijna niet mogelijk, eene zoo lange buis behoorlijk te ronden, te buigen en toe te soldeeren, zonder dat er kreuken en bulten in komen, die een nadeeligen invloed op den klank uitoefenen. Het best handelt men nog, als men eerst eene rechte buis vervaardigt, die men overal zeer zorgvuldig soldeert en aanklopt, vervolgens met gesmolten lood vult, en aldus de tot ééne massa geworden stof in de verlangde bochten buigt. De oneffenheden die daarbij ontstaan, kan men gemakkelijk met den hamer bijkloppen. Ten laatste laat men het lood weder smelten en uitloopen.

Wanneer men van oudere gebogen horens spreekt, kan men daarmede slechts zulke bedoelen, die een halven cirkel voorstellen. De bogen welke in geheele cirkels of ellipsen bestaan, dagteekenen eerst uit het begin der XVI<sup>de</sup> eeuw.

In de muziek beslaan deze metalen blaas-instrumenten zonder zijgaten eene belangrijke plaats. Tot aan den tijd van HÄNDEL, toen de harmonie nog veel eenvoudiger was en de componisten een betrekkelijk klein getal hulpmiddelen voor de uitwerking van het orkest hadden, was de trompet, met de viool, het instrument dat de melodie aangaf. Haar heldere klank maakte haar daartoe zeer geschikt. „De trompet is een heerlijk instrument, als een meester die er goed mede weet om te gaan, er den mond aan zet,” zeide MICHAËL PRAETORIUS in het begin der XVII<sup>de</sup> eeuw. Later echter bezigde men ze meer als vul-instrumenten, en stemde ze dienvolgens meest in de middeltonen. Daardoor echter is de kunst van den

trompetblazer veel achteruitgegaan, zoodat er slechts weinigen meer zijn, die zouden kunnen doen wat HÄNDEL van hen vergde. Vooral schijnt de kunst om met gemak de hoogere tonen uit een trompet te halen, zoo zeldzaam geworden te zijn, dat MOZART bij het instrumenteeren van HÄNDELS Messias de trompetpartijen over verschillende instrumenten verdeelen moest.

De voortgaande ontwikkeling der harmonische muziek, die aan de diatonische toonladder niet genoeg heeft, moest leiden tot het aanwenden van pogingen om de luchtzuil binnen in het instrument naar welgevallen te kunnen verlengen of verkorten, en daardoor de tusschenliggende, de chromatische tonen te kunnen voortbrengen. Bij den waldhoren, die een zeer wijden beker heeft, kon men best eene verandering van hoogte of laagte van den toon veroorzaken door de vuist in den beker te steken; maar bij trompetten was dit hulpmiddel niet bruikbaar, zoodat men een anderen uitweg moest zoeken. Om den grondtoon van het instrument te veranderen, b. v. een C-horen tot een Es-horen, of F-horen enz. te maken, bracht men er inzetstukken in, die de buis naar verkiezing verlengden. Volgens PRAETORIUS was er in 1600 slechts ééne eenige „trompet of taran-tara” in *d.* „Voor weinige jaren,” schreef hij in 1619, „heeft men ze bij eenige heeren langer gemaakt of er verlengstukken op gestoken, opdat de bas een toon lager in den hypo-ionischen toonaard vallen zou.” Intusschen baat dit hulpmiddel altijd alleen onder bepaalde verhoudingen van toonaard. Ten bedoelden einde heeft men de schuifrompetten uitgevonden, die uit stukken bestaan, welke luchtdicht uit- en inschuiven, naarmate men den grondtoon verlagen of verhoogen wil. Hetzelfde beginsel heeft ook den oorsprong gegeven aan de bazuin, die in den grond niets is dan een trompet van grooter lengte, en bijgevolg van lageren grondtoon.

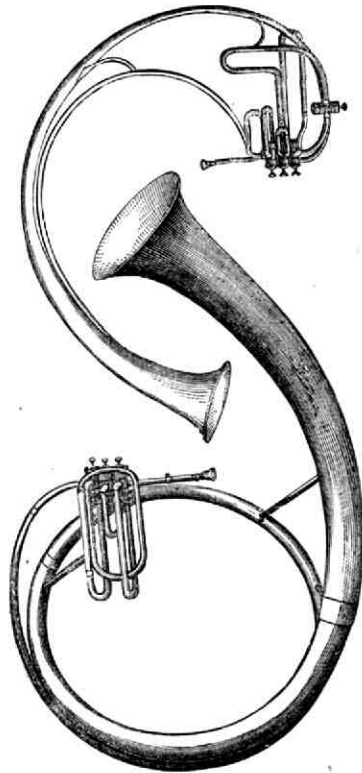


Na eenige pogingen, die echter niet genoegzaam voldeden, waren het CLAGGET in Engeland, tegen het einde der vorige eeuw, en HEINRICH STÖSSL te Pless in Opper-Silezië, in 1815, die met de hoofdbuis van het instrument onderscheidene bij-buizen verbonden, welke in de eerste uitloopen en door middel van kleppen of pistons geopend en gesloten kunnen worden, ten einde het geheel der luchtzuil in het instrument tot de verlangde lengte te brengen. STÖSSL bediende zich aanvankelijk van slechts twee kleppen, van welke de eene een halven toon lager stemde dan de andere, waardoor de chromatische toonladder tot op *gis* kan worden voortgezet. Om dezen toon zelve te erlangen werd er later nog een derde bijbuis bijgevoegd, en wel door MULLER te Mentz, in 1830, waardoor dus de klephoren in zijn tegenwoordigen toestand te voorschijn trad.

Van zeer uiteenloopende samenstelling zijn de mechanismen, door welke de verschillende gedeelten van het gezamenlijke buizenstelsel met elkander worden in verband gebracht. De afbeelding op bladz. 64 geeft van de Duitsche manier een helderder denkbeeld dan eene breedvoerige beschrijving zou kunnen doen; zij stelt (bij 1) de inwendige verbinding duidelijk voor. Het hoofdbezwaar is echter, dat eene gemakkelijke beweging en tevens volkomene luchtdichtheid zoo moeielijk te bereiken zijn. Daarom vond MEI-FRIED te Parijs eene gewijzigde samenstelling uit (2), die door den Brusselschen instrumentmaker ADOLF SAX in 1813 is vervaar-

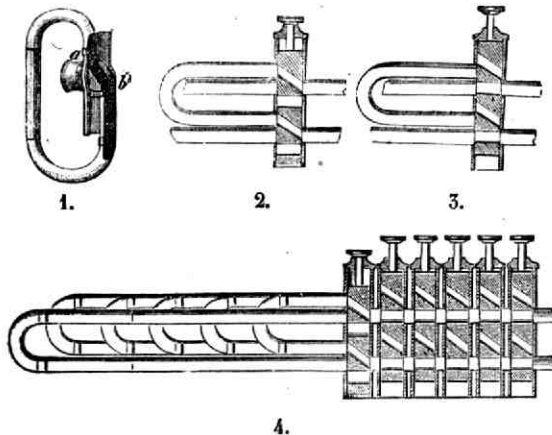
digd, ook met de wijziging in 3 afgebeeld; 4 eindelijk vertoont in doorsnede een mechanismus met zes pistons.

Indien men die afbeeldingen met oplettendheid beziet, bemerkt men dat de luchtstroom, als hij door de piston-opening gaat, een vrij scherp gebogen weg moet doorloopen, waardoor de geluidgeving van het instrument niet alleen bemoeielijkt, maar ook de zuiverheid van toon bedreigd wordt. SAX, die zich intuschen naar Parijs begeven had, veranderde den vasten en slechts met twee nauw schuivende buisjes voorzien stempel in een van binnen hollen cilinder, welke gaten had, uitkomende in buizen; daar nu de lucht op die wijze eene veel grooter ruimte tot ontwijken bekam, werd de toon veel molliger en zuiverder. De afbeeldingen op blad. 65 geven wederom duidelijker denkbeeld van de zaak dan eene uitvoerige beschrijving. Men ziet het voorwerp op onderscheidene wijzen, van buiten, in doorsnede, en in verschillende standen van den cilinder.



SAX heeft volgens zijn stelsel bijna alle blaas-instrumenten ingericht, en hoe rijk zijn magazijn is, blijkt uit de afbeelding op blad. 66. Vele der daar afgebeelde instrumenten vertoonen weinig overeenkomst meer met den ouden horen of de trompet in haar eersten vorm. De teekeningen zijn ontleend aan het Fransche officiële verslag aangaande de Londensche tentoonstelling van 1862. De instrumenten dragen onderscheidene namen, als: saxhoren, ophicleïde, baroxyton, euphonion, enz.

De klarinet en de fagot. De luchtzuilen, die in de trompet, de bazuin, den waldhoren enz. tonen verwekken, worden in beweging gebracht door de elastieke lippen van onzen mond.



Zij trillen in de ketelvormige mondstukken, en dienvolgens zijn de afmetingen dier mondstukken van groot belang voor de behandeling van het instrument. Doch er is ook nog eene andere soort van instrumenten, bij welke het trillende elastieke lichaam met de buis zelve verbonden is, en uit eene trillende tong, een plaatje, bestaat, dat door zijne snel op elkander volgende bewegingen den voorbijtrekkenden luchtstroom bij afwisseling samenperst en

ruimte laat, dan verdikt of verdunt, en op die wijze de golfbeweging doet ontstaan.

De grondvorm dezer instrumenten bestaat in den hollen bloemsteel van de paar-



blijft de warmtegraad dezelfde, om 't even hoeveel warmte men ook aanbrengt, totdat al het ijs tot water gesmolten is. Eerst dan neemt bij voortgaande verwarming het water eene hoogere temperatuur aan, totdat eindelijk de vloeistof ophoudt water te zijn en in damp of stoom verandert. Het water geraakt daarbij ten gevolge der ontwikkeling van dampblaasjes in die beweging welke wij koken noemen. Ook nu wordt de warmtegraad standvastig zoolang er nog vloeibaar water voorhanden is. Diezelfde waarneming als bij het smelten van ijs in het verdampen van water — een veranderde toestand van den vorm der zelfstandigheid — kunnen wij ook bij vele andere lichamen opmerken, b. v. kwikzilver, zink, zwavel, phosphorus enz. Om het in de taal des dagelijkschen levens te zeggen, kunnen wij water aanmerken als eene verbinding van warmte met ijs, stoom als een mengsel van warmte met water. Deze in de lichamen verborgene of verscholenene (wetenschappelijk noemt men haar latente) warmte wordt weder vrij en waarneembaar, wanneer de lichamen, als 't ware op hun weg terugkeerende, uit den gasvormigen toestand in den vloeibaren, uit den vloeibaren in den vasten overgaan. Zelfstandigheden die spoedig verdampen, d. i. snel uit den vloeibaren toestand in den gasvormigen overgaan, nemen daarbij veel warmte in zich op en zijn in staat, daardoor de nabijzijnde lichamen zeer te verkoelen, door er veel warmte aan te onttrekken. Door de zoo te noemen verdamping-koude kunnen wij water laten bevriezen, indien wij een met water gevuld voorwerp, een glas b. v., onder den recipiënt van eene luchtpomp plaatsen en door uitpompen de zich ontwikkelende waterdampen snel weder verwijderen, zoodat zich aan de oppervlakte voortdurend damp ontwikkelt. Wij voelen op onze hand de verkoelende werking van snel verdampenden alcohol; bij groote hitte besprenkelen wij den grond met water, ten einde aan de hinderlijke warmte gelegenheid te geven zich met het verdampende water onmerkbaar te verbinden. Omgekeerd vertoont zich de vrij wordende warmte bij de tegenovergestelde verandering der vormen dan, wanneer de in de lucht zwevende waterdampen zich tot druppels verdikken of de als nevel en wolk in de lucht zwevende vochtdeeltjes in stukjes ijs — hagel — en sneeuw veranderen. Elk zoodanig weersverschijnsel wordt gevolgd door eene verhooging der temperatuur, aan den thermometer waarneembaar.

Eene der belangrijkste werkingen van de warmte bestaat daarin, dat zij vaste lichamen vloeibaar, vloeibare gasvormig doet worden. Door haar alleen is een organisch leven, zooals het tegenwoordig op deze aarde bestaat, mogelijk; de afwisseling der jaargetijden, al de verschijnselen van het weder, de morgen- en de avondschemering, onweders, winden, regen — het is alles afhankelijk van de warmte, want zij hangen af van de aanwezigheid van waterdamp in de lucht, en deze weder van de meerdere of mindere warmte des dampkrings. Maar hier rijst de vraag:

Wat is damp? Wij kennen de stoffelijke voorwerpen in drieërlei vorm: den vasten, den vloeibaren en den gasvormigen. Van den eersten vorm hebben wij een voorbeeld in ijs, van den tweeden in water. Indien men water verhit, gaat het in den dampvormigen toestand over; maar men heeft daarbij onderscheid te maken tusschen een volkomen en een onvolkomen opnemen in den dampkring. Waterdamp dien men ziet, b. v. als wolk, als nevel, als damp die uit een ketel kokend water ontsnapt, is nog niet volkomen opgelost. Men bezie den stoom, die uit de locomotief van een spoortrein in de lucht zweeft. De witachtige damp is stoom, waterdamp. Men ziet dien stoom zich splitsen in vlokjes en deze weder in kleinere, totdat de stoom geheel en al onzichtbaar is geworden ten gevolge van oplossing in de dampkringslucht. Wanneer het zeer koud is, gaat die oplossing veel langzamer dan bij groote hitte. Hoe warmer het is, des te gemakke-



lijker lossen zich de dampen geheel op in de dampkringslucht. En dit vermogen der lucht om dampen geheel in zich op te nemen en onzichtbaar te doen worden, heeft zijne grenzen. Eindelijk wordt de lucht er van verzadigd en is niet in staat om allen waterdamp geheel op te lossen; 't gevolg is, dat er wolken ontstaan als verzamelingen van onvolkomen opgelosten en dienvolgens zichtbaar blijvenden waterdamp, welke waterdamp zich bij toenemende afkoeling in den druipvormigen toestand als regen moet vertoonen. Dit verduidelijkt ook, dat een droge oostenwind, die uit de uitgestrekte landen over geheel Middel-Europa tot ons komt, gretig de vochtigheid uit grond en planten opsorpt, terwijl de zuidenwind, uit de Middellandsche zee komende, en vooral de westelijke, uit den Atlantischen oceaan, reeds van vocht verzadigd zijn en dus lichtelijk regen aanbrengen.

Om te bepalen hoeveel vochtigheid in de lucht aanwezig is en dus of zij nog veel dan wel slechts weinig vochtdeelen opsorpen kan, dient de

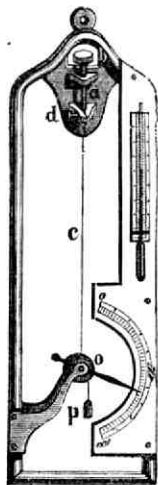
Hygrometer of vochtigheidsmeter. Er zijn eene menigte zelfstandigheden in de organische natuur, welke de eigenschap hebben om de waterdampen der lucht in hare poriën te verdikken en daardoor in omvang toe te nemen.

Haar, balein, pennen, vederen, hout, stroo en dergelijke lichamen dragen wegens deze eigenschap den naam *hygroscopische* (vochtigheid verradende). Daarop berusten verschillende kleine toestellen, waaraan men weersveranderingen meent te kunnen waarnemen. Hiertoe behooren de zoogenoemde *weermannetjes*. Binnen in een huisje hangt eene ineengedraaide darmsnaar loodrecht en draagt eene plat liggende bordpapieren schijf, op welke twee poppetjes, een mannetje en een vrouwtje, staan. Als ten gevolge der groote vochtigheid de darmsnaar ineendraait, komt het mannetje met eene parapluie buiten; wordt het droog, dan gaat hij naar binnen en het vrouwtje komt buiten met hare parasol.

Dergelijke toestellen zijn in groote menigte en in allerlei vormen van allerlei zelfstandigheden vervaardigd, maar wetenschappelijke waarde hebben zij niet. Den eersten hygrometer, die den vorm van een werkelijken toestel had, vervaardigde SAUSSURE. Hij bestaat in de hoofdzak uit een menschenhaar *c*, dat in loog is uitgekookt en met het boveinde aan een vast punt *d*, met het ondereinde aan den omtrek van een katrolletje *o* is vastge-

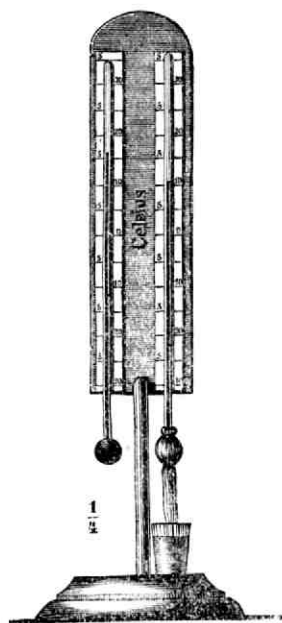
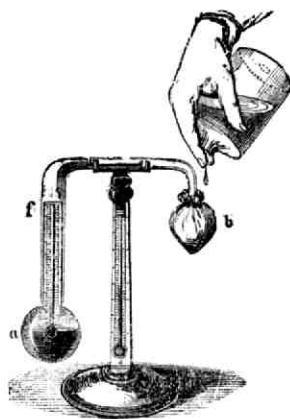
maakt. Wordt bij droog weder het haar korter, zoo verkrijgt het katrolletje en dus ook de daarop geplaatste wijzer eene ronddraaiende beweging. Rekt het haar weder, zoo draait een klein gewichtje *p*, welks draad eveneens over het katrolletje loopt en het haar altijd eenigszins gespannen houdt, den wijzer in omgekeerde richting. De beide eindpunten der schaal, welke de wijzer doorloopt, worden bepaald, doordien men het werktuig eerst onder eene klok plaatst, waarin de lucht door scheikundige middelen geheel droog gemaakt is. Op de plaats, die bij deze proef de wijzer inneemt, zet men het cijfer 0, den hoogsten graad van droogte. Onder eene andere klok, die van binnen met water bevochtigd is, wordt daarop het hoogste vochtigheidspunt bepaald en de ruimte tusschen deze beide eindpunten in 100 gelijke deelen of graden verdeeld. Op dergelijke wijze is ook de hygrometer van DELUC ingericht, in welken, in de plaats van een haar, een stukje balein gebezigd wordt.

Werktuigen van deze soort zijn echter in het geheel geen meters, want zij wijzen slechts veranderingen aan, en dat nog wel tamelijk ongelijk, zonder aan te geven hoeveel vochtigheid er in de lucht is; bij toenemenden warmtegraad kan de lucht zelfs meer vochtigheid opnemen, zonder dat de hygrometer dit aan-



wijst. De weerkundige wetenschap verlangde dus een ander werktuig, hetwelk het vochtgehalte der lucht rechtstreeks aanwijst, en dus leert hoeveel gewichtsdeelen water in een kubieken voet lucht op een bepaald oogenblik bevat zijn. Eerst door zulk een werktuig, verbonden met barometer en thermometer, bestaat er kans, dat het eens den meteorologen mogelijk zal zijn de verschijnselen in de lucht zoo nauwkeurig waar te nemen, als de sterrenkundige die aan het uitspannel nagaat. Om daartoe te geraken moest men eerst de natuur der dampen nauwkeuriger leeren kennen; men moest vooral weten, dat de lucht bij elken warmtegraad slechts eene bepaalde maat van vochtigheid kan opnemen, die met de temperatuur toeneemt. Brengt men een koud vast lichaam in warme lucht, zoo wordt het gewoonlijk beslagen, d. i. met een fijnen dauw overtrokken. Dit is het gedeelte water, hetwelk de lucht, die het voorwerp aanraakt en daardoor afgekoeld wordt, juist ten gevolge van deze afkoeling moet laten varen. Hoe vochtiger de lucht is, des te eerder zal deze dauwaanslag zich vertoonen; bij droge lucht geschiedt dit eveneens, als men het voorwerp maar koud genoeg maakt. Men tracht nu te bepalen tot welke temperatuur men een lichaam moet afkoelen, totdat het beslaat, en bij welke temperatuur de neerslag weder verdwijnt. Het midden tusschen deze beide temperaturen noemt men het dauwpunt; het is die warmtegraad, bij welken de lucht juist met de vochtigheid zou verzadigd zijn. Op deze beginselen berust de hygrometer van DANIELL. Hij bestaat uit eene gebogene buis, die in twee bollen uitloopt. De bol a is voor de helft verguld en geplatineerd om den aanslag van vocht daarop beter te doen uitkomen; hij bevat een kleinen thermometer en is half met ether gevuld. De bol b is met een fijn linnen lapje omgeven. De buis is luchtledig, zoodat de ruimte daarin met etherdampen is gevuld. Wordt er nu ether op den bol b gedruppeld, zoo zal deze door de snelle verdamping kouder worden. De dampen binnen den bol worden dus verdicht en er komen nieuwe dampen over, die zich uit den ether in den bol a ontwikkelen. Deze laatste moet door deze dampvorming eveneens steeds kouder worden, totdat eindelijk op de buitenzijde de dauw verschijnt. De binnenste thermometer toont ons aan, bij welke temperatuur de dauwvorming plaats vond; een gewone aan den standaard bevestigde thermometer wijst de luchtwarnte aan. Uit deze beide thermometerstanden en den barometerstand kan men nu bepalen, welken graad van vochtigheid de lucht op het oogenblik der waarneming had. Om zich van de gedurige berekeningen te ontslaan, gebruikt men in den regel tabellen, waarin men met de waargenomen getallen onmiddellijk de uitkomst kan opslaan.

Een dergelijk en veel gebruikt werktuig is de psychrometer van AUGUST. Hij berust op het beginsel, dat hoe droger de lucht is, des te sneller ook het water



verdampt. Bij elke verdamping wordt echter warmte gebonden; met andere woorden: er ontstaat koude, en deze afkoeling kan men met den thermometer meten. De psychrometer bestaat dienvolgens uit twee naast elkander hangende thermometers, die alleen onderscheiden zijn doordien de bol van den eenen met een lapje is bekleed, dat in een bakje met water hangt, zoodat de bol altijd vochtig gehouden wordt. Was nu de lucht geheel met vochtigheid verzadigd, zoo zou er geen water kunnen verdampen en daardoor dus ook geene koude ontstaan; beide thermometers zouden in dit geval even hoog staan. Neemt echter de lucht nog waterdamp op, zoo zal de natte thermometer dalen, en dat wel des te meer, hoe verder de lucht van haar verzadigingspunt verwijderd is. Het verschil tusschen beide thermometerstanden kan dus tot de bepaling van de vochtigheid der lucht gebruikt worden, en om de berekening gemakkelijker te maken heeft men eveneens tabellen, die men slechts behoeft na te slaan. Intusschen moet dit werktuig ver bij het vorige achterstaan en kan in het geheel niet als onberispelijk worden aangemerkt; zoo zal bijv. op eene tochtige plaats het verschil der beide thermometers altijd grooter zijn dan daar, waar de lucht niet in beweging is. Voor zeer fijne waarnemingen schiet dus geen andere weg over, dan het water uit eene bepaalde hoeveelheid lucht, hoe grooter hoe beter, af te scheiden en haar gewicht te bepalen.

De meteorologie en de meteorograaf. Bijna alle veranderingen in den toestand van onzen dampkring, althans in hetgeen een onmiddellijk merkbaaren invloed op het weder heeft, ontstaan uit veranderingen in de warmte. Van deze hangen in de eerste plaats de windstreken en de meerdere of mindere vochtigheid af; voorts ook nog de doorschijnendheid en de zwaarte der lucht, en het is uit de samenwerking dezer oorzaken dat het weder ontstaat. De wetenschappelijke waarneming en navorsching dier oorzaken, zoo van iedere op zich zelve, als van alle in onderlingen samenhang, heet meteorologie, wederkennis.

Thermometer, psychrometer, barometer, electroscoop en electrometer dienen om den electrischen toestand der dampkringslucht te onderzoeken en te meten; de anemometer tot bepaling der sterkte en der richting van den wind. Die werktuigen te zamen zijn het, van welke de meteorologie zich bedient.

Het zal wel niet noodig zijn te ontwikkelen van hoe grooten invloed het weder is, niet alleen op het welvaren van den afzonderlijken mensch, maar ook op den toestand van geheele landen en volken. Niet slechts voor landlieden en varengasten is de waarneming van het weder eene belangrijke zaak, maar ook de wetenschap vorsch t ijverig het weder na. Ten einde een gelijktijdig overzicht van de dampkringsverschijnselen te erlangen, heeft men op raad van ALEXANDER VON HUMBOLDT de geheele aarde met meteorologische waarnemingspunten bezet; op elk van deze worden al de ter zake dienende waarnemingen op dezelfde uren van den dag gedaan en aangeteekend.

De bijeenvoeging der op die wijze verkregen uitkomsten en hare onderlinge vergelijking heeft, om slechts deze ééne bijzonderheid uit vele te noemen, een helder licht verspreid over de kennis van de natuur der stormen, waardoor deze nog jeugdige wetenschap bereids de allergewichtigste diensten aan de zeevaart bewezen heeft. Immers men weet nu, dat vele der gevaarlijkste stormen niets zijn dan geweldige wervelwinden, die zich tot een betrekkelijk klein gedeelte van den oceaán bepalen, terwijl de meteorologische wetenschap aanwijst hoe men op zee de richting kan leeren kennen, in welke men den steven te sturen heeft om buiten de verschrikkelijke draaiorkanen in eene kalme lucht te komen.

Maar al wordt ook op de meteorologische waarnemingspunten op bepaalde tijdstippen de gesteldheid des dampkrings waargenomen en aangeteekend, toch kan

men uit zulke afzonderlijke gegevens geen samenhangend geheel erlangen. Daarom heeft men reeds sedert lang getracht, den onophoudelijk veranderenden stand der instrumenten door deze zelve te laten aanteekenen. Men heeft dit doel bereikt door op eene langzaam voortschuivende papierstrook een potlood of dergelijke stift door het instrument onophoudelijk den stand te doen aanteekenen; ook wel zijn de instrumenten zoo ingericht, dat voortdurend op daartoe geprepareerd papier een photographisch beeld van het instrument in zijn verschillende standen genomen wordt.

Stellen wij ons b. v. voor, dat op de oppervlakte van het kwikzilver in het korte, opene been van een barometer eene kurk drijft, verbonden met een potlood, dat op eene voortschuivende papierstrook eene lijn beschrijft, dan zal de gedaante dier lijn eene nauwkeurige voorstelling geven van de opvolgende standen des barometers. Ware die stand gedurende eenigen tijd, b. v. een uur, onveranderlijk geweest, dan zal de papierstrook met eene rechte lijn beschreven zijn over eene lengte, vereischt om een uur lang onder het potlood door te schuiven. Maar bij elke rijzing of daling van de kwikzuil, en bijgevolg van de potloodpunt, moet eene kromming in de lijn ontstaan, die de maat en den tijd van elke rijzing of daling des barometers ten nauwkeurigste aanwijst. Men zou ook achter de kwikzuil een photographisch papier kunnen laten voortschuiven, dat door het licht in zoover zwart wordt gemaakt als het licht door de kwikzuil niet onderschept wordt, enz.

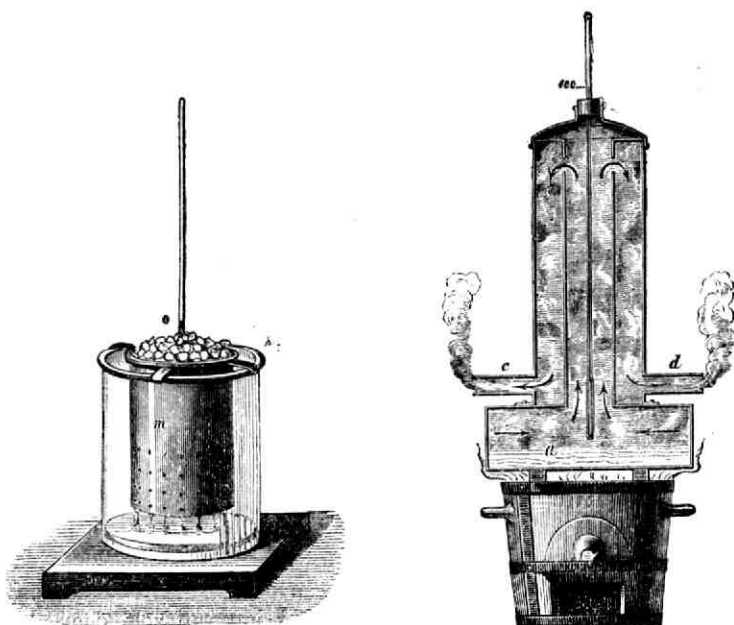
Op zeer vernuftige wijze heeft de beroemde sterrenkundige SECCHI te Rome een toestel vervaardigd, die, door een uurwerk in beweging gehouden, alle meteorologische verschijnselen op die wijze in den vorm van kromme lijnen voorstelt. Het heet de zelfwerkende meteorograaf, die op de laatste Parijsche tentoonstelling de algemeene bewondering wekte en sedert op vele sterrenwachten als een nimmer rustend waarnemer in dienst gesteld is. De eene zijde van dit vrij groote werktuig vertoonde, behalve het uurwerk, photographische afbeeldingen van den stand van barometer, droogte-thermometer en vocht-thermometer, benevens aanwijzing van den gevallen regen, zoo ten aanzien van tijd als van hoeveelheid. Aan de andere zijde ziet men opgave van de sterkte en de richting des winds, een anderen thermometer tot het meten van de warmte der zonnestralen, benevens eene contrôle van barometerstand en regenhoeveelheid. De afbeeldingen aan de eene zijde liepen over 272, die der andere over 10 dagen. Na zooveel tijd moesten zij vernieuwd worden. Gedurende die dagen echter ontstond de aanschouwelijke voorstelling der verschijnselen in den dampkring van zelf, daar al het werk werd verricht door een scherppinnig uitgedacht uurwerk, door het ineengrijpen van talrijke en met de grootste nauwkeurigheid vervaardigde hefboomen en door electro-magnetische werking eener galvanische batterij, die op telegraphische wijze die gedeelten in werking bracht, welke buiten de waarnemingsplaatsen lagen.

Doch keeren wij tot ons eigenlijk onderwerp terug.

Daar het vriespunt en het kookpunt zich zoo bijzonder onderscheiden, zijn zij als vaste punten op de thermometerschalen aangenomen.

Het vervaardigen der thermometers. Indien men een thermometer vervaardigen wil, moet men allereerst met de grootste nauwkeurigheid eene buis uitzoeken. Zij moet overal volmaakt even wijd zijn, en dit is ten gevolge der wijze van vervaardiging slechts zelden het geval. Deze buis wordt aan de eene zijde door middel eener glasblazerslamp tot een bol gesmolten en geblazen; het andere uiteinde blijft vooralsnog open. Voorts wordt door verhitting alle nog misschien voorhanden zijnde vochtigheid uitgedreven en daarna buis en bol met goed uitgekookt kwikzilver gevuld. Om het kwikzilver door de nauwe buis in den bol te brengen

verhit men de buis en den bol, waardoor een gedeelte der lucht wordt uitgedreven, en dompelt nu het opene einde van de buis in kwik, of men brengt aan het opene einde eene trechtvormige verwijding aan, waarin men kwik giet, waarna men de buis rechtop plaatst. Wordt nu de buis kouder, zoo ontstaat er eene luchtdrukking van buiten naar binnen, die het kwikzilver in de buis drijft. Is bij een eersten keer nog niet genoeg kwik in de buis gedrongen, zoo moet men de bewerking herhalen. Iemand die aan het werk gewoon is, weet zeer spoedig te beoordeelen wanneer hij de noodige hoeveelheid kwikzilver in den thermometer heeft. Thans maakt hij de buis luchtledig en gesloten. Te dien einde trekt hij het opene einde voor de glasblazerslamp tot eene fijne punt uit en verhit nu den thermometer zoo sterk, dat het metaal de geheele buis vult en uit de fijne punt begint te dringen. Op dit oogenblik smelt hij de buis geheel dicht, en wanneer nu bij het bekoelen het metaal weer teruggaat, blijft er eene luchtledige ruimte over. Hierop moet hij de hoofdpunten van de schaal bepalen. Een meng-



sel van een weinig gedistilleerd water en zuivere sneeuw of ijs moet na verloop van eenigen tijd, wanneer het niet in enkel water of enkel ijs veranderd is, een bepaalden warmtegraad aangenomen hebben, die juist het verlangde vriespunt is. In zulk een mengsel plaatst men de buis en men teekent daarop het punt, tot waar de kwikzuil is gedaald, als het vriespunt aan. De bepaling van het kookpunt is even eenvoudig. Daar men weet, dat kokend water door aanhoudende verwarming niet warmer wordt, maar alleen meer stoomt, zoo heeft men hierin in het algemeen reeds het tweede punt gevonden. Een geheel onveranderlijk punt is het echter niet, want het koken geschiedt bij hooge luchtdrukking moeielijker dan bij lage, zoodat in het eerste geval het kookpunt hooger zou komen te liggen. Men moet dus den middelbaren barometerstand (76 centim. of 28 Par. duim) bezigen of in rekening brengen, want men behoeft dien niet altijd af te wachten. Weet men bijv. dat 70,7 centim. luchtdrukking het water reeds op 68° van de honderddeelige schaal, bij 73,3 centim. op 99° kookt, zoo weet men dat



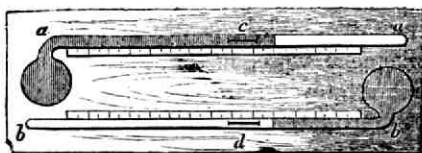
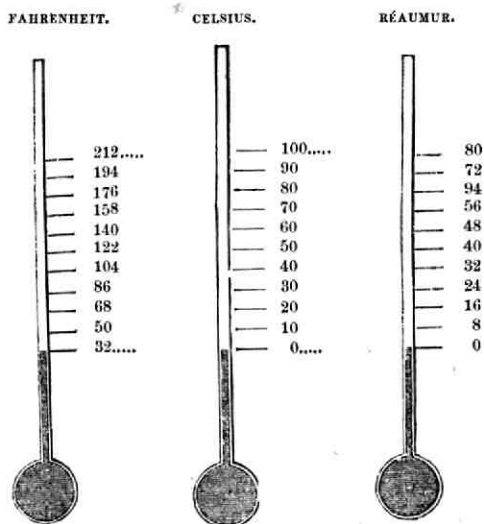
onder deze omstandigheden het kookpunt  $2^{\circ}$  of  $1^{\circ}$  hooger moet liggen dan de thermometer aanwijst. Het kookpunt verandert ook wanneer er vreemde stoffen bij het water gemengd zijn; daarom moet men altijd gedistilleerd water bezigen. En eindelijk dompelt men het werktuig niet meer als vroeger in de kokende vloeistof zelve, maar hangt het in een fleschvormig vat, dat een weinig water bevat en van onderen verwarmd wordt, zoodat de waterdampen, die altijd dezelfde temperatuur hebben als het water waaruit zij voortkomen, het werktuig van alle kanten omringen. De afbeelding bladz. 86 stelt den daartoe gebruikelijken toestel voor.

De ruimte tusschen het vries- en het kookpunt kan op verschillende wijzen

in graden verdeeld worden. Naar de verdeeling van RÉAUMUR wordt zij in 80, naar die van CELSIUS <sup>1)</sup> in 100 graden verdeeld. Een dezer beide schalen en die van FAHRENHEIT vindt men dikwijls aan den thermometer nevens elkander geplaatst. Bij den thermometer van FAHRENHEIT, die veel in Engeland en ook in ons land gebezigd wordt, ligt een kunstmatig vriespunt ten grondslag, dat men verkrijgt door den thermometer in een mengsel van sneeuw en zout te plaatsen. Van dit punt tot het vriespunt telt de schaal van FAHRENHEIT 212 graden, waarvan er 180 tusschen het kook- en het vriespunt liggen, terwijl de 32 overblijvende beneden het vriespunt vallen.

Wil men de opgave van een thermometer in eene andere schaal uitdrukken, zoo heeft men op het volgende te letten. De lengte der graden van RÉAUMUR en CELSIUS staan tot elkander als 100 tot 80, dus als 5:4; door vermenigvuldiging met 5 en deeling door 4 wordt dus eene opgave van den thermometer van RÉAUMUR in eene van den honderddeeligen overgebracht; door de omgekeerde bewerking verandert men graden CELSIUS in graden RÉAUMUR. Om de aanwijzing van de schaal van FAHRENHEIT in die volgens RÉAUMUR te veranderen, trekt men van het aantal graden FAHRENHEIT 32 af, vermenigvuldigt de rest met 4 en deelt het product door 9. Om de opgave volgens FAHRENHEIT in die volgens CELSIUS te veranderen gaat men op dezelfde wijze te werk, doch neemt in plaats van 4 het getal 5 als vermenigvuldiger.

Tot gemak in het gebruik heeft men de thermometers op verschillende wijzen zoo ingericht, dat men daaraan zien kan, welke de hoogste en de laagste standen zijn die zij hebben ingenomen. Men noemt ze maximum- en minimum-thermometers, ook wel dag- en nachtthermometers. Het meest bekende werktuig van deze soort is de thermometer van



<sup>1)</sup> In de *Comptes rendus* (T. XVIII, N<sup>o</sup>. 25, pag. 4063), vindt men dat er een eigenhandige brief van LINNAEUS bestaat, uit welken blijkt, dat hij beweert de eerste te zijn geweest die de thermometerverdeling in  $100^{\circ}$  heeft gebezigd.



RUTHERFORD. Twee liggende thermometers zijn op een plankje of bordje bevestigd, een met kwikzilver gevuld voor de hoogste, een met wijngeest gevuld voor de laagste warmtegraden. In den eersten ligt een klein staafje ijzer *d*, hetwelk het kwikzilver bij zijne uitzetting voor zich uitschuift en bij het inkrimpen laat liggen. In den wijngeest-thermometer ligt eveneens een dun glazen staafje, dat met een zwart knopje of eene verdikking aan de beide einden voorzien is. Dit wijzertje *c* is geheel door wijngeest omgeven en blijft op zijne plaats liggen wanneer de wijngeest vooruitgaat. Trekt deze zich echter verder terug dan het wijzertje oorspronkelijk lag, zoo wordt het door de aantrekking der vloeistof, die er aan blijft kleven, medegenomen. Het ijzeren staafje wijst dus den hoogsten, het glazen staafje den laagsten stand aan, dien de thermometer heeft ingenomen. Bij elke nieuwe proefneming moet men door de eene zijde van het plankje (in onze figuur de rechtsche) naar beneden te bewegen en zacht daartegen te kloppen, de staafjes *c* en *d* tot aan de oppervlakte der vloeistoffen laten zakken.

De thermometer kan op verschillende wijzen op glazen platen of in glazen buizen vastgemaakt worden, al naarmate men daarmede verschillende doeleinden voor oog en heeft. Werktuigen, die tot proefnemingen met vloeistoffen moeten dienen, bestaan slechts uit glas en kwikzilver, en de schaal is of op het glas geëtst of op papier aangebracht, dat in eene glazen buis besloten is.

Een goede thermometer met zorgvuldig verdeelde en aangebrachte schaal kan als een standaard-werktuig voor vele andere dienen. Men behoeft den thermometer dien men wil regelen, slechts naast den eersten in verschillende temperaturen te brengen en de aanwijzingen van den eenen op de schaal van den anderen over te dragen. Heeft men eenige punten overgebracht, zoo kan men de tusschenruimte door gelijkmatig verdeelde graden aanvullen. De grenzen, waarbinnen de thermometerschalen besloten zijn, zijn naar het doel waartoe zij gebedigd worden, meer of minder ruim. Thermometers bijv. voor huiselijk gebruik behoeven niet ver onder het vriespunt en boven het kookpunt te reiken; daarom kan men hunne graden grooter en dus hun stand gemakkelijker zichtbaar maken.

Om met den thermometer den warmtegraad van een lichaam te onderzoeken, is het noodig, dat men den bol en een deel van de buis zooveel mogelijk daarmede in aanraking brengt, totdat de kwikzuil zich niet meer verplaatst. Ook moet geene andere warmtebron een storenden invloed kunnen uitoefenen; daarom moet men bij nauwkeurige proeven zelfs de hand niet te dicht bij het werktuig brengen. Om de luchtwarmte te leeren kennen plaatst men het werktuig in de schaduw. Een thermometer in de zon geplaatst geeft geene zekere uitkomst, daar alle omringende voorwerpen op den warmtegraad invloed hebben; men zou hem dus ten minste op eene geheel vrije plaats moeten ophangen. De verwarmende kracht der zonnestralen kan men eenigszins, hoewel op zeer onvolkomene wijze, meten, als men die in een glas met koud water laat vallen en de warmtevermeerdering van dat water onderzoekt. De natuurkundige meet ook het warmteverlies met den thermometer. Plaatst men in een helderen nacht, als de aarde de warmte, die zij bij dag heeft gekregen, weder uitstraalt, twee thermometers in de open lucht, waarvan echter de een onder eene bedekking is geplaatst, zoo zal de onbedekte altijd verscheidene graden lager staan dan de andere, daar bij dezen de uitstraling wordt tegengehouden.

De omstandigheid, dat niet alle metalen gelijkmatig, maar het eene meer, het andere minder, door hitte en koude zich uitzetten en samentrekken, heeft tot de vervaardiging der metalen thermometers aanleiding gegeven. Het beginsel van deze thermometers is het volgende. Indien men verschillende metalen vereenigt, bijv. aaneenschroeft of soldeert, zal de aldus gevormde reep of stang niet altijd

denzelfden vorm kunnen behouden, maar moet bij verandering in warmtegraad krom trekken, daar de bestanddeelen zich ongelijk uitzetten. De metalen thermometer van BREGUET bestaat dienvolgens uit een spiraalvormig gewonden metalen reep, die met zijn bovenste einde aan een standaardje vastzit, terwijl het onderste vrij naar beneden hangt. Deze metalen reep bestaat uit drie lagen, van zilver, goud en platina. De middelste dient alleen om de beide uiterste aaneen te soldeeren. Deze worden door warmte en koude zeer ongelijk aangedaan, en men kan zich dan lichtelijk voorstellen, dat het vrije einde beneden niet altijd op dezelfde plaats blijft, maar die verandert, daar de spiraal zich nu eens meer op-, dan weder meer afwentelt. Deze kleine veranderingen worden nu door eene lichte, lange naald, die als wijzer op een cirkelboog dient, overgebracht. Nog menigvuldiger treft men werktuigen aan, waarbij eene enkele stang van koper en zink dezelfde rol speelt. Men ziet ze in den regel in natuurkundige verzamelingen en er zijn reeds zoo groote gemaakt, dat zij een wijzer van één meter lengte bewegen en ook in torens kunnen opgesteld worden. Zijn namelijk zink en koper bij middelbare temperatuur tot eene stang vereenigd geworden, zoo wordt de stang bij klimmende temperatuur krom, en dat wel zoodanig dat het zink aan den buitenkant van den boog ligt, want dit metaal heeft zich meer uitgezet dan het koper, en daar het in rechte richting niet voortkan, zoo wordt het koper gedwongen zich te buigen. Het omgekeerde vindt in de koude plaats, wanneer het zink korter is dan het koper, en het laatste dus in den grootsten en buitensten cirkel moet liggen, waar meer ruimte is. De verplaatsingen van het vrije einde der stang worden, zooals men zich lichtelijk kan voorstellen, tot de beweging van een wijzer gebezigd.

De warmte in de huishouding der natuur. Wanneer wij diep in de schors der aarde — met opgeblazenheid spreekt de mensch van „de ingewanden der aarde” — indringen, bevinden wij, dat met elke 100 v. diepte de warmte 1° toeneemt. Het uit de artesische putten opwellende water heeft eene dienovereenkomstig hooge temperatuur, hetgeen doet vermoeden, dat de oorzaak van het heete der bronnen en het vloeibare van vulkanische lava alleen gelegen is in de groote diepte, uit welke zij opkomen. Doch op groote diepten heeft die warmte-toeneming langzamer plaats dan nabij de oppervlakte der aarde, maar met eene eenparigheid, die ons doet onderstellen, dat er een punt moet zijn, waar in den aardbol alle vaste zelfstandigheden ophouden en tot aan het middelpunt zich alles in vloeibaren, gloeienden, gesmolten toestand bevindt, aan alle zijden omringd door eene vaste schaal.

Alle ons bekende hemellichamen geven in hunnen kogelvorm getuigenis van een dergelijken toestand. De snelle aswenteling, aan alle eigen, is de oorzaak hunner regelmatige kogelgedaante. Doch dit, gepaard aan de afplatting aan de polen, leidt tot het denkbeeld van een oorspronkelijk vloeibaren toestand.

Vanwaar de verbazende warmte haren oorsprong heeft, die den gloeiend gesmolten toestand der hemellichamen in een hunner vroegere tijdperken heeft doen ontstaan, is gemakkelijk na te gaan, indien wij de uitwerkingen van chemische aantrekking en mechanische verdikking in aanmerking nemen. De wereldstof vervulde vóór het ontstaan der hemellichamen de oneindige ruimte als eene fijne nevelstof, waarin de oorspronkelijke bestanddeelen, elk met zijn chemisch aantrekkingsvermogen, afzonderlijk rondreven. Hier en daar werd het evenwicht der spanning verbroken en er had in den wereldnevel eene deelswijze stofophooping plaats, die zich over eene grootere of kleinere ruimte uitstreckte. Daarbinnen volgden de afzonderlijke stofdeeltjes hunne wederkeerige aantrekking; zij schoten bijeen tot de samengestelde stoffen en ontwikkelden daarbij door verdikking en

het opeenhoopen der deeltjes eene verbazende hoeveelheid warmte, ten gevolge waarvan de pasgevormde dichter lichamen als gesmolten gloeiende kogels in de nu van wereldstof ontdane ruimte zweefden. Dat deze werkingen, in het algemeen uit een verbroken evenwicht voortspruitende, gepaard gingen met rondwentelende bewegingen, mogen wij gerust aannemen, te meer daar sommige nevelvlekken (zie bladz. 85 B) er de duidelijke sporen van verraden. Daarin ligt dan ook de dubbele kringbeweging der hemellichamen: om eene as en om een middelpunt.

De ruimte, in welke zulk eene vereeniging van stofdeeltjes plaats had, werd een zonnestelsel. Van de algemeene massa rukten zich sommige brokken af en namen meest eene elliptische beweging aan om het middelpunt. Door de omwenteling werden echter van sommige dezer lichamen in de richting van den equator wederom stukken afgeslingerd, die zich tot nieuwe wereldbollen verdikten en eene beweging om het middelpunt bleven behouden: manen, wachters, die hunne hoofdplaneten vergezelden op haren weg om het gemeenschappelijk zwaartepunt, de zon.

De wereldruimte, dat wil zeggen de ruimte die de lichamen van ons zonnestelsel omgeeft en aanvult, is koud, veel kouder dan de laagste temperatuur onzer koudste winters. Men leidt uit verschillende, geheel van elkander onafhankelijke bijzonderheden af, dat de temperatuur der wereldruimte voor 't minst  $54^{\circ}$  moet, maar waarschijnlijk nog wel lager zal zijn. Er bestaat intusschen een onophoudelijk streven der natuurkrachten om het evenwicht te herstellen. De warmte straalt van warme lichamen op koudere naar alle richtingen uit. Ten gevolge daarvan verloren de gloeiend-vloeibare hemellichamen aanhoudend een gedeelte hunner warmte, en hunne temperatuur daalde te meer naarmate zij kleiner waren. Bij het sneller uitstralen van de oppervlakte had een afkoelen van buiten naar binnen plaats en de vastwordende schors werd van lieverlede dikker. Velerlei inwendige bewegingen gaven aanleiding, dat die schors hier en daar scheurde; door de aldus ontstane spleten drong de inwendige vloeibaar gebleven massa naar buiten, stroomde over de randen en spreidde zich uit in breede vlakten, die wij nog tegenwoordig in de groote lagen der eerste vulkanische gesteenten aantreffen. Hoe dikker de schors werd, des te meer bood zij tegenstand aan de inwendige spanning; de uitbarstingen werden zeldzamer en de buitendien reeds minder vloeibare massa hoopte zich bovenop de spleten op tot uitgestrekte berggruggen. Eindelijk echter bleven er nog slechts enkele gemeenschapswegen tusschen kern en buitenschors, door welke — als zoovele veiligheidskleppen — van tijd tot tijd de door chemische of mechanische werking samengeperste stoffen zich een uitweg banen. Dat zijn de vulkanen, welker regelmatige werkzaamheid reeds daardoor schijnt veroorzaakt te worden, dat door het binnenwaarts ongetwijfeld meer en meer voortgaand verstijven en dus dikker worden der aardkorst eene drukking op de vloeibare kern moet worden uitgeoefend, die veroorzaakt wordt door de omstandigheid, dat de stijfwordende massa meer ruimte inneemt dan de vloeibare, en die ten gevolge heeft, dat de gloeiende massa door die drukking nu en dan wordt naar buiten geperst.

Terwijl nu deze voortdurende afkoeling bij wereldlichamen van kleinen omvang zeer snel plaats had, zoodat de maan reeds een volkomen afgekoelde bol, een verstijfd geraamte vertoont, duurde het bij grooter massa's langer, en bij het hoofdlichaam van ons zonnestelsel, de zon zelve, heeft de afkoeling oogenschijnlijk dat punt nog niet bereikt, waarop ook slechts de oppervlakte vast geworden zou zijn en de lichtstralende kracht van een in het vuur gesmolten lichaam verloren hebben. Tusschen de maan en de zon staan de planeten, inwendig nog gloeiend, uitwendig reeds afgekoeld. En als wij onder de planeten onze aarde in 't bijzonder beschouwen,

dewijl wij bij haar de wereldverschijnselen het best kunnen waarnemen, dan moeten wij opmerken, dat tot op haar tegenwoordig tijdperk hare verstijving tot aan het punt gekomen is, waarop de voortdurende warmte-uitstraling naar de koudere wereldruimte door de toestraling van warmte uit de zon naar de aarde opgewogen wordt. Sedert dien tijd heeft, blijkens de nauwkeurigste sterrenkundige waarnemingen, de middellijn der aarde geene merkbare verkleining ondergaan, gelijk het gevolg zou moeten zijn, indien de algemeene inwendige warmte des aardbols ook slechts een honderdste deel van een graad verminderd ware.

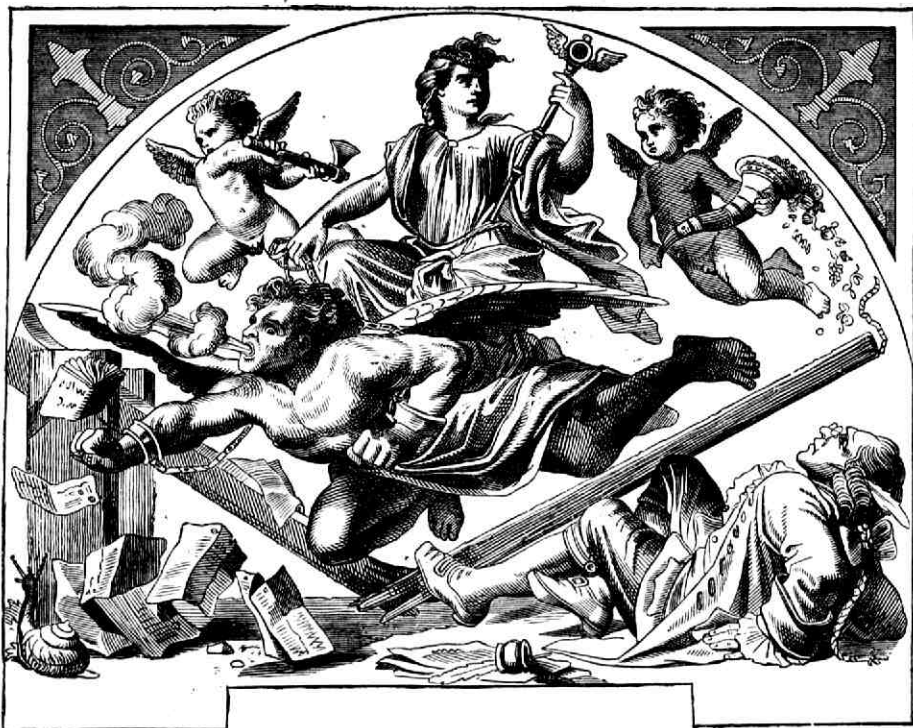
Hoe lang dit evenwicht tusschen uitstraling en toestraling nog duren zal en hoe ver zich het tijdvak zal uitstrekken waaraan wij den naam „onze wereldperiode” toekennen, weten wij niet, doch zooveel is zeker, dat het niet eindeloos zal voortduren. Het geheel der wereldlichamen, dat wij het „zonnestelsel” noemen, betaalt aan de eeuwige koude wereldruimte niet de renten van een kapitaal, maar teert van het kapitaal zelf in. En hoe groot nu ook dat kapitaal moge wezen, onuitputtelijk is het niet. De zon moet eindelijk ook op hare oppervlakte verstijven, zoodat zij de warmte, die zij thans nog aan de planeten mededeelt, niet meer in die mate uitstralen kan, waarvan eene algemeene afkoeling, eene algemeene inkrimping van koude bij alle lichamen in het zonnestelsel het gevolg moet zijn.

Indien de kringbeweging der maan ophield, zoodat zij op de aarde nederstorte, zou zulks wederom eene verbazende toeneming van hitte ten gevolge hebben; en zoo zouden ook de planeten, op de zon nederstortende, hare temperatuur geweldig verhoogen en daardoor de levensvatbaarheid weder voor langen tijd bestendigen. Maar hier eindigt al wat wij uit waarnemingen en op den trap onzer kundigheden kunnen zeggen.

Toch moet er — zouden wij op ons standpunt van wetenschap zeggen — eenmaal een tijd komen, waarin al wat stof is zich op één punt samentrekt en zonnen met zonnen ineendringen. Dan is door de onverbiddelijke afkoeling het rijk der verschijnselen ten einde en de geheele wereldstof wordt een doode klomp.

Wat zal echter het eindlot onzer wereld zijn? Welke eindwerking hebben al de krachten gehad, die het tegenwoordige onderhouden? Wat is er van de lichtgolven geworden? Wat van de electricische kracht? Heeft de oorzaak der magnetische verschijnselen spoorloos opgehouden, en waar is de ontzettende hoeveelheid warmte gebleven? Het antwoord is: al die afzonderlijke krachten: licht, electriciteit, aantrekking, magnetisme, zij zijn in evenwicht gekomen met hetgeen er tegenover stond; zij zijn alle veranderd in den éénen vorm warmte en in dien vorm door bestendige uitstraling van alle punten der stof in de oneindige wereldruimte verdeeld. Door de oneindige ruimte heen heerscht overal eene gelijke temperatuur; nergens is het warmer, nergens kouder; nergens beweging, overal stilte; nergens strijd, overal vrede; nergens leven, overal . . . . dood!

Zoo zijn wij in de volle beteekenis des woords kinderen der zon. De licht- en warmtestralen — zij zijn immers hetzelfde — die ons door dat groote hemellichaam toegezonden worden, onderhouden de beweging des levens; elke kracht, ieder verschijnsel is een uitvloeisel van de warmte der zon. De maan is dood. Zij ontvangt dezelfde geschenken als onze aarde, maar zij heeft geene hand om ze aan te vatten en vast te houden — hare massa, en een betrekkelijk veel grootere om af te geven — hare oppervlakte. De maan is een grenzenloze verkwister, wiens huishouding ten gronde moet gaan, omdat er geen evenwicht is tusschen ontvangsten en uitgaven.



De Stoom en de Stoommachine.

De warmte als kracht. — Wat is stoom? — Vochtigheid der lucht. — De hygrometer. — Beginsel der stoommachine. — Geschiedenis van hare uitvinding. — Haar ware ouderdom. — Het schip van DE GARAY. — SALOMON DE CAUS. — De markies van WORCESTER. — PAPIEN en de Papiniaansche pot. — De stoommachine van SAVERY. — NEWCOMEN. — JAMES WATT en zijne dubbelwerkende machine. — Het parallelogram. — De machine met hooge drukking. — De machine met ontspanning. — Afzonderlijke gedeelten der stoommachine. — De machine met heen en weder bewegenden cilinder. — De stoomketel. — Veiligheidskleppen. — De machines ter vervanging van de door stoom bewogene. — Geschiedenis en inrichting van de gasmachine van LENOIR en die van ERICKSON met heete lucht.

Indien wij datgene hetwelk men „kracht” noemt, terugbrengen tot de bron waaruit het zijn oorsprong neemt, dan is er, hoe wonderspreukig zulks schijne, slechts ééne grondoorzaak van alle kracht: warmte. Zonnelicht en zonnewarmte zijn de kracht die gras en kruiden doet groeien, waardoor mensch en dier worden in staat gesteld tot het onderhouden hunner krachten. Ook worden de lagen der lucht door de stralen der zon verwarmd, maar ongelijk, waardoor ook die lagen zich ongelijk uitzetten; de meest verwarmde, lichtere stijgen opwaarts, de koudere zijn zwaarder en zakken naar beneden; die ongelijke verwarming der luchtlagen en dat rijzen en dalen is de oorzaak der winden en daarmede van de kracht, die zeilschepen en molens drijft. Warmte is het, die het water op de oppervlakte der aarde doet verdampen en het als damp naar de hoogere luchtstreken drijft, waar het, als koudere luchtlagen zich met de warme,



vochtige vermengen, tot nevelen en wolken verdikt, op hooge bergen nederslaat en van daar, door de zwaartekracht der aarde nederwaarts getrokken, in tallooze adertjes naar beneden vliet. De geheele arbeid, die op de schuinsche berghelling en verder tot aan zee plaats heeft, is niets anders dan een gewrocht van de warmte der zon.

Alle kracht is warmte, gelijk alle warmte kracht is. Wij kunnen ons gemakkelijk van de onmiddellijke verandering der warmte in mechanische kracht overtuigen, zoo wij ons de uitzettende kracht der warmte herinneren. In het Conservatoire des arts et des métiers waren de muren gebarsten en de scheur werd van dag tot dag hoe langer hoe grooter, zoodat zij voor het gebouw gevaarlijk werd. De beide muurbrokken nader bij elkander te brengen was moeielijk wegens de zwaarte van de muren. Intusschen herstelde men het ongeval volkomen. Men verbond de beide muren met elkander door gloeiende ijzeren staven en bevestigde die zoo stevig, dat zij, ten gevolge der verkoeling later krimpende, de muren moesten medenemen of breken. De uitslag was naar wensch. De scheur werd gedicht en de schade was hersteld.

En de stoom, die zware machines in beweging brengt als ware het slechts spel, heeft even weinig eene eigene, afzonderlijke kracht als het water. Hij is slechts een tusschenmiddel, maar zoo doelmatig als men vroeger in de verte niet vermoed had.

De stoom, die pasgeboren reus, reikt met zijne armen in de diepte der mijnen; hij brengt schatten der diepte bij millioenen centenaars boven den grond en verwerkt het gesmolten metaal tot de allersijnste vormen. Als op het bevel van een toovenaar verandert de leelijke ijzeren klomp in een sierlijk schip; de stoom bouwt het, de stoom brengt het in zijn element, door den stoom vliegt het zijne houten mededingers voorbij, welker eiken inhouten eeuwen noodig hadden om tot de vereischte zwaarte te groeien. De stoom maalt het meel voor het brood dat wij eten, de stoom spint de wol en het katoen tot onze kleedij; de stoom weeft ze en drukt rijke bloemenpracht op het lichte weefsel. Duizenden raderen worden door den stoom bewogen; ieder daarvan zou door ééne drukking een mensch kunnen verbrijzelen, en toch is de zwakste kinderhand in staat om deze geweldige drijfkracht te stuiten. De uitvinding der boekdrukkunst gaf aan den menschelijken geest de middelen om over onwetendheid en bijgeloof te zegevieren; de uitvinding der stoommachine stelt ons in staat om de belemmeringen te overwinnen, welke in vroeger tijd onoverklimbare versperringen schenen te plaatsen tegen 's menschen lichaamskracht. De drukkunst gaf vleugelen aan zijn geest, de stoommachine aan zijn lichaam.

Als wij de stoommachine bezien, staat een klein, sierlijk bewerkt en net geschuurd voorwerp voor ons, waarvan men nauwelijks zou gelooven dat het zoo verbazend veel kracht kan uitoefenen als het verricht. Hoe gemakkelijk en geregeld beweegt zich die zuiger; het drijftrad loopt alsof het niets was. Het geheele drijfwerk ontleent zijne beweging aan één enkele kracht. Door raderen en rondsels, drijfriemen en andere toestellen wordt de kracht voortgeleid en verdeeld tot waar men haar noodig heeft, dikwijls op verre afstanden, naar boven en naar beneden, hoek in, hoek om.

„Van hoeveel paardenkracht is die machine?” vragen wij. Van 15, 20, 30 of nog meer, zegt men ons; op spoorwegen en stoombooten hooren wij zelfs van 50, 100 of meer paardenkracht spreken. En al die verbazende krachten — zij schijnen op de eenvoudigste wijze uit een emmer water en een bak steenkolen voort te komen; het water wordt stoom en de stoom drijft een zuiger op en neder, en ziedaar het eenvoudige middel tot zoo geweldige kracht.



Het begijpsel der stoommachine. Dat niet alle water in de natuur terstond in damp verandert, wordt veroorzaakt door de drukking der lucht. Die drukking kan men door verhitting van het water tegengaan, en op het oogenblik dat die drukking geheel overwonnen is, begint het water met kracht in damp te veranderen. Men noemt dit koken. De spankracht van den uit een open vat opstijgenden waterdamp of stoom moet met de drukking der lucht in evenwicht zijn. Daarom bekomt men op die wijze slechts stoom ter spanning van 1 dampkring. De stoom is niet warmer dan het water, want een aanmerkelijk deel van de warmte die hij van het vuur heeft ontleend, is, zooals de geleerden zeggen, latent geworden; dat wil zeggen: zij is niet meer als warmte te bespeuren, maar verbruikt om het water tot stoom te brengen. Op dezelfde wijze wordt er warmte latent wanneer men een bak met sneeuw op het vuur wil ontdooien. Wordt de stoom weder tot water, dan wordt ook de latente warmte weder vrij. Vult men derhalve een vat, dat een inhoud van bijv. 1700 kub. centim. heeft, met stoom van 100 graden, zoo zal hij, gelijk wij zagen, met de kracht van ééne atmosfeer tegen de binnenwanden drukken en dus de drukking van de lucht daarbuiten en den stoom daarbinnen even groot zijn. Brengen wij nu  $5\frac{1}{2}$  kub. centim. ijskoud water in het vat, dan zal de stoom aanstonds zijne spanning verliezen en zijne warmte aan het koude water afstaan; de stoom wordt dan water en het koude water verwarmd. Men verkrijgt zoodoende  $5\frac{1}{2}$  kub. centim. water van  $100^\circ$  temperatuur.

Uit deze proef, waarbij men moet onderstellen dat het vat ook eene temperatuur van  $100^\circ$  had, leeren wij vele zaken tegelijk. Vooreerst zien wij, dat de warmte die in den stoom gebonden of latent was, niet is verloren gegaan; zij is weder vrij geworden, want om 1 kub. centim. water geheel in stoom te veranderen of om  $5\frac{1}{2}$  kub. centim. van  $0^\circ$  tot  $100^\circ$  te verhitten, is juist evenveel warmte noodig. Verder zien wij, dat de stoom door de afkoeling weder ineengeskrompen is en eene ruimte inneemt, die 1700 maal kleiner is. Er zou dus in het vat nog eene ledige ruimte van  $1693\frac{1}{2}$  kub. centim. overblijven; eene ruimte zelfs niet door lucht gevuld, want wij onderstelden dat de stoom tevoren alle lucht uit het vat verdreven had. Er zal dus noch lucht- noch stoomdrukking aanwezig zijn, maar onder die omstandigheden zal het water, door geene drukking daarin verhinderd, weder gedeeltelijk in stoom overgaan. De drukking welke die stoom uitoefenen zou, hangt af van den warmtegraad die nog binnen in het vat zou overblijven; had men dus nog meer koud water daarin gebracht om de warmte te verminderen, dan zou daarbinnen zeer weinig drukking overblijven.

Zijn dan de wanden van het vat niet stevig genoeg, zoo zal de dampkringslucht daarbuiten, die nu van binnen niet wordt tegengewerkt, het vat geheel indrukken, en was eene stop in eene buis op het vat geplaatst, dan zou die naarbinnen gedrukt worden. Verbeelden wij ons die buis met stop nog eenigszins anders; maken wij de buis wat breeder en van binnen gladgeslepen en de stop eveneens breed en plat, zoodat zij juist in de buis past, en bevestigen aan de stop eene stang die met een of ander toestel in verband staat, dan hebben wij reeds een der eerste stoomwerktuigen (de buis), den zuiger (de stop) en de zuigerstang.

Het kookpunt eener vlocistof hangt, gelijk wij reeds opmerkten, behalve van de natuur der vloeistof, nog van de drukking af waaraan zij is blootgesteld. Daarom kookt op hooge bergen, waar de luchtdrukking geringer is, het water reeds bij eene lagere temperatuur; omgekeerd zal men nu ook het kookpunt kunnen verhoogen wanneer men de drukking vermeerdert. Kookt men bijv. water in een gesloten ketel, dan zal, naardien de stoom niet kan ontwijken, de stoomdruk-

king zich voegen bij de luchtdrukking die reeds op het water wordt uitgeoefend; het water kookt daarbinnen dan ook niet meer op eene temperatuur van  $100^{\circ}$ . Had men te voren al de lucht uit den ketel verwijderd, dan zou bij eene temperatuur van  $100^{\circ}$  de waterdamp de spanning van ééne atmosfeer bezitten en bij die temperatuur tegen de binnenwanden van den ketel eene drukking van 1 kilo op den vierkanten centim. worden uitgeoefend. Gaat men nu voort met verwarmen, dan zal de daarbinnen aanwezige stoom zich nog meer trachten uit te zetten en het water grooter drukking gaan ondervinden; het kookpunt wordt dus tegelijk met de stoomspanning daarbinnen hooger; heeft het water daarbinnen eene temperatuur van  $121^{\circ}$  bereikt, dan heeft de stoom eene spankracht van twee atmosferen en drukt hij dus met een gewicht van 2 kilo op den vierkanten centim.; bij  $144^{\circ}$  is de spanning reeds 4, en bij  $200^{\circ}$  16 atmosferen. Herinneren wij ons dat de stoom bij eene drukking van één atmosfeer op ieder vierkanten centim. met eene kracht van 1 kilo drukt, en vermenigvuldigen wij die drukking met 4, 8, 16, dan wordt het eenigszins begrijpelijk hoe geweldige kracht de stoom bezitten kan. Men kan door het verbranden van 40 gr. steenkolen 28,5 kubiek centim. water in damp veranderen en bekomt daardoor de verbazende hoeveelheid van 49,464 kub. centim. stoom, die onder eene drukking, gelijkstaande met één atmosfeer, is gevormd; deze hoeveelheid stoom is in staat om 740 centenaars 1 voet op te heffen. Geeft men aan dien stoom gelegenheid om zich uit te zetten, dan erlangt men door zijne spankracht nog eene tweede uitwerking, die de eerste bijna nabijkomt.

Het is niet onbelangrijk, deze verhouding tusschen verkregen stoom en stoomkracht aan de eene en verbruikte brandstof aan de andere zijde nader in oogenschouw te nemen.

Om de temperatuur van eene gegeven hoeveelheid water van het vriespunt tot het kookpunt ( $0^{\circ}$ — $100^{\circ}$  C.) te verhoogen, wordt altijd dezelfde hoeveelheid warmtestof vereischt, en als de steenkolen van dezelfde hoedanigheid zijn, hebben wij ook altijd evenveel noodig. Omgekeerd weten wij, dat eene bepaalde hoeveelheid warmtestof altijd dezelfde werkkraft heeft, 't zij door uitzetting of op eenige andere wijze. Zoo staat de hoeveelheid warmtestof, noodig om 1 kilo water  $1^{\circ}$  C. warmer te doen worden, gelijk met eene mechanische kracht, die een gewicht van 1350 kilo 1 v., of wat hetzelfde is, 1 kilo tot 1350 v. hoogte zou opheffen. Een kilo beste steenkolen zou bij het verbranden, indien het mogelijk ware alle warmte zonder verlies in mechanische kracht te veranderen, een last van 1 centenaar 472 mijlen hoog opheffen, en toch is de bij het verbranden van die hoeveelheid ontstaande warmte slechts in staat om 8086 kilo water  $1^{\circ}$  C. warmer te maken.

Wij hebben voor de beoordeeling van mechanischen arbeid het opheffen van lasten als maatstaf aangenomen. Gelijk men weet geschiedt zulks in de technische wetenschappen algemeen, en spreekt men van een last, die 1 kilo tot 1 voet hoogte opheft, 1 kilo tot 1 meter hoogte enz.

Onze stoommachines, hoe vermogend zij ook mogen schijnen, zijn echter op verre na niet in staat al de arbeidskracht van de door verbranding verkregen warmte te gebruiken. Dit ontstaat voornamelijk daaruit, dat een groot gedeelte der warmte door het water bij het verdampen wordt ingezogen en als latente warmte ongebruikt blijft. De volmaking van het stoomwezen en het besparen of liever het zooveel mogelijk partij trekken van de brandstof is dan ook van het hoogste belang. 't Is waar, de vrees, dat een zoo uitgestrekt gebruik van steenkolen, bruinkolen en turf den voorraad eindelijk zal uitputten, is niet zoo zorgwekkend als velen willen doen voorkomen, maar het is met dat al ver van onverschillig

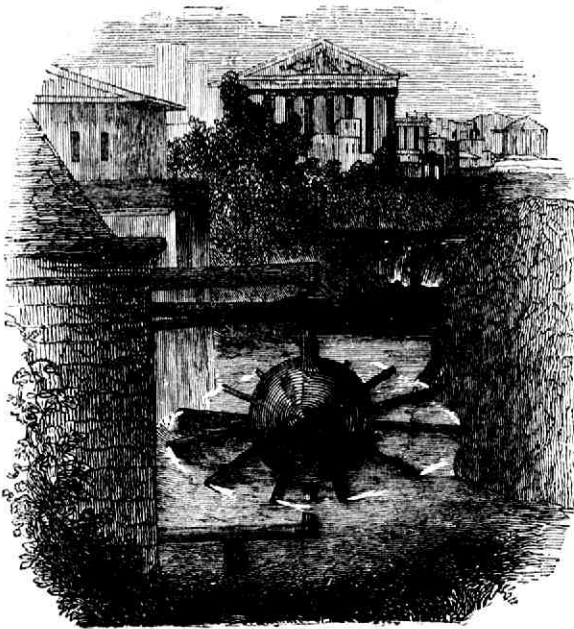
of men 18—20%, gelijk onze beste stoommachines slechts geven, dan wel meer gebruik van dezelfde hoeveelheid brandstof zou kunnen hebben.

En als men niettemin de stoommachine toch voor de goedkoopste bewegkracht houdt, rust dit ten deele op een valsche berekening. Wij beoordeelen de kracht volgens toevallige begrippen, gelijk wij de waarde der handelsvoorwerpen naar den aanrijzing en daling onderworpen prijs van goud en zilver beoordeelen, in plaats van den werkelijk gebezigten arbeid als uitgangspunt aan te nemen en daarnaar al het overige te beoordeelen. Steenkolen, dat is hier hetzelfde als mechanische kracht, zijn de eenige geldige maatstaf. Zoodra men dit erkend heeft, zal men anders te werk gaan; zoolang dit het geval niet is, laat men zich door den uitslag misleiden en slaat de hand niet aan verbetering.

Geschiedenis der uitvinding. Men heeft bij de stoommachine, evenals bij alle andere belangrijke uitvindingen, gemeend niet hoog genoeg in de oudheid te kunnen opklimmen tot het vinden der eerste kiemen. Er zijn geschiedschrijvers,

en vroeger vond men ze in nog grooteren getale, die zich niet anders kunnen voorstellen dan dat al het grootsche en gewichtige reeds in de vroegere tijden aanwezig moet zijn geweest, althans aan enkelen bekend.

Dienvolgens moet ook de stoommachine reeds een twintigtal eeuwen tellen. Met zorgvuldigheid werden alle uitdrukkingen bijeengeschaard, die maar eenigszins zouden kunnen schijnen er melding van te maken of op te zinspelen. Dat de oude Grieken en Romeinen den waterdamp even goed kenden als wij, behoeft men ons niet te bewijzen met bijgesleepte plaatsen der Ouden; maar het is boven



alleen twijfel, dat de Ouden geen het minste denkbeeld hadden van een stoommachine, d. i. van een wetenschappelijk gebruik van de spankracht. Eene toevallige waarneming, eene onvoorziene ontdekking is geen uitvinding. De uitvinding zelve heeft als zoodanig plaats gehad; zij is eene vrucht van nadenken en proefnemingen; zij werd gedaan omdat zij noodig was. De uitvinding van de stoommachine werd gevorderd door maatschappelijke behoeften, en deed zij nieuwe behoeften ontstaan, zij was ook gereed ze te bevredigen.

HERO van Alexandrië, een Grieksch wijsgeer die 150 j. v. C. leefde, beschrijft in een zijner nagelaten werken onder andere inrichtingen een toestel, die gewoonlijk in de eerste plaats genoemd wordt als men van de geschiedenis der stoomwerktuigen spreekt. Uit de bovenstaande afbeelding en de beschrijving die wij van dezen toestel geven, blijkt dat men aan HERO ten onrechte de uitvinding der stoommachine toeschrijven zou.

Een holle metalen kogel is van boven en beneden door tappen gesteund en

heeft aan zijn omtrek een zeker aantal buizen, die van voren gesloten zijn, maar ter zijde, alle aan denzelfden kant, eene opening hebben. Bevindt zich nu in den kogel een weinig water, dat door verhitting van den kogel tot stoom wordt gemaakt, of leidt men uit eene andere ruimte stoom onder in den kogel, zoo zal deze door de zijdelingsche openingen van de buis uitstroomen, waardoor de kogel in de tegenovergestelde richting eene snelle ronddraaiende beweging zal aannemen. De toestel was dus een zoogenaamd reactie-rad, die door dezelfde oorzaak werd rondbewogen als een zonnetje bij een vuurwerk, namelijk door het terugstooten van den uitstroomenden damp, en even goed in de rondte zou gedraaid hebben, als men lucht of water voortdurend in den kogel had gepompt. In elk geval was het eene beweging door stoom, hoewel niet door opgesloten, maar door uitstroomenden stoom, en dit is de reden waarom de kracht die men verkrijgt zeer onbeduidend moet zijn.

Eene andere oude stoomhistorie wordt ons uit den tijd der Grieksche keizers verteld. ZENO en ANTHEMIUS te Byzantium waren boezemvrienden geweest, maar werden, zooals dat meer gaat, de bitterste vijanden toen zij toevallig dicht bij elkander kwamen te wonen. ZENO gaf op een goeden dag eens een gastmaal aan zijne vrienden, in een vertrek juist boven de kamer van ANTHEMIUS. Deze besloot zijn buurman eene poets te spelen, en maakte daartoe een ketel met water gereed, waaronder hij een duchtig vuur aanlegde. Den stoom wist hij door buizen zoodanig tusschen het plafond van zijne kamer en den vloer van de bovenkamer te leiden, dat de grond waarop de gasten gezeten waren begon te beven, en zij, in de meening dat er eene aardbeving was, in grooten schrik op straat vluchtten. In het verhaal wordt niet gezegd of dit tamelijk onbeduidend gebruik van den stoom in dien tijd iets nieuws of verwonderlijks was; ook heeft ANTHEMIUS, voor zoover bekend is, geen ander gebruik van den stoom gemaakt.

Ook de oude Keltische priesters schijnen eenig denkbeeld van de stoomkracht gehad te hebben en maakten er al niet veel beter gebruik van dan ANTHEMIUS. Te Sondershausen bestaat nog een afgodsbeeld van den god Pusterich, waarmede de priesters, als het hun tepaskwam, den toorn van hunne godheid vertoonden. Het beeld is ongeveer een el hoog, hol en uit erts gegoten. Het heeft geene andere openingen dan mond, neusgaten en oogen. Wanneer de god zijn toorn moest doen blijken, vulden de priesters het beeld gedeeltelijk met water en stopten de openingen met proppen dicht. Onder den troon, waarop het beeld gezeten was, werd dan een verborgen vuur aangestoken, en wanneer het water aan het koken was geraakt, vlogen plotseling met groot geweld de houten proppen uit mond, neus en ooren, en werd de godheid in nevelen gehuld.

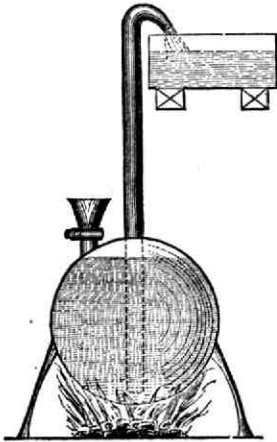
Maar er is nog een groote afstand tusschen dergelijke kwakzalverijen en een waarlijk nuttig werktuiglijk gebruik, en er moest nog menige eeuw verloopen voordat dit laatste gelukte. De eerste sporen van eene proefneming, met dit doel ondernomen, vindt men in Spanje. Een zeekapitein, BLASCO DE GARAY, kwam met een werktuig voor den dag, waarmede hij schepen zonder riemen en zeilen wilde voortdrijven. Op bevel van KAREL V werd ten jare 1545 in de haven van Barcelona daarmede eene proef genomen. GARAY hield de inrichting van zijn werktuig verborgen; men zag alleen, dat het uit een grooten waterketel bestond en dat zich aan beide zijden van het schip raderen bevonden. Het schip, dat 200 ton mat, legde volgens de berichten in twee uren drie zeemijlen af.

De uitvinder werd beloond, maar de uitvinding bleef rusten, hetzij dat de zaak naar het oordeel der getuigen te ingewikkeld, te kostbaar of te gevaarlijk was, hetzij dat andere beletselen, die bijna nooit bij eene uitvinding ontbreken, hare toepassing verhinderden. Over de inrichting van het werktuig van GARAY weten

wij niets; evenmin kunnen wij wijs worden uit hetgeen een predikant, JOHAN MATHESIUS te Schneeberg, een vertrouwd vriend van LUTHER, zegt in een werk dat in 1562 te Neurenberg verscheen onder den titel van „Sarepta of bergpostil.” Hij verhaalt daarin, dat iemand begonnen was berg (steen en erts) en water met vuur op te heffen.

Eerst in 1614 treft men in het werk van SALOMON DE CAUS: „Raisons des forces mouvantes,” eene beschrijving van een toestel aan, die de uitvinding van het stoomwerktuig is voorafgegaan en er aanleiding toe heeft gegeven. Deze toestel, hieronder afgebeeld, was eigenlijk niets anders dan een fontein. Hij bestond uit een hollen kogel, waarin twee buizen tot op den bodem gestoken waren, die met een kraan konden worden gesloten en dienden om het water aan en af te voeren. Werd nu de kogel met water gevuld en gesloten op het vuur gebracht, dan drukte de ontwikkelde stoom op de oppervlakte van het water met zoo groote kracht, dat het water bij het openen van een der kranen tot eene aanmerkelijke hoogte spoot.

DE CAUS, die toen in den dienst van koning LODEWIJK XIII van Frankrijk was, had de zekere overtuiging, dat zijne uitvinding kon worden toegepast en van het grootste belang kon zijn, doch het gelukte hem niet dit denkbeeld bij anderen ingang te doen vinden. Ofschoon weinige jaren nadat het werk van DE CAUS was verschenen, de Italiaansche ingenieur GIOVANNI BRANCAS den uitstroomenden waterdamp tegen de schoepen van een scheprad liet werken en het zoodoende met tamelijk goed gevolg in beweging bracht, geloofde toch de kardinaal RICHELIEU, de alvermogenende minister van den koning van Frankrijk, niet aan de uitvoerbaarheid der plannen van DE CAUS. In plaats van zijn land het voordeel van deze uitvinding te schenken, was hij zoo verblind, om, ten einde zich van dezen geleerde te ontdoen, die hem telkens weder kwam lastig vallen, hem voor krankzinnig te verklaren en in Bicêtre, het krankzinnigengesticht te Parijs, te laten opsluiten. Hier bezocht hem de markies van WORCESTER, die, zooals de Franschen beweren, van



DE CAUS het eerste denkbeeld ontleende van de toepassing, welke hij later van diens uitvinding maakte.

De markies van WORCESTER, een plannenmaker en opsnijder, die een „honderdtal uitvindingen” tegelijk heeft uitgegeven, welke echter niet anders dan hersenschimmen waren, leefde in den tijd der burgeroorlogen, die onder KAREL I Engeland tot een kampplaats van alle hartstochten maakten. Daar hij voor den koning partij had getrokken, verloor hij al zijne bezittingen en werd hij eindelijk in Ierland gevangen gezet. Het gelukte hem uit de gevangenis te vluchten; hij waagde het echter op verzoek van de verbannen betrekkingen des konings weder naar Engeland te gaan, waar hij andermaal gevangen werd genomen en in den Tower opgesloten. Hier rijpte het denkbeeld, dat hij had opgevat toen hij in Frankrijk in gezelschap van eene der schoonste vrouwen uit dien tijd, MARIE DELORME, een bezoek aan DE CAUS bracht.

Er bestaat nog een brief, dien MARIE DELORME (3 Februari 1641) aan CINQ MARS, den stalmeester des konings van Frankrijk, schreef en waarin zij eene beschrijving geeft van dit bezoek. Zij schrijft onder anderen het volgende: „Wij gingen naar de Bicêtre, waar de markies in een krankzinnige een uitstekend man



meende te vinden. Toen wij over de plaats van het hospitaal gingen, was ik meer dood dan levend, en angstig klemde ik mij aan den arm van mijn begeleider vast, toen wij achter de tralies DE CAUS zagen, die onophoudelijk riep: „ik ben niet krankzinnig, ik heb eene uitvinding gedaan, die dit land moet verrijken indien zij wordt uitgevoerd.” Nadat de oppasser ons meer bijzonderheden over den krankzinnige had medegedeeld, zeide de markies: „Breng mij bij dien man,



De markies van WORCESTER in den Tower.

ik wil met hem spreken.” Het werd hem toegestaan en spoedig daarop keerde hij in eene ernstige en bewogene stemming terug. „Ach,” riep hij uit, „de arme man is inderdaad krankzinnig; miskenning, ellende en gevangenschap hebben hem van zijn verstand beroofd. Gijlieden hebt hem krankzinnig gemaakt, en terwijl gij hem hier gevangen houdt, versmacht het grootste genie van zijn tijd ge-



ketend in zijn kerker. In mijn vaderland zou de man, in stede van door opsluiting krankzinnig gemaakt te worden, met schatten overladen geworden zijn."

Toen nu later de markies van WORCESTER in den Tower als gevangene zelf zijn middagmaal moest gereed maken, merkte hij de eigenschappen der dampen van kokend water nog nauwkeuriger op en in zijne „Honderd uitvindingen" spreekt hij daarover op de volgende wijze:

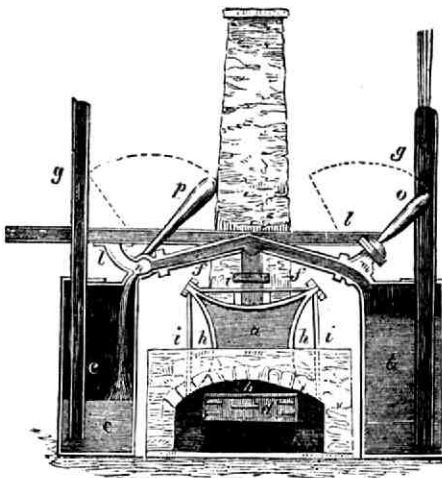
„Ik heb eene verwonderlijke en krachtige manier uitgevonden om het water door vuur in de hoogte te drijven, niet door een zuigpomp, bij welke, zooals men weet, de hoogte der opzuiging begrensd is, maar op eene andere wijze, waarmede, zoo de ketels maar stevig genoeg kunnen gemaakt worden, het water tot eene onbegrensde hoogte kan worden opgevoerd. Nadat ik de middelen had leeren kennen om mijne ketels sterk genoeg te maken om de drukking te kunnen weerstaan, vulde ik den eenen ketel na den anderen bij afwisseling met koud water en verkreeg door het gebruik van dampen eene fontein, welke zonder ophouden een straal van 40 voet hoogte gaf. Eén deel water, dat in dampen was veranderd, dreef zoodoende 40 deelen koud water in de hoogte, en men had slechts

één man noodig, die niets anders te doen had dan twee kranen om te draaien, ten einde of dampen in het gevulde vat, of koud water in het ledige te doen stroomen. Het vuur moet echter voortdurend goed onderhouden worden."

Wij betwijfelen zeer of de markies zijn toestel ooit anders dan in zijn hoofd heeft vervaardigd. Men kan zich intusschen wel eene voorstelling maken van hetgeen hij bedoelt. Men stelle zich (zie de nevensstaande afbeelding) een stoomketel *a* voor met twee buizen, die elk in een daarnevens geplaatsten bak met water uitkomen. Deze bakken zijn van boven gesloten; het water dat zij bevatten kan alleen door de rechtopstaande buizen, welker opening zich

aan den bodem der bakken bevindt, ontwijken. Is nu een der bakken, bijv. de rechtsche met water gevuld, zoo wordt de stoomkraan omgedraaid en de stoom drukt op de oppervlakte van het water, zoodat het in de openstaande buis naar boven wordt geperst. Terwijl de eene bak zoodoende geledigd wordt, kan de andere met water gevuld worden. De kranen kunnen zoo worden ingericht, dat zij in de eene stelling stoom, in de andere water toelaten, en zoo is het dan gemakkelijk eene afwisselende drukking der beide bakken te verkrijgen.

Wat de arme DE CAUS mag uitgevonden hebben kan men natuurlijk niet weten. De beschrevene stoomfontein kan hij niet bedoeld hebben, toen hij van eene belangrijke uitvinding sprak. Een toestel, waardoor kokend water zich zelf naar buiten drijft, heeft eigenlijk geen ander dan een natuurkundig belang; DE CAUS gaf zich ook niet voor uitvinder daarvan uit, maar zegt in zijn boek alleen dat men op die wijze water in de hoogte zou kunnen drijven. Daarbij zou echter, zooals men licht begrijpt, al het water dat men in de hoogte wil voeren, kokend heet gemaakt moeten worden. In den toestel van WORCESTER wordt het opgedrevene water niet zoo sterk verwarmd, daar bij dezen de stoom zich in een afzonderlijken ketel vormt. Dit onderscheid is van veel beteekenis; de stoom



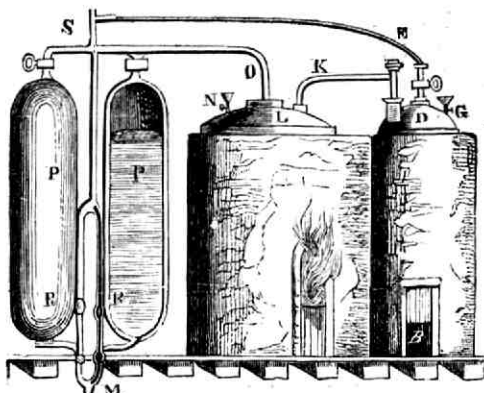
wordt hier op dezelfde wijze behandeld als in onze werktuigen: men vormt den stoom in de eene ruimte en laat hem in eene andere werken. Men kan derhalve den markies toegeven, dat in zijne uitvinding een gezond denkbeeld in een verward kleed is verborgen, hetzij dan dat het zijn eigendom of een in Frankrijk gepleegde roof is.

Veel belangrijker personage in de geschiedenis der stoommachine is DIONYSIUS PAPIN. Zijn naam is algemeen bekend; ieder onzer heeft toch wel eens van den papiniaanschen pot gehoord, dien men dikwijls in groote keukens aantreft, waar hij gebruikt wordt om uit beenderen en afval van vleesch eene krachtige soep te koken, dewijl de stoom in den geheel besloten pot het water met geweld in de poriën van het vleesch en de beenderen drijft, hetwelk bovendien, eene hoogere temperatuur dan het gewone kookpunt bezittende, de bestanddeelen van vleesch en beenderen tot een bouillon oplost. PAPIN nu, de uitvinder van dezen kooktoestel, een Franschman, die in 1698 te Marburg professor was, deed op bevel van den landgraaf KAREL proeven over de practische toepassingen van den stoom, en wij hebben aan hem eene aanmerkelijke verbetering in deze uitvinding te danken. Onze lezers kennen voorzeker allen de inrichting van eene gewone pomp, in welke buis een zuiger, luchtdicht sluitend, wordt op en neer bewogen. Wordt de zuiger naar boven bewogen, zoo ontstaat daaronder eene luchtledige ruimte, hetgeen ten gevolge heeft, dat het water uit de wel daarin door de drukking van den dampkring wordt opgedreven, terwijl, wanneer de zuiger naar beneden zakt, een klep gesloten wordt, die belet dat het water naar de wel terugvloeit, en een tweede klep, die zich in den zuiger bevindt, geopend wordt en het water doorlaat, dat, zich thans boven den zuiger bevindende, bij den volgende pompslag tot aan de opening van de kraan wordt opgeheven. Daar de drukking van den dampkring het water niet hooger kan oppersen dan tot ruim 10 m., zoo kan men ook geene pomp gebruiken bij welke de zuiger meer dan tot 10 m. boven de oppervlakte van het water in de wel is. Eene dergelijke inrichting wilde PAPIN bij het stoomwerktuig in toepassing brengen; hij bracht echter in den zuiger geene klep aan, maar maakte hem massief. Dezen zuiger wilde hij door het uitzettingsvermogen van den stoom in de hoogte drijven, daarop den stoom plotseling afkoelen en weder in water veranderen. Daar nu de stoom eene 1700 maal grootere ruimte inneemt dan de hoeveelheid water waaruit hij gevormd is, zoo moest, bij de verdikking van den stoom tot water, onder den zuiger eene luchtledige ruimte ontstaan en de dampkringslucht met eene drukking van 1 kilo op den vierkanten centim. den zuiger naar beneden drukken. PAPIN ontwikkelde dit denkbeeld in een afzonderlijk geschrift en maakte ook een model van het werktuig; de zaak had echter geen verder gevolg, daar zij in Duitschland werd aangevangen, waar, zooals in meer landen geschiedt, alleen datgene opgang maakt wat uit het buitenland komt. De Engelsche kapitein THOMAS SAVERY, die van de beschrijving van PAPIN kennis genomen had, kocht echter, zooals men beweert, alle exemplaren die hij krijgen kon op, vernietigde ze en kwam toen in het volgende jaar met eene uitvinding van hem zelve voor den dag, die niets anders was dan eene gepaste vereeniging van den toestel van den markies van WORCESTER en de uitvinding van PAPIN.

Het is treurig, dat men in de geschiedenis der uitvindingen zoo dikwijls beschuldigingen van ontvreemding aantreft, die misschien van allen grond ontbloeit zijn. Ons schijnt ook het verhaal van het vernietigen dier boeken door SAVERY volstrekt niet zeker, en het is zeer waarschijnlijk, dat het uit een kinderachtigen nationalen naijver is voortgesproten. Gelijk wij zien, begon thans het stoomwerktuig zich te vormen; het denkbeeld was in vele hoofden reeds ontkiemd, en zon-

der dat men juist aan diefstal behoefde te gelooven, kon nu eens hier, dan eens daar, eene verbetering uitgedacht worden. SAVERY zelf verhaalt aangaande de wijze, waarop hij tot zijne uitvinding geraakte, het volgende: Hij dronk een flesch wijn en wierp de flesch in het haardvuur. Hetgeen nog van den wijn in de flesch was overgebleven begon te koken en als damp uit de flesch te ontwijken. SAVERY, die zich juist de handen wiesch, kwam op de gedachte, eens te zien wat er gebeuren zou, als hij de nog stoomende flesch onderstboven in de waschkom dompelde. Hij nam de proef; het water steeg in den hals van de flesch in de hoogte, en deze omstandigheid bewees hem, zooals hij zegt, dadelijk de mogelijkheid om door afgekoelden stoom eene luchtledige ruimte te verkrijgen en zoodoende de drukking van den dampkring te laten werken.

Het stoomwerktuig van SAVERY, hetwelk hieronder in zijne hoofddeelen is voorgesteld, bestond uit twee ketels L en D, die elk een afzonderlijken vuurhaard hadden, en twee stoom- en watercilinders PP. Voordat het vuur wordt aangemaakt, vult men door de met kranen voorziene openingen N en G den ketel L tot op twee derden van zijne hoogte en den ketel D geheel met water, waarop de beide openingen lucht- en stoomdicht worden afgesloten. Nu wordt de stoomketel L verwarmd en wanneer de noodige stoom gevormd is, opent men de kraan



van den rechtschen cilinder P (die hier in doorsnede is voorgesteld). Dadelijk stroomt nu de stoom uit L door de buis O naar P over en verdringt de lucht die zich daarin bevindt en door eene klep R in de buis S ontwijkt. Zoodra de cilinder P met stoom gevuld is, hetgeen men aan het warm worden van den bodem bespeurt, wordt de stoomkraan gesloten en de kraan van den tweeden cilinder P geopend, waaruit thans de lucht gedreven wordt. Intusschen wordt een stroom koud water op den eersten cilinder geleid, waar-

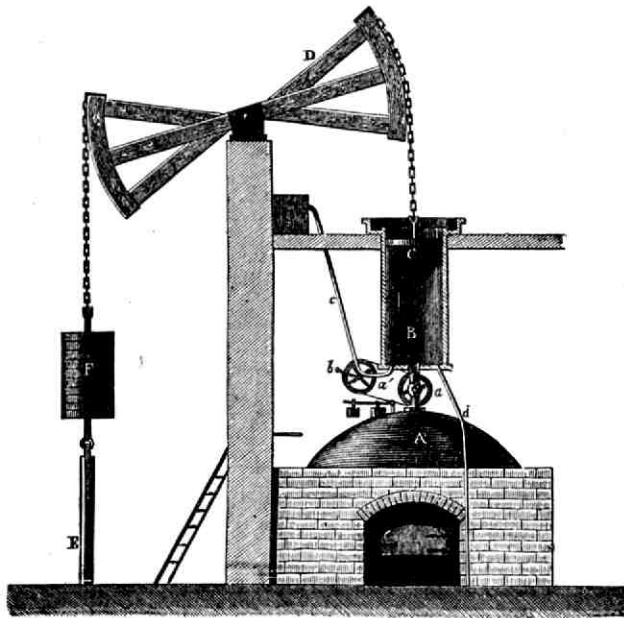
door de stoom daarbinnen afgekoeld en verdikt wordt en alzoo eene luchtledige ruimte ontstaat. Deze luchtledige ruimte wordt echter dadelijk weder aangevuld, doordien de drukking van den dampkring het water uit een vergaarbak onder M door de onderste buis, die met een klep voorzien is, in den cilinder opdrijft. Zoodra deze cilinder met water is gevuld, opent men weder de stoomkraan, en de stoom die uit L wordt aangevoerd, drukt nu het water door de klep R in de buis S naar boven. De tweede cilinder dient alleen om bij afwisseling met den eersten te werken en alzoo eene onafgebrokene opvoering van het water te verkrijgen, dewijl, wanneer in den eenen het water opstijgt, het in den anderen wordt uitgedreven en omgekeerd. De buis E, die wij in onze afbeelding zien, vormt eene verbinding van de buis S met den tweeden ketel D, waardoor men in staat is dezen steeds met water gevuld te houden. Deze ketel dient alleen als aanvuller van den ketel L, daar, juist op de manier welke door DE CAUS is uitgevonden, door het vuur in B zooveel stoom wordt gevormd, dat het water uit D door de buis K naar L wordt overgebracht.

Ofschoon dit werktuig vele handen vorderde om den gang te regelen en het bovendien nog zeer onvolkomen was, vormde het toch den grondslag van al onze tegenwoordige stoomwerktuigen. Het verkreeg echter eerst eene practische

toepassing in de mijnen van Cornwallis, nadat het door NEWCOMEN in 1705 aanmerkelijk verbeterd en eigenlijk geheel veranderd was. Wel is waar is de inrichting van NEWCOMEN meer een atmospherisch dan een stoomwerktuig, maar zij is toch de overgang tusschen de eerste uitvinding en de volmaakte stoomwerktuigen die uit de handen van den onsterfelijken JAMES WATT kwamen.

Het stoomwerktuig van NEWCOMEN is in de onderstaande figuur afgebeeld en op de volgende wijze ingericht: De stoom die uit den ketel A wordt ontwikkeld, kan door het omdraaien van de kraan *a* in den cilinder B treden, waarin zich de zuiger C op en neder beweegt. Door de spanning van den stoom en door de zwaarte van het gewicht F, hetwelk aan de pompstang E is bevestigd, wordt de zuiger naar boven bewogen. Is dit geschied, dan wordt de stoomkraan afgesloten en daarentegen een andere kraan *a'* even geopend, zoodat eenig water uit den bak G in de onderste ruimte van den cilinder stroomt. Hierdoor wordt de stoom aanstonds tot water verdikt en ontstaat onder den zuiger eene luchtledige ruimte.

De dampkring drukt dan, als het luchtledig volkomen is, den zuiger C met een gewicht van ongeveer 1 kilo op den vierkanten decim. naar beneden, en deze beweging wordt door de balans D op de pompstang en het tegengewicht overgebracht. Hoe grooter dus de oppervlakte van den zuiger is, des te grooter is ook het vermogen van het werktuig. Vroeger werd de stoom verdikt door water rondom de buitenvlakte te laten stroomen. Toevallig ontdekte men echter, dat het werktuig veel sneller liep toen de zuiger lek was geworden en een weinig



water, dat er bovenop stond, in de onderste ruimte kon dringen. Men kwam toen op het denkbeeld der beschrevene wijze van afkoeling, die veel sneller geschiedt. Het water dat zich in den cilinder opzamelt, kan door de buis *d* worden afgevoerd, terwijl de ketel A nog voorzien is van eene veiligheidsklep, die zich opent zoodra de drukking van den stoom in den ketel meer dan 14 kilo op den vierkanten decim. bedraagt.

Onze lezers zullen uit deze beschrijving opgemaakt hebben, dat bij elken zuigerslag de kranen *a a'* en die van de buis *d* bij afwisseling door een wachter met de hand moeten omgedraaid worden en dat dit met eenige nauwgezetheid dient te geschieden, zal de machine een regelmatigen gang verkrijgen. Van hoeveel belang deze bezigheid ook wezen moge, zoo is zij daarom niet minder vervelend, en het is niet te verwonderen, dat een knaap die daarmede belast was, haar juist niet bijzonder aangenaam vond. Zoo ging het ook HUMPHREY POTTER, een der jongens die aan de machine van Cornwallis moesten draaien. De levendige en vlugge

knaap had meer lust in spelen en lezen dan in deze zieldoodende werktuiglijke bezigheid, en zoo trachtte hij een middel te vinden om er zich af te maken. Met behulp van eenige touwtjes, die hij aan de balans van de machine en aan de verschillende kranen vastmaakte, gelukte hem dit spoedig. Deze eenvoudige inrichting trok spoedig de aandacht, en de touwtjes door ijzeren of houten staven vervangende, bracht men het weldra zoover, dat de machine zelve de kranen, met de grootste nauwkeurigheid, op het juiste oogenblik opende en sloot. Deze uitvinding van den knaap was van onberekenbaar gewicht, daar zij het eerst de werking van de machine onafhankelijk maakte van de aanhoudende oplettenheid van een werkman, waarop men niet altijd rekenen kan.

Na de verbetering, die HUMPHREY POTTER in 1718 aan de regeling van het stoomwerktuig aanbracht, is het nog door verschillende werktuigkundigen meer volmaakt geworden. JAMES WATT, die het totnogtoe tamelijk lompe en onhandige werktuig in den hoogsten graad volmaakte, bracht echter eene geheele omwenteling in de inrichting en het gebruik van het stoomwerktuig teweeg.

JAMES WATT, die in 1736 te Greenock in Schotland geboren werd, was van zijne vroegste jeugd af zeer zwak; men ontzag hem daarom en liet hem zijn eigen weg gaan en zich bezighouden en vermaken zooals hij zelf verkoos. Al spoedig openbaarde zich bij hem eene groote neiging voor wis- en werktuigkundige studiën. Toen een vriend van zijn vader dezen een bezoek kwam brengen, vond hij den knaap op den grond liggen, terwijl hij met een stuk krijt allerlei lijnen rechts en links door elkander trok. „Wat”, riep hij uit, „moet zoo'n groote jongen zich met zulke dingen bezighouden? Voort met hem naar school!” „Veroordeel den knaap niet zoo spoedig,” zeide de vader van JAMES, „zie eens wat hij doet!” en toen bleek het, dat de zesjarige knaap bezig was, op den grond een wiskundig voorstel uit de Elementa van EUCLIDES op te lossen. Zoo had onder anderen zijn vader, toen hij den smaak van JAMES voor werktuigkunde had opgemerkt, hem eene kleine verzameling gereedschappen verschaft. Hiermede begon hij te werken en al het speelgoed dat hij maar krijgen kon, uit elkaar te nemen en weer ineen te zetten, totdat hij er spoedig in slaagde ook zelf wat nieuws te vervaardigen. Eindelijk gelukte het hem eene kleine electriseermachine te maken, waarmede de arme zwakke jongen en zijne speelmakkers zich niet weinig vermaakten.

Oppervlakkig scheen JAMES WATT niet vlug, want het was hem niet mogelijk iets van buiten te leeren en het geleerde als een papegaai na te praten; daarentegen dacht hij des te meer na over hetgeen hem verteld werd, en al wat hem trof was voor hem een bron van nieuwe onderzoekingen en ijverige waarneming; en zoo kwam het, dat iemand die hem niet kende, lichtelijk kon meenen, dat hij een traag begrip had.

Gelukkig hadden zijne ouders scherpzinnigheid genoeg om den knaap juist te beoordeelen, maar van zijne tante, mevrouw MUIRHEARD, had hij veel uit te staan, want deze berispte hem altijd om zijne luiheid en domheid en spoorde hem telkens aan toch een boek ter hand te nemen, of zich op andere wijze nuttig bezig te houden. Zoo zeide zij hem eens: „Nu is er meer dan een uur verloopen waarin gij geen woord gesproken hebt. En weet ge wat gij al dien tijd hebt uitgevoerd? Gij hebt het deksel telkens van den theeketel genomen en er weer opgezet; gij hebt de kopjes en theelepeltjes boven den waterdamp gehouden en de druppels opgevangen die er tegen neersloegen. Is dat nu zooals het behoort en moest gij u niet schamen uw kostelijken tijd zoo te vermorsen?”

De goede tante wist zeker niet, dat misschien juist dat uur voor haar neef van de grootste beteekenis was, en dat de proef die hij hier nam, de eerste schrede was om den onsterfelijken naam te verkrijgen, dien hij zich later verwierf. Zij



zag in den knaap, die met den theeketel speelde en trachtte te weten waarom uit de dampen van het water zich weder water vormde, den grooten werktuigkundige niet, wiens ontdekkingen de gansche wereld zouden vervullen. Overigens behoeft men, zonder de geschiedenis veel tekort te doen, de goede tante met haren theeketel niet zoo hard te vallen. Onze jongens voeren ook wel allerlei katekwaad uit, zonder dat er juist daarom veel WATTS van groeien. Toen men WATT later vroeg hoe hij tot zijne uitvindingen was geraakt, antwoordde hij: „door onophoudelijk nadenken.”



Toen WATT den ouderdom van 19 jaren bereikt had, trad hij als leerling bij den werktuigkundige MORGAN te Londen in dienst. Hij moest om te Londen te komen 12 dagen reizen en zal wel niet vermoed hebben dat men denzelfden afstand ten gevolge van zijne uitvindingen eenmaal in 12 uren zou alleggen. Te Londen bleef hij slechts een jaar; van daar keerde hij naar Glasgow terug, waar hij zich als werktuigkundige aan de hoogeschool vestigde. In dien tijd was de beroemde staathuishoudkundige ADAM SMITH de glorie der academiestad; deze leerde WATT

kennen en vond een bijzonder behagen in zijn omgang. Hij bracht velen zijner vrienden bij den jongen instrumentmaker en spoedig werd het huis van WATT het vereenigingspunt van geleerden en studenten. Onder dezen bevond zich ook ROBINSON, die later met WATT in zeer nauwe vriendschapsbetrekking stond. ROBINSON verhaalt over zijne eerste ontmoeting met WATT het volgende: „Daar ik een liefhebber van wis- en werktuigkunde was, werd ik door eenige bekenden aan WATT voorgesteld. Ik verwachtte een eenvoudigen werkman te zullen ontmoeten en dit scheen hij ook werkelijk te zijn, maar hoezeer werd ik verrast, toen ik bij nadere kennismaking hem als een geleerde moest beschouwen die, ofschoon hij van denzelfden ouderdom was als ik, mij over alle punten van natuur- en werktuigkunde, waarover ik hem vroeg, ophelderingen wist te geven. Ik dacht dat ik in mijne studie nogal goede vorderingen had gemaakt, maar zag spoedig in, dat WATT ver boven mij stond. Zoo ging het ook mijn medegezellen. Elke zwarigheid die wij ontmoetten onderwierpen wij aan het oordeel van WATT, en hij was altijd in staat ons daarover iets nieuws te leeren; voor hem zelven werd elke vraag het onderwerp van nieuw en ernstig onderzoek en hij had geen rust, voordat hij overtuigd was dat de zaak van geenerlei beteekenis was of dat hij er van gemaakt had wat er maar van te maken was. Deze eigenschap, verbonden met de grootste bescheidenheid en een door en door goed hart, maakte dat al zijne bekenden met de grootste liefde aan hem gehecht waren.”

Naar het schijnt begon WATT zich in de jaren 1762 en 1763, toen hij vele proeven met den papiniaanschen pot deed, meer aanhoudend met het onderzoek naar de natuur van den stoom en de mogelijkheid van zijne toepassing bezig te houden, doch eerst het volgende jaar scheen bestemd om hem op den weg des roems te leiden. In de verzameling der hoogeschool bevond zich een model van eene stoommachine van NEWCOMEN, hetwelk men tot opheldering bij de academische lessen bezigde. Dit model was ontredderd geraakt, of liever het was nooit in orde geweest, en men droeg WATT op het te herstellen. Hij volbracht zijne taak naar wensch, maar zijn ijver stelde zich daarmede niet tevreden. Zijne scherpzinnigheid had spoedig ontdekt wat de oorzaak was der gebrekkige werking van den toestel van NEWCOMEN. Het werktuig had twee dingen noodig, te weten: water van eene hooge temperatuur en eene volmaakt luchtleidige ruimte onder den zuiger; dit kon echter met het inspuiten van het water niet verkregen worden, terwijl daardoor bovendien het nadeel ontstond, dat de wanden van den cilinder werden afgekoeld, zoodat, wanneer de stoom daarna in de ruimte onder den zuiger werd toegelaten, eene aanmerkelijke hoeveelheid door de afkoeling tot water werd verdikt en derhalve geene nuttige werking kon verrichten.

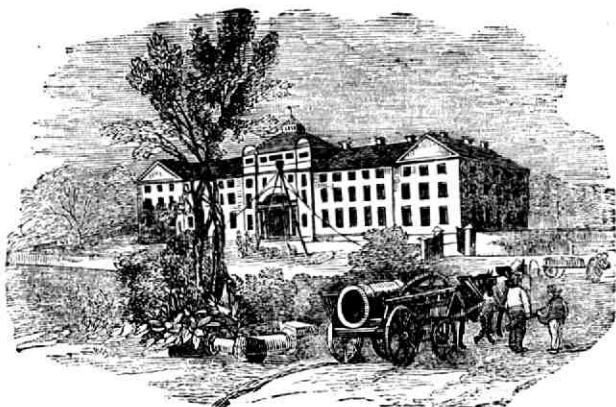
Deze opmerking bracht WATT op het denkbeeld, een afzonderlijken stoomverdikkingsstoestel of condensator aan het werktuig aan te brengen, waarin de stoom, nadat hij zijne werking in den cilinder had volbracht, werd afgevoerd en zoodoende buiten den cilinder neergeslagen. Deze uitvinding was omstreeks het midden van het jaar 1765 voltooid en zij leverde zulk eene besparing van brandstoffen, dat men thans om dezelfde werking te verkrijgen slechts een vierde deel der steenkolen noodig had, die vroeger verbruikt werden. Eene tweede belangrijke verbetering werd door WATT ingevoerd, doordien hij niet de dampkringslucht, maar den stoom den zuiger in den cilinder liet neerdrukken. Daartoe werd de cilinder van boven geheel gesloten op eene luchtdichte opening na, die de zuigerstang doorliet, en werd de stoom afwisselend boven en beneden den zuiger in den cilinder gebracht. Het duurde nog drie jaren na deze uitvinding, voordat WATT zich de middelen kon verschaffen om haar op eene groote schaal uit te voeren, ten einde zoodoende het nut zijner vinding door de proef onwederlegbaar

te bewijzen. Eerst nadat WATT met Dr. ROEBUCK eene overeenkomst had gesloten, waarbij deze laatste twee derden van alle winst voor zich bedongen had, werd hij in staat gesteld een proefwerktuig te vervaardigen, waarmede dan ook eene zeer voldoende uitkomst werd verkregen, hoezeer ook bleek, dat nog eenige kleine bezwaren moesten worden uit den weg geruimd.

De compagnieschap met ROEBUCK duurde echter niet lang, want reeds weinige jaren daarna bleek het, dat de zaken van ROEBUCK geheel in de war waren. Nu ving voor WATT, die niet bemiddeld was, een moeilijke tijd aan. Gelukkig sloot hij echter in 1775 eene nieuwe overeenkomst met MATTHIAS BOULTON te Soho bij Birmingham, waar hij in deze uitgebreide fabriekzaak de geldmiddelen en de hulp vond, die hij tot de uitvoering zijner vindingen behoefde.

De fabriek te Soho was inderdaad toen reeds zeer uitgebreid en behoorde tot de grootste van Engeland, ofschoon zij toen nog niet te vergelijken was bij hetgeen zij tegenwoordig is. En thans zelfs nog, nu men in alle beschaafde landen fabrieken van stoommachines vindt, is die te Soho altijd overladen met bestellingen.

Met den eigenaar van deze fabrieken, die, ofschoon zij eerst bij het gebruik van hare eigene stoomwerktuigen zoo uitgebreid werden, echter ook toen reeds zeer aanzienlijk waren, sloot WATT eene nieuwe overeenkomst. Zijn octrooi, dat bijna verlopen was, werd voor den tijd van 17 jaren verlengd. De uitvinder wijdde zich thans uitsluitend aan de volmaking van zijne werktuigen tot in de kleinste bijzonderheden, en de eerste uitkomst van zijne bemoeiingen was het verbeterde zoogenaamde enkelwerkende stoomwerktuig, waarbij de stoom den zuiger slechts in ééne richting, b. v. naar boven, beweegt, terwijl de drukking van den dampkring de terugwaartsche beweging bewerkt.



IJzerfabriek te Soho bij Birmingham.

Daar de eerste werktuigen hoofdzakelijk gebruikt werden om het water uit de mijnen op te pompen, had men ook, zooals ons reeds uit de beschrijving van het werktuig van Cornwallis bleek, de pompstang onmiddellijk aan de andere zijde van de balans tegenover de zuigerstang vastgemaakt. De beweging was bij deze inrichting zeer onregelmatig en onzeker, en WATT wilde allereerst deze ongelijkmatigheid in den gang wegnemen, die voornamelijk dan plaats greep, als de richting van de beweging der stangen veranderde. Dit gelukte hem volkomen, doordien hij het stoomwerktuig tegelijk met de pompen een groot, zwaar ijzeren rad, het zoogenaamde vliegwiel, liet rondvoeren, dat door zijn volhardingsvermogen de machine nog eenige oogenblikken aan den gang hield, ook dan wanneer de stoom ophield te werken, en zodoende het werktuig over de zoogenaamde doode punten bracht. Hierdoor werd de beweging van het stoomwerktuig veel regelmatiger en het schokken en stooten, dat voor zijn samenstel zoo nadeelig is, geheel vermeden.

Thans moest nog eene andere onregelmatigheid vermeden worden, die door de ongelijkmatige verwarming van den vuurhaard werd veroorzaakt. Het is on-

mogelijk den toevoer van den stoom door een gelijkmatig vuur zoo standvastig te doen blijven, dat de machine niet nu eens een weinig sneller, dan wat langzamer loopt. WATT zocht dit eerst te voorkomen door eene zoogenaamde smoorklep in de stoombuis aan te brengen, waarbij een wachter werd geplaatst die, op den gang van de machine lettende, den toevoer van den stoom tot den cilinder door het omdraaien der klep moest regelen.

Het bleek zeer spoedig, dat de minste onoplettendheid van den wachter de machine kon in de war brengen. WATT beproefde daarop de volgende inrichting, die zoo volkomen is, dat men haar zelfs bij sterrenkundige werktuigen, die een volkomen gelijkmatigen gang moeten hebben, heeft toegepast. De machine namelijk brengt eene rechtopstaande stang in eene ronddraaiende beweging; aan deze stang zijn twee armen bevestigd, die aan de uiteinden met metalen ballen zijn bezwaard en in scharnieren kunnen draaien, zoodat zij de bewegingen kunnen nabootsen van iemand, die zijn armen eerst tegen het lijf uitgestrekt houdt en daarna opheft totdat zij horizontaal zijn. Is de machine in rust, dan hangen de armen met de metalen ballen door hunne zwaarte tegen de stang aan; zoodra echter het werktuig in gang is, wijken de armen een weinig uit, dewijl de ronddraaiende beweging van de stang eene zoogenaamde middelpuntvliedende kracht doet ontstaan, die de ballen van de stang verwijdert. Hoe grooter de omwentelingssnelheid en dus ook de snelheid der machine is, des te grooter wordt die middelpuntvliedende kracht en des te verder steekt de toestel zijne armen uit. Nu valt het niet moeielijk in te zien, hoe deze toestel, de zoogenaamde regulator of gouverneur, den toevoer van den stoom regelen kan. Verbeelden wij ons aan deze armen twee naar beneden hangende stangen door scharnieren bevestigd, deze stangen weder door scharnieren tot eene enkele stang verbonden, dan zal, als de toestel de armen uitstrekt, deze laatste stang worden opgetild, en nu kan men het gemakkelijk zoo inrichten, dat door deze eene klep in de stoombuis wordt toegedraaid. Loopt dan de machine te snel, dan wordt door het toedraaien der klep de toevoer van den stoom verminderd, de gang der machine wordt dan langzamer, de armen van den regulator zakken weder en de stoom kan ruimer toevloeien.

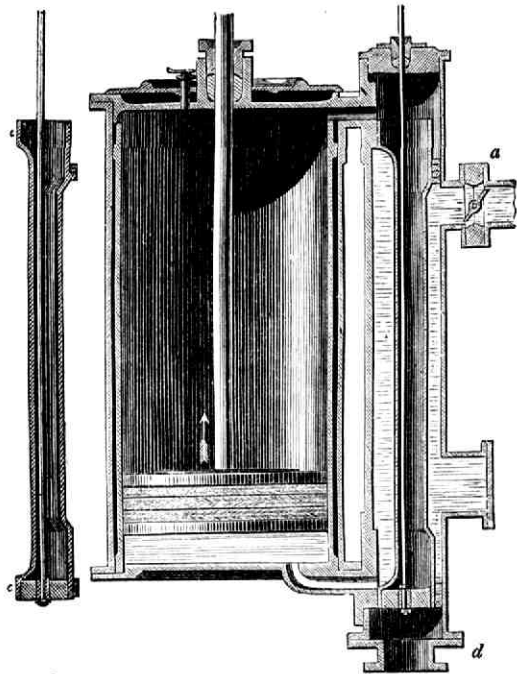
Spoedig daarna volmaakte WATT zijne uitvinding nog verder, doordien hij den stoom afwisselend op beide zijden van den zuiger liet werken, waardoor hij het zoogenaamde dubbelwerkende stoomwerktuig verkreeg. Deze uitvinding van WATT is bijna het volkomenste werktuig dat men zich voorstellen kan; later is er slechts weinig aan veranderd en het is het model gebleven waarnaar alle stoomwerktuigen vervaardigd zijn.

De afzonderlijke deelen, die op zich zelve even zoo vele afzonderlijke uitvindingen zijn, verraden eene scherpzinnigheid, die het hoogste denkbeeld moet geven van het verstand van den vinder. Hetgeen deze dubbelwerkende stoommachine allereerst mogelijk maakte, was de inrichting, waardoor de stoom afwisselend boven en onder den zuiger wordt toegelaten en die door de machine zelve wordt bestuurd. Wij zullen deze inrichting, die den naam van stoomschuifkast draagt en door de figuren op de volgende bladzijden wordt aangeduid, kortelijk beschrijven.

De stoomschuifkast is naast den stoomcilinder geplaatst en staat daarmede in verband door twee kanalen, waarvan het eene den stoom de gelegenheid geeft in de ruimte boven, het andere in de ruimte onder den zuiger des cilinders zich te verspreiden. In deze kast beweegt zich de stoomschuif, in de eerste figuur afzonderlijk voorgesteld, op en neer door middel van eene stang, die aan de schuif bevestigd is en door het deksel van de kast heengaat. De schijf zelve is een koker die

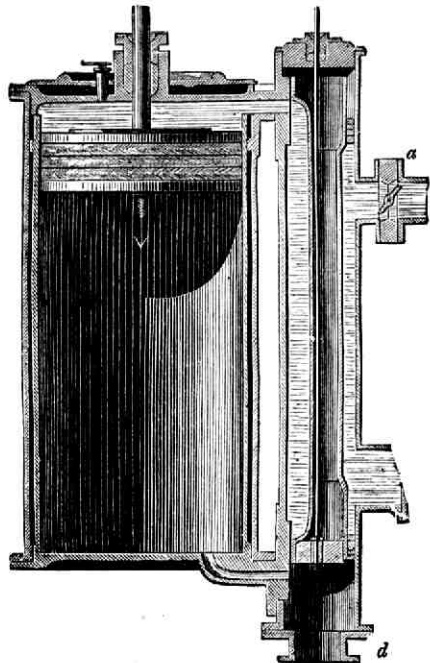
boven en beneden eenigszins breeder is en daar juist in de kast past, zoodat

deze daardoor in twee ruimten is gescheiden, te weten: de ruimte die zich tusschen de buiten-oppervlakte van de schuif en den binnenwand der kast bevindt en door de bredere boven- en ondereinden der schuif wordt afgesloten, en de twee vakken die nog boven en beneden de schuif overblijven en door den hollen koker van de schuif met elkander in verband staan. De buis *a* staat in verband met den stoomketel, de buis *d* met den condensator, waar de stoom tot water wordt verdikt en eene luchtledige ruimte gevormd. Is de schuifkast in den stand zooals hiernevens is voorgesteld, d. i. in haren laagsten stand, dan zal de stoom, die altijd zich in de ruimte tusschen de schuif en wanden der kast bevindt, gelegenheid hebben om door het onderste kanaal in den cilinder te stroomen, dewijl de



onderste afsluiting van de schuif beneden van de schuif bevindt zich onder het bovenste kanaal, maar daardoor zal dit met de buis *d* en dus met den condensator in gemeenschap staan. Zodoende zal de stoom onder den zuiger drukken en, daar de ruimte boven den zuiger luchtledig is, te meer werking doen, nu hij geen tegendrukking te overwinnen heeft. In nevensstaande fig. is de schuif juist boven gekomen en wordt nu de stoom boven den zuiger in den cilinder gebracht, terwijl de ruimte beneden den zuiger door de benedenste ruimte der schuifkast en de pijp *d* met den condensator in verband staat.

die opening is. Ook het bovenste einde

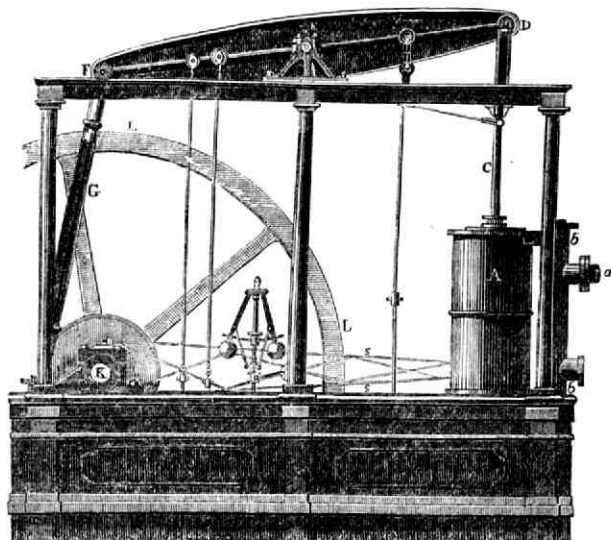


In de fig. bladz. 110 zien wij het stoomwerktuig van WATT voor ons. Onze lezers herkennen aanstonds weder de schuifkast *a b* en den cilinder A. De zuigerstang C werkt op de balans D, aan welker andere uiteinde F de drijf- of krukstang G is bevestigd, die aan de as K en het groote vliegwiel L L eene ronddraaiende beweging geeft. Met deze as staan de werktuigen die door de stoommachine moeten worden bewogen in verband. Aan de balans ziet men nog drie stangen bevestigd, die alle



met pompen in verband staan. Een der pompen dient om de overgeblevene lucht en het warme water uit den condensator te pompen; eene andere, de voedingspomp, brengt het warme water uit den condensator in den stoomketel, en de derde pompt koud water uit de wel in een vergaarbak, waaruit het in den condensator spuit. Men herkent voorts nog den regulator, dien wij straks kortelijk beschreven, aan de beide met metalen ballen bezwaarde armen.

Het excentriek. Op de as van het voorwiel is nog een bijzondere toestel, het zoogenaamde excentriek, bevestigd, dat uit eene schijf bestaat, welker middel-



punt echter buiten het midden van de as ligt, en die alzoo door de as wordt in de rondte bewogen. Om deze schijf is een ring gelegd, die weder aan een samenstel van ijzeren stangen *ss* is bevestigd. (Zie onderstaande figuur.) Deze geheele toestel is bevestigd aan een tuimelaar *U*. Wanneer nu de schijf op de as den meest linkschen stand heeft aangenomen, zal door de excentriekstang de tuimelaar naar voren getrokken zijn; is daarentegen, door eene halve omwenteling van

de as, de schijf in haren meest rechtschen stand gekomen, die door gestippelde lijnen is aangewezen, dan is de tuimelaar naar achteren geschoven. De arm van den tuimelaar staat in verbinding met de stang van de schuifkast, die de schuif op en neder beweegt.

De beschreven vorm van het excentriek is de eenvoudigste; het spreekt echter van zelf, dat men aan de schijf ook eene andere gedaante kan geven, ten gevolge waarvan gedurende eenen omloop naar willekeur versnelling, vertraging en stilstand plaats kunnen hebben. De cirkelvorm heeft inderdaad dit tegen zich, dat de schuifstangen zich te langzaam sluiten, zoodat inmiddels kracht verloren gaat.



Indien men dus, zooals dikwijls plaats vindt, het excentriek driekantig maakt met afgeronde hoeken en het in een vierkantig sluitstuk laat draaien, vindt het opgegeven ongerief geen plaats. Ingeval de machine met uitzettend vermogen (expansie) moet werken, moet men den vorm van het excentriek daarnaar inrichten, dewijl klaarblijkelijk hiervan afhangt hoe de schuifstang loopt, terwijl dit wederom invloed heeft op de vervroeging of verlaten van de afkoeling. Het uitzettings-excentriek draait tusschen twee aan de stangen aangebrachte wrijffrollen en heeft eene onregelmatige gedaante, afhangende van de verschillende af-

koelingswijzen. Door middel daarvan erlangt de stang vier afzonderlijke, door korten stilstand afgewisselde werkingen, twee in de eene en twee in de andere richting. De eerste stoot sluit den stoom af, terwijl het afvoerkanaal nog wordt opengelaten, terwijl de tweede de omwenteling teweegbrengt en den stoom aan de andere zijde laat indringen.

Deze stoom-afsluitschuiwen ondergaan eene persing op hare baan, die van de stoomspanning in de schuifkast afhangt en een verlies van kracht veroorzaakt. Dit ongerief wordt voorgekomen door de zoogenoemde ontlastende schuiven, die hol zijn en als eene soort van dubbele schuifkasten kunnen worden aangemerkt, door welke de stoom indiervoegen in- en uittreedt, dat de werking aan wederzijden plaats heeft. Er is dan geen aanzienlijk vermogen meer noodig om den loop van den stoom te veranderen.

Meer samengesteld zijn die, mede veel gebezigde, inrichtingen, bij welke twee stangen in werking zijn, waarvan de eene eene beweging heeft, verschillende van die der andere. De eene namelijk veroorzaakt alleen het inlaten van stoom aan de boven- en aan de benedenzijde, terwijl de andere het afvoeren van den afgewerkten stoom regelt. Men heeft ook nog vele andere inrichtingen gemaakt om den toevoer van stoom uit den ketel, zelfs gedurende den gang van het werktuig, te verminderen of te vermeerderen, 't zij door het draaien eener kruk met de hand of met behulp van meer samengestelde regulators.

Door al deze verbeteringen werd de stoommachine een werktuig, dat bij zijne verbazende krachtsontwikkeling zich met de regelmatigheid van een uurwerk bevoog en met het grootste gemak kon bestuurd worden. Geen wonder derhalve dat het alras zijne heerschappij in het fabriekwezen begon uit te oefenen en hoe langer hoe meer werd gebruikt.

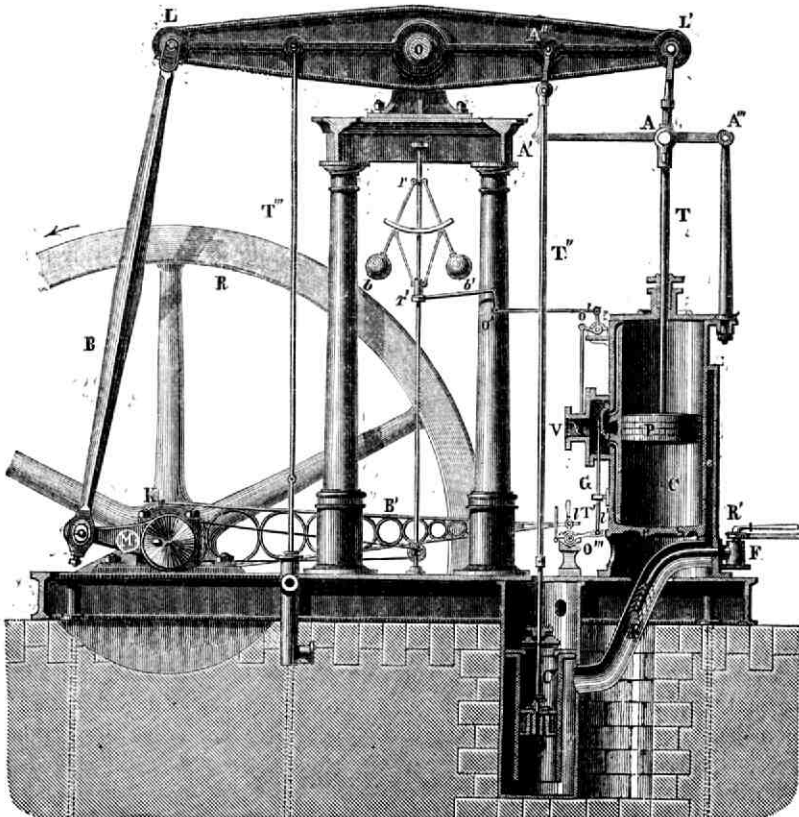
Toen het octrooi van WATT en BOUTON verlopen was, in het jaar 1800, ging WATT uit de compagnieschap en sleet de overige jaren van zijn leven op zijn buitengoed Heathfield bij Birmingham, zich aan zijne lievelingsstudie wijdende en den rustigen ouderdom genietende, dien hij zoo wel verdiend had. In het jaar 1819 stierf hij, in den ouderdom van 83 jaren. Hij had wel is waar zijn tijd van beproevingen gehad, die bijna nooit aan een uitvinder gespaard bleef, maar toch ook het zeldzame geluk gesmaakt, dat hij de onberekenbare weldaden zijner uitvinding met eigen oogen mocht aanschouwen. Zijn uit steen gehouwen beeld, door den beeldhouwer CHANTREY vervaardigd, dat in de Westminster-abdij zijn graf versiert, draagt getuigenis hoezeer zijne landgenooten zijne nagedachtenis vereerden.

Na dien tijd hebben de stoomwerktuigen zoo velerlei veranderingen ondergaan, dat wij daarvan slechts enkele bijzonderheden willen vermelden.

Indien men echter met de boven beschrevene en op bladz 110 afgebeelde oude stoommachine van WATT de tegenwoordige vergelijkt, gelijk zij op bladz. 112 afgebeeld is, dan vinden wij wel het een en ander dat netter is van vorm of eenvoudiger van samenstelling, maar in den grond genoegzaam geene wezenlijk nieuwe uitvinding.

Men begreep spoedig dat de stoom, die bij hoogere temperatuur ook eene grootere veerkracht bezit, ook sterkere werking moest kunnen voortbrengen. Bij de werktuigen die tot dien tijd in gebruik waren, werkte de stoom slechts met de kracht van 1 kilo op den vierk. centim. van de zuigeroppervlakte, en ofschoon men een enkelen keer wel eens eene hoogere drukking gebruikte, zoo moest men toch altijd om sterke werking te verkrijgen zeer wijde cilinders of meer dan één stoomwerktuig bezigen. Door eene sterkere verhitting en steviger ketels kan men eene sterkere stoomspanning verkrijgen, die met een vermogen van 2, 3, 4

enz. kilo op den centim. drukt, en die dus stoom van 2, 3, 4 enz. atmosferen levert. De werktuigen bij welke stoom van zoo hooge spanning wordt gebruikt, heeten werktuigen van hooge drukking; zij kunnen met kleinere cilinders even groote uitwerking doen. Naar de spanning van den stoom worden zij werktuigen van 2, 3, 4 enz. atmosferen genoemd. ARTHUR WOOLF bevond echter spoedig (1804) dat de stoom van hooge drukking, na eens gewerkt te hebben, nog niet afgewerkt was, maar zich dan nog kon uitzetten en in plaats van te voren bijv. met 3 tot 4 atmosferen, daarna nog met 1—2 atmosferen spanning werken kan. Hij

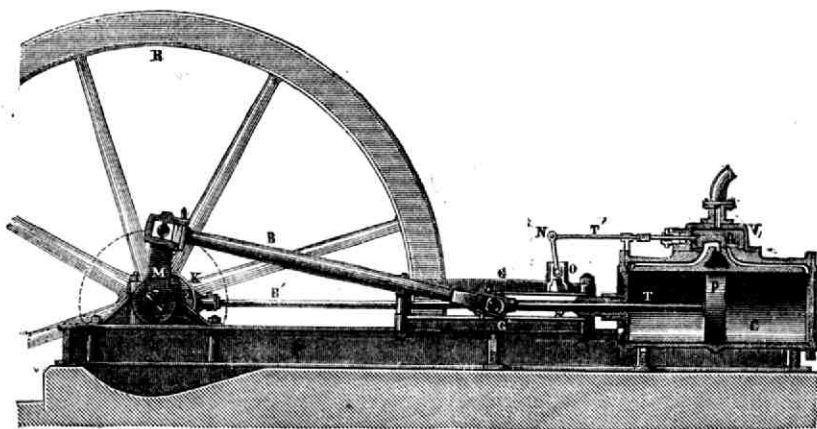


C stoomcilinder. — P stoomzuiger. — T zuigerstang. — LL' balans. — B krukstang. — M zwenkel. — R vliegwiel dat de beweging van de machine regelt. — K ring van het excentrick. — B' stang van het excentrick die in verbinding staat met den hefboom H' en de schuif in beweging brengt. — T'' stang van de luchtpomp. — T''' stang van de aanvoerpomp. — e bekleedsel van de pomp. — C' koelvat dat het water ontvangt als het uit de buis F komt. — A A' A'' A''' parallelogram waaraan de stang van den zuiger verbonden is en die deze stang noodzaaklijk zich verticaal te bewegen. — A' A'' hefboom achter het parallelogram en verbonden aan het vaste punt A'' en aan den hoek A'. — rδδ'r regulator, waarvan de ballen stijgen naarmate de machine een sneller beweging aanneemt. — V valklep die zich gedeeltelijk sluit, wanneer door de stijging der ballen het punt r zich langs de geheele stang rr' verheft.

plaatste derhalve naast den kleinen cilinder van de machine met hooge drukking nog een grooten cilinder voor lage drukking en leidde den stoom, die boven den zuiger van den eersten had afgewerkt, onder den zuiger van den tweeden en omgekeerd, waar de stoom zich dan uitzette en ten tweeden male werkte, voordat hij in den condensator werd verdikt. Dezen cilinder van lage drukking, ook wel

expansie-cilinder genaamd, omgaf hij met een ijzeren mantel, waarin stoom werd geleid, opdat de koude lucht van buiten den stoom niet reeds hierin verdikte.

Het was echter, zooals men later inzag, nog eenvoudiger de uitzetting reeds in den eersten cilinder te doen plaats grijpen, en den expansie-cilinder met al zijn toebehooren weg te laten. Dit verkrijgt men bij de tegenwoordig zeer in gebruik zijnde expansie-werktuigen doordien men den toevoer van den stoom niet openlaat gedurende de geheele opwaartsche beweging van den zuiger, maar dien reeds afsluit wanneer de zuiger nog een derde of de helft van zijn weg moet afleggen, terwijl men het nu verder aan den afgesloten stoom overlaat door zijne uitzetting den zuiger verder voort te stuwen. Dit zijn nu werktuigen met standvastige expansie, die steeds dezelfde werking volbrengen. Daar het echter ook gebeuren kan, dat men niet altijd dezelfde kracht behoeft, bijv. in eene fabriek waarin het aantal in beweging zijnde werktuigen veranderlijk is, zoo vond men eene machine uit met veranderlijke expansie, waarin de afsluiting van den stoom naar welgevallen oogenblikkelijk bij elken stand van den zuiger kan geschieden, zoodat men het verbruik van den stoom regelen kan. De besparing van brandstof die men daardoor verkrijgt, is nauwelijks te berekenen. In den laatsten tijd heeft men zelf-inrichtingen vervaardigd, waardoor de machine zelve, al naar mate zij meer of minder werk te verrichten heeft, hare expansie regelt, zoodat



bijv. op het oogenblik dat in eene spinnerij eene spinmachine wordt losgemaakt om stil te staan, aanstonds minder stoom gebruikt wordt, en wanneer zij weder in beweging komt, ook meer stoom wordt toegelaten.

De benaming stoomwerktuig van hooge drukking duidt niet alleen aan, dat het werktuig met stoom van meer dan ééne atmosfeer werkt, maar ook dat er geen condensator aan is. Het samenstel van zulk eene machine is dus nog eenvoudiger dan wij tot nu toe leerden kennen, daar alles wegvalt wat noodig is om den stoom in een afzonderlijken toestel te verdikken en dezen steeds van koud water te voorzien. Zulk eene vereenvoudiging was vooral bij de locomotief noodig, die slechts eene kleine ruimte voor de machine heeft. Bij vaststaande machines daarentegen is het de vraag of de condensator al dan niet moet gebruikt worden, en de samenstelling van het gebouw, waarin de machine geplaatst wordt, kan dikwijls nopen om het voordeel van herwinning der in den stoom schuilende latente warmte op te geven en machines te vervaardigen, gelijk de hierboven afgebeelde, in welke men ziet: C stoomcilinder, P zuiger, T zuigerstang.

Daar de stoom dus bij het uitstroomen de drukking van den dampkring moet

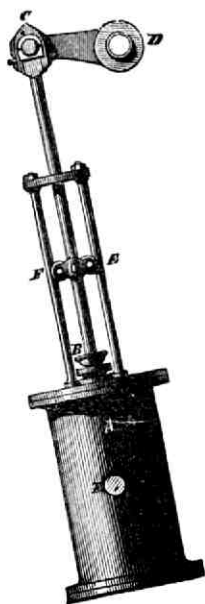
overwinnen, zoo werkt hij slechts door de overmaat van drukking die hij heeft boven die des dampkrings, zoodat de stoom van 4 atmosferen slechts met een vermogen van 3 atmosferen werkt. Bij werktuigen met condensator wordt de tegendrukking van den dampkring grootendeels weggenomen, doordien in den condensator een meer of minder volmaakt luchtledig ontstaat.

De schuifstang. Twee belangrijke bestanddeelen van de machine, de regulator en het excentriek, zijn reeds boven vermeld; onder hetgeen nog overschiet verdient die toestel de eerste plaats, welke bestemd is om den stoom naar en uit den cilinder te leiden. In den eersten tijd bediende men zich van kleppen en kranen, totdat men eindelijk algemeen tot de thans gebruikelijke schuifkleppen overging. Zulk een toestel is eene kromme of rechte staaf, die voor de beide naar den cilinder loopende stoomwegen heen en weder schuift. Door elken gang wordt de eene geopend en de andere gesloten en aldus de afwisseling zeer eenvoudig gemaakt. De schuifstang wordt door eene andere stang bewogen, die stoomdicht in den stoomketel uitkomt en buiten hare heen- en weder-beweging van de machine zelve ontvangt. De stoom komt door eene buis uit den ketel in de zoogenoemde schuifkast en de verbruikte ontwijkt door eene kleine buis. De linksche stand is die, bij welken de zuiger in den cilinder omlaag staat. Dan zijn de stoomwegen open; daarna komt nieuwe stoom onder den zuiger en drijft hem opwaarts; die welke verbruikt is en zich boven den zuiger bevindt daalt. In het andere geval is alles omgekeerd en de zuiger wordt door den boven den zuiger instroomenden stoom verder naar beneden gedreven. In deze beide standen staat de schuifstang een oogenblik stil. Over het midden tusschen die beiden echter moet de stang zoo snel mogelijk heenglijden; want bleef zij halverwege staan, dan waren de beide stoomwegen benevens de afvoerbuis tegelijk gesloten en de beweging van den zuiger zou moeten ophouden. Doch hier komt het vliegwiel te hulp. Indien men zich toch den rug der schuifstang zooveel verlengd denkt, dat de beide schuifplaten zooveel verder van elkander staan als de breedte van een stoomgat bedraagt, dan worden niet slechts twee, maar vier verschillende standen op den heen- en terugweg mogelijk. Die expansie-schuivers onderscheiden zich van de gewone,

hier beschrevene, alleen door de grootte der beide schuifplaten, die toeneemt met het afnemen van den tijd, gedurende welken de stoom vrij onder den zuiger instroomen moet.

Ten einde te maken, dat de zuigerstang op de balans kan werken behoudens haar recht op- en nederloopen, dient de zoogenaamde schommelende of oscilleerende machine, die vooral daar nuttig is, waar men slechts over weinig ruimte beschikken kan, zooals op stoombooten. Bij deze inrichting hangt de rechtopstaande cilinder in het midden op twee sterke tappen, waardoor tevens de stoomgeleidingen gaan, en terwijl de stoom in den cilinder aan de zuigerstang eene open nedergaande beweging geeft, is deze wel genoodzaakt, zich met de kruk te bewegen en den cilinder heen en weer te schommelen.

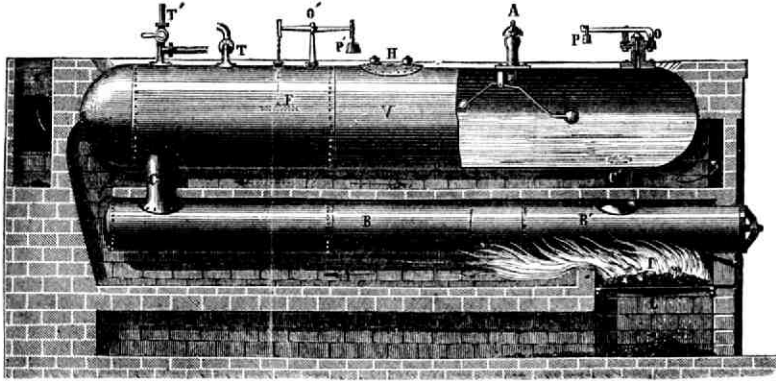
De stoomketel is een zeer belangrijk gedeelte der stoommachine, en WATT wijdde ook hieraan zijne aandacht. Hij begreep dat bij alle bezuinigingen, die een gelukkig samenstel van vernuftig uitgedachte werktuigdeelen opleverde nog dit voorname doel bereikt moest worden: goedkoop stoom voort te brengen. Hij





verbeterde inderdaad de inrichting der stoomketels zeer aanmerkelijk; heden ten dage echter is men van het model van den stoomketel van WATT afgeweken en bezigt meestal andere ketels met zogenaamde voorwarmers of bouilleurs.

Stoomketels met voorwarmers. Deze stoomketels zijn gewoonlijk van plaatijzer (zie de beide onderstaande figg.) en bestaan uit drie cilinders; de eerste V, de grootste, is de eigenlijke stoomketel; de beide andere zijn de voorwarmers, die onder den ketel geplaatst en daarmede door vrij korte buizen C C' verbonden

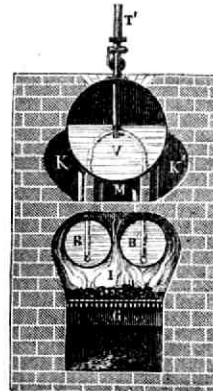


zijn. Het geheel is in een vuurhaard geplaatst, waarvan G de rooster is. Drie tusschenschotten verdeelen den haard over zijne geheele lengte; het eerste, dat een horizontalen wand boven de kleine cilinders vormt, verdeelt den haard in twee verdiepingen; de twee andere, die verticale wanden vormen, loopen langs den onderkant van den grooten stoomketel en verdeelen de bovenste verdieping in drie gangen, M, K en K'. De vlam en de rook van het vuur doorloopen eerst de geheele lengte van de onderste verdieping en gaan alzoo om de kleine ketels heen; aan het einde van den haard vindt de rook eene opening, waardoor hij in den binnensten gang M geraakt, die van achteren naar voren wordt doorloopen; de rook strijkt dan onder den stoomketel langs; aan het einde van dezen gang geraakt hij in de beide gangen K en K', waar hij andermaal van voren naar achteren en langs de zijwanden van den ketel de geheele lengte van den haard heeft te doorloopen, eer hij in den schoorsteen kan ontsnappen. Aldus blijft de rook geruimen tijd met de metalen wanden van den ketel in aanraking en treedt hij niet in den dampkring, dan na alvorens eene aanzienlijke hoeveelheid warmte te hebben afgestaan.

De manometer is reeds boven, bladz. 97, behandeld.

Een woord nog over de veiligheidskleppen.

Aan alle stoomketels heeft men inrichtingen aangebracht, welke door voorzichtigheid en de zorg voor de meeste veiligheid worden voorgeschreven. Vooreerst moet er aan den ketel een toestel zijn, die aanduidt hoeveel water er nog in is. De inrichting daarvan is zeer verschillend en bestaat of uit eene stevige glazen buis die buiten den ketel geplaatst is en met het boven- en benedeneinde in verband staat met de binnenruimte des ketels, of uit een drijver, dat is een lichaam dat op het water in den ketel drijft en de hoogte daarvan door den stand eener stang, die door den bovenwand des ketels gaat, aan-



geeft. Bij een lagen waterstand kunnen de wanden aan den ketel gloeiend worden en dan ontstaat er groot gevaar voor het springen van den ketel, vooral indien het water in den zoogenoemden spheroidaal-toestand komt, d. i. zich in blaasjes verdeelt, die eene geweldige uitbarsting kunnen teweegbrengen; doch wij kunnen daarvan hier ter plaatse geene nadere beschrijving geven.

Voorts kan de spanning van den stoom in den ketel zoo toenemen, dat de wanden van den ketel de drukking niet kunnen wederstaan, maar uiteengerukt worden, waarbij, zoodra er het minste scheurtje ontstaan is, de stoom zich met geweldige kracht een uitweg zou banen. Tegen dit gevaar heeft men verschillende beveiligingsmiddelen voorgeslagen. Men heeft aan de bovenzijde van den wand des ketels platen ingevoegd van bepaalde metaallegeringen, welker smeltpunt men nauwkeurig wist en die er dus eer moesten afspringen dan het ijzer uiteensprong. Doch in de practijk is dit niet zoo doelmatig bevonden als het schijnt te zijn, en het best voldoet nog de eenvoudige zoogenoemde kegelklep, die met een voldoende gewicht belast en daardoor in eene eng sluitende opening geperst wordt; immers men heeft het hier volkomen in zijne macht, ieder oogenblik door het veranderen van den hefboom, op welken het gewicht werkt, de drukking te doen toe- of afnemen, waarom men er zich dan ook nagenoeg zonder uitzondering van bedient. 't Is waar, juist dat gemakkelijke van vermeederen of verminderen der belasting heeft men als eene bedenking ingebracht. Het deugt niet, heeft men gezegd, dat men menschenlevens in gevaar kan brengen door de veiligheidskleppen aldus bloot te geven aan onkunde en roekeloosheid. Maar spreekt men het banvonniss uit over messen, hoewel men er iemand mede dooden kan? Overigens neemt eene veiligheidsklep alle gevaren niet weg, die een stoomketel zouden kunnen bedreigen. De ketels kunnen springen door het barsten van de afzetsellaag, die zich in den ketel vormt, waardoor de gloeiende bodem van den ketel met het toestroomende water in aanraking komt en de stoom zich zoo snel en geweldig ontwikkelt, dat de wanden van den ketel de drukking niet kunnen wederstaan. En zoo blijkt het, dat waar de mensch zulke geweldige krachten aan zich cijnbaar maakt, de uiterste voorzichtigheid, de kalmste bedaardheid en de nauwgezetste voorzichtigheid tegenover alle omstandigheden noodig zijn.

---

De machines ter vervanging van de door den stoom bewogene. De verbazende omwenteling, door het bezigen van de spanning des stooms tot beweegkracht in alle takken van het maatschappelijke leven veroorzaakt, heeft haren grond gedeeltelijk, als wij ons zoo mogen uitdrukken, in de samenpersing der kracht, waardoor ineens een arbeid mogelijk is gemaakt, die vroeger slechts bij gedeelten en in lang tijdsverloop kon plaats hebben. Doch gelijk geen menschelijk werk volmaakt is, zoo laat ook nog de stoommachine te wenschen over. En dat voornamelijk wegens het teloorgaan van kracht, door het verlies van warmtestof. Als de stoom de goedkoopste beweegkracht is, dan is zij het in weerwil dat de beste stoommachines weinig meer dan  $\frac{1}{5}$  der door de verbruikte brandstof geleverde warmte tot beweegkracht gebruiken; de overige  $\frac{4}{5}$  ontwijken ten deele met den waterdamp die ontsnapt, ten deele met de verhitte lucht door den schoorsteen, ten deele door uitstraling van warmte. Hoe kleiner men de stoommachines maakte, des te meer bleek dat teloorgaan van een groot deel der kracht; de kosten verminderen niet in verhouding tot de geringer werking; sommige inrichtingen, het personeel enz. blijven voor elke stoommachine, zij moge groot of klein

zijn, even noodzakelijk, zoodat de werking van kleine machines in hoogst ongunstige evenredigheid duurder wordt. Bovendien is het plaatsen van elke stoommachine nog onderworpen aan politie-maatregelen, zoo wegens het vuur als de mogelijke ontploffing, waardoor haar gebruik in volkrijke steden almede bemoeielijkt wordt.

Niettemin hebben vele bedrijven behoefte aan eene machine, die wel niet boven de krachten van eenige weinige menschen hoeft te stijgen, maar die goedkooper dan handenarbeid werkt, die voorts eene kleine ruimte inneemt, geen uitgebreiden stooktoestel noodig heeft, zoodat hare werking tot eene moeielijk te veranderen plaats beperkt is, en die eindelijk zonder veel voorafgaanden omslag in korten tijd aan den gang kan geholpen worden, maar ook even spoedig kan worden stilgehouden, als men haar niet meer noodig heeft. Overigens spreekt het van zelf, dat de allereerste voorwaarde tot algemeene verspreiding van zulke machines daarin bestaat, dat zij zoo weinig mogelijk kosten van aankoop en plaatsing.

Een geruimen tijd lang hoopte men in het electro-magnetisme eene beweegkracht gevonden te hebben; maar, gelijk wij vroeger zagen, die hoop werd niet verwezenlijkt. Geen geringer krachtverlies is te verwachten dan bij het onmiddellijk bezigen van het uitzettend vermogen der warmte, en de stoommachine zou ongetwijfeld in den hoogsten rang zijn gebleven, indien zij niet het krachttuioefenend vermogen — den stoom — eerst nog moest voortbrengen. De groote hoeveelheid warmte echter, die in den stoom als latente warmte mede verloren gaat, deed het denkbeeld ontstaan den stoom te vervangen door eene andere gasvormige zelfstandigheid, welke door de warmte wordt uitgezet, en er de spankracht van als drijfkracht te gebruiken, en wel eene zelfstandigheid, die overal in luchtvormigen toestand voorkomt.

Dit vruchtbare denkbeeld ligt zoowel ten grondslag bij de zoogenoemde calorische machine van ERICKSON, als bij de knalgasmachine van LENOIR. In beiden is het de dampkringslucht, die door de warmte wordt uitgezet en ten gevolge der daardoor veroorzaakte spanning het op- en nedergaan van een zuiger in een cilinder veroorzaakt; beide machines dragen derhalve hunne namen ten onrechte. Immers is elke stoommachine eene „calorische”, die van LENOIR evenzeer als die van ERICKSON, ja elke machine, in welke de warmtestof onmiddellijk in beweegkracht wordt veranderd; voorts is de machine van LENOIR in den grond ook geene knalgasmachine, daar het gas dat er in verbrand wordt, geen knalgas is. Beide machines kunnen den naam dragen van heete-luchtmachines, of enkel luchtmachines, welke laatste naam ten onrechte aan die van ERICKSON in onderscheiding van die van LENOIR gegeven is.

Inderdaad verschillen zij hoofdzakelijk slechts in de wijze van verhitting; bij de eene bekomt men de warmte door het verbranden van steenkolen buiten den cilinder, bij de andere door het verbranden van een brandbaar gas binnen den cilinder. Het onderscheid tusschen beider practische uitvoering is dientengevolge zoo groot, dat elke machine eene afzonderlijke uitvinding is.

De gasmachine van LENOIR. Als men 8 deelen (gewicht) waterstof en 1 deel zuurstof of 2 deelen (maat) waterstof en 1 deel zuurstof met elkander vermengt, heeft men knalgas, aldus genoemd naar zijne eigenschap om bij het naderen eener vlam met een sterken knal te ontploffen.

De beide lichamen verbinden zich daarbij met elkander plotseling en opeens onder groote ontwikkeling van hitte; en ten gevolge dier vereeniging ontstaat er water, hetwelk in dampvormigen toestand wegens de daarbij plaats hebbende belangrijke verhooging van temperatuur eene veel grootere ruimte inneemt dan

de gassen vroeger bevatten. Door de plotselinge uitzetting wordt eene groote drukking teweeggebracht, die, ingeval de ontploffing in een gesloten vat plaats heeft, het met geweld verbrijzelt.

Gelijk men de werking van het buskruit, waarmede de ontploffing van knalgas 't best kan vergeleken worden, voor mechanische krachtsontwikkeling heeft getracht te bezigen, zoo kwam men ook al spoedig op het denkbeeld om machines te vervaardigen, door welke de bij de ontploffing van knalgas ontstaande kracht volgens de eischen der werktuigkunde kan worden gebruikt. Intusschen had geene op dit gebied genomen proeve eenigen gunstigen uitslag, voornamelijk uithoofde men knalgas in geheel of bijna geheel zuiveren toestand nam, en dit te oogenblikkelijk ontplofte, terwijl het door het geweldige ontstaan der kracht den na-deeligsten invloed op de duurzaamheid der machine uitoefende. De vraag was dus eerst, hoe de werking te vertragen, ten einde een bedaard loopen van den zuiger mogelijk te maken.

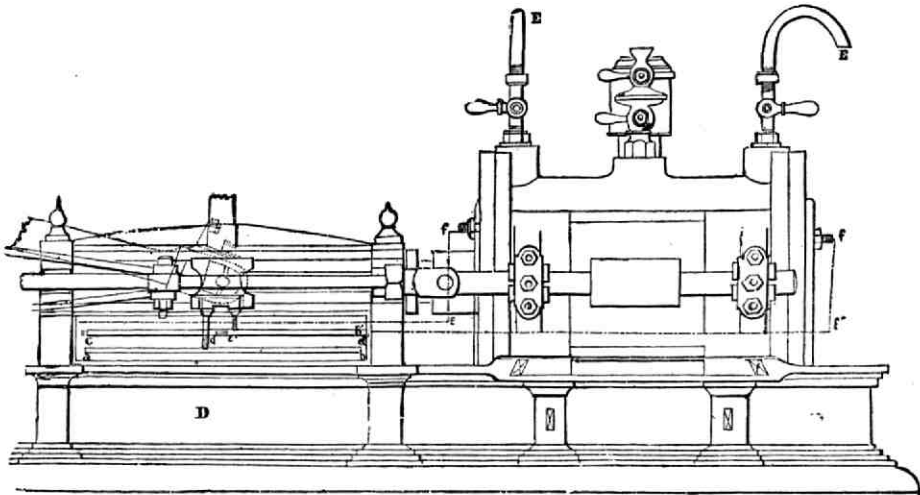
Aan LENOIR te Parijs is het gelukt, de bezwaren te overwinnen door onder den zuiger geen zuiver knalgas alleen te brengen, maar veelmeer een mengsel van dampkringslucht met eene zekere hoeveelheid lichtgas. Dit laatste is koolwaterstof; als het in de verhouding van omtrent 3 tegen 1 met zuurstof vermengd wordt, ontploft het, gelijk door tal van gasontploffingen bewezen is, met groot geweld. LENOIR bevond echter dat voor de machine een mengsel van 95—98 deelen dampkringslucht en 5—9 deelen lichtgas het best voldeed. Onder den zuiger der machine van LENOIR volgt dan namelijk geene ontploffing in den zin als bij een mengsel van zuurstof en waterstof, waardoor de gassen eerst verband worden uitgezet, maar terstond daarna door de plaats hebbende verdikking tot bijna verdwijnsens ineengeperst worden. Hij bediende zich van eene plotselinge verbranding van het lichtgas in lucht. De warmte, die daarbij ontstaat, veroorzaakt eene wel zeer snelle uitzetting van de gevormde verbrandingsproducten: water, stoom en koolzuur; maar daar zij tevens op de overschietende, insgelijks aangevoerde lucht moet overgaan, is hare werking toch geenszins zoo oogenblikkelijk, maar eene die slechts langzamerhand tot haar hoogste punt klimt, waardoor eene bedaarde beweging aan den zuiger wordt verzekerd.

LENOIR, aan wien deze verbeteringen van het beginsel gelukt zijn, was oorspronkelijk een werkmans in eene bronsfabriek; later hield hij zich bezig met de galvanoplastiek en stichtte met zekeren GAUTIER eene galvanoplastische inrichting onder den naam: Société générale de galvanoplastic. Deze onderneming kon echter in een stoffelijk opzicht niet gelukkig genoemd worden; het denkbeeld om het electro-magnetisme als beweegkracht te gebruiken, faalde evenzeer. De kostbaarheid dezer kracht moest hem weldra kenbaar worden als een onoverkomelijke hinderpaal; daarom beproefde hij in plaats van het electro-magnetisme de ontploffingskracht van het knalgas tot beweegkracht, en deze nasporingen brachten hem eindelijk op het gelukkig denkbeeld om lichtgas en dampkringslucht te zelfden einde te bezigen. LENOIR ging eene compagnieschap aan met den machine-fabrikant HIPPOLYTE MARINONI, met wien hij voor eenige jaren de practische oplossing van het vraagstuk vond. In Mei 1860 werd de eerste machine van LENOIR in de straat Rousselet in de werkplaats van zekeren LEVÈQUE opgesteld.

De nieuwe uitvinding vond al spoedig haren weg door de geheele beschaafde wereld. Voor Spanje, Brazilië en Havanna kocht zekere JOHAN POCY te Madrid de uitvinding voor 100,000 fr.; in bijna alle landen zijn verbeteringen aan de machine van LENOIR geotrooieerd; een bewijs, dat zij geen voorwerp van nieuwsgierigheid of wetenschappelijke belangstelling meer was, enkel geschikt om in

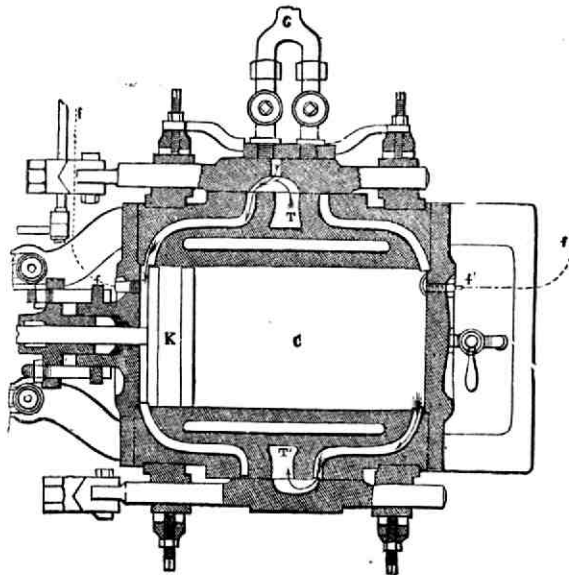
eene fabriek van natuurkundige voorwerpen en werktuigen geplaatst te worden, maar dat zij voldeed aan eene dringende behoefte.

De hier volgende afbeeldingen stellen de machine van LENOIR voor; de eerste op zijde, de tweede in horizontale, de derde op bladz. 120 in verticale dwars-



doorsnede. Reeds eene oppervlakkige beschouwing dier afbeeldingen doet ons als hoofdbestanddeelen terugvinden wat de stoommachine ons reeds leerde kennen:

een cilinder, in welken door de spankracht van eene zich uiteenzettende zelfstandigheid een zuiger loopt; een toestel die den zuiger terugdrijft; het bekende krukmechanisme, dat de op- en nedergaande beweging der zuigerstang in eene omwentelende verandert; een vlieg wiel tot het erlangen eener eenparige beweging. De horizontaal liggende cilinder C is van gegoten ijzer en daarin loopt de zuiger K (2<sup>de</sup> afb.) Deze staat door de zuigerstang in verband met de kruk, die de heen- en weder-beweging op het in de teekening weggelaten vlieg wiel overbrengt. Een excentriek beweegt de beide schuivers, die voorbij T en T' (2<sup>de</sup> en 3<sup>de</sup> afb.) schieten. De eene T dient om de door het opstijgen van den zuiger ingezogen dampkringslucht met het lichtgas te vermengen en in den cilinder te leiden; daartoe dient eene afzonderlijke inrichting, op welke wij later terugkomen; de andere schuiver T' regelt het ontwijken van den stoom en het koolzuur dat door de verbran-

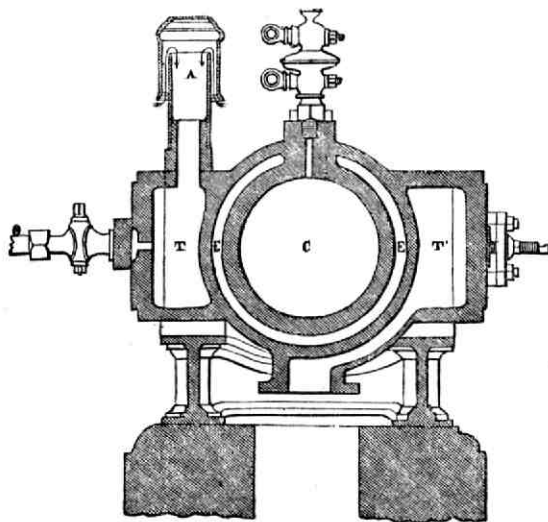


de eene T dient om de door het opstijgen van den zuiger ingezogen dampkringslucht met het lichtgas te vermengen en in den cilinder te leiden; daartoe dient eene afzonderlijke inrichting, op welke wij later terugkomen; de andere schuiver T' regelt het ontwijken van den stoom en het koolzuur dat door de verbran-



ding van het lichtgas ontstaan is, alsmede van de overgeschoten lucht die door hare uitzetting den zuiger deed opstijgen. De warmte in den cilinder is vrij aanmerkelijk; om dus de wanden af te koelen is de cilinder omgeven met een mantel, die eene ledige ruimte E E omsluit. In E E vloeit water uit een hooger liggenden vergaarbak, aan de eene zijde in, aan de andere zijde uit.

De buis, die het lichtgas aanvoert, eindigt in een gaffelvormig gedeelte, G (2<sup>de</sup> afb.). Aan ieder been bevindt zich eene kraan en door eene geta percha slang kan deze toestel gemakkelijk met eene gewone gasbuis in verband worden gebracht. Door de eene kraan wordt het gas boven, door de andere onder den cilinder geleid. Bij den in de 2<sup>de</sup> afb. voorgestelden stand van den schuiver komt het gas uit het linkerbeen, vereenigt zich in de holte T met dampkringslucht, die in de 3<sup>de</sup> afb. door A wordt aangeduid, en stroomt dan door het kanaal achter den zuiger. Heeft deze laatste nu eene genoegzame hoeveelheid gas opgezogen, dan worden de gasbuis en de luchtbuis beide afgesloten. Op hetzelfde oogenblik moet de electriche vonk overspringen, opdat niet eerst de zuiger on-



noodigen arbeid verricht door verdunning van het mengsel; doch anderdeels ook, opdat geen gedeelte van het zich uitzetende gas tijd en ruimte vinde om buiten den cilinder te ontsnappen eer het den zuiger heeft gedreven.

De andere, naar ons toe liggende schuiver blijft inmiddels onbeweeglijk en laat de verbrandings-overblijfselen die van de laatste ontploffing nog aanwezig zijn, ongehinderd gedurende den teruggang van den zuiger door het daarvoor bestemde kanaal ontwijken. Kort voordat de zuiger zijn gang volbracht heeft, wordt deze

schuiver omgezet, zoodat nu de beide andere kanalen met elkander in gemeenschap komen. Het verbrandings-overschot dat zich nu nog vóór den zuiger bevindt en door het omzetten van den schuiver verhinderd werd te ontsnappen, wordt door den zuiger ineengedrukt en werkt aldus als een elastiek kussen in het oogenblik der omzetting van den zuigergang. De andere over T loopende schuiver staat een oogenblik stil, zoodra het gaskanaal aan de linkerzijde afgesloten is, en komt weder in beweging zoodra de voor T' liggende schuiver geheel omgezet is en de zuiger, een nieuwen gang aanvangende, het doode punt verlaat, daar het nu het rechtsche gaskanaal met het been van de gasbuis in verbinding brengt.

De schuifkast vóór de gasleiding G is, gelijk wij reeds opmerkten, op eene eigenaardige wijze ingericht, waardoor eene volkomen vermenging van het lichtgas met de dampkringslucht teweeggebracht wordt. Zij heeft namelijk niet alleen ééne enkele opening, door welke de gemeenschap met de gasleiders plaats heeft, maar ook beweegt zich in plaats van deze vóór de gasbuizen eene soort van rechtehoekige geelkoperen plaat met holle wanden, door welke in de richting der dwarse as eenige rijen kleine buizen of kanaalachtige gleuven loopen, welke het gas in

de naar den cilinder voerende kanalen doen stroomen. De dampkringslucht wordt insgelijks door de holle schuifkast ingezogen, en wel door middel van kanalen, die, overlans in de schuifkast liggende, aan hare beide dwarszijden, rechts en links, uitkomen en op overeenkomstige wijze binnen in den cilinder haren anderen uitgang hebben.

Deze laatste hebben gemeenschap met de beide gasbuisjes van de schuifkast. De bovenvermelde kam bevindt zich in de beide deksels der schuifkast. Het gas wordt dus in fijne stralen door de buisjes, de lucht door middel der omloopen buiten de buisjes door de wanden van den cilinder in dezen geleid, zoodat de vermenging, die terstond bij het samenkomen van gas en lucht plaats heeft, geheel volkomen wordt. Dienvolgens veroorzaakt de vonk geene ongeregelde ontploffing, maar eene verbranding van het lichtgas in de dampkringslucht, die zich over de geheele massa eenparig verspreidt. Het aansteken geschiedt door eene elektrische vonk, die door een inductie-toestel veroorzaakt wordt. De eene pool der batterij, welke uit twee elementen van BUNSEN bestaat, staat in voortdurende gemeenschap met den cilinder. De andere pooldraad loopt geïsoleerd door den wand van den cilinder en staat met zijne spits van binnen boven en onder den zuiger tegenover het metaal van den cilinder, zoodat bij elke afsluiting door welke een inductie-stroom veroorzaakt wordt, deze in eene vonk overspringt en het gas ontsteekt. In de afbeeldingen bladz. 119 en 120 worden door de gestippelde lijnen ff' de draadgeleidingen, in de eerstgenoemde door a b c d de ontstekende toestel aangeduid. Door de beweging van den zuiger zelven wordt het afsluiten van den stoom indiervoege geregeld, dat de vonk telkens overspringt wanneer door het opstijgen van den zuiger de noodige hoeveelheid gas binnengestroomd is; nu ontstaat wel bij iedere afsluiting eene vonk aan beide zijden van den zuiger, welke vonk van de beide uiteinden van den draad op den cilinder overspringt, doch zij oefent hare werking enkel bij afwisseling boven en onder den zuiger uit, naargelang zich aan de eene of andere zijde door het openen der schuifkast ontplofbaar gas bevindt.

De gang der geheele machine is nu aldus. Eerst is het noodig, dat men de as van het vliegwiel om een strik draait, opdat aan de eene zijde van den zuiger, in de onderste afb. bladz. 119 aan de linker, gas en licht zich vermengen en achter den zuiger stroomen kunnen. De ingezogen gasmassa wordt, nadat de schuiver de aanvoeropening heeft gesloten, ontstoken, en van dat oogenblik af komt de machine in geregelden gang. De uitgangschuiver blijft tot nabij het uiteinde der zuigerstang open, opdat aan de rechterzijde van den zuiger lucht en later de ontplofte gasmassa zou kunnen ontwijken. Bij alle volgende gangen van den zuiger wordt het inzuigen van gas van zelf door de snelle beweging van het vliegwiel veroorzaakt. Het aan den gang brengen der machine alleen levert eene kleine moeielijkheid op.

Het kan voorts in geen deele geloofwaardig worden, dat de gang van den zuiger het eerste oogenblik met een schok gepaard gaat, die zich te meer laat merken naarmate er meer lichtgas is binnengestroomd, m. a. w. naarmate het mengsel gas en lucht nader aan de eigenschappen van het knalgas komt. Intuschen wordt dit nadeelige stooten reeds gedeeltelijk voorgekomen door het vliegwiel; men behoeft dat daarom niet, gelijk om vele redenen ongeraden is, buitengewoon groot te maken. Maar gedeeltelijk ook, gelijk reeds opgemerkt is, door de telkens tot verbranding komende hoeveelheid gas te verminderen. Daar men de machine snel kan laten loopen, werken beide omstandigheden elkander zeer voordelig in de hand. De snelheid van het vliegwiel kan op zeer eenvoudige

wijze door omdraaien van de gaskraan worden geregeld, waardoor men de onderlinge verhouding van lichtgas en dampkringslucht wijzigt.

MARINONI heeft den cilinder van twee kleppen voorzien, door welke er bij elke rijzing van den zuiger een fijne straal verwarmd water in valt; dat water verandert terstond in stoom, die de drukking van het uitgezette gas verhoogt, de spankracht verlengt, een gedeelte der warmte bindt en eindelijk met het vet de binnenzijde van den cilinder tot vermindering der wrijving smeert. De grootste machines van deze samenstelling meten 8 paardenkracht.

De berekeningen aangaande de kracht der machine van LENOIR kunnen, zooover zij van zuiver theoretische grondstellingen uitgaan, natuurlijk niet dienen tot beoordeeling der tot dusver vervaardigde toestellen. Een gedeelte der kracht gaat verloren door het verwarmen van den cilinder; een ander gedeelte verdwijnt in de drukking bij het eindigen van den gang der zuigers in het elastieke luchtkussen; ook komt de werking der spanning nog ten nadeele, dewijl de zuiger de in een zeer korten tijd ontstane kracht eerst in veel langer tijd opnemen kan. In één woord, deze machines hebben meer dan ééne schaduwzijde, die belet, recht te laten wedervaren aan hare aanbevelenswaardige eigenschappen.

Daarentegen werkt de machine van LENOIR stil, zonder veel rumoer; zij heeft niet, gelijk de stoommachine, een afzonderlijken stoker noodig, daar het genoeg is haar elk uur slechts ééns na te zien of alles wel behoorlijk gesmeerd is, en dit kan een kind zeer wel doen. De ruimte die voor de plaatsing noodig is, komt in geene vergelijking met die van eene stoommachine van evenveel kracht; vuurhaarden en allerlei andere toestellen vallen weg.

De zoogenaamde calorische machine van ERICKSON. Deze beweegkracht onderscheidt zich in zooverre wezenlijk van de machine van LENOIR, dat zij, evenals de stoommachines, uit een cilinder bestaat, in welken van buiten af eene zelfstandigheid met uitzettingsvermogen wordt geleid, die door eene warmte, ook van buiten den cilinder komende, gespannen wordt en daardoor den gang van den zuiger veroorzaakt.

De machine over welke wij spreken en welker inrichting op de volgende afbeeldingen is voorgesteld, is eene uitvinding van den Zweedschen kapitein ERICKSON, die daarmede een reeds vóór hem opgevat denkbeeld derwijze verwezenlijkte, dat zij uit een werktuigkundig oogpunt alle aanbeveling scheen te verdienen.

De eerste die zich met het gronddenkbeeld bezighield, was waarschijnlijk JOHN STIRLING te Glasgow. Deze bracht reeds ten jare 1827 eene luchtuitzettingsmachine in werking en ERICKSON kwam met de zijne eerst in 1833 voor den dag. Beide machines baarden aanvankelijk niet veel opzien, dewijl zij aan de rechtmatige eischen niet voldeden. Eenigen tijd na de genoemden, trachtte ook de ambtman PREHN te Plasseburg het vraagstuk op te lossen, maar oogenschijnlijk mede zonder naar wensch te slagen.

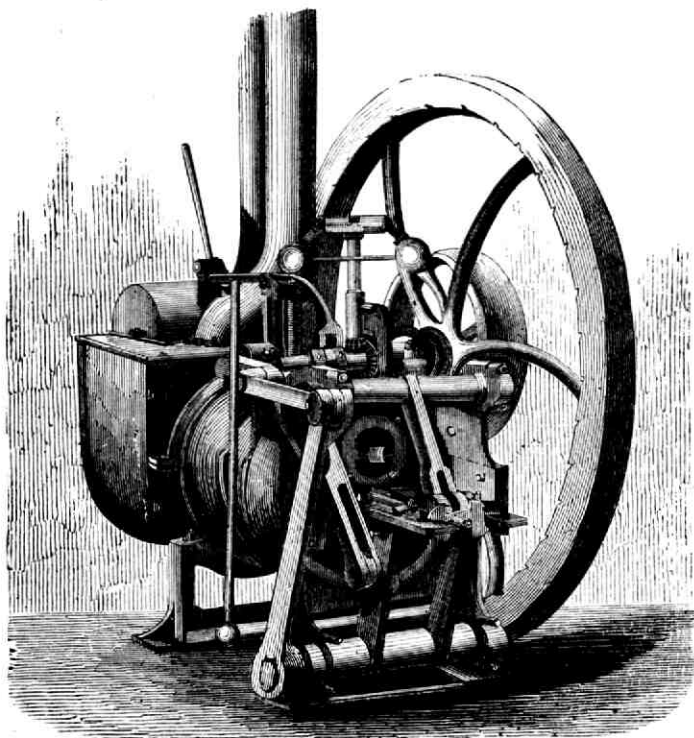
ERICKSON gaf den moed niet op. Hij begaf zich naar Noord-Amerika, waar hij kapitaal wist bijeen te krijgen ten einde zijne calorische machine tot het voortstuwen van schepen te bezigen. Rusteloos werkzaam, helder en schrander van doorzicht, zoodat hij elke kwetsbare plek dadelijk onderscheidde, vol kracht en moed, zette hij zijn werk voort, zoodat het hem ten jare 1848 gelukte, de eerste verbeterde calorische machine van 5 paardenkracht op te stellen; het volgende jaar vertoonde hij eene andere van omtrent 60 paardenkracht en op de groote tentoonstelling te Londen in 1851 zag Europa voor het eerst zulk eene machine in werking.

Den 15<sup>den</sup> Februari 1853 ondernam de „Erickson”, het eerste schip dat door eene calorische machine in beweging werd gebracht, zijne eerste proefvaart naar

Alexandria, de haven van Washington. Het schip was 250 v. lang, 42 v. breed en mat 2200 ton. De schepraderen waren 10 v. breed, 32 v. in doorsnede; zij werden door eene machine van ongeveer 600 paardenkr. omgedreven. In weerwil van de groote besparing van brandstof (naar men verhaalde  $\frac{1}{10}$  van een stoommachine van gelijke kracht), en in weerwil van de allergunstigste berichten aangaande de nieuwe beweegkracht, moet de zaak toch tegengevallen zijn, ten minste de „Erickson” werd het volgende jaar in een gewoon stoomschip veranderd, en daarmede scheen de uitvinding in vergetelheid te zullen geraken. Men hoorde er niets meer van, maar in stilte werd aan hare volmaking gearbeid. Des uitvinders bewonderenswaardige volharding werd niet uitgeput; trouwens hij was tot de overtuiging gekomen, dat het beginsel ten voordeeligste toegepast werd op machines van geringer kracht, en de naar hem genoemde machine, die voor weinige

jaren de opmerksaamheid der geheele wereld trok, was inderdaad eene nieuwe uitvinding van geheel andere inrichting dan de vroegere. Zij rust op de volgende grondbeginselen.

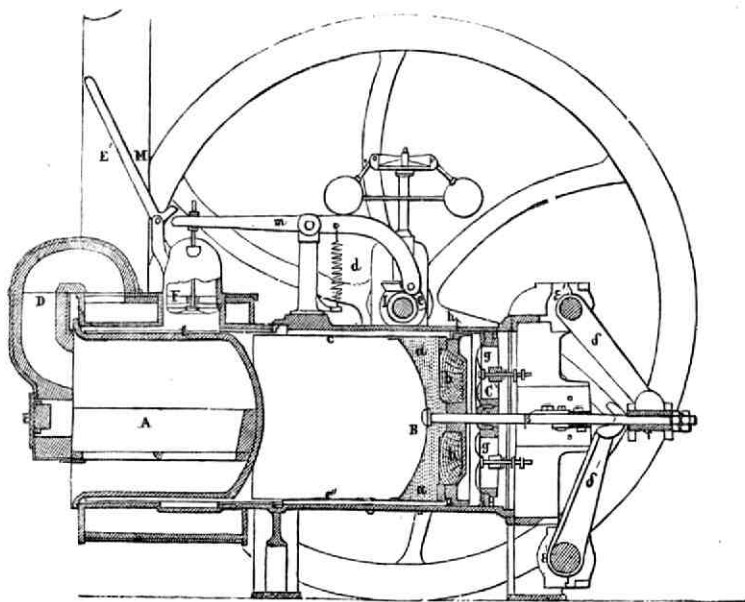
Indien eene zekere hoeveelheid gewone dampkringslucht tot  $100^{\circ}$  C. verhit wordt, zet zij zich meer dan  $\frac{1}{3}$  uit (nauwkeurig:  $\frac{12}{30}$ ); als zij voor deze uitzetting geene ruimte heeft, oefent zij eene spankracht van gelijk vermogen uit op de wanden van het vat, waarin zij besloten is. Dat geldt niet alleen tusschen  $0^{\circ}$  en  $100^{\circ}$ ,



maar ook daarboven of beneden, in het algemeen voor elke verandering in warmtegraad, en er volgt uit, dat de lucht bij eene verhitting van  $270^{\circ}$  C. zich tot het dubbele, bij eene van  $544^{\circ}$  tot het drievoudige van haren omvang moet uitzetten, zoodat hare spanning, die bij gewone temperatuur omtrent 15 kilo (1 atmosfeer) op den  $\square$  centim. bedraagt, bij de opgegevene graden van hitte respectievelijk 30 kilo (2 atm.) en 45 kilo (3 atm.) op den  $\square$  centim. zal zijn. Terstond begrijpt men, dat deze spanning een zuiger in beweging kan brengen. Voor de practische uitvoering van het denkbeeld eener luchtspanningmachine is het de eerste vraag, de lucht altijd in dezelfde hoeveelheid en met dezelfde spanning onder den zuiger te brengen, en dan: die hoeveelheid lucht telkens tot denzelfden graad te verhitten, ten einde een gelijkmatigen gang aan het op- en neder-

gaan van den zuiger, en dus aan de geheele beweging der machine, te verzekeren. Laat ons zien in hoever de uitvinder in het eene en het andere geslaagd is; wij verzoeken den lezer, de onderstaande afbeelding en die op bladz. 125 daarbij te raadplegen.

De inrichting dezer machine is enkelwerkend, dat wil zeggen: de zuiger wordt slechts in ééne richting door de beweegkracht, het vuur, voortgedreven, terwijl de terugweg wordt veroorzaakt door het vrij groote en zware vliegwiel. Het spreekt echter van zelf, dat men ook twee afzonderlijke machines derwijze verbinden kan, dat zij bij afwisseling op het vliegwiel werken. De cilinder is, evenals bij de oudste stoommachines van lage drukking het geval was, aan de eene zijde bodemloos en aldaar alleen door den zuiger gesloten; aan de andere zijde is de vuurhaard A (onderst. afb.) zoo tegen den cilinder aan of liever er ten deele in geplaatst, als in de afb. bladz. 125, de doorsnede over de lengte, te zien is. Deze vuurhaard heeft alzoo eene cilindervormige gedaante met een bol einde,



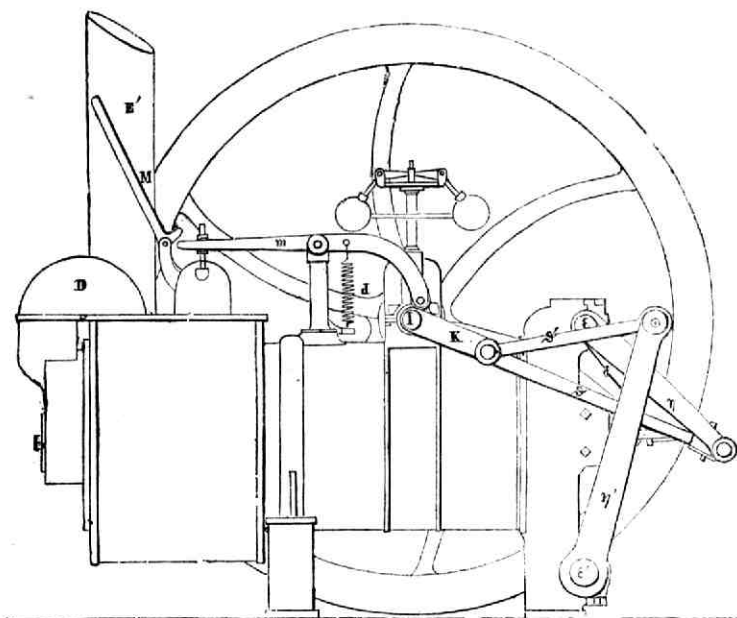
terwijl de zuiger niet alleen op dezelfde wijze hol eindigt, maar ook nog in nauwer betrekking tot den hittegever staat, doordien er eene blikken doos of deksel C" op geplaatst is, die, wanneer de zuiger zooveel mogelijk naar de linkerzijde is geloopen, den hittehouder als een mantel omgeeft en in dien stand eene zekere hoeveelheid warmte opneemt. De verhitte lucht klimt van den rooster door de gebogen buis D naar boven, sluit zich om het achterste gedeelte van den cilinder en ontwijkt dan door de buis E naar den schoorsteen.

Trachten wij ons nu duidelijk te maken hoe de machine werkt, d. i. hoe zij bij elken omgang eene hoeveelheid lucht vat en achter in den cilinder schuift, waar die lucht verbazend snel wordt verhit en uitgezet, en daardoor beweegkracht verkrijgt om op de zuigers te werken. De zuigers, zeggen wij in het meervoud, want wij hebben inderdaad twee zuigers B en C, die ieder afzonderlijk werken. In onze afbeelding hebben de beide zuigers hun buitensten stand, dicht bij elkander; maar in hun heen en weder loopen, dat elke zuiger onafhankelijk van den anderen doet, vertoont zich nu een grootere, dan een kleinere onderlinge afstand,



daar de buitenste of zoogenoemde werkzuiger zich veel langzamer beweegt en toch slechts half zooveel afstand behoeft te doorloopen als de binnenste of aanvoerzuiger. Het doel van deze inrichting is, gelijk wij beneden zien zullen, de noodige lucht in den cilinder te brengen. De binnenste of aanvoerzuiger dient echter ook nog tot een ander doel, namelijk om den buitensten zuiger te beveiligen tegen te groote verhitting, want dit zou nadeel toebrengen aan de sluiting. Deze zuiger is daarom ook aan het einde voorzien van eene zelfstandigheid die de warmte weinig geleidt, b. v. asch (Zie a a).

In dit opzicht vervult de zuiger zijne taak zoo goed, dat inderdaad de ruimte die door den werkzuiger wordt doorloopen, altijd betrekkelijk koel blijft, waartoe misschien ook wel de omstandigheid medewerkt, dat bij iederen omgang koude lucht binnenstroomt. De buitenzijde van den zuiger staat in verband met eene stang, die luchtdicht midden door den werkzuiger naar buiten steekt. Voor den laatsten zuiger zijn dientengevolge de twee daarnaast staande stangen noodig,



welke op het midden van de stang der aanvoerzuigers werken, en welker uiteinden men bij o o ziet.

Opdat nu de buitenlucht van de rechterzijde naar de verhitingsplaats kunne stroomen, moeten de beide zuigers voorzien zijn van kleppen, die zich beurtelings openen en sluiten. Bij den werkzuiger bestaan deze uit twee binnenwaarts opengaande kleppen g g, die van veeren voorzien zijn; bij den aanvoerzuiger daarentegen dient daartoe een stalen ring, die den zuiger nabij het achtereinde hoepelsgewijze omgeeft. Deze ring glijdt met zijne buitenzijde luchtdicht langs den binnenwand van den cilinder: maar hij ligt los in eene groef van den zuiger, tweemaal zoo breed als dik, zoodat hij twee standen kan aannemen, naarmate de drukking der lucht aan 'de eene of aan de andere zijde grooter is. Den stand, in welchen hij tegen de rechterzijde stoot, neemt hij aan zoodra de aanvoerzuiger naar binnen loopt, en in dien stand sluit hij, d. i. hij laat zijne lucht niet van de linker- naar de rechterzijde stroomen en drijft veeleer de lucht, welke zich vóór hem bevindt en reeds gewerkt heeft, door de nu opene uitlaatklep F naar

den cilinder uit; bij het teruggaan van den aanvoerzuiger echter blijft de ring, die nu eene drukking van de rechterzijde ondervindt, achter en sluit zich aan de linkerzijde van de groef. In dien stand echter laat hij de uiteinden van eenige kleine luchtkanalen open, die op den omtrek van den zuiger zijn uitgesneden, en er bestaat nu tusschen de beide uiteinden van den cilinder eene opene gemeenschap, totdat de aanvoerzuiger weder naar binnen gaat. In de afb. bladz. 124 is de groef in den zuiger bij  $h$  aangewezen. Gesteld nu dat er een nieuwe omgang moet aanvangen, te beginnen van het oogenblik dat de stand der zuigers zoo is als de afbeelding aantoont, dan komt eerst de aanvoerzuiger in beweging naar de linkerzijde, waarbij de ringklep zich sluit, en dewijl nu tusschen de beide zuigers eene ruimte met zeer verdunde lucht ontstaan moet, openen zich de kleppen van den buitensten zuiger, en de lucht stroomt zoolang naar binnen als de onderlinge stand der beide zuigers toeneemt. Thans gaat ook de werkzuiger voorwaarts en tracht den anderen in te halen. Door zijn voortschuiven sluiten zich natuurlijk zijne luchtkleppen aanstonds en de lucht vóór den zuiger ondergaat eene samenpersing, die nog grooter wordt wanneer een oogenblik later de aanvoerzuiger begint terug te loopen. Het gevolg hiervan is, dat de ringklep zich opent en dat er koude lucht in de verhitte ruimte dringt. Hoe kort zij er ook vertoeft, toch wordt zij door de gloeiende wanden tot  $300^{\circ}$  C. verhit, en in de uitzetting, welke het gevolg van die verhitting is, bestaat nu de kracht, welke de zuigers naar het andere einde van den cilinder stuwt. De aanvoerzuiger, die nu open is, heeft bij dat uitdrijven noch iets te doen, noch iets te ondergaan; de spanning zet zich door dezen heen tot aan den werkzuiger voort, en deze laatste is het, op welken het voortstuwingsvermogen werkt. Eindelijk komen de zuigers in hun oorspronkelijken stand terug, en dan is ook een omloop van het vliegwiel volbracht, natuurlijk in korter tijd dan men noodig heeft om deze beschrijving te lezen.

Dat de beide zuigers onafhankelijk van elkander loopen, heeft zijn grond in de stangen en tuimelaars, door welke ieder op zich zelf met de kruk van de drijf-as verbonden is. Daartoe moeten wij verwijzen naar de verschillende gedeelten der afbeelding, en ten einde de lezer zich de stilstaande gedeelten te gemakkelijker als in beweging zou kunnen voorstellen — hetgeen trouwens bij opmerkzame beschouwing niet moeielijk is — geven wij eene beknopte aanwijzing van den weg, langs welken de machine bij afwisseling nieuwe drijfkracht ontvangt en kracht geeft ter beweging van de zuigers. Voor de dubbele stang namelijk, en bijgevolg voor den werkzuiger, loopt die weg eerst naar beneden, daar door de stang de beide armen  $\delta$   $\delta'$  heen en weder bewogen worden, eene beweging die door den langeren arm  $\eta'$ , welke met de as verbonden is, mede moet worden gemaakt. Van de eene zijde van dezen arm loopt de stang  $\theta'$  naar de kruk K. Dit is de ware geleiding der drijfkracht.

Eene dergelijke inrichting, natuurlijk alleen met  $\delta$ , is ook aanwezig voor de middelste zuigerstang; hier ligt de wentelas E aan de bovenzijde, een arm  $\eta$  loopt van hare buitenzijde naar beneden en uit het eind loopt de arm  $\theta$  naar de kruk. Daar nu die stangen en armen  $\eta$   $\theta$  en  $\eta'$   $\theta'$  niet even lang zijn, moeten de zuigers zich ook met verschillende snelheid bewegen. Tot het regelen van den gang heeft men een regulator met twee kogels aangebracht, die op eene kleine klep werkt, welke boven in den cilinder tusschen de zuigers staat. Die klep moet een weinig heete lucht uit den cilinder laten, wanneer de spanning in dien cilinder ten gevolge der groote hitte te sterk wordt. De hefboom M dient om de machine te doen stilstaan, daar de klep F onmiddellijk opengaat, als men M nedruckt.

Het belangwekkendste gedeelte der machine van ERICKSON is buiten kijf de vereeniging der beide zuigers, die wij tot het scherpzinnigste kunnen rekenen, sedert langen tijd door de werktuigkunde tot stand gebracht. Bij de vroegere machines was de onvolkomen sluiting een wezenlijk gebrek; bij de hier afgebeelde en beschrevene is het zoo goed als geheel weggenomen. Om den loopenden zuiger te sluiten is een eenvoudige lederen kraag voldoende, en talk is goed om te smeren, daar dit gedeelte der machine weinig verhit wordt.

Maar ook nog in andere opzichten heeft zij voordeelen boven het stoomwerktuig, die gansch niet verwerpelijk zijn. Hetgeen men er aan heeft ten koste te leggen bestaat in het onderhouden van een klein vuur, dat driemaal minder brandstof eischt dan eene stoommachine van even groote kracht, terwijl men geene afzonderlijke afvoerbuis noodig heeft, maar zich van een gewonen schoorsteen bedienen kan. Ook levert de machine geen het minste gevaar op; zij neemt weinig plaats in, heeft geen water noodig en eischt geen toezicht dan een opletten den stoker, terwijl de warme lucht, die bij elken omgang uit de klep stroomt, in den winter doorgaans warmte genoeg aan het vertrek mededeelt, of ook tot andere diensten, b. v. droogkamers, kan gebruikt worden.

In Duitschland heeft men met de machine van ERICKSON veel op in boekdrukkerijen; eene van 4 paardenkrachten brengt 6 snelpersen in gang en doet dus zooveel als 12 arbeiders. Voor dergelijk werk is zij dan ook uitnemend geschikt, al is zij op het tegenwoordige standpunt harer volmaking nog te zwak voor zwaar werk. En dat zij dit moet zijn, blijkt ook uit het volgende. De ingelaten lucht zet zich in den cilinder bij eene hitte van  $230^{\circ}$  tot  $340^{\circ}$  C. met 0,75 van hare uitgebreidheid uit, zoodat de ruimte die zij in vrijen toestand beslaan zou staat als 4: 7. Er bestaat dus in den cilinder op het hoogst eene spanning van 1,75 atmosferen, zoodat er een overschot van 0,75 atm. bestaat, waarvan  $\frac{1}{3}$  door de wrijving in de machine telooft. Er blijft dus over 0,5 atm. bruikbare kracht en dus eene drukking van  $\frac{1}{2}$  pond op den vierkanten centim. der oppervlakte van den zuiger. Om dus veel kracht ter beschikking te hebben, zou men de cilinders en zuigers tot eene verbazende grootte moeten vervaardigen, en te dezen aanzien is de practijk binnen enge grenzen beperkt. Reeds de machine van 4 paardenkrachten is dienvolgens eene dubbele, d. i. eene vereeniging van 2, elke van 2 paardenkrachten. Grooter kracht is bij een kleinen cilinder in allen gevallen verkrijgbaar, indien de lucht welke men wil verhitten, eerst samengeperst wordt, en het is aan het vinden van een daartoe dienstig middel, dat zowel ERICKSON als anderen hunne krachten hebben beproefd.

Er is nog meer, dat in deze machine als een wezenlijk gebrek moet worden aangemerkt. De wijze van stoken maakt het onmogelijk, al de mogelijke partij van de brandstof te trekken. De lucht is te warm als zij uit de machine treedt, en waar moge zijn wat wij zoeven opmerkten, dat die warmte ook voor vertrekken of droogkamers kan worden gebezigd, — dat was de bedoeling niet en even weinig het voordeeligst mogelijke bezigen dier warmte. Er komt bij, dat het ijzer, ofschoon men er tot beveiliging leem over strijkt, toch door de hitte al spoedig veel lijdt; ook oefent de droge lucht op de zelfstandigheid en daardoor op de duurzaamheid van den aanvoerzuiger een nadeeligen invloed uit; voorts heeft men veel smeer noodig. Over de noodzakelijkheid om zware of groote cilinders te maken is reeds gesproken, maar wat nog een zeer groot gebrek mag genoemd worden, bestaat in het geweldige geraas, dat de machine maakt. Het slaan der hefboomen, voornamelijk het openen en sluiten der klep, doen hooren en zien vergaan, en dit vooral, hoewel men het door bezigen van de verschillende metalen heeft getracht voor te komen, heeft veroorzaakt, dat de machine

van ERICKSON, hoe schrander ook uitgedacht, in de practijk weinig bijval gevonden heeft.

Het spreekt niettemin van zelf, dat daardoor geen veroordeeling over de calorische machine is uitgesproken, even weinig als het beginsel der machine van LENOIR verwerping verdient omdat zij tot dusver niet beantwoord heeft aan de hooggestemde verwachting, welke zij in het eerst wekte bij allen die gewoon zijn met al wat nieuw is weg te vliegen.

---