Over het meten van den galvanischen geleidingsweerstand inzonderheid bij metalen

1. Kolk, H. W. Schroeder van der. Over het meten van den galvanischen geleidingsweerstand, inzonderheid bij metalen.

2. Roest, A. J. de artikelen 40 tot 49 & 198 van de grondwet.

3. Koorders, D. De antirevolutionaire staatsleer van Mr. Groen van Prinsterer – ontwikkeld.

4. Schlimmer, J. G. Specimen continens historiae rerum gestarum, quas in deperditis histor. libris explicuit Sallustius partem priorem.

Theses inaug.

1. Hoogenstraaten, F. G. M. obstetr.
2. Frantz, J. G. obstetr.
3. Menne J. H. obstetr.
4. Itterson, P. A. L. A. van. jur.
5. Haselt, J. A. van. jur.
6. Visscher, G. A. jur.
7. Everdingen, G. H. van. obstetr.
8. Hugenpoth tot Aerdt, A. C. G. J. van. jur.
9. Eysell, A. Ph. T. jur.
10. Heuvel, A. J. J. van den. jur.
11. Schorer, G. L. jur.
12. Post, L. H. jur.
13. Buren, J. H. L. van. jur.
14. Cromhoff, J. jur.
15. Haas, J. de. jur.

16. Titsingh, J. D. C. chirurg.
17. Groot, H. A. de. jur.
18. Wilde, Chr. de. jur.
19. Voet, J. H. J. jur.
20. Lambert, H. J. obstetr.
21. Doeff, J. G. A. jur.
22. Honkoop, P. obstetr.
23. Mol, J. G. J. J. chirurg.
24. Glashoorst, F. D. F. Luyken. jur.
25 Crommelin, Claud. jur.
26. Graafland, F. Hooft. jur.
27. Patyn, J. G. jur.
28. Gijselaar, N. H. de. jur.
29. Mol, J. G. J. J. obstetr.

SPECIMEN PHYSICUM

DE

METHODIS QUIBUS

RESISTENTIA GALVANICA

DETERMINATUR, METALLORUM IMPRIMIS,

QUOD,

ANNUENTE SUMMO NUMINE,

EX AUCTORITATE RECTORIS MAGNIFICI

BERNARDI TER HAAR,

THEOL. DOCT. ET IN FACULT. THEOL. PROF. ORD.,

NEC NON

AMPLISSIMI SENATUS ACADEMICI CONSENSU,

ET

NOBILISSIMAE FACULTATIS MATHESEOS ET PHILOSOPHIAE NATURALIS DECRETO,

Pro Gradu Doctoratus,

SUMMISQUE IN

MATHESI ET PHILOSOPHIA NATURALI HONORIBUS AC PRIVILEGIIS

IN ACADEMIA RHENO-TRAJECTINA

RITE ET LEGITIME CONSEQUENDIS,

ERUDITORUM EXAMINI SUBMITTIT

HENRICUS GUILIELMUS SCHROEDER VAN DER KOLK

Rheno-Trajectinus.

A. D. XI M. JANUARIAE, ANNI MDCCCLX, HORA II.

Trajecti ad Rhenum.

APUD KEMINK ET FILIUM, TYPOGR.

MDCCCLX.

OVER HET METEN

VAN DEN

GALVANISCHEN GELEIDINGSWEERSTAND,

INZONDERHEID BIJ METALEN.

OVER HET METEN

VAN DEN

GALVANISCHEN GELEIDINGSWEERSTAND

INZONDERHEID BIJ METALEN,

DOOR

H. W. SCHROEDER VAN DER KOLK.

UTRECHT,
KEMINK EN ZOON.
1860.

AAN

MIJNEN VADER.

VOORREDE.

Aan het einde mijner academische loopbaan genaderd, is het mij eene aangename taak openlijk mijnen dank te betuigen aan allen, wier onderwijs en leiding mij gedurende dien tijd mogt ten deel vallen.

Maar tot wien zoude ik mij, bij het terugzien op die jaren, eerder wenden dan tot U, zeer geliefde vader. Aan U heb ik zoo wel gedurende dien tijd als vroeger zooveel te danken gehad, en aangenaam is het mij thans in de gelegenheid te zijn U deze openlijk te betuigen. Bragt al de rigting mijner studie het mede, dat ik slechts korten tijd Uw onderrigt mogt genieten, zoo heeft echter uwe leiding mij nimmer ontbroken, en waaraan heeft men meer behoefte gedurende de academische loopbaan. Uwe leiding was mij nimmer dwang, want Uw doel was mijne vorming, opdat ik als zelfstandig persoon de maatschappij zoude kunnen intreden. Wees dan ook verzekerd, dat mijn streven zijn zal zoo veel mogelijk aan Uwe regtmatige verwachtingen te beantwoorden, en aldus het

mijne toe te brengen, om U het verlies mijner onvergetelijke moeder te vergoeden en U eenen gelukkigen levensavond te bezorgen.

Tevens gevoel ik mij gedrongen ook tot U, mijne leermeesters, hoogleeraren in de wis- en natuurkundige faculteit te Utrecht, een woord van dank te rigten voor het onderwijs, dat ik vele jaren in zoo ruime mate heb mogen genieten.

Voor allen wend ik mij tot U, hooggeachte promotor, hooggeleerde VAN REES. *Van den aanvang mijner academische loopbaan tot op dezen dag heb ik steeds van U eene vriendschap en welwillendheid ondervonden, die ik nooit had durven verwachten, maar dan ook nimmer zal vergeten. Onder Uwe leiding heb ik het vak mijner keuze mogen beoefenen, en indien ik hierin van eenig nut mogt wezen, gevoel ik dit geheel aan U verschuldigd te zijn; nimmer toch ben ik te vergeefs tot U gekomen, noch hebt Gij mij ooit Uwen raad onthouden, hoe vaak deze ook gevraagd werd. Ontvang voor dit alles mijnen opregten en hartelijken dank. Onthoud mij Uwen raad ook niet bij mijne verdere loopbaan, nu ik Uw onderwijs moet missen, waaraan ik gevoel nog zoo vaak behoefte te hebben, en dat ik te meer leer waarderen, hoe meer ik het heb mogen genieten. O! mogt Gij nog lang voor uwe talrijke vrienden en leerlingen gespaard blijven, onder welke ik het een geluk reken geteld te mogen worden, want tot de aangenaamste herinneringen uit mijnen academietijd behoort, dat ik U mijnen leermeester mag noemen.*

Ook tot U hooggeleerde BUYS BALLOT *en* HARTING, *wensch*

ik mij te rigten. Niet alleen heb ik U dank te zeggen voor hetgeen ik op de openbare academische lessen mogt hooren, maar bovenal voor hetgeen ik buiten deze, hetzij afzonderlijk, hetzij in eenen vriendschappelijken kring heb mogen vernemen. Daar vonden wij allerminst dorre geleerdheid, want Uw beider streven was om tot zelfonderzoek op te wekken, en de natuur in hare eenheid en harmonie te leeren kennen.

Hoe gaarne zag ik ook U hier nog aanwezig, hooggeleerde OUDEMANS, *wiens uitstekend onderrigt in de sterrekunde ik slechts een jaar heb mogen genieten. Hoe belangrijk Uwe tegenwoordige werkkring zijn moge, niet dan met leedwezen zag ik U vertrekken. Want zijt Gij slechts korten tijd hier werkzaam geweest, wees verzekerd dat die tijd niet onnuttig is voorbijgegaan, en dat Gij nog vaak door Uwe dankbare leerlingen herdacht wordt, die U belangstellend blijven volgen in Uwe tegenwoordige loopbaan.*

Later mogt het mij te beurt vallen nog Uwe lessen bij te wonen, hooggeleerde KAISER, *en niet genoeg kan ik U danken voor de hartelijke en welwillende ontvangst, die ik bij U in Leiden heb mogen genieten. Aan Uw beider onderrigt in de sterrekunde ben ik de vaste overtuiging verschuldigd, dat de weg tot de physica zoowel door de wis-, als door de sterrekunde loopt.*

Hooggeachte vriend, Dr. J. BOSSCHA JR. *Het zij mij vergund U hier mede te vermelden, nu ik na het schrijven mijner dissertatie, waarbij ook Uwe hulp mij zoo vaak te beurt*

viel, op het punt sta de academie te verlaten. Reken ik mij gelukkig eenigen tijd te Leiden te hebben kunnen doorbrengen, zoo is dit vooral, omdat ik hierdoor in de gelegenheid was, nader met U in kennis te komen. Wees verzekerd, dat de vriendschap wederkeerig is, die ik in zoo ruime mate van U heb mogen ondervinden, en moge, gelijk eenzelfde studievak ons zamenbrengt, zoo ook onderlinge vriendschap ons steeds blijven vereenigen.

Ten slotte wensch ik nog een woord van dank te rigten tot alle, die mij bij de vervaardiging van mijn proefschrift in meerdere of mindere mate behulpzaam zijn geweest. Vooral zij deze dank toegebragt aan mijnen vriend H. C. Dibbits, *Phil. Nat. Cand., die mij gedurende een groot gedeelte mijner proeven welwillend ter zijde heeft gestaan.*

En Gij mijne vrienden, die ik aan de academie heb mogen aantreffen, vaartwel, en blijft mijner, ondanks onze scheiding, gedachtig.

UTRECHT,
Jan. 1860.

INHOUD.

			Pag.
Inleiding.			1.
Hoofdstuk	I.	De vroegere onderzoekingen over den galvanischen weerstand.	5.
„	II.	Kritiek der aangewende methoden. Onderzoekingen van Weber.	20.
„	III.	De methode van den heer Bosscha.	40.
„	IV.	De inrigting der proefnemingen.	47.
„	V.	Onderzoekingen omtrent de etalons.	65.
„	VI.	Onderzoekingen omtrent den weerstand van het kwik.	93.
Besluit.			114.

INLEIDING.

Is men vooral door het beginsel van het behoud van arbeidsvermogen in den laatsten tijd ten opzigte van het galvanisme tot vele nieuwe en meer heldere inzigten gekomen, zoo is het gemis aan eene goede theorie op dit gebied hierdoor slechts te meer voelbaar geworden. De vroegere voorstelling van galvanische vloeistoffen, imponderabilia, kan men bezwaarlijk langer aannemen; maar is men ook hier, even als bij warmte en licht, tot eene bewegingstheorie verwezen, zoo gelukte het echter nog in geenen deele deze op te bouwen. Aan het verband tusschen warmte en galvanisme valt niet meer te twijfelen na de ontdekking van het behoud van arbeidsvermogen, maar deze overtuiging rust alleen op de kennis der werkingen, geenszins op die der oorzaken. Wel heeft men wetten gevonden, volgens welke deze onbekende kracht werkt, maar zij zelve onttrekt zich nog steeds aan onze nasporingen. Men weet, dat de

werking in de galvanische cel evenredig is aan de chemische verbinding, en dat deze opgewekte werking zich later weder in warmte omzet, maar toch staan wij hier als voor eene geheimzinnige werkplaats, waar wij de aangevoerde grondstoffen kennen en de gevormde producten waarnemen, maar geheel in het onzekere blijven omtrent den aard der bewerking.

Geldt deze onbekendheid voor het geheele gebied van het galvanisme en de electriciteit, nog duisterder wordt het, waar bij de beschouwing der weerstanden galvanische werkingen zich met de moleculaire vereenigen. Beiden zijn onbekend, en de ervaring vergunt hier nog geenszins tot de theorie, dat is, tot het wezen der zaak op te klimmen, om hieruit nieuwe waarheden af te leiden. Zoo zal eene ontdekking als die der conische refractie op dit gebied ook nog lang onmogelijk blijven, want men kent hier slechts feiten, en de empirie is er nog geene wetenschap.

Door weerstand verstaat men de oorzaak, die de galvanische werkingen verzwakt, en waarin deze verzwakking bestaat, kan men, onbekend met het wezen van den galvanischen stroom, niet nagaan. Maar al ware dit mogelijk, zoo zoude daarmede het vraagstuk nog geenszins zijn opgelost. De oorzaak, waarom de eene stof zoo veel meer weerstand biedt dan de andere, is gelegen in het zoo duistere gebied der moleculaire toestanden. Terwijl metalen den stroom gemakkelijk ge-

leiden, schijnen zamengestelde vloeistoffen dit alleen te kunnen doen voor zoo verre zij ontleed worden; terwijl warmte den weerstand bij metalen verhoogt, vermindert zij dien bij deze vloeistoffen. Het is duidelijk, dat men hier met verschillende soorten van geleiding te doen heeft, maar hoe dit met de constitutie zamenhangt, is niet bekend.

Een metaaldraad wordt eenigen tijd door eenen sterken stroom doorloopen. Na de proef blijkt diens weerstand gewijzigd, en toch schijnt het metaal volstrekt niet veranderd, is het zelfs onmogelijk langs anderen weg een verschil in beide toestanden aan te toonen.

Waar men zoo onzeker is omtrent de oorzaken, is het van dubbel belang proefondervindelijk deze verschijnselen na te gaan, als de eenige weg, om eenmaal tot hunne verklaring op te klimmen. Maar ook hierin stuitte men op vele zwarigheden, en vaak werd men door eene menigte storende invloeden verhinderd, eene gewenschte naauwkeurigheid te bereiken.

Overtuigd van het belang van dergelijke onderzoekingen, scheen het mij daarom niet van alle waarde ontbloot deze storende oorzaken meer bepaaldelijk na te gaan, en te onderzoeken, aan welke wijze van waarnemen men de voorkeur zoude moeten geven.

De resultaten, tot welke dit onderzoek leidde, zijn in de eerstvolgende hoofdstukken vermeld. In het derde is eene nieuwe methode van weerstands bepaling be-

schreven, welke mij door den heer Dr. J. Bosscha Jr. is medegedeeld geworden, terwijl de laatste hoofdstukken gewijd zijn aan het uiteenzetten van eenige proefondervindelijke onderzoekingen, welke op dit onderwerp betrekking hebben.

HOOFDSTUK I.

DE VROEGERE ONDERZOEKINGEN OVER DEN GALVANISCHEN WEERSTAND.

In de welbekende formule van Ohm

$$i = \frac{e}{r}$$

beteekent i de intensiteit van den stroom en e de electromotorische kracht, die, zoo als in den laatsten tijd gebleken is, bij de hydro-electrische ketens evenredig is aan de chemische werkingen. De weerstand wordt voorgesteld door r. Hoewel het niet aan proeven heeft ontbroken, om deze numerisch te bepalen, is men echter niet geslaagd in het aangeven der oorzaak van den weerstand, onbekend als men is met het wezen van den galvanischen stroom. Het spreekt van zelf, dat men, om tot eene nadere kennis van den weerstand of van de geleiding, die er het omgekeerde van is, te komen, proefondervindelijk moest bepalen, hoe deze zamenhangt, zoowel met de afmetingen van den sluitdraad als met de stof waaruit hij bestaat. Bij ontleedbare vloeistoffen

werd het vraagstuk van anderen aard dan bij de metalen, daar de geleiding hier steeds met ontleding schijnt zamen te hangen. De onderzoekingen, in dit opzigt ondernomen, zijn echter bij het hier volgend overzigt der voornaamste proeven uitgesloten, waar alleen die op metalen en bepaaldelijk die op zware metalen zijn vermeld.

Davy [1]) was de eerste, die in 1822 een bepaald onderzoek omtrent den weerstand der metalen in het werk stelde, en hoe gebrekkig zijne methode ook was, zoo gelukte het hem toch verscheidene resultaten te vinden, alsmede de wijze waarop de weerstand zamenhangt met de afmetingen van den draad. Hij vond dat het geleidend vermogen der metalen zeer uiteenliep, en dat zij te dien opzigte elkander in deze orde opvolgen: zilver, koper, tin, platina, ijzer, lood.

Voorts vond hij, dat het geleidend vermogen omgekeerd evenredig was aan de lengte van den draad en direct aan de doorsnede, en ten slotte dat de geleiding verminderde bij verhooging van temperatuur.

Op deze wijze waren door Davy de voornaamste eigenschappen der geleiding aangetoond, maar zijne uitspraak steunde op eene zeer gebrekkige methode en vrij onvolkomene waarnemingen. Men heeft dan ook later vaak getracht deze stellingen naauwkeuriger te bewijzen, waarmede vooral de beide Becquerel's, vader en zoon, Lenz, Matthiesen en Arndsen zich hebben bezig gehouden, wier onderzoekingen wij hier kortelijk willen doorloopen. Achtereenvolgens zullen wij hierbij beschouwen, eerst diegene, welke op den weerstand der metalen, daarna die, welke op de weerstandsverandering bij temperatuursverhooging, en ten slotte die, welke op den zamenhang

1) Pogg. 11, p. 248.

van den weerstand met de afmetingen van den draad betrekking hebben.

De eerste, die na Davy den verschillenden weerstand der metalen nader onderzocht, was Becquerel [1]), de vader, die in 1825 hieromtrent eenige proeven in het werk stelde. Hierbij werd een differentiaal-galvanometer aangewend, waarvan de beide geleiddraden zoodanig door den stroom werden doorloopen, dat de naald in rust bleef. Nu werden in beide windingen geleiders van verschillend metaal gebragt en van zoodanige afmetingen, dat de naald in rust bleef. Daar hij vooraf den zamenhang tusschen den weerstand en de afmetingen van den draad had bepaald, kon hij thans uit de afmetingen van beide metaaldraden hunne relative weerstanden berekenen. Op deze wijze onderzocht hij koper, goud, zilver, zink, tin, platina, ijzer, lood, kwik en potassium.

Christie [2]) ging van een ander beginsel uit. De twee koperen draden (fig. 1) AC en BD, van den electromotor afkomende, gingen naar eenen multiplicator en waren onderling verbonden door twee draden *ad* en *bc*, vervaardigd uit het te onderzoeken metaal en van gelijke dikte als de koperdraad. Steeds werd $ac = bd$ en $ad = bc$ genomen. In den galvanischen draad zijn dus twee tegengestelde stroomen, en of de stroom A*a d*D dan wel A*a c*C het sterkst is, hangt af van de verhouding van de weerstanden tusschen *ac* en *ad*. De draden *ad* en *bc* werden nu gelijkmatig zoo lang verkort, tot geene afwijking meer volgde. Dan stelde $\frac{ac}{ad}$ den weer-

1) Ann. Chim. et Phys., t. 32, p. 420.
2) Phil. Trans. 1833, t. I, p. 133.

stand voor van het onderzochte metaal ten opzigte van koper. Hij onderzocht koper, zilver, goud, zink, tin, platina, ijzer en lood.

Ongeveer in denzelfden tijd werd door Lenz [1]) een uitgebreid onderzoek ondernomen omtrent den invloed der temperatuur op de geleiding, waarbij tevens de geleiding van eenige metalen werd bepaald. Hij wendde hiervoor geïnduceerde stroomen aan. Het anker van eenen magneet werd met eenen koperdraad omwonden, waarin door het aftrekken van het anker inductiestroomen werden opgewekt. Men verkrijgt aldus stroomen van zeer constante sterkte, waarbij men verder het voordeel heeft, dat de stroom alleen door metalen geleiders gaat. Deze draad liep voorts om eene magneetnaald, welker uitslag afhing van den ingevoegden weerstand, welke laatste zich dus omgekeerd uit den eersten liet berekenen. Hij onderzocht aldus: zilver, koper, goud, tin, messing, ijzer, lood en platina.

Pouillet [2]) wendde daarentegen thermo-electrische stroomen aan. Twee bismuthstaafjes werden elk afzonderlijk in eene der windingen van eenen differentiaal-galvanometer gebragt, zoodat de in de twee draden opgewekte stroomen tegengestelde rigtingen hadden. De staafjes werden aan de eene zijde op 0°, aan de andere op 100° gehouden. Voorts was in de eene winding een platinadraad gebragt, die als maat diende voor den weerstand, terwijl in de andere de te onderzoeken weerstand werd ingevoegd. Nu werd de lengte van den ingevoegden platinadraad zoolang vermeerderd, totdat de galvanische naald weder op 0° was. De gemetene weerstand

---

1) Pogg. 34 p. 418; 44 p. 345; 45 p. 105.
2) Elements de Phys. t. I, p. 605, 7. Ed.

was dan evenredig aan de lengte van den platinadraad. Daar het platina nimmer zuiver was, bragt hij alle weerstanden terug op dien van gedistilleerd kwik, hetwelk in eene cilindrische buis werd gebragt en welks diameter door wegen bepaald werd. Hij onderzocht palladium, zilver, goud, koper, platina, staal, ijzer en kwik. Bovendien vond hij, dat de zuiverheid der metalen veel invloed had op hunnen weerstand.

Edm. Becquerel [1]), die in 1846 een uitgebreid onderzoek omtrent dit onderwerp in het werk stelde, wendde mede een differentiaal-galvanometer aan, en voorts gewone galvanische stroomen. In een van de beide draden was een rheostaat geplaatst, in den anderen de weerstand, die bepaald werd. Bij latere onderzoekingen verving hij den rheostaat door eenen platinadraad, waarvan de lengte gemeten werd. Hij onderzocht zilver, koper, goud, cadmium, zink, tin, palladium, ijzer, lood, platina en kwik.

Matthiesen [2]) legde bij zijn onderzoek in 1858 het principe van Wheatstone tot grondslag, namelijk dat, wanneer men vier draden met elkander verbindt als vierhoek, en in de eene diagonaal eene batterij, in de andere een galvanometer plaatst, de naald in rust blijft, als de weerstanden dezer vier draden eene evenredigheid vormen. In de eerste zijde werd een normale weerstand, in de tweede die, welke bepaald werd, gesteld; terwijl de derde en de vierde uit zilverdraden bestonden, waarvan men de lengte op eene verdeelde schaal kon aflezen. Hij onderzocht zeer vele ligchamen, waarvan vele in de volgende lijst zijn opgenomen.

---

1) Ann. Chim. et Phys. 3. Sér. 17, p. 242.
2) Pogg. 100, p. 176; 103, p. 428.

Het verdient opmerking, dat deze methode van Wheatstone in den grond geheel overeenkomt met die van Christie, zoo als dadelijk blijkt, indien men de figuur aldaar anders teekent (zie fig. 2). De punten $a\ b\ c$ en d zijn hier evenzoo verbonden als bij Christie; slechts zijn de draden anders geschikt, hetgeen niets ter zake doet. Is nu de stroom in CD = 0, zoo heeft men $bc : bd = ca : da$.

Christie nam nu aan, dat dan ook $ca = da$ was, hetgeen in het algemeen niet waar is. Daar hij echter de draden gelijkelijk verkortte, was bovendien $bd = ca$ en $bc = da$, en alsdan volgt uit de bovenstaande evenredigheid

$$ca = da.$$

In hetzelfde jaar werden door Arndsen [1]) te Christiania eenige weerstandsbepalingen verrigt op zware metalen, hoewel het hoofddoel van zijn onderzoek was den weerstand bij verschillende temperaturen na te gaan. Hij wendde weder een differentiaal-galvanometer aan, en bij de twee eerste reeksen, die vermeld worden, een rheostaat. De inrigting was echter zoodanig, dat hij den weerstand tienmalen vergroot mat, waardoor de mogelijke fouten van den rheostaat tienmalen verkleind overgingen. Op deze wijze bepaalde hij koper en platina. Later wendde hij de gewone inrigting met den differentiaal-galvanometer aan. Als maat voor de weerstanden werd hier echter een gewone koperdraad gebruikt, waarvan de weerstand steeds op 0° werd gereduceerd. Hij onderzocht aldus zilver, aluminium, argentaan, lood, messing en ijzer. Nickel werd later nog afzonderlijk door hem bepaald.

---

1) Pogg. 104, p. 1.

De resultaten van al deze bepalingen vindt men in de volgende tabel. Voorts zijn er nog eenige andere bijgevoegd. De bepalingen van Herschel en Babbage, van Harris en van Cumming vindt men in de Phil. Trans. 1825, 1831, 1833; die van Ohm in Schweigger Journal 46.

Nog valt op te merken, dat door Christie, Lenz, Herschel en Harris magneto-electrische stroomen zijn aangewend, terwijl Cumming en Pouillet thermo-electrische gebruikten. De andere bepalingen zijn met gewone cellen verrigt.

Voorts werden alle bepalingen herleid ten opzigte van de geleiding van koper, die = 100 werd gesteld. Daar Matthiesen drie kopersoorten onderzocht, is de soort N°. 3 als maat aangenomen.

Cu=100.	Davy.	Becquerel.	Christie.	Cumming.	Ohm.	Herschel en Babbage.	Harris.	Lenz.	Riess.	Lamy.	Pouillet.	Edm. Becquerel.	Pogg.	Matthiesen Cu. N°. 3=100	Arndsen.
Zilver	119	73.60	152.0	176.5	35.6	. . . .	134	136.25	149.9	111	134.2	109.9	. . .	136.9	101.32
Goud	. . .	93.60	110.6	35.2	57.4	. . . .	55	79.79	88.4	. . .	103.6	74.7	. . .	71.3	. . . . .
Platina . . .	20	16.40	24.5	21.6	17.1	. . . .	. . .	14.16	16.0	14.4	22.3	10.3	. . .	13.6	14.74
Tin	22	15.50	25.3	23.9	16.8	46	24	30.84	15.0	. . .	. . . .	13.3	. . .	14.8	. . . . .
IJzer	11	15.80	22.3	24.3	17.4	. . . .	. . .	17.74	18.0	. . .	16—18	12.9	. . .	18.6	15.02
Lood	10	8.30	12.4	16.8	9.7	25	13	14.62	11.0	. . .	. . . .	8.8	. . .	10.0	9.28
Zink	. . .	28.50	52.2	53	33.3	93	34	. . . .	. . .	. . .	. . . .	27.1	. . .	35.4	. . . . .
Kwik	. . .	3.45	. . .	. . .	. . .	9	3.5	4.66	. . .	1.9	2.7	2.4	. . .	2.1	. . . . .
Potassium . .	. . .	1.33	. . .	. . .	. . .	. . . .	. . .	. . . .	. . .	. . .	. . . .	. . .	. . .	26.9	. . . . .
Messing . . .	. . .	. . .	. . .	. . .	28.0	. . . .	. . .	29.33	27.6	. . .	23—31	. . .	. . .	. . . .	25.75
Antimoon . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	2	4.5	8.87	. . .	. . .	. . . .	. . .	. . .	5.5	. . . . .
Bismuth . . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . . .	1.6	2.58	. . .	. . .	. . . .	. . .	. . .	1.5	. . . . .
Palladium . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . . .	. . .	. . . .	. . .	. . .	150.9	. . .	. . .	16.3	. . . . .
Staal	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . . .	. . .	. . . .	. . .	. . .	13—20	. . .	. . .	. . . .	. . . . .
Cadmium . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . . .	. . .	. . . .	. . .	. . .	. . . .	26.9	. . .	28.5	. . . . .
Nieuw zilver	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . . .	. . .	. . . .	. . .	. . .	. . . .	. . .	. . .	9.9	18.95
Nickel	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . . .	. . .	. . . .	. . .	. . .	. . . .	. . .	. . .	. . . .	6.82
Aluminium .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . . .	. . .	. . . .	. . .	. . .	. . . .	. . .	51.30	43.6	57.15—51.52.

Davy had, zooals reeds vermeld is geworden, het eerst ontdekt, dat de geleiding vermindert bij verhooging van temperatuur. Numerische bepalingen had hij niet gegeven, en eerst in 1833 werd met dit doel een onderzoek door Lenz in het werk gesteld. Hij wendde daarbij de hierboven vermelde inductiestroomen aan. Met den koperen draad, die door den inductiestroom werd doorloopen, werd de te onderzoeken draad verbonden. Deze werd om eenen thermometerbol gewonden en in olie gedompeld, welke olie door eene spirituslamp verwarmd werd. De bepalingen geschiedden afwisselend bij stijgende en bij dalende temperatuur. Hij verrigtte er een groot aantal, uit welke hij door de methode der kleinste quadraten de coëfficiënten tot in 5, 6 of 8 decimalen afleidde. Hij vond namelijk dat de weerstand niet evenredig is aan de temperatuur, maar aldus kan worden voorgesteld:

$\gamma = x + yt + zt^2$, waar γ de weerstand, t de temperatuur, en x, y en z coëfficiënten zijn. Zoo vond hij b. v. voor zilver:

$$\gamma = 136.250 - 0.49838\ n + 0.00080378\ n^2.$$

Verder onderzocht hij koper, goud, tin, messing, ijzer, lood en platina.

Muller [1]) onderzocht later (1848) op dezelfde wijze het ijzer, het zink en het kwikzilver. Zijn doel was, een verband te vinden tusschen den weerstand en de overige physische eigenschappen der ligchamen, hetgeen hem echter niet gelukte.

Edm. Becquerel wendde bij zijn onderzoek zijne reeds vroeger vermelde methode aan. De draad werd spiraal-

1) Pogg. 73, p. 434.

vormig opgewonden en in een oliebad gezet. Vervolgens toonde hij nog, dat de verandering, welke de vorm van den draad door de warmte ondergaat, de oorzaak van de weerstandsverandering niet zijn kan. Dan toch zoude de weerstand verminderen, terwijl hij integendeel klimt. Hij onderzocht zilver, goud, tin, ijzer, lood, platina, kwik, zink en cadmium.

De door Arndsen aangewende methode is ook reeds vroeger aangegeven geworden. De draad werd niet direct in olie geplaatst, maar in een glazen buisje, waarin een thermometer hing. Deze buis werd in een olie- of waterbad gesteld. Op deze wijze onderzocht hij koper, platina, zilver, aluminium, argentaan, lood en messing. Hij vond in den regel de weerstandstoename evenredig aan de temperatuur, behalve bij messing, argentaan en ijzer, bij welke hij vond voor den weerstand bij 100°, dien bij 0° = 100 stellende:

ijzer	$100 + 0.41304\ t + 0.00052713\ t^2$
argentaan	$+ 0.038736\ t - 0.000055776\ t^2$
messing	$+ 0.16619\ t - 0.0002034\ t^2$.

Eindelijk heeft Quintus Icilius [1]) nog een paar bepalingen medegedeeld aangaande koper en platina.

Hij vond voor koper:	$\delta =$	0.00340
		0.00355
	Gem.	0.00348
en bij platina		0.00221
		0.00289
	Gem.	0.00255

δ is de coëfficiënt der weerstandsverandering voor 1°.

1) Pogg. 101, p. 69.

	Lenz.	Muller.	Edm. Becquerel.	Arndsen.		Q. Icilius.
Zilver	0.36568		0.4022			
Koper	0.31368			0.36889	0.39402	0.348
Goud	0.21341		0.3397			
Tin	0.41419		0.6188			
Messing	0.17120			0.16619		
IJzer	0.47200	0.484	0.4726	0.41304		
Lood	0.41599		0.4349	0.37677		
Platina	0.27461		0.1861	0.32724		0.255
Kwik		0.119	0.1040			
Zink		0.333	0.3675			
Cadmium			0.4040			
Argentaan				0.03873		
Aluminium				0.34079	0.36386	

Bij deze opgaven is steeds de weerstandstoename voor 100° vermeld. Voorts is, waar Lenz en Arndsen eenen tweeden coëfficiënt hadden gevonden, afhangende van de quadraten der temperaturen, deze laatste, die steeds klein is, weggelaten.

Clausius [1]) maakte de opmerking, naar aanleiding van de bepalingen van Arndsen, dat de coëfficiënten van alle waargenomene metalen niet veel van elkander verschillen, als liggende tusschen 0.00327 en 0.00413. Zij komen dus min of meer overeen met de uitzettingscoëfficiënten der permanente gassen, en neemt men het midden uit alle, den quadratischen vorm bij het ijzer verwaarloozende, zoo vindt men

0.00366.

1) Pogg. 104, p. 650.

Hij erkent echter, dat het aantal metalen te gering, en de overeenkomst te onvolkomen is, om eene zekere uitspraak te doen.

Thans blijven nog de onderzoekingen ter beschouwing over, die gediend hebben om de wet, door Davy gevonden, te onderzoeken, namelijk dat de weerstand evenredig zoude zijn aan de lengte en omgekeerd aan de doorsnede. Hij toonde aan, dat, als een platinadraad eene batterij ontlaadde, een even lange draad van zesmaal grootere doorsnede hetzelfde deed bij zes zulke batterijen, en dat, zoo eene batterij van zes paren door eenen draad van zes voet lengte ontladen werd, alsdan een draad van drie voet lengte voldoende was voor eene batterij van de dubbele grootte. Men ziet, deze proeven waren zeer gebrekkig.

Becquerel, de vader, onderzocht deze wetten volgens zijne methode met den differentiaal-galvanometer en vond deze bevestigd binnen de grenzen der naauwkeurigheid zijner proeven.

Christie bevestigde mede deze wet volgens zijne vroeger vermelde draden-combinatie. Zijn namelijk l en d de lengte en de diameter van den eenen draad, en l' en d' die van den anderen, zoo zijn, als de beide stroomen elkander vernietigen in den galvanometer, $\frac{d^n}{l}$ en $\frac{d'^n}{l'}$ aan elkander gelijk, waar n gezocht wordt, en dus

$$n = \frac{\lg l - \lg l'}{\lg d - \lg d'}.$$

Hij vond:

$l=350$ $l'=89$ $d=0.1258$ $d'=0.0633$ en hieruit $n=1.9937$
$l=350$ $l'=90$ $d=0.0633$ $d'=0.0322$ $n=2.0093$
Gem. $n=2.0015$

welke bepalingen zeer goed overeenstemmen.

Lenz [1]) onderzocht deze wet met zijne inductiestroomen, door koperdraden van verschillende afmetingen in den sluitdraad te brengen, en de waargenomene afwijking met de volgens deze wet berekende te vergelijken. Hij vond aldus bij koperdraad, 0''.023 dik:

Lengte.	Waarg. afw.	Ber. afw.	Verschil.
7	53.°15	53.°21	+ 0.°06
14	38. 75	38. 51	— 0. 24
21	30. 40	30. 25	— 0. 15
28	24. 87	24. 93	+ 0. 06
35	21. 10	21. 21	+ 0. 11.

Evenzoo onderzocht hij den invloed der dikte, die door het gewigt en het specifiek gewigt van het koper bepaald werd. Hierbij vindt men in de eerste kolom opgegeven, niet den diameter, maar het gewigt van een stuk van dien koperdraad, ter lengte van 2 voeten, welke getallen dus evenredig zijn aan de doorsnede.

	Gew. 2 voet.	Waarg. afw.	Ber. afw.	Verschil.
N°. 1	7.7370gr.	66.°24	65.°84	— 0.°40
» 6	5.0250	56. 94	57. 52	+ 0. 58
» 11	3.2408	47. 16	48. 09	+ 0. 93
» 18	1.4783	31. 04	31. 22	+ 0. 18
» 24	0.7750	19. 46	19. 78	+ 0. 32
» 30	0.3616	10. 86	10. 56	— 0. 30.

Pouillet bewees de wet door thermo-electrische stroomen. Aan elk der einden zijner bismuthstaafjes bevestigde hij 1 el koperdraad, bragt het eene contactpunt op 0°, het andere op 100°, en overtuigde zich door een differentiaal-galvanometer van de gelijkheid beider

1) Dove, Rep. I, p. 326.

werking. Daarop vereenigde hij de koperen uiteinden van het eene element met een koperdraad van gelijke dikte en 98 el lengte; de anderen daarentegen met een van 8 el. Men had dus twee geleidingen, de eene van 100, de andere van 10 el. Wond hij nu b. v. die van 10 el 2maal om eenen multiplicator, en die van 100 el 20maal, zoo bleef de naald in rust. De stroom die een 10maal grooteren weg doorloopt is dus 10maal zwakker. Hij raadt echter aan, zich hierbij goed te overtuigen van de homogeniteit van het koper, want men vindt soms op denzelfden klos koper van zeer verschillend geleidend vermogen. Deze proeven zijn zeker niet zeer naauwkeurig te noemen.

Edm. Becquerel bragt bij zijne proeven ijzerdraden van verschillende afmetingen in den geleiddraad, en bepaalde hunnen weerstand met den Wheatstone'schen rheostaat. Hij vond aldus:

Lengte ijzerdraad.	Lengte rheost. draad.	Verhouding.
0	0	
20	162.6	8.13
40	325.2	8.13
60	485.0	8.08
80	643.3	8.04
100	805.6	8.06.

Daarna bepaalde hij den weerstand bij draden van gelijke lengte en verschillenden diameter. Het product van den weerstand met het quadraat van den diameter zal men dan constant moeten vinden. Hij vond:

Weerst.	Diameter.	Quadraat.	Prod. weerst. × quad. diam.
157.8	0.7370	0.5432	85.717
928.65	0.3037	0.0922	85.622.

Op de eerste bepalingen werd door Marié Davy niet ten onregte de aanmerking gemaakt, dat men voor het koper aannam, wat men voor het ijzer wilde bewijzen.

Over het geheel verdienen dus de bepalingen van Lenz wel het meeste vertrouwen, en kan men de wet als bewezen beschouwen binnen de grenzen der naauwkeurigheid zijner proeven.

HOOFDSTUK II.

KRITIEK DER AANGEWENDE METHODEN.

ONDERZOEKINGEN VAN WEBER.

Indien men de in het vorige hoofdstuk vermelde opgaven van den weerstand nagaat, blijkt het dat deze al zeer slecht met elkander overeenstemmen. Al rekent men de bepalingen van Davy en van Becquerel den vader niet mede, daar de latere uit den aard der zaak naauwkeuriger zijn, zoo blijft het verschil toch veel te groot om uit de waarnemingsfouten verklaard te kunnen worden. Niet minder groote afwijkingen toch vindt men tusschen de waarnemingen, door denzelfden persoon met hetzelfde instrument volbragt. Zoo vond b. v. Matthiesen het geleidend vermogen bij drie kopersoorten:

Koper N° 3 : 77.43
„ N° 2 : 72.06
„ N° 1 : 30.63

waar het geleidend vermogen van zilver = 100 was gesteld.

Arndsen vond bij twee aluminiumdraden:

N° 2 : 174.98
N° 1 : 194.13.

Dezelfde verschillen vindt men bij de meeste waarnemers terug, waar verschillende draden van hetzelfde metaal werden onderzocht. Daar deze afwijkingen nu voor waarnemingsfouten te groot zijn, moet men hare oorzaak wel in den draad zelven zoeken.

In de eerste plaats komt hier de chemische zamenstelling in aanmerking. Men vindt dienaangaande eenige bepalingen van Matthiesen. Hij vond b. v.:

Bi.	1.19	Tin	11.45
Leg. 32 Dl. Bi. 1 Dl. Sb.	0.884	Sn_4 Pb.	10.55
Sb.	4.29	Sn Pb.	9.20
Leg. 12 Dl. Bi. 1 Dl. tin	0.519	Sn Pb_4.	8.26
Tin	11.45	Pb.	7.77
Leg. 2 Dl. Sb. 1 Dl. zink	0.413	Sn Zn.	17.43
Zink	27.39	Cd Zn.	23.78.

Hier liggen de weerstanden der alliages tusschen die der zamenstellende metalen; bij de legeringen van Bi, Sb en Sn is dit echter niet het geval.

Maar zelfs kleine inmengselen schijnen reeds van veel invloed te kunnen zijn. Zoo vond Pouillet [1]):

Zilver	963 fijn	5152
	900	4751
	857	4223
	747	3882
Zuiver goud		3975
Goud	951	1338
	751	714.

1) El. de Phys. I. 667.

Het geleidend vermogen van kwik is hier = 100 gesteld.

Vooral bij goud is de invloed zeer merkbaar. Pouillet stelt zelfs voor, de geleiding aan te wenden om de zuiverheid der metalen te onderzoeken.

Even zoo vonden voor den weerstand van argentaan:

Arndsen	18.95
Matthiesen	9.9
Riess	8.86
Frick und Muller	7.52.

Is het dus zeker, dat de chemische zamenstelling van invloed is op den weerstand, zoo is het er verre van daan, dat deze alleen het zijn zoude. De physische constitutie blijkt van niet veel minder invloed te zijn.

Thomson [1]) vond bij een onderzoek van koperdraden voor onderzeesche telegraphen, in 1848 gepubliceerd, zoo aanmerkelijke verschillen tusschen verschillende exemplaren, dat de waarde dezer draden voor telegraphisch gebruik hierdoor zeer gewijzigd wordt. Aanvankelijk meende hij, dat dit verschil in het proces der draadmaking en in het omgeven met guttapercha gelegen was, maar bij nader onderzoek bleek dit vermoeden ongegrond. De oorzaak moet dus wel in het koper gezocht worden.

Hij vond b. v. voor het geleidend vermogen van koperdraden, uit vier verschillende fabrijken afkomstig:

A	100
B	96.05
C	90.5
D	54.9.

---

1) Phil. Mag. Ser. IV, t. 15, p. 472.

De telegraphische draden, gesponnen van koper uit dezelfde fabrijken, toonden nagenoeg gelijke eigenschappen, maar die van verschillende vervaardigers vaak zeer ongelijken weerstand. Er scheen dus eene bepaalde standvastigheid te zijn in de hoedanigheid der draden van eene zelfde fabrijk, en hieruit blijkt van hoeveel belang het is, bij telegraphen zich vooraf van den aard van het koper te overtuigen.

Ware de oorzaak hiervan nu gelegen in de chemische zamenstelling, zoo moesten zeer kleine inmengselen al van zeer grooten invloed zijn, daar het koper als zeer zuiver was afgeleverd. Werkelijk gaf de analyse van een koperdraad van gering geleidend vermogen:

Koper	99.75
Lood	0.21
IJzer	0.03
Tin of antimon.	0.01
	100.00.

Hij meent dus, dat de oorzaak wel in de physische constitutie moet gelegen zijn. Ten slotte geeft hij nog eene lijst van bepalingen van den weerstand bij verschillende soorten van koper, waarvan wij er hier eenige mededeelen. De opgaven zijn in absolute Britsche eenheden:

Koperdraad A N° 22	7.600.000
„ C N° 22	8.400.000
Jacobi's koperdraad (Weber)	10.870.000
Koperdraad N° 16, bedekt	12.410.000
N° 14, Strand specimen, niet bedekt	14.750.000
Draad van gewoon koperblad	22.300.000.

Evenzoo vermeldt Weber [1]) bij zijne koperdraden:

Jacobi's	draad	2310.000
Kirchhoff's	„	1916.000
Weber's	„	1865.600
Galv. neerg. koper		1684.000.

Deze opgaven zijn in absolute Duitsche eenheden.

Maakten deze bepalingen het zeer waarschijnlijk, dat de physische constitutie van invloed is op den weerstand, tot zekerheid werd dit, toen het bleek dat men door gloeijen, pletten, smeden enz. den weerstand van een metaal merkbaar kon veranderen.

J. Muller in Wezel [2]) vond, dat wanneer een metaaldraad sterk verwarmd werd, hij bij bekoeling zijnen oorspronkelijken weerstand had veranderd. Hij onderzocht ijzer, koper en platina. Eerst bepaalde hij den weerstand bij gewone temperatuur 21°, verwarmde daarna den draad tot gloeihitte, en onderzocht vervolgens andermaal den weerstand bij de vorige temperatuur. Hij vond aldus:

Metaal.	Weerst. vóór de verwarming.	Na de verwarming.
IJzer	690.7	727
Koper	864	910
Platina	1985.5	1984.2.

De weerstand van platina bleef nagenoeg dezelfde.

Ook Edm. Becquerel had eene dergelijke weerstandsverandering waargenomen bij het vergelijken van draden, die eerst in gehamerden, later in uitgegloeiden toestand onderzocht werden. Hij vond:

---

1) Pogg. 82, p. 337.

2) Pogg. 103, p. 176.

	Gehamerd.	Uitgegloeid.
Zilver	93.448	100.00
Koper	89.048	91.439
Goud	64.385	65.458
IJzer	12.124	12.246
Platina	8.042	8.147.

Daar nu voorts sterke stroomen eenen draad verwarmen, volgt hieruit, dat zij ook den weerstand van eenen draad kunnen veranderen.

Daar de transatlantische telegraaph in de diepte aan eene drukking van vele duizende ponden is blootgesteld, werd, tijdens het leggen van dien kabel, door Wartmann [1]) de invloed der drukking op den weerstand nader nagegaan. Hij onderzocht week koper met guttapercha omgeven, dat in eenen piëzometer van Oerstedt aan eene drukking van 9 atmospheren werd onderworpen. Hierbij bemerkte hij echter geene verandering. Daarna werd de draad door een gewoon gewigt zamengeperst, totdat de druk 400 atmospheren bedroeg. Hij vond toen, dat eene drukking van 30 atmospheren den weerstand vermeerdert, welke vermeerdering met den druk toeneemt. Na opheffing van den druk keerde de weerstand tot het vorige bedrag terug.

Het is echter waarschijnlijk, dat in dit geval ook de physische toestand weder dezelfde zal zijn geworden.

Uit deze beschouwingen volgt dus, dat weerstandsbepalingen bij metalen in het algemeen weinig waarde hebben en geene groote naauwkeurigheid toelaten. Daar toch chemische verontreinigingen van veel invloed zijn, kan b. v. eene bepaling, op chemisch zuiver metaal verrigt, nimmer op onzuiver metaal worden aangewend. Voorts kan bij volkomen gelijke chemische zamenstelling

1) Bibl. d. Genève. Ann. 64, t. IV.

de physische constitutie derwijze den weerstand wijzigen, dat de bepalingen zeer uiteen loopen, zoodat eene naauwkeurige weerstandsbepaling b. v. van koper reeds uit den aard der zaak onmogelijk wordt. Daar ten slotte uiterlijke invloeden den weerstand duurzaam kunnen wijzigen, kan men niet veel meer aannemen, dan dat bij vaste metalen eene weerstandsbepaling slechts van kracht is voor het onderzochte stuk metaal, in de onderstelling, dat dit later aan geene sterke invloeden is blootgesteld geworden.

Weerstandsbepalingen zijn hierdoor echter slechts te belangrijker geworden, nu zij niet alleen van de stof, maar ook van de physische constitutie blijken af te hangen, en dus welligt een der middelen kunnen worden om dieper in de zamenstelling der ligchamen door te dringen. Het is daarom van belang de verschillende methoden na te gaan, volgens welke men in den regel den weerstand tracht te bepalen, op welker beoordeeling de gevondene resultaten natuurlijk van veel invloed kunnen zijn.

De methoden verschillen vooreerst in de bron van electriciteit, die aangewend is geworden, waarvoor men nu eens gewone galvanische, dan thermo-electrische, dan magneto-electrische aanwendde. Dit is over het algemeen vrij onverschillig en komt alleen in zooverre in aanmerking, dat de eene bron meer constante stroomen geeft dan de andere.

De methoden kunnen verder verdeeld worden in die, waarbij men den weerstand meet door eenen anderen weerstand, en die bij welke men deze afleidt uit veranderingen der stroomsterkte.

De methoden, die tot de eerste soort behooren, kan men in het algemeen tot drie gevallen terugbrengen.

1°. De methode, waarbij men den te meten weerstand in den stroom brengt, en hem dan vervangt door den weerstandsmeter, waardoor men den stroom op het vorige bedrag terug brengt. Men heeft hier veel last van de onstandvastigheid van den stroom.

2°. De differentiaal-methode, gevolgd door Becquerel, Pouillet, Edm. Becquerel, waarbij om den galvanometer twee stroomen in tegengestelde rigting loopen, en in den eenen koperdraad de te bepalen weerstand, in den anderen de weerstandsmaat is opgesteld.

3°. De dradencombinatie van Wheatstone, gewijzigd aangewend door Kirchhoff en Matthiesen, waarbij de stroom in een der draden = 0 wordt bij eene bepaalde verhouding der weerstanden, welker grootte weder gemeten werd door de lengte eens draads.

Arndsen wijzigde de combinatie zoodanig, dat hij het tienvoud van den te bepalen weerstand mat.

Bij deze twee laatste methoden heeft de onveranderlijkheid der batterij geen invloed, daar hier steeds twee stroomen, die gelijkelijk stijgen en dalen, aanwezig zijn en elkander tegenwerken.

Bij al deze methoden wordt echter de weerstand gemeten door eenen anderen weerstand, waarvoor men in de meeste gevallen den rheostaat van Wheatstone heeft aangewend. Men meet hier den weerstand door de lengte van den ingevoegden koperdraad. Deze toestel is echter zeer gebrekkig. Zelfs al ware de weerstand volkomen evenredig aan de lengte van den koperdraad, zoo zoude de rheostaat toch in zijne constructie nog vele gebreken overhouden. Het slepende contact der veeren, dat niet te sterk zijn mag; de onvolkomene aanraking van de spiraal en den koperen cilinder, vooral als deze niet volkomen zuiver is; eene kleine

doorbuiging van den tusschen de beide cilinders liggenden draad, waardoor het contactpunt dadelijk in veel sterkere mate verandert, zijn zoo vele redenen die den rheostaat als meetinstrument geheel ongeschikt maken. Vele waarnemers, zoo als Becquerel, Kirchhoff, Pouillet, hebben den rheostaat dan ook bij hunne proeven verworpen en vervangen door eenen weerstandsbank, in den regel bestaande uit eenen platinadraad, waarvan men eene bepaalde lengte in den stroom bragt. Arndsen behield den rheostaat; bij zijne methode gaan de fouten van zijnen rheostaat echter tien malen verkleind over. Willibald Schmidt, die in den laatsten tijd weerstandsbepalingen verrigtte van keukenzout en salpeteroplossingen, wendde den rheostaat aan volgens de eerste methode.

Het heeft niet aan pogingen ontbroken om den rheostaat te verbeteren. Eerst heeft Poggendorff eene andere inrigting voorgeslagen, en later is hij door Jacobi [1]) aanmerkelijk verbeterd in zijnen voltagometer, alwaar het koper door twee platinadraden is vervangen, die afzonderlijk in twee kwikbakken hangen. De stroom gaat van den eenen kwikbak naar den anderen door middel van den platinadraad, en door dezen te doen rijzen of dalen, kan men den stroom een grooter of kleiner deel van den draad doen doorloopen. Van het contact is men hier vrij zeker.

Maar in weerwil hiervan blijven deze instrumenten toch steeds gebrekkig of liever onbruikbaar, zoodra men eene groote naauwkeurigheid wil bereiken. Alles berust hier toch op de evenredigheid tusschen weerstand en lengte, hetgeen in de praktijk zeer moeijelijk in een

---

1) Pogg. 78, p. 173.

instrument is te verwezenlijken. Want noch van de gelijkmatige dikte, noch van den gelijkmatigen weerstand van verschillende deelen van den koperdraad kan men zich ooit verzekerd houden, en afwijkingen in dit opzigt gaan natuurlijk als fouten in de waarnemingen over. Om deze reden hebben dan ook latere waarnemers hunnen rheostaat met eenen constanten weerstand vergeleken.

Zoo vond Willibald Schmidt [1]), dat de volgende deelen van zijnen rheostaat gelijken weerstand hadden als de Webersche copij, waarmede hij ze vergeleek:

0	
	1135
1135	
	1155
2290	
	1125
3415	
	1150
4565	
	1135
5700	
5585	
	1140
6725	
Gem.	1140.

De verschillen klimmen hier op tot $\frac{1}{38}$ (1125 en 1155), en bovendien blijft het onmogelijk, deze correctie juist aan te brengen, daar men den draad wel in een aantal deelen van gelijken weerstand verdeelt, maar daarom nog niets zekerder is omtrent den constanten weerstand in elk der deelen. De fouten kunnen dus hier nog tot $\frac{1}{38}$ opklimmen.

Waar men dus eene naauwkeurige weerstandsbepaling verlangt, zijn uit dit oogpunt alle methoden af te

1) Pogg. 107, p. 539.

keuren, waarbij men tot eenen rheostaat zijne toevlugt moet nemen. Slechts om de sterkte van eenen stroom te wijzigen kan een rheostaat nog van nut zijn.

Bij de andere wijze van waarnemen meet men de grootte van den weerstand door de sterkte van den stroom, en daar men deze laatste met eene veel grootere naauwkeurigheid kan meten, zijn deze methoden uit een praktisch oogpunt verre te verkiezen. Bij deze bepalingen gaat men dan na, welke de stroomsterkte is, wanneer twee weerstanden achtereenvolgens worden ingevoegd, waarvan de eene als maat dient voor den anderen.

De gewone Ohmsche methode behoort tot deze soort. Achtereenvolgens brengt men de twee weerstanden in de geleiding en bepaalt uit de stroomsterkte hunne verhouding. Hierbij is men echter geheel afhankelijk van de veranderlijkheid der batterij, die het bereiken van eene groote naauwkeurigheid verhindert.

In eenen anderen vorm is deze methode door Lenz aangewend. Hij gebruikte inductiestroomen, verkregen door het met koperdraad omwondene anker van eenen magneet af te rukken, waardoor hij op vrij constante momentanele stroomen kon rekenen. Deze doorliepen nu de windingen van den multiplicator, welks uitslagen werden afgelezen. Daarna bragt men er eenen weerstand in, en handelde dan verder zoo als bij de vorige methode vermeld is.

Deze methode is zeker veel beter dan eene der vroeger vermelde, daar de weerstand door stroomen bepaald wordt, die als vrij constant kunnen worden beschouwd. Muller twijfelt echter of dit afrukken wel altijd volkomen op dezelfde wijze zal geschieden, wat natuurlijk op de stroomsterkte van invloed is. Bovendien zal ook de

aflezing nog wel eenig bezwaar opleveren en niet zeer naauwkeurig kunnen geschieden, daar men uitslagen en geene constante afwijkingen afleest.

Weber heeft deze methode zeer gewijzigd en verbeterd. Hij wendt even als Lenz inductiestroomen aan, daar men deze constanter verkrijgen kan dan b. v. die van eene gewone cel. De inductor bestaat uit eenen houten cilinder, van binnen voorzien met twee magneten, die elkander hunne gelijknamige polen toekeeren. Deze houten cilinder is omgeven door eenen klos van koperdraad, tusschen welken hij zich heen en weder kan bewegen, tot de breedere uiteinden van den houten cilinder den koperen ring raken. De beweging van den cilinder is dus steeds even groot, en hetzelfde geldt dus van de integraalwaarde der geïnduceerde stroomen, waar het hier alleen op aankomt, en noch alleen op de intensiteit, noch alleen op den duur. Deze stroomen worden nu door den te onderzoeken weerstand geleid, waarbij men nog twee andere voordeelen heeft. Vooreerst heeft men alleen eene metalen keten, en ten tweede zijn de aangewende stroomen zwak en van korten duur, waardoor de door den stroom ontwikkelde warmte en de invloed van deze op den weerstand als onmerkbaar kunnen beschouwd worden.

Deze stroom doorliep nu vooreerst de windingen van eenen galvanometer, die met kijker en lineaal werd afgelezen, en verder den weerstand, die onderzocht werd. Eerst werd elk der twee weerstanden, die men wilde vergelijken, afzonderlijk in den stroom gebragt, dan beiden naast, en ten slotte beiden achter elkander; telkenmale werd de stroomsterkte op den galvanometer afgelezen.

Weber heeft twee verschillende waarnemingsmetho-

den voorgeslagen, de multiplicatie- en de terugwerpingsmethode. Bij de eerste werd, als de naald in rust was, een inductiestroom ontwikkeld, die de naald naar de positive zijde deed uitslaan, om welke reden de stroom een positive inductiestroom genoemd werd. Als de naald terug slingerende het nulpunt passeerde, werd haar een negative inductiestroom medegedeeld en alsdan de laagste uitslag afgelezen. Bij het terugkeeren deelde men de naald weder eenen positiven inductiestroom mede, las andermaal af, en zoo vervolgens. Men herhaalde tien tot twaalf malen, en nam het gemiddelde van alle aflezingen.

De tweede methode heeft volgens Weber eenige voordeelen boven de eerste. Hier werd eveneens aan de naald in rust een positive inductiestroom medegedeeld. Als zij dan het nulpunt weder bereikte, liet men ze doorslingeren naar de negative zijde, en voor de tweede maal het nulpunt bereikende werd haar de negative stoot medegedeeld, waardoor de naald niet alleen de positive beweging verloor maar zelfs eene negative aannam. De naald passeerde nu weder het nulpunt, bereikte hare positive elongatie, en als zij dan weder naar de negative zijde terugkeerde, werd haar bij het bereiken van het nulpunt de tweede positive stoot medegedeeld. Men herhaalde dit gewoonlijk tien malen, las alle elongatiën af, en nam hieruit de gemiddelde waarde.

Men herhaalt dit natuurlijk bij elken ingevoegden weerstand, en berekent dan de verhouding der weerstanden uit de elongatiën.

Daar de laatste methode het meest is aangewend, zullen wij hier de wijze aangeven, waarop de weerstand uit deze bepalingen berekend wordt. De ontwikkeling der formulen, waarop de berekening rust, vindt men in Weber's Electrodynamische Maassbestimmungen.

Nadat men de gemiddelde vier elongatiën (de twee positive en de twee negative) bij eenen ingevoegden weerstand heeft bepaald, neemt men het verschil van de eerste en de derde elongatie $= a$, dat van de tweede en de vierde $= b$, en heeft dan

$$\lambda = \text{log. nat.} \frac{a}{b} = \text{log. decr.}$$

Daarna berekent men:

$$\frac{a^2 + b^2}{\sqrt{ab}} e^{-\frac{\lambda}{\pi} \text{bg. tg.} \frac{\lambda}{\pi}},$$

welke laatste waarde evenredig aan de stroomsterkte kan beschouwd worden. Het bewijs hiervan vindt men in de vermelde Maassbestimmungen.

Wil men nu b. v. een weerstands etalon met eene copij vergelijken, zoo verrigt men deze waarneming en berekening vier malen, daar de beide weerstanden eerst elk afzonderlijk, daarna naast en ten slotte achter elkander in de geleiding worden geplaatst.

Noemt men nu

A de intensiteit bij invoeging van den etalon, die als maat dient,

B „ „ „ „ der copij,

C „ „ „ „ van beiden naast elkander,

D „ „ „ „ „ achter elkander,

zoo is de verhouding der weerstanden, berekend uit

$$\text{A, B en C} \quad \frac{\text{copij}}{\text{etalon}} \quad \frac{AB - AC}{AB - BC}, \text{ en uit}$$

$$\text{A, B en D} = \sqrt{\frac{AB - BD}{AB - AD}}.$$ De overeenkomst van beide aldus gevondene waarden is eene contrôle voor de naauwkeurigheid der waarnemingen.

Bij de multiplicatie-methode wordt de verhouding op overeenkomstige wijze berekend.

Deze methode heeft verscheidene voordeelen. Vooreerst heeft men stroomen, die men als volkomen constant kan beschouwen, en die voorts zwak genoeg zijn om den draad zoo goed als niet te verwarmen en dus geene weerstandsverhooging kunnen veroorzaken. Voorts wordt de weerstand hier berekend uit de uitslagen, die van de stroomsterkte afhangen, en die hier veel naauwkeuriger kunnen worden afgelezen dan bij Lenz. Van alle vermelde methoden is dus deze de beste, waar het naauwkeurige quantitative bepalingen geldt.

Terwijl bij de eerste soort van waarnemen de lengte van den draad des rheostaats als maat ten grondslag wordt gelegd, is bij de laatstvermelde methoden een constante weerstand noodig, waaraan men op verschillende wijzen heeft trachten te voldoen. In den aanvang stelde men voor, als weerstandseenheid aan te nemen den weerstand van eenen koperdraad van 1 □ millimeter doorsnede en 1 meter lengte, waardoor alsdan de bepalingen van verschillende physici vergelijkbaar zouden worden, daar ieder zich ligtelijk zulk eene eenheid konde verschaffen. Maar al spoedig stuitte men op vele bezwaren. Het is namelijk zeer moeijelijk den diameter met voldoende naauwkeurigheid te bepalen, waarbij nog kwam dat men bemerkte, dat eene kleine zamendrukking geene merkbare weerstandsvermeerdering ten gevolge had. De geringere diameter schijnt hier eenigzins opgewogen te worden door de grootere digtheid. Om deze reden had reeds Wheatstone in 1843 voorgesteld, den koperdraad niet te meten, maar te wegen, en dan den gemiddelden diameter door het specifiek gewigt te berekenen. Maar ook dan nog bleek deze maat

onbruikbaar, daar de verschillende kopersoorten om chemische en physische redenen zeer kunnen verschillen, en de bepalingen van verschillende physici bleven nog altijd onvergelijkbaar.

Pouillet, die zijne weerstanden door de lengte van eenen platinadraad mat, heeft dezen met eene kwikkolom vergeleken en alle waarnemingen op deze gereduceerd. Het kwik was gedistilleerd en bevond zich in eene glazen buis, welker diameter door wegen bepaald was. Daar nu ieder zich zuiver kwik kan aanschaffen, waren deze bepalingen met die van andere physici vergelijkbaar. Maar daar hij de weerstanden zelve door de lengte van eenen platinadraad bepaalde, was dit voordeel echter meer schijnbaar dan wezenlijk. Bovendien geeft hij de temperatuur des kwiks niet op, zoodat aan deze waarnemingen toch nog veel blijft ontbreken.

Hetzelfde geldt van waarnemingen van Marié Davy, in 1847 ondernomen, waar hij als weerstandseenheid aanneemt den weerstand van eene kwikkolom van 1 □ mill. middellijn. Weerstandsbepalingen op metalen verrigtte hij niet.

Om al deze onzekerheden te doen ophouden en de verschillende weerstandsbepalingen eindelijk vergelijkbaar te maken, stelde Jacobi uit Petersburg in 1846 voor, niet den weerstand van eenen koperdraad van bepaalde afmetingen, maar den weerstand van eenen willekeurigen koperdraad als eenheid aan te nemen. Een koperdraad, met was en hars omgeven, werd om een stuk hout gewonden en in een kistje geplaatst, zoodat hij voor allerlei uiterlijke invloeden was gevrijwaard. De draad eindigde in twee schroefjes ter opname der geleidingsdraden. Jacobi zond dezen draad aan eenige physici, die zich met weerstandsbepalingen bezig hiel-

den, met verzoek hunne weerstandmeters hiermede te vergelijken. Reduceerde alzoo ieder zijne weerstandsbepalingen op dezen koperdraad, zoo waren de bepalingen vergelijkbaar.

Op deze wijze was de fout geëlimineerd, voortvloeijende uit de verschillende chemische en moleculaire toestanden van het koper, alsmede die van het bepalen der afmetingen.

Daar het echter van belang is, dat de vergelijkingen met deze weerstandseenheid eenen hoogen graad van naauwkeurigheid bezitten, heeft Weber te Leipzig door Leyser een aantal copijen doen vervaardigen van den etalon van Jacobi.

De weerstand van deze copijen werd met dien van den etalon vergeleken, volgens de straks vermelde methoden, waarbij in den regel de terugwerpingsmethode werd aangewend. De waarnemingen werden volbragt door Quintus Icilius. Deze copijen werden voor een ieder verkrijgbaar gesteld, en voor zoo verre er dus op de onveranderlijkheid dezer koperdraden te vertrouwen viel, kon men de weerstanden met de copij, en door de bijgevoegde waarnemingen met den etalon van Jacobi vergelijken.

Weber merkte echter op, dat de aldus verkregene eenheid niets anders was dan eene specifieke, en geenszins eene absolute. Of men toch de weerstanden terugbragt op Jacobi's etalon dan wel op koper van bepaalde afmetingen, is voor het overige vrij onverschillig, maar eene absolute eenheid zoude men ze niet kunnen noemen, als niet voldoende aan de bestemming van absolute maten, namelijk om het aantal der willekeurig aangenomene eenheden te verminderen. Indien b. v. de Jacobische etalon met den tijd veranderde, zoo zoude men de latere bepalingen met de vroegere niet kunnen vergelijken, daar alles juist op deze specifieke weer-

standseenheid rustte. Kan men echter, zoo als Gauss voor het magnetisme gedaan heeft, den weerstand uitdrukken in reeds voorhandene maten, zoo als die van ruimte en tijd, zoo zoude men weerstandsbepalingen in waarlijk absolute maat kunnen aangeven. Zoolang dus de eenheden van ruimte en tijd onveranderd blijven, zoude ditzelfde van de weerstandseenheid gelden. De waarde van deze zoude dan altijd terug kunnen gevonden worden, ook al gingen alle vroegere copijen en etalons te gronde.

Weber heeft nu aldus deze weerstandseenheid in absolute maat gevonden.

Volgens de wet van Ohm hangt de intensiteit af van de electromotorische kracht en van den weerstand, en dus omgekeerd de weerstand van de twee eerstgenoemde grootheden. Zijn nu de electromotorische kracht en de stroomsterkte in absolute maat bekend, zoo zal het quotiënt van deze beiden den weerstand in absolute maat aangeven.

Volgens Gauss is:

de eenheid van het magnetisme die van eenen magneet, welke op eenen grooten afstand R op eenen anderen even magnetischen werkende, op dezen een draaijingsmoment uitoefent, dat zich verhoudt tot de eenheid van draaijingsmoment als $1 : R^3$. De as van den eersten magneet wordt hierbij loodregt gedacht op de verbindingslijn der middelpunten, terwijl die van den tweeden aan deze lijn evenwijdig loopt;

de eenheid van het aardmagnetisme die, welke op eenen magneet, die de eenheid van magnetisme bezit en loodregt op de rigting van het aardmagnetisme staat, de eenheid van draaijingsmoment uitoefent.

Hiermede overeenkomstig nam Weber de volgende absolute eenheden van stroomsterkte en electromotorische kracht aan:

de eenheid van stroomsterkte is die van eenen stroom, welke, de vlakte-eenheid omloopende, volgens electromagnetische wetten dezelfde werkingen uitoefent als de eenheid van magnetisme;

de eenheid van electromotorische kracht is die, welke door de eenheid van het aardmagnetisme op eenen gesloten metaaldraad wordt uitgeoefend, als deze zoo gedraaid wordt, dat de vlakte, begrensd door zijne projectie op een op de rigting van het aardmagnetisme loodregt vlak, gedurende de tijdseenheid zooveel toe- of afneemt als de vlakte-eenheid bedraagt [1]).

Is nu J de eenheid van stroomsterkte,
E „ „ „ electromotorische kracht,
W „ „ „ weerstand,

en voorts iJ de gemetene stroomsterkte, eE de gemetene electromotorische kracht, zoo zal $w = \frac{e}{i}$ den weerstand opleveren in absolute maat.

Hij vindt aldus, dat de weerstandseenheid kan bepaald worden uit de lengte en de tijdseenheid, millimeter en seconde; en daar in de formule het quotiënt van beiden voorkomt, berust de weerstandseenheid dus alleen op eene snelheidsmaat.

Twee methoden wendde hij ter bepaling aan, waarvan vooral de tweede zeer belangrijk is.

In het midden van eenen klos, om welken een gesloten koperdraad herhaalde malen is gewonden, hangt eene magneetnaald, welker uitslagen door den haar omgevenden koperdraad gedempt worden.

Volgens magneto-electrische wetten wordt namelijk in den koperdraad eene electromotorische kracht opgewekt,

---

1) Weber, Elektrodyn. Maasbestimm., Leipz. 1850, S. 218.

die een stroom doet ontstaan, welke op de naald volgens electromagnetische wetten terugwerkt en daardoor eene demping veroorzaakt. Op deze wijze heeft men slechts de slingeringen waar te nemen, welker grootte de electromotorische kracht en welker afname de sterkte van den geïnduceerden stroom bepaalt. Is toch het magnetisme der naald in absolute maat bekend, zoo berekent men hieruit in absolute maat de opgewekte electromotorische kracht, terwijl uit de grootte der demping de absolute maat der stroomsterkte werd afgeleid.

Van eenen langen koperdraad, die hem ten dienste stond, werd de weerstand op deze wijze in absolute maat bepaald. Hij vond namelijk in drie bepalingen:

$$\begin{array}{rl} & 19030.\ 10^{7\,\frac{\text{mill.}}{\text{sec.}}} \\ & 18980.\ 10^{7} \\ & 19000.\ 10^{7} \\ \hline \text{Gem.} & 19003.\ 10^{7\,\frac{\text{mill.}}{\text{sec.}}} \end{array}$$

Door dezen draad te vergelijken met den Jacobischen etalon vond hij voor dezen $598.\ 10^{7\,\frac{\text{mill.}}{\text{sec.}}}$. Daar nu de weerstand der copijen steeds wordt opgegeven ten opzigte van die van Jacobi, kan men deze in absolute eenheden uitdrukken door haren weerstand, uitgedrukt in eenheden van Jacobi's etalon, met $598.\ 10^{7}$ te vermenigvuldigen.

Heeft men dus in de methode van Weber een naauwkeurig middel om de weerstanden te vergelijken, zoo is men tevens door zijne copijen in staat, iederen weerstand in absolute eenheid uit te drukken. Men scheen dus alles te bezitten, wat voor eene naauwkeurige weerstandsbepaling wordt gevorderd.

HOOFDSTUK III.

DE METHODE VAN DEN HEER BOSSCHA.

Toen ik mij voorgesteld had, eene weerstandsbepaling van het kwik in absolute maat als onderwerp mijner dissertatie te nemen, werd mij door den heer Bosscha eene methode medegedeeld om weerstanden te meten, die reeds vaak was aangewend en steeds zeer voldoende resultaten had opgeleverd. Voor naauwkeurige bepalingen toch is een rheostaat niet aan te wenden, en de methoden, die op zijn gebruik berusten, vervielen dus van zelf. Slechts de methode van Weber kwam in aanmerking, maar hoewel veel naauwkeuriger dan de andere, heeft ook zij hare bezwaren, waaronder vooral moet gerangschikt worden, dat zij zeer omslagtig en langwijlig is in hare berekeningen, waardoor deze methode bijna onbruikbaar wordt, als men een eenigzins aanzienlijk aantal bepalingen wil verrigten. Bij vergelijking van etalons, hetgeen uit den aard der zaak slechts zelden voorkomt, is dit bezwaar niet zoo groot, maar het wordt overwegend, waar men een naauwkeurig quan-

titatief onderzoek van eenigen omvang op het oog heeft. Om deze redenen had de heer Bosscha deze methode bij zijn onderzoek verworpen en door de hieronder medegedeelde vervangen.

Het beginsel, waarop zij berust, komt hier op neder:

Wanneer een stroom verdeeld wordt in twee takken, welker weerstanden zijn a en b, dan is de betrekking tusschen de stroomsterkte in den tak b en die in den hoofdstam d, (fig. 3)

$$\frac{a}{a + b}.$$

Noemt men den hoofdstroom J, dan is dus de stroomsterkte in b

$$i = \frac{a}{a + b} \text{ J} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{(a).}$$

Wanneer de weerstand b vermeerderd wordt, zal, zoolang J dezelfde waarde behoudt, de stroomsterkte i afnemen; men heeft het echter in zijne magt, door verandering van weerstand in den hoofdtak of door andere middelen, J grooter te maken en het derhalve zoodanig in te rigten, dat, niettegenstaande de vermeerdering van de waarde van b, die van i dezelfde blijve. Is dan m de vermeerdering die b ondergaan heeft, en J de waarde die men aan de stroomsterkte van den hoofdtak moet geven, opdat die van i dezelfde blijve, dan is

$$i = \frac{a}{a + b + m} \text{ J}' \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{(b),}$$

of in verband met vergelijking (a)

$$\frac{a}{a+b} J = \frac{a}{a+b+m} J'$$

en $$\frac{m}{a+b} = \frac{J'}{J} - 1 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (c).$$

Is dus in den hoofdtak een meetwerktuig tot de bepaling der stroomsterkten J en J', b. v. eene tangentenboussole geplaatst, en bevindt zich in b een multiplicator of eenige andere toestel, die aan geene andere voorwaarde behoeft te voldoen, dan bij gelijke stroomsterkte dezelfde aanwijzing te geven, zoo kan men de betrekking van m met $a + b$ bepalen. Voegt men nu in b eenen anderen geleider, welks weerstand m' genoemd wordt, zoo heeft men evenzoo de betrekking

$$\frac{m'}{a+b} = \frac{J''}{J} - 1 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (d).$$

Uit (c) en (d) vindt men dan

$$\frac{m'}{m} = \frac{\frac{J''}{J} - 1}{\frac{J'}{J} - 1} = \frac{J'' - J}{J' - J} \quad . \quad . \quad (e).$$

Deze handelwijze levert dus een middel op, om het quotiënt van twee willekeurige weerstanden te bepalen. De quotiënten $\frac{m}{a+b}$, $\frac{m'}{a+b}$ worden verkregen door de eenheid af te trekken van het quotiënt der stroomsterkten J en J'', J en J'. De naauwkeurigheid der uitkomst wordt daardoor, wanneer het quotiënt $\frac{J'}{J}$ niet veel van de eenheid verschilt, aanmerkelijk verkleind. Heeft men dit laatste namelijk met eene naauwkeurig-

heid van $\frac{1}{1000}$ bepaald b. v. op 1.050, dan zal het quotiënt $\frac{m}{a+b}$ slechts tot op $\frac{1}{50}$ zijner waarde zeker zijn. Men behoort dus het quotiënt $\frac{m}{a+b}$ zoo groot mogelijk te nemen.

De gevoelige rheoscopen hebben meestal eenen zeer grooten weerstand, en daar bij hun gebruik b derhalve eene aanmerkelijke waarde heeft, zoo zouden zij alleenlijk ter bepaling van zeer groote weerstanden m kunnen gebezigd worden. Voor de bepaling van kleinere weerstanden zoude men dus afzonderlijke werktuigen moeten bezitten, die een kleinen weerstand hadden en tevens gevoelige rheoscopen waren.

Dit bezwaar kan men gemakkelijk uit den weg ruimen door eene tweede nevensluiting aan te brengen, zoo als in de fig. 4 is aangewezen in f. Stellen wij den weerstand tusschen c en g, gevoegd bij dien tusschen c en h, $= p$, dien van den multiplicator $= g$, dan was in het eerste geval, d. i. zonder nevensluiting in f, het quotiënt, waaruit m berekend wordt,

$$\frac{J'}{J} - 1 = \frac{m}{a + p + g}.$$

Is daarentegen de nevensluiting f aangebragt, dan komt, in plaats van den grooten weerstand g, de waarde $\frac{fg}{f+g}$, die, als g groot is ten opzigte van f, $= f$ kan genomen worden. Men heeft dus in dit geval

$$\frac{J'}{J} - 1 = \frac{m}{a + p + f},$$

en den weerstand $a + p + f$ kan men steeds klein

genoeg maken, om aan dit quotiënt eene groote waarde te geven.

In de meeste gevallen zal het onmogelijk zijn in de beide waarnemingen, waaruit de betrekking $\frac{m}{a + b}$ wordt afgeleid, de stroomen in den multiplicator juist gelijk te maken. Men kan echter gemakkelijk kleine verschillen in de aanwijzingen van den multiplicator behouden, en aannemen, dat de stroomsterkten binnen de grenzen der kleine overgeblevene verschillen regtstrecks evenredig waren aan de afwijkingen. Men heeft dan, om de waarnemingen tot gelijke stroomsterkte te herleiden, de gecorrigeerde aflezingen der tangentenbussole te deelen door die van den multiplicator. Uit vroegere waarnemingen was den heer Bosscha gebleken dat dit geoorloofd was, en de later verrigte waarnemingen hebben dit nog nader bevestigd.

Bij de volgende waarnemingen werden twee galvanometers aangewend, welker nadere beschrijving later volgt. Een van deze, die waarop J, J′, J″ worden afgelezen, moet met groote naauwkeurigheid de stroomsterkte aangeven en dus bij voorkeur van eene kleine naald en van groote draadwindingen voorzien zijn. Bij den anderen is dit overbodig. De inrigting is hier geheel willekeurig, daar het instrument steeds dezelfde aflezing moet aangeven.

De overige bijzonderheden, die bij deze methode nog in aanmerking komen, worden in het vijfde hoofdstuk vermeld.

Voorts verdient het nog eenige opmerking, dat de naauwkeurigheid, die de methode toelaat, aanmerkelijk verhoogd wordt, wanneer de geleiders, die men vergelijkt, niet veel in weerstand verschillen. Men trekt toch steeds

J af van J′ en J″, en hoe minder dus J′ en J″ verschillen, des te geringer invloed zal eene fout in de bepaling van J op de verhouding der weerstanden hebben. Waren zij volkomen gelijk, zoo zoude de invloed van deze fout geheel uit het resultaat verdwijnen. Wij hopen later uit de waarnemingen zelve de methode te regtvaardigen, maar reeds thans laat zich inzien, dat zij de voornaamste voorwaarden vervult, waaraan eene methode van weerstandsbepaling moet voldoen. Immers deze zijn:

1°. dat de weerstand bepaald worde door de stroomsterkte;

2°. dat de uitkomst onafhankelijk zij van veranderingen der stroomsterkte, veroorzaakt door de onstandvastigheid van den electromotor;

3°. dat de stroom, die door den geleider gevoerd wordt welks weerstand men wil bepalen, zoo zwak zij, dat men geene merkbare verwarming en geene daaruit voortvloeijende weerstandsverandering te vreezen heeft.

Daar de hier vermelde methode aan de eerste voorwaarde voldoet, is zij beter dan al die, waarbij rheostaten worden aangewend. Wij hebben ze dus alleen met de methode van Weber te vergelijken, daar die van Lenz voor die van Weber moet onderdoen.

Aan de tweede voorwaarde wordt voldaan, daar de aflezingen op den multiplicator en op de tangentenbousole gelijktijdig geschieden; eene verandering in de stroomsterkte wordt dus dadelijk aangewezen en in rekening gebragt. Bij Weber was de electromotorische kracht steeds constant, daar hij op de hierboven beschrevene wijze inductiestroomen aanwendde.

Wat eindelijk de derde voorwaarde betreft, zoo heeft men het in zijne magt, den stroom zoo zwak als men

wil te maken. De uitslag van den multiplicator geeft de intensiteit van den stroom aan, die bovendien nog verzwakt in den te meten weerstand overgaat. Zijn dus de galvanometers slechts gevoelig genoeg, zoo kan men de stroomsterkte naar willekeur verminderen.

Bij Weber werd aan deze voorwaarde voldaan door de geringe intensiteit der inductiestroomen. Wij zien dus, dat beide methoden gelijkelijk aan deze drie voorwaarden voldoen en derhalve uit een theoretisch oogpunt op gelijke lijn kunnen gesteld worden. In de volgende hoofdstukken hopen wij echter aan te toonen, dat de hier vermelde methode uit een practisch oogpunt verscheidene voordeelen aanbiedt boven die van Weber.

HOOFDSTUK IV.

DE INRIGTING DER PROEFNEMINGEN.

De proeven werden verrigt op de sectiekamer der anatomie te Utrecht, daar de zaal van het physisch kabinet voor deze proeven minder geschikt was.

In B (fig. 5) stond eene Daniëlsche cel, die als batterij diende. De stroom liep eerst naar de tangenten-boussole T, waarvan de aflezingen geschiedden met kijker en liniaal in K, en vervolgens naar D, waar hij zich splitste. In C was een commutator geplaatst, waardoor men den stroom in tegengestelde rigtingen de windingen van de tangenten-boussole kon doen doorloopen, en dus uitslagen links en regts van het nulpunt verkrijgen. Op deze wijze werd bij de waarnemingen steeds het nulpunt geëlimineerd.

In D werd de stroom verdeeld: het eene deel ging direct naar E; het andere ging naar den multiplicator M, die in L met kijker en schaal werd afgelezen, doorliep vervolgens den te bepalen weerstand R, en vereenigde zich in E weder met DE. Vereenigd liep de stroom verder door tot B.

Daar nu de weerstand in M in den regel vrij groot is en de weerstand van R bepaald wordt ten opzigte van dien in E M D, zoude de bepaling van kleine weerstanden onnaauwkeurig worden. Om deze reden is de verbindingsdraad O N aangebragt, zoo als reeds in het vorige hoofdstuk vermeld is geworden. Vergelijkt men deze inrigting met het schema in het vorige hoofdstuk vermeld, zoo zal men ligt inzien, dat B, T, M en R (fig. 4) hare beteekenis behouden, terwijl *ec* door ED en *gh* door ON zijn vervangen geworden.

In W was een regulator opgesteld om den stroom zoo veel te verzwakken of te versterken, als noodig was om de afwijking van den multiplicator steeds hetzelfde bedrag te doen behouden.

Om de naald in de tangentenboussole spoedig tot rust te brengen, werd, in navolging van den heer Bosscha, in P eene koperen spiraal opgesteld, die men in de eene of andere rigting door den stroom van de batterij Q konde doen doorloopen. In S was een commutator geplaatst. Men had dus eene Ampèresche solenoïde, die men naar willekeur de naald kon doen aantrekken of afstooten, welke naald aldus spoedig tot rust kwam.

Het blijkt dus, dat de geheele bepaling neerkwam op de aflezingen in M en T bij verschillende ingevoegde weerstanden, en wij zullen dus de wijze nagaan waarop dit geschiedt, en de correctiën die aangebragt moeten worden.

De multiplicator bestond uit eenen magneet, 50mill. lang, 10 breed en 4 hoog, die met een spiegel voorzien aan eenen cocondraad was opgehangen en voorts met eenen sterken demper was omgeven. De draden waren niet om de naald heen gewonden; aan wederzijde waren daarentegen twee klossen aangebragt. Men was dus wel

niet zeker, dat de stroomsterkte evenredig was aan de uitslagen, maar dit was hier ook niet noodig, daar men ze steeds tot denzelfden uitslag moest terugbrengen, hetgeen geschiedde door in W meer of minder weerstand in te brengen. Waar dit niet volkomen gelukte, kon men binnen de kleine afwijkingen de stroomsterkte aan de uitslagen evenredig stellen. Men had hier dus aan de aflezing geene enkele correctie aan te brengen.

De aflezing geschiedde met eenen kijker, die ongeveer 30 malen vergrootte. Als liniaal werd een in millimeters verdeelde meter aangewend.

Maar bij de tangentenboussole B moest men de stroomsterkte door de uitslagen der naald met zeer groote naauwkeurigheid kunnen meten, en wij zullen daarom achtereenvolgens beschouwen de inrigting van het instrument en de correctiën, die aan de aflezingen moesten worden aangebragt. Van de naauwkeurigheid toch, waarmede de stroomsterkte in T bekend was, hing de waarde der weerstandsbepaling direct af.

Het instrument was vervaardigd geworden door den mechanicus Olland te Utrecht. Het bestond uit eene houten schijf van 6 palm middellijn, waarom de draadwindingen ten getale van 10 waren gewonden. Deze vormden 2 stelsels van 5 draden, zoodat men de windingen achter of naast elkander, alsmede in tegengestelde rigting door den stroom kon doen doorloopen, en dus als differentiaal-galvanometer aanwenden, welke inrigting echter bij de hier verrigte proeven niet voorkwam. In het midden van de schijf was eene sleuf, in welker midden de naald, met eenen spiegel voorzien, aan eenen cocondraad was opgehangen. De ruimte der sleuf was aan wederzijde met glas omgeven om luchtstroomen te

voorkomen, terwijl het ophangpunt des draads van boven met eenen torsiecirkel was voorzien.

De afmetingen waren:

Straal der windingen	300mill.
Breedte der laag	20
Aantal windingen	10
Dikte der draden	2
Lengte der naald	40
Dikte van het spiegelglas	3.6
Dikte van het glas voor de sleuf	2.0
Afstand van schaal en spiegel	2240.

De kijker was een van Molteni en met astronomisch oculair voorzien, en vergrootte 58 malen. De liniaal was van koper en verzilverd. Zij was 12 palm lang en was in halve millimeters verdeeld, waarvan men dus nog tienden kon schatten. Men schatte dus $\frac{1}{24000}$ der geheele lengte, en alle correctiën, die binnen dit bereik vielen, moesten dus afzonderlijk worden nagegaan.

Daar nu de waarde der bepaling voor een groot deel afhing van de naauwkeurigheid, waarmede deze correctiën bekend waren, werden zij allen, voor zoo verre zij in aanmerking konden komen, in het bijzonder nagegaan. Bij sommigen bleek de invloed onmerkbaar te zijn.

I. Bij het aflezen met spiegel en liniaal is de aflezing evenredig aan de tangens van den dubbelen uitslag, en dus niet aan de tangens van den hoek zelven.

Zij AC (fig. 6) de liniaal, O de spiegel, AOB de uitslag, zoo leest men niet AB maar AC af.

Nu heeft men echter, daar $\angle$ AOB $=$ $\angle$ BOC is, en verder OA $= a$, AC $= c$, AB $= d$ stellende, de evenredigheid $d : c - d = a : \sqrt{a^2 + c^2}$, waaruit volgt:

$d = \dfrac{e}{1 + \sqrt{1 + \dfrac{e^2}{a^2}}}$. Dit ontwikkelende vindt men

$$d = e\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{8}\frac{e^2}{a^2} + \frac{1}{16}\frac{e^4}{a^4} - \text{enz.}\right).$$

Daar men echter steeds links en regts afleest, en verder d zelf niet behoeft te kennen, daar men den hoek niet zoekt, kan men de correctie onmiddelijk aan het verschil der aflezingen $2\,e$ aanbrengen. Vermenigvuldigende met 4 heeft men

$$4\,d = 2\,e - \frac{1}{2}\frac{e^3}{a^3} = 2\,e - \frac{(2\,e)^3}{(4\,a)^2},$$

de hoogere magten van e verwaarloozende.

Nu is $a = 2240^{\text{mill.}}$, en de correctie dus

$$-\frac{(2\,e)^3}{80281600}.$$

Deze werd aan alle waarnemingen dadelijk aangebragt.

II. De volgende term is veel kleiner en $= \dfrac{1}{4}\dfrac{e^5}{a^4}$.

Bij den grootsten uitslag $e = 600^{\text{mill.}}$ bedraagt deze 0.77 en komt dus nog in aanmerking.

Hierbij valt nog op te merken, dat in den regel kijker en liniaal niet in hetzelfde horizontale vlak geplaatst zijn met den spiegel, welk geval bij de correctie ondersteld was. Projecteert men echter de stralen, van de lineaal naar den spiegel en van daar naar den kijker loopende, in dit geval op een horizontaal vlak, zoo ziet men dat deze projectie onafhankelijk is van den afstand van kijker en liniaal, en hetzelfde geldt dus ook van de correctie.

III. De stroomsterkte is niet volkomen evenredig aan de tangenten der uitslagen.

Reeds voor lang had Pouillet bemerkt, dat bij de tangentenboussole de uitslagen niet volkomen evenredig waren aan de stroomsterkte, vooral als de uitslag eenigzins groot werd. Bravais [1]) berekende daarop de correctie voor het gewone geval eener tangentenboussole, uitgaande van de formulen van Ampère.

Hij vond de volgende formule:

$$i = \frac{M}{2R^2} \frac{\operatorname{tg}\Delta}{\pi} \left\{ (R^2 + D^2)^{3/2} - \frac{3\,l^2 (R^2 - 4D^2)}{4\,(R^2 + D^2)^{1/2}} + \frac{15\,l^2 (R^2 - 4D^2)}{4\,(R^2 + D^2)^{1/2}} \sin^2\Delta \right\}.$$

Hier beteekent:

i de intensiteit van den stroom,

M de horizontale composante der aardmagneetkracht,

R den straal der windingen,

D den afstand van eenen draad tot den middendraad,

l de halve lengte der naald,

Δ den uitslag.

Om deze formule toepasselijk te maken op het geval dat niet één, maar meer draden naast elkander liggen, een ring van de breedte 20$^{\text{mill.}}$ vormende, moest men ze integreren ten opzigte van D. De heer Bosscha [2]) vond aldus, integrerende tusschen $+b$ en $-b$, deelende door $2\,b$, en $\frac{l}{R}$ door α vervangende:

---

1) Pogg. 88, p. 446.

2) Pogg. 101, p. 527.

$$i = \frac{M \operatorname{tg} \Delta}{2\pi} \left\{ \frac{5R^2 + 2b^2 + 12l^2}{8R^2} \sqrt{R^2 + b^2} \right.$$

$$+ \frac{3}{8}\left(\frac{R^2 - 6l^2}{2b}\right) \lg \frac{b + \sqrt{R^2 + b^2}}{-b + \sqrt{R^2 + b^2}}$$

$$\left. + \frac{15}{4} \alpha^2 \sin^2 \Delta \left\{ \frac{3R^2}{2b} \lg \frac{b + \sqrt{R^2 + b^2}}{-b + \sqrt{R^2 + b^2}} - 2\sqrt{R^2 + b^2} \right\} \right\}.$$

Deze correctie berekenende vindt men:

$$\frac{5R^2 + 2b^2 + 12l^2}{8R^2} \sqrt{R^2 + b^2} = 189.6,$$

$$\text{Nep. lg} \frac{b + \sqrt{R^2 + b^2}}{-b + \sqrt{R^2 + b^2}} = 0.0668,$$

$$\frac{3}{8}\left\{\frac{R^2 - 6l^2}{2b}\right\} \lg \frac{b + \sqrt{R^2 + b^2}}{-b + \sqrt{R^2 + b^2}} = 109.72,$$

$$\frac{15}{4} \alpha^2 \left\{ \frac{3R^2}{2b} \lg \frac{b + \sqrt{R^2 + b^2}}{-b + \sqrt{R^2 + b^2}} - 2\sqrt{R^2 + b^2} \right\} = 5.03.$$

Derhalve:

$$i = \frac{M \operatorname{tg} \Delta}{2\pi} (299.3 + 5.03 \sin^2 \Delta) =$$

$$= \frac{299.3\ M}{2\pi} (1 + 0.017 \sin^2 \Delta) \operatorname{tg} \Delta.$$

Maar daar de afstand van schaal en spiegel $= a$, en de aflezing $= d$ is, is

$$i = \frac{299.3}{2\pi} M \left(1 + 0.017 \frac{d^2}{a^2 + d^2}\right) \frac{d}{a},$$

en dus de correctie

$$+ 0.017 \frac{d^2}{a^2 + d^2} d = K d.$$

Voor $d = 300$ is $K = 0.0003$. Het verschil der aflezingen is alsdan 1200, en men heeft aldus de correctie

1200	+ 0.360
1000	+ 0.210
800	+ 0.104
600	+ 0.044
400	+ 0.013.

Bij de formule van Bravais zijn de magten van $\frac{l}{R}$ of α, hooger dan de tweede, verwaarloosd. Als men den invloed van deze nagaat, blijkt het dat zij geheel buiten rekening kunnen blijven. Men vindt toch voor den coëfficiënt van $\frac{l^4}{\rho^4}$:

$$\frac{9}{4}\left(1 - \frac{5}{2}\,\frac{a^2 + 4\,b^2}{\rho^2}\right)^2 + \frac{3.5.7}{2.2.4}\left\{\frac{a^2 + 4\,b^2}{\rho^2} - \frac{9}{4}\,\frac{a^4 + 12\,a^2\,b^2 + 8\,b^4}{\rho^4}\right\}.$$

Nu is, $\rho^2 = R^2 + l^2$, $a^2 + 4\,b^2 = R^2 \cos^2 \Delta$,

$$a^4 + 12\,a^2\,b^2 + 8\,b^4 = R^4\,(1 - 2\sin^2\Delta)$$

stellende, en l naast R verwaarloozende:

$$\frac{9}{4}\left(1 - \frac{5}{2}\cos^2\Delta\right)^2 + \frac{3.5.7}{2.2.4}\left\{\cos^2\Delta - \frac{9}{4}(1 - 2\sin^2\Delta)\right\} =$$

$$= \frac{9}{4}\left(1 - 5\cos^2\Delta + \frac{2.5}{4}\cos^4\Delta\right) + \frac{105}{32}\left\{\cos^2\Delta + \frac{9}{4}(1 - 2\cos^2\Delta)\right\} = \frac{1089}{64} - \frac{1095}{32}\cos^2\Delta + \frac{225}{16}\cos^4\Delta =$$

$$= 17 - 36\cos^2\Delta + 14\cos^4\Delta.$$

De coëfficiënt is dus $= -5$ voor $\Delta = 0$,

$= -4.880$ voor $\Delta = 7$.

Nu is $\frac{l^4}{(R^2 + l^2)^2} = \frac{1}{51076}$, en de correctie dus

voor 0° 0.00009
voor 7° 0.00008,

en zij zoude dus voor de aflezing 1200 klimmen tot 0.09.

Men kan ze echter geheel verwaarloozen, daar Δ steeds zeer klein is, en $\cos \Delta$ dus zoo weinig verandert, dat men den gevonden factor voor alle uitslagen als constant, en dus als zonder eenigen invloed kan beschouwen.

IV. Correctie, afhangende van het glas van den spiegel.

Indien men een glazen spiegel heeft, ondergaat de lichtstraal eene breking, welker invloed moet nagegaan worden.

Ware de spiegel van metaal, zoo zoude de lichtstraal, volgens de lijn AD (fig. 7) invallende, volgens DH worden teruggekaatst. Thans echter gaat hij den weg ABCEG. Daar men in het eerste geval de aflezing H, in het tweede de aflezing G heeft, moet de correctie GH worden aangebragt, of althans worden nagegaan in hoe verre deze al dan niet evenredig is met de uitslagen.

Zij nu p de dikte van het glas,
n „ brekingsindex,
i „ invalshoek,
k „ brekingshoek,

dan is $GH = EK = EF \frac{\cos i}{\cos 2i}$,

$$EF = BF - BE \quad 2p(\operatorname{tg} i - \operatorname{tg} k) =$$

$$= 2p \operatorname{tg} i \left(1 - \frac{1}{\sqrt{n^2 + (n^2 - 1)\operatorname{tg}^2 i}}\right),$$

$$GH = 2p \frac{\sin i}{\cos 2i}\left(1 - \frac{1}{\sqrt{n^2 + (n^2 - 1)\operatorname{tg}^2 i}}\right) =$$

$$= 2p\frac{\operatorname{tg} i\sqrt{1+\operatorname{tg}^2 i}}{1-\operatorname{tg}^2 i}\left(1-\frac{1}{\sqrt{n^2+(n^2-1)\operatorname{tg}^2 i}}\right),$$

of volgens $\operatorname{tg} i$ ontwikkelende,

$$=2p\operatorname{tg} i\left(1+\frac{1}{2}\operatorname{tg}^2 i\right)\left(1+\operatorname{tg}^2 i\right)\left\{1-\left(\frac{1}{n}-\frac{1}{2}\frac{n^2-1}{n^3}\operatorname{tg}^2 i\right)\right\}$$

$$=2p\operatorname{tg} i\left(\frac{n-1}{n}+\frac{3n^3-2n^2-1}{2n^3}\operatorname{tg}^2 i\right),$$

de hoogere magten van $\operatorname{tg} i$ verwaarloozende.

Nu is $\operatorname{tg} 2i = \frac{e}{a}$, waaruit men achtereenvolgens afleidt:

$$\frac{2\operatorname{tg} i}{1-\operatorname{tg}^2 i} = \frac{e}{a},$$

$$\operatorname{tg}^2 i + \frac{2a}{e}\operatorname{tg} i - 1 = 0,$$

$$\operatorname{tg} i = -\frac{a}{e} + \sqrt{\frac{a^2}{e^2}+1} = \frac{a}{e}\left\{\sqrt{1+\frac{e^2}{a^2}}-1\right\}$$

en daar $\sqrt{1+\frac{e^2}{a^2}} = 1+\frac{e_2}{2a^2}-\frac{e^4}{8a^4}+\ldots,$

$$\text{wordt } \operatorname{tg} i = \frac{e}{2a}-\frac{e^3}{8a^3}$$

en dus $\operatorname{tg}^3 i = \frac{e^3}{8a^3}$, de hoogere magten verwaarloozende.

Door substitutie vindt men dan:

$$\text{Corr.} = p\frac{e}{a}\left\{\frac{n-1}{n}\left(i-\frac{e^2}{4a^2}\right)+\frac{3n^3-2n^2-1}{8n^3}\frac{e^2}{a^2}\right\}=$$

$$= p\frac{e}{a}\left(\frac{n-1}{n}+\frac{n^3-1}{8n^3}\frac{e^2}{a^2}\right).$$

$$\text{Nu is } n = 1.6,$$
$$p = 3.6,$$
$$a = 2240,$$

$$\text{Corr.} = \frac{1.35}{2240}\, e + \frac{0.34}{(2240)^3}\, e^3.$$

V. Correctie, afhangende van de dekplaat.

Zij p de dikte van het glas G,

n de brekingsindex $= \dfrac{\sin i}{\sin k}$.

De op den spiegel S teruggekaatste straal wordt dan gebroken volgens BL (fig. 8).

Nu is weder

$$BC = AC - AB = p\,(\operatorname{tg} i - \operatorname{tg} k) =$$

$$= p \operatorname{tg} i \left(1 - \frac{1}{\sqrt{n + (n^2 - 1)\operatorname{tg}^2 i}} \right) =$$

$$= p \operatorname{tg} i \left(\frac{n-1}{n} + \frac{n^2 - 1}{2\, n^3} \operatorname{tg}^2 i \right),$$

$$\text{of, daar } \operatorname{tg} i = \frac{e}{2\,a} - \frac{e^3}{8\,a^3} \text{ is,}$$

$$\text{Corr.} = p\, \frac{e}{2\,a} \left(\frac{n-1}{n} - \frac{2\,n^3 - 3\,n^2 + 1}{2\,n^3}\, \frac{e^2}{4\,a^2} \right).$$

Nu is $p = 2$, en bij gevolg

$$\text{Corr.} = \frac{0.38}{2240}\, e + \frac{0.05}{(2240)^3}\, e^3.$$

VI. Over den invloed van den prismatischen vorm der glazen.

Indien de spiegel prismatisch is, zal dit natuurlijk invloed hebben op den gang des straals, daar alsdan

de invalshoek niet meer gelijk is aan den hoek van uitval.

Zij φ de prismatische hoek (fig. 9),
FB en LM de zijden van het glas,
NG, HC en KD de normalen, POCDE de straal,
en voorts $\angle$ GOC $= k$
dan is sin PON $= n \sin k = \sin J$,

$$\angle \text{OCH} = \angle \text{HCD} = k - \varphi,$$
$$\angle \text{CDK} = k - 2\varphi.$$

De hoek, dien ED met de normaal ON maakt, is alsdan gegeven door de vergelijking:

$$\sin i = n \sin (k - 2\varphi).$$

Evenzoo vindt men bij tegengestelden stand van den spiegel $\sin i' = n \sin (k + 2\varphi)$. Daar nu φ steeds zeer klein is, volgt hieruit:

$\sin i = n \sin k - 2\varphi n \cos k$,
$\sin i' = n \sin k + 2\varphi n \cos k$. En dus:
$\sin i + \sin i' = 2 n \sin k = 2 \sin J$, of
$2 \sin \frac{1}{2} (i + i') \cos \frac{1}{2} (i - i') = 2 \sin J$.

Maar $\cos \frac{1}{2} (i - i') = 1$ stellende, heeft men, daar i en i' steeds zeer weinig zullen verschillen,

$$i + i' = 2 J.$$

Zoo dus φ klein is, wordt de invloed van deze fout geëlimineerd bij aflezingen aan weerszijde van het nulpunt.

Hetzelfde geldt van de glazen plaat.

VII. De invloed van de torsie des draads kan men beschouwen als weg te vallen, daar deze als volkomen evenredig aan de uitslagen mag beschouwd worden.

Wij moeten nu nog nagaan, welken invloed de opstelling van kijker en liniaal kan hebben.

VIII. Men bepale eerst het punt der schaal, dat juist onder de as des kijkers komt te liggen, en stelle den kijker zoo, dat deze plaats, in den spiegel teruggekaatst, juist zamenvalt met den draad, in het midden des velds gespannen. Daarna moet de liniaal juist loodregt op de as des kijkers worden opgesteld, aan welke voorwaarde men op verschillende wijzen met toereikende naauwkeurigheid kan voldoen, daar eene kleine fout buiten invloed blijft.

Maakt toch FE (fig. 10) met BD den hoek ϕ, die klein ondersteld wordt, zoo is het verschil van BD en FE van hoogere orde.

Zij toch $AB = AD = r$,

$\angle ABC = \angle ADC = k$ en $\angle BAE = \phi$,

zoo is $AE = \dfrac{r \sin k}{\sin(k+\phi)}$, $AF = \dfrac{r \sin k}{\sin(k-\phi)}$. Derhalve

$$EF = r \sin k \frac{\sin(k+\phi) + \sin(k-\phi)}{\sin(k-\phi)\sin(k+\phi)} =$$

$$= 2r \sin^2 k \frac{2\cos\phi}{\cos 2\phi - \cos 2k} = 2r \sin^2 k \frac{\cos\phi}{\cos^2\phi - \cos^2 k}.$$

Stel $\cos\phi = 1 - \dfrac{\phi^2}{2}$, zoo is

$$EF = 2r \sin^2 k \frac{1 - \dfrac{\phi^2}{2}}{1 - \phi^2 - \cos^2 k} =$$

$$= 2r \sin^2 k \left(1 - \frac{\phi^2}{2}\right)\left(\frac{1}{\sin^2 k} + \frac{\phi^2}{\sin^4 k}\right) = 2r\left(1 + \frac{\phi^2}{2}\operatorname{ctg}^2 k\right).$$

De fout is dus van de tweede orde, en wordt nog veel verminderd, waar men, zoo als hier, slechts verhou-

dingen bepaalt. Zijn toch bij eene andere waarneming r' en k' de overeenkomstige waarden van r en k, zoo is de verhouding:

$$\frac{r\left(1-\frac{\Phi^2}{2}\operatorname{ctg}^2 k\right)}{r'\left(1-\frac{\Phi^2}{2}\operatorname{ctg}^2 k'\right)}=\frac{r}{r'}\left(1-\frac{\Phi^2}{2}\operatorname{ctg}^2 k\right)\left(1+\frac{\Phi^2}{2}\operatorname{ctg}^2 k'\right)=$$

$$=\frac{r}{r'}\left(1+\frac{\Phi^2}{2}\left(\operatorname{ctg}^2 k'-\operatorname{ctg}^2 k\right)\right).$$

Men kan op de volgende wijze de liniaal gemakkelijk zoo stellen, dat deze correctie onmerkbaar wordt. Men bevestige aan de schaal in I (fig. 11), juist onder de as des kijkers, een stukje spiegelglas. Na nu eerst den kijker loodregt op den spiegel C gesteld te hebben volgens de vroeger vermelde methode, hange men in O eenen draad, zoodat men dezen door C teruggekaatst in den kijker kan waarnemen, en verschuive hem zoo lang, tot zijn beeld volkomen zamenvalt met den draad, in het veld des kijkers gespannen.

De draad wordt echter ook teruggekaatst op den spiegel der schaal, en wel volgens OIGH zoo deze spiegel schuin staat. Alleen wanneer beide spiegelende oppervlakken volkomen evenwijdig zijn, wordt ook dit tweede beeld na dubbele terugkaatsing in den kijker gezien, zamenvallende met het eerste. Men verdraait dus de liniaal zoo lang tot dit het geval is, en is dan zeker dat deze loodregt staat op de as des kijkers.

Men zoude den draad ook direct kunnen waarnemen, maar het is wenschelijk den draad zoo laag op te hangen, dat dit niet geschiedt. Men kan toch nimmer beiden te gelijk helder waarnemen, wegens de verschillende afstanden van den draad en zijn beeld tot den kijker,

en het directe beeld zoude dus slechts diffusie veroorzaken. Om dezelfde reden is het tevens wenschelijk, dat de draad niet te ver van de liniaal worde geplaatst.

Is de liniaal digt onder den kijker gesteld, zoo kan men den draad met voordeel door eene vlam, welker spitse punt wordt waargenomen, vervangen. De waarneming is dan gemakkelijker.

Bij deze methode onderstelt men echter, dat de liniaal volkomen evenwijdig is aan de spiegelende oppervlakte. De liniaal moet dus volkomen vlak zijn, en voor het overige laat de fout zich elimineren door de waarneming te herhalen na den spiegel omgedraaid te hebben, en het gemiddelde van beide standen te nemen.

Op deze wijze zijn alle correctiën nagegaan, die in aanmerking komen, waar men, zoo als hier, slechts de verhouding der uitslagen heeft te bepalen. Die, welke in rekening moeten worden gebragt, zijn nu de volgende:

N°. 1. De eerste term der reeks bestemd, om de tangenten van den dubbelen hoek op die van den hoek zelven te herleiden.

N°. 2. De tweede term dezer reeks.

N°. 3. De correctie, afhangende van de niet-evenredigheid der tangenten aan de stroomsterkten.

N°. 4. De correctie wegens de dikte van den spiegel.

N°. 5. De correctie voor de dikte der glazen dekplaat.

De eerste werd steeds voor iedere waarneming afzonderlijk berekend.

De anderen werden voor 100 tot 100 millimeters aflezing verschil vooraf bepaald, en zijn in de onderstaande tabel vermeld.

Afl. verschil.	Corr. N°. 2.	N°. 3.	N°. 4.	N°. 5.	Som.
1200	+ 0.77	+ 0.36	+ 0.73	+ 0.20	+ 2.06
1000	0.31	0.21	0.60	0.16	1.28
800	0.10	0.10	0.48	0.13	0.81
600	0.02	0.04	0.36	0.10	0.52
400	0.00	0.01	0.24	0.07	0.32
200	0.00	0.00	0.12	0.03	0.15

Uit deze tabel blijkt, dat, hoewel slechts verhoudingen bepaald werden, deze correctiën niet buiten rekening mogten worden gelaten, daar men bij de tangentenboussole tiende deelen van halve millimeters kon schatten.

Nadat men op deze wijze de aflezingsverschillen van de tangentenboussole verbeterd heeft, deelt men deze door het verschil der aflezingen van den multiplicator. Men leest namelijk bij dezen het nulpunt af, als de stroom verbroken is, en voorts den stand bij het doorgaan van den stroom. Men elimineert op deze wijze de fout, die ontstaan zoude uit het niet volkomen constant zijn der stroomen, zoo als reeds vroeger is vermeld geworden.

Dit quotiënt kan nu beschouwd worden als evenredig aan de stroomsterkte.

Gesteld men vergelijkt eene copij met een Weberschen etalon, zoo wordt de weerstand aldus berekend:

Zij J' de stroomsterkte als de etalon alleen in den stroom is,
J'' „ „ „ „ copij „ „ „ „ ?
J''' „ „ „ zij achter elkander staan,
J'''' „ „ „ „ naast „ „ .
Zij verder m de weerstand van den etalon,
n „ „ „ de copij,

terwijl a en b dezelfde beteekenis hebben als vroeger (Hoofdstuk III, form. b), dan is

$$i = \frac{a}{a + b + m} J', \quad i = \frac{a}{a + b + n} J'',$$

$$i = \frac{a}{a + b + m + n} J''', \quad i = \frac{a}{a + b + \frac{m\,n}{m + n}} J''''.$$

Hieruit volgt, als men deze formulen aan elkander gelijk stelt, door a deelt, en $a + b$ door p vervangt:

$$\frac{J'}{p + m} = \frac{J''}{p + n} = \frac{J'''}{p + m + n} = \frac{J''''}{p + \frac{m\,n}{m + n}}.$$

Om nu m in n uit te drukken, moet men p elimineren, daar J', J'', J''' en J'''' bekend zijn. Daar hiervoor slechts drie vergelijkingen vereischt worden, ziet men dat, uit deze vier bovenstaande, twee bepalingen der onbekende kunnen worden afgeleid.

Op deze wijze vindt men uit de drie eerste vergelijkingen:

$$\frac{m}{n} = \frac{J''' - J'}{J''' - J''},$$

en uit de twee eerste en de laatste:

$$\frac{m}{n} = \sqrt{\frac{J'' - J''''}{J' - J''''}}.$$

Zijn de waarnemingen volkomen naauwkeurig, zoo moeten deze twee bepalingen overeenstemmen.

Soms werden slechts drie bepalingen verrigt; eerst werden de beide weerstanden in de geleiding gebragt, en daarna, als beiden uit den geleiddraad waren genomen, de stroomsterkte bepaald.

Zij de stroomsterkte in het laatste geval $= J$, ter-

wijl J′ en J″ hunne beteekenis behouden, zoo vindt men alsdan:

$$\frac{m}{n} = \frac{J'' - J}{J' - J}.$$

In het volgende hoofdstuk zullen wij gelegenheid hebben, deze berekening door een voorbeeld aan te toonen.

HOOFDSTUK V.

ONDERZOEKINGEN OMTRENT DE ETALONS.

Hoewel het aanvankelijk scheen, dat men door Weber's etalon in het bezit gesteld was van eenen constanten weerstand, bleek het echter na eenigen tijd, dat men dezen op den duur niet kon vertrouwen. Dat sterke stroomen door de ontwikkelde warmte den weerstand althans momentaneel veranderen, was bekend, en om deze reden waren door Weber slechts zwakke stroomen bij zijne etalons gebruikt geworden en mogt men deze ook nimmer bij sterke intensiteit aanwenden.

Quintus Icilius [1]) vond echter dat stroomen, zonder bijzonder sterk te zijn, den weerstand van eenen metaaldraad duurzaam kunnen wijzigen. Bij zijne onderzoekingen had hij aanvankelijk zijne koperen en platinaetalons vergeleken met Weber's tweede copij van Jacobi's etalon, en vond toen dat, indien de weerstand van een koperdraad was bepaald geworden en deze draad

1) Pogg. 101, p. 69.

vervolgens bij onderzoekingen werd aangewend, de weerstand bij latere bepalingen steeds bleek toegenomen te zijn. Eerst meende hij de oorzaak hiervan in een chemisch aangrijpen door de gebruikte vloeistoffen te moeten zoeken, maar daar platina hetzelfde resultaat gaf, moest hij van deze verklaring afzien. Bij een koperdraad vond hij b. v. vóór de proeven 0.9293, daarna 0.9584; bij platina 0.8967, later 0.9175. De draden hadden beiden nagenoeg gelijke temperatuur. Hieruit volgt dus, dat de weerstand, zelfs door betrekkelijk zwakke stroomen, met den tijd verandert. Volgde reeds hieruit, dat men in de Webersche copijen geen onbepaald vertrouwen mag stellen, zoo liet zich uit een ander oogpunt een tweede bezwaar aanwijzen. Bij iedere copij toch worden wel de opgaven vermeld van de waarnemingen, door welke zij met den standaard-etalon te Leipzig is vergeleken geworden, maar geenszins de temperatuur, waarbij dit geschiedde. Voor hunne onderlinge vergelijking is dit nu wel van geen invloed, voor zoo verre men den coëfficiënt der weerstandsverandering bij temperatuursverhooging voor beide koperdraden als gelijk mag aannemen; maar waar men later bij eene andere temperatuur deze copij gebruikt, wordt noodwendig eene fout ingevoerd. De weerstand van de copij toch is uitgedrukt in absolute eenheden, maar dit getal zal dezen weerstand alleen aangeven voor eene bepaalde temperatuur, en voor iedere andere te groot of te klein zijn.

De absolute weerstand werd, zoo als in het tweede hoofdstuk is vermeld geworden, bepaald door de verminderingen der slinger-amplituden waar te nemen bij eenen magneet, opgehangen binnen eenen koperdraad. Men vond aldus den weerstand van dezen koperdraad

in absolute maat, welke draad door vergelijking met den standaard-etalon den weerstand van dezen laatsten in absolute maat aangaf. Maar ook deze absolute weerstandsbepaling geldt slechts voor eene bepaalde temperatuur, hetgeen natuurlijk van alle copijen geldt, die naar dezen etalon zijn vervaardigd.

Men meene niet, dat deze fout onmerkbaar is. Voor den vermelden koperdraad was de weerstand gevonden in absolute maat

$$19003.\ 10^{7\,\text{mili.}}_{\text{sec.}}.$$

Bij eene temperatuur nu, die slechts 1° verschilde van die, waarbij de bepaling was verrigt geworden, was de weerstand voor rood koper, als men den gemiddelden coëfficiënt 0.0035 aanneemt,

$$19003\ (1 + 0.0035).\ 10^7 = 19069.\ 10^{7\,\text{mill.}}_{\text{sec.}},$$

en bij 10° temperatuur verschil, hetgeen nog zeer ligt kan voorkomen, reeds 19668. 10^7. Het verschil is dan reeds $\frac{1}{28}$ der geheele waarde. Hieruit blijkt reeds, dat men aan de laatste cijfers der weerstandsopgaven niet veel waarde kan hechten.

Het is mogelijk, dat de temperatuur bij de waarnemingen is opgeteekend geworden, maar in de Electrodyn. Maassbest. is deze p. 236 slechts éénmaal opgegeven en verder bij de copijen noch vermeld noch in rekening gebragt. Daar nu de Jacobische etalon van rood koper schijnt geweest te zijn, waarvan de coëfficiënt is 0.0035, en de copijen van messing zijn, waarvan de coëfficiënt is 0.0016, kan de invloed van het verwaarloozen dezer correctie vrij belangrijk worden.

Ten opzigte der etalons verdient ongetwijfeld het voorbeeld van Joule navolging, om kwik-etalons in plaats van

de koperen te gebruiken, mits men hierbij de temperatuurcorrectie in rekening brengt. Vooral om deze reden werd het onderzoek naar den weerstand van het kwik ondernomen, zoowel ter bepaling van zijnen absoluten weerstand als van de veranderingen, welke deze door de temperatuur ondergaat. Kwik is hiertoe ongetwijfeld veel geschikter dan koper; het is veel gemakkelijker chemisch rein te bereiden, en voorts vervallen alle veranderingen, welke uit die van den moleculairen toestand, zoo als rekken, pletten, gloeijen enz., voortvloeijen. Het liet zich dus voorzien, dat men bij kwik een veel hoogeren graad van naauwkeurigheid dan bij koper zoude kunnen bereiken. Voor de bepaling van den absoluten weerstand van het kwik scheen het voldoende eene buis, die goed cilindrisch was en waarvan men den diameter naauwkeurig kende, met kwik te vullen, de lengte der kwikkolom te meten, en deze met eene Webersche copij te vergelijken. Op deze wijze was dan de weerstand van deze kwikkolom in absolute maat bekend, waaruit dan zonder bezwaar die van eene kolom van 1 meter lengte en 1 □ mill. doorsnede was af te leiden. Ware deze eens bekend, zoo zoude ieder zich zulk eenen etalon zelf kunnen vervaardigen, en uit zijne afmetingen, zonder vergelijking met standaardetalons, zijnen absoluten weerstand kunnen afleiden. Bij de bepaling stuitte ik echter op verscheidene zwarigheden, waaronder vooral die in aanmerking komt, welke voortvloeit uit de onbekendheid met de temperatuur, bij welke de bepalingen zijn verrigt geworden te Leipzig; waaruit gemakkelijk is af te leiden, dat langs dezen weg eene naauwkeurige absolute weerstandsbepaling onmogelijk was. De nog verrigte waarnemingen zijn in het volgende hoofdstuk vermeld.

Bij de bepaling van den coëfficiënt, volgens welken de weerstand van het kwik met de temperatuur verandert, kwam de absolute waarde der copij wel niet in aanmerking, maar men moest kunnen aannemen, dat de weerstand dezer copijen, althans bij de aangewende zwakke stroomen, onveranderd bleef. Het was dus wenschelijk, voor dat de onderzoekingen ten opzigte van het kwik werden ondernomen, door een voorafgaand onderzoek uit te maken, in hoe verre men op de etalons kon vertrouwen. Hiervoor bestond geen ander middel dan twee etalons onderling te vergelijken, waartoe ik in de gelegenheid gesteld werd door de welwillendheid van den hoogleeraar Rijke, die mij de Leidsche copij N°. 3, ter vergelijking met de Utrechtsche, voor eenigen tijd ten gebruike afstond. Daar de Leidsche copij, nadat daarmede de electromotorische kracht van een element van Daniell [1]) was bepaald, herhaaldelijk aan sterke stroomen was blootgesteld geweest, was het niet onwaarschijnlijk dat haar weerstand veranderd was, en dat dus hare verhouding tot de Utrechtsche copij, die nog ongebruikt was, af zoude wijken van die, welke uit de Leipziger waarnemingen was berekend. Volgens de bijgevoegde Leipziger bepalingen was de weerstand van de Leidsche copij N°. 3

$$60717.\ 10^{\frac{3\text{mill.}}{\text{sec.}}},$$

terwijl die van de Utrechtsche copij N°. 2 was

$$60158.\ 10^{\frac{3\text{mill.}}{\text{sec.}}},$$

waaruit volgt voor hunne onderlinge verhouding:

$$\text{Copij N°. 3} = 1.00929 \text{ N°. 2.}$$

---

1) Pogg. 101, p. 523.

De directe vergelijkingen werden in het werk gesteld op 28 Junij en eenige volgende dagen. Bij deze bepalingen werd eerst elke copij afzonderlijk, daarna beide achter elkander en vervolgens naast elkander in de geleiding gebragt.

Men vond aldus voor de verhouding $\frac{\text{Leiden}}{\text{Utrecht}}$:

			Gem.
28 Junij		1.0765	1.0777
		1.0789	
29 „	1. Ser.	1.0755	1.0762
		1.0772	
	2. Ser.	1.0751	1.0742
		1.0733	
30 „		1.0816	1.0816.

De bepalingen op 28 en 29 Junij werden door mij volbragt in vereeniging met den heer Bosscha, die den multiplicator aflas. Bij de laatste bepaling moest ik beide instrumenten achtereenvolgens aflezen, hetgeen de naauwkeurigheid steeds vermindert. De dubbele bepalingen op 28 en 29 Junij werden verkregen uit een volledig stel van 4 waarnemingen.

Neemt men nu het gemiddelde uit de 6 eerste waarnemingen, zoo vindt men

$\frac{\text{N}^\circ.\ 3}{\text{N}^\circ.\ 2} = 1.07603$. Daarentegen had men

$\frac{\text{N}^\circ.\ 3}{\text{N}^\circ.\ 2} = 1.00929$ volgens de Leipziger opgaven.

Dit groote verschil kan onmogelijk uit de waarnemingsfouten worden verklaard, en toont dus aan, dat de weerstand der Webersche copijen op den duur vrij sterk kan veranderen. Het bevestigt de waarneming

van Quintus Icilius, dat de weerstand door het gebruik vermeerdert, hetgeen in de onderstelling, dat de Utrechtsche copij haren weerstand niet had veranderd, $\frac{7}{100}$ of ongeveer $\frac{1}{14}$ der geheele waarde bedraagt.

Dit toenemen van den weerstand der Leidsche copij was ook reeds door andere waarnemingen waarschijnlijk geworden. Vroeger was door den heer Bosscha[1]) de electromotorische kracht eener Daniellsche cel bepaald geworden en gevonden

$$e = 0.30589\ cr,$$

waar e de electromotorische kracht en r den weerstand der copij aangeeft.

Daar nu $c = 55.21$,

$$r = 60717.\ 10^{5\,\text{mill.}}_{\text{sec.}},$$

vindt men $e = 10258.\ 10^{7\,\text{mill.}}_{\text{sec.}}$.

Eene herhaling dezer waarnemingen gaf mij in October 1858 de waarde $k = 0.27002\ cr$.

Daar nu de electromotorische kracht eener Daniellsche cel wel als constant zal kunnen beschouwd worden, volgt hieruit voor de verhouding van de weerstanden der copij bij beide bepalingen: $\frac{0.30589\ c}{0.27002\ c} = 1.1328$, in de onderstelling dat de constante c, die afhangt van de betrekking tusschen de stroomsterkte en de uitslagen van den galvanometer, onveranderd is gebleven, hetgeen waarschijnlijk wel niet volkomen het geval zal zijn geweest. In ieder geval is echter het verschil te groot, om niet duidelijk eene weerstandstoename aan te wijzen.

Later zijn deze bepalingen, in November jl., door

---

1) Pogg. 101, p. 530.

den heer Bosscha herhaald geworden, en toen werd gevonden:

	4 Nov.	5 Nov.
Temp.	15°.2	13°.7
	$e = 0.2877\ c'r$	$e = 0.2817\ c''r$
	$c' = 57.73$	$c'' = 58.05.$

Voor r de vorige waarde behoudende vindt men dan:

$$\begin{array}{ll} 4\ \text{Nov.} & e = 10085.\ 10^7 \\ 5\ \text{Nov.} & e = 9931.\ 10^7 \\ \hline \text{Gem.} & e = 10008.\ 10^7. \end{array}$$

Vroeger was gevonden $e = 10258.\ 10^7$, waaruit blijkt, dat r sinds dien tijd inderdaad is toegenomen.

Berekent men namelijk de waarde van r zoodanig, dat de electromotorische kracht weder $10258.\ 10^7$ zou zijn, dan vindt men

$$\begin{array}{ll} 4\ \text{Nov.} & r = 61760.\ 10^5 \\ 5\ \text{Nov.} & r = 62720.\ 10^5 \\ \hline \text{Gem.} & r = 62240.\ 10^5. \end{array}$$

Was het op deze wijze uitgemaakt, dat de weerstand op den duur verandert, zoo was het toch eenigzins bevreemdend, dat de overeenkomst tusschen de vergelijkingen van 28 en van 29 Junij niet grooter was, daar het verschil toch tot $1/300$ opklom, terwijl de methode ongetwijfeld voor eene veel grootere naauwkeurigheid vatbaar is.

Zoo lang men echter slechts deze twee vergeleek, was het onmogelijk met zekerheid uit te maken, in hoe verre dit verschil aan waarnemingsfouten dan wel aan weerstandsverandering was toe te schrijven. Spoedig bood zich echter de gelegenheid aan, om op eene derde copij de proeven voort te zetten, daar de hoogleeraar Van der Willigen mij de zijne welwillend ter vergelijking afstond.

De waarnemingen op de Deventersche copij hadden te meer waarde, daar deze, althans voor zoo verre mij bekend is, niet was gebruikt geworden, en men dus met reden kon vermoeden, dat haar weerstand nog weinig van den berekenden uit de Leipziger waarnemingen zoude afwijken. Men kon nu de drie copijen, N°. 3 uit Leiden, N°. 5 uit Deventer en N°. 2 uit Utrecht, met elkander vergelijken, en deze bepaling had het groote voordeel, dat men volkomen de naauwkeurigheid der waarneming kon controleren. De verhouding van de weerstanden der copijen, die onderling het meest verschilden, moest namelijk steeds gelijk zijn aan het product der twee overige verhoudingen.

Vooraf werd uit de Leipziger opgaven de weerstand van de Deventersche copij berekend, en hiervoor gevonden

$$59440.\ 10^{5\text{mill.}}_{\text{sec.}}.$$

Men had dus ter vergelijking de 3 volgende copijen:

Copij	N°. 3	uit	Leiden	$60717.\ 10^{5\text{mill.}}_{\text{sec.}}$
„	N°. 2	„	Utrecht	$60158.\ 10^{5}$
„	N°. 5	„	Deventer	$59440.\ 10^{5}$.

De bepalingen werden verrigt op 11 Augustus en volgende dagen. Bij die op 11 en 12 Augustus werden de waarnemingen volbragt door mij, gezamentlijk met den heer Bosscha, die den multiplicator aflas.

De proeven werden nu aldus genomen. Eerst werden N°. 3 en N°. 2 vergeleken, waarbij men achtereenvolgens elke afzonderlijk, beiden achter en ten slotte naast elkander in de geleiding bragt. Evenzoo werd N°. 3 met N°. 5 en N°. 5 met N°. 2 vergeleken. Eene volledige bepaling omvatte dus 12 afzonderlijke waarnemingen, waarvan wij er hier eene, als voorbeeld van berekening, in zijn geheel zullen mededeelen.

De wijze van waarnemen was nu aldus.

Eerst werd het nulpunt van den multiplicator afgelezen, en daarna de stroom gesloten. Nadat men nu de afwijking van den multiplicator door eenen rheostaat of op eene andere wijze op den eens bepaalden uitslag had teruggebragt, werden gelijktijdig de tangentenboussole en de multiplicator afgelezen, wanneer dit namelijk door de aanwezigheid van twee waarnemers, wat steeds zeer wenschelijk is, kon geschieden. Was de naald niet volkomen in rust, dan werd het gemiddelde uit 3 of 5 elongatiën genomen. Daarna werd de stroom in de tangentenboussole omgekeerd, en nu de bepaling herhaald. Ten slotte werd andermaal het nulpunt op den multiplicator afgelezen.

Alle aflezingen zijn steeds in millimeters opgegeven.

Bepaling op 11 *Augustus.*

N°. 3 alleen in den stroom:

Multiplicator.			Tangentenboussole.	
Nulpunt.	Afwijking.			
116.1	610.0	610.47	950.30	950.15
	610.7		949.95	
	610.7		950.40	
116.1	610.6	610.65	262.90	262.78
	610.7		262.65	
			262.90	
116.10		610.56	Verschil	687.37
		116.10	Corr. N°. 1	4.01
	Verschil	444.46		683.36
			Overige corr.	0.60
				683.96

$$J = \frac{683.96}{444.46} = 1.53887 \text{ (log. } = 0.18720).$$

N°. 3 en N°. 2 achter elkander:

Multiplicator.			Tangentenboussole.	
Nulpunt.	Afwijking.			
166.60	607.2 607.9	607.55	1140.50 1140.70 1140.50	1140.60
164.05	606.1 606.1	606.10	88.85 88.75 89.00	88.90
165.32		606.82		
		165.32		
	Verschil	441.50	Verschil	1051.70
			Corr. N°. 1	14.39
				1037.31
			Overige corr.	1.41
				1038.72

$$J = \frac{1038.72}{441.50} = 2.35273 \text{ (log. } = 0.37157).$$

Op deze wijze werd uit de directe waarnemingen J afgeleid. Was deze voor de verschillende ingevoegde weerstanden bepaald, zoo vond men de verhouding der weerstanden uit de formule (zie het vorige hoofdstuk):

$$\frac{n}{m} = \frac{J''' - J'}{J''' - J''}, \quad \frac{n}{m} = \sqrt{\frac{J'' - J''''}{J' - J''''}}.$$

Daar bij de berekening der stroomsterkten log. J dadelijk bekend is, is het van voordeel hier de Gaussische optellings- en aftrekkingstafelen te gebruiken. Hoewel dit bij de berekening steeds geschiedde, is dit echter, om het overzigt der bewerking gemakkelijker te maken, bij

het hier volgende uitgewerkte voorbeeld achterwege gelaten.

In de eerste rij staat hier de gecorrigeerde aflezing der tangentenboussole met haren logarithmus, en in de tweede rij hetzelfde voor den multiplicator. Beide instrumenten werden steeds gelijktijdig afgelezen.

Bepaling op 12 *Augustus.*

Vergelijking van N°. 5 en N°. 3:

	N°. 5.		N°. 3.	
Tang. bouss.	647.41	2.81118	660.96	2.82017
Mult.	430.05	2.63352	428.97	2.63243
	lg J′ =	0.17766	lg J″ =	0.18774
	J′ =	1.50543	J″ =	1.54077.

	Achter elkander.		Naast elkander.	
Tang. bouss.	1013.94	3.00601	474.70	2.67642
Mult.	431.42	2.63490	428.65	2.63210
	lg J‴ =	0.37111	lg J⁗ =	0.04432
	J‴ =	2.35023	J⁗ =	1.10744

$J''' - J' = 0.84480 \qquad J'' - J'''' = 0.43333$

$J''' - J'' = 0.80946 \qquad J' - J'''' = 0.39799$

$$\frac{N^\circ.3}{N^\circ.5} = \frac{J''' - J'}{J''' - J''} = 1.04364; \quad \frac{N^\circ.3}{N^\circ.5} = \sqrt{\frac{J'' - J''''}{J' - J''''}} = 1.04345$$

$$\text{Gem.: } \frac{N^\circ.\ 3}{N^\circ.\ 5} = 1.04354.$$

Vergelijking van N°. 2 en N°. 3:

	N°. 3.		N°. 2.	
Tang. bouss.	646.85	2.81080	660.42	2.81982
Mult.	431.32	2.63535	431.87	2.63480
	lg J′ =	0.17545	lg J″ =	0.18502
	J′ =	1.49780	J″ =	1.53117.

	Achter elkander.		Naast elkander.	
Tang. bouss.	1009.43	3.00408	477.10	2.67861
Mult.	430.30	2.63377	431.10	2.63458
	lg J''' =	0.37031	lg J'''' =	0.04403
	J''' =	2.34590	J'''' =	1.10670

$J''' - J' = 0.84810$ $\quad$ $J'' - J'''' = 0.42447$

$J''' - J'' = 0.81473$ $\quad$ $J' - J'''' = 0.39110$

$\frac{N^\circ.\ 3}{N^\circ.\ 2} = 1.04179$ $\quad$ $\frac{N^\circ.\ 3}{N^\circ.\ 2} = 1.04146$

$$\text{Gem. } \frac{N^\circ.\ 3}{N^\circ.\ 2} = 1.04162.$$

Vergelijking van N°. 5 en N°. 2:

	N°. 5.		N°. 2.	
Tang. bouss.	642.55	2.80791	643.92	2.80884
Mult.	429.00	2.63246	429.55	2.63301
	lg J' =	0.17545	lg J'' =	0.17583
	J' =	1.49780	J'' =	1.49910.

	Achter elkander.		Naast elkander.	
Tang. bouss.	996.35	2.99841	476.95	2.67848
Mult.	432.00	2.63548	434.65	2.63814
	lg J''' =	0.36293	lg J'''' =	0.04034
	J''' =	2.30640	J'''' =	1.09733

$J''' - J' = 0.40177$ $\quad$ $J'' - J'''' = 0.80860$

$J''' - J'' = 0.40047$ $\quad$ $J' - J'''' = 0.80730$

$\frac{N^\circ.\ 2}{N^\circ.\ 5} = 1.00161$ $\quad$ $\frac{N^\circ.\ 2}{N^\circ.\ 5} = 1.00161$

$$\text{Gem. } \frac{N^\circ.\ 2}{N^\circ.\ 5} = 1.00161.$$

$$\frac{N^{\circ}.\ 2}{N^{\circ}.\ 5} \times \frac{N^{\circ}.\ 3}{N^{\circ}.\ 2} = 1.04162 \times 1.00161 = 1.04329$$

$$\frac{N^{\circ}.\ 3}{N^{\circ}.\ 5} = \qquad 1.04354$$

Verschil 0.00025.

De bepalingen, op de overige dagen verrigt, zijn de volgende.

Bepaling op 11 *Augustus.*

Eerste reeks.

Vergelijking van N°. 2 en N°. 3:

N°. 2.	N°. 3.	Achter elk.	Naast elk.
666.54	683.96	1038.72	490.91
443.60	444.46	441.50	445.03

$J' = 1.50257$; $J'' = 1.53887$; $J''' = 2.35273$; $J'''' = 1.10310$

$$\frac{N^{\circ}.\ 2}{N^{\circ}.\ 3} = \begin{array}{l} 1.04460 \\ 1.04447 \\ \hline \text{Gem. } 1.04453. \end{array}$$

N°. 5 en N°. 3:

N°. 5.	N°. 3.	Achter elk.	Naast. elk.
664.22	690.43	1046.92	491.49
442.87	448.76	446.42	445.90

$J' = 1.49983$; $J'' = 1.53853$; $J''' = 2.34515$; $J'''' = 1.10223$

$$\frac{N^{\circ}.\ 3}{N^{\circ}.\ 5} = \begin{array}{l} 1.04797 \\ 1.04742 \\ \hline \text{Gem. } 1.04769. \end{array}$$

N°. 5 en N°. 2:

N°. 5.	N°. 2.	Achter elk.	Naast elk.
667.25	668.66	1029.36	491.70
445.51	445.73	445.62	449.19

$J' = 1.49772; J'' = 1.50017; J''' = 2.30993; J'''' = 1.09463$

$$\frac{N^\circ.\ 5}{N^\circ.\ 2} = \begin{array}{r} 1.00302 \\ 1.00302 \\ \hline 1.00302. \end{array}$$

$$\frac{N^\circ.\ 3}{N^\circ.\ 2} \times \frac{N^\circ.\ 2}{N^\circ.\ 5} = 1.04767$$

$$\frac{N^\circ.\ 3}{N^\circ.\ 2} = 1.04769$$

Verschil 0.00002.

Tweede reeks.

N°. 5 en N°. 2:

N°. 5.	N°. 2.	Achter elk.	Naast elk.
667.38	666.01	1033.34	491.69
445.30	443.65	477.38	448.74

$J' = 1.49873; J'' = 1.50122; J''' = 2.30973; J'''' = 1.09570$

$$\frac{N^\circ.\ 2}{N^\circ.\ 5} = \begin{array}{r} 1.00307 \\ 1.00307 \\ \hline \end{array}$$

Gem. 1.00307.

N°. 2 en N°. 3:

N°. 2.	N°. 3.	Achter elk.	Naast elk.
664.62	679.15	1031.28	488.43
442.55	441.95	439.37	442.03

$J' = 1.50180; J'' = 1.53672; J''' = 2.34720; J'''' = 1.10498$

$$\frac{N^\circ.\ 3}{N^\circ.\ 2} = \begin{array}{r} 1.04310 \\ 1.04306 \\ \hline \end{array}$$

Gem. 1.04308.

N°. 3 en N°. 5:

N°. 5.	N°. 3.	Achter elk.	Naast elk.
667.65	678.15	1032.65	490.03
444.30	440.71	440.45	442.82

$J' = 1.50270; J'' = 1.53877; J''' = 2.34450; J'''' = 1.10330$

$$\frac{N^{\circ}.\ 3}{N^{\circ}.\ 5} = \begin{array}{r} 1.04715 \\ 1.04418 \\ \hline \text{Gem.}\ 1.04567. \end{array}$$

$$\frac{N^{\circ}.\ 3}{N^{\circ}.\ 2} \times \frac{N^{\circ}.\ 2}{N^{\circ}.\ 5} = 1.04627$$

$$\frac{N^{\circ}.\ 3}{N^{\circ}.\ 5} = 1.04567$$

$$\text{Verschil} = 0.00060.$$

Bepaling op 17 Augustus.

Bij de volgende bepalingen was de methode van waarnemen in zoo verre van de vorige verschillend, dat men de etalons niet meer naast elkander plaatste, maar uit de bepalingen, verrigt toen zij achter elkander en afzonderlijk in de geleiding waren gebragt, de verhouding berekende.

	N°. 3.	N°. 3 en N°. 5.	N°. 5.	N°. 2 en N°. 5.
Tang. bouss.	685.44	1041.37	666.37	1028.89
Mult.	443.70	440.55	441.93	443.32
Int	1.54483	2.36375	1.50787	2.32090

	N°. 2.	N°. 2 en N°. 3.	N°. 3.
Tang. bouss.	669.28	1041.67	685.48
Mult.	442.90	441.62	443.97
Int.	1.51113	2.35874	1.54400

$$\frac{N^{\circ}.\ 3}{N^{\circ}.\ 5} = 1.04516; \frac{N^{\circ}.\ 2}{N^{\circ}.\ 5} = 1.00428; \frac{N^{\circ}.\ 3}{N^{\circ}.\ 2} = 1.04033$$

$$\frac{N^{\circ}.\ 3}{N^{\circ}.\ 2} \times \frac{N^{\circ}.\ 2}{N^{\circ}.\ 5} = 1.04470$$

$$\frac{N^{\circ}.\ 3}{N^{\circ}.\ 5} = 1.04516$$

$$\text{Verschil}\ 0.00046.$$

Bepaling op 25 Augustus.

	N°. 3 en N°. 5.	N°. 5.	N°. 2 en N°. 5.	N°. 2.
Tang.bouss.	1095.84	681.73	1077.98	674.79
Mult.	436.67	437.83	438.42	436.25
Int.	2.50960	1.55707	2.45871	1.54680

	N°. 2 en N°. 3.	N°. 3.
Tang.bouss.	1085.92	691.54
Mult.	434.95	436.75
Int.	2.49662	1.58336

$$\frac{N^\circ.\,3}{N^\circ.\,5} = 1.02843;\ \frac{N^\circ.\,5}{N^\circ.\,2} = 1.01140;\ \frac{N^\circ.\,3}{N^\circ.\,2} = 1.04005$$

$$\frac{N^\circ.\,3}{N^\circ.\,5} \times \frac{N^\circ.\,5}{N^\circ.\,2} = 1.03995$$

$$\frac{N^\circ.\,3}{N^\circ.\,2} = 1.04005$$

$$\text{Verschil} = 0.00010.$$

Behalve de hier boven vermelde, waren er nog verscheidene andere vergelijkingen der etalons in het werk gesteld, die echter der vermelding niet waardig zijn, daar de controle niet uitkwam. Vaak toch grepen storende invloeden plaats, waarvan men niets bemerkte onder de waarneming, maar welker aanwezen zich eerst bij de berekening openbaarde. De omstandigheid alleen, dat er in een aangrenzend deel van het gebouw getimmerd werd, waardoor vaak ijzeren instrumenten verplaatst werden, was voldoende om storingen te veroorzaken. Hierbij kwamen vaak nog veranderingen in het aardmagnetisme, die het nulpunt soms vrij onzeker maakten.

Om deze reden zijn hier alleen die waarnemingen

vermeld, waar de controle uitkwam. Men kan dan binnen de grenzen, waarin deze sluit, de waarneming als vrij zeker beschouwen, en dus nagaan, in hoe verre de weerstandsverandering der copijen aan werkelijke veranderingen dan wel aan storende invloeden of aan waarnemingsfouten was te wijten.

Men heeft dus het volgende stel bepalingen tusschen de drie copijen:

	Abs. weerstand
Copij N°. 3 (Leiden)	60717. $10^{5\,\text{mill.}}_{\text{sec.}}$
Copij N°. 2 (Utrecht)	60158. 10^5 „
Copij N°. 5 (Deventer)	59440. 10^5 „
Weerst. Jacobi's etalon	59800. 10^5 „ .

In de hieronderstaande tabel vindt men in de bovenste rij de verhouding der copijen volgens de Leipziger waarnemingen.

	$\frac{\text{No. 3.}}{\text{No. 2.}}$	$\frac{\text{No. 2.}}{\text{No. 5.}}$	$\frac{\text{No. 3.}}{\text{No. 5.}}$	$\frac{\text{No. 3}}{\text{No. 2}} \times \frac{\text{No. 2.}}{\text{No. 5.}}$	Controle.
Volg. Leipz. opg.	1.00930	1.01207	1.02149	. . . .	. . . .
11 Aug. voorm.	1.04453	1.00302	1.04769	1.04767	0.00002
„ nam.	1.04308	1.00307	1.04567	1.04627	0.00060
12 Aug.	1.04162	1.00161	1.04354	1.04329	0.00025
17 „	1.04033	1.00428	1.04516	1.04470	0.00046
25 „	1.04004	0.98872	1.02842	1.02831	0.00011.

Deze bepalingen hebben geenszins allen gelijke waarde. De drie eerste verdienen het meeste vertrouwen, maar bij die van 17 en 25 Aug. was het aantal bepalingen wel wat gering. De bepaling kan in dit geval nog wel goed zijn, maar de controle is er een minder zeker be-

wijs van, daar de beide waarden, die met elkander worden vergeleken, dan niet geheel onafhankelijk van elkander zijn. Intusschen zijn zij voldoende om er verscheidene resultaten uit te trekken.

In de eerste plaats blijkt hieruit, dat de weerstand bij koper eene zeer veranderlijke grootheid is en zelfs door de zwakke stroomen, die hier werden aangewend, veranderde. Wel bereikte deze verandering zelden $\frac{1}{100}$ van den geheelen weerstand, waardoor zij ook vroeger, bij het gebruik van minder naauwkeurige methoden, niet aan het licht kon komen; maar waar men volgens de controle op $\frac{1}{1000}$ zeker is, mag men eene fout van $\frac{1}{100}$ niet langer aan de waarneming toeschrijven. Men is dan wel gedwongen, de oorzaak hiervan in de copijen zelve te zoeken. Aan veranderingen der temperatuur kan zij toch niet te wijten zijn, daar deze zeer weinig veranderde, en bovendien de verhouding steeds bepaald werd uit waarnemingen, op denzelfden dag ondernomen.

Men ziet hier de vroegere waarneming bevestigd, dat de Leidsche copij sinds de Leipziger bepalingen merkelijk in weerstand is toegenomen. Dit volgt zoowel uit hare vergelijking met N°. 2 als met N°. 5. Moeijelijk is het echter, de veranderingen der etalons in bijzonderheden na te gaan, daar hier alleen verhoudingen zijn bepaald geworden, van welker veranderingen de oorzaak zoowel in de eene als in de andere copij kan liggen. Het geregeld afnemen der verhoudingen $\frac{\text{N}^\circ.\,3}{\text{N}^\circ.\,2}$ en $\frac{\text{N}^\circ.\,3}{\text{N}^\circ.\,5}$ toont echter, dat N°. 2 en N°. 5, die beiden nog weinig gebruikt waren geworden, sterkere weerstandsvermeerdering ondergaan dan N°. 3, die vroeger aan veel sterkere was blootgesteld geworden.

Omtrent deze laatste copij N°. 3 kan men nog het volgende opmerken.

De weerstand is volgens Weber	$60717.\ 10^{5\,\frac{\text{mill.}}{\text{sec.}}}$
Volgens bepaling Oct. 1858	$68736.\ 10^5$
Volgens vergelijking met de Utrechtsche copij, die als onveranderd beschouwd werd, Junij 1859	$64748.\ 10^5$
Volgens vergelijking met de Deventersche copij, die als onveranderd werd beschouwd, 11 Aug. 1859	$62260.\ 10^5$

N°. 3 was dien dag ook met de Utrechtsche copij vergeleken, maar daar deze sinds Junij veel was gebruikt geworden, viel op haar minder te vertrouwen.

De bepaling van 4 Nov. 1859	61760	$62240.\ 10^5.$
5 „ „	62720	

Uit deze bepalingen schijnt dus te volgen, dat de Leidsche copij, na eerst door sterke stroomen van 8—10 Daniellsche elementen zeer te zijn toegenomen in weerstand, langzaam tot het vorige bedrag terugkeert.

Het kan misschien vreemd schijnen, dat de weerstand van Junij tot Augustus zoo veel, en van Augustus tot November zoo weinig veranderde. Daargelaten de waarnemingsfouten, was echter de copij van Junij tot Augustus zelden, en van Augustus tot November dikwijls gebruikt.

In bijzonderheden de veranderingen na te gaan, zoude alleen dan met groote zekerheid kunnen geschieden, als men ze kon vergelijken met etalons, die als onveranderlijk konden beschouwd worden. Men zoude dan ook kunnen nagaan, of bij het gebruik der copijen de weerstand steeds blijft toenemen, dan wel of deze soms

ook vermindert; of hij, aan zich zelven overgelaten, tot zijn vorig bedrag terugkeert, alsmede of hij onafhankelijk is van de rigting, waarin hij door den stroom wordt doorloopen. Men ziet, dat hier een ruim veld tot onderzoeking openstaat, nu men eenmaal weerstanden tot eene zekerheid van $^1/_{1000}$ kan meten. Voor dergelijke onderzoekingen had men echter bij deze proeven geene gelegenheid, dewijl de minder gunstige opstelling veroorzaakte, dat men niet dan langzaam vorderde, daar de berekening maar al te vaak eene gestoorde waarneming, die dus verworpen moest worden, aanwees.

Bleek het uit de vroegere bepalingen, dat men op den duur op de Webersche copijen niet kan vertrouwen, thans ziet men, dat zij zelfs te veranderlijk zijn, om met vrucht aangewend te kunnen worden bij eene methode zoo als de vermelde, die gemakkelijk eene naauwkeurigheid van $^1/_{1000}$ toelaat. Het was dus hoogst noodwendig, de Webersche copijen door andere, meer constante te vervangen, waartoe het kwik het eerst in aanmerking kwam. De onderzoekingen aangaande zijnen weerstand zijn in het volgende hoofdstuk vermeld.

De gevondene resultaten zijn echter zeer geschikt om er de naauwkeurigheid der methode aan te toetsen. Hiervoor kunnen vooral dienen de reeksen van 11 Augustus 's voormiddags en van 12 Augustus; want dat de andere minder goed uitkwamen is niet de schuld der methode, maar van storende oorzaken, zoo als er vele zijn aan te wijzen. Het is toch bijna ondenkbaar, dat deze overeenkomst aan een toeval zoude zijn te wijten.

Onder deze storende oorzaken kunnen de volgende gerekend worden. Vooreerst stonden beide galvanometers op consoles aan den muur bevestigd, maar geenszins op geïsoleerde stativen. Midden in de stad gelegen,

werd de naald vaak gestoord door de dreuning der voorbijgaande rijtuigen. De kijkers stonden op den vloer en deelden dus mede in voorkomende schuddingen. Daarbij kwam, dat er in de naastliggende localen gedurende dien tijd veel getimmerd werd, waardoor de waarneming soms geheel moest opgegeven worden. Daar verder de tangentenboussole opgesteld was naast eenen muur, grenzende aan een bewoond huis, kon men zich niet verzekeren, dat er nimmer ijzer in de nabijheid der naald werd gebragt. De invloed behoefde niet groot te zijn om de waarneming te storen.

Hierbij kwam nog het volgende. Het nulpunt van den multiplicator werd voor en na iedere waarneming afgelezen, en zoo de standen verschilden, het gemiddelde genomen. Niets echter verzekerde, dat de magneet zich in dien tusschentijd steeds gelijkmatig in dezelfde rigting had voortbewogen, en was dit niet het geval, zoo werd steeds een verkeerd nulpunt in rekening gebragt.

Het is dus geenszins te verwonderen, dat slechts zelden eene waarneming geheel ongestoord afliep, zoo als men die van 11 Augustus 's voormiddags en die van 12 Augustus kan beschouwen.

Op hoe groote naauwkeurigheid men toch bij de waarneming kon rekenen, is gemakkelijk na te gaan. Gesteld er zijn geene storende invloeden, en de contacten allen zoo zuiver mogelijk, dan hangt alles af van de aflezingen op de tangentenboussole en op den multiplicator.

Bij de hier aanwezige inrigting werden bij de aflezing tienden der schaaldeelen geschat. Gesteld men ware op $1/10$ zeker, zoo blijkt het dat de grootste fout uit den multiplicator voortvloeit. Bij de tangentenboussole bedroeg de aflezing in den regel een grooter getal milli-

meters, en daar de schaal hier in halve millimeters verdeeld was en de kijker ongeveer tweemaal sterker vergrootte dan die bij den multiplicator, was men hier op ongeveer $\frac{1}{20}$ millimeter zeker. De fout bleef dus steeds kleiner dan bij den multiplicator. De gemiddelde uitslag van dezen toch bedroeg in den regel $440^{mm.}$; men nam dezen niet grooter, om geene te sterke stroomen aan te wenden. De grootste fout bij iedere aflezing was dus $\frac{1}{4400}$, en daar bij het nulpunt dezelfde fout kon gemaakt worden, bedroeg de waarnemingsfout in haar grootste bedrag (niet de waarschijnlijke fout) $\frac{1}{2200}$ = $\frac{5}{10000}^{mm.}$. Werken er dus geene storende oorzaken, zoo zoude men stellig zeker kunnen zijn op $\frac{5}{10000}$. Daar de aflezingsfout echter in den regel minder zal bedragen en de waarnemingen vaak herhaald werden, zoodat de waarnemingsfouten elkander althans voor een deel vernietigen, zal de werkelijk begane fout in den regel wel geringer zijn.

Verder ziet men dat de correctie, aan het einde van hoofdstuk IV vermeld, in geenen deele mag verwaarloosd worden. Bij eenen uitslag van $1200^{mm.}$ is toch de schattingsfout $0.05^{mm.}$, terwijl de correctie klimt tot $2.08^{mm.}$. In gunstiger omstandigheden zal de invloed dezer correctie natuurlijk nog veel meer klimmen.

Vergelijkt men nu hiermede de methode van Weber, zoo ziet men, dat deze in geen geval eene grootere naauwkeurigheid kan geven. In beiden hangt toch alles af van de naauwkeurigheid der aflezing, maar in dit opzigt heeft de vermelde methode een groot voordeel boven die van Weber; daar toch moet men de elongatiën der slingerende naald aflezen, waarvoor men dus slechts een oogenblik tijd heeft, terwijl hier de naald zich bij de aflezing steeds in rust of in zeer

kleine schommelingen bevindt. Dit is ongetwijfeld van veel invloed op de naauwkeurigheid. Hierbij komt nog, dat mogelijke luchtstroomen waarschijnlijk van veel meer invloed zullen zijn op de amplituden der slingerende naald dan op haren evenwigtstoestand.

Men kan nu ter onderlinge vergelijking der methoden de overeenkomst nagaan tusschen de beide bepalingen, afgeleid uit een volledig stel van 4 waarnemingen. Van de Webersche bepalingen stonden er mij vier ten gebruike. Vooreerst twee uit de Widerstandsmessungen, p. 213 en p. 360, en verder de berekening der Utrechtsche en der Deventersche copij.

Men vindt de volgende opgaven:

Pag. 213.	Pag. 360.	Utr. Copij.	Dev. Copij.
0.981616	0.99765	1.00835	1.00372
0.981485	0.99762	1.00842	1.00368
0.000131	0.00003	0.00007	0.00004.

Bepaling op 12 Augustus.

$\frac{N^{\circ}.3}{N^{\circ}.2}$.	$\frac{N^{\circ}.3}{N^{\circ}.5}$.	$\frac{N^{\circ}.2}{N^{\circ}.5}$.
1.04179	1.04364	1.00161
1.04146	1.04345	1.00161
0.00033	0.00019	0.00000.

Deze overeenkomst is dus in beide gevallen minstens even goed en zoude zelfs meer voor de Webersche methode pleiten. Maar het is niet moeijelijk aan te toonen, dat deze overeenkomst al een zeer gering bewijs is voor de deugd der waarnemingen.

Daar toch voor elke bepaling 3 waarnemingen worden gevorderd, en men er in het geheel 4 heeft, zijn

twee der gegevens bij beide bepalingen dezelfde, en slechts de derde is veranderd, zoodat deze overeenkomst bij slechte waarnemingen nagenoeg even goed zal plaats grijpen.

Noemt men toch

A de intensiteit, als de etalon in den stroom is,
B „ „ copij „ „ ,
C „ als zij naast elkander zijn geplaatst,
D „ „ achter „ „ „ ,

dan is de eerste bepaling berekend uit A, B en C, en de tweede uit A, B en D.

Nu blijkt echter, dat eene waarnemingsfout in C of in D van veel minder invloed zijn zal op het eindresultaat dan eene van gelijke grootte in A of in B.

Men kan dit aldus uit de formule afleiden.

Zij v de verhouding der weerstanden, zoo is

$$v = \frac{AB - BC}{AB - AC}.$$

Differentiërende ten opzigte van A en C, vindt men

$$\frac{dv}{dA} = \frac{BC(B - C)}{(AB - AC)^2}; \quad \frac{dv}{dC} = \frac{AB(A - B)}{(AB - AC)^2}.$$

Derhalve

$$\frac{dv}{dC} : \frac{dv}{dA} = A(A - B) : C(B - C).$$

Nu is b. v. (Widerstandsmessungen p. 359)

$$A = 769.23$$
$$B = 768\,22$$
$$C = 492.44$$

$$\frac{dv}{dC} : \frac{dv}{dA} = 769.23 \times 1.01 : 492.44 \times 275.78 =$$
$$= 777 : 135792 = 1 : 175.$$

De invloed van eene waarnemingsfout bij A of bij B

heeft hier dus ongeveer 175maal meer invloed dan eene van gelijke grootte bij C of bij D. De overeenkomst van beide bepalingen is dus zeer natuurlijk.

Hetzelfde is het geval bij de andere methode. Hebben hier J′, J″, J‴ en J⁗ de overeenkomstige beteekenissen van A, B, C en D, zoo heeft men de reeds vroeger vermelde formulen:

$$v = \frac{J''' - J'}{J''' - J''};$$

$$\frac{dv}{dJ'''} = \frac{J' - J''}{(J''' - J'')^2}; \quad \frac{dv}{dJ'} = \frac{1}{J'' - J'''} = \frac{J'' - J'''}{(J''' - J'')^2}.$$

Derhalve

$$\frac{dv}{dJ'''} : \frac{dv}{dJ'} = J' - J'' : J'' - J'''.$$

Men vindt b. v. verg. 12 Aug. N°. 5 en N°. 2:

$$J' = 1.49780$$
$$J'' = 1.49910$$
$$J''' = 2.30640$$

$$\frac{dv}{dJ'''} : \frac{dv}{dJ'} = 0.00130 : 0.80730 = 1 : 620.$$

Men ziet dus, dat men aan de gevondene overeenkomst noch de naauwkeurigheid der waarneming noch die der methode kan toetsen. Het is voorts duidelijk dat, als J′ = J″ is, eene fout in J‴ hoegenaamd geen invloed meer heeft.

Bij de vergelijking der copijen had men eene controle, die als maat der naauwkeurigheid kan beschouwd worden, maar daar eene dergelijke combinatie, volgens de Webersche methode verrigt, niet voorlag, kon men ze ook op deze wijze niet vergelijken. Uit de tabel p. 82

blijkt, dat de daar aangewende methode eene naauwkeurigheid van minstens $^5/_{10000}$ kan opleveren. Of nu de Webersche dit ook vermag, is niet uitgemaakt, maar valt wel eenigzins te betwijfelen wegens het vroeger opgemerkte omtrent de minder naauwkeurige aflezing. Misschien zoude men zonder bezwaar de naauwkeurigheid der methode van Bosscha op $^1/_{10000}$ kunnen brengen, indien men geïsoleerde stativen en gevoelige galvanometers had. Welligt zoude het dan ook niet onraadzaam zijn, nog eenen derden magnetometer aan te wenden, om de verandering in stand der magneetnaald, door het aardmagnetisme veroorzaakt, na te kunnen gaan. Men zoude op deze wijze steeds kunnen bepalen, of het nulpunt zich gedurende de waarneming verplaatste.

De proeven waren reeds lang verrigt en de dissertatie was reeds voor een groot deel voltooid, toen de heer Bosscha mij deed opmerken, dat er geene reden was om den multiplicator steeds eenen uitslag te geven naar denzelfden kant, zoo als tot dus verre altijd geschied was. Het is namelijk niet noodig, dat de intensiteit bij beide uitslagen volkomen dezelfde zij, indien elk der beide uitslagen bij de verschillende bepalingen slechts dezelfde grootte behoudt of althans proportioneel is aan de stroomsterkten binnen de kleine voorkomende afwijkingen. Men heeft, aldus handelende, een dubbel voordeel. Keert men namelijk den stroom om in den geheelen geleider, zoo verkrijgt men grootere getallen voor de multiplicator-afwijkingen, en dus zal eene aflezingsfout minder invloed uitoefenen. Voorts zal de verandering van het nulpunt een groot deel van haren invloed verliezen, wanneer men zorgt, dat de naalden van beide instrumenten te gelijk oost- of westwaarts uitwijken. De invloed zal geheel verdwijnen, als de angulaire

waarde van den uitslag van beide naalden gelijk is. Dit is nu wel niet bij alle waarnemingen te verkrijgen, daar de afwijkingen van de tangentenboussole variëren, doch zoo men aan den multiplicator eene afwijking gaf, die ongeveer het gemiddelde was van die der naald der tangentenboussole, zoude de variatie van het nulpunt slechts een uiterst geringen invloed uitoefenen.

HOOFDSTUK VI.

ONDERZOEKINGEN OMTRENT DEN WEERSTAND VAN HET KWIK.

Het geleidend vermogen van kwik was het eerst bepaald geworden door Becquerel den vader, welke onderzoekingen later door verscheidene anderen zijn herhaald geworden. De resultaten zijn, als men dat van koper = 100 stelt:

Becquerel	3.45	Pouillet	2.7
Herschel en Babbage	9	Lamy	1.9
Harris	3.5	Edm. Becquerel	2.4
Lenz	4.66	Matthiesen	2.1.

Lenz geeft op 4.73 bij 15° R, welke waarde op 0° is gereduceerd geworden. Door alle waarnemers werd de stroom geleid door eene met kwik gevulde buis. De bepalingen van Herschel wijken het meest af, maar zelfs de overige, die van Lenz en Matthiesen b. v., verschillen van 4.66 tot 2.1. Daar in den regel vrij zuiver kwik werd gebruikt, is dit verschil bezwaarlijk aan dit metaal te wijten, maar voor een deel aan de waarnemingsfouten en voor het overige aan de verschillende

geaardheid der koperdraden, die bij deze bepalingen als weerstandsmaat werden aangewend.

Omtrent de verandering, die de geleiding door de warmte ondergaat, waren slechts enkele onderzoekingen verrigt. Muller had dit onderzocht door eene omgebogene thermometerbuis met kwik te vullen en in een oliebad te verwarmen, en bepaalde aldus den weerstand tusschen 0° en 100°. Hij vond voor den weerstand bij 50° 455, en bij 150° 509, en dus voor 1° verwarming den coëfficiënt 0.00119.

Edm. Becquerel vond voor dezen coëfficiënt de waarde

	0.001036
	0.001045
Gem.	0.001041.

Deze waarde werd gevonden door kwik waar te nemen tusschen 0° en 100°.

Omtrent de geleiding van vast kwik vindt men eene waarneming van La Rive [1]). Hij leidde elk der twee draden van den differentiaal-galvanometer door kwik, en toen de naald op 0 stond, deed hij het kwik in den eenen geleiddraad bevriezen. De uitslag der naald toonde, dat de geleiding van bevroren kwik grooter was. Numerische resultaten worden niet vermeld.

Toen nu Weber bij zijne etalons den weerstand in absolute maat had bepaald, en het gebleken was, dat men op den duur op de standvastigheid van het koper niet kon rekenen, scheen het niet onbelangrijk, door vergelijking met nog ongebruikte etalons den weerstand van het kwik in absolute maat te bepalen. Voor etalons toch is kwik verre te verkiezen boven koper, zoo als reeds

1) Pogg. 15, p. 523.

vroeger vermeld is. Kende men dan den absoluten weerstand van eene kwikkolom van 1 meter lengte en 1 □ millimeter doorsnede, zoo zoude men uit de afmetingen der kwikbuis, die men aanwendde, dadelijk haren absoluten weerstand kunnen berekenen. Men dit doel werden dan ook de afmetingen van verscheidene buizen bepaald. Daarna werden zij met kwik gevuld, en de weerstand werd vervolgens vergeleken met de Utrechtsche copij, daar deze nog niet gebruikt was geworden. De vergelijkingen der copijen, in het vorige hoofdstuk vermeld, waren toen nog niet in het werk gesteld, en ik meende dus op de Utrechtsche copij te mogen vertrouwen.

Het kwik werd bereid uit sublimaat. Nadat dit door omkristalliseren was gezuiverd geworden, werd het door toevoeging van potasch in rood kwikoxyde veranderd. Door destillatie werd hieruit het kwik verkregen.

Uit eene menigte buizen werden diegenen uitgezocht, welke vrij cilindrisch bleken te zijn. De diameter werd vervolgens bepaald door ze met kwik te vullen, en vervolgens de lengte en het gewigt der kwikkolom te bepalen. Deze methode laat eene hooge naauwkeurigheid toe. Voor het specifiek gewigt werd de bepaling van Regnault aangewend, het volumen voorts op 0° gereduceerd en de invloed van den meniscus in rekening gebragt. De hoogte van dezen werd gemeten, en daar de doorsnede der buis door eene voorloopige berekening steeds benaderd bekend was, kon men den inhoud berekenen door den meniscus als een bolvormig segment te beschouwen, hetgeen, bij dunne buizen als de aangewende, veilig geschieden kon. De lengte der kwikkolom werd ten slotte bepaald met eenen meter van Dolland, die met eenen glazen standaardmeter van het physisch kabinet was vergeleken geworden.

Men vond aldus bij eene der buizen de volgende doorsnede in □ millimeters:

Bep. I	3.052628
II	3.052728
III	3.052755.

De stroom werd nu in de met kwik gevulde buis geleid door platinadraden, die in de einden der buis werden gesteld. Daar de inrigting bezwaarlijk toeliet, de copij en de kwikbuis naast elkander in de geleiding te brengen, werd deze wijze van waarnemen niet aangewend. Evenmin werden zij achter elkander geplaatst, maar achtereenvolgens de weerstand bepaald, als eerst alleen de kwikbuis, dan alleen de copij, en ten slotte geen van beiden door den stroom werd doorloopen. Is dan de intensiteit in deze drie gevallen J′, J″ en J, zoo is de verhouding der weerstanden

$$\frac{m}{n} = \frac{J' - J}{J'' - J}.$$

Om nu de kwikbuis uit de geleiding te nemen, werden de platinadraden uit de buis genomen en in eene zeer korte buis van gelijken diameter gelegd, die eveneens met kwik was gevuld. Op deze wijze was alles in denzelfden toestand gebleven en veranderde alleen de lengte der kwikkolom, die in beide gevallen werd gemeten. De gevonden weerstand had dan betrekking op het verschil van beide kwikkolommen.

Men vond aldus voor den weerstand van eene kwikkolom, 1 meter lang en 1 □ millimeter doorsnede, de volgende waarden, uitgedrukt in eenheden der Utrechtsche copij.

Dag.	Temperatuur.	Weerstand.	Verschil met het midden.
20 Julij	21.°4	1.483	+ 0.024
„ „	„	1.556	— 0.049
21 „	23.8	1.622	— 0.115
„ „	„	1.613	— 0.106
„ „	24.4	1.500	+ 0.007
22 „	24.1	1.495	+ 0.012
„ „	24.1	1.533	— 0.026
„ „	22.5	1.447	+ 0.060
2 Aug.	20.3	1.522	— 0.015
„ „	„	1.473	+ 0.034
„ „	„	1.518	— 0.011
3 „	21.0	1.464	— 0.043
„ „	„	1.418	+ 0.089
„ „	„	1.448	+ 0.059
		Gem. 1.507	

of in absolute eenheden 90658. $10^{5}\frac{\text{mill.}}{\text{sec.}}$.

Men ziet dat de bepalingen volstrekt geen gelijken tred houden met de temperatuur.

Reeds vroeger is vermeld, dat Joule eenen kwik-etalon aanwendde, en hoewel hij diens weerstand niet in absolute maat heeft bepaald, liet die zich echter uit zijne waarnemingen afleiden. Hij was namelijk volgens den heer Bosscha [1]) 35432. 10^5.

De afmetingen van deze spiraal zijn volgens Joule:

lengte $6\frac{1}{2}$ voet,

doorsnede 0.000048119 voet,

of in millimeters:

1) Pogg. 101, p. 547.

lengte $1574.8^{mm.}$,
doorsnede $4.47\ \square^{mm.}$;

waaruit volgt voor den weerstand van eene kwikkolom van 1 meter lengte en 1 $\square^{mm.}$ doorsnede,

$$100580.\ 10^{5\,mill.}_{sec.}.$$

De directe bepaling gaf $90658.\ 10^5$.

Verschil $9922.\ 10^5$.

Dit aanmerkelijk verschil laat zich althans voor een deel verklaren uit de onnaauwkeurige opgave der afmetingen van Joule's etalon.

Intusschen harmoniëren ook de directe bepalingen al vrij slecht onder elkander, daar de verschillen zelfs tot $\frac{1}{16}$ opklimmen. De methode zelve is echter voor eene veel grootere naauwkeurigheid vatbaar, en ook de afmetingen der buis laten zich met groote zekerheid bepalen, zoodat men voor deze verschillen moeijelijk eene andere oorzaak kan aangeven dan de onvolmaaktheid van het contact tusschen het kwik en het platina. Dit is te waarschijnlijker omdat de platina-oppervlakte, die met het kwik in aanraking was, zeer gering was. De dikte van den draad toch was ongeveer $\frac{1}{5}^{mill.}$, terwijl zij tot op $1^{mill.}$ afstand van het einde met lak was omgeven. De geheele vrije oppervlakte werd steeds in het kwik gebragt, zoodat de electroden steeds gelijk waren; maar daar de oppervlakte zelve nog geen $\square^{mill.}$ bedroeg, was de minste vochtigheid, stof of vet voldoende, om het contact en bijgevolg den weerstand merkelijk te veranderen. Dit is te waarschijnlijker, omdat men de platinadraden steeds van de eene buis in de andere moest brengen, daar de naauwe kwikbuis niet toeliet, den metaaldraad meer of minder diep in de buis te schuiven en aldus de lengte der kwikkolom te wijzigen, hetgeen overigens

veel beter ware geweest, daar men dan ongetwijfeld zekerder zou zijn van het contact. Misschien had men deze zwarigheid nog wel op eene andere wijze uit den weg kunnen ruimen, maar toen de verdere onderzoekingen de veranderlijkheid der Webersche copijen aantoonden, bleek het dat het bepalen van den absoluten weerstand van het kwik langs dezen weg toch niet mogelijk was, en werden de proeven derhalve niet voortgezet.

Daar men nu eenmaal gevonden had, dat op de standvastigheid van het koper niet veel te rekenen viel en zelfs zwakke stroomen hierop invloed uitoefenen, konden de Webersche copijen ook niet worden aangewend bij de bepalingen omtrent den weerstand van het kwik bij verschillende temperatuur. Men moest hiervoor tot kwik-etalons zijne toevlugt nemen. Wel kon men hunnen weerstand niet in absolute maat aangeven, maar dit was ook niet noodig, daar zij slechts aan de voorwaarde moesten voldoen van gedurende de waarneming niet te veranderen.

Hiervoor werden nu twee kwik-etalons vervaardigd. Zij bestonden uit eene dunne barometerbuis, die horizontaal aan eene plank was bevestigd en welker uiteinden waren omgebogen. In deze buis werden ijzeren staafjes van 3$^{mm.}$ dikte geplaatst, die van boven aan koperen knoppen waren vastgesoldeerd, waarvan elk met twee schroefjes was voorzien, tot aansluiting met de geleiddraden. Het bovenste deel van het ijzeren staafje was vernist, zoodat de contact-oppervlakte niet vermeerderde, al steeg ook het kwik in de buis bij hoogere temperatuur. Het was voorts zeer gemakkelijk, den etalon in of buiten de geleiding te brengen, door slechts eenen der koperen geleiddraden aan het andere einde te bevestigen.

Met deze werd de weerstand van het kwik bij ver-

schillende temperaturen onderzocht, daar de invloed hiervan nog niet met zekerheid bekend was. Wel kwamen de bepalingen van Becquerel en van Muller goed overeen, maar daar hunne overige waarnemingen van die van Arndsen, die het kwik niet heeft onderzocht, veel verschilden, werd hierdoor eene onzekerheid over al deze resultaten verspreid. Daarbij kwam, dat Clausius eene overeenkomst meende op te merken tusschen dezen coëfficiënt en dien van de uitzetting der gassen, en indien deze overeenkomst zich bleef bevestigen, zoude ook de coëfficiënt van het kwik veel grooter zijn dan de werkelijk gevondene. Is dit onderzoek dus reeds op zich zelf belangrijk, noodwendig wordt de bepaling van dezen coëfficiënt bij het aanwenden van kwik-etalons, indien men hier den invloed der temperatuur behoorlijk in rekening wil brengen.

De verhouding der etalons werd eenige malen bepaald, en men vond hiervoor bij eenige vergelijkingen:

1.76807
1.77073
1.77330.

De overeenkomst is niet bijzonder groot; daar echter de verschillen binnen die der controle vallen, kan men hieruit niet tot de veranderlijkheid der etalons besluiten. Vreemd is het echter, dat de twee weerstanden onderling zooveel verschillen, daar de buizen nagenoeg gelijke afmetingen hadden. De oorzaak van dit verschil zal dus waarschijnlijk in het contact van het ijzer met het kwik moeten gezocht worden. Een klein verschil in dit contact, zoo als een weinig oxyde, eene vocht- of vetlaag, eene dunne laag lucht, kan hiervoor welligt voldoende zijn. Misschien zoude men hierin kunnen voorzien door

eenen platinadraad aan te wenden en dezen te verwarmen vóór men hem in het kwik dompelde; men zoude dan echter het bovenste gedeelte der staafjes niet met vernis maar op eene andere wijze moeten isoleren. Geamalgameerd koper zoude zeker een goed contact geven; men heeft op deze wijze echter koperverontreinigingen van het kwik te vreezen.

Daar de beperkte tijd niet toeliet in deze zwarigheid te voorzien, moesten de etalons, zoo als zij nu eenmaal waren, bij de verdere proeven worden aangewend, om den weerstand van het kwik bij verschillende temperaturen te bepalen.

Bij deze proeven werd eene met kwik gevulde buis in een waterbad verwarmd en de weerstand bij verschillende temperaturen gemeten. Deze buis had nagenoeg gelijke afmetingen als de etalons en was herhaaldelijk omgebogen. Het waterbad was een koperen vat met dubbelen wand, waarin het water door eene spirituslamp werd verwarmd en voorts bestendig werd omgeroerd, met het doel om de temperatuur gelijkmatig te maken.

In het boveneinde der buis waren twee ijzeren staafjes, $4^{mm.}$ dik, gedompeld, die met vuurlak waren bedekt, behalve aan het onderste einde. De vrije oppervlakte van het ijzer was steeds onder het kwik, zoodat eene uitzetting van het kwik geene vermeerdering van het contact ten gevolge had. De staafjes zelve waren van boven in koperen schroeven gevat, die tevens tot opname der geleidingsdraden dienden.

Men kon aldus afwisselend deze buis in en buiten de geleiding brengen, door de geleidingsdraden dadelijk of eerst door middel der kwikbuis te vereenigen. Men zoude echter op deze wijze niet den zuiveren weerstand

der kwikkolom vinden, maar vermeerderd met den weerstand van het ijzer en van het contact. Om deze reden werd eene kleine nevenbuis aangebragt. Deze was veel korter en dikker dan de andere; zij hing mede in den calorimeter en was op gelijke wijze met ijzeren geleiddraden voorzien. Men had dus in het geheel vier ijzeren staafjes, die boven den calorimeter uitstaken.

De stroom ging nu of door de groote of door de kleine buis, en daar de ijzeren geleiddraden in beide volmaakt gelijk waren, kon men ook hunnen weerstand en dien van het contact als vrij gelijk beschouwen. De gevonden weerstand heeft dan betrekking op het verschil van beide kwikkolommen, en dus op eene van bepaalde grootte, welker afmetingen men echter niet behoeft te kennen, daar men alleen de verhouding zoekt bij verschillende temperaturen.

Om nu den stroom gemakkelijk door de eene of andere geleiding te laten gaan, werden twee der vier ijzeren staafjes, een van elke buis, met elkander door eene koperen schroef verbonden, die tevens tot opname diende van eenen der geleiddraden van den toestel. Deze sluiting werd gedurende de waarneming niet veranderd. De twee andere staafjes waren echter elk met eene afzonderlijke schroef voorzien, om den anderen geleiddraad op te nemen, welken men dus slechts uit de eene schroef in de andere had te plaatsen, om den stroom door de lange of door de korte buis te laten gaan.

In den calorimeter hingen verder twee thermometers, die herhaalde malen gedurende de waarneming werden afgelezen.

Gewoonlijk werd nu eerst bij 0°, dan bij 80° of 90° waargenomen. Tot 100° werd de temperatuur niet gebragt. Voor de naauwkeurigheid der waarneming was

dit ook onnoodig, daar men van de thermometers zeker genoeg was.

Is nu de weerstand $= W$ bij $0°$, en $= W'$ bij t, zoo is

$$W' = (1 + \alpha t) W,$$

waar α de weerstandsverandering aangeeft voor $1°$ temperatuurverhooging. Derhalve

$$\alpha = \left(\frac{W'}{W} - 1\right)\frac{1}{t}.$$

Hieraan moeten echter nog de volgende correctiën worden toegevoegd.

1°. De correctie voor de uitzetting van het glas. Zij β de uitzettingscoëfficiënt van het glas en k de weerstand van eene kwikkolom van $1^{mm.}$ lengte en $1 \square^{mm}$ doorsnede, dan is de weerstand bij $0°$

$W = \frac{l}{r_2 \pi} k$, waar l de lengte der buis en r de straal der doorsnede is;

bij $t°$ daarentegen

$$W' = \frac{l(1 + \beta t)}{r^2 (1 + \beta t)^2 \pi} k (1 + \alpha t),$$

waar alleen α gezocht wordt.

Deelende is

$$\frac{W'}{W} = \frac{1 + \alpha t}{1 + \beta t}, \text{ en dus}$$

$$\alpha t = \frac{W'}{W}(1 + \beta t) - 1 = \frac{W'}{W} - 1 + \frac{W'}{W}\beta t.$$

Voor β werd genomen de waarde 0.0000085 als gemiddelde tusschen de opgaven van La Place en van Smeaton [1]).

---

1) Daguin t. II, p. 782.

Men is van deze waarde wel niet volkomen zeker, maar er was geene gelegenheid, de uitzetting van deze buis te bepalen. Het geringe bedrag der correctie maakt dan ook eene groote naauwkeurigheid overbodig.

2°. Daar men bij de waarneming het verschil in weerstand bepaalde tusschen de beide in den calorimeter hangende buizen, moest natuurlijk gedurende de geheele reeks de temperatuur van beide niet veranderen, hetgeen in den regel echter niet het geval is. Men moest dus eene correctie aanbrengen, welker waarde zich aldus liet bepalen.

Bij de bepalingen werd achtereenvolgens eerst de etalon, daarna de calorimeterbuis, en vervolgens geen van beiden in de geleiding gebragt. Men noeme de twee kwik-etalons A en B, de calorimeterbuis C, en duide de waarneming met dezelfde letter aan als de buis die ingevoegd was. Zij voorts de derde bepaling door N aangeduid. Had nu het nevenbuisje bij de bepalingen A en N eene andere temperatuur dan bij C, zoo was zijn weerstand veranderd en dus ook het verschil dat bepaald werd.

Gesteld men heeft de drie waarnemingen

$$i = \frac{a}{a+b+m} J' = \frac{a}{a+b+\beta+n} J'' = \frac{a}{a+b+\gamma} J,$$

alwaar J, J′ en J″ de waargenomene stroomsterkten zijn bij waarneming N, C, en A of B,

m de weerstand in de calorimeterbuis,

n „ „ „ den etalon,

a en b die in de geleiddraden,

β en γ de weerstandsverschillen in de nevenbuis, afhangende van het onderscheid in temperatuur tusschen de waarnemingen A of N en C. Dit verschil is dus

$= f$ (temperatuur N of A — temperatuur C).

Men heeft dus

$$\frac{J'}{a+b+m} = \frac{J''}{a+b+\beta+n} = \frac{J}{a+b+\gamma},$$

$$\frac{J'}{J} = \frac{a+b+m}{a+b+\gamma} = 1 + \frac{m-\gamma}{a+b+\gamma} \text{ en}$$

$$\frac{J''}{J} = \frac{a+b+n+\beta}{a+b+\gamma} = 1 + \frac{n+\beta-\gamma}{a+b+\gamma}.$$

Dus

$$\frac{J'-J}{J} = \frac{m-\gamma}{a+b+\gamma} \text{ en } \frac{J''-J}{J} = \frac{n+\beta-\gamma}{a+b+\gamma}.$$

Door deeling volgt hieruit

$$\frac{J'-J}{J''-J} = \frac{m-\gamma}{n+\beta-\gamma} = (m-\gamma)\left(\frac{1}{n} - \frac{\beta-\gamma}{n^2}\right) =$$

$$= \frac{m}{n} - \frac{\gamma}{n} - \frac{m}{n^2}(\beta-\gamma),$$

de termen in γ^2 en $\gamma\beta$ verwaarloozende.

Derhalve is de gezochte verhouding

$$\frac{m}{n} = \frac{J'-J}{J''-J} + \frac{\gamma}{n} + \frac{m}{n^2}(\beta-\gamma) =$$

$$= \frac{J'-J}{J''-J} + \frac{1}{n^2}(m\beta + (n-m)\gamma).$$

Men moet dus steeds de correctie aanbrengen

$$\frac{1}{n^2}\Big((n-m)\gamma + m\beta\Big).$$

Men kan nu β en γ aldus berekenen.

Noem L en D de afmetingen van de calorimeterbuis,
l en d „ „ nevenbuis,
t het temperatuurverschil (temperatuur N of A — temperatuur C),

α den coëfficiënt der weerstandsverandering van het kwik door de temperatuur, zoo zijn γ en β

$$= \alpha t \frac{l D^2}{L d^2}.$$

Hier is echter de weerstandsverandering bepaald ten opzigte der calorimeterbuis. Daar men echter eenen der etalons, b. v. A, als eenheid aanneemt, wordt de correctie

$$= \alpha t \frac{l D^2}{L d^2} \frac{C}{A}.$$

Men kan nu voor α benaderd aannemen 0.0009.

Voorts is $L = 900^{mm.}$

$D = 1$

$l = 70$

$d = 5$

en dus γ of $\beta = 0.0000022\, t$.

Derhalve $\gamma \frac{n - m}{n^2} = 0.0000003\, t$,

$$\beta \frac{m}{n^2} = 0.0000035\, t.$$

Is de temperatuur bij N of bij A grooter dan bij C, zoo is t positief.

Vergelijkt men C met etalon B, zoo wordt de correctie natuurlijk een weinig veranderd. De correctie is echter vrij gering. Die van γ kan steeds verwaarloosd worden, maar β kwam bij hooge temperaturen soms in aanmerking.

3°. De temperatuur van den calorimeter werd bepaald door twee daarin hangende thermometers, vervaardigd door Fastré, en mij door den heer Kreeke welwillend ten gebruike afgestaan. Zij bezaten eene wille-

keurige verdeeling, waarvan elke afdeeling ongeveer met $\frac{1}{5}$° C overeenkwam.

Volgens de opgaven van Fastré was

	N°. 28.	N°. 31.
kookpunt	568.2	617.2
vriespunt	93.5	146.5.

De heer Krecke vond bij eene latere bepaling

kookpunt	567.7	617.4
vriespunt	93.7	147.0.

Deze beide bepalingen kwamen dus zeer goed met elkander overeen.

Daar nu de lengte der thermometerbuizen veroorzaakte dat zij steeds voor een deel boven den calorimeter uitstaken, moest hiervoor eene correctie worden aangebragt.

Zij de temperatuur des calorimeters t, die der omgeving t', de lengte der uitstekende kolom l schaaldeelen, zoo nam ik voor de temperatuur van het kwik in dit gedeelte der buis de gemiddelde waarde $\frac{t + t'}{2}$. De correctie was dus, den uitzettingscoëfficiënt van het kwik s noemende,

$$l\left(t - \frac{t + t'}{2}\right) s = \frac{t - t'}{2} l \times 0.00018 = 0.00009\, l\,(t - t').$$

De correctie is positief voor hoogere, negatief voor lagere temperaturen dan de omgevende.

4°. De etalon moest steeds op dezelfde temperatuur worden herleid, om eenen constanten weerstand te hebben. De temperatuur van dezen werd bepaald op eenen thermometer van Greiner, die naast den etalon werd gelegd. Is nu de weerstand = W bij de temperatuur 0°, en = W′ bij t°, zoo is

$$W' = W\,(1 + \alpha\, t) = W\,(1 + 0.0009\, t).$$

Daar men echter $\frac{C}{A}$ zoekt, kan men hiervoor stellen $\frac{C}{A(1 + \alpha t)} = \frac{C}{A}(1 - \alpha t)$, en de correctie dus direct aanbrengen. Deze bleek echter meestal overbodig, daar de temperatuur in het locaal weinig veranderde.

Op deze wijze werden de waarnemingen berekend. Onder gunstiger omstandigheden zoude de overeenkomst welligt grooter zijn geweest, maar vele storingen, die in dien tijd in de declinatie van den magneet plaats grepen, alsmede de zoo vaak voorkomende dreuningen, verhinderden eene grootere naauwkeurigheid te bereiken. Eene waarnemingsfout gaat hier bovendien zeer vergroot in het eindresultaat over, daar 1 millimeter aflezingsverschil den coëfficiënt ongeveer 0.00002 of $\frac{1}{40}$ van haar bedrag verandert. Welligt zijn de bepalingen echter naauwkeurig genoeg voor het voorgestelde doel, om namelijk kwik-etalons steeds op dezelfde temperatuur te kunnen reduceren, daar hierbij slechts geringe temperatuursveranderingen voorkomen.

Bij deze proeven werden steeds drie waarnemers vereischt, een voor den galvanometer, een voor de tangentenboussole en een voor de thermometers, welke instrumenten steeds gelijktijdig werden afgelezen. De correctie N°. 4 was steeds zeer gering of onmerkbaar. Gewoonlijk werd de calorimeter zoo veel mogelijk verkoeld bij de eerste reeks van waarnemingen, en daarna werd eene tweede reeks verrigt bij hooge temperatuur. Alleen die bepalingen werden aangewend, waar de temperatuur veel verschilde; de ondervinding toch leerde dat, zoo het verschil b. v. slechts 15° bedroeg, de coëfficiënten dadelijk zeer afweken, hetgeen natuurlijk voortvloeit uit den grooteren invloed, dien de waarnemingsfouten dan bekomen.

Men hield den calorimeter steeds eenigen tijd zooveel mogelijk op gelijke temperatuur, om zich te verzekeren dat de kwikbuis eene gelijkmatige warmte had aangenomen.

Hieronder volgen de verrigte waarnemingen. De temperaturen zijn reeds gecorrigeerd, en het gemiddelde van beider aflezingen werd in rekening gebragt. Voorts is bij elke temperatuur de verhouding van beide weerstanden opgegeven, welke op de vroeger vermelde wijze uit de directe waarnemingen werd afgeleid.

Deze waarnemingen werden steeds door mij verrigt in vereeniging met den heer H. C. Dibbits, die den multiplicator aflas.

Waarneming op 31 Augustus.

De buis werd vergeleken met etalon A.

Temperatuur	18.°14.	63.°90.	80.°00.
$\frac{C}{A}$	1.02341	1.06451	1.07602
	Corr. N°. 2 =	2	
		1.06453.	

Hieruit volgt:

Temp. verschil.	$\frac{W'}{W} - 1.$	Glascorr.	$\alpha\, t.$	$\alpha.$
45.°76	0.04019	0.00034	0.04053	0.000885
61. 86	0.05140	0.00054	0.05194	0.000839.

Waarneming op 7 September.

De buis werd met beide etalons vergeleken.

Vergelijking met etalon A:

Temperatuur	8.°50.	15.°08.	91.°10.
$\frac{A}{C}$	1.17962	1.17340	1.10465.

Vergelijking met etalon B:

Temperatuur	7.°04.	15.°37.	64.°71.	89.°77.
$\frac{C}{B}$	1.49513	1.50895	1.57103	1.60580
		Corr. N°. 2	— 2	
			1.57105.	

Bij deze laatste reeks werden de beide laatste bepalingen elke afzonderlijk met de twee eerste vergeleken. Men vond aldus:

Temp. verschil.	$\frac{W'}{W}$ — 1.	Glascorr.	αt.	α.
82.°60	0.06789	0.00067	0.06856	0.000831
76. 02	0.06225	0.00063	0.06288	0.000827
57. 67	0.05076	0.00052	0.05128	0.000889
82. 73	0.07402	0.00074	0.07476	0.000903
49. 34	0.04114	0.00044	0.04158	0.000843
74. 40	0.06420	0.00068	0.06488	0.000872.

De twee eerste bepalingen zijn afgeleid uit de vergelijking met etalon A, de vier laatste uit die met B.

Waarneming op 8 September.

De buis werd vergeleken met etalon A.

Bij gewone temperatuur.		Bij hooge temperatuur.	
16.°29	1.20632	65.°88	1.15360
		67. 25	1.15513
	Gem.	66.°57	1.15436.

Temp. verschil.	$\frac{W'}{W}$ — 1.	Glascorr.	αt.	α.
50.°75	0.04279	0.00044	0.04323	0.000845.

Waarneming op 12 September.

Bij deze reeks werd de kwikbuis met beide etalons

vergeleken. Eerst werd de verhouding verscheidene malen bij lage temperatuur bepaald, en daarna bij hoogere. Dit laatste geschiedde echter slechts driemaal, daar eene onvoorziene omstandigheid verhinderde voort te gaan.

Vergelijking van C met A.

	Bij lage temperatuur.		Bij hooge temperatuur.	
	1.°64	1.08090		
	1. 64	1.08173	89.°63	1.01129
	2. 23	1.08272	89.32	1.00244
	3. 46	1.08391		
Gem.	2.°24	1.08231	89.°47	1.00686.

De twee bepalingen bij hooge temperatuur liepen nog al uiteen, en het is mij niet gelukt, de oorzaak van dit verschil op te sporen. Daar de waarde, uit het gemiddelde afgeleid, echter vrij goed met de overige bepalingen overeenstemt, heb ik deze mede in rekening gebragt.

De vergelijkingen van C met B gaven:

Bij hooge temperatuur.		Bij lage temperatuur.	
2.°66	1.49513	89.°32	1.60626
3. 33	1.48893	85. 97	1.59710
2.°99	1.49203	87.°64	1.60168
		Corr. N°. 2 =	2
			1.60170.

Men had dus de volgende bepalingen:

Temp. verschil.	$\frac{W'}{W}$ — 1.	Glascorr.	αt.	α.
87.°23	0.07497	0.00076	0.07573	0.000868
84.65	0.07350	0.00075	0.07425	0.000877.

In de onderstaande tabel zijn alle gevondene bepalingen vermeld.

Datum.	Laagste Temp.	Hoogste Temp.	Verschil.	Coëfficiënt.	Aantal Waarn.	Gewigt.
31 Aug.	18.°14	63.°90	45.°76	0.000885	2	3
„	„	80.00	61.86	0.000839	2	4
7 Sept.	8.50	91.10	82.60	0.000831	2	5
„	15.08	„	76.02	0.000827	2	5
„	7.04	64.71	57.67	0.000889	2	2
„	„	89.77	82.73	0.000903	2	3
„	15.37	64.71	49.34	0.000843	2	2
„	„	89.77	74.40	0.000872	2	3
8 „	16.29	66.57	50.28	0.000845	3	5
12 „	2.24	89.47	87.23	0.000868	6	3
„	2.99	87.64	84.65	0.000877	4	11

Gemiddeld $x = 0.000860$, de gewigten in aanmerking nemende.

Deze laatsten zijn aldus berekend. Ten eerste hangt het gewigt af van het temperatuurverschil tusschen beide waarnemingen, en ten tweede van het aantal waarnemingen waarop de bepaling steunt. Deze waarden zijn dus met elkander vermenigvuldigd en daarna door getallen vervangen, die ten naaste bij met haar evenredig zijn. Daar echter op 7 September bij de vier laatste bepalingen elke waarneming tweemalen is gebruikt geworden, zijn de hier verkregene gewigten door 2 gedeeld. Het gewigt van de eerste bepaling op 12 September zoude verder 17 zijn, maar daar de twee waarnemingen bij hooge temperatuur, waarop deze bepaling rust, vrij sterk uiteenloopen, heb ik aan deze

zulk een hoog gewigt niet durven toekennen, en dit derhalve vervangen door drie.

Voor zoo verre men aan deze bepaling eenige zekerheid kan toekennen, volgt hieruit, dat de bepalingen van Becquerel en van Muller te groot zijn, alsmede dat de overeenkomst, die Clausius bij deze coëfficiënten voor de overige metalen meende gevonden te hebben, voor het kwik niet doorgaat.

Indien men dus bij het gebruik van kwik-etalons dezen coëfficiënt aanwendt om de weerstanden steeds op gelijke temperatuur te reduceren, zal men waarschijnlijk niet ver bezijden de waarheid zijn, daar men hier nimmer met groote temperatuursverschillen te doen heeft.

BESLUIT.

Indien men de uitkomsten in de vorige hoofdstukken verkregen, te zamen voegt komt de slotsom hierop neder:

1°. De weerstand van eenen metaaldraad is afhankelijk zoowel van zijne chemische als van zijne physische constitutie, en kan zoowel op den duur als in korten tijd door verschillende invloeden, zelfs door zwakke stroomen, merkelijk worden gewijzigd.

2°. Alle methoden van weerstandsbepaling, berustende op het beginsel van den eenen weerstand door den anderen te meten, zijn af te keuren.

3°. De weerstanden moeten dus gemeten worden door de stroomsterkte. De methode van Weber en die van den heer Bosscha voldoen beiden aan deze voorwaarde. Uit een practisch oogpunt is de laatste echter boven de eerste te verkiezen, als gevende naauwkeuriger waarnemingen, daar de aflezing minder bezwaarlijk is. Ten opzigte der berekening verdient zij onbepaald de voorkeur, daar de langwijlige berekening de methode van Weber bijna onbruikbaar maakt.

4°. De etalons van Weber kunnen niet beschouwd worden eenen standvastigen weerstand te bezitten, en het ware wenschelijk ze door kwik-etalons te vervangen. Bij deze zal men echter zeer moeten zorgen voor een goed en onveranderlijk contact tusschen het metaal van den geleiddraad en het kwik. Het verschil in weerstand, gevonden tusschen de beide etalons, die nagenoeg van gelijke afmetingen waren, toont voldoende aan, van hoe grooten invloed dit contact wezen kan..

5°. De absolute weerstand van het kwik laat zich bezwaarlijk bepalen door vergelijking met de Webersche copijen.

6°. De coëfficiënt van weerstandsverandering van het kwik bij 1° temperatuursverhooging kan vooreerst gesteld worden

$$= 0.000860.$$

Bij het gebruik der methode van Bosscha moeten wij echter nog op den volgenden storenden invloed opmerkzaam maken.

Om weerstanden te meten gebruikt men galvanische stroomen, die echter steeds warmte ontwikkelen, welke de temperatuur en bij gevolg den weerstand der draden althans momentaneel doet klimmen.

Om deze reden is het wenschelijk steeds zwakke stroomen aan te wenden, maar ook dan nog blijft het van belang den invloed dezer storing na te gaan, wegens de hooge naauwkeurigheid, die de methode toelaat te bereiken.

Eene vergelijking van twee weerstanden bestaat in den regel uit vier afzonderlijke waarnemingen. Door den stroom wordt dan in alle draden warmte ontwikkeld, die de temperatuur en den weerstand doet stijgen. Deze toename hangt in het algemeen af:

1°. van de sterkte van den stroom;

2°. van den duur van den stroom;

3°. van de hoeveelheid warmte, die de draad uitstraalt en aan de omringende lucht afgeeft.

Werkten deze drie oorzaken bij de vier bepalingen onveranderd, zoo zoude ook de invloed op het eindresultaat verdwijnen, en men vindt alsdan de weerstanden der draden zooals zij zijn bij het doorloopen van den stroom.

Daar nu de vier waarnemingen bij eene goede inrigting vrij spoedig kunnen volbragt worden, kan men de temperatuur der omgeving wel als onveranderlijk beschouwen. Over den duur van den stroom is men mede meester, daar men steeds denzelfden tijd kan doen verloopen tusschen het sluiten van den stroom en de aflezing.

Wij moeten nu nog de eerste oorzaak nagaan.

Men heeft pag. 63 de formulen:

$$i = \frac{a}{a + b + m} J', \qquad i = \frac{a}{a + b + n} J'',$$

$$i = \frac{a}{a + b + m + n} J''', \qquad i = \frac{a}{a + b + \frac{m\,n}{m + n}} J'''',$$

alwaar a, b, m en n onveranderd ondersteld werden. Dit is nu niet langer het geval. Daar echter de stroom, die den multiplicator en de weerstanden doorloopt, steeds even groot wordt genomen, blijft de opgewekte warmte, en dus ook de weerstandstoename in dit gedeelte der geleiding, dezelfde bij de vier waarnemingen. Bij gevolg kan men b, m en n als constant blijven beschouwen.

Wij moeten nu a nagaan. De weerstandstoename is evenredig aan de warmte-ontwikkeling, en deze weder

aan het quadraat der stroomsterkte. Deze klimt regelmatig met de stroomsterkte in den hoofdstam, die door de tangentenboussole wordt aangegeven. Bij de vier waarnemingen zal dus *a* het grootst zijn als de beide etalons achter elkander staan en het kleinst, als zij naast elkander geplaatst zijn. De invloed hiervan op het eindresultaat kan echter bij zwakke stroomen wel verwaarloosd worden:

1°. omdat p. 90 eene fout bij eene dezer twee waarnemingen steeds zeer verkleind op het eindresultaat overgaat.

2°. omdat de invloed bij de twee bepalingen, die men uit de vier waarnemingen afleidt, in tegengestelden zin werkt.

Zijn de etalons afzonderlijk ingevoegd, zoo zal *a* eene gemiddelde waarde hebben. Zijn deze beide weerstanden, zoo als in den regel het geval is, nagenoeg gelijk aan elkander, zoo blijft ook de weerstandsverhooging van *a* dezelfde. Verschillen zij veel, zoo zoude het raadzaam kunnen worden dezen draad in water te plaatsen, om te groote temperatuurswisselingen te voorkomen. Men behoeft dus in geen geval den etalon zelven in water te plaatsen, zoo als men bij eene eerste beschouwing welligt zoude vermoeden.

Deze warmte-ontwikkeling verhindert derhalve niet, de bepaling tot eenen hoogen graad van naauwkeurigheid op te voeren.

De weerstand van den etalon wordt iets grooter dan anders het geval zijn zoude, maar door deze vergrooting op de vermelde wijze constant te maken, bereikt men toch zijn doel om eenen constanten weerstand te bezitten.

De bepalingen zelve hebben nu betrekking óf op draden van verschillende stof, óf op eenen draad in ver-

schillenden toestand. In het eerste geval kan de temperatuursverhooging verschillen door de ongelijke uitstraling en specifieke warmte. Bij het vergelijken van verschillende metaaldraden zoude dus welligt eene merkbare fout worden ingevoerd, maar dit bezwaar vervalt, daar de verschillen in moleculaire constitutie dergelijke bepalingen steeds onzeker maken.

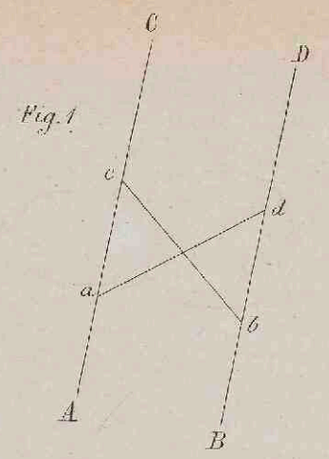
Bij de tweede soort van bepalingen vervalt deze zwarigheid van zelf, daar men steeds denzelfden draad waarneemt.

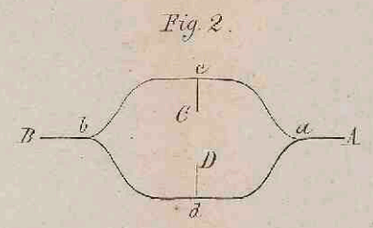
Door dus doelmatig de vermelde voorzorgen in acht te nemen, zal men den invloed dezer warmte-ontwikkeling vrij wel kunnen elimineren.

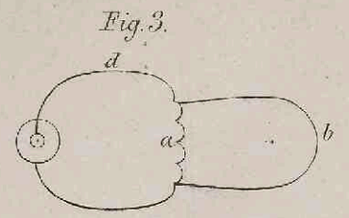
Met deze methode en bij het gebruik van kwik-etalons zal men nu de weerstandsbepalingen eenen hoogen graad van naauwkeurigheid kunnen doen bereiken. Het is echter duidelijk, dat weerstandsbepalingen van metalen in het algemeen zeer weinig waarde hebben, maar dat het daarentegen van veel belang is na te gaan, welke veranderingen de weerstand bij eenen zelfden draad door uiterlijke invloeden ondergaat. Men zoude b. v. kunnen nagaan, of de weerstand in beide rigtingen van den draad dezelfde is, en of de door gloeijen en sterke stroomen vermeerderde weerstand na verloop van tijd weder tot het vorige bedrag terugkeert; terwijl het bij kwik ook uit een practisch oogpunt voor de vervaardiging der etalons van belang zijn zoude den invloed te onderzoeken, dien vreemde inmengselen op zijnen weerstand uitoefenen.

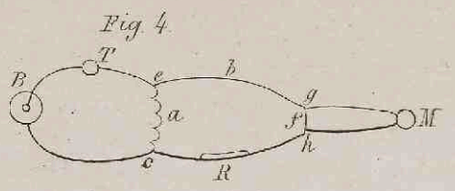
Wat ten slotte de rheostaten betreft, zoo kunnen deze bij naauwkeurige bepalingen niet worden aangewend, daar men zich nimmer kan verzekeren van den gelijkmatigen weerstand van den draad.

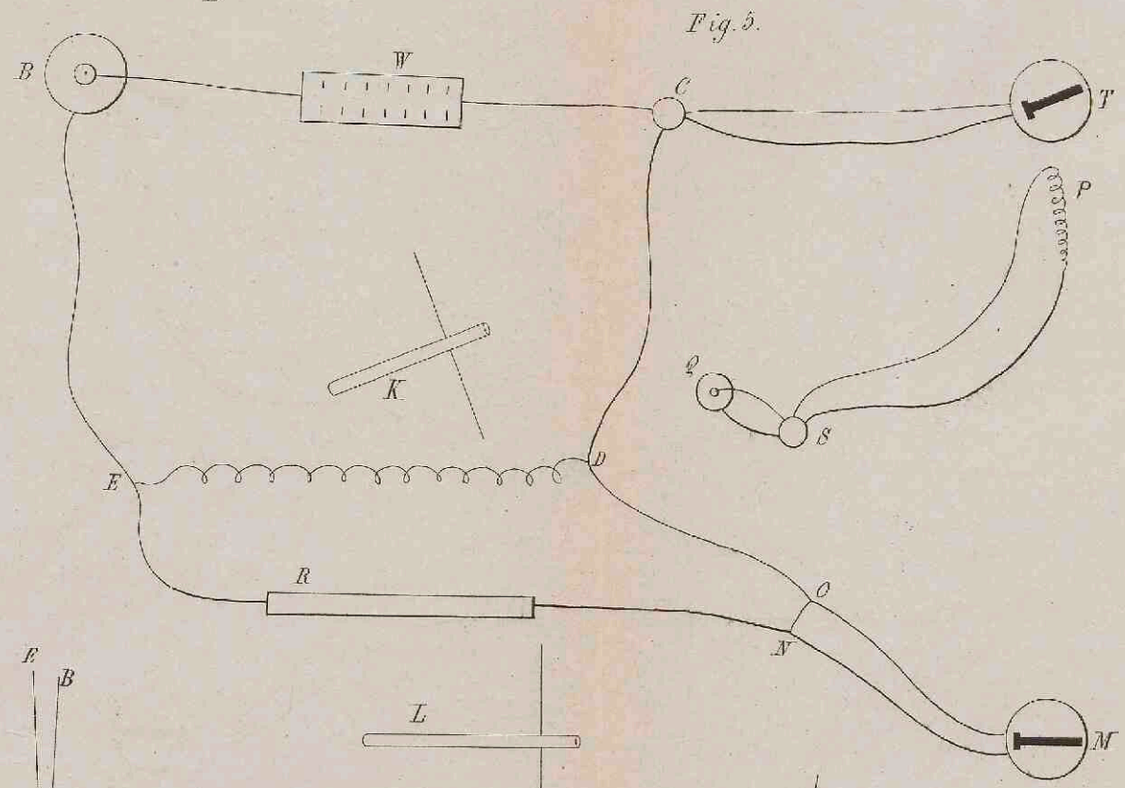
Men zoude kunnen trachten den koperdraad door eene kwikkolom te vervangen, maar deze inrigting schijnt mij even bezwaarlijk als onnoodig. Men kon dan den weerstand meten door de lengte eener kwikkolom, welke laatste men zoude kunnen wijzigen door b. v. den geleiddraad meer of minder in de kwikbuis te schuiven. De buis moet dan echter volmaakt cilindrisch, en bij gevolg niet omgebogen maar regt zijn, en is dus van beperkte lengte. Is zij nu dun, zoo zal men den geleiddraad er moeijelijk in kunnen op- en nederschuiven, en is zij eenigzins wijd, zoo is de weerstand zoo gering, dat zij alleen als maat kan dienen voor kleine weerstanden. Maar de rheostaat kan ook als geheel overbodig beschouwd worden in de practische physica. Alleen bij weerstandsmetingen kwam hij te pas en nergens anders, en voor deze bepalingen heeft men in de hier vermelde methode er eenen, die in alle voorkomende gevallen kan worden aangewend.

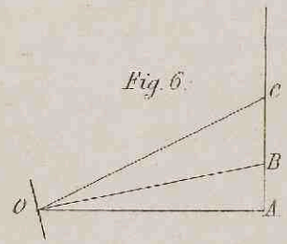


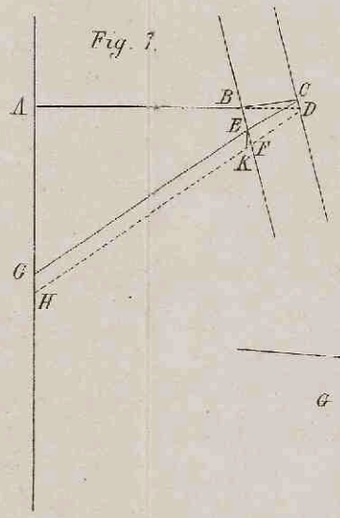


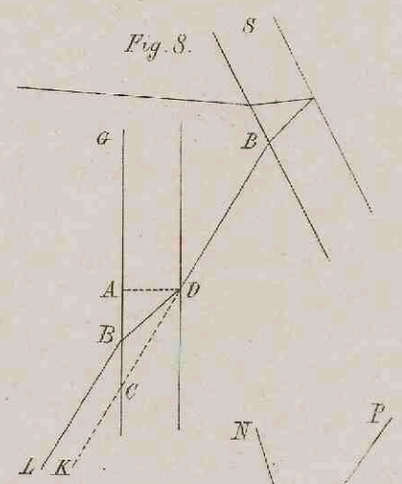


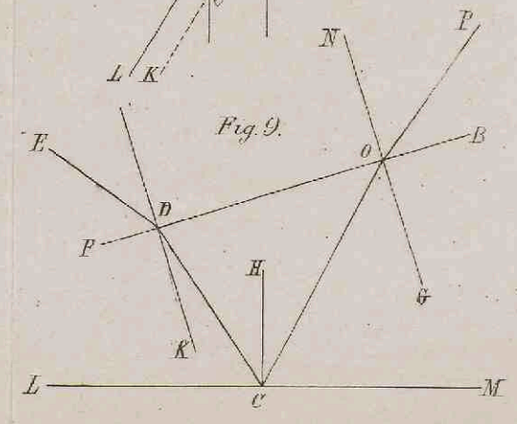


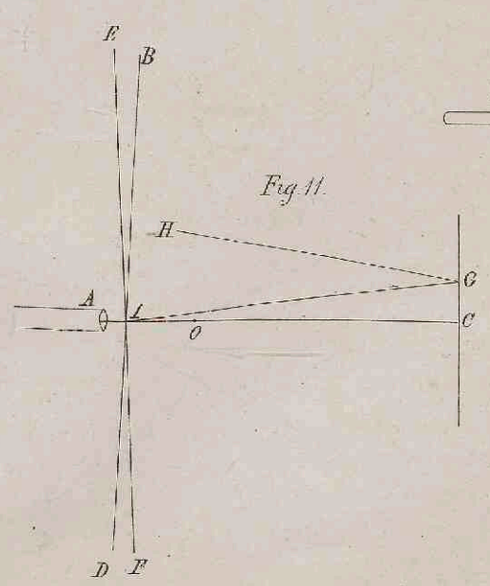


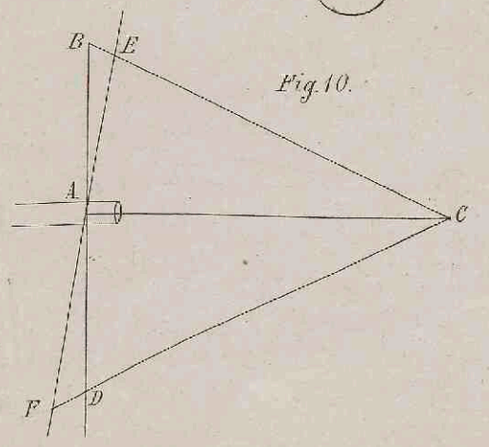












Steend. P. W. v. d. Weijer, Utrecht.

THESES.

I.

Dans le choix des systèmes on ne doit avoir égard qu'à la simplicité des hypothèses; celle des calculs ne peut être d'aucun poids dans la balance des probabilités. La nature ne s'est pas embarrassée des difficultés d'analyse; elle n'a évité que la complication des moyens.

FRESNEL.

II.

De grootheden, die men in de wiskunde oneindig kleinen noemt, hebben hun bestaan alleen te danken aan de daarbij aangenomene voorstelling, daar zij in het wezen der zaak niet bestaan.

III.

Waar men de stroomsterkte met de grootst mogelijke naauwkeurigheid wil meten, is de inrigting der tangentenboussole volgens Gaugain (Pogg. 88) niet aan te bevelen.

IV.

Het is verkeerd, uit het begrip van de eenheid der natuur af te willen leiden, dat alle aequivalentgewigten veelvouden van dat van hydrogenium of van de helft er van, zijn zouden.

V.

Het bepalen der physische constanten kan alleen bij vloeistoffen, gassen en kristallen met groote naauwkeurigheid geschieden.

VI.

Het bepalen van de geleidingstoestand van een zelfden draad in verschillende omstandigheden, moet van groot belang geacht worden voor de kennis der physische constitutie der ligchamen.

VII.

De bepaling van een hoek, als het oneindige vlak tusschen twee elkander snijdende lijnen begrepen, is af te keuren.

VIII.

De voorstellingen van Dumas omtrent den zamenhang der atoomgewigten zijn van allen zekeren grond ontbloot.

IX.

Het verschijnsel dat planten zich ombuigen naar het licht, wordt niet voldoende verklaard door verhoogde chemische werking.

X.

Het valt bezwaarlijk te betwijfelen, dat de mensch gelijktijdig met sommige zoogenaamde voorwereldlijke dieren geleefd heeft.

XI.

Het toenemend aantal der kleine planeten heeft de vooruitgang der sterrekunde meer vertraagd dan bevorderd.

XII.

Aprioristisch is het, bij het opbouwen der physische theoriën, de wet van continuiteit als eene grondwet in de natuur te beschouwen.

XIII.

Indien men de warmte door trillingen wil verklaren, bestaat er echter hoegenaamd geene reden, hiervoor uitsluitend transversale aan te nemen.

XIV.

Bij de verklaring van de ontwikkeling van den galvanischen stroom kan men de voltaproef niet ontberen.

XV.

De micrometer van Clausen is de beste micromètre à double image.

AAN

MIJN' VRIEND

H. W. SCHROEDER VAN DER KOLK,

BIJ ZIJNE AANSTAANDE BEVORDERING TOT DOCTOR
IN DE WIS- EN NATUURKUNDE.

Heerlijk is des levens lente,
Als de jeugd vol frischheid bloeit,
Aan de schoonste zon zich koestert,
En voor deugd en waarheid gloeit;
Als de geest zijn vrije wieken
Breed en breeder steeds ontplooit,
En het scheem'rend veld der toekomst
Rijk met idealen tooit.

Maar gelukkiger mag heeten,
Wie in d' aanvang van zijn baan
Naast de schoonst ontloken bloemen
Reeds een rijpen oogst ziet staan,
Reeds een kostb're vrucht mag plukken
Van het vroeg gestrooide zaad;
Wien de krans der eer mag sieren,
Eer zijn zon in 't zenith staat.

U, mijn Vriend! tooit zulk een lauwer
Weldra 't blij geheven hoofd;
Vrolijk kunt Ge 't oogstfeest vieren,
Dat uw jeugd eens had beloofd,
Langs uw mild bebloemde paden
Jubelt nog de nachtegaal,
En reeds kent Gij 't lied der Muzen,
En der wijzen heil'ge taal.

Waar de dochter der Ardennen,
Dinants liefde en Namens lust,
Neêrlands bodem komt begroeten
En St. Pieters heuv'len kust,
Zijt Ge uw loopbaan ingetreden,
Hebt Ge uw schoone taak aanvaard,
Om te werken met de krachten,
In uw jeugd bijeenvergaârd.

En eer vijfmaal 't licht der zonne
't Stergeflonker heeft gedoofd,
Zien we een nieuwen eerelauwer
Nederdalen op uw hoofd.
Frissche en onverwelkb're palmen
Strooit Minerva op uw paân,
En de vriendschap biedt met geestdrift
U haar hulde als doctor aan.

Doch Minerva eischt uw liefde,
Voor de hulde, u toegebragt,
En de menschheid vraagt het offer
Van uw beste levenskracht.
Nieuwen luister moet gij voegen
Aan een lang beroemden naam,
Wijd geliefd om zielenadel,
Menschenliefde en kennis zaam.

Maar dat wilt gij, maar dat kunt gij,
  Werkend in uws vaders geest,
En dit streven siert U schooner
  Dan uw krooning op uw feest.
O bewaar het! Mogten eenmaal
  't Vaderland, de wetenschap
Dankbaar 't plegtig uur herdenken
  Van uw eerste doctorskap!

Spoort Gij de onverstoorb're krachten,
  Die 't heelal beheerschen, na;
Slaat uw oog haar rust'loos werken,
  Strijden en verand'ren gâ;
Of ontleedt uw geest de wetten
  Van getal en ruimte en tijd:
Al uw streven, al uw denken
  Zij aan 't hoogste doel gewijd:

Licht te scheppen in het duister,
  Zegen, waar de rampspoed dring';
Tot zijn rang den geest te heffen,
  Die de stof beheersche en dwing'.
Hooger! hooger! zij uw leuze;
  Opwaarts, naar het eeuwig licht,
Waar de vlugt van jaren, eeuwen,
  Eindloos door, is heengerigt!

Doch uw feest genaakt; en wie zou
  Warmer deelen in uw vreugd,
Rijker zijn aan dankb're wenschen,
  Dan uw vriend sinds vroeger jeugd?
Nimmer zal mijn hart vergeten,
  Willem! wat me Uw vriendschap gaf
In een tiental schoone jaren; —
  O zij bloeije nog aan 't graf!

Helder straal' de zon uws levens,
  Met uw geest in harmonij,
En bedekt een wolk haar luister,
  Toch blijve U haar warmte bij!
Aan 't gezegend kroost van Flora
  In het lieflijk Zuid gelijk,
Zij uw leven zonder winter,
  Steeds aan vrucht en bloemen rijk!

Vind, als veler gids naar hooger,
  Eens in veler liefde uw loon;
Als haar wakk'ren strijder vlechte
  U de wetenschap haar kroon;
En aan d'eindpaal van uw streven
  Gelde U 't veelbeteek'nend woord:
„Wie zich wijdt aan 't goede en ware,
  „Leeft in 't geen hij werkte voort!"

UTRECHT,
6 Januarij 1860.

J. E. DIBBITS.