

## GESCHIEDENIS VAN DEN THERMOMETER.

---

Elk werktuig, dat der wetenschap diensten bewijst, heeft zijne geschiedenis, zoo goed als de denkbeelden die haar tijdelijk beheerschen en de personen die haar achtereenvolgens vertegenwoordigen. Men denke slechts aan den slinger, den verrekijker, het mikroskoop, het galvanisch element, den eudiometer, den distilleerketel, de blaaspijp — over elk van deze zou men belangrijke monographieën kunnen schrijven, die trouwens over sommige (b. v. mikroskoop en blaaspijp) inderdaad verschenen zijn.

In de *Sammlung gemeinverständl. wissenschaftlicher Vorträge* van VIRCHOW en VON HOLTZENDORFF (Serie XX, Heft 470) gaf onlangs E. GERLAND eene geschiedenis van het meest verspreide, meest algemeen gebruikte natuurkundig werktuig: den thermometer. Hij bepaalt zich tot dat instrument in zijn eenvoudigsten vorm; er is geen sprake van maximum- en minimum-, zelfregistreerende- en differentiaal-thermometers, evenmin van pyrometers. Van de tamelijk omvangrijke, maar zeer verspreide literatuur is door hem vlijtig gebruik gemaakt: in de eerste plaats van de verhandelingen van WOHLWILL (*Zur Geschichte d. Erfind. u. Verbreit. d. Therm.* Pogg. Ann. V. 4—1865) en BURCKHARDT (*Die Erfindung d. Therm. u. seine Gestalt im 17 Jahrh.* Basel 1867), wier nasporingen de vroeger duistere geschiedenis van den »thermoskoop», in de eerste eeuw van zijn bestaan, tot klaarheid hebben gebracht.

Ik meen den lezers van het *Album* geen ondiens te doen door hier op de lezenswaardige verhandeling van GERLAND opmerkzaam te maken, en grootendeels aan de hand van dezen over de geschiedenis van den thermometer (G. beschrijft ook hoe men thans dit werktuig vervaardigt en keurt) het meest wetenswaardige mee te deelen. Wellicht lokt

dit dezen of genen uit zich het stukje van *g.* aan te schaffen, dat gelijk alle afleveringen der *Sammlung* ook afzonderlijk en wel voor weinige stuivers verkrijgbaar is.

Wat vooreerst de uitvinding van den thermometer betreft, wie zich wellicht nog uit de boekjes zijner kinderjaren mocht herinneren, dat die aan een landgenoot te danken is, zal dit voor zijn vaderlandsch hart streelend gevoel moeten opgeven. Niet toch CORNELIS DREBBEL, de leermeester van de zoons van keizer FERDINAND II, die omstreeks 1572 te Alkmaar geboren werd, in 1634 te Londen overleed en ongetwijfeld voor zijn tijd een geleerd wis- en natuurkundige, maar tevens een mystieke plannemaker was, niet deze vermeende uitvinder van veel verwonderlijks, o. a. van de eeuwigdurende beweging, — maar een beroemder man dan hij, de groote natuurkundige GALILEO GALILEI heeft hoogst waarschijnlijk den eersten thermometer vervaardigd en gebruikt.<sup>1</sup>

De aanspraken van GALILEI blijken vooreerst uit de aan hem gerichtte brieven van een Venetiaansch edelman SAGREDO, die dd. 13 Mei 1613 schrijft: »het instrument voor het meten van warmte, dat door u is uitgevonden», en nog beslister dd. 15 Maart van hetzelfde jaar: »daar, zooals gij schrijft en ik ook vast geloof, gij de eerste vervaardiger en uitvinder (van het werktuig voor de bepaling der temperatuur) geweest zijt, zoo meen ik», enz. Voorts wordt in de levensbeschrijving van GALILEI door zijn leerling VIVIANI 1593 genoemd als het jaar, waarin deze den thermometer uitvond, en eindelijk zegt pater CASTELLI in een schrijven aan den kardinaal CESARINI, dat GALILEI bereids in 1603 in zijne lessen proeven met den thermometer nam. De daarbij gevoegde beschrijving van het instrument past nauwkeurig op den thermometer, die nog heden te Florence in het »Museo di Galilei» als van dezen afkomstig getoond wordt. Dit werktuig is een luchtthermometer en bestaat uit een glazen bol, ter grootte van een hoenderei, die zich aan de onderzijde vernauwt tot eene lange buis, ter dikte van een stroohalm. Het ondereinde dezer buis moet onder water worden gedompeld, terwijl men vervolgens door verwarming

<sup>1</sup> G. klaagt over gebrek aan historischen zin bij de natuuronderzoekers, die ook na de afdoende nasporingen van WOHLWILL en BURCKHARDT (thans reeds 20 jaar bekend) voortgaan met DREBBEL als uitvinder te noemen. Hierbij zij opgemerkt, dat ten onzent reeds veel langer de aanspraken van DR. in twijfel worden getrokken. Zoo heet het b. v. in de laatste uitgave van NIEUWENHUIS' woordenboek (3<sup>de</sup> deel, 1856) »of de uitvinding met recht aan hem (DR.) wordt toegeschreven is twijfelachtig.»

met de handen eenige lucht uit den bol drijft. 't Gevolg is, dat bij de daarop volgende bekoeling en inkrimping der overgeblevene lucht het water in de buis opstijgt, en dat dit dan door beurtelings te rijzen of te dalen een afkoeling of verwarming der ingesloten lucht aangeeft.

CASTELLI zelf zag in 1603 GALILEI met dat toestel proeven doen, zoodat aan DREBBEL, wiens vermeende warmtemeter voor 't eerst in 1604 beschreven is (in zijn werk *De Elementis*) de prioriteit althans niet kan toekomen. Doch er is meer. Het toestel van DREBBEL was eene luchthoudende retort, waarvan de hals onder water werd gedompeld en waaruit een deel der lucht door verwarming werd verdreven. Na de bekoeling steeg het water in den hals op en diende nu aan DREBBEL tot bewijs, dat lucht door verwarming uitzet en door verkoeling inkrimpt. De gedachte nu — en hierop komt het aan — om die uitzetting en inkrimping der lucht als maat te bezigen voor de warmte, of om althans eenigermate daarmede temperaturen te schatten, die gedachte wordt niet uitgesproken. Waarschijnlijk zag DREBBEL in zijn toestel, waarin het water door de temperatuursveranderingen der omgeving beurtelings rees en daalde eene soort van *perpetuum mobile*. Gelijk WOHLWILL uitvoerig aantoonde, werd gedurende de eerste helft der 17de eeuw zeer algemeen eene dergelijke voorstelling aan de schijnbaar spontane beweging van het vocht in den thermometer vastgeknoopt; velen, zooals REYHER, VON GUERICKE, BECHER drukten dit zelfs in de namen uit, die zij aan door hen geconstrueerde luchtthermometers gaven. Dit maakt nu ook begrijpelijk, hoe men er toe kwam om aan die thermometers den naam van DREBBEL vast te knopen, die wegens zijne boven beschreven proef door velen als ontdekker van de eeuwigdurende beweging beschouwd werd. De lang gebruikelijke benaming »instrumentum Drebbelianum» heeft volgens WOHLWILL in de literatuur den volgende oorsprong. In 1624 gaf de fransche natuurkundige, pater LEURECHON, onder den titel van *Recréations mathématiques* een boek uit, dat veel opgang maakte en in verscheidene talen is overgezet. Terwijl nu de nederlandsche, duitse en engelsche vertalingen, daar waar van den thermometer sprake is, streng het oorspronkelijke volgen, heeft de latijnsche vertaler (KASPAR ENS, luthersch priester te Lorich) zich met den titel van een der hoofdstukken eene kleine afwijking veroorloofd. LEURECHON's opschrift: »du thermomètre ou instrument pour mesurer les degrez de chaleur ou de froidure qui sont en l'air» geeft hij weer door: »de thermometra sive instrumento Drebiliano quo gradus caloris frigorisque aëra occupantis explorantur»

d. i.: »over den thermometer of het instrument van DREBBEL, waarmede men de graden van warmte en koude onderzoekt, die in de lucht aanwezig zijn.»

Overigens werden in de 17<sup>de</sup> eeuw ook nog verscheidene andere natuurkundigen als uitvinders van den thermometer genoemd, zooals ROBERT FLUDD en de bovengenoemde, in de natuurkunde welbekende burgemeester van Maagdenburg, OTTO VON GUERICKE. Dat dit ten onrechte geschiedde, is evenwel sedert lang algemeen erkend, en ook SANCTORIUS, tijdgenoot van GALILEI en hoogleeraar in de ontleedkunde te Padua, heeft geen aanspraak op de uitvinding, die latere geslachten hem een tijdlang hebben toegeschreven. Deze SANCTORIUS, die zich overigens zelf nooit eenig aandeel aan de vinding van GALILEI had toegekend, heeft veel met den thermometer geëxperimenteerd en dien o. a. reeds gebezigd om de lichaamswarmte van koortslijders te bepalen.

De thermometers, aanvankelijk ook thermoskopen genoemd, en alle naar 't beschreven model van GALILEI ingericht, ook die welke nog als »thermometra Belgica sive Drebbelii» bekend zijn<sup>1</sup>, werden langzamerhand verbeterd. Het eerst werd de buis, die zich beneden den bol bevond, van onderen U-vormig omgebogen en het opstaande uiteinde tot een kleineren bol verwijd, die het water opnam. Het toestel werd aldus aan de achterzijde op een plankje bevestigd, met schaalverdeeling voor 't aflezen van den stand der vloeistof. Reeds in 1636 wist men aan bol en buis zoodanigen inhoud te geven, dat de waterspiegel in de verschillende jaargetijden de geheele buis doorliep. Ook de opgaven over 't gebruik en de verdeelingen der schaal (in 8 of ook wel 4 deelen, welke dan weder onderverdeeld werden, b. v. die van 8 nogmaals in 8, dus 64) verraden den Italiaanschen oorsprong.

Het kon al spoedig de aandacht niet ontgaan, dat de aldus ingerichte thermometer weinig geschikt was om als warmte-meter dienst te doen. De spanning, en dus de uitzetting of inkrimping der ingesloten lucht, bijgevolg ook het rijzen of dalen der vloeistof, hangt niet alleen van de temperatuur af, maar tevens van de luchtdrukking. Later is dan ook — gelijk nu nog — een soortgelijk ingericht toestel als barometer gebezigd, wat goed gaat als het toestel in eene ruimte van constante temperatuur wordt opgehangen, of wel wanneer men voor de temperatuursveranderingen een correctie weet aan te brengen.

<sup>1</sup> Afbeelding o. a. bij BOERHAAVE: *Elementa Chemiae I* 152.

Het bezwaar, dat de stand van 't vocht van twee veranderlijke grootheden afhing, luchtdrukking en temperatuur, werd opgeheven door JEAN REY, den wêlbekenden voorlooper van LAVOISIER, die de verkalming der metalen en de verbranding beter wist te duiden dan iemand van zijne tijdgenooten en bijna de zuurstof ontdekt had. Deze keerde het apparaat van GALILEI als het ware om, zoodat het water nu den benedenwaarts gerichten eivormigen bol geheel vulde en de naar boven gerichte buis, die open en zonder ombuiging eindigde, gedeeltelijk. Door deze verandering, werd de warmte niet langer gemeten door de uitzetting van *lucht*, maar door die van het *water*. REY deelde deze belangrijke wijziging op 1 Jan. 1682 aan pater MERSENNE mede, d. i. maakte ze op genoemden datum openbaar, want deze pater was destijds, toen er nog geene wetenschappelijke tijdschriften bestonden, een ijverig bemiddelaar van gedachtenwisseling tusschen de natuuronderzoekers. Het is deze vorm van thermometer, dien men later den Florentijnschen genoemd heeft. Te Florence werd namelijk aan den thermometer van REY eene belangrijke verbetering aangebracht, die uit den boezem der beroemde »Accademia del Cimento" (opgericht in 1657, op aandrang van de pauselijke regeering in 1667 opgeheven) voortkwam. Naar de opgaven van de leden dezer academie zou meer bepaald de verbetering zijn uitgedacht door den regeerenden groot-hertog van Toskane, FERDINAND II, in wiens paleis de leden vergaderden, en wiens broeder, prins LEOPOLD DI MEDICI, leerling van GALILEI, de beschermheer der academie was<sup>1</sup>.

REY had de buis van zijn thermometer van boven opengelaten; de vloeistof verdampte mettertijd en gaf daardoor te lage aanwijzingen, die men bovendien door invallend stof niet nauwkeurig meer kon aflezen. FERDINAND kwam op het denkbeeld de buis te sluiten en de bovenstaande lucht uittedrijven, welk dubbel doel hij bereikte door het vocht in de buis zoolang te koken, totdat de ontwikkelde dampen de lucht hadden uitgedreven, en door vervolgens de buis in de blaaspijpvlam<sup>2</sup> dicht te smelten.

<sup>1</sup> Zooals men weet was dit het oudste van de geleerde genootschappen, die in de 17<sup>de</sup> en 18<sup>de</sup> eeuw voor de ontwikkeling der natuurwetenschappen zoo belangrijk werden. De academie telde TORRICELLI en CASTELLI onder hare leden. Dat zij een doorn in het oog der geestelijkheid was, is niet te verwonderen; om tot haar te worden toegelaten moest men o. a. elk geloof afzweren. De broeder van den groot-hertog, dien men »bewaterk" had, werd na de opheffing tot den rang van kardinaal verheven.

<sup>2</sup> Volgens KOPP zijn de geschriften der academie de *eerste*, waarin van de blaaspijp

Eene verdere verbetering, die destijds en nog lang daarna door velen beproefd werd, was de vervaardiging van eene meer vertrouwbare schaal. 't Vraagstuk, dat men trachtte oplossen, was het vinden van twee uiteenliggende temperaturen, die onder alle omstandigheden, zoo dikwerf dit verlangd werd, nauwkeurig op nieuw verkrijgbaar waren. Werden de standen van het vocht in de buis voor deze temperaturen op de schaal nauwkeurig aangegeven, dan had men twee vaste punten en moest de afstand tusschen beide nog slechts in een bepaald aantal gelijke deelen verdeeld worden.

De leden der academie namen aanvankelijk de vóór hen in Italië gebruikelijke vaste punten over, waarvan het laagste de »winterkoude'', het hoogste de »zomerwarmte'' heette voor te stellen, terwijl zij den afstand tusschen beide in  $8 \times 10$ , of ook in  $4 \times 10$  deelen afpasten, en eene gelijke verdeeling boven en beneden de vaste punten nog een eindweegs voortzetten. Gelijk reeds anderen vóór hen, zagen zij spoedig in hoe weinig vast de temperaturen waren door de rekbare uitdrukkingen »winterkoude'' en »zomerwarmte'' aangeduid. Zij zochten dus naar eene scherpere omschrijving en bepaalden »winterkoude'' als de temperatuur, die sneeuw of ijs bij den felsten vorst aanneemt, en stelden voor »zomerwarmte'' de temperatuur, die zij aan de lichamen van zoogdieren (met name runderen en herten) waarnamen. Later bevonden zij, dat smeltend ijs steeds dezelfde temperatuur had, en vonden daarvoor  $13\frac{1}{2}^{\circ}$  (volgens de in  $4 \times 10$  graden verdeelde schaal). Het wordt evenwel niet duidelijk uitgesproken, of zij van dien constanten warmtegraad als vast punt voor de thermometer-verdeeling partij trokken. Eindelijk voerden zij nog eene derde schaal in, die hunne zomerwarmte op  $400^{\circ}$  en de temperatuur van bevrozend water (zooals bekend is *niet* onveranderlijk, gelijk de temperatuur van smeltend ijs) op  $140^{\circ}$  stelde.

Dat het niet aan klachten ontbrak over de ongelijke aangewijzingen van dergelijke thermometers, laat zich begrijpen; bitter klaagt o. a. CHRISTIAAN WOLFF, hoogleeraar te Halle, over de onvertrouwbaarheid van de instrumenten, die hij uit Florence had doen komen.

In tegenspraak hiermede is evenwel de uitkomst van een onderzoek naar de juistheid van een aantal thermometers, die in 1829 bij toeval te Florence gevonden zijn en kennelijk van de »Accademia del Cimento''

---

spoke is, en dat wel in bewoordingen die aanduiden, dat dit instrument toen nog zeer weinig bekend was. »Voor de vervaardiging van thermometers en soortgelijke toestellen — zoo heet het — bedient de kunstenaar zich van zijne wangen als een blaasbalg, waarmede hij zijn adem door een werktuig van kristalglas in de vlam drijft.»

afkomstig waren. Deze wezen inderdaad voor 't smeltpunt van ijs  $13\frac{1}{2}^{\circ}$  aan, en toen men uit de 16-jarige waarnemingen van de leden der academie de gemiddelde jaarlijksche temperatuur van Florence, door vergelijking van de oude met onze thermometers, in graden van de laatste had uitgedrukt, bleek de uitkomst overeentestemmen met de waarde, die men uit de waarnemingen tusschen 1820—1830 had berekend. De overeenstemming was zelfs zóó groot, dat LIBRI meende te mogen besluiten, dat het klimaat van Florence in de laatste 200 jaar geene verandering had ondergaan.

Om te verklaren, dat men zulke juiste thermometers verkrijgen kon in weerwil van de beschrevene, weinig constante temperaturen waarvan men uitging, veronderstelt GERLAND, dat men zich nog van een ander hulpmiddel moet bedienen hebben, wat volgens hem geen ander kan geweest zijn dan vergelijking van de thermometers met een standaard-thermometer. Dit klinkt vrij geloofelijk, maar verklaart de moeilijkheid nog slechts ten halve; men begrijpt dit aannemende wel, hoe de thermometers der academie onderling overeenstemden, *niet* waarom zij vermoedelijk gelijken gang hadden met onze tegenwoordige. Wellicht hebben de academici toch de temperatuur van smeltend ijs als vast punt gebezigd, toen hun de standvastigheid daarvan gebleken was, al is dat dan ook niet uitdrukkelijk door hen gezegd. En indien zij voor het tweede vaste punt de gemiddelde bloedwarmte van runderen en herten genomen hebben, uit een groot aantal waarnemingen afgeleid, dan waren hunne vaste punten niet zóó slecht om overeenstemming met onze thermometers onmogelijk te maken. Wat eindelijk WOLFF's klachten betreft, wellicht behoorden zijne thermometers tot de oudste, naar aanwijzing der academie vervaardigde, of waren zij door Italianen gemaakt, die met de academie niet in verbinding stonden, of waren zij althans niet door hare leden gecontrôleerd.

Er is volgens de beschrijving door GERLAND gegeven nog een ander punt, dat wellicht voor sommigen mijner lezers opheldering behoeft, nl. hoe 't mogelijk was met een *water*-thermometer lage temperaturen te bepalen. Beneden de temperaturen met  $4^{\circ}$  CELSIUS overeenkomende, moet immers 't water, dat bij gezegden warmtegraad zijn grootste dichtheid heeft, weder uitzetten en dus te hooge temperaturen aanwijzen, om bij verdere afkoeling, onder nog sterkere uitzetting, tot ijs te stollen. Vermoedelijk hebben de Florentijners het water van REY door spiritus vervangen, de vloeistof; die door groenspaan gekleurd althans aan het

einde der 17de eeuw voor het vullen der thermometers algemeen in gebruik was. Wie dit het eerst gedaan heeft, wordt door GERLAND niet opgegeven en is mij ook niet uit andere bronnen gebleken.

Na de Florentijnen zochten nog vele natuurkundigen naar twee constante temperaturen als uitgangspunten voor eene goede schaalverdeeling. Dat sommigen in hunne keuze niet gelukkig waren, leert het voorbeeld van DALENCÉ, die in 1688 de »winterkoude» bepaalde als de temperatuur der lucht op 't oogenblik, dat het begint te vriezen, en die de »zomerwarmte» gelijkstelde aan de temperatuur van smeltende boter. Voor de laatste mocht men, volgens hem, ook wel de temperatuur nemen, die in een diepen, gesloten kelder heerscht, en de eerste hield hij ook voor verkrijgbaar door gewoon zout onder fijn gestampt ijs te mengen. Omstreeks denzelfden tijd vestigen anderen, als vast punt voor de thermometerschaal, de aandacht op het kookpunt van water. Volgens de gewone opgaven zou NEWTON dit het eerst gedaan hebben (1686), dan HALLEY (1692), RENALDINI (1694) en AMONTON (1702).

Aan geen van dezen komt evenwel, gelijk GERLAND opmerkt, de eer der vinding toe van het tweede vaste punt voor de schaalverdeeling; want daar het hun ontging, dat de temperatuur van het kookpunt niet onbelangrijk verandert met den barometerstand, konden zij de wezenlijke waarde van hunne bewering niet beoordeelen. De betrekking tusschen kookpunt en barometerstand is het eerst gevonden door DANIEL GABRIEL FAHRENHEIT, geboren te Dantzig in 1686, en gedurende een groot deel van zijn leven thermometermaker te Amsterdam. Aan dezen scherpzinnigen werktuigkundige (»ingeniosissimus in mechanicis Artifex» zooals BOERHAAVE hem noemde) heeft men mitsdien het tweede vaste punt te danken. Maar niet alleen dit; gelijk men zien zal, moet hij, van allen die vóór en na hem kwamen, de voornaamste hervormer van den thermometer genoemd worden.

FAHRENHEIT schijnt op jeugdigen leeftijd naar Amsterdam gekomen te zijn en daar reeds spoedig thermometers vervaardigd te hebben, die algemeen in gebruik kwamen. BOERHAAVE deelt mede, dat in den kouden winter van 1709 de »thermoscopium Fahrenheitianum» op IJsland tot 1° boven nul gedaald was en dat hij zelf dien winter in den Leidschen hortus zoodanigen thermometer op + 5° had afgelezen.

Deze eerste thermometers waren nog spiritus-thermometers en onderscheidden zich, behalve door voortreffelijke bewerking, door eene bijzon-



dere schaalverdeeling. Als grondslag daarvoor nam F. in zijne eerste proeven de laagste temperatuur, die hij verkrijgen kon, door salmioniak met fijn verdeeld ijs te mengen. (Salmioniak, omdat dit destijds als het zout bekend stond, dat van alle zouten met sneeuw of ijs de laagste temperatuur opleverde.) Dit was dan tevens ongeveer de laagste temperatuur, (+ 1° F. op IJsland), die men destijds in de natuur had waargenomen<sup>1</sup>. Het tweede vaste punt, door F. vóór 1710 gebezigd, was de warmte van het gezonde menschelijk lichaam, die hij waarnam door den thermometerbol 't zij in den oksel, 't zij onder de tong te plaatsen. De afstand tusschen de twee beschrevene vaste punten (waarvan vooral het eerste te wenschen overliet) is achtereenvolgens op verschillende wijzen door hem verdeeld, namelijk eerst in 180, later in 24, per slot van rekening in  $4 \times 24 = 96$  graden, zoodat toen het nulpunt zijner schaal de laagste temperatuur aanwees, verkrijgbaar door salmioniak met ijs te mengen, en 96° F. de bloedwarmte. Men heeft er veel over getwist, op wiens aanraden F. deze laatste graadverdeeling (die hij later getrouw bleef, ook nadat hij smelt- en kookpunt van het water als vaste punten had aangenomen en de spiritus door kwikzilver vervangen was) had aangenomen. Volgens LAMBERT was het BOERHAAVE, maar volgens dezen laatste kwam de voorslag van den deenschen sterrenkundige RÖMER (bekend door zijne berekening van de snelheid van het licht). De jaren tusschen 1710—1714 bracht F. geheel of grootendeels met reizen door. In het laatstgenoemde jaar ontdekte hij de standvastigheid van het kookpunt, waarop hij opmerkzaam was geworden door de proefnemingen van AMONTON. Ook had hij in 1714 als tweede vaste punt de smeltingswarmte van ijs reeds aangenomen. Tot aan 1724 hield hij zijne methode om met behulp van deze twee vaste punten kwik-thermometers te vervaardigen geheim, maar in laatstgenoemd jaar maakte hij die openbaar in de geschriften van de „Royal Society” te Londen. Volgens GERLAND kon hij dat gerust doen, daar er weinig kans bestond, dat iemand ter wereld spoedig slagen zou om zulke voortreffelijke thermometers te vervaardigen, als die van den geoefenden FAHRENHEIT. In het physisch kabinet te Leiden

<sup>1</sup> De onvermoeide FAHRENHEIT, zoo verhaalt ons BOERHAAVE, slaagde er later in den kouden winter van 1729 in, door het mengen van sterk salpeterzuur met ijs, zijnen kwikthermometer tot  $-40^{\circ}$  te doen dalen. Dit is ( $-40^{\circ}$  F.  $\doteq$   $-40^{\circ}$  C.) omstreeks de temp., waarbij kwikzilver bevriest. Uit de beschrijving blijkt, dat het kwik van F.'s thermometer nog vloeibaar bleef.

worden nog twee uitmuntende kwik-thermometers bewaard door F. voor 's GRAVESANDE vervaardigd. Een hoofdverdienste van zijne instrumenten is hun gelijkmatige gang. Er blijft nog over te verklaren, waarom F. de spiritus door kwikzilver verving. De gedachte om dit laatste voor het vullen der thermometers te gebruiken was reeds in 1688 door HALLEY uitgesproken, maar vooralsnog door niemand in praktijk gebracht. Hoe F. er toe kwam dit te doen, is niet moeilijk te gissen. Wilde hij van het kookpunt van het water, althans bij de gewone luchtdrukking, als vast punt voor de schaalverdeeling gebruik maken, dan was het noodzakelijk den spiritus, die lager kookpunt bezit, door eene minder vluchtige vloeistof te vervangen. Op welke wijze F. het kwikzilver zuiverde is niet bekend; waarschijnlijk door destillatie.

De kwikthermometers van F. vonden veel bijval. Hoe BOERHAAVE F. prees is reeds boven medegedeeld en dat hij van diens thermometers een nuttig gebruik maakte kan hieruit blijken, dat de leer der warmte een der beste hoofdstukken is uit zijne *Elementa Chemiae*<sup>1</sup>, en vervolgens hieruit, dat hij de eerste scheikundige was, die nauwkeurig de temperaturen vermeldde voor chemische bewerkingen en kook- en smeltpunten van tal van stoffen in *graden* opgaf. Vóór BOERHAAVE bepaalden zich de temperatuur-opgaven der scheikundigen, bij gebrek aan vertrouwbare warmtemeters, tot zeer algemeene uitdrukkingen. Zoo onderscheidde b. v. LIBAVIUS vierderlei warmtegraden: 1<sup>o</sup> warmte die de hand nog geen pijn doet, 2<sup>o</sup> hitte die de hand pijn veroorzaakt, maar nog geen brandwonden geeft, 3<sup>o</sup> de hitte van gloeiend ijzer, 4<sup>o</sup> de hoogste temperatuur die men verkrijgen kan.

Om nog even op F. terugtekomen, de thermometer dien hij ten slotte verkregen had en met den thans meest gebruikelijken overeenkomt (zoo men wil met uitzondering van de schaal, wat alleen conventie is en aan de bruikbaarheid van het instrument niets afdoet,) was een kwikzilver-thermometer. Als vaste punten dienden hem het smeltpunt van ijs en het kookpunt van water bij de gewone luchtdrukking, maar om de schaal te kunnen behouden, hem door RÖMER aanbevolen, werden deze vaste punten resp. op + 32° en + 212° vastgesteld.

Dat alle verandering geene verbetering is, werd bewaarheid aan RÉAUMUR, die — onrechtvaardige gril van het lot — zijne alge-

<sup>1</sup> Vgl. dr. LUBACH: BOERHAAVE als natuuronderzoeker, *Album der Natur* 1877, p. 14.

meene bekendheid niet te danken heeft aan zijne werkelijke verdiensten als dierkundige, maar aan zijne mislukte poging om den thermometer tot meerdere volkomenheid te brengen. RÉAUMUR keurde FAHRENHEIT's voortreffelijke instrumenten (waarmede ook de bovengenoemde WOLFF hoogelijk ingenomen was) daarom af, omdat kwik, in vergelijking met alcohol, door verwarming slechts weinig uitzet. FAHRENHEIT had dit bezwaar overwonnen, door den bol van zijne kwikthermometers betrekkelijk zeer ruim en de buis in verhouding zeer nauw te nemen, zoodat hij, in weerwil van de geringe uitzetting van het kwik, toch eene zeer zichtbare rijzing van den spiegel langs de uitnemend verdeelde schaal verkreeg, die in staat stelde zelfs breuken van een graad met volkomene zekerheid aftelezen.

RÉAUMUR, die aan alcohol niettemin de voorkeur gaf, in weerwil van het lage kookpunt, bepaalde de uitzetting dezer vloeistof en kwam in 1730 tot de uitkomst, dat 1000 maten alcohol van de warmte van smeltend ijs zich door verwarming tot aan het kookpunt van water moesten uitzetten tot 1080 maten. Dit leidde R. er toe om den afstand tusschen beide temperaturen in 80 gelijke deelen te verdeelen. Zijn alcohol-thermometer werd op de volgende wijze gecalibreerd. Ten einde het kookpunt van den alcohol te verhoogen (die, gelijk wij thans weten, in watervrijen toestand, onder de gewone luchtdrukking bij  $78^{\circ}4$  C. =  $62^{\circ}7$  R. =  $173^{\circ}$  F. kookt) vermengde R. dien met  $\frac{1}{5}$  van zijn volume water, bracht den daarmede gevulden thermometer in water, dat door een koudmakend mengsel omgeven was, en noteerde den stand van zijn instrument op het oogenblik, dat het water bevroor. De stand van den alcohol bij 't kookpunt werd vervolgens bepaald door den thermometer in kokend water te dompelen.

De beroemdheid van RÉAUMUR op zoölogisch gebied kan niet verontschuldigen, dat aan den op deze gebrekkige bepalingen gegronden spiritus-thermometer de voorrang is toegekend boven het uitmuntende instrument van FAHRENHEIT, het resultaat van jarenlangen arbeid en zorgvuldig doordachte proeven. Dat wèl het smeltpunt van ijs, maar niet het vriespunt van water constant is, was reeds twee menschengeslachten vóór RÉAUMUR's proeven gevonden; het nulpunt van R. kan al naar omstandigheden tusschen omstreeks  $-10^{\circ}$  en  $0^{\circ}$  afwisselen. Zoo mogelijk nog gebrekkiger was de wijze, waarop het tweede vaste punt verkregen werd. Gelijk men weet, moet de thermometer, waaraan men de temperatuur van kokend water wil geven, niet in de kokende vloeistof, maar in den damp daarvan gedompeld worden, en vervolgens

kon het mengsel van alcohol en water in de open buis nooit de temperatuur van het bad aannemen, maar slechts eene lagere, die bovendien geen oogenblik constant kon blijven, wegens de ongelijke verdamping van alcohol en water. Toen men dan ook later het kookpunt op de wijze van RÉAUMUR bepaalde, vond men daarvoor  $64.8^{\circ}$  R., in plaats van  $80^{\circ}$  R.

In 1757 trachtte DU CREST de methode van R. te verbeteren door den thermometer vóór de indompeling luchtdicht te sluiten, alvorens alle lucht uitgedreven was. De uitkomst werd zoodoende gunstiger, wegens de verhooging van 't kookpunt van den wijngeest door de grootere spanning van den damp, maar *constante* uitkomsten zijn ook op deze wijze onmogelijk te verkrijgen. Om van het kookpunt van het water als vast punt voor de schaalverdeeling partij te trekken, zag men zich gedwongen tot het kwikzilver terug te keeren.

DELUC heeft zich verdienstelijk gemaakt door het vloeibare metaal weder in zijne eer te herstellen en hij deed dat op zulke overtuigende gronden, dat een dilettant vol geestdrift uitriep: »de natuur heeft ons het kwikzilver geschonken om de vervaardiging van thermometers mogelijk te maken.»

Behalve op het hooge kookpunt wijst DELUC hoofdzakelijk op de kleine soortelijke warmte, die het kwikzilver als thermometrische vloeistof bijzonder geschikt maakt. Ook geleidt kwik de warmte veel beter dan spiritus. Wat deze twee voordeelen te beduiden hebben, moge uit het volgende blijken. Zal een thermometer de temperatuur der omgeving aanwijzen, m. a. w. aan zijn doel beantwoorden, dan moet de vloeistof in bol en buis dienzelfden warmtegraad bezitten. Was de thermometer aanvankelijk kouder, dan moet deze aan de omgeving warmte ontnemen, daarop afkoelend werken. En omgekeerd. Wegens de geringere soortelijke warmte van kwik behoeft een bepaald volume van deze stof ongeveer  $1\frac{1}{2}$  maal minder warmte op te nemen om dezelfde temperatuur te verkrijgen dan een gelijk volume alcohol. Een kwikthermometer werkt dus minder afkoelend op eene warmere omgeving (en omgekeerd minder verwarmend op eene koudere), geeft bij gevolg onder gelijke omstandigheden nauwkeuriger uitkomsten dan een alcoholthermometer. Vooral wanneer het lichaam, waarvan men de temperatuur bepalen wil, klein is in vergelijking van den thermometer, en daarentegen het verschil tusschen de aanvangstemperaturen van lichaam en thermometer groot, geeft deze bijzonderheid een groot voordeel aan kwik boven alcohol. Omdat vervolgens kwik de warmte

beter geleidt, zal het sneller de temperatuur der omgeving aannemen dan spiritus, wat vooral van belang wordt, wanneer de temperatuur, die men heeft waar te nemen, niet lang dezelfde blijft. Voorts is het gemakkelijker zuiver en lucht vrij kwik dan lucht- en watervrijen alcohol te bereiden, terwijl eindelijk de stand van het ondoorschijnende kwik, zoowel bij op- als doorvallend licht, veel scherper kan worden afgelezen dan die van alcohol, ook wanneer deze, gelijk destijds gebruikelijk was, door groenspaan gekleurd is. Tegen al deze voordeelen van het kwikzilver kon, meende DELUC, het kleine nadeel van de geringe uitzetting niet opwegen, dat bovendien, gelijk gezegd is, door FAHRENHEIT reeds voor lang onschadelijk was gemaakt.

Een groot voordeel van kwik boven spiritus kwam eerst later aan het licht, toen men alcohol-thermometers begon te gradueeren naar de aanwijzing van nauwkeurige kwikthermometers <sup>1</sup>. JOHANN FRIEDRICH LUTZ te Gunzenhausen, die zich in 1784 hiermede bezig hield, bevond dat om een alcoholthermometer te verkrijgen, die gelijken gang hield met een kwikthermometer, men de graden op de schaal van den eersten op *ongelijke* afstanden moest afpassen. Dit leidde natuurlijk tot de verdere vraag, of, wanneer de spirituskolom in eene cilindrische buis voor gelijke temperatuursverhooging niet altijd juist evenveel rijst, iets dergelijks ook waar was voor kwikzilver. M. a. w. men ging ook voor een kwikthermometer in twijfel trekken, of men wel gerechtigd was den afstand tusschen smeltpunt en kookpunt in volkomen gelijke deelen af te passen. En wat voor spiritus- en kwikthermometers betwijfeld moest worden, mocht natuurlijk ook voor luchtthermometers niet langer voetstoots worden aangenomen.

Deze gewichtige, maar moeilijk te beantwoorden vragen hebben sedert RENALDINI (1694) en AMONTON (1702) tal van natuurkundigen bezig gehouden. De uitkomst van al die onderzoekingen is geweest, dat men geene enkele stof vond, waarvan de uitzetting bij alle temperaturen *volmaakt* evenredig bleef aan de toegevoegde hoeveelheden warmte. Voor de lucht, en in 't algemeen voor alle ware gassen, is de afwijking

<sup>1</sup> Het is wellicht niet overbodig hier te herinneren, dat alcohol toch ook een voordeel boven kwik bezit. Terwijl nl. kwik bij  $-40^{\circ}$  C. bevriest, blijft alcohol nog bij veel lagere temperaturen vloeibaar. Eerst bij  $-129^{\circ}$  C. wordt alcohol zoo dik als olie, om bij ongeveer  $-130^{\circ}5$  C. te bevrozen. Vandaar dat voor temperaturen tusschen  $-40$  C. en ongeveer  $-100^{\circ}$  C. alcoholthermometers gebezigd worden. Voor zeer lage temperaturen dienen ook waterstof-thermometers, die tot ongeveer  $-193^{\circ}$  C. bruikbaar zijn, en voorts thermo-electrische elementen.

van de regelmaat evenwel zeer klein, zóó klein zelfs dat AMONTON, LAMBERT en GAY-LUSSAC die gelijk nul hebben aangenomen. Later werd door REGNAULT proefondervindelijk aangetoond, dat eene volmaakte evenredigheid tusschen uitzetting en temperatuursverhooving althans niet voor *alle* gassen geldig zijn kon. Hij toonde dit aan door thermometers, resp. gevuld met lucht, waterstofgas en koolzuur, aan dezelfde temperaturen blootstellen. Op deze wijze vond hij kleine verschillen, die zich hierdoor laten verklaren, dat ook bij zoogenoemde ware gassen — en wel bij het eene iets meer, bij het andere iets minder — nog eenige cohaesie tusschen de kleine deeltjes (molecules) bestaat, die door de warmte overwonnen moet worden en bijgevolg niet voor de temperatuursverhooving dient. Bestond er een gas, waarvan de kleine deeltjes in 't geheel niet meer aantrekking op elkander werkten, dan zou voor zoodanige stof de uitzetting volkomen evenredig zijn aan de toegevoerde hoeveelheden warmte.

De mechanische warmte-theorie geeft nu de middelen aan de hand om op theoretischen weg de ware warmte-hoeveelheden te bepalen, die met de aanwijzingen van een luchtthermometer overeenkomen. Gelijk sir WILLIAM THOMSON aantoonde, kan men eene absolute thermometerschaal verkrijgen door de graden zóó te kiezen, dat de warmte-hoeveelheden, die de temperatuur van het toestel één graad verhoogen, steeds dezelfde zijn. Bij den luchtthermometer zullen zoodanige graden bij klimmende temperaturen steeds *iets* kleiner worden. WEINSTEIN heeft nu voor den luchtthermometer berekend, hoeveel de aanwijzingen van dezen tusschen smeltpunt ijs en kookpunt water van de absolute schaal verschillen. Daar dit vaste punten zijn ( $0^{\circ}$  en  $100^{\circ}$  volgens de honderddeeelige schaal), m. a. w. omdat voor deze temperaturen de luchtthermometer met de absolute schaal volkomen overeenstemt, begrijpt men, dat de afwijking juist in 't midden, bij  $50^{\circ}$ , het grootste zijn moet. Voor deze grootste afwijking vond WEINSTEIN  $0,01\frac{1}{2}$  graad. De proefondervindelijke gegevens, waarop deze berekeningen gegrond zijn, bezitten evenwel nog niet de meest gewenschte nauwkeurigheid, zoodat de betrouwbaarheid van de berekening  $0,01$  van een graad niet te boven gaat.

Wanneer het nu niet op de uiterste nauwkeurigheid aankomt, als men met aflezen tot op  $0,01$  van één graad volstaan kan, dan mag men aannemen, dat voor een luchtthermometer de graadverdelingen tusschen  $0^{\circ}$  en  $100^{\circ}$  C. geheel evenredig zijn aan de werkelijk toegevoerde hoeveelheden warmte.

Men heeft vervolgens den kwikthermometer op zijne beurt met den luchtthermometer vergeleken en tabellen berekend, waaruit men voor alle graden tusschen  $0^{\circ}$  en  $100^{\circ}$  de afwijkingen zien kan.<sup>1</sup> Uit zulk eene tabel door RECKNAGEL berekend blijkt, dat de grootste afwijking tusschen  $0^{\circ}$  en  $100^{\circ}$  (dus bij  $50^{\circ}$ ) 0,2 van een graad niet overschrijdt. Hieruit volgt, dat voor de temperaturen tusschen  $0^{\circ}$  en  $100^{\circ}$  de kwikthermometer, die in het gebruik verreweg de gemakkelijkste is, voor de meeste toepassingen voldoende met den luchtthermometer overeenstemt, en alleen dan eene kleine correctie behoeft (vooral bij temperaturen weinig boven of beneden  $50^{\circ}$  C.) wanneer het op tiende deelen van een graad aankomt.

Wat eindelijk den spiritusthermometer aangaat, deze wordt, wegens de grootere afwijking, en omdat men het kookpunt van water als vast punt mist, *altijd* gegradueerd met behulp van een goeden kwikthermometer en staat dan in nauwkeurigheid met dezen gelijk. Uit hetgeen boven gezegd is volgt, dat de graadverdeeling van zulk eenen spiritusthermometer niet geheel gelijkmatig zijn kan, gesteld althans dat de glazen buis overal even wijd is.

Uit het aangevoerde blijkt, dat FAHRENHEIT eene gelukkige keuze deed, toen hij kwikzilver voor de vulling van de thermometers nam. Gelijk iedereen weet, heeft men de schaal van FAHRENHEIT (uitgezonderd in Engeland, Amerika en in ons land voor zooverre het dagelijksch leven betreft) sedert lang vervangen, hetzij door die van RÉAUMUR, hetzij door die van CELSIUS. Het verdient evenwel opmerking, dat streng genomen deze laatste schalen ten onrechte zoo genoemd worden. RÉAUMUR meende wel is waar den afstand tusschen smeltpunt en kookpunt in 80 gelijke deelen te verdeelen, maar deed dit in waarheid niet, omdat beide genoemde punten met zijn alcoholthermometer slecht en wel beide te laag bepaald waren. Wat wij thans gewoon zijn naar RÉAUMUR te noemen zijn: hetzij *kwik*-thermometers (die R. juist had afgekeurd), waarvan de vaste punten bepaald zijn volgens de methode van FAHRENHEIT, maar die 80 graden van elkander liggen en wat dan het eenige is, dat DELUC van RÉAUMUR behield, of

---

<sup>1</sup> Ook heeft men den kwikthermometer met den waterstofthermometer vergeleken en wel niet alleen tusschen  $0^{\circ}$  en  $100^{\circ}$  maar tot  $306^{\circ}$  C. toe. Als nieuwe *vaste* punten is daarbij door CRAFTS o. a. gebruik gemaakt van de kookpunten van naphthaline ( $218^{\circ}$  C. bij de gewone luchtdrukking) en van benzophenon ( $306^{\circ}$  C.), punten die natuurlijk even onveranderlijk zijn als het kookpunt van water.

het zijn alcoholthermometers met dezelfde schaalverdeeling, niet volgens R., maar door vergelijking met een kwikthermometer verkregen.

En wat den zweedschen hoogleeraar CELSIUS betreft, het is juist dat deze in 1742 met den voorslag kwam om den afstand tusschen de door FAHRENHEIT ingevoerde vaste punten in honderd gelijke deelen te verdeelen, maar zijn voorstel vond geene instemming, waarschijnlijk niet omdat hij, zonderling genoeg, bij het smeltpunt  $100^{\circ}$  en bij het kookpunt  $0^{\circ}$  plaatste. Acht jaar later werd de honderddeelige schaal nogmaals voorgesteld door STRÖMER, maar met omkeering van de genoemde benamingen, zoodat het smeltpunt van ijs met  $0^{\circ}$ , het kookpunt van water met  $100^{\circ}$  genoteerd werd, geheel gelijk dat nog heden gebruikelijk is, en op het vaste land van Europa in de wetenschap uitsluitend is aangenomen.

Ongetwijfeld zoude het een groot gemak zijn, indien men besluiten kon de laatste schaalverdeeling algemeen te volgen.

Groningen, Jan. 1886.

R. S. T. M.