

DE INWENDIGE AARDWARMTE

EN DE JONGSTE WAARNEMINGEN DAAROMTRENT

DOOR

Dr. P. SCHURINGA.

Sints eeuwen reeds is, voor geleerden en niet geleerden, de vraag naar den inwendigen toestand onzer aarde een punt van levendige, doch onbevredigde belangstelling. Ja, sedert men meer geraakte tot volkomene zekerheid omtrent de *uitwendige* gedaante des aardbols, werd men daardoor des te sterker gedrongen tot het streven naar kennis omtrent de *innerlijke* gesteldheid onzer planeet. Die kennis echter is uiterst moeilijk te verkrijgen. Want het rechtstreeksche proefondervindelijke onderzoek schijnt in dezen, bij de betrekkelijk reusachtige grootte der aard-middellijn, wel tot de onuitvoerbare zaken te behooren.

Geen wonder alzoo, dat men vooral hier reeds spoedig zijne toevlucht nam tot theorie en bespiegeling, dat men de oplossing van dit vraagpunt zocht af te leiden uit de waarschijnlijke geschiedenis van de ontwikkeling en vorming der aarde. Zoo was het dan, dat de vroegere toestand van dit lichaam werd afgeleid uit zijn bekenden uiterlijken vorm. Het valt dan ook niet te ontkennen, dat de bijna bolvormige gedaante, die aan onze planeet, zoowel als aan al de overigen, eigen is, in verband met de aswenteling dezer lichamen, zeer bepaaldelijk wijst op een voormaals *vloeibaren* staat. De bolvorm wordt namelijk

door alle vrij zwevende lichamen slechts *dán* aangenomen, als zij verkeeren in vloeibaren toestand. De *afgeplat*-bolvormige gedaante daarenboven dringt zich onmiddellijk op als een gevolg der aswenteling. Immers, de stereotype standvastigheid van dezen vorm in ons planetenstelsel sluit ten eenennmale het toeval buiten, terwijl als oorzaak hier alleen eene bewegings-omstandigheid gelden kan, waarbij dan weder slechts eene omwentelingsbeweging in aanmerking kan komen. Eene opmerkelijke proef van PLATEAU strekt tot opheldering hiervan. Neemt men namelijk een mengsel van water en alcohol, dan kan men daaraan een soortelijk gewicht geven, juist gelijk aan dat van olie. Daardoor zal een druppel dezer laatste vloeistof in dat mengsel zinken noch drijven, maar vrijelijk zweven en, volgens het boven gezegde, terstond den bolvorm aannemen. Door middel van draaiing eener doorgestoken naald, kan men nu gemakkelijk dezen oliebol tot aswenteling brengen, en hierbij treedt eene middelpuntvliedingskracht op, die het grootst is aan den evenaar, d. i. aan de oppervlakte, tegenover het midden van de hoogte der vertikale as. Tengevolge dezer meerdere middelpuntvliedingskracht ziet men weldra den oliebol opzwellen langs den evenaar, en zich *afplatten* aan de uiteinden der as. Juist ditzelfde heeft bij onze aarde plaats gevonden, en wij kunnen thans niet meer twijfelen, dat zij en de overige planeten hare afgeplatte gedaante op gelijke wijs hebben verkregen door de aswenteling, — mits zij indertijd *vloeibaar* zijn geweest. Want bij een vast lichaam is de samenhang der deelen te groot, dan dat het verschil in middelpuntvliedingskracht eene zoodanige vormsverandering zou kunnen doen ontstaan.

Het is alzoo eene algemeen aangenomene grondstelling, dat de aarde eenmaal heeft verkeerd in vloeibaren toestand. Was dit echter door middel van water, of van vuur — m. a. w. waren alstoen de stoffen, waaruit de aarde bestaat, in water opgelost of daarmede vermengd tot een soort van brei, of wel door groote hitte gesmolten? Ziedaar eene vraag, die tot veel getwist tusschen de Neptunisten en de Plutonisten aanleiding heeft gegeven. Tegenwoordig echter heeft vrij algemeen de laatstgenoemde, de plutonische theorie, de overhand verkregen. Vooreerst zou daartoe eene ontzachelijke hoeveelheid water vereischt zijn geweest, die thans op voor ons raadselachtige wijze van de aarde moest verdwenen zijn. Daarentegen was het in 't voordeel der plutonische theorie, dat een groot aantal der mineralen, die in den

vasten aardbodem worden aangetroffen, de blijken schijnen te dragen, dat zij uit den gesmolten toestand, door vastwording bij bekoeling, moeten ontstaan zijn. Bovendien schijnen de heete bronnen, zoowel als de nog gedurig plaats grijpende uitwerpingen van gesmolten stoffen door vulkanen, de levende getuigen te zijn der nog steeds aanwezige gloeihitte, die zich slechts naar het binnenste der aarde heeft teruggetrokken, en daar blijft heerschen. Echter doen zich de heete bronnen zoowel als de vulkanische uitbarstingen slechts of plaatselijk of tijdelijk vóór, en konden daarom die beide verschijnselen, met de aardbevingen bovendien, verklaard worden als gevolgen van toevallige scheikundige werkingen in het binnenste der aarde waarbij genoegzame warmte- en dampontwikkeling plaats vond, om op die betrekkelijk kleine schaal de genoemde uitwerkselen te veroorzaken.

Wat overal elders bij de studie der natuur gevonden wordt, bleek echter ook hier het geval te zijn: de meest afdoende resultaten en de meest stellige vermeerdering onzer kennis worden verkregen dáár, waar de weg zich opent voor zorgvuldige waarneming en geregeld onderzoek. Dat onderzoek gold hier de rechtstreeksche bepaling van de warmte in het binnenste der aarde, en zulks voortgezet tot op zoo groote diepten, als waartoe maar immer de waarnemingen zich vermochten uit te strekken. Dit onderzoek nu, — het hoofdthema ook van het tegenwoordige opstel, — heeft plaats gevonden op zeer vele verschillende punten van 't aardoppervlak, en overal en altoos heeft men gevonden: *eenen gestadig met de diepte toenemenden warmtegraad*. Dat de juiste wet dezer toeneming nog immer niet voldoende bekend en bevestigd is, en dat daarom steeds meerdere en uitgebreidere proefnemingen dringend noodig en uiterst welkom zijn, zal hieronder nader worden aangewezen. Duiden wij voorloopig hier kortelijk aan, hoe belangrijk de besluiten en gevolgtrekkingen zijn, die voortvloeien uit het hier bedoelde verschijnsel, indien en voor zoover het gehoorzaamt aan eene blijvende wet.

De tot dusver gedane waarnemingen schijnen alle te wijzen op eene aanvankelijk standvastige verhooging der temperatuur, voor eene bepaalde toeneming der diepte (naar vele der proeven ongeveer 1° C. voor elke 30 meters diepte). Het is blijkbaar, dat indien die temperatuursverhooging naar deze of eene niet te veel afwijkende wet bleef voortgaan, men komen moest tot eene diepte, op welke de temperatuur hooger is dan het smeltpunt der metalen, en van al de overige ons bekende

mineralen. Eene niet moeilijke berekening leert, dat deze diepte vergelijkenderwijs gering mag genoemd worden. Zoo zoude op ongeveer 8 geogr. mijlen beneden de oppervlakte het smeltpunt liggen van ijzer en staal. Bedenkt men nu, dat de straal der aarde omtrent 860 dier mijlen lang is, dan ziet men, dat indien de al of niet gesmolten toestand alleen van de temperatuur afhing, de vaste *aardkorst* betrekkelijk slechts dun kan zijn. Beneden die korst zou dan alles gloeiend-vloeibaar moeten zijn; en daar men hetzelfde resultaat verkrijgt op *alle* verschillende punten der aarde, zou eerst op deze proefondervindelijke manier de meening worden gewettigd, dat de hoofdmassa onzer planeet denkelijk bestaat uit een gesmolten bol, omgeven door eene gestolde laag. De ontzaglijke hitte, welke daardoor in dien bol zou opgehoopt zijn, kon met geene waarschijnlijkheid aan eene andere oorzaak worden toegeschreven, dan aan dezelfde warmte, die voorheen den ganschen bol gesmolten hield, en thans door *afkoeling* naar buiten zich in zijn binnenste heeft teruggetrokken.

Ziedaar eene beschouwing, die aanleiding heeft gegeven tot volledige theoriën omtrent de geschiedenis en den toekomstigen voortgang der pasgenoemde afkoeling; theoriën, onder welke die van FOURIER de beroemdste en meest algemeen aangenomene is. Deze theorie, voorbereid door BUFFON, dagteekent van het jaar 1811, en sluit zich aan bij de beschouwingen van den beroemden LAPLACE. Zij is geheel gebouwd op een wiskundig onderzoek omtrent de warmte-uitwisseling tusschen eene als aanvankelijk zeer heet (bijna 4000° C.) onderstelde Aarde ter eene, en de in eene bepaalde lage temperatuur verkeerende wereldruimte ter andere zijde. De grondslagen dezer theoretische beschouwing zijn: 1° het feit, dat op eene diepte van ongeveer 40 meters onder het aardoppervlak de temperatuur "standvastig" is, d. w. z. onafhankelijk van den jaarlijks wisselenden invloed der zon, (ofschoon zeer verschillend naar de geografische breedte der plaatsen, zie hieronder); 2° de onderstelling der bovengenoemde zeer hooge aanvangstemperatuur, steunende op het feit der waargenomene stijging der aardwarmte met 1° C. ongeveer voor elke 30 meters der onderzochte diepte. Als resultaat zijner berekening, gestaafd door de zeer lage waarde der bovengenoemde standvastige aardtemperatuur aan de polen, "denkelijk — 57° C.", — besluit FOURIER, dat de invloed der inwendige hitte op

¹ Zie FOURIER, *Théorie analytique de la Chaleur*. 1824.

de gemiddelde warmte des aardoppervlaks slechts zeer gering is, en deze laatste dus zoo goed als uitsluitend afhangt van de inwerking der zon. Zoo zou dan ook de warmte, die de inwendig gloeiende bol gedurende eene eeuw door uitstraling verliest, slechts in staat zijn om eene ijslaag ter dikte van bijna 3 meters rondom de aarde te doen smelten. Millioenen van jaren, zoo berekent deze theorie verder, — zou het daarom duren, eer de oppervlakte onzer planeet door die afkoeling even koud werd als de omgevende ruimte; — n. l. indien niet de zon dat oppervlak met hare stralen genoegzaam bleef verwarmen, om eerlang een tijdstip te doen aanbreken, waarna de gemiddelde temperatuur stationair zal zijn. Aan den anderen kant zou het tegenwoordig reeds tusschen de 20 en 400 millioenen jaren geleden zijn, sedert de aarde begonnen is, door afkoeling uit den gesmolten toestand in den vasten over te gaan, — terwijl met de meeste waarschijnlijkheid dit tijdstip samenvalt met dat der oppervlakte-temperatuur van bijna 4000° C., in welk geval de berekening voor de juiste waarschijnlijke waarde van dat tijdsverloop bijna 100 millioenen jaren geeft ¹.

De gewichtigste bedenking, die men tegen deze beschouwingen heeft ingebracht, is deze, dat wegens den warmte-toevoer, dien de polen vooral door zee- en luchtstroomingen erlangen, in verband met de nogtans daar heerschende zóó lage gemiddelde aardtemperatuur, de warmtegraad der (“ledige”) wereldruimte zeer waarschijnlijk veel lager moet zijn dan FOURIER dien aanneemt. Hieruit zou dan volgen, dat in deze theorie de invloed der inwendige hitte veel te gering wordt geschat. — In allen gevalle is het ontegenzeggelijk, dat FOURIER's onderstelling der aanvankelijke hooge temperatuur onzes aardbols met recht eene willekeurige hypothese wordt genoemd. Wel zou die hypothese zeer waarschijnlijk worden, indien het geoorloofd ware, bij analogie te besluiten tot het blijvend standhouden der waargenomene

¹ De hier opgegevene tijdperken zijn niet die van FOURIER zelf, maar gecorrigeerde, naar de nieuwere bepalingen omtrent geleidingsvermogen en soortelijke warmte van de gesteenten der aardkorst (bij Edinburg), overeenstemmende met Prof. EVERETT's waarnemingen, te Greenwich gedaan. Zie THOMSON, *Transact. of the Roy. Soc. of Edinburg*, 1862; ook in THOMSON and TAIT, *Treat. on Nat. Phil.*, I, b, bijl. D. Omtrent het warmtegeleidend vermogen van gesteenten zijn de nieuwste proefnemingen die van A. S. HERSHEL, die evenals vroeger PECLER bevond, dat deze stoffen, als graniet, serpentijn, marmar en zandsteen, over 't algemeen slechte warmtegeleiders zijn, zie *Nature*, 23 Oct. 1873, — benevens die van JANNETAZ, zie *Comptes rend.*, t. LXXVIII, p. 1202.

temperatuursverhooging met de diepte. Doch juist dit is niets minder dan zeker: wij kennen nog zelfs niet volledig de wet dier warmte-toeneming voor betrekkelijk geringe diepten. Hieruit nu blijkt hoe dringend wenschelijk voortgezette proefnemingen zijn tot nader onderzoek van dit verschijnsel. Want ofschoon naar de meening van PHILLIPS de storende invloeden op de inwendige temperatuur te groot zijn, om in alle opzichten van de waarnemingen bevredigende resultaten te verwachten, is het toch zonneklaar, dat die waarnemingen de eenig mogelijke gegevens kunnen verschaffen ter bepaling van een' oorspronkelijken warmte-toestand des aardbols. THOMSON heeft dit aangetoond en op dien grond tot het samenstellen van volledige "geothermische" tafels opgewekt ¹.

Wij mogen in het voorbijgaan opmerken, dat de gevolgtrekkingen en resultaten van FOURIER's theorie, wat betreft de bekoeling en het toekomstige lot onzer aarde, van tamelijk geruststellenden aard zijn. En mogen er nu al tegen die theorie bedenkingen zijn opgeworpen, aan den anderen kant zijn er eenige bewijzen voorhanden, dat werkelijk sedert een vrij lang vervlogen tijdstip de verlagings der gemiddelde temperatuur van het aardoppervlak hoogstens slechts zeer langzaam kan hebben plaats gevonden. Vooreerst kan men hiervoor historische bewijzen aanvoeren. Zoo leveren de boeken van MOZES ons de duidelijkste aanwijzingen, dat de gemiddelde jaarlijksche temperatuur van Palestina zich niet merkbaar heeft gewijzigd sedert MOZES' dagen, d. i. sedert bijna 3400 jaren. Immers wij weten dat de cultuur van den wijnstok slechts duurzaam mogelijk is in landen, wier gemiddelde temperatuur 22°,5 C. niet bereikt of te boven gaat, en dat daarentegen de dadelpalm zich slechts laat kweeken bij eene gemiddelde temperatuur van minstens ruim 21° C., — zoodat die beide vruchtboomen slechts *naast* elkander kunnen *geteeld* worden in zulke landstreken, die eene gemiddelde jaarlijksche temperatuur hebben van ongeveer 21°,7 C. Nu leveren de bovengenoemde geschiedboeken de bewijzen, dat die regelmatige en gelijktijdige teelt in MOZES' dagen werkelijk plaats vond in Palestina. Er is dáár sprake van Jericho, "de Palmenstad", en van de palmboschen van Debora, hetwelk lag tusschen Rama en Bethel, en de Israëlieten gebruikten versche en gedroogde dadels tot voedsel.

¹ In "Note on Certain Points in the Theory of Heat", 1844, en *British Association, Report of the Glasgow Meeting* 1855.

Ook door PLINIUS, THEOPHRASTUS, TACITUS, STRABO, enz. wordt van Palestina's palmbosschen gesproken. Kwamen alzoo in dat land de dadelpalmen zeer veelvuldig voor, dit was met den wijnstok eveneens het geval. Want om niet eens te spreken van de groote druiven, door MOZES' gezanten meegebracht uit het beloofde land, herinneren wij hier slechts, hoe van de dáár gelegene wijnbergen op meer dan 20 plaatsen in het oude testament wordt gewag gemaakt, en hoe het loofhuttenfeest onmiddellijk inviel na den wijnoogst. Ook dit wordt bevestigd bij STRABO en bij DIODORUS van Sicilië, die eenstemmig zijn in den lof van Judea's wijn. Terwijl derhalve vóór 34 eeuwen in Palestina de wijnstok en de dadelpalm naast elkander werden gekweekt, en de wijnoogst ook toen (evenals nog heden ten dage) aldaar tegen 't begin van October viel, — worden daarentegen, overeenkomstig het bovengezegde, in het zuidelijkere Arabië evenmin wijngaarden gevonden, als dadels in het noorden aan den Libanon.

Eene slechts weinig hogere temperatuur, dan de bovengenoemde van $21^{\circ},7$ C., wordt op dezelfde wijs afgeleid uit de eveneens uit de oudheid bekende gelijktijdige cultuur van granen en olijven in Palestina. Nu is tegenwoordig de gemiddelde jaarlijksche temperatuur van Jeruzalem $21^{\circ},5$ C., d. i. dus nagenoeg dezelfde als ten tijde van MOZES. En daar, gedurende de sedert verloopen eeuwen, de natuurlijke gesteldheid van Palestina's bodem niet merklijk is veranderd, mag men zeggen, dat het hier aangehaalde feit doet besluiten tot de afwezigheid of althans onmerkbaarheid van wijziging in de uit- en inwendige warmte-invloeden.

Langs anderen weg heeft men gemeend een bewijs voor het onbeduidende verschil tusschen de vroegere en tegenwoordige inwendige temperatuur des aardbols te kunnen afleiden uit het verband, dat er noodzakelijk moet bestaan tusschen de afkoeling der aarde en de lengte van den dag. Stellen wij, dat aan het uiteinde eener staaf een last is opgehangen van een bepaald gewicht, en dat eene zekere kracht die staaf zoodanig in draaiing heeft gebracht, dat de aan het eind hangende last rondom het andere uiteinde als middelpunt een' cirkel doorloopt. Indien nu eensklaps de last van het uiteinde meer naar het midden der staaf wordt verplaatst, dan zal zich een verschijnsel voordoen, dat met ieders ervaring overeenstemt; dit namelijk, dat de last in zijn' nieuwen stand tot de rondslingering slechts eene merklijk geringere kracht behoeft. De ("levende") kracht dus, die in onzen toestel nu eenmaal was opgehoopt, en die ook

thans daarin onverminderd *blijft*, zal van dat oogenblik af den last veel sneller doen draaien in zijn kleineren cirkel. De oorzaak der geringere kracht, die voor eene even snelle ronddraaiing thans noodig zou zijn, is daarin gelegen, dat vooreerst de last in zijne nieuwe positie aan een' zooveel korteren "hefboomsarm" werkt ten opzichte van het stilstaande staaf-einde, en dat bovendien de omtrek, dien thans de last in denzelfden tijd heeft te doorloopen, evenveel malen korter is. (Men noemt dit het verschil in "traagheidsmoment" dat de last vertoont, al naar de lengte van den straal des cirkels, en wanneer men in ons voorbeeld den straal of afstand tot op de helft had verkort, dan zou het "traagheidsmoment", en dus ook de benoodigde kracht, viermaal kleiner zijn geworden).

Keeren wij nu tot den aardbol terug, dan is het duidelijk, dat deze, ingeval van merkbare afkoeling gedurende den loop der historische tijden, daarbij tegelijk *kleiner* had moeten worden door samentrekking naar het middelpunt en de omwentelings-as heen. En nu is het duidelijk, dat alsdan de aarde juist in hetzelfde geval had moeten verkeeren, als de staaf met haar meer naar binnen verplaatsten last in ons voorbeeld, d. i. dat onder die omstandigheden de aarde *sneller* had moeten gaan draaien, de *dag korter* had moeten worden. Zoodat thans de vraag ontstaat: is dit laatste werkelijk het geval geweest?

Bij eenig nadenken schijnt in den eersten opslag deze vraag onvatbaar voor beantwoording: immers wij kunnen nimmer de zekerheid hebben, dat onze tegenwoordige uurwerken volmaakt in gang overeenkomen met vroegere. Doch aan de sterrekunde is het, dat wij gegevens kunnen ontleenen, die ter opsporing van het bedoelde antwoord dienst kunnen doen. En het middel, dat ons dan hier in staat stelt tot vergelijken tusschen den duur van den dag, voorheen en thans, bestaat in den omloopstijd der maan, waarvan wij nauwkeurige bepalingen bezitten, afgeleid uit oude waarnemingen van zonsverduisteringen, door HIPPARCHUS, den vader der sterrekunde, die omstreeks anderhalve eeuw vóór onze jaartelling leefde. Uit dien berekenden vroegeren omloopstijd, in verband met het bedrag der storende invloeden, heeft men gemeend af te leiden, dat die omloopstijd zoodanig met den tegenwoordigen overeenkwam, dat daaruit noodzakelijk moest worden besloten tot de nagenoeg absolute gelijkheid van den tegenwoordigen dag aan dien van vóór 20 eeuwen.

Tengevolge eener fout, die in 1853 in LAPLACE's berekening van de

storingen der maan werd ontdekt door ADAMS, is de bovenstaande beschouwing in den laatsten tijd eenigszins gewijzigd geworden. Uit de verbetering dier fout vloeit namelijk voort, dat volgens de uitkomsten der waarneming de aarde na verloop eener eeuw in hare aswenteling omstreeks 0,4 tijdseconde achterblijft, met betrekking tot den maansomloop, wanneer men op het bedrag van alle storingen in dezen laatsten nauwkeurig acht geeft. DELAUNAY heeft dit bevestigd en in 1866 verklaard, dat de eenige oorzaak van dit verschijnsel kan liggen in de wrijving van de vloedgolf der zee tegen het vaste aardoppervlak, door welken tegenstand op den duur de omwenteling der aarde iets vertraagd wordt. Daar door de terugwerking dezer vertraging echter ook de omloop der maan zelf weder wordt tegengehouden, bedraagt de volstreckte verlenging van den omwentelingstijd der aarde nog aanzienlijk meer dan zij schijnt, namelijk ongeveer gemiddeld 0,0006 tijdseconde per dag, of 22 seconden in eene eeuw. Uit dit bedrag, het resultaat der door ADAMS op DELAUNAY's verklaring gegronde en aan THOMSON medegedeelde berekening, leidt de laatstgenoemde gemakkelijk af, dat bij onderstelde gelijkmatigheid dier vertraging de aarde vóór 10 millioen eeuwen $\frac{1}{7}$ sneller had moeten draaien dan thans, hetgeen noodzakelijk eene veel grootere afplating had moeten veroorzaken dan de bestaande. De algeheele vastwording des aardbols moet dus vóór een veel korter tijdvak hebben plaats gehad.¹ Intusschen is het om de boven reeds genoemde redenen onmogelijk, het bestaan en de grootte der vertraging rechtstreeks aan te wijzen, en derhalve is het thans ondoenlijk geworden, om naar LAPLACE's beschouwing uit de standvastigheid van den dag het bewijs te putten voor het niet bestaan der afkoeling, ofschoon de geringheid dezer laatste voldoende als gevolgtrekking ligt opgesloten in FOURIERS theorie. Uit de omstandigheid echter, dat men in plaats van verkorting, deze verlenging van den dag heeft waargenomen, mag men eveneens besluiten, dat de afkoeling slechts weinig kan bedragen. Doch het sterkste bewijs hiervoor is het historische, in den geest zooals hierboven is ontwikkeld. Wat voor 't overige de theorie van FOURIER betreft, hare grondhypothese der *steeds* toenemende inwendige warmte behoeft nog altijd bevestiging door de ervaring, eene bevestiging die in de verte nog niet verkregen, en waarschijnlijk nimmer te bereiken is.

¹ *Treatise on Nat. Phil.*, § 830, en Rede in de Geol. Soc. te Glasgow, 1868.

Er is nog eene zaak, die met de inwendige temperatuur der aarde in nauw verband staat, nl. het gemiddeld en bijzonder *soortelijk gewicht* der stoffen, waaruit onze planeet bestaat. Men ziet gemakkelijk in, dat dit soortelijk gewicht naar binnen toe veel zal afhangen en van de dáár heerschende temperatuur, en van den druk, dien de bovenste lagen op het inwendige kunnen uitoefenen. Zelfs heeft men aan den door dezen druk geleverden arbeid eene belangrijke rol willen toekennen als oorzaak der aardbevingen en der warmteverschijnselen in 't inwendige: deze meening heeft echter geen stand kunnen houden, daar de drukking zelve toch *een*' evenwichtstoestand bedingt. Ook als oorzaak van hooger soortelijk gewicht wordt de druk der bovenste lagen allicht te hoog geschat; want de dikte der totale laag neemt wel met de diepte toe, doch aan den anderen kant zou, zelfs indien de geheele massa der aarde uit stoffen van gelijke dichtheid bestond, toch het werkelijke gewicht dier stoffen des te kleiner worden, naarmate men meer tot het middelpunt naderde. Immers men kan op werktuigkundige gronden gemakkelijk bewijzen, dat de op zekere diepte werkzame aantrekkende massa de bol is, die tot straal heeft den dáár plaats vindenden afstand tot het middelpunt. Dit in verband met de NEWTON'sche gravitatie-wet, geeft eene aantrekking, die aan den laatstgenoemden afstand juist evenredig is. Wat nu het soortelijk gewicht der binnenste lagen betreft, NEWTON en HUIJGENS hebben aangetoond, dat bij een overal gelijkmatig soortelijk gewicht de afplatting der aarde grooter of wel kleiner zou moeten zijn dan zij werkelijk gebleken is. Het soortelijk gewicht der lagen zal daarom aangroeiend moeten zijn met de diepte. Doch tevens volgt uit de regelmatige veranderingelijkheid der zwaarte op de aarde naar SABINE's metingen, dat die toeneming van 't soortelijk gewicht der lagen met de diepte op zeer geregelde wijze plaats moet hebben. LAPLACE en IVORY nemen aan, dat de vermeerdering van 't soortelijk gewicht evenredig is aan den vierkantswortel uit den druk der hoogere lagen, en daarmede hebben zij dan — uit het door proeven bepaalde gemiddeld soortelijk gewicht der aarde, nl. 4,76 of 5,48 — of de afplatting, of het soortelijk gewicht der bovenkorst berekend en uitkomsten verkregen, die vrij wel overeenstemmen met de ervaring. Echter erkent LAPLACE hierbij uitdrukkelijk, dat de nog niet met zekerheid bekende inwendige temperatuur grooten invloed op het soortelijk gewicht der diepere lagen, en dus op de juistheid zijner onderstelling moet hebben.

Omgekeerd zal ook de druk, door het gewicht der bovenste lagen uitgeoefend, van invloed kunnen zijn op den toestand der stoffen in de diepte, ook als de temperatuur daarvan gegeven is. Daar toch het smeltpunt der stoffen verandert met den druk, zal het kunnen zijn, dat de gesmoltene lagen zich eerst op eene grootere diepte bevinden, dan men uit de onderstelde of bekende temperatuur meent te mogen afleiden. Neemt men echter in aanmerking wat hierboven omtrent dien druk is gezegd, dan is het zeker, dat zoodanige afwijking toch betrekkelijk niet groot zal kunnen zijn. Onze bepalingen omtrent de vermoedelijke dikte der vaste aardkorst zullen dus vrij groote nauwkeurigheid en waarschijnlijkheid bezitten, — zoodra slechts de wet der temperatuur-aangroeiing met voldoende zekerheid door proefnemingen zal zijn vastgesteld.

En welke zijn dan nu de uitkomsten, die tot dusver het onderzoek naar de aardwarmte heeft aan het licht gebracht? Aanvankelijk heeft men dat onderzoek ingesteld op den weg, die 't meest onmiddellijk open lag: men heeft zich gewend tot de *bergwerken*, en aldaar 1° de lucht-temperatuur in de mijnen waargenomen; 2° proeven gedaan door middel van in de gesteenten ingegravene thermometers, en 3° den warmtegraad onderzocht van het water, dat zich in de mijnen verzamelt. De *lucht*-temperatuur der mijnen werd voornamelijk 't eerst waargenomen te Freiberg, door VON TREBRA en door D'AUBUISSON, nadat vroeger reeds enkele waarnemingen in de mijnen van Bex waren gedaan door DE SAUSSURE. Deze laatste had tot op eene diepte van 220 meters onderzocht en temperaturen gevonden, die ongeveer voor 40 meters eene verhooging van 1° C. geven. Deze waarnemingen werden aanvankelijk minder opgemerkt. De meer uitvoerige proevenreeksen van D'AUBUISSON en VON TREBRA bereikten eene diepte van 330 en 438 meters, en geven 37 à 39 meters voor de verhooging met 1° C. Hiermede komen vrij wel overeen de resultaten van LEAN in Cornwallis, en gedeeltelijk die van CORDIER, n.l. te Carmaux; daarentegen vertoonen eene aanmerkelijke afwijking de uitkomsten, verkregen door GENSANNE in de Vogesen, door FANTONETTI te Pestarena, en door VON HUMBOLDT in Nieuw-Spanje.

Dat deze waarnemingen van lucht-temperaturen niet onderling overeenstemmen, is niet te verwonderen, en zeer terecht heeft men tegen deze methode gewichtige bezwaren ingebracht: immers bij de bepaling

der diepte werd dikwijls niet op het verschil met het oppervlak der zee gelet, en alleen de volstreckte diepte op de plaats zelve opgegeven. Vooral echter is het storend, dat de warmere mijnlucht gemeenschap heeft met de zwaardere buitenlucht en door deze verdrongen wordt, terwijl ook het verblijf der werklieden in de mijnen niet zonder invloed is. De meeste zekerheid heeft men hierom te wachten bij zulke diepten, die gewoonlijk afgesloten blijven en geene zeer hooge temperatuur vertoonen, daar zij slechts weinig beneden de grens van merkbaarheid der jaarlijksche temperatuurveranderingen gaan. Dit is het geval met de *Caves de l'Observatoire* te Parijs, die 28 meters beneden den grond gelegen en afkomstig zijn van eene voormalige steengroeve. Aldaar wordt reeds sedert 1671 de temperatuur gedurig waargenomen, en vindt men deze thans onveranderlijk $11^{\circ},7$ C., daar de jaarlijksche verschillen zoo gering zijn, dat men deze aan thermometerfouten mag toeschrijven. Zoo vond reeds CASSINI voor den zomer $11^{\circ},956$ C. en voor den winter $11^{\circ},981$ C. De bodem dezer kelders wordt dan ook veelal beschouwd als ongeveer te liggen in de "onveranderlijke aardlaag", of wel eenige meters lager. De gemiddelde jaarlijksche temperatuur te Parijs is n.l. $10^{\circ},8$ C. Hierbij mag worden opgemerkt, dat de genoemde bodem ligt op 44 meters boven 't oppervlak der zee. Voor 't overige leeren ook de bovengenoemde en oudere waarnemingen, dat op 20 à 40 meters diepte zich eene laag bevindt, wier temperatuur niet verandert door den jaarlijks wisselenden invloed der zon, en ongeveer overeenkomt met de gemiddelde jaarlijksche temperatuur der plaats. Deze laag zal des te dieper liggen, naarmate voor deze plaats het verschil tusschen de hoogste en laagste temperaturen in het jaar grooter is. In 't bijzonder zal in de poolstreken de warmtegraad dezer laag zeer gering zijn, en zelfs beneden het vriespunt liggen. Dit wordt bevestigd door hetgeen bekend is omtrent den bodem in Noord-Azië en de steppen van Siberië. Hier vindt men over eene zeer uitgestrekte streek langs de Aziatische kust der IJzsee, en verder over verschillende afzonderlijke meer zuidelijk gedeelten, den bodem tot op soms aanmerkelijke diepte bevroren, en dikwijls voor een groot deel uit ijs bestaande. Verschillende wetenschappelijke reizigers, als ERMAN, MIDDENDORFF, VON HUMBOLDT, EHRENBERG en anderen, hebben in deze streken den bodem onderzocht, en putten gegraven, waarbij het ijs meestal op geringe diepte begon, en op verscheidene meters diepte nog niet doorboord was. Merkwaardig is in dit opzicht de put van den koopman SCHEGIN te Jakutsk. Deze

is, na eerst verlaten te zijn geworden, tot op eene diepte van 116 meters uitgegraven, en nóg was de ijslaag niet doorboord. De gemiddelde jaarlijksche temperatuur van Jakutsk wordt geschat op -10° C.; in den put vond men deze temperatuur op minder dan 14 meters diepte, terwijl verder de gedane zorgvuldige thermometer-waarnemingen voor elken graad stijging der temperatuur op eene meerdere diepte schenen te wijzen van ongeveer 26 meters. De dikte der laag van het grondijs hangt voor 't overige grootelijks van plaatselijke invloeden af, en de "isogeothermen", of lijnen van gelijke aardwarmte, loopen dan ook lang niet evenwijdig aan de meteorologische "isothermen". Men heeft voorts evenzeer in het noorden van Amerika eenen ijsbodem gevonden onder de oppervlakte-laag.

Er zijn vervolgens waarnemingen gedaan door middel van thermometers, die *in de rotsen* zelve der bergwerken waren ingegraven. Hieronder behooren o. a. sommige der onderzoekingen van VON TREBRA, FOX en CORDIER. De uitkomsten wijken onderling en van de hierboven genoemde aanmerkelijk af, en over het geheel heeft men deze methode slechts weinig in toepassing gebracht. Het een noch het ander behoeft ons te verwonderen, want de gebreken bij deze handelwijs zijn veel grooter dan bij de vorige, vooral wegens het warmtegeleidend vermogen der gesteenten, die meestal naar buiten met de lucht en naar binnen met warmere lagen in aanraking zijn. De beide tot hiertoe besprokene methoden hebben bovendien nog dit bezwaar gemeen, dat het hoogst onwaarschijnlijk mag geacht worden, dat bij de door bergen en dalen veelvuldig gebogene aardoppervlakte, zich overal op gelijke diepten daaronder punten zouden bevinden, die een gelijk temperatuurverschil opleveren, m. a. w. dat eene kromme lijn die zulke punten onder 't aardoppervlak vereenigt, evenwijdig zou loopen aan de lijn, getrokken door telkens loodrecht daarboven liggende plaatsen op de aarde, wier temperaturen een zeker standvastig onderscheid zouden vertoonen met die der gezegde punten. Integendeel is het veeleer allerwaarschijnlijkst, dat in en onder een uitstekend gebergte, van alle kanten in aanraking met de lucht, en veel verder verwijderd van de inwendige warmte, de toeneming der temperatuur veel langzamer moet zijn dan onder een laagland. En toch heeft men bij de proefnemingen meestal slechts op de loodrechte plaatselijke diepte gelet: trouwens eene betere methode was ook moeilijk te vinden, daar de kennis van den juisten invloed der hoogte ontbreekt.

Eindelijk heeft men in de bergwerken waarnemingen gedaan aan gaande de temperatuur van het *mijnwater*. Zoo heeft D'AUBUISSON reeds te Freiberg de temperatuur van het water op 260 meters diepte = 15° C. en op 300 meters = 16 à 17° C. bepaald. FORBES en FOX vonden in Cornwallis, dat het water op 449 meters diepte 26° C. aanwees. ERMAN en MAGNUS namen te Rüdersdorff den warmtegraad des waters waar tot op eene diepte van 215 meters en vonden 25 meters voor eene toeneming met 1° C. SCHMIDT onderzocht aldaar tot op 286 meters en vond 20 meters voor iederen graad. C. ARAGO deed te Parijs waarnemingen tot 297 en 400 meters diepte, en vond dat de temperatuur des waters met 1° C. stijgt voor eene meerdere diepte van 25 of 30 meters. Meer andere waarnemingen van dezen aard vertoonen geene groote afwijking van deze uitkomsten, die op zich zelf nog al verschillen van de waarden, welke hierboven opgegeven zijn, en van de hierachter meêgedeelde. Intusschen is deze methode hoogst onzeker, wegens de onwaarschijnlijkheid, dat het water in de kanalen der diepte juist evenwijdig aan 't aardoppervlak zou voortloopen. Het komt integendeel waarschijnlijk voor, dat meestal het water uit groo-tere diepten is opgestegen, en dus eene te hooge temperatuur vertoont. Bovendien is eene bron van onnauwkeurigheid hierin gelegen, dat bij stilstand het warmere water naar boven stijgt en het koude bezinkt.

Hoe gering ook de juistheid zij, die bereikt wordt door middel der gebrekkige methoden, tot hiertoe vermeld, ééne zaak wordt toch reeds door deze uitkomsten onomstootelijk bewezen. Wij bedoelen het feit, dat op eene diepte van enkele tientallen meters zich in de aarde eene laag bevindt, wier temperatuur niet meer wordt gewijzigd door de uitwendige invloeden, en dat van dáár af op steeds toenemende diepten, temperaturen heerschen, die altijd stijgende zijn, en hare oorzaak kunnen hebben in eene onderaardsche warmtebron. Deze laatste waarheid schijnt ook nog te worden bevestigd door een eenigszins op zich zelf staand, doch allermerkwaardigst verschijnsel, dit namelijk, dat het ijs der gletschers van onderen af langzamerhand verteerd wordt. In plaats dus, dat door de koude van het gletscherijs gedurende eene menigte van eeuwen, de onderliggende aarde allengs tot op groote diepte zou moeten verstijven, blijkt er integendeel een langzame doch voortdurende warmte-toevoer van beneden naar boven plaats te vinden. Verwant met het hierboven 't laatst genoemde onderzoek van het mijnwater, dienen ook de waarnemingen van de temperatuur der

bronnen tot bevestiging van het feit der warmtevermeerdering met de diepte. Men kent de zoogenaamde warme bronnen, wier water in enkele gevallen zelfs kookhitte vertoont. In Mexico en Venezuela heeft von HUMBOLDT de temperatuur van zoodanige wateren op 96°, 64°, 92° en 97° C. bepaald. Het allerberoemdst zijn in dit opzicht de Strokk (115° in de diepte, 100° aan de lucht), en vooral de Geysir, op IJsland; de laatstgenoemde vertoont op 20 meters diepte 127° en aan de oppervlakte 85° C. Men kent de tegenwoordig vrij algemeen aangenomene verklaring van de periodieke uitbarstingen dezer laatstgenoemde bronnen, als gevolg n.l. van onregelmatige plaatselijke verwarming des waters, en van de spankracht der samengeperste hoeveelheden waterdamp. Het lijkt geen twijfel, dat het water der hier genoemde en andere "warme" bronnen steeds afkomstig moet zijn uit vrij groote diepten, alwaar de aardtemperatuur eene daaraan geëvenredigde aanzienlijke hoogte heeft bereikt.

Beneden de "onveranderlijke aardlaag" vindt men dus met de diepte immer stijgende warmtegraden. Doch welke is de snelheid en wet dier stijging? Voor de ontdekking hiervan is men in de latere jaren eene methode gaan toepassen, die veel beter is dan de vroegere, die hierboven zijn genoemd. Wij bedoelen de waarnemingen in de boorgaten voor *Artesische putten*. Op de bijzondere geschiktheid dezer putten voor het beoogde doel werd het eerst opmerkzaam gemaakt door ARAGO. Niet terstond echter heeft men de voorname voorwaarde begrepen, waarvan de nauwkeurigheid dezer handelwijs geheel afhangt. Het is deze, dat men geene waarnemingen moet doen in reeds vloeiende bronnen, doch alleen in de drooge, of hoogstens een weinig doorgesijpeld water bevattende boorgaten. Immers in het eerste geval zou men weer vervallen in de oude gebreken, en temperaturen verkrijgen, die en vermengd, en meestal van geheel andere diepten afkomstig zijn, dan de gemetene. Om deze reden is het gedurende het boren de beste tijd voor telkens te herhalen waarnemingen.

De beroemdste Artesische putten: die van Grenelle, van Neusalzwerk en van Mondorf, hebben respectievelijk diepten van 548, 698 en 716 meters; hun water heeft de temperaturen van 27°,7; 33°,1 en 34° C., doch men begrijpt, dat deze gegevens ons niet de zoo gewenschte kennis kunnen verschaffen. Zoo geven de waarnemingen te Rijssel, Weenen, Rochelle en Epinay diepte-vermeerderingen van 25,5; 20,5; 19,8

en 18,2 meters voor elken graad C., doch ook deze waarnemingen zijn in vloeiende Artesische bronnen gedaan en dus onzeker. Zoo was ook het water, waarvan de te Rüdersdorff en door ARAGO te Parijs gemaakte temperatuurbepalingen hierboven zijn vermeld, afkomstig uit vloeiende Artesische bronnen, doch hoewel die en de nu opgenoemde resultaten onderling eenige overeenstemming vertoonen, verdienen zij toch om de bovengemelde reden geen vertrouwen, als het op 't ontdekken der gewenschte wet aankomt. In den put te Rüdersdorff gebruikten ERMAN en SCHMIDT een' *traag gemaakten* thermometer: dit werktuig, vroeger bij onderzoekingen van dezen aard veel gebruikt, bestaat uit een' thermometer, wiens bol door middel van slecht geleidende stoffen slechts toegankelijk is gemaakt voor langdurig werkende warmte-invloeden; dit geschiedt om bekoeling bij het ophalen te verhinderen. Hoewel ERMAN op verschillende bepaalde diepten waarnam, kunnen zijne temperaturen toch niet genoeg verschillen, daar ook de put te Rüdersdorff reeds met eene buisgeleiding was voorzien; hierdoor wordt n.l. de warmte tusschen het diepere en hoogere water gemakkelijker uitgewisseld, en dit maakt de uitkomsten onzuiver. De derde waarnemer te Rüdersdorff, MAGNUS, bediende zich van een' toestel, die door hem is uitgevonden, en tot dusver als het beste instrument mag beschouwd worden voor temperatuur-waarnemingen in Artesische boorgaten. Wij zullen er daarom hier eene korte beschrijving van geven.

Deze toestel draagt den naam van *geothermometer*. Daar op eenigszins aanmerkelijke diepten steeds de waar te nemen temperaturen hooger zijn dan die in de ruimte door welke de toestel wordt neergelaten en opgehaald, heeft men hierbij zoogenaamde maximum-thermometers noodig; thermometers dus, die de *hoogste* dier temperaturen doen kennen, aan welke zij gedurende zekeren tijd zijn blootgesteld geweest. De geothermometer van MAGNUS is een zoodanige. ¹ Hij bestaat vooreerst uit een groot langwerpig kwikreservoir, met eene daaraan verbondene tamelijk wijde, aan 't uiteinde opene, en aldaar omgebogene buis, geheel bestaande uit glas. Over 't omgebogene boven-einde wordt een glazen bolletje gezet, dat met zijn' onderrand op de glazen thermometerbuis wordt vastgelakt. Men ziet in, dat wanneer de eerst geheel gevulde thermometer nu verwarmd wordt, er kwik

¹ 't Eerst beschreven in *Poggendorff's Annalen*, Dl. XXII, 138.

uit de buis zal vloeien en zich verzamelen in het bolletje. Opdat zulks nauwkeurig en zuiver geschiede, is de eindopening van 't rechthoekig omgebogene boveinde zeer fijn. Omgekeerd kan men ook naderhand den thermometer weer vullen, door hem te verwarmen en dan op zijde te houden, als wanneer 't opene einde is gedompeld in het uitgevloede kwik, dat nu bij de bekoeling weer in de buis treedt, tengevolge der cohaesie van de kwikdeeltjes, alsmede door den druk der lucht. Het bolletje is n.l. voorzien van eene zeer fijne opening aan zijn top; dit heeft ten doel om de geweldige drukking eener waterkolom, waaraan de toestel met het bolletje soms op groote diepten is onderworpen, ook binnen het laatstgenoemde te doen werken, waardoor het breken er van wordt voorkomen. In de pasgemelde wijze van vulling bestaat het voorname doel van het losjes over 't uiteinde als eene kapsel gestulpte bolletje, dat door MAGNUS eerst later als eene verbetering aan den toestel is toegevoegd. De buis is verder verdeeld in graden, naar vergelijking met een' gewonen thermometer. Tengevolge van den grooten inhoud des reservoirs, zijn deze graden voor de nauwkeurigheid zeer lang; daarentegen zijn zij weinige in getal, n.l. ongeveer 50 à 60 C., hierdoor heeft de toestel nog eene slechts matige lengte. De graden tellen van af het omgebogene uiteinde; dàar is dus nul. Ziedaar het wezenlijkste gedeelte van den toestel.

Bij het gebruik wordt hij, na ophaling uit de diepte, geplaatst in een bak met water, dat kouder is dan de genoemde hoogste temperatuur, waaraan hij kan zijn blootgesteld geweest. Het kwik zal dus het opene uiteinde niet bereiken, maar zooveel graden daarvan af blijven, als het water kouder is dan de genoemde hoogste temperatuur. Deze wordt dus gevonden door dat aantal nog overgeblevene graden op te tellen bij de temperatuur des waters, welke men afleest aan een' gelijktijdig in den bak geplaatsten nauwkeurigen gewonen thermometer. Hierdoor is nu ook de reden duidelijk, waarom gemakshalve de graden des geothermometers tellen van af het opene einde. Door de lengte der graden van den toestel, kan men eene nauwkeurigheid verkrijgen tot op 0,1 graad. Eindelijk moet de opene spits scherp afgeslepen zijn, om 't aanhangen van kwikdruppeltjes tegen te gaan, en heeft men gedeeltelijke oxydatie van 't kwik te verhinderen, of 't ontstane oxyd te verwijderen, opdat de kwikkolom zich niet verdeele tengevolge der adhaesie.

De aflezing na de proef kan ook geschieden, door het water, waarin

men den toestel heeft gedompeld, langzaam te verwarmen, totdat het kwik weder het opene eind heeft bereikt, en dan door middel van den gewonen thermometer de temperatuur te bepalen. Deze handelwijze wordt noodzakelijk, wanneer de temperatuur des gebruikten waters toevallig slechts zóó weinig beneden de vroegere maximum-temperatuur is, dat het kwik niet beneden het nulpunt des geothermometers komt, dat zich een weinig vóór de opene spits bevindt.

Voor het gebruik tot de hier bedoelde proeven behoeft deze toestel nog eenige verdere uitrusting. Daartoe legt men tegen den bodem van 't kwikreservoir eene koperen schijf, en rondom 't boveinde er van een koperen ring. Ter beveiliging tegen stooten, enz. is het koper door kurkschijven van 't glas gescheiden. De koperen ring om den bovenkant van het kwikreservoir is door een paar aangeschroefde koperen stangen met de benedenste schijf koper verbonden, en heeft aan zijn bovenrand een schroefdraad. Hierop wordt de koperen montuur vastgeschroefd van eene langwerpige glazen klok, die juist zoo lang is, dat zij de buis des geothermometers met het over 't uiteinde daarvan gestulpte glazen bolletje in zich opnemen kan. Onderaan heeft deze klok eene opening, door welke zich in de diepte de druk des waters moet kunnen voortplanten op de lucht boven in de klok, en zodoende tevens door de fijne opening in het glazen bolletje ook op de lucht in deze kapsel en op het kwik binnen den thermometer.

Zóó wordt nu de toestel vooreerst met zijn onderende geplaatst in een zinken kokertje. Met dit laatste zet men hem in eene boven geslotene ijzeren buis, waarin hij staat op een' doorboorden bodem, en tegen omvallen en schokken beveiligd is. Deze buis wordt met haar boveinde vastgeschroefd aan de lijn, waaraan men haar neerlaat in het boorgat, zijnde een metaaldraad of een touw; in 't laatste geval moet men bij aanmerkelijke diepten het touw vooraf in water laten krimpen, wijl het anders de diepte onjuist zou doen kennen, tengevolge van den invloed des gewoonlijk in den put staanden waters. Bij 't neerlaten moet men voorts langzaam en voorzichtig te werk gaan, en vóór het ophalen behoort de toestel een weinig geschud te worden.

Aan de ijzeren buis dient zich beneden den doorboorden bodem, waarop de toestel staat, nog een van onder geopend verlengstuk te bevinden, dat 1 à 2, ja bij zeer groote diepten naar omstandigheden 3 of meer meters lang is. In de diepe boorgaten staat n.l. meestal tot boven toe eene kolom water, dat door de opgeloste zouten een

vrij hoog soortelijk gewicht heeft, en door de groote lengte een' enormen druk kan uitoefenen. In het recente, hierachter te bespreken geval, waar eene diepte bereikt werd van meer dan 1270 meters, klom die druk tot 140 à 150 atmosfeeren. De luchtkolom, die bij 't neêrlaten in den toestel wordt afgesloten, zal door dezen druk zeer sterk worden samengeperst, daar zij niet kan ontwijken uit het geslotene boveinde der ijzeren buis, hetwelk ter halve hoogte des geothermometers op het onderste deel is vastgeschroefd. Alleen door die luchtkolom zeer lang te nemen, kan men dus zorgen, dat het water niet tot boven in de glazen klok stijge; en door de fijne opening dringe in het over de thermometerbuis gestulpte en daarop vastgelakte glazen bolletje. Hier zou het n.l. het kwik verontreinigen, en later in den thermometer dringen, en dit is hinderlijk, zij het niet voor de juist gedane waarneming, dan toch wel voor de volgende. Om dezelfde reden bevindt zich ook de bovenwand der klok slechts zeer weinig boven de fijne opening der glazen kapsel.

Met den hier beschreven toestel komen gedeeltelijk, althans in beginsel, overeen de instrumenten, waarmede eenige proeven-reeksen zijn gedaan, die wij hier nog zullen vermelden, als behoorende onder de beste waarnemingen uit het midden dezer eeuw. De meerdere zekerheid der hierbij gevondene resultaten ligt vooral ook in de gunstige omstandigheid, dat *deze* waarnemingen zijn gedaan niet in reeds vloeiende bronnen, maar in versche boorgaten.

De eerste bepalingen zijn die door DE LA RIVE en MARCET, gedaan in een' Artesischen put nabij Genève, door middel van een' nauwkeurig en doelmatigen maximum-thermometer. Na 't bereiken der "onveranderlijke aardlaag", werden de proeven bij elke 16 meters dieptevermeerdering herhaald en voortgezet tot op 221 meters. Uit de resultaten leidde men eene diepte van 32,5 meter af voor één' graad C.

Op bevel en kosten der Saksische regeering, deed voorts REICH uitgestrekte en langdurige waarnemingen in de mijnen te Freiberg, door middel van thermometers, die met behulp van zand "traag" waren gemaakt. De bereikte diepte was slechts 140 meters, en de uitkomsten gaven 41,8 meter voor 1° C. Dezelfde waarnemer deed echter vervolgens aldaar nog proeven in eene andere mijn, alwaar in een boorgat water opgestegen, doch door afsluiting onder aanmerkelijken druk sedert twee jaren tegengehouden was, zoodat men mocht vertrouwen, dat dit water de temperatuur van het gesteente had aangenomen. Hier

bedroeg de diepte 280 meters, en alsnu was het resultaat: 33 meters voor 1° C.

Hoogstbelangrijk, en door de gunstige plaatselijke omstandigheden zeer gewichtig, zijn de uitkomsten door PHILLIPS verkregen in eene nieuw aangelegde schacht voor eene kolenmijn te Newcastle. De volstreckte diepte was 483 meters, terwijl de ingang 27 meters boven 't oppervlak der zee is gelegen. De gemiddelde temperatuur der plaats is 8°,7 C., en op de grootste diepte werd 22°,6 C. waargenomen. Gemiddeld geeft dit eene toeneming met 1° C. voor ruim 34,7 meters. Neemt men met PHILLIPS aan, dat de "onveranderlijke aardlaag" met eene temperatuur van 8°,7 C. ligt op 30 meters, dan komt 1° C. overeen met 32,6 meters diepte.

Eindelijk heeft WALFERDIN in een boorgat te Parijs waarnemingen gedaan tot op 400 meters diepte. De daarbij gebruikte toestel, de maximum-thermometer van WALFERDIN, komt in inrichting bijna, en in werking volkomen overeen met MAGNUS' geothermometer; de beschrijving er van komt gelijk men weet in de meeste natuurkundige werken voor. De hoogste temperatuur in de diepte was 23°8 C. Al naarmate men dit vergelijkt met de gemiddelde temperatuur van Parijs, of met die der *Caves de l'Observatoire* (zie hierboven), krijgt men voor elken graad stijging 30,4 of 30,9 meter. Met denzelfden toestel nam ARAGO waar bij 't boren van den put te Grenelle, en vond 32 meters voor 1° C.

Wenden wij echter thans ons nog tot eenige der allernieuwste boringswaarnemingen. Slechts kortelijk vermelden wij dan in de eerste plaats de proeven in 1869 gedaan door THOMSON en SYMONS te Glasgow en Londen. De bij de eerstgenoemde stad bereikte diepte was 160 meters, waarbij men gemiddeld bijna 28 meters vond voor 1° C. verhooging. In Londen daarentegen bereikte men 335 meters diepte, en vond bijna 29 meters voor elken graad C. Door andere waarnemers werden tevens metingen gedaan in Lancashire en zeer verschillende warmte-aan-groeiingen gevonden in eene zelfde steenkoolbedding, hetwelk door HULL wordt verklaard uit de verschillende geleiding bij ongelijk schuine ligging der lagen. ¹ Met betrekking tot zorgvuldige uitvoering en bereikte diepte, staan echter deze proeven verre achter bij eenige nog latere waarnemingen, die wij thans nog willen bespreken.

Het is uit het tot hiertoe gezegde gebleken, dat tot nasporing van

¹ *Quarterly Journal of Science*, XXVI, 1870. Verg. JANNETAZ, in *C. rend.* t. LXXVIII,

de nog altoos onbekende wet der warmte-toeneming in het binnenste der aarde, proeven in boorgaten de belangrijkste zijn, vooral wegens de groote diepten, die daarbij voorkomen, en in bergwerken nimmer worden bereikt. Inzonderheid is ook het doen dezer soort van waarnemingen wenschelijk op zooveel mogelijk verschillende punten der aarde, wijl naar alle waarschijnlijkheid eenige aangroeiings-wet slechts geldig kan zijn voor die plaats, waar zij gevonden is. Immers, vooral wegens de verschillende temperaturen der aardkorst op plaatsen van dezelfde geografische breedte, is het waarschijnlijk, dat die korst niet overal even dik, en dus de aarde niet gelijkmatig afgekoeld is, en hieruit moet noodzakelijk voortvloeien eene telkens verschillende wet der toenemende warmte. Zijn nu boringswaarnemingen niet voor veelvuldige herhaling vatbaar, zij kunnen daarentegen ondernomen worden op zooveel verschillende punten, als er plaatsen zijn, waar men boringen beproeft, en bovendien zijn zij, goed geleid, minder onderhevig aan de storende invloeden, die zich bij de andere handelwijzen doen gelden.

Overtuigd dus van het hooge belang dezer waarnemingen, gaf in 1869 de Pruisische Minister van handel, nijverheid en openbare werken last om ze in het werk te stellen bij eenige der boringen, die in Pruisen worden ondernomen. Wegens de groote diepte van meer dan 1270 meters, en de bereikte hooge temperatuur van 48°,1 C., zijn onder deze waarnemingen het belangrijkste die van het boorgat n°. 1 in steenzout, te Sperenberg, in de provincie Brandenburg. De leider dier proeven, de heer Oberberggrath E. DUNKER, heeft in den jaargang 1872 van het *Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen in dem Preussischen Staate*, daarvan een uitvoerig verslag gegeven. Wij meenen den lezer geene ondienst te doen, door hem hier nog kortelijk een overzicht te geven van de uitkomsten, in dat verslag medegedeeld.

De bij de waarnemingen te Sperenberg gebruikte toestel was de geothermometer van MAGNUS, hierboven reeds door ons beschreven. Men zie over eene vereenvoudiging er van nog het slot van dit opstel. De verschillende proeven zijn genomen gedurende een tijdvak van derdehalf jaar, beginnende met Juli 1869, en eindigende met het jaar 1871. Als uitkomsten geeft de heer DUNKER in de eerste plaats een 84-tal resultaten van afzonderlijke waarnemingen, saamgevat in eene uitvoerige tabel, wier opneming hier echter niet van het meeste gewicht kan zijn, daar de genoemde resultaten niet als de belangrijkste zijn

te beschouwen, zooals nader blijken zal. In de meêgedeelde uitkomsten worden steeds de diepten in rijnlandsche voeten, en de temperaturen in graden R. uitgedrukt. In verband met het voorafgaande en tot betere vergelijking, zullen wij echter gene tot meters en deze tot Celsius-graden herleiden. Op een paar onbeteekenende uitzonderingen na, wijst de tabel voor de verschillende diepten eene gedurige stijging der bijbehorende temperaturen aan. Bovendien geeft de tabel telkens de uit waarnemingen afgeleide of berekende verhoogingen van den warmtegraad aan voor 31,4 meters diepte-vermeerdering, en wel bij waarneming òf op den bodem van 't boorgat, òf, — wat minder nauwkeurig is, — op hogere punten. Mede door deze ongelijkheid der omstandigheden zijn de laatstbedoelde waarden vrij onregelmatig, daar zij varieeren tusschen 0°,16 en 2°,2 C.

Terecht maakt echter de heer DUNKER er opmerkzaam op, dat men niet de gewenschte gegevens, n.l. de temperatuur van het op elke diepte aangrenzend gesteente, kan verkrijgen, indien men aldus zonder meerdere voorzorgen proeven doet in een boorgat, dat gelijk het onderhavige, geheel met water gevuld is. Zelfs in eene werkelijk vloeiende bron, zou men juistere resultaten verkrijgen dan in dit geval, waar het stilstaande water gelegenheid geeft tot vrije warmte-uitwisseling tusschen 't boven- en beneden-water, tengevolge der circulatie. Deze heeft zelfs invloed op de temperatuur-bepalingen van den bodem, daar immers het koudere water geheel tot beneden toe neêrzinkt. Dat de hier bedoelde invloed werkelijk bestaat, wordt aangetoond door de lagere temperaturen in de ondiepe boorgaten n^o. 2 en 3 te Sperenberg, vergeleken met de op gelijke diepten gevondene warmtegraden in het reeds zeer diepe boorgat n^o. 1.

Eene afzonderlijke proef om zulks nader en meer beslissend aan te toonen werd nog genomen, toen de diepte reeds meer dan 1060 meters bedroeg. Men liet toen eene vóórboring maken in den bodem des puts, en wel 5½ meter diep en op halve wijdte, n.l. 0,15 meter. Hierin plaatste men den geothermometer, doch zóo, dat daarboven het begin der vóórboring door een stop waterdicht was afgesloten, zoodat het water niet door vermenging eene vreemde temperatuur, maar slechts die van 't gesteente verkrijgen kon. Om zeker te zijn, dat dit laatste 't geval was, liet men den toestel 28 uren op die plaats. Daarna nam men de temperatuur waar, en vond 45°,7 C. Den volgenden dag werd zonder eenige afsluiting op de gewone wijs waargenomen, en 42° C.

gevonden; alzoo een verschil van bijna 4° C. Na nogmaals afgesloten te hebben, vond men weder 45°,6 C., en daarna zonder afsluiting reeds denzelfden dag 42°, 4 C. bijna. Hierdoor wordt de juistheid der gemaakte opmerking meer dan voldoende bewezen.

DUNKER besluit hieruit, dat bij een boorgat, waarin *staand* water aanwezig is, altoos de temperaturen boven te hoog, beneden te laag zullen gevonden worden, en dat het bedrag dezer fout zal aangroeien met de diepte van 't boorgat. Tevens wordt opgemerkt, dat het onge-rechtvaardigd en onjuist zou zijn, indien men bij gissing deze fout wilde verbeteren, door bijv. het gemiddelde der boven- en beneden-temperaturen toe te kennen aan het in 't midden gelegen gesteente.

De twee proeven met afsluiting, hierboven vermeld, brachten toe-vallig nog eene oorzaak van onnauwkeurigheid aan het licht, doordien kort na den arbeid op 1033 meters diepte de temperatuur slechts 1° C. lager was zonder afsluiting, dan de op 1060 meters waargenomene met afsluiting. De oorzaak ligt in de bij het boren ontwikkelde warmte, die door de instrumenten weer aan het water wordt afgestaan. 't Bestaan van dezen invloed, die bij afsluiting en langeren duur der proef ge-ringer is, werd bij andere waarnemingen bevestigd. (Reeds ARAGO had de gissing geuit, dat er tengevolge der beweging van de boorwerk-tuigen eenige warmte van mechanischen oorsprong in het spel konde zijn.)

Later wordt nog op eene onjuistheid gewezen, die kan voorkomen, indien het boorgat tot op zekere diepte van eene metalen buisgeleiding is voorzien. Daar hierdoor gemakkelijke warmte-uitwisseling plaats heeft, kan men tot op zoodanige diepte op de waargenomene tempe-raturen niet vertrouwen, d. i. ze niet toekennen aan het aangrenzend gesteente.

Uit het boven opgemerkte blijkt, dat om aan het ware doel der hier besprokene waarnemingen te beantwoorden, de proeven in een met water gevuld boorgat, moeten gedaan worden onder *afsluiting* der overige vloeistof. Bij de definitieve ontdekking van den belangrijken invloed der watercirculatie, was het echter te laat voor de volledige proevenreeks met vóórboringen, afgezien nog daarvan, dat het geheele onderzoek eerst begonnen was, toen de diepte reeds 476 meters be-droeg. Om dit verlies alsnog te vergoeden, en wegens de belangrijkheid van het diepe Spenberger boorgat, bedacht de heer DUNKER een ander middel, waardoor ook op diepten, die de boor reeds lang heeft over-schreden, nog de afsluiting kan worden toegepast. Tusschen twee

houten klossen bevindt zich, onmiddellijk boven de buis met den geothermometer, een linnen zak, gevuld met een' cilinder van zeer kneedbare klei. Zoodra nu bij 't neêrlaten het onder-eind der ijzeren buis van het instrument op den bodem van het boorgat stoot, drukt een op den bovensten houtklos rustend gewicht dezen klos neder, en hierdoor wordt de kleicilinder zoo plat gedrukt, dat hij rondom tegen den binnenwand van 't boorgat geperst zijnde, dit geheel afsluit. Dit dient voor afsluitings-waarnemingen op den bodem. Wil men hetzelfde doen op hooger gelegene punten, dan zijn twee zakken met klei noodig: een beneden den geothermometer, de ander er boven. De belasting en het bewegingsmechanisme der klossen moet alsdan zoodanig zijn, dat de beide kleicilinders gelijktijdig worden platgedrukt, en het instrument in eene boven en beneden afgeslotene waterkolom te staan komt.

In de plaats der kleicilinders werden ook gebruikt cilindervormige kaoutschouk-zakken, die geheel met water waren gevuld, en op dezelfde wijs werden aangedrukt. In het geval der dubbele afsluiting, boven en beneden, moet zich dan, even als bij twee kleicilinders, onder den benedensten zak eene stang bevinden, die op den bodem der put steunende, de neêrdaling van den geheelen toestel stuit, en daardoor plotseling aanleiding geeft tot de samenpersing der cilinders. Daar dit bij groote lengte en zwaarte dier stang voor 't boorgat schadelijk konde zijn, werd ook de aandrukking bewerkt door middel van schroeven, die men kon aanzetten door draaiing aan den neêrlatingstoestel, terwijl de zachte klemming van een paar veeren de zakken tegenhield.

Met deze toestellen werd nu in de laatste maanden van 1871 nog eene nieuwe reeks van waarnemingen gedaan. De uitkomsten, meest onder afsluiting eener waterkolom verkregen, worden ten getale van 58 opgegeven in eene tweede tabel. Eenige dezer proeven, waarbij geene afsluiting geschiedde, doch die nu vrij zijn van den bekenden invloed der boorwarmte, dienen ter vergelijking met de overigen. Het behoeft geene toelichting, dat de gegevens dezer tweede tabel veel belangrijker zijn dan die der eerste. De temperaturen hebben eenige verbetering ondergaan wegens het opgemerkte, trouwens zeer gewone verschijnsel, dat het nulpunt van den gebruikten vergelijkings-thermometer een' halven graad C. verhoogd was. ¹ Verder bevat eene kolom

¹ Gelijk men weet, is in den laatsten tijd met redenen beweerd, dat de oorzaak van dit verschijnsel niet ligt in moleculaire verandering van het glas, maar in eene fout

met aanmerkingen eenige bijzonderheden, meest betrekking hebbende op tegenspoeden en andere redenen, waardoor de betrokken proeven als mislukt of onjuist zijn te beschouwen. Deze omstandigheden bestaan in wijziging van de temperaturen der eerste diepten, door de waterleidingsbuis, en voorts in beschadiging dezer buis en der linnen en kaoutschouk-zakken, tengevolge waarvan deze onderling verwisseld, en somtijds de toestellen geheel veranderd werden. Dientengevolge blijven er van de gegevens der tweede tabel slechts negen waarnemingen over, die volkomen te vertrouwen zijn, en waarvan wij hier de diepten met de bijbehorende temperaturen in Celsius-graden opgeven:

Meters . . 220 282½ 345 408 471 533½ 596 659 1064
 Temper. . . 21°,3 23°,1 26° 26°,4 28°,5 30°,2 32°,4 35° 45°,2.

Deze temperaturen behoeven nog eenige correctie. Bij den geothermometer van MAGNUS ondervinden wel, gelijk boven is gebleken, glas en kwik *beide* den druk der waterkolom, doch de samendrukking van 't kwik bedraagt meer dan die van 't glas. Naar eene daarvoor bestaande formule, en met inachtneming van 't berekende soortelijk gewicht van het zoute water ('t boorgat loopt bijna uitsluitend door steenzout), heeft dus DUNKER de waargenomene temperaturen behoorlijk verbeterd. De uitkomsten, met nog eenige andere waarden, vormen eene belangrijke tabel, waarvan wij hier 't gewichtigste als uittreksel mededeelen.

Diepte in meters.	Waargenom. temperaturen.	Temperatuurtoename voor elke 31,385 meters.	Berekende temperaturen.	Temp.-toename voor 31,385 met., volg. de bereken.	Afwijking der berek. temperat. van de waargen.
220	21°,59	—	19°,57	—	— 2°,02
282,5	23°,47	0°,94	22°,31	1°,37	— 1°,16
345	26°,43	1°,48	24°,93	1°,31	— 1°,50
408	26°,89	0°,23	27°,42	1°,25	+ 0°,53
471	29°,10	1°,10	29°,79	1°,18	+ 0°,69
533,5	30°,93	0°,92	32°,03	1°,12	+ 1°,10
596	33°,13	1°,10	34°,14	1°,06	+ 1°,01
659	35°,83	1°,35	36°,14	0°,99	+ 0°,31
1064	46°,55	0°,86	45°,95	0°,76	— 0°,60

bij de vervaardiging, doordien de temperatuur van het gebruikte ijs werkelijk beneden het vriespunt zou geweest zijn.

Gelijk de voeten tot meters, zoo zijn hier al de Réaumur-graden tot die naar CELSIUS herleid.

De temperaturen in de vierde kolom zijn berekend volgens eene formule, die het best alle waarnemingen vereenigt, en in herleiden vorm aldus luidt:

$$T = 8,97 + 0,05172 M - 0,00001595 M^2.$$

Hierin is T de temperatuur in graden C., op eene diepte van M meters, terwijl voor de gemiddelde jaarlijksche temperatuur van Sperenberg, die van Berlijn, n.l. 8°,97 C. is aangenomen. De beteekenis dezer vergelijking is ongeveer deze: dat de toename boven de gemiddelde temperatuur van 8°,97 C. in den beginne is 1° C. voor elke 19 $\frac{1}{3}$ meter, doch bij toenemende diepte hoe langs zoo sneller vermindert. Deze warmte-toeneming wijzigt zich naar geene eenvoudige wet; intusschen is dit ook elders niet het geval. Zoo heeft men in den put van Grenelle waargenomen op 248, 298, 400, 505, en 548 meters diepte, alwaar respectievelijk de temperaturen waren: 20; 22,2; 23,7; 26,4 en 27,7 graden C., zoodat men voor 31,385 meters diepte achtereenvolgens heeft aangroeiingen van 1,4; 0,5; 0,8 en 0,9 graden C. De in Sperenberg op gelijke diepten verkregene temperaturen zijn echter allen hooger, en reeds dit is eene reden om ze, caeteris paribus, ook juister te noemen. De vergelijking geeft verder de gemiddelde temperatuur van 8°,97 C. op 26,6 meter diepte.

Vraagt men volgens de oude handelwijs naar de gemiddelde diepte-vermeerdering voor elken graad C., dan geeft de vijfde kolom der bovenstaande tabel daarvoor 27,8 meter. Die oude handelwijs is voor het overige volkomen ongeoorloofd, want het was geheel willekeurig, dat men vroeger de warmte-aangroeiing stilzwijgend onderstelde, evenredig aan de diepte te zijn. De wet dier aangroeiing moet juist nog door de proeven voor verschillende plaatsen gevonden worden. De wensch blijft derhalve, om de waarnemingen bij gunstige gelegenheden voort te zetten en daarbij met de in Sperenberg opgedane ondervindingen voordeel te doen. Alsdan kunnen wellicht ook de omstandigheden gunstiger zijn, en daardoor meer nauwkeurige resultaten verkregen worden, dan in Sperenberg het geval was. De afwijkingen der waargenomene temperaturen althans (zie de laatste kolom der tabel), zijn hier nog al aanmerkelijk, veel aanzienlijker dan ze waren bij de boringswarmten, eenige jaren geleden waargenomen door W. VON FREDEN, die voor 't overige gekomen is tot eene vergelijking, die in

vorm geheel overeenstemt met de hierboven opgegevene. De oorzaak der grootere afwijkingen te Sperenberg is waarschijnlijk daarin te zoeken, dat bij sommige proeven de afsluiting niet volkomen moet zijn geweest, waardoor de temperatuur niet die van 't gesteente, maar te laag was. Vandaar eene ongelijkmatigheid, die terstond zeer storend inwerkt op de algemeene uitkomst, en de warmte-aangroeiing in de diepte veel te langzaam doet schijnen.

Bij deze waarnemingen moet men derhalve steeds de water-afsluiting toepassen niet alleen, maar deze afsluiting behoort ook vooral bij elke der afzonderlijke proeven even volkomen te geschieden. Men kan dit vooreerst doen door middel der bovenvermelde vóorboringen. Het grootste bezwaar is hierbij de lengte van het instrument. Door enkele kleine wijzigingen, vooral door nauwere aansluiting der glazen klok, kan echter aan dit bezwaar tegemoet gekomen en de lengte tot op weinige voeten verminderd worden. Het tweede middel verschaffen de zakken met kleicilinders. Vooral indien de wand van het boorgat tamelijk vast en taai is, zijn deze cilinders inderdaad zeer doelmatig, inzonderheid wanneer het platdrukken geschiedt door middel van 't gewicht der belasting. Dit zelfde geldt van de met water gevulde kaoutschoukzakken; vooral hierbij is 't gebruik der veeren minder doelmatig, daar zij leiden tot beschadiging van den binnenwand en de zakken.

De afsluiting door middel van gewichtdrukking kan bij diepe boorgaten slechts geschieden, indien men waarneemt gedurende den loop der boring. Dit laatste is intusschen buitendien steeds aan te bevelen uit het oogpunt van tijdwinst en mindere kostbaarheid. Vooral indien het arbeidsvermogen toch in den vorm van stoom bij het boren voorhanden is, kan men 's zaterdag-avonds neerlaten, en maandag-morgen ophalen, zonder noemenswaardig verzuim, noch belemmering of onkosten. Evenzoo indien men aan het einde der week eene vorige proef wenschte te herhalen. Op die wijze komen toevallige tegenspoeden en vertragingen evenmin als werktijd in rekening, als het tijdverlies, dat gepaard gaat met het vertoeven des instruments in den put.

Vooraf uit het oogpunt van gemakkelijke gereedmaking, verdienen de kaoutschouk-zakken met water de voorkeur. Hun gebruik is dan ook reeds voorgeschreven bij nieuwe temperatuur-waarnemingen, die voor een boorgat te Sudenburg bij Maagdenburg zijn bevolen. Intusschen is dit hulpmiddel nog vatbaar voor enkele verbeteringen. Zoo is het goed er een meer gewelfden vorm aan te geven, door de wijfde

der zakken in het midden iets grooter te maken; verder is eene fijne, zich bij 't aanpersen sluitende, opening in de dekplaten dier zakken zeer gewenscht, daar deze hierdoor kunnen meegeven, en zoo bestand zijn tegen den druk, door slijk en bezinksel veroorzaakt. Naar de aanwezigheid en diepte van het slijk behoort men vooraf te onderzoeken, terwijl water-afsluiting geheel onraadzaam is, zoolang instortingen zijn te duchten. Het te gebruiken kaoutschouk dient sterk (donkergrijze soort) te zijn. De neerlating moet aan stangen geschieden, en om stootingen onschadelijk te maken, is het aanbrengen eener stalen veer boven 't instrument wenschelijk. Eindelijk, indien een boorgat eensklaps begint te vloeien, zal eene terstond zonder afsluiting op den bodem gedane waarneming evenveel waarde hebben, als de overige proeven, waarbij de thans overbodige afsluiting is toegepast.

De bovenstaande praktische wenken, gegrond op de ervaring te Spreenberg, en zeer belangrijk voor deze nieuwe en naar 't schijnt meest rationeële methode van waarnemen in boorgaten, meenden wij hier niet achterwege te mogen laten. Immers ook ten onzent komen enkele malen boringsproeven voor, en gelijk boven reeds werd opgemerkt, is het van veel belang, dat zooveel mogelijk op vele plaatsen deze temperatuurbepalingen worden ondernomen, en althans eene toevallig opkomende zeer gunstige gelegenheid daarvoor niet ongebruikt voorbijga. Jammer slechts in zoover, dat tot zoodanige proeven minder veelvuldige gelegenheid is in een' bodem, die den beroemden natuuronderzoeker voortbracht, in wiens geschriften wij eene der oudste uitdrukkelijke vermeldingen vinden van het bestaan der warmtevermeerdering met de diepte.¹

Voor zulke bij gelegenheid te ondernemen plaatselijke waarnemingen, kan belangrijk zijn eene eenvoudige en goedkoope nabootsing van MAGNUS' geothermometer, waarvan wij de beschrijving nog aan DUNKER ontleenen, onder geringe wijziging, wat de eerste aanschaffing betreft. Men neme een gewonen thermometer met langwerpige, zoo ruim mogelijk reservoir, snijdt daarvan het boveinde der buis af en slijpt de doorsnede schuin bij. Dan schuift men eene doorboorde kurk over de buis tot aan het onderend daarvan, en steekt het boveinde door eene tweede, tamelijk lange kurk, die doorboord en bovendien van boven kegelvormig uitgehold is. Nadat de twee even dikke kurken

¹ Zie BOERHAVE, *Chemia*, 1732, T. I, p. 479.

van buiten met eenige ondiepe vertikale sleuven zijn voorzien, ter doorlating van lucht en water, wordt nu de geheele toestel geschoven in een' juist er om heen sluitenden blikken koker (beter eene glazen buis), die van boven gesloten en bolrond is. De thermometer met nog eene daaronder geschoven kurk, wordt door middel van een staafe aangedrukt, totdat de schuin afgeslepen kant tegen den bolronden bovenwand sluit. Het kwik, waarmede de thermometer vóór 't gebruik geheel wordt gevuld, vloeit bij verwarming uit op de uitholling van den bovensten kurk. De toestel wordt nu gezet in eene boven geslotene, beneden opene ijzeren buis van voldoende lengte, en zoo in 't boorgat neergelaten. Na ophaling bepaalt men de maximum-temperatuur, met behulp van een' anderen thermometer en een waterbad, evenzoo ls bij het fijnere instrument, n.l. door samentelling of verwarming.

De hierboven opgegevene vergelijking, uit de Sprenberger proeven afgeleid, zou indien zij juist ware en op grootere diepten voortdurend geldig bleef, rechtstreeks in tegenspraak zijn met de hypothese van de inwendige gloeihitte der aarde. Immers reeds op eene diepte van 3410 meters zou die vergelijking eene temperatuur geven beneden het vriespunt, en verder zou zij bij toenemende diepte nog gestadig dalende warmtegraden opleveren. Dit is een gevolg daarvan, dat de derde term, waarin M^2 voorkomt, het teeken — heeft. Dit laatste is intuschen evenzeer het geval bij eene vergelijking, die von FREDEN uit zijne waarnemingen heeft afgeleid. Nu kan er eenige onnauwkeurigheid zijn in dien laatsten term, doch zelfs indien zijn getallen-coëfficiënt minder ware dan één honderd-millioenste, of tweeduizend malen kleiner dan thans, dan nog zou men voor het middelpunt der aarde geene temperatuur krijgen, hoog genoeg om onder gewone omstandigheden alle stoffen te smelten. Echter, al had men de in onze formule uitgedrukte wet proefondervindelijk gevonden voor alle plaatsen der aarde, dan zou men zonder nadere gegevens nóg niet met zekerheid mogen zeggen, dat zij ook voor elke grootere diepte geldig bleef.

Eene thans in 't inwendige niet zeer hooge temperatuur zou voor 't overige het beste overeenstemmen met eene theorie, welke haar ontwerper evenzeer wiskundig heeft ontwikkeld, als FOURIER de zijne, namelijk die van POISSON. Deze verwerpt een' inwendigen gloeiend-vloeibaren toestand, op grond dat de noodzakelijk daarbij ontstaande gasvormige stoffen door hare spanning de schors moesten doen bersten,

Integendeel meent POISSON, dat de eerst bekoelde gedeelten moeten gezonken zijn, en daarna vast geworden, zelfs bij eene hooge temperatuur, tengevolge van den enormen druk der bovenste nog vloeibare stoffen, die, zelfs indien zij uit niets dan water bestonden, op het middelpunt eene drukking zouden uitoefenen van 30 millioen atmosfeeren. Zoo zou dan de aarde van binnen naar buiten langzaam geheel bekoeld en vastgeworden zijn. De nu nog waargenomene eigene aardwarmte schrijft POISSON niet aan de oorspronkelijke hitte, maar aan den invloed der vaste sterren toe, gelijk hij evenzeer meent, dat de vroegere smelting een gevolg is geweest van het passeeren onzes zonnestelsels door eene veel heetere streek der wereldruimte.

De hiertegen in te brengen bedenkingen zijn 1^o dat juist door die terecht aangevoerde geweldige drukking het ontstaan van gasvormige stoffen in het binnenste moest verhinderd worden, en 2^o dat er toch eene ongestoorde vorming van versteeningen uit levende wezens heeft plaats gevonden in tijdperken, toen volgens die hypothese de aardoppervlakte eene zooveel hogere temperatuur had dan thans.

HOPKINS daarentegen heeft in de eerste helft dezer eeuw de theorie van den inwendig vloeibaren toestand getoetst aan de bekende verschijnselen van praecessie en nutatie, en bevonden dat aard en bedrag dezer laatsten het best aan die theorie beantwoorden. ¹ Tusschen de vaste schors en de gesmolten kern moet naar zijne meening een halfvloeibare overgangstoestand aanwezig zijn. Tengevolge daarvan neemt hij in die halfgesmolten laag eene denkbeeldige gemiddelde scheidingsoppervlakte aan, de "*effective inner surface*", waardoor dan de "*effective thickness of the shell*" wordt bepaald. Die dikte der schors is dan als 't ware ruim één vijfde van den straal der aarde. Uit zijne beschouwing leidt hij de gevolgtrekking af, dat door drukking noodzakelijk het smeltpunt der stoffen moet verhoogd worden, eene conclusie, die door latere onderzoekingen inderdaad voor de meeste stoffen proefondervindelijk is bevestigd geworden, en tevens in verband met BISCHOF'S proeven (zie hieronder) voor de gesteenten kan afgeleid worden uit de mechanische warmtetheorie.

Uit het een en ander hier medegedeeld, blijkt hoeveel ruimte onze zeer beperkte ervarings-wetenschap op dit gebied nog overlaat voor hypothesen en theoretische stelsels. Ons rest nog, hier eene korte

¹ Zie *Philosophical Transactions*, 22 Nov. 1838, 17 Jan. 1839, 7 Maart 1839, en 20 Jan. 1842.

schets te geven van de nieuwste dezer theoriën, n.l. die van den reeds meer genoemden Sir W. THOMSON.¹ Deze is met ter zijde stelling van het min waarschijnlijke, eene samenvatting van het waarschijnlijkste uit de beschouwingen van FOURIER, POISSON en HOPKINS, naar de nieuwere ervarings-constanten gewijzigd, en getoetst en onderzocht met eene grondigheid, die op het tegenwoordige standpunt deze theorie de meest aannemelijke doet schijnen. Eene eenvoudige opnoeming der hoofdpunten kan hier voldoende zijn, daar de gronden voor het een en ander grootendeels reeds in het voorafgaande zijn vervat. In de eerste plaats meent THOMSON in strijd met velen, dat de aarde voorheen meer stormachtige ontwikkelingsstijfperken moet hebben doorloopen, dan de latere, wegens haar toenmaligen noodzakelijk grooteren voorraad energie, tengevolge van meerdere zonnewarmte en heftiger vulkanische werkingen. Verder neemt hij als mogelijk aan de hypothese, dat de aarde eenmaal of geheel vloeibaar was, of bestond uit eene vaste koude kern, omgeven door eene gesmoltene laag. In het eerste geval wijst dan de toepassing van FOURIER'S berekening op een sedert verlopen tijdvak van waarschijnlijk 98 of 100 millioen jaren, terwijl uit diezelfde berekeningen volgt, dat tegenwoordig de temperatuur-aangroeiing op groote diepten veel langzamer moet zijn, dan op de tot dusver onderzochte. Bij de langzame bekoeling nu der gesmoltene gesteenten, vond er een gestadig streven plaats naar een "convectief evenwicht van temperatuur", welke warmte-uitwisseling echter ingewikkeld wordt, door de bij 't stollen plaats grijpende volume-verandering en vrijwording van warmte, en door den invloed der drukking op het smeltpunt. Hier nu beschouwt THOMSON als beslissend de proeven van BISCHOF, volgens welke het volume van graniet, leisteen en trachyt bij 't vast worden ongeveer 20 procent vermindert. (Diensvolgens mag men het er ook voor houden, dat door drukking het smeltpunt dier stoffen wordt verhoogd). Het een en ander leidt tot het besluit, dat indien de vastwording aan de oppervlakte is begonnen, toch weldra de gestolde massas achtereenvolgens naar het centrum of de kern moeten gezonken, en bij de hooge drukking aldaar, duurzaam vast gebleven zijn. De vastwording moet dus langzaam naar buiten zijn voortgegaan, en de geheele aardbol tegenwoordig vrij zeker verkeerden in

¹ Zie *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 1862; ook THOMSON'S rede in de *Royal Society* te Glasgow 1868, en THOMSON a. TAIT, *Treatise on Natural Philosophy*; I b.

vasten toestand, ofschoon de temperatuur in het binnenste waarschijnlijk nog steeds niet ver is verwijderd van het met de drukking overeenkomende smeltpunt.

De aardbevingen en vulkanische uitbarstingen verklaart THOMSON mede uit het geringer soortelijk gewicht der gesmoltene steenmassas, die nog steeds voorhanden zijn in overgeblevene holten tusschen de gestolde deelen, en altijd trachten op te stijgen en door te dringen, tot de oppervlakte.

Ten slotte mogen wij niet nalaten, nog met een enkel woord melding te maken van de theoriën, die door FRANKLIN, CHLADNI en HALLEY zijn ontworpen, en volgens welke de aarde inwendig hol, en met lucht gevuld, of wel gedeeltelijk ledig zou zijn. Tot deze voorstelling kwam men, door grooten invloed toe te schrijven aan de middelpuntvliedingskracht, die optrad bij de ook in den voormaligen gloeiend-vloeibaren toestand volbrachte aswenteling. Tevens stond deze theorie in verband met eene thans verlatene hypothese ter verklaring van 't aardmagnetisme. Voor 't overige is het denkbeeld eener holle aarde in den laatsten tijd op nieuw opgevat door PHILIPP SPILLER. Behalve op eene minder afdoende theoretische beschouwing, ontleend aan de mechanische warmtetheorie, grondt deze zijne meening vooral op het verschijnsel, dat de ijzeren kogeltjes, die door smelting ontstaan bij verbranding in zuurstof of door den elektrischen stroom, bij onderzoek blijken hol te zijn. Hieruit blijkt, dat bij de bekoeling een holle bol ontstaat uit eene gesmoltene massa, die voortbeweegt, en tegelijk rond-draait (met genoegzame snelheid!) SPILLER verklaart dan de aardbevingen door de nog gesmoltene massa, die van binnen tegen de gestolde schaal gelegen is, en daarlangs beweegt onder den invloed der maan, even als het water op het buitenste oppervlak, bij den vloed der zee. Deze mogelijkheid der werking eener onderaardsche golf is reeds aangenomen door MALLET, en niet ontkend door POISSON. Zoo-veel is zeker, dat schrijver dezes de gesmolten bolletjes, die afvliegen van een ijzerdraad bij gloeiing in den elektrischen stroom, zoowel als bij verbranding in zuurstof, na bekoeling heeft onderzocht, en altijd daarin eene — enkele malen ook meer dan ééne — bolvormige holte heeft gevonden. Hij zal zich echter wel wachten, uit de uitkomsten van zulk eene proef tot den waarschijnlijken toestand der aarde te besluiten.
