

BIJDRAGE TOT DE GESCHIEDENIS DER HAGELTHEORIËN.

DOOR

Dr. S. R. J. VAN SCHEVICHAVEN.

(Vervolg van blz. 13.)

In 1844 verscheen de inauguraal-dissertatie van DR. WILHELM SCHWAAB, die de zaak grondig behandelde en eene theorie leverde, welke geruimen tijd als de alleen juiste is aangemerkt. Wij zijn daarom verplicht haar ietwat uitvoerig te vermelden. SCHWAAB vat de zaak aldus op.

De opstijgende luchtstroom, die veel waterdamp met zich voert, zal, als hij eenigen tijd aanhoudt, eene drukkende hitte veroorzaken, en de lucht, een slechte warmtegeleider als zij is, geheel verzadigen. Dit geschiedt vooral bij steeds helderen hemel. Is de bovenlucht verzadigd, dan ontstaan er, bij steeds voortgaanden toevoer van damp, wolken. Hierdoor komt warmte vrij, die het onaangename gevoel veroorzaakt, dat de mensch, gedurende de vorming eener onweersbui, ondervindt. SCHWAAB verdedigt nu de stelling: er kan bij een onweer geen hagel ontstaan, als niet een koude luchtstroom in de onweerswolken indringt. Dit indringen kan geschieden: 1° door het inzinken van koude luchtlagen uit het bovengedeelte der atmosfeer; 2° door een ijskoude luchtstroom, die uit noordelijke streken komt aanstormen, en reeds vóór de vorming der onweersbui zijne richting naar dit punt verkregen had. Deze luchtstroom kan: hetzij zich boven de bui uitbreiden, en daarin later neerzinken, óf door de wolk heenbreken, óf eindelijk onder de wolk dóórstromen, vooral als zijne richting reeds eenigszins geneigd was ten opzichte van den horizon.

Wanneer de bovenste luchtlagen, of de luchtstroom, die zich boven de onweerswolk heeft uitgebreid, *omlaag zinkt*, ontstaat er in die wolk

afkoeling en neerslag. De noodzakelijkheid van het steeds dieper en dieper zinken der koude luchtlagen wordt afgeleid uit de snelle verdichting van waterdamp, die ook luchtbewegingen, wervelwinden en winden in alle richtingen doet ontstaan. Vandaar de luchtstroomen, die vele waarnemers uit de wolken zagen te voorschijn treden; ook verklaren zij het feit, dat de wind, gedurende eene hagelbui, geen oogenblik dezelfde richting behoudt.

De wijze, waarop SCHWAAB de koude verklaart, die tot bevroering noodig is, is zeer vernuftig gevonden. De neerslag, in de onweerswolk ontstaan, zal naar beneden vallen en in die warmere lagen zoolang verdampen, tot deze verzadigd zijn. Is dit punt bereikt, dan zetten zich de nevelblaasjes op de droppels neer, of meer droppels verbinden zich. Op hunne beurt zullen zij in lagere luchtlagen verdampen en deze verzadigen. Zoo verkrijgt men, van boven naar beneden gaande, steeds nieuwe verdamping, en, door den aanhoudenden toevoer van koude luchtmassa's, nieuwen neerslag. Deze koude en de koude, die ontstaat door het absorbeeren van eene groote hoeveelheid warmte, doet eindelijk den neerslag bevroeren en vormt zoo vlokkig ijs, kleinere en grootere ijsstukken (Graupeln), die door den luchtstroom en door andere nieuw ontstane stroomen worden rond gedreven, waarbij zij zich tegen elkaar aanzetten. Door de aldus ontstane winden komt er steeds nieuwe koude lucht aan, die nieuwen neerslag geeft op de sneeuwvlokken en "Graupeln"; deze befrist, en zóó ontstaat de losse inwendige, en de volgende schaalachtige vaste structuur der grootere hagelkorrels, die wij bij vele hagelbuien kunnen waarnemen. Ook kunnen verscheidene "Graupeln" aan elkaar vriezen en groote hagelsteenen vormen.

Wanneer de koude luchtstroom *onder* de onweerswolk *dóór* stroomt, dan vermengen zich de aanrakingsvlakken. Er ontstaan regendroppels, die in den kouden luchtstroom daaronder bevroeren, en, óf als hagelkorrels, die geheel doorschijnend zijn, naar omlaag vallen, óf voor hunne aankomst op aarde weder gesmolten zijn. De koude lucht daalt steeds en drijft de warme voor zich uit, zoodat de bergbewoner de koude lucht vroeger gevoelt dan de dalbewoner. Dit is mede de oorzaak van de drukkende warmte, die een onweér voorafgaat, en van de afkoeling, die er gewoonlijk op volgt.

Dringt de koude luchtstroom *in* de onweerswolk, dan wordt er van de met waterdamp verzadigde lucht een deel naar boven gedrongen en daar afgekoeld. Vervolgens zinken deze luchtlagen weer in den kou-

den luchtstroom, waardoor sneeuwvlokken en "Graupeln" ontstaan, die zich aan elkaar zetten, dieper inzinken, bezet worden met den neerslag die in den kouden luchtstroom zelf, door vermenging met de warme, vochtige lucht ontstaan is, met den luchtstroom worden medegevoerd, steeds meer met ijs bezet worden, steeds dieper inzinken, en eindelijk in de warme, nog zeer vochtige luchtlagen aankomen. De hagelkorrels kunnen nu niet smelten; de op hen neerslaande waterdeeltjes zullen daarentegen door hunne koude bevrozen, en zóó tot hunne uitbreiding bijdragen.

Ziedaar de bekende theorie van SCHWAAB. Men gevoelt soms lust te vragen: "hebt gij dat alles zelf gezien"; zoo nauwkeurig weet hij alles te beschrijven en van alles rekenschap te geven!

De kritiekste punten in zijne theorie zijn het inzinken van de koude in de warme luchtlagen, wegens snelle verdichting van waterdamp, en de vrijwordende warmte. Ofschoon beide punten niet dan in het voorbijgaan door SCHWAAB behandeld worden, maken zij toch de hoofdpunten uit zijner theorie. Hij had althans moeten trachten deze punten tot klaarheid te brengen, vóór hij zijn stuk verder uitwerkte. Van het eerste punt: "die Verminderung des Rauminhaltes" maakt hij zelfs gebruik om het in voortgaande beweging komen der neerzinkende luchtlagen te verklaren, en hieraan schrijft hij het verschijnsel toe, dat de hagelbuien gewoonlijk in de lengte zijn uitgestrekt. Plaatselijke omstandigheden hebben volgens SCHWAAB zulk een grooten invloed, dat men den hagel als een lokaal verschijnsel mag beschouwen. De omstandigheid, dat men bij zware buien, die zich ver in de lengte uitstrekken, twee evenwijdige hagelzoomen of strepen heeft waargenomen, verklaart hij voor ieder speciaal geval uit de plaatselijke gesteldheid van den bodem. Het draaien der korrels om eene as, en het geruisch, dat men bij vele buien heeft waargenomen, worden mede door hem besproken; met een enkel woord spreekt hij ook over de gedaante der hagelkorrels.

KAEMTZ heeft in zijne Meteorologie eene theorie medegedeeld, die nevens die van SCHWAAB moet gesteld worden. Bij elke hagelbui heeft hij twee wolkenlagen waargenomen, waarvan de bovenste uit cirri ¹,

¹ De cirri hebben het voorkomen van losse vezels, waarvan het geheel gelijkt nu eens op een penseel (windveeren), dan op gekroeste haren (schaapjeswolken), dan weder op een los samenhangend net.

(KAEMTZ).

de benedenste uit cumuli ¹, bestaan. Het ontstaan der cirri schrijft hij toe aan een *zuiden* wind, op grond van het dalen des barometers. Terwijl de bodem zeer sterk verwarmd wordt, neemt de temperatuur, naar boven toe, snel af, ten gevolge van het niet vermengen der luchtlagen. Als de cirruslaag dichter wordt, daalt zij naar beneden en ontmoet de cumuluslaag, die snel toeneemt, wegens de met zeer veel waterdamp verzadigde opstijgende luchtstroomen. Sontijds lossen die wolken zich op, somtijds doen zij waterdamp neerslaan en geven zoo aanleiding tot onweersbuien. Soms ook komt een noorden wind den zuiden wind bestrijden, hetgeen blijkt uit het stijgen van den barometer; dan ontstaat er hagel. Waar die winden elkaâr ontmoeten, heeft er eene groote condensatie van waterdamp plaats, en er ontstaan wolken, waarin men niet zelden spiraalvormige bewegingen heeft opgemerkt. Wordt de boven- of de benedenwind plotseling versterkt, dan storten zich wervelwinden van beneden naar boven in de sneeuwachtige massa, die in de cirri door de koude der bovenlucht gevormd is, en vervormen de sneeuwvlokken tot hagelkorrels, die horizontaal door den wind worden voortbewogen tot zij den grond bereiken. Er komt dan genoeg electriciteit vrij om een bliksemstraal te doen ontstaan, maar meestal zijn de gresils reeds op aarde gevallen, vóór men den donder hoort. Nieuwe rukwinden (rafales) doen volumineuse hagelkorrels ontstaan, die maar gedurende weinige seconden vallen, en telkens door een bliksemstraal worden voorafgegaan. Vallen nu de korrels óf door een luchtlaag, die geene wolken of geene zware wolken bezit, óf door eene laag, die van dikke wolken voorzien is, óf bij afwisseling door onderscheidene lagen, dan kan men alle mogelijke hagelkorrels verkrijgen, wat vorm en structuur betreft.

KAEMTZ verdient grooten lof voor zijne nauwkeurige en talrijke waarnemingen; hij weet ze allen in overeenstemming te brengen met zijne theorie, en de verschijnselen, die hij niet bespreekt, pleiten niet tegen hem.

Het onderscheid tusschen deze theorie en die van SCHWAAB springt in het oog. De beginsels der hagelkorrels ontstaan bij K. door de koude der bovenlucht, die eerst de waterdampen, door een *zuiden wind*

¹ De cumuli hebben dikwijls de gedaante van een halven bol, rustende op een horizontale basis. Soms stapelen zich deze halve bollen op elkander en vormen dan dikke wolken aan den horizon, die gelijken op sneeuwbergen, welke men uit de verte ziet.

aangebracht, condenseert; bij S. is de condensatie een gevolg van een kouden *noorden wind*. De snelle afneming van temperatuur is volgens K. de voorname voorwaarde bij de hagelvorming. Toch is het verschil zoo groot niet als het schijnt, want de door hem aangenomen zuiden wind staat met zijne theorie niet in rechtstreeksch verband, en het eenige argument, dat hij daarvoor bijbrengt, is elders door hem zelf weerlegd, als hij zegt: “de barometer geeft ons de verandering in de atmosfeer aan van de aarde af, tot boven toe, maar noodzakelijk moet de barometer dalen op verwarmde plaatsen en stijgen daar waar de temperatuur niet veranderd is.” Bij K. daalt altijd de koude bovenlucht in de verzadigde lagere luchtlagen, ten gevolge van wervelwinden, die op de bekende wijze ontstaan; bij S. *kan* dit *somtijds* geschieden, ten gevolge van de snelle verdichting van waterdamp. Wie hier gelijk heeft zal moeten worden uitgemaakt langs den weg, dien men in den laatsten tijd is ingeslagen; wij zullen dien spoedig leeren kennen. Ongetwijfeld kan KAEMTZ zich op meer waarnemingen beroepen dan SCHWAAB.

DE LA RIVE heeft in zijne “*théorie de l'électricité*” ook het hagelverschijnsel besproken. Zijne ideeën over den invloed der elektriciteit op het verschijnsel bespraken wij vroeger reeds. Voor het overige sluit hij zich bijna geheel bij KAEMTZ aan, maar spreekt toch van: “*la théorie, dont nous venons de parler*” als van een eigen theorie. In dit opzicht geeft DE LA RIVE ons weinig. Wij zullen echter spoedig zien, dat hij een nieuw, vruchtbaar denkbeeld heeft ingevoerd, dat zich anderen later hebben toegeëigend.

Ook DUFOUR heeft dit gedeelte der theorie met een enkel woord besproken; hij is mede van oordeel, dat het verschijnsel alleen ontstaat door enorme luchtmassa's, die van uit de bovenlucht naar omhoog komen. Er heeft eene buitengewone beweging plaats, die de geheele atmosfeer als het ware ten onderst boven keert. Hij brengt daarvoor onderscheiden bewijzen bij, en voert onder anderen aan, dat er soms zulke hevige winden bij eene hagelbui kunnen optreden, dat zware boomtakken gedurende langen tijd in de lucht zwevende kunnen blijven. Eene nadere verklaring van die heftige beweging geeft hij echter niet.

In 1862 kwam Prof. FR. MOHR met zijn stuk voor den dag, en riep aan allen, die zich met het vraagstuk der hagelvorming bezig hielden, toe: “*Εύρηκα*: ich hab's gefunden.” Zijn stuk heeft de verdienste van

keurig gestileerd en zeer volledig te zijn. MOHR is echter ten eenenmale onbekend met de litteratuur van het onderwerp. "Niemand heeft vóór mij deze zaken verklaard" roept hij telkens uit, en toch geeft hij niets nieuws hoegenaamd. In zijne berekeningen maakt hij de meest grove fouten, en bijna vergeten meeningen brengt hij weer ter sprake. Ik zal mijne lezers daarom niet lastig vallen met zijne geheele theorie hier weer te geven; het volgende zij voldoende.

De koude, die tot het bevriezen noodig is, vindt ook MOHR in de bovenlucht. Komt nu de warme, met waterdamp verzadigde opstijgende lucht in eene voldoende koude luchtlaag, dan condenseert de damp en neemt een veel kleiner volumen in dan vroeger. In het door hem bijgebrachte voorbeeld wordt het volumen, bij den gewonen barometerstand en bij 0°, 182323 en, bij 20°, 58224 maal kleiner, dan het vroegere volume, en deze getallen moeten verdubbeld worden, als de barometerstand maar de helft bedraagt. Hierdoor ontstaat een luchtledig, dat aangevuld wordt door koude luchtlagen *van boven*. Door deze bewegingen ontstaan hevige winden, die een trechtervormigen wervelwind zullen vormen, waarin zich ijskoude lucht naast nog vloeibaar water zal bevinden. De groote stukken ijs, die soms op aarde neervallen, worden in dien wervel gevormd. Het onweer is een gevolg van de wrijving, die de invallende koude lucht uitoefent. De hagelbui verschilt van de onweersbui alleen in het optreden van heviger uitingen der zelfde verschijnselen.

De meeste onweersbuien schijnen bij ons uit het Zuiden en Zuid-Westen te komen. Dit komt, omdat de schaduw der wolk afkoeling en dus ruimtevermindering veroorzaakt, waardoor de bui steeds de richting der schaduw volgt.

Mij dunkt, men zal inzien, dat MOHR's theorie geen enkel nieuw denkbeeld bevat. Ik druk hier vooral op, omdat MOHR gedurende verscheidene jaren als de eenige autoriteit op dit gebied heeft gegolden. Zelfs in MÜLLER POUILLET's leerboek is er bijna alleen van MOHR sprake; alleen in de laatste uitgave wordt er eene bedenking in het midden gebracht. VOLNEY, SCHWAAB, KAEMTZ en OERSTED hadden reeds voor lang gezegd, wat MOHR als zijne ideëën opdischt.

De hoeksteen van zijne theorie is de ruimtevermindering, die de condensatie van waterdamp veroorzaakt. Reeds IDELER maakte in 1833 de opmerking, dat de ruimte, die de gecondenseerde waterdampen te voren innemen, niet ledig is, wat de atmosferische lucht betreft. DR.

KRÖNIG te Berlijn heeft uitgecijferd, dat de boven opgegeven getallen in MOHR's voorbeeld niet meer of minder dan 362000 maal bij 0° , en 113000 maal bij 20° te groot zijn genomen¹; en aangetoond, dat MOHR de meest eenvoudige physische wetten als niet bestaande aanneemt. De ruimte-vermindering kan hoogstens plaats hebben in verhouding van 20 tot 21. Neemt men nu echter daarbij in aanmerking, dat er warmte vrij komt bij de condensatie, dan heeft er geene vermindering maar wel vermeerdering van volumen plaats.

REIJE komt tot hetzelfde resultaat als KRÖNIG; hij toont aan, dat de ruimte-vermeerdering vijfmaal grooter is dan de ruimte-vermindering. Ook JOH. MÜLLER wijst op de uitzetting der lucht ten gevolge van de vrijkomende warmte, en vraagt waarom in eene ledige ruimte de lucht van boven, en niet ook van onder en van de zijden zal binnendringen?

MOHR was er de man niet naar, om te erkennen, dat hij zich vergist had. Al die formules en getallen, zegt hij, bewijzen niets. Bij hagelbuien daalt de barometer; dit kan niet plaats hebben, als er ruimte-vermeerdering optrad¹. Wat de vrijwordende warmte aanbelangt, deze verwarmt de koude lucht, waarvan zulk eene ontzettende massa voorhanden is. Aan MÜLLER geeft hij ten antwoord, dat de bovenlucht in de ledige ruimte stort, omdat die zooveel zwaarder is dan de lucht, onder of op zijde van die ruimte gelegen. "Maar," zegt onze Professor, "als men er bezwaar tegen heeft, dan geef ik de vrijheid de laatste bladzijde van mijn stuk te schrappen." Deze nu behandelt juist de "ungeheure Raumverminderung." Toch beweert hij, "meine Theorie steht noch unangetastet da!" En mocht iemand meenen, dat hij met die bladzijde zijne geheele theorie heeft opgegeven, geen nood! We krijgen aanstonds eene nieuwe theorie, die bewezen wordt met een verhaal van ANDERSEN.

MOHR is in één opzicht in bescherming genomen door DR. BERGER, een geenszins te versmaden bondgenoot. Deze beweert, dat de lucht, die de warmte zoo slecht geleidt, zich niet op denzelfden oogenblik kan uitzetten, als waarop de condensatie plaats heeft. REIJE heeft daartegen aangevoerd, dat de condensatie niet plaats kan hebben, tenzij aan den damp warmte ontnomen worde; die warmte kan nergens anders blijven, dan overgaan op de omringende lucht. Het eerste

¹ Ook uit dezen schuilhoek echter heeft REIJE MOHR verjaagd.

gedeelte van REIJE's stelling toegevende, neemt BERGER het tweede gedeelte niet aan. BERGER's hageltheorie hangt nauw samen met zijne neveltheorie, die wij niet uitvoerig uiteen mogen zetten. Hij toont door proeven aan, dat er tot nevelvorming lucht noodig is. Nu is er bij nevel altijd een opstijgende en een neerdalende luchtstroom; de eerste is natuurlijk de warme, de tweede de koudere. Er zullen nu deeltjes van den kouden stroom in den warmen "hinüberwirbeln," dáár condensatie te weeg brengen van de nevellichaampjes, die daarin door de afkoeling der hoogere luchtlagen ontstaan zijn. Er zal eene ruimte-vermindering plaats hebben, enz. enz. Wanneer het temperatuurverschil der beide stroomen groot en de condensatie dus sterk is, dan zullen er plasregens en hagelval ontstaan. De vrijwordende warmte wordt aanstonds¹ gebruikt tot de vorming van nieuwe nevellichaampjes. Gaan de eenmaal gevormde hagelkorrels bij afwisseling van den eenen stroom in den anderen over, dan smelten en bevroren zij telkens op nieuw, waardoor de samengestelde hagelsteen en de bekende lagen ontstaan.

Is er nu onder al deze theoriën, waarde lezer, ééne enkele, die u volkomen bevredigt? Als het u gaat als mij, dan luidt uw antwoord op die vraag ontkennend. Dit gevoel van onbevredigdheid is zeer verklaarbaar, en de oorzaken daarvan niet ver te zoeken. Vooreerst kan uit den aard der zaak geen enkel argument, voor de eene of andere theorie bijgebracht, zóó klemmend zijn, dat het geen tegenspraak duldt. Verder zijn de wetten, die de meteorologie ons leert, nog zóó gering in aantal, dat zij ons bij de verklaring van andere verschijnselen niet kunnen helpen. Daarom ook maken de bedenkingen, die tegen de verschillende beschouwingen worden ingebracht, dikwijls zoo weinig indruk. De bewijskracht van een argument hangt soms geheel van de individuen af. En toch, wij zouden zoo gaarne hier eenige zekerheid hebben, al ware het maar van één enkel feit; wisten wij b. v. zeker, dat er geen hagelsteen gevormd worden, wanneer er niet een werfelwind aanwezig is, die om eene horizontale as draait, dan hadden we een punt van uitgang, waaraan wij onze verdere redeneeringen zouden kunnen vastknoopen. Juist omdat alle theoriën zoo geheel in

¹ Zoodat er dus geen gelegenheid is voor de lucht om zich te verwarmen, en dien tengevolge uit te zetten.

de lucht hangen, bevredigen ze ons zoo weinig. Doch hoe zullen wij zulk eene zekerheid verkrijgen? Proefnemingen kunnen niet veel helpen. VERTIN heeft een glazen kastje met tabaksrook gevuld, en den bodem op de eene plaats verwarmd, op de andere afgekoeld; hij zag daarbij verscheidene wervels ontstaan. BERGER maakt de wervelvorming duidelijk, door een fleschje met koffie te verwarmen. Doch hoe belangrijk ook de resultaten van beider proefnemingen zijn, zoo vind ik een kistje met tabaksrook en een fleschje met koffie zaken, die moeielijk te vergelijken zijn met de atmosfeer onzer aarde.

In den laatsten tijd heeft men een weg ingeslagen, die mijns inziens stellig tot goede resultaten leiden zal. Men heeft veel te lang gewacht met de boden, die de hagelvorming hebben bijgewoond, de hagelsteenen zelve, nauwkeurig te ondervragen, hetgeen des te meer te verwonderen is, omdat zij reeds vroeger aan de weinigen, die hen nauwkeurig ondervraagden, zoo veel belangrijks hadden medegedeeld. De hagelsteenen, die door DELCROS onderzocht zijn, hadden allen eene bolvormige-pyramidale gedaante. De top wijst op een kern met concentrische lagen; het daarop volgende gedeelte is straalvormig en wordt afgesloten door een paar concentrische lagen, terwijl de oppervlakte met zeer kleine pyramiden en punten onregelmatig is bezet. Hij meent, dat die steenen ontstaan zijn door het uiteenspringen van grootere stukken ijs, welke meening bevestigd werd door het vinden van een hagelsteen, waarvan men de afbeelding in den jaargang 1853 van ons Album vinden kan. MUNCKE merkt op, dat het moeielijk is zich voor te stellen, hoe dat uit elkander springen kan plaats hebben. De jongste onderzoekingen hebben ons echter geleerd, dat de mogelijkheid daarvan althans moet worden toegegeven. KAEMTZ beweert, dat alle pyramidale steenen er uitzien, alsof zich de doorschijnende massa om den bolronden sneeuw kern, die zich in het midden bevindt, heeft neergelegd.

De pyramidale vorm wordt door SCHWAAB aldus verklaard. De hagelkorrels moeten bij hare voortbeweging, behalve de lucht, ook nog den waterdamp verdringen. Natuurlijk slaat die daarbij meer op het onderste deel van den hagelsteen, die hem van zijne plaats wil dringen, neer, dan op het tegenovergestelde bovenste gedeelte; van daar dat het onderste grensvlak een bolvormig oppervlak vormt. Bij den snellen val zal een gedeelte van den waterdamp, wegens de ledige ruimte, die daar ontstaat waar zich de hagelsteen een oogenblik vroeger be-

vond, zijdelings zich naar boven begeven, en zóó langs het ijs wrijven, hetgeen zeer bevorderlijk is voor het vormen van de spitse punt. ¹ Hij gelooft, dat men bij grootere hagelsteenen inzonderheid letten moet op het aan elkaar groeien der sneeuwvlokken en "Graupeln", gedurende de voortbeweging en den val, waarbij hun nog los samenstel doortrokken wordt met waterdamp, die befrist en de vaste, radiale structuur der hagelsteenen bewerkt. ²

Ofschoon SCHWAAB en v. BUCH meenen te mogen aannemen, dat de hagelsteenen nooit volkomen doorschijnend, maar steeds melkachtig en dof zijn, zoo wordt er toch ook gesproken van steenen, die den vorm hebben van planoconvexe lenzen, met een kern in het midden, die soms zóó doorschijnend zijn, dat zij, als men er door naar een voorwerp ziet, dit vergrooten zonder afwijking van den vorm. PÉRON spreekt nog van langwerpige steenen, die eene onregelmatige prismatische gedaante hebben; ADANSON van zesvlakkige, zeer stompe pyramiden.

De eerste, die ons een tal van *naauwkeurige* waarnemingen heeft gegeven, is Prof. HARTING. In het midden van de hagelkorrel heeft hij altijd een witte, ondoorschijnende kern waargenomen, die bestaat uit ijskristallen welke met luchtblaasjes gemengd zijn, en eene doorsnede heeft van 1 — 2^{mm}. Daarop volgt eene dichtere, glasachtige ijsmassa, die tegen het licht doorschijnend, bij opvallend licht grijsachtig is. Dit gedeelte bestaat uit lagen, waarvan de meeste de kern niet geheel omgeven en samengesteld zijn uit ronde en afgeplatte bolletjes; die lagen zijn $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{8}$ ^{mm} dik. Tusschen die bolletjes merkt men vele luchtbelletjes op; lagen met vele luchtbelletjes wisselen af met andere, die er maar weinig vertoonen. Aan den buitenkant bevindt zich een laag, die in maaksel overeenkomt met de kern, talrijke luchtbelletjes bevat en soms uit twee of drie afwisselend doorschijnende en ondoorschijnende lagen bestaat; deze buitenste laag ontbreekt soms geheel.

In den jongsten tijd heeft REINSCH eene mededeeling gedaan, die zeker alle opmerkzaamheid verdient. Hij onderzocht onder het mikroskoop verscheidene hagelkorrels, den 8^{ten} Juni 1869 te Zweibrücken gevallen, en bevond, dat alle korrels samengesteld waren uit even groote bolletjes, die eene doorsnede hadden van 0,0544 tot 0,0724^{mm}.

¹ DELCROS nam waar, dat deze steenen bij hun val altijd de punt naar boven hadden gekeerd.

² Deze voorstelling herinnert ons aan ANAXIMENES' meening. Zie boven.

terwijl de korrels, die bijna bolrond waren en een concentrische structuur vertoonden, eene doorsnede hadden van 10 tot 12^{mm}. Binnen in ieder bolletje bevond zich een bolvormig luchtblaasje dat een doorsnede had van 0,0088^{mm}. Op den oogenblik op welken de wand, die de lucht insloot, barstte, zag REINSCH het volumen van dit luchtblaasje 52 maal grooter worden, waaruit hij besluit, dat zulk een blaasje vroeger bestaan heeft onder eene drukking, die 52 maal grooter is dan de drukking van de atmosfeer. Door de formule van GAY-LUSSAC vindt men nu gemakkelijk, dat voor zulk eene drukking eene koude noodig is van 214°, hetgeen bij het ontstaan van den hagel niet waarschijnlijk mag genoemd worden.¹

Nog moet ik vermelden, dat men in de hagelsteen ook onbevoren water, zand, zwavelkies, ammoniak en organische lichamen heeft aangetroffen.

DUFOUR heeft, om het feit der bevroering te bestudeeren, getracht kunstmatig hagelkorrels te maken. Hij vulde daartoe een glazen bak met zoete amandelolie, vermengd met chloroform, zoodat de vloeistof hetzelfde soortelijk gewicht had als water. Wanneer men hierin, door middel van een pipetje op verschillende plaatsen grootere en kleinere hoeveelheden water brengt, dan blijft dit in de omringende vloeistof zweven en neemt den vorm van bolletjes aan. Als men nu den geheel ten toestel in een koudmakend mengsel plaatst, dan kan men den inhoud van het bakje tot 20° onder nul afkoelen, zonder dat alle bolletjes bevroeren; de kleine bieden den meesten weerstand. Men kan de niet bevroeren bolletjes aanstonds doen bevroeren door ze met een stukje ijs aan te raken. De stroom van een inductie-machine van RUHMKORFF doet de bevroering meestal optreden, de ontlading van een leidsche flesch zelden. Ook de aanraking met een ander lichaam dan ijs, maakt de bolletjes niet altijd vast. Met gesmolten zwavel in eene oplossing van chloorzink verkreeg hij eene afkoeling van 65°, met naphthaline in water eene van 24° onder het vriespunt dezer stoffen, zonder vastwording. Wanneer men de niet bevroeren bolletjes in aanraking brengt

¹ Men behoort eerst de nadere bevestiging van deze waarnemingen af te wachten, voordat men naar eene waarschijnlijke verklaring omziet. Intusschen kan het zijn nut hebben, te herinneren aan de proeven van MEISENS, die bewijzen, dat een kogel, die met eene matige snelheid zich eerst in de lucht en dan in water beweegt, eene hoeveelheid lucht in het water medebrengt, minstens honderdmaal grooter dan zijn volumen.

met de vaste, dan zal, wanneer de temperatuur zeer laag is (b. v. 20° onder nul), het vloeibare bolletje aan het reeds bevroren vast vriezen. Is de temperatuur niet ver onder nul (b. v. — 2°), dan geeft het vloeibare bolletje zich om het andere heen en bevriest onder de hand; het vormt dan een laag over den vasten bol. Wanneer eerst twee bolletjes aan elkaar zijn gevoren, dan kunnen andere vloeibare bolletjes zich over deze heen begeven, en zoo agglomeraties doen ontstaan met allerlei verhevenheden en uitsteeksels; het zijn dan stervormige figuren. DUFOUR merkte op, dat er tusschen de gevormde lagen altijd een weinig onbevroren vloeistof bleef zitten, en dat het doorvoeren van lucht weinig invloed op de vastwording had.

Na DUFOUR is het vooral BERGER geweest, die het feit der bevrizing besproken heeft. De wijze waarop hij de hagelhorrels maakt, verschilt van die van DUFOUR. Hij spuit water op een vel watten en verkrijgt zoo waterbolletjes van alle grootte. Als hij deze sterk afkoelde, verkreeg hij soms holle sferoïden. Hij kon ze ver beneden 0° afkoelen en kleine sferoïden uren lang aan de grootste koude blootstellen, zonder dat ze bevroren. Hij verkreeg ook sferoïden, die alleen oppervlakkig bevroren waren en volkomen geleden op de hagelsteen der derde soort, die door ARAGO voor bevroren regendroppels werden gehouden. Voordat deze bolletjes geheel bevroren zijn, ontstaat er soms eene dunne draadvormige ijsnaald dwars door den bol. BERGER vond in zijne kunstmatige hagelsteen kernen, ringen, enz., geheel overeenkomende met die, welke bij natuurlijke hagelsteen worden aange troffen. ¹ De beweging bevordert het bevrizen wel, maar doet het niet direct optreden.

Grootere sferoïden verkreeg BERGER door een porseleinen schaal tje met lampzwart te bedekken en den bol met lycopodiumpoeder te bestrooien. De ingedompelde thermometer daalde voor het bevrizen nooit verder dan 0° , in eene omgeving van -14° tot -16° C. en lager. Bij eene omgeving van -5° tot -10° , werden de bollen afgekoeld van -1° tot -5° , voordat het bevrizen plaats had. De temperatuur, waarbij de proef begon, was onverschillig, mits boven nul graden. Als het lycopodiumpoeder of het lampzwart ergens door het water werd nat gemaakt, bestond er meer neiging tot bevrizen. Als de bevrizing

¹ Bij deze gelegenheid merkt BERGER op, dat men zulke kernen en ringen (of lagen) ook wel bij ijskegels waarneemt.

plaats had, steeg de temperatuur soms langzaam, maar meestal zeer snel, tot nul graden, en het eerst onregelmatig verspreide lycopodium-poeder rangschikte zich in schoone figuren. Neemt men den thermometer uit den bol, dan vindt men hem bezet met uitsteeksels van onregelmatige gedaante en verschillende grootte; soms is hij omgeven met een stralenkrans van ijs, soms met een dikken ronden ring van buitengewone klaarheid en schoonheid. De druppel zelf is hol en met sierlijke figuren aan de oppervlakte bezet. Eene beweging, die op alle deelen der massa gelijkmatig werkt, het blazen, het indompelen van, of zacht omroeren met stompe ijzeren of glazen staven van eene temperatuur boven nul graden, oefent geen bijzonderen invloed uit op het vastworden. De genoemde staven hadden meer invloed, wanneer zij een temperatuur hadden beneden 0°, en daarbij puntig of spits waren.

Beide geleerden nemen nu aan, dat het water, waaruit de hagelkorrels ontstaan, beneden nul graden *moet*, of althans *kan* afgekoeld zijn. DE LA RIVE had vroeger reeds hetzelfde beweerd. BARRAL en BIXIO hadden op hunne luchtreis een wolk ontmoet, waarin deze afkoeling zich voordeed. FR. VOGEL uit Frankfort a/M. en C. NÖLLNER uit Hamburg hebben, onafhankelijk van elkander, in 1849 den vorm der hagelkorrels uit dit verschijnsel afgeleid. In de leerboeken wordt aan hen de prioriteit van dit denkbeeld toegekend; uit het bovenstaande blijkt, dat men dan DE LA RIVE te kort doet.¹ Het is verder bekend, dat men des winters, bij eene temperatuur onder nul graden, dikwijls een nat-ten nevel heeft waargenomen. Het verschijnsel, dat de Duitschers "Rauh-frost" noemen, is mede niet zeldzaam. Er valt dan een werkelijke regen bij eene temperatuur ver onder nul graden. De vloeistof wordt echter oogenblikkelijk vast, zoodra zij met een vast lichaam in aanraking komt, en bedekt zoo de boomen en andere lichamen met een dikke, doorschijnende ijskorst, die soms zóó zwaar kan worden, dat dikke takken breken. Uit zulk een Rauh frost aan de Moezel heeft men opgemaakt, dat de neveldeeltjes wel eens 25° R. onder nul graden kunnen zijn afgekoeld.

De verschillende waarnemers hebben nu direct hunne waarnemingen dienstbaar gemaakt aan de verklaring van de hagelvorming. VOGEL en NÖLLNER beweren, dat de blaasjesdamp, die de wolken vormt, kan afgekoeld worden onder nul graden, zonder te bevriezen. Vallen uit

¹ Het spreekt van zelf, dat MOHR dit denkbeeld als het zijne doet voorkomen.

een hoogere wolk Graupeln hieronder, dan slaat *water* daarop neer, en dit wordt aanstonds vast; wegens de lage temperatuur ontstaat er op die wijze eene groote massa ijs.

DUFOUR meent, dat de zichtbare waterdamp bestaat uit soliede bolletjes en niet, zooals HALLEY en DE SAUSSURE aannamen, uit blaasjes. Deze bolletjes drijven in een middenstof (lucht), die hen van alle zijden omringt, en onder deze omstandigheden kan er zeer gemakkelijk eene afkoeling onder 0° plaats hebben. Hij stelt zich de zaak nu zóó voor, dat koude luchtstroomen andere verzadigde ontmoeten zullen, dat in bijzondere, niet nader te bepalen gevallen de waterbolletjes onder nul graden worden afgekoeld en toch vloeibaar blijven zullen, en dat ze door de hevige beweging in de atmosfeer zullen blijven zweven. Waarschijnlijk zijn er ook sneeuwvlokjes onder, die met de eerst bevroren zeer kleine bolletjes de kernen der hagelsteen en zullen vormen. De in beweging zijnde lucht brengt de reeds bevroren deelen bij elkander en vermengt ze met andere, die nog niet bevroren zijn en wier afmetingen zonder twijfel zeer verschillen.

Wanneer de waterbolletjes beneden nul graden vloeibaar zijn geweest, dan moet men in hunne agglomeraties de afzonderlijke bolletjes met het bloote oog of met het mikroskoop kunnen waarnemen, en tusschen de lagen der korrels de aanwezigheid van lucht kunnen constateeren. Dat die lucht werkelijk aanwezig is in de korrels, is, volgens DUFOUR, die de waarnemingen van HARTING niet schijnt te kennen, direct waargenomen door KAEMTZ, WALLER, e. a. die sommige hagelsteen en vonden, waarin het volumen lucht dat van het ijs overtrof. Het wordt ook bewezen, door de omstandigheid, dat de hagelkorrels minder zwaar zijn dan men uit het volumen zou opmaken, dat zij soms minder snel vallen dan men verwachten zou, en betrekkelijk weinig pijn veroorzaken, wanneer men het ongeluk heeft zich in een hagelbui te bevinden.

De aanleidende oorzaak van het bevroren der eerste bolletjes, kan, volgens DUFOUR, gelegen zijn in elektrische ontladingen, in het overgaan der elektriciteit van het bolletje zelf (waarbij hij echter alleen aan eene zuiver mechanische werking wil gedacht hebben), of in sneeuwvlokjes, die, binnen in het bolletje dringende, de sneeuwkerneln vormen. Blijkens de aardse lichamen (strootjes, enz.), die men soms in de hagelsteen en gevonden heeft, kunnen ook deze de aanleiding tot het bevroren zijn.

Is de temperatuur ver beneden nul graden, dan bevroren de andere

waterbolletjes, die tegen de eerst ontstane stooten, ieder voor zich, zoodat er vele geïsoleerde korrels zullen vallen, zonder onderling verband. Dit geschiedt bij de uitstorting van gresilkorrels en van kleine hagelsteenen, die dikwijls in de lente en in den herfst voorkomen, d. i., op een tijd van het jaar, als eene groote afkoeling mogelijker is dan 's zomers. Ontmoet een vloeibaar waterbolletje twee of meer aan elkaar gevroren bolletjes, dan krijgt men agglomeraties van kleinere korrels, met punten, horens, enz.

De kunstmatige hagelkorrels vertoonen minder duidelijke lagen dan de natuurlijke. Dit komt omdat bij de laatste de waterdamp voortdurend gecondenseerd en bevroren wordt; hierdoor ontstaat eene witte geleiachtige laag, die er uitziet als rijp. In het neerslaan van den waterdamp hebben wij eene tweede oorzaak voor de vergroting der hagelsteenen te zoeken. Het hangt geheel af van den toestand der wolkenlagen, waar doorheen de korrels vallen. Wordt er veel damp gecondenseerd, dan verkrijgen de steenen een melkachtig voorkomen; anders zijn zij meer compact. Hier omheen komen nu de meer doorschijnende lagen der vloeistoffen, die er mede in aanraking komen. Deze lagen zijn nu eens meer, dan eens minder duidelijk; dit hangt af van den hygrometrischen toestand der atmosfeer. Afwisselende lagen van ondoorschijnend en doorschijnend ijs behooren dan ook tot den algemeenen vorm der hagelsteenen; het is als het ware de type.

DUFOUR schijnt te meenen, dat de lagen der hagelkorrels niet anders ontstaan kunnen dan door het bevroren van water, dat beneden nul graden is afgekoeld, en dat er geen hagelsteenen kunnen ontstaan of er moet vooraf sneeuw gevormd zijn. BERGER vindt het gewaagd, het eerste gedeelte dezer stelling aan te nemen. Door ruim water op zijne ijs-sferoïden te gieten, heeft hij evenzeer de lagen zien ontstaan. Ook het aannemen van het tweede gedeelte van DUFOUR's stelling vindt BERGER onnoodig, daar hij bij eene eenvoudige bevroering van watersferoïden eene kern zag ontstaan, volkomen overeenkomende met de kern der natuurlijke hagelsteenen. Volgens BERGER kan sneeuw aan den hagel voorafgaan of hem begeleiden; noodzakelijk is dit niet.

Deze kwestie is niet nieuw; reeds KAEMTZ en LEOPOLD VON BUCH streden over hetzelfde punt, waarbij KAEMTZ de meening van DUFOUR, en VON BUCH die van BERGER voorstond.

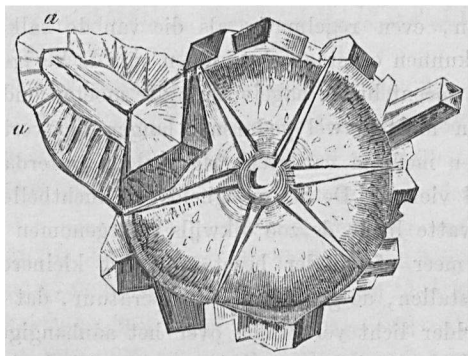
Wij hebben boven reeds de theorie van BERGER medegedeeld. Wij voegen er hier, naar aanleiding van de besproken proefnemingen nog

het volgende bij. Als de temperatuur van den kouden stroom lager dan nul graden is, dan zullen er zich, volgens BERGER, hier en daar sneeuwkrystallen vormen regstreeks uit damp. De waterbolletjes zullen, als er geen inwendige oorzaak werkzaam is, bevrozen hetzij door aanraking met deze sneeuwkrystalletjes of door beweging.

Het komt ons voor, dat én DUFOUR én BERGER veel te spoedig hunne waarnemingen in verband hebben gebracht met de hageltheorie. Zij hebben op uitstekende wijze het begin van den weg gebaad, die ons mettertijd tot eene bevredigende verklaring van den hagel voeren zal. Maar we staan eerst aan den aanvang van een onderzoek, dat vele nog duistere punten zal moeten ophelderen. Het zij mij vergund, aan het einde mijner bijdrage, op enkele dezer punten opmerkzaam te maken.

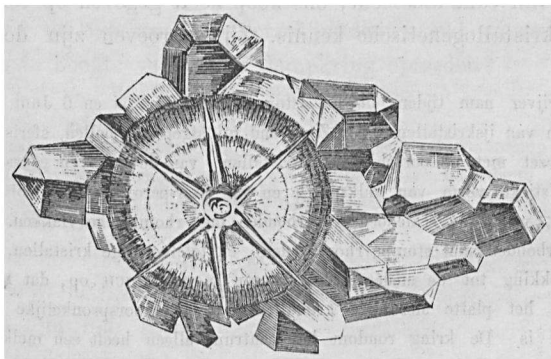
Het water, dat in de atmosfeer voorkomt, wordt zoowel in het dagelijksch leven als in de wetenschap met allerlei namen bestempeld. Men spreekt van zichtbaren waterdamp, damp, nevel, mist, "Dunst", wolken enz. Zonder twijfel bedoelt men hiermede altijd hetzelfde lichaam, maar de vraag doet zich voor: onder welken vorm moet men zich dit lichaam bij deze benamingen, voorstellen? Die vorm, zegt men, kan slechts zijn of een meer of minder groote soliede, of een kleine holle bol. DUFOUR meent, dat de zoogenaamde "vapeur vésiculaire" niet bestaat, en neemt aan, dat al het water, dat in den dampkring voorkomt, den vorm heeft van soliede bollen. HALLEY, DE SAUSSURE, KRATZENSTEIN e. a. zijn vertegenwoordigers van de andere meening. Doch, terwijl iedereen aanstonds het onderscheid gevoelt tusschen mist en regen, zoo is het onderscheid tusschen de verschijnselen, die in de volkstaal met droogen mist, natten mist, nevel, damp, wolken enz. benoemd worden, niet even duidelijk. Het gaat niet aan te zeggen, dat dit eigenlijk alles hetzelfde is. Hij, die zich op een hoogen berg te midden der wolken bevindt. ontvangt een andere gewaarwording dan hij, die op een mistigen dag in een onzer steden langs 's Heeren straten wandelt, zooals deze weer gansch wat anders gewaar wordt dan hij, die aan den morgen van een schoonen zomerdag den strijd gadeslaat tusschen de zon en den morgennevel. Zijn er niet proeven genomen, waaruit blijkt, dat het in sommige omstandigheden onmogelijk is, uit te maken of een lichaam vloeibaar of gasvormig is? Waar zoo weinig kennis bestaat omtrent den overgang van gasvormigen waterdamp in vloeibaar water, daar is het niet te verwonderen, dat men omtrent het ont-

staan van den vasten neerslag in onzen dampkring geheel in het onzekere verkeert. Bedenkt men, dat de vraag, of er uit waterdamp direct ijs ontstaan kan, zonder dat die damp eerst tot water gecondenseerd wordt, evenmin beantwoord is, dan zal men inzien, dat er nog heel wat te doen overblijft, voordat men met zekerheid het ont-



staan der hagelkorrels verklaren kan. Het zal toch geheel afhangen van de wijze waarop de waterdamp of het water in de atmosfeer voorkomt, hoe de daaruit ontstane ijsstukjes gevormd zullen zijn.

Omgekeerd echter kan een hagelkorrel soms uitsluitel geven omtrent



den toestand van de plaats der atmosfeer, waar zij gevormd is, en dus ook omtrent den toestand van den waterdamp en het water. Ieder gevoelt aanstonds de waarde van de waarnemingen van REINSCH, boven medegedeeld, al is het ook, dat men daarvan nog geene verklaring weet te geven. De studie der hagelkorrels is een punt van groot belang.

Dit blijkt b. v. uit een stukje van ABICH ¹, waarin hij eene korte beschrijving geeft van twee hagelvallen in Russisch Georgië. Hij geeft de afbeeldingen van twee hagelsteen, die wij in Fig. 1 en 2 den lezer mededeelen, en zegt, naar aanleiding daarvan: "persoonlijke waarneming verzwakt meer of minder elke theorie omtrent de hagelvorming, die men tot hiertoe gegeven heeft. Hoe toch zouden zulke kristallijne opeenhoopingen, even regelmatig als die van de kalkspaat van den Andreasberg, kunnen ontstaan, te midden van de hevige beroering, die men algemeen meent bij de hagelvorming te moeten onderstellen? Deze opeenhoopingen moeten wel gedurende langen tijd vertoefd hebben te midden van een medium van sterk afgekoelden waterdamp, vóórdat zij op den grond vielen." De aanwezigheid van luchtbell, de toestand der daarin bevatte lucht, de zoo dikwijls waargenomen lagen der hagelkorrels, het meer of minder bezet zijn met kleinere kristallen, de vorm dier kristallen, de grootte, de temperatuur, dat alles kan licht, en wel een helder licht verbreiden over het aanhangige vraagstuk.

In den laatsten tijd hebben de mineralogen zich bezig gehouden met het bestudeeren van hetgeen er plaats heeft, wanneer vloeistoffen den kristalvorm aannemen. Het is vooral Prof. VOGELSANG uit Delft geweest, die door zijne mikroskopische waarnemingen bij het kristalliseeren van zwavel uit eene oplossing van dit lichaam in zwavelkoolstof bij aanwezigheid van canadabalsem, ons hoop heeft gegeven op vermeerdering van onze kristallogenetische kennis. Zijne proeven zijn door E. WEISS

¹ De schrijver nam tijdens de hagelstormen van 27 Mei en 6 Juni 1869 verschillende vormen van ijskristallen waar. Zoo vond hij afgeplatte bollen, sferische kristallijne lichamen, bezet met ondoorschijnende kristallen, van de drie- en éénassige systemen. De karakteristieke vorm van kalkspaat en van ijzer-peroxyde (oligiste) was de meest voorkomende, vooral de scalenoeder, verbonden met rhombische vlakken. Verder zag hij prisma's, verbonden met stompe rhomboeders, en tafelvormige kristallen.

Met betrekking tot de medegedeelde figuren merkt ABICH op, dat het geschaduwde gedeelte van het platte sferoidale grondlichaam in het oorspronkelijke niet altijd ondoorschijnend is. De kring rondom het centrum alleen heeft een melkachtig voorkomen, hetgeen wordt toegeschreven aan de ingesloten luchtbell, zoo ook de kern van de meeste andere; bij sommigen is de kern doorschijnend. Aan den breedsten rand van het grondlichaam zitten de kristallen zelve als parasiten vast, of liever ze zijn als in eene opening geschoven, die door een begin van smelten kan zichtbaar gemaakt worden (Zie a in fig. 1). De afbeelding vertoont de luchtbelletjes nagenoeg in natuurlijke grootte,

(*Phil. Mag.*, Dec. 1869, p. 440.)

in Bonn volkomen bevestigd. Het spreekt wel van zelf, dat de waarneming van hetgeen er plaats heeft, wanneer kristallen ontstaan uit vloeistoffen, die in zeer fijn verdeelden toestand in een of ander medium aanwezig zijn, rechtstreeks kan worden dienstbaar gemaakt aan het vraagstuk der hagelvorming. Ook in de atmosfeer is het water in zeer fijn verdeelden toestand aanwezig. Misschien wordt langs dezen weg ook de rol opgehelderd; die de niet-gecondenseerde waterdamp bij de vorming der hagelkorrels vervult¹.

Het is zeer licht mogelijk, dat proeven als die van DUFOUR en BERGER, die van VOGELSANG, WEISS en anderen ons zóó bekend zullen maken met hetgeen er in de atmosfeer moet voorvallen, dat de hagelkorrels ons slechts mededeelen, wat wij reeds van elders weten.

Wij moeten dus naar mijne overtuiging geduldig wachten, tot onze kennis aangaande de drie punten, die ik hierboven besprak, den overgang van waterdamp in water, het samenstel der hagelkorrels en het ontstaan der kristallen, wat meer uitgebreid zal zijn, voordat wij eene nieuwe hageltheorie opstellen. Want, zooals ik reeds in den aanvang zeide, het verschijnsel van den hagel is in zekeren zin: le couronnement de l'édifice." Zoo ergens, dan treedt hier die eenheid in de natuur te voorschijn, die wij zoo gaarne bewonderen. Of is het niet een verheven denkbeeld, dat hij, die de wetten opspoort, volgens welke de mineralen zich in de diepste diepte der aarde gevormd hebben, bewust of onbewust de verschijnselen tracht te verklaren, die op de hoogste hoogte van onzen dampkring optreden?

¹ SCHUMACHER beweerde reeds, dat het ijs rechtstreeks uit waterdamp kan ontstaan. DUFOUR maakt uit vele waarnemingen op, dat de onzichtbare waterdamp, zonder zichtbaar te worden, groote hoeveelheden water doet ontstaan.