

GELUID VERZWAKT GELUID

EN

LICHT GEVOEGD BIJ LICHT , GEEFT DUISTERNIS.

DOOR

V. S. M. VAN DER WILLIGEN.

I.

De verschijnselen, wier behandeling ik mij voorstel, schijnen oppervlakkig beschouwd in strijd met de allereenvoudigste beginselen der natuurkunde; misschien zullen zij wel daarom te eerder belangstelling inboezemen en mij mogelijk den een of anderen weetgierige, die zich aan mijne leiding toevertrouwt, verder doen voeren dan hij zelf wel dacht. Hunne waarneming is veelal gemakkelijk genoeg, wanneer men maar eenmaal weet, hoe die behoort plaats te hebben; en daarbij bezitten zij afwisseling en rijkdom in overvloed, zoodat zij ook het groote publiek kunnen boeijen. Daarbij zijn zij uitnemend geschikt, om tot een dieper inzicht te leiden in het wezen van geluid en van licht; zij bieden een aangenamen weg, waar anders welligt een dor en hobbelig pad kon terughouden; en, mag ik een natuurkundigen term bezigen, zij geven mij een geschikt aangrijpings-punt, waaraan ik zoo veel nog kan knoopen. Hierin lag dan wel reden genoeg, om mij tot eene populaire behandeling te doen besluiten.

Iedereen kent den slinger, die aan alle staande uurwerken is te vinden. Onophoudelijk beschrijft hij nu regts en dan weder links steeds dezelfde baan en zet zijne eentoonige beweging voort, zoolang die maar door het dalende gewigt of de zich ontspannende veër wordt onderhouden. Iedereen weet wel, dat twee gelijke krachten,

die in tegengestelde rigting aan eenig ligchaam trekken, het in rust laten, even zeker als diezelfde krachten, wanneer zij beide naar denzelfden kant trokken, dat ligchaam met eene dubbele snelheid zouden voortbewegen. Meer natuurkundige kennis wil ik voor het volgende bij mijnen lezer niet vooronderstellen; wat ik meer mogt verlangen zal ik zelf in de orde, waarin het mij voorkomt, ontwikkelen.

Mij dunkt, mijne eischen heb ik niet hoog gesteld; maar hieruit vloeit dan ook voort, dat ik hier en daar wel wat lang zal moeten stilstaan bij eenvoudige zaken. Ik wil overigens eerlijk zijn, lezer! en u eenigzins nader met het wezen van dit stukje bekend maken; door den titel trok ik, mogelijk wel wat onbescheiden, een wissel op eene kleine hoeveelheid zucht naar het vreemde, die ik bij u vermoedde; doch mijn eigenlijk meer verwijderd doel was om, zoo in het voorbijgaan, nog vrij wat meer met u te behandelen. Alle proeven echter, waarvan sprake zal zijn, en die onder het bereik van allen zullen liggen, zullen steeds en zonder onderscheid strekken tot bevestiging der groote waarheid, die ik als titel neêrschreef. En wat nu betreft de beteekenis dier proeven en haren zamenhang met nog algemeener beschouwing: juist die schijnstrijdigheid, die in de leer van het geluid zoo gemakkelijk werd aangetoond en opgelost, wordt ook in de leer van het licht eerst eenvoudig en klaar, wanneer men uitgaat van de onderstelling, dat het licht — even als voor het geluid zal worden aangegeven — wordt gevormd door golvingen, en wel door golvingen, die in eene overal aanwezige middenstof plaats hebben. Door hare eenvoudigheid juist kwam die onderstelling zoo zeer in aanzien; en hetgeen eerst slechts onderstelling mogt heeten, verhief zich tot een natuurkundig beginsel, dat even zeker gaat als de leer der algemeene zwaartekracht.

Door de afleiding en regtstreeksche ontwikkeling van verrassende voorbeelden, wilde ik daarom eene proeve nemen, in hoeverre het mij mogt gelukken, de zoo moeilijke theorie van het licht in een eenvoudig en kon het zijn behagelijk kleed voor te dragen. En mogt ik dan, zeker niet zonder velerlei voorbereiding, den lezer langs dezen weg hebben bekend gemaakt met de undulatie-theorie

of golf-leer van het licht, dan zal ik er mij in verheugen, iets te hebben bijgedragen tot meer algemeene verspreiding eener leer, die haar ontstaan en een goed deel harer ontwikkeling aan onzen grooten landgenoot HUIJGENS verschuldigd is.

Laat ons aanvangen met een zeer alledaagsch verschijnsel, dat geboren wordt, wanneer een steen in het water wordt geworpen; terwijl die steen wegzinkt, ziet men eene menigte kringen op de oppervlakte ontstaan, die achtereenvolgend uitgaan van het punt waar de steen trof, en zich dan al verder en verder uitbreiden. — Bij naauwkeuriger beschouwing zal men bespeuren, dat het water, wanneer zulk een kring voortgaat, zich eerst boven de oppervlakte verheft en terstond even diep onder haar daalt. Deze betrekkelijk geringe rijzing en daling wordt onderscheidene malen achter elkander herhaald, even zoo veel malen namelijk als het aantal der kringen bedraagt, die voorbijgaan; en al de deeltjes, die even ver van het punt van uitgang gelegen zijn, doen dit te gelijker tijd en in hetzelfde oogenblik; ziedaar dan de verklaring van het eigenaardig uitwendig voorkomen van het verschijnsel. Maar, wij willen nog een oogenblik bij die eenvoudige kringen stilstaan, misschien leeren zij ons nog wel een en ander, dat algemeener toepassing vindt.

De steen drijft door den schok de deeltjes, waarop hij valt weg, en deze stuiven dan met groote vaart naar alle rigtingen, onder de oppervlakte en naar de diepte, uit elkander; maar, zoodra de steen wegzinkt ontstaat eene opening, die terstond door de omgelegen deeltjes der oppervlakte wordt aangevuld. Intusschen komen ook de waterdeeltjes die weggestooten waren, al spoedig terug naar het punt, waar zij oorspronkelijk lagen; want links, regts en naar beneden, overal vonden zij andere deeltjes die hen terugkaatsten en, nu zij hunne oorspronkelijke plaats reeds ingenomen vinden door het van rondom toegestroomde water, gaan zij in de plaats der verdieping blijkbaar eene kleine verhevenheid vormen. Wij willen bij dit verschijnsel nog iets langer vertoeven en het ook onder de oppervlakte vervolgen; het is voor het vervolg nuttig.

De kleine kringen, die zich op de oppervlakte voortplanten, vormen verreweg het geringste deel van het geheele verschijnsel; overal waar zij ontstaan treedt eene zekere soort van schudding op, die van deeltje tot deeltje door de gansche massa wordt voortgeleid en de geheele vloeistof inwendig doorwoelt. Denken wij ons eene verzameling van ivoren ballen, bijv. billardballen; eenige ballen — die hier onze eerste waterdeeltjes voorstellen — ontvangen regtstreeks eene schok; aldra treffen zij dan de andere; wel is waar worden zij zelve teruggekaatst, maar toch hebben zij een deel hunner beweging aan die omgevende medegedeeld. De terugkaatsing der waterdeeltjes heeft even zoo plaats als die van den bal tegen den band van het billard; en de mededeeling der beweging wordt in zekere mate toegelicht door twee ballen, waarvan de een den ander treft, aan dezen zijne beweging overdraagt en dan zelf gaat rusten in zijne plaats. Het water en elke vloeistof bezit even goed veërkracht als het ivoor; maar de watermassa, waarin de steen viel, verkeert in eene kunstmatige spanning onder de werking der zwaartekracht, die alles wat op aarde is beheerscht en die de geringste oneffenheid op de oppervlakte van het water terstond weder glad maakt of opvult; en die kunstmatige spanning rigt hier uit wat de oorspronkelijke veërkracht bij het ivoor tot stand brengt.

Verder durf ik hier niet uitweiden; zien wij nu hoe de opvolgende kringen ontstaan en hoe zij voortgaan. De terugkomst der eerst weggestooten deeltjes rigt eene kleine verhevenheid op in de plaats van den steen; zoodra deze verhevenheid, door hare zwaarte weër wegzinkt, is het even goed als of daar ter plaatse een tweede steen werd geworpen. Dit wegzinken vervangt alzoo een tweeden steen; het water wordt dus weder weggedreven. Weldra komt het op nieuw terug; die tweede terugkomst wordt door een vernieuwd wegzinken gevolgd en dit geeft als het ware een derden steen. Op deze wijze zullen dan achtereenvolgens eene menigte kringen ontstaan; want elke nieuwe verheffing geeft haren kring even goed als de oorspronkelijke schok. Maar telkens verliezen ook de deeltjes een gedeelte hunner snelheid, door mededeeling aan de omliggende, op de wijze die ik zoo even beschreef. Deze omgelegene beginnen dan hetzelfde spel; met de

beweging nemen zij ook huune werking naar buiten over, dat is: zij vormen de kringen die zich meer en meer uitbreiden en al verder en verder worden voortgeleid; en in steeds wijderen omvang verrijzen ringvormige wallen, die terstond voor ringvormige dalen plaats maken. Doch door dit verlies aan beweging, dat de eerste deeltjes telkens lijden, zullen blijkbaar de opvolgende kringen die van het middelpunt uitgaan, in hoogte afnemen, tot dat eindelijk alles weêr in rust komt en de oppervlakte effen en glad wordt als voorheen.

In dien heen- en wedergang hoop ik zal men onzen slinger reeds herkennen; inderdaad de waterdeeltjes voeren eene slingerende beweging uit, die langzamerhand wegsterft en verdwijnt, even als die van den slinger eener klok, wiens gewigt is afgeloopen.

Men zou zich ook nog op eene andere wijze eene voorstelling van de wording dier kringen kunnen vormen: de steen maakt eene opening en drijft het water naar alle kanten weg; maar dit water kan zoo spoedig niet uitwijken en vormt daarom een kleinen ringwal rondom die opening. Op dit oogenblik ziet men dus een klein komvormig dal, omgeven door een ringwal. Terstond daarop echter valt die ringwal naar beide kanten weg; daarbij vloeit meer water af dan noodig is, en men verkrijgt in het midden een berg en aan de buitenzijde van den ingevallen berg uit zijne overblijfselen evenzeer een berg; terwijl op de plaats, waar die verdwenen ringwal stond, nu een dal wordt gevormd. Op dit tweede oogenblik ziet men alzoo een centralen berg, dan een ringdal en daar rondom nog een ringberg. Aldus voortgaande moet men voortdurend om den anderen bergen laten worden en verdwijnen; dan zal men achtereenvolgens het ontstaan van alle kringen verklaren en zich tevens een begrip kunnen vormen van de wijze, waarop zij zich uitbreiden.

Maar deze voorstelling is minder getrouw en leidt niet tot de kennis van het wezen der zaak; dat eerst wegstuiven en dan terug komen, die slingering der kleinste deeltjes, die voorbijgaande trilling, welke zich van deeltje tot deeltje tot op de verst afgelegen einden der watermassa voortplant, is de eerste oorzaak van die kringen, of beter gezegd van die vervorming en buiging der oppervlakte, welke zich aan het oog vertoont. Wat zich hier aan de

oppervlakte voordoet is slechts eene flauwe uiting, een zwakke weêrklank van die snelle schommeling, die van het eene uiteinde tot het andere en tot op eene aanmerkelijke diepte de gansche watermassa doorloopt. Zeer schoon en eenvoudig werd dit bewezen door de gebroeders WEBER, twee duitsche geleerden. Zij namen water, waarin kleine stofjes zweefden, en bragten het in een bak met glazen wanden. De een maakte aan het eene uiteinde golfjes en de ander lette ergens met een vergrootglas op de beweging van zulk een stofje, en zoo vonden zij dat elk stofje tot op eene zeer aanmerkelijke diepte onder de oppervlakte eene snelle trilling maakte en eene soort van klein cirkeltje beschreef voor elk bijna onmeetbaar golfje dat daarover heenging; en of men nu de beweging van zulk een stofje of van een eigenlijk waterdeeltje waarnam, dat zal wel hetzelfde zijn.

Die kleine slingering der deeltjes noemt men *trilling* — ik heb het woord reeds gebezigd — en de vervorming of doorbuiging, welke zich over de oppervlakte voortplant, noemt men *golwing*. Men ziet wel in dat, nu de trilling zich tot eene groote diepte uitstrekt, hier ook even goed zou kunnen worden gesproken van eene golwing van de geheele vloeibare massa. Men zal uit het aangevoerde ook reeds hebben opgemaakt, dat elke golf, elke berg, zich eigenlijk eerst vormt uit het water, dat hij vindt op de plaats waar hij aankomt en dan, wanneer hij verder gaat, dat water weêr achterlaat. Ten overvloede zal men zich hiervan op de volgende wijze zeer gemakkelijk kunnen overtuigen: men werpe een stukje hout op de oppervlakte waarop zich onze kringen voortplanten, dan moet dit blijkbaar alle bewegingen van het water volgen, en dan ziet men het wel op en neêr gaan voor elken kring die voorbij gaat, maar overigens blijft het rustig op zijne plaats.

Diezelfde trillende bewegingen der kleinste deeltjes, welke hier zulke onaanzienlijke kringetjes voortbrengen, zijn ook de zamenstellende elementen van die kolossale baren, welke op de opene zee door den wind opgejaagd en voortgestuwd zulk eene ontzaglijke grootte bereiken. De grootte der golven, die op eenige watermassa kunnen worden opgewekt, wordt geheel beperkt door de diepte, tot welke het water zich uitstrekt; daarom kunnen wij zelfs met

grootte steenen slechts zeer onaanzienlijke golfjes op onze vijvers en rivieren te weeg brengen; daarom ook zijn de golven op de Oost-zee, Noord-zee en Middellandsche zee veel kleiner dan die op de stille Zuid-zee en den Atlantischen oceaan; daarom kan men van verre reeds banken en ondiepten in onze rivieren, die onder de oppervlakte verborgen zijn, bespeuren aan de meerdere spiegeling en grootere effenheid der water-vlakte. Dit zal nu niet vreemd klinken, wanneer men bedenkt, dat de golf slechts een gevolg is van eene trilling, die zich tot op eene grootte diepte uitstrekt, en dat dus, waar deze trilling belemmerd wordt door de nabijheid van den bodem, de golf onmogelijk tot dezelfde ontwikkeling kan komen, als bij grootere diepte. In de diepte van den Atlantischen oceaan en van de Zuid-zee heeft die trilling vrij spel, en daarom kunnen daar zulke grootte golven ontstaan. De wind werkt nu voortdurend met rukken en stooten in eene schuine rigting op zulk een uitgestrekt waterveld en brengt zoodoende, even als onze steen, de watermassa in trilling. Van lieverlede worden dan uit de kleine trillingen van millioenen deeltjes golven geboren, die 20, 30 en meer voeten hoog zijn, even als door de samenwerking van millioenen nietige koraal-diertsjes geheele eilanden uit de zee verrijzen. Wanneer eene grootte golf met kracht over eene ondiepte wordt gedreven, dan ontstaan de verschijnselen, die bekend zijn onder den naam van *branding* en *barres des flots* of *watermuren*. Zoodra namelijk eene golf, die op diep water werd ontwikkeld, op eene ondiepte komt, wordt de trilling harer dieper gelegen deelen belemmerd, en zij schuurt, om het kortweg uit te drukken, met haar voet langs den bodem; daardoor begint zij als uit het water te rijzen en wordt vertraagd in hare beweging. De *branding* kan men aan onze kusten zeer goed waarnemen; zij ontstaat overal waar het strand langzaam afloopt; de uit het water gerezen golf is aan de landzijde steil en aan de zeezijde meer glooiend. Ten gevolge der vertraging, die zij ondervindt, wordt zij door volgende achterhaald, die zich met haar vereenigen, en naar mate de vertraging en schuring toeneemt, groeit zij meer en meer aan. Al hooger en hooger rijst zij uit het water, en weldra komt dan het oogenblik,

waarop zij bij gebrek aan steun begint te waggelen of topzwaar wordt; zij krult zich om en helt over en valt dan natuurlijk naar haren steilen kant, dat is naar de landzijde, en rolt op het strand. De *barres des flots* of *watermuren* zijn zeldzamer verschijnselen; zij zijn te zoeken op zulke punten, waar de bodem plotseling zeer veel rijst; men vindt ze b. v. dikwijls aan de kusten van Senegal op de banken. Men weet verder, dat men overal aan zee tweemaal in 24 uren vloed en tweemaal eb heeft; aangezien dit eene afwisselende rijzing en daling is spreekt men van eene vloed-golf; tweemaal in een etmaal komt dus aan de kusten zulk eene vloed-golf, die bij springtij hare grootste hoogte bereikt. Wanneer de mond eener rivier daarvoor gunstig gelegen is, loopt deze golf regtstreeks de rivier op, terwijl zij hare belangrijke hoogte behoudt en komt zodoende plotseling in het enge en ondiepe bed van den stroom; nu vertoont zich een soortgelijk verschijnsel als ik zoo even beschreef, dat is: de golf rijst tot eene kolossale hoogte uit het water en stort dan over, waarbij zij vaak groote verwoestingen aanrigt, vooral op de dagen van het springtij. Aan den mond van den Amazonen-stroom vertoont zich zulk een verschijnsel onder den naam van *pororoca*; aan den mond der Seine vooral en ook aan den mond der Gironde treedt het op onder den naam van *mascarets* of *barres des flots*. Mogt men meer hiervan willen weten, dan kan ik ter lezing aanbevelen de verhandeling van BABINET in de *Revue des deux mondes* 1852. Tom. XVI p. 611.

Een voorbeeld van de terugwerking van golven op den bodem, hoewel op kleine schaal, biedt het volgende: elk bord van de raderen van eene stoomboot maakt golfjes wanneer het de wateroppervlakte treft; zoo worden dan, terwijl de stoomboot voortgaat, eene menigte stelsels van kringen achter elkander voortgebracht, en door de samenwerking van die allen ontstaan die twee regtlignige golven, die twee riggels als het ware, op de wateroppervlakte, welke men links en regts van den voorsteven ziet uitgaan en die de boot steeds vergezellen. Wanneer nu deze betrekkelijk te hooge golven den oever bereiken, schuren zij met haren voet langs den bodem; hierin ligt de oorzaak, waarom de stoombooten de oevers

vooral van enge waters zoo zeer uitwoelen en zelfs het bed der rivier kunnen beroeren. Al weder een bewijs dus, dat de trilling zich vrij wat dieper uitstrekt dan over de oppervlakte.

Met eene eenvoudige proef ving ik aan; ik wil eene tweede daaraan toevoegen, die niet minder leerrijk, even onkostbaar en ligt uitvoerbaar is. Men werpe twee steenen niet al te ver van elkander en te gelijk in het water, dan zullen door beiden kringen worden voortgebracht. Deze beide stelsels van kringen zullen weldra elkander kruisen, wanneer de punten, waarvan zij uitgaan, goed zijn gekozen. Laten *A* en *B* fig. 1 die beide punten van uitgang, of om wiskundig te spreken, de middelpunten der beide stelsels zijn.

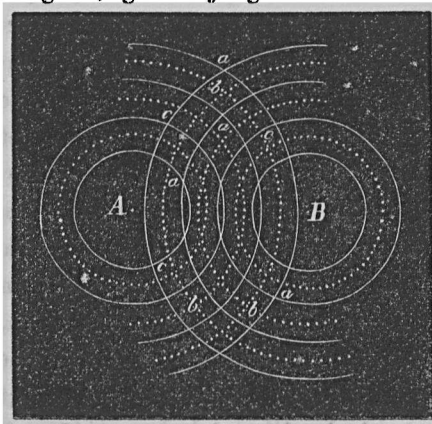


Fig. 1.

De kringen zijn voorgesteld door cirkels; de doorgetrockene zijn de ringbergjes, en de gestippelde, waarmede zij regelmatig afwisselen, de ringdalen. Men ziet, hoe in de figuur op alle punten die met *a* zijn geteekend een ringberg van het eene stelsel door een

ringberg van het andere wordt doorsneden; op de water-oppervlakte moet derhalve de eene berg als over den anderen heenloopen, en, daar een berg op een berg blijkbaar een nieuwen berg moet geven, die de dubbele hoogte heeft, zoo zullen zich op die punten hoogere uitstekende bergjes als kleine nopjes moeten vertoonen. Op alle punten *b* snijden elkander twee ringdalen; dit geeft natuurlijk telkens een klein komvormig dal, dat tweemaal zoo diep is. Op alle punten *c* echter snijdt een gestippelde cirkel een doorgetrokkenen; hier kruisen elkander een berg en een dal, en het dal wordt opgevuld door den berg; op de water-vlakte ontstaat dus hier een klein plekje, dat effen en glad blijft, even als of er geen kringen bestonden. Plaatsst men zich bij zonschijn in zulk eenen stand, dat men de flikkering op den waterspiegel goed kan waarnemen, dan zal men

stellig wel het voornaamste van het hier behandelde opmerken. Heeft men kwikzilver, dan kan men daarop kleine golfjes in een schofeltje maken en eene kleine kaarsvlam, die men van de oppervlakte ziet teruggekaatst, zal dan bijzonder goed de eigenaardigheden van het verschijnsel toonen.

Ook de baren der zee toonen somtijds op groote schaal even zulk eene onderlinge versterking; vooral in de Chineesche zee komt het wel eens voor, dat twee of meer stelsels van golven elkander kruisen; daarbij vormen zich dan hoogere waterbergen en diepe ketelvormige dalen, die voor de schepen maar al te gevaarlijk kunnen worden. Intusschen hebben wij door onze eenvoudige proef eene belangrijke waarheid ontdekt; wij hebben gezien hoe de eene golf de andere kan versterken niet alleen, maar ook hoe de eene de andere kan uitblusschen. Want het verdubbelen, onverschillig van bergen of dalen, is versterken, en de oppervlakte effen maken is de golving uitdooven. Beide werkingen zijn echter maar plaatselijk en voorbijgaande; want, zoodra de kringen het kruispunt zijn voorbij gegaan, zijn zij beide weder tot hare vroegere grootte teruggekeerd, maar de punten, waar die versterking of verzwakking plaats heeft, behouden steeds eene onveranderde ligging, ten aanzien van de punten *A* en *B* waarvan de kringen uitgaan. De waarheid, die wij nu hebben leeren kennen, is bekend onder den naam van *het beginsel van het zamentreffen of de interferentie van golven*, dat eerst in het begin dezer eeuw klaar werd ontwikkeld en voorgesteld door den grooten Engelschen geleerde *r. young*. Zoo natuurlijk, zegt men misschien, en toch voor zoo korten tijd eerst nader onderzocht en in de wetenschap opgenomen! Doch zoo gaat het wel meer; de schijnbaar eenvoudigste zaken vorderen dikwijls de grootste scherpzinnigheid, en dan is juist hare eenvoudigheid het kenmerk harer waarheid. Dit beginsel zal ons in het vervolg nog dikwijls moeten voorlichten. Maar nog eene enkele opmerking mag ik niet achterwege laten. Denk het u vooral niet in dien zin, lezer, dat hierbij eene eigenlijke vernietiging van beweging plaats heeft; want ook hier blijft het onveranderlijke beginsel der natuur gehandhaafd, dat geene kracht kan worden voortgebracht of vernietigd, dat hare uitwerking alleen kan worden ver-

vormd en verplaatst; immers naast de uitgedoofde golving vonden wij eene versterkte, en evenveel als daar verdween werd hier weder aan de werking toegevoegd.

Wij willen nu zien, welke verschijnselen van het geluid uit dit beginsel kunnen worden verklaard. Het bestaan van geluid berust op trillingen van de kleinste deeltjes der lichamen; ook de deeltjes der lucht, die als eene andere zee onze aarde bedekt, kunnen in zulk eene trilling geraten en nemen die zeer gemakkelijk van andere lichamen over. Men denke zich eens een oor midden in de massa van trillende waterdeeltjes, welke wij boven beschouwden, dan zal de trilling ook in dat oor zelf doordringen, en men heeft een ruw beeld van het wezen van de voortplanting en waarneming van geluid, wanneer men zich slechts in de plaats van water gewone lucht voorstelt. Een voornaam onderscheid tusschen de trillingen der waterdeeltjes, waarbij ons die kringen bepaalden, en tusschen de geluids-trillingen der lucht, is gelegen in de veel grootere snelheid dezer laatste. Een luchtdeeltje moet minstens 16 maal naar het schijnt in ééne seconde heen en weder gaan, wanneer wij geluid zullen vernemen.

Wordt eene veérkrachtige staaf of eene gespannen snaar aangeslagen, dan geraten hare kleinste stofdeeltjes, die in rust waren, onder de werking der veérkracht of der van buiten aangebragte spanning in eene snelle trilling. De schok, dien zij op het oogenblik van den slag ondergingen, dreef hen met geweld van hunne plaats; maar weldra worden zij door de omgelegen deelen teruggedreven, en zoo hebben zij al spoedig den eersten heen- en wedergang volbragt. Zij stuiven, na terugkeer en onderlinge botsing, op nieuw uit elkander, en juist hierdoor wordt hunne trilling gedurende eenige oogenblikken onderhouden. De geheele snaar of staaf is, ten gevolge van de voortplanting der trilling, die van punt tot punt wordt medegedeeld, tot aan hare uiterste einden weldra blijvend in trilling, en alle deeltjes maken gelijktijdig en te zamen eene slingerende beweging, welker orde en regelmaat de oorzaak wordt van

de waarneming van een eigenlijke toon. Hiermede geloof ik omtrent de wijze van opwekking der trilling te kunnen volstaan; er blijft mij nog te verklaren overig, hoe die trilling nu op de lucht wordt overgedragen en hoe de lucht zich gedurende die trilling heen en weder beweegt.

Ik kies daartoe een eenvoudig voorbeeld en wel eene gewone stemvork. Zoodra de vork trilt, buigen de beide pooten zich voortdurend nu naar binnen en dan naar buiten. Deze doorbuigingen zijn niet één voor één waar te nemen, want daartoe volgen zij veel te snel op elkander; maar toch zal men zeer gemakkelijk tot haar bestaan besluiten uit het onduidelijke voorkomen der pooten van de trillende vork, wanneer men ze tegen het licht ziet. Laten *A* en *B* de toppen zijn (fig. 2) der pooten van de regtvereind gehouden vork, dan gaan

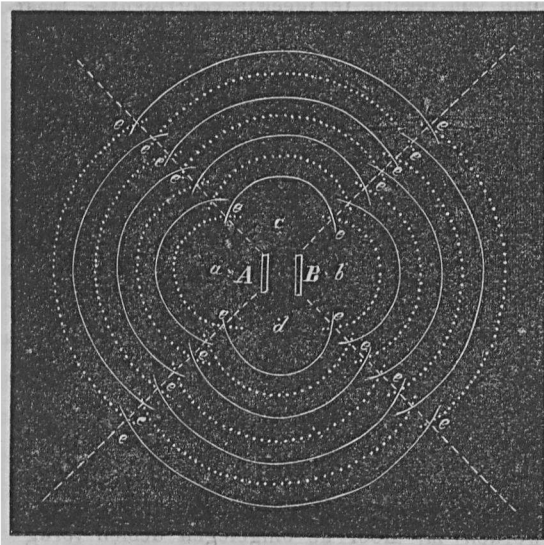


Fig. 2.

die punten zeer snel, eene menigte keeren achtereen, eerst naar elkander toe en dan weder van elkander af. Bij de eerste beweging, dat is naar elkander toe, worden zij terstond door de naastbijgelegen luchtdeeltjes uit *a* en *b* gevolgd, daar de lucht zoo gretig in elke ledig gelaten ruimte tracht in te stroomen,

en hierdoor ontstaat inderdaad eene luchtverdunning op de punten *a* en *b*. Maar tevens persen zij bij die onderlinge toenadering de lucht weg, die tusschen beiden in lag; die weggedreven lucht zoekt een uitweg naar *c* en *d*, en alzoo ontstaat in *c* en *d* eene oogenblikkelijke opstopping, dat is eene verdigting der lucht. Terstond daarop gaan nu de punten *A* en *B* naar buiten; hierbij komt de beurt der verdigting aan *a* en *b*; en de lucht uit *c* en *d*, die nu weér tus-

schen A en B kan instroomen, verdunt zich. Dit spel gaat geregeld voort, zoo lang er nog beweging in A en B is; bij elke trilling der pooten, wordt de lucht op het eene paar punten verdigt en op het andere verdund; en zoodra de binnenwaartsche beweging der pooten in eene buitenwaartsche overgaat, of omgekeerd, verwisselen ook die paren a en b en c en d hunne rollen. De luchtdeeltjes op eenig punt worden dan regelmatig nu naar binnen en dan weder naar buiten bewogen, — hierin is het beeld van den slinger reeds weder te bespeuren, — en die heen- en wedergang brengt even regelmatig en even eentoonig beurtelingsche verdigtingen en verdunningen voort. En juist zoo als de trillende deeltjes van het water terstond hunne beweging aan andere mededeelen, en even als daar de trilling zich dan van deeltje tot deeltje voortplantte, waardoor immers die kringen ontstonden, zoo wordt ook hier de trilling van deeltje tot deeltje in de lucht voortgeleid, en zoo gaan ook hier uit elk der punten a, b, c en d zich de verdigtingen en verdunningen in regelmatige kringen verder verbreiden.

Maar ééne bijzonderheid nog, die hier bij de stemvork optreedt, wensch ik wat meer op den voorgrond te brengen: deze namelijk, dat de lucht in a en b verdund is op hetzelfde oogenblik, waarop zij in c en d is verdigt, en omgekeerd. Willen wij ons eene voorstelling vormen van den toestand der omgevende lucht, zoodra de vork reeds eenige trillingen heeft gemaakt, dan kunnen wij daartoe weder cirkels bezigen even als in fig. 1. In fig. 2 zijn deze cirkels aangewezen; de doorgetrokkene zijn verdigtingen, en de gestippelde verdunningen. Men ziet, de eerste cirkelbogen rondom c en d zijn doorgetrokken, en die om a en b zijn gestippeld; deze tegenstelling moet immers volgens het gezegde voortdurend bestaan, en daarom zijn de overeenstemmende bogen rondom het eene paar punten steeds van tegengestelde soort als die rondom het andere paar. Zonder dat ik er lang over uitweid ziet men ook dat al de bogen, die om a en b zijn getrokken, de andere, die gelijktijdig van c en d uitgingen, geregeld ontmoeten in de punten, die met e zijn geteekend en die allen vereenigd kunnen worden gedacht in de vier lijnen ee , welke in de figuur zijn aangewezen en juist op de scherpe kanten der pooten uitloopen.

Al die snijpunten echter zijn doorsnijdingen van doorgetrokken en gestippelde bogen; zij vertegenwoordigen dus de zamenkomst van eene verdigting met eene verdunning, en op deze punten wordt het geluid plaatselijk uitgebluscht; want lucht, die tegelijk verdigt en verdund wordt, blijft zoo als zij was en trilt niet. Hier wordt alzoo geluid verzwakt of uitgebluscht door geluid. Moest ik de versterking opsporen, die tegen deze verzwakking opweegt, even als boven bij de kringen op de wateroppervlakte, zulks zoude mij veel te ver voeren, en daarenboven zoude ik toch het proefondervindelijk bewijs moeten schuldig blijven. Vergenoeg u daarom met het aangevoerde, lezer! en neem eene stemvork ter hand; ga haar, regt overeind gehouden en goed aangeslagen, digt voor het oor rond draaijen. Men moet den steel hierbij langzaam en oplettend tusschen de vingers laten rondgaan, dan zal het der aandacht niet ontgaan, dat de toon gedurende iedere omwenteling vier malen de vereischte sterkte heeft en vier malen geheel verdwenen schijnt. En onderzoekt men naauwkeuriger, dan vindt men de verzwakkingen aangewezen door die standen, waarbij een der scherpe kanten, dat is eene der rigtingen *e e*, voor het oor komt. *Geluid wordt dan uitgebluscht door geluid*, waardoor een experimenteel bewijs voor het eerste gedeelte mijner stelling aan de hand is gedaan.

Wil men zich een denkbeeld vormen van de snelheid, waarmede die afwisselende verdigtingen en verdunningen, die het geluid tot ons overbrengen, in de lucht worden voortgeleid, dan kan hiertoe het volgende strekken. Die snelheid is afhankelijk van den toestand der lucht, bijzonder van hare temperatuur; maar volgens naauwkeurig onderzoek door twee onzer landgenooten, de H.H. MOLL en VAN BEEK, in 1823 ondernomen, bedraagt zij, bij een gemiddelden barometerstand en de temperatuur van het vriespunt, 332 Ned. ellen in ééne seconde, en onder gewone omstandigheden mag men haar in ons klimaat op zoo ongeveer 340 ellen stellen. Om een begrip te geven van de snelheid, waarmede de geluidstrillingen worden volbragt, zij vermeld, dat b. v. de toon *a* (kleine *a*) 220 trillingen in ééne seconde vordert; dit is vrij wat meer dan het aantal slingeringen eener gewone huisklok, welke slinger in ééne seconde meestal maar

eens heen en weder gaat. Bij de voortplanting van dien toon *a* zal de lucht op eenig punt van een geluidstraal (zoo noemt men de denkbeeldige lijn, die het oor met het toongevend ligchaam verbindt) 220 malen in ééne seconde worden verdigt en verdund. Voor elk octaaf, dat de toon rijst, moet dit aantal worden verdubbeld, en voor elk octaaf, dat hij zakt, moet het worden gehalveerd. Kon men zulk een geluidstraal eens voor een oogenblik zichtbaar maken, dan zoude men die verdigtingen en verdunningen om den anderen van punt tot punt langs hem zien voortsnelen; steeds zoude eene verdigting met eene verdunning afwisselen, en uit de regelmaat, die de trilling beheerscht, vloeit van zelve nog voort, dat verdigtingen en verdunningen ook overal langs die lijn op gelijke afstanden zouden gelegen zijn. Die afstand tusschen eene verdigting en hare naastvolgende verdunning noemt men eene halve golflengte, en dus is de afstand tusschen twee opvolgende verdunningen eene geheele golflengte. Zoo bedraagt de golflengte voor dien toon *a* ruim $1\frac{1}{2}$ Ned. el (naauwkeuriger: 1,545 el); wanneer derhalve de toon *a* door de lucht voortgaat, dan zal die geluidstraal bezet zijn met verdigtingen en verdunningen, die onderling op afstanden van $7\frac{1}{2}$ palm van elkander afstaan. Wanneer men kon gaan meten van verdigting tot verdigting, met overspringing van de tusschen gelegen verdunning, zou men $1\frac{1}{2}$ el vinden, en even zoo bedraagt ook de afstand tusschen twee opvolgende verdunningen $1\frac{1}{2}$ el.

Deze nadere uiteenzetting geeft mij gelegenheid om nog een ander geval te ontwikkelen, waarbij geluid door geluid beurtelings wordt versterkt en verzwakt. Denk u een lang koord, waaraan kralen zijn geregen, allen op $7\frac{1}{2}$ palm uit elkander en om den anderen wit en zwart gekleurd. De zwarte kralen stellen de verdigtingen van de lucht voor, en de witte de verdunningen, en het geheel moet een begrip geven van een geluidstraal voor den genoemden toon *a*. Laat nu het koord van het toongevend ligchaam worden afgewonden en bij het oor worden opgewonden, zoodat er in ééne seconde 330 el wordt overgetrokken, dan geeft de voortbeweging der opvolgende zwarte en witte kralen een begrip van de voortplanting van het geluid. In ééne seconde zullen dan zoo ongeveer

440 kralen, dat is 220 zwarte en 220 witte bij het oor aankomen.— Wij nemen nu twee koorden, het eerste, dat wij reeds omschreven, en een tweede, dat juist even lang is, waaraan de zwarte en witte kralen ook weér om den anderen zijn geregen, maar dat in het geheel 6 kralen meer en dus 223 zwarte en 223 witte heeft. De kralen zullen dan op dit tweede koord een weinig digter op elkander moeten staan, en dus zal het de voorstelling vormen van een iets hoogerem toon. Het eerste koord heeft immers in het geheel 440 en het tweede 446 kralen. Wij spannen die koorden nevens elkander en gaan er langs; neen, beter nog: wij denken eene regte laan aan beide zijden beplant met boomen, die even als onze kralen om den anderen wit en zwart zijn geverwd; op de eene rij staan 6 boomen meer dan op de andere en op elke rij staan de boomen onderling op gelijke afstanden, terwijl op het begin der laan juist twee zwarte boomen tegenover elkander staan. De laan is 330 el lang; wanneer wij haar nu geheel afwandelden, zouden wij bemerken, dat behalve bij het begin alleen op nog zes plaatsen de boomen van den eenen kant juist tegenover die van den anderen kant staan, omdat de boomen van de rij, waarop er 446 staan, op die van de rij der 440 langzaam moeten verspringen om er 6 meer te krijgen. En hierbij valt nog op te merken, dat op het eerste dezer nieuwe punten van overeenstemming, witte boomen van de eene rij zullen staan tegenover zwarte van de andere, en zwarte van de eerste tegenover witte van de tweede; dat daarentegen op het tweede punt zwarte zullen staan tegenover zwarte, en witte tegenover witte; op het derde weder zwarte tegenover witte, en witte tegenover zwarte; op het vierde weder zwarte tegenover zwarte, en witte tegenover witte; op het vijfde zwarte tegenover witte, of witte tegenover zwarte; en eindelijk op het zesde punt juist aan het uiteinde weder zwarte tegenover zwarte, of, hetgeen hetzelfde is, witte tegenover witte even als op het begin. Wonden wij nu van beide koorden eens te gelijker tijd 330 el bij het oor op, dan zouden wij die zes punten even goed bemerken en dus driemaal juist te gelijk kralen van gelijke kleur en driemaal kralen van ongelijke kleur binnen halen, terwijl op alle andere tusschengelegene

punten de kralen van een der koorden meer of minder ver van die van het andere zouden afstaan. En nu de toepassing: wij keeren terug tot het geluid. Twee instrumenten, waarvan het eene den toon *a* met 220 trillingen en het andere een iets hoogerem toon met 223 trillingen geeft, dus onze twee koorden met 440 en 446 kralen afwisselend wit en zwart gekleurd; ergens een waarnemer, die beide toonen verneemt en dus regelmatig 330 el geluid-straal, om mij zoo uit te drukken, van ieder der instrumenten in ééne seconde in het oor opneemt; ziedaar de proef. De man zal ook het zamenvallen kunnen opmerken, dat wij bij de boomen of kralen zagen plaats grijpen; ook voor hem zullen zesmaal de toonen zamenvloeijen. Maar, op het eene punt zullen twee ongelijksoortige toestanden (eene verdunning met eene verdigting), en op het daaraan volgende punt zullen gelijksoortige toestanden (verdigting met verdigting of verdunning met verdunning) zamenvallen; deze afwisseling zal geregeld plaats hebben tot driemaal in de seconde, even als met onze kralen van ongelijke of van gelijke kleur. Wij weten nu, dat twee tegengestelde toestanden der lucht elkander verzwakken en dat twee gelijksoortige elkander versterken. Onze waarnemer zal alzoo driemaal in ééne seconde, eerst het geluid hooren verzwakken en het dan weder hooren toenemen. Om kort te gaan, hij zal deze toonen driemaal in ééne seconde hooren *stooten*. Men ziet, dat het aantal van deze stooten in ééne seconde juist gelijk is aan het verschil in aantal van trillingen der beide toonen. Deze proef levert ons dan een aardig en zeer gemakkelijk middel om dit verschil in aantal van trillingen in ééne seconde voor twee willekeurige zeer nabij elkander gelegene toonen te bepalen, eenvoudig door de stooten te tellen. Voor eenige jaren werd zulk een gebruik inderdaad van deze stooten gemaakt door den vernuftigen SCHEIBLER, een fabrikant in Crefeld.

In het tweede gedeelte van dit stuk willen wij de verschijnselen van het *Licht* beschouwen, om daardoor op dezelfde wijze als voor het *Geluid* tot de overtuiging te geraken, dat de titel van dit stuk ook voor het licht de volle waarheid behelst.