

OVER DEN DONDER EN DEN AFSTAND WAAROP HIJ HOORBAAR IS,

DOOR

Chr. A. C. NELL.

Zou er wel een meteorologisch verschijnsel zijn, waarvan men zoo weinig weet, waaraan zoo weinig aandacht geschonken wordt, als met den donder het geval is? De dreigende, rollende donderslagen van een opkomend onweêr mogen degenen verontrusten die bang voor onweêr zijn, over het algemeen wordt men er eerst dan opmerkzaam op, wanneer de donder dringend om de aandacht vraagt. De hevige, knallende slagen boven het hoofd van hem, die niet totaal onverschillig is voor de uitbarstingen van dit natuurverschijnsel, schrikken hem op uit den arbeid, die hem geen tijd gunde aandacht aan het opkomend onweêr te schenken, en doen hem angstig vragen of er geen gevaar is? Doch zoodra echter worden de slagen niet minder hard en bemerkt hij dat, daar het onweêr aftrekt, het gevaar geweken is, of gelijktijdig met de vrees verdwijnt zijn opmerkzaamheid. Die bui trekt toch af! Zoo heeft de mensch slechts dan aandacht voor de natuurverschijnselen wanneer zij voor een kort oogenblik met zijn belangen in botsing komen en maar weinigen gaan in hunne belangstelling zoo ver, dat zij nauwkeurige waarnemingen doen met het doel: meer te weten te komen van de verschijnselen in den dampkring.

Zelfs bij natuuronderzoekers schijnt de donder zelden of nooit het onderwerp van langdurige studie en geduldig waarnemen te hebben uitgemaakt en hieraan is het zeker toe te schrijven, dat men in de

meteorologische literatuur zoo weinig omtrent den donder vindt opgeteekend. Wij mogen deze natuuronderzoekers geen verwijt daarvan maken. De belangstelling voor den donder wordt bij hen reeds aanstonds verdrongen door die voor den bliksem, die veel gewichtiger is. Ook zal wel dit laatste verschijnsel, in de jaren toen de electriciteit zoozeer het voorwerp van de algemeene belangstelling werd, de aandacht van den donder hebben afgeleid, die toch een onschuldig, secundair verschijnsel was. Wij zijn er dan ook niet in geslaagd veel geschriften over den donder te vinden en moeten, waar wij een en ander willen mededeelen omtrent zijn ontstaan en zijne voortplanting door de lucht, ons bepalen tot slechts enkele aanhalingen.

Hoe ontstaat de donder?

Het antwoord op deze vraag is nog steeds hetzelfde als het altijd geweest is en waarschijnlijk ook het eenige juiste: de donder ontstaat doordat, tijdens de electriche ontlading, de lucht in de ruimte van een zeer lang en smal kanaal weggedrukt of sterk verdund wordt, om onmiddellijk daarop weêr in dat kanaal terug te vallen, waarbij de talrijke, tegen elkaar stootende luchtdeeltjes tezamen het geluid maken, dat wij donder noemen. Deze verklaring is hoogst eenvoudig, waarschijnlijk ook zeer juist, maar geeft ons geen antwoord op sommige vragen, die zich nog voordoen. De bliksemfotografieën, waarvan men er sedert 1883 zooveel gemaakt heeft, hebben geleerd, dat vele bliksemstralen een doorsnede hebben van verscheidene meters. Prof. KAYSER vond een breedte van 30 M. voor een door hem bestudeerden bliksemstraal; maar de juistheid dezer schatting wordt door L. VON SZALAY te Budapest betwijfeld, die voor de grootste doorsnede van een op 17 Augustus 1902 door hem gefotografeerden straal 18.70 M. vond. Hoewel men nu zulke bliksemstralen tot de meer zeldzaam voorkomende moet rekenen, is toch aangetoond geworden, dat men zich de meeste bliksemstralen niet moet denken als dunne draadjes, zoodat men vanzelf komt tot de vraag, welke geweldige luchtverplaatsingen er dan wel moet plaats grijpen bij het overspringen van den bliksem.

Wij zullen echter op deze vraag, die valt buiten het kader van dit opstel, niet ingaan, maar liever dadelijk deze andere beantwoorden, hoe het komt, dat de donder altijd gehoord wordt als een rollend en rommelend geluid, veeltijds wel vergezeld of voorafgegaan door een knal, maar nooit als een enkele knal zonder nagerommel.

Dit is gemakkelijk te verklaren.

De verschillende deelen van de bliksembaan zijn niet even verwijderd van den waarnemer, ja, het verschil in afstand tusschen

twee punten van die baan en den waarnemer kan zelfs verscheidene kilometers bedragen. Men denke maar eens aan een ontlading tusschen de aarde en een wolk op 5000 M. hoogte! Het geluid, ontstaan in het punt van de bliksembaan, dat het dichtst bij den waarnemer is, bereikt hem het eerst, dat van het verst verwijderde punt het laatst en dat van de tusschenliggende punten, naar gelang zij verder af liggen, later, zoodat alleen om die reden reeds een lang aanhoudend geluid kan ontstaan, dat natuurlijk versterkingen en verzwakkingen heeft in verband met verschillen in afstand tusschen den waarnemer en de bliksembaan. Er zijn echter nog een tweede en een derde oorzaak voor het rommelen van den donder. De eerste ontlading wordt gevolgd door eenige latere ontladingen, die wel zeer kort op elkaar volgen, doch den duur van den donderslag verlengen. De derde oorzaak is de echo, teweeggebracht door het terugkaatsen van de geluidsgolven tegen de wolken, waardoor een verward rommelend geluid moet ontstaan.

Wanneer men deze verklaring aanneemt is het ook gemakkelijk te begrijpen, waarom een in de onmiddellijke nabijheid inslaande bliksem het eerst gevolgd wordt door een knallenden donderslag, die versterft in een gerommel, dat echter aan de meeste waarnemers ontgaat, tengevolge van den schrik, dien de hevige knal teweegbrengt.

Wij zullen verder gaan en de vraag behandelen hoe het toch komt, dat de donder op zoo geringen afstand en zelden op grooten afstand gehoord wordt. Voorbeelden zijn aangehaald, dat kanonschoten werden gehoord op afstanden van meer dan 90 K.M.; maar van den afstand waarop de donder nog hoorbaar is, vindt men veel kleinere getallen opgegeven.

Vrij uitvoerige gegevens vindt men door ARAGO medegedeeld ¹, welke wij hier weêrgeven.

»De donder wordt vrij langen tijd na het verschijnen van den bliksem hoorbaar. Iedereen heeft het gezien. iedereen kan het overigens hebben gezien uit de tabellen, die ik van de waarnemingen van DE L'ISLE heb samengesteld. De oorzaak van dat verschijnsel is eenvoudig; straks zullen wij het in bijzonderheden bespreken; de gevolgtrekkingen zullen te meer waarde en te meer nut hebben, naar gelang wij met grootere of kleinere getallen gewerkt hebben; laten wij dus nagaan wat *in maximum* en *in minimum* de tijdsruimten

¹) *Oeuvres de FR. ARAGO, Notices scientifiques*, Tome premier, pag. 82, uitgave van Gide-Weigel (1854).

zijn, die men heeft waargenomen tusschen een bliksemstraal en den daarbij behoorenden donderslag.

De beroemde wiskundige LAMBERT geloofde niet, wat het *maximum* betreft, dat de tijdsruimten tusschen het licht en den slag 40 seconden te boven gingen; maar ten tijde dat hij deze meening verkondigde, kon hij in de te Petersburg gepubliceerde Mémoires van DE L'ISLE gegevens hebben gevonden, aanzienlijk boven de grens, die hij aannam. De waarnemingen te Parijs op 2 Mei 1712 gaven 42, 48 en 48 seconden.

Die van 6 Juni d.a.v.

47, 48, 48 en 49 seconden.

Uit eene waarneming van 30 April leidde men af de enorme tijdsruimte van 72 seconden.

In de waarnemingen van CHAPPE, te Tobolsk verricht in 1761, haal ik van 2 Juli de getallen aan:

42, 45 en 47 seconden.

Den 10^{den} van dezelfde maand vind ik

46 seconden.«

Men ziet hieruit, dat ARAGO deze vraag grondig bestudeerd heeft en over uitvoerige gegevens heeft kunnen beschikken, waaruit echter geen grootere afstand dan $49 \times 333 \text{ M.} = 16.3 \text{ K.M.}$ kan worden afgeleid en dat hij 72 seconden tijdsruimte tusschen licht en slag enorm noemt. Uit deze laatste waarneming zou een afstand van 24 K.M. volgen.

J. HANN haalt waarnemingen aan van STANHOPE EYRE, die wij ter aangehaalde plaatse niet konden vinden.¹ Deze waarnemer zou eens 90 seconden tusschen licht en slag hebben geobserveerd; doch hier was sprake van geluid veroorzaakt door een uiteenspringend meteor. Het komt ons voor dat HANN hier abusief geciteerd heeft, want ter aangehaalde plaatse wordt uitdrukkelijk betoogd, dat geen onweër voorgekomen was.

A. GÖCKEL² zegt: »meer dan 75 seconden verstrijken nooit tusschen bliksem en donder.«

H. MOHN behandelt het vraagstuk, hoe ver de donder hoorbaar kan zijn, theoretisch en het is wel de moeite waard hier weër te geven hetgeen hij daarover schrijft.³

De afstand, waarop de donder hoorbaar kan zijn, hangt af van de wijze waarop temperatuur en vochtigheid van beneden naar boven af- of toenemen. Neemt men voor ons geval aan dat de donder de

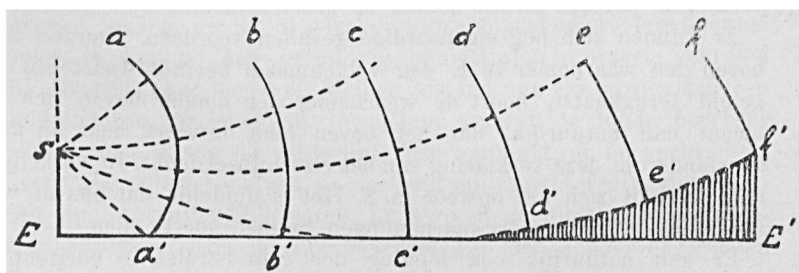
¹⁾ *Das Wetter*, 1897, S 267.

²⁾ A. GÖCKEL. *Das Gewitter*, S. 80.

³⁾ *Grundzüge der Meteorologie*, 5^e Aufl., S. 371.

geluidsbron is, die haar zetel in S (zie figuur) heeft, terwijl EE' de aardoppervlakte voorstelt.

Wanneer de geluidsbron S aan alle zijden omgeven was door lucht van dezelfde temperatuur en vochtigheid, zouden de geluidsgolven zich ook naar alle zijden met gelijke snelheid voortplanten. In werkelijkheid wordt aan die voorwaarden van gelijkmatigheid van temperatuur en vochtigheid van de lucht niet voldaan, maar vindt men in het algemeen een vermindering van temperatuur en vochtigheid naarmate men hooger in den dampkring komt. Daar nu de voortplantingssnelheid van het geluid in de lucht grooter is naarmate de temperatuur en de vochtigheid grooter zijn, zal het geluid zich niet met dezelfde snelheid in alle richtingen uitbreiden. Na verloop van zekeren tijd, stel b.v. 3 seconden, hebben de geluidsgolven zich van S naar aa' voortgeplant maar, omdat de temperatuur¹ bij den grond hooger ondersteld is dan op eenige hoogte boven den grond, ligt a dichter bij S dan a' . Na 6 seconden



heeft het geluid de lijn bb' , bereikt, na 9 seconden cc' , na 12 seconden dd' , enz., maar omdat het geluid zich in de onderste luchtlagen het snelst voortplant en bij toenemende hoogte langzamer, zullen de lijnen aa' , bb' , ... ee' , ff' , enz. hoe langer hoe meer een schuinen stand ten opzichte van het aardoppervlak krijgen. De onderste deelen van die lijnen zijn dus eerst ten opzichte van de voortplantingsrichting vooroverhellend, nemen langzamerhand een loodrechten stand aan, om dan over te gaan in een achteroverhellenden stand. Daar nu de z.g. geluidsstraal loodrecht staat op het vlak waarin de gelijktijdige geluidsgolven zich bewegen, zal iedere geluidsstraal een kromme zijn, die haar convexe zijde naar boven heeft gekeerd zooals in de figuur door de lijnen Sa , Sc , Sf , enz. wordt voorgesteld. Het geluid plant

¹) En de vochtigheid van de lucht, die we echter eenvoudigheidshalve niet verder noemen zullen.

zich niet meer voort in rechte lijnige richting maar langs een kromlijnigen weg, die zijn convexe zijde keert naar de lagere temperatuur. Dit geldt natuurlijk voor alle gevallen.

In de meeste gevallen neemt de temperatuur van beneden naar boven af en dan kan, blijkens de figuur, voorbij een zeker punt c' , een z.g. geluidschaduw ontstaan. Terwijl de donder zich hoogerop in den dampkring nog ver voorbij het punt c voortplant, is hij vlak achter het punt c' op de aardoppervlakte niet meer hoorbaar. Een waarnemer, die zich ook maar op kleinen afstand achter c' , b.v. in E' , bevindt, ziet wel den bliksem in S , maar hoort geen donder, althans niet uit de richting SE' . In het algemeen steemt dit overeen met hetgeen men in de meeste gevallen waarneemt. Men ziet wel den bliksem op niet grooten afstand, maar men hoort den donder niet, hoewel de afstand van het onweër klein genoeg is om den donder te kunnen hooren. Daar nu de afname van temperatuur en vochtigheid meestal van beneden naar boven plaatst heeft, is daaruit te verklaren, dat zoo zelden donder op grooten afstand gehoord wordt.

Er kunnen zich nog eigenaardige gevallen voordoen. Wanneer zich boven den waarnemer in E' een wolkenmassa bevindt, waartegen het geluid terugkaatst, hoort de waarnemer den donder boven zich en meent dan natuurlijk, dat het boven hem onweert, daar hij niet aanstonds om deze verklaring van het verschijnsel denkt. In werkelijkheid bevindt zich het onweër in S . Het is duidelijk dat hieruit wel vergissingen bij onweërs waarnemingen kunnen voortkomen.

Er kan natuurlijk ook buiging der geluidstralen in horizontale richting plaats hebben, ja, zelfs is het waarschijnlijk dat dit altijd het geval zal zijn, daar toch in horizontale richting altijd temperatuurs- en vochtigheidsverschillen voorkomen. Hierdoor zou men ook den indruk kunnen krijgen, dat de donder uit een andere richting kwam, dan waarin de geluidsbron, de onweërsbui, zich bevindt; doch in deze gevallen zal de afwijking minder groot zijn, daar de verschillen in temperatuur en vochtigheid in horizontale richting kleiner zijn dan in verticale richting.

Voor liefhebbers van waarnemingen zou op dit gebied wel wat te doen zijn door het verzamelen van nauwkeurige gegevens omtrent richting waarin, en afstand waarop men den donder hoort.

In vele gevallen is de temperatuur bij den grond lager dan op eenige hoogte in den dampkring; zij neemt van den grond af naar boven toe. Men noemt dat een temperaturomkeering. In die gevallen is de geluidsstraal naar beneden gekromd en de donder is

zoo ver hoorbaar als het oor van den waarnemer het geluid nog kan onderscheiden. Een geluidschaduw is er dan niet.

Maar ook de snelheid van den wind heeft invloed op den afstand waarop de donder hoorbaar is.

De voortplantingssnelheid van het geluid neemt toe als de lucht zich met grootere snelheid beweegt, doch natuurlijk alleen in de richting waarin zich de lucht beweegt. Het geluid zal dus een zelfden afstand in korter tijd afleggen in een luchtlaag, die zich met grooter snelheid voortbeweegt, dan in een met kleinere snelheid zich bewegenden. Wanneer nu de windsnelheid op grootere hoogte grooter is dan bij den grond, zullen de geluidsstralen naar de aardoppervlakte gekromd zijn en zal onder deze omstandigheden het geluid ook op grootere afstanden hoorbaar kunnen zijn. Zoo zal men dan een onweêr benedenwinds veel verder kunnen hooren. Daarentegen zal de donder bovenwinds van het onweêr niet zoo ver gehoord worden; doch daarbij moeten wij ook in aanmerking nemen dat het geluid zich tegen den wind in niet op groote afstanden waarneembaar kan maken, omdat in geval de windsnelheid op grootere hoogten grooter is dan bij den grond, de geluidstralen opwaarts gekromd zijn, waarbij dan reeds op kleinen afstand van de onweêrsbui een geluidschaduw kan ontstaan. De afstand waarop de donder hoorbaar is hangt dus af van de verdeeling van temperatuur en vochtigheid in verticale richting en van de snelheid van voortbeweging der luchtlagen op verschillende hoogten. Er kunnen nu gunstige omstandigheden optreden voor de hoorbaarheid van den donder op grooten afstand, welke dan zijn temperatuur- en vochtigheidstoename van beneden naar boven en grootere windsnelheid in hogere luchtlagen dan bij de aardoppervlakte. Daar nu juist temperatuurstoename naar boven toe het ontstaan van onweders tegenwerkt, zal het ook maar zelden voorkomen, dat de drie factoren, die den donder op verren afstand hoorbaar maken, gelijktijdig met onweders optreden en daaraan moet worden toegeschreven dat zoo uiterst zelden het zoo krachtige dondergerommel op afstanden grooter dan 20 K.M. wordt gehoord. Wordt het op veel grooteren afstand gehoord, dan duidt dit op bijzondere omstandigheden en kan dit verschijnsel zeer leerzaam zijn met betrekking tot bijzondere atmosferische toestanden. Hiervan willen wij tot slot een voorbeeld aanhalen, door schrijver dezes waargenomen en vroeger in het kort beschreven¹⁾, ongeveer als volgt:

»Den 23^{sten} Juli 1899 liep ik des avonds te ruim half tien met

¹⁾ Zie: *Nederl. Tijdschr. v. Meteorologie*, 1e Jaarg.

twee andere personen op den Arnhemschen straatweg bij KM paal 9 nabij Ede. Nadat het in den voormiddag hard gewaaid had, was in den avond de wind geheel gaan liggen en was het buiten bladstil. Het had den geheelen namiddag in de verte geonweêrd, maar de buien waren ten zuiden van ons gebleven en waren in den avond in zuidoostelijke richting weggetrokken. Aan den zuidelijken hemel weêrlichtte het nog herhaalde malen zwak, maar nu en dan, d. i. met tusschenpoozen van verscheidene minuten, zagen wij in het zuid-zuidoosten sterker flikkeringen. Ver in zuidelijke richting strekte zich langs den horizon een bank van zware wolken uit, die nu en dan door den ver verwijderden bliksem verlicht werden. Maar tusschen ons en die wolkenbank was de hemel helder. Het weêrlichten was zoo zwak, dat wij niet verwachtten donder te zullen hooren en aanvankelijk ook geen moeite deden dezen te hooren. Maar het sterkere weêrlicht, dat zich slechts nu en dan vertoonde, was blijkbaar afkomstig van een afzonderlijke onweêrsbui, die dicht bij was dan de buien, waaruit het zwak weêrlichtte.

Plotseling, om 9 uur 37 min. werd mijn oor getroffen door een uiterst zwak dondergerommel uit de richting van het sterkste weêrlicht. Bij een volgende ontlading, opmerkzaam geworden door het gerommel, ging ik met mijn horloge het tijdsverloop (in seconden) na tusschen het oogenblik der ontlading en het eerste gerommel. Er verliepen precies 160 seconden. Voor de zekerheid herhaalde ik deze waarnemingen eenige malen, waarbij de mij vergezellende personen ook duidelijk het rommelen konden hooren. De uitkomsten waren dezelfde. Hierbij moet nog worden opgemerkt, dat het gerommel na een ontlading hoorbaar was, vóór dat een tweede ontlading volgde, zoodat het niet met een verkeerde ontlading in verband kon worden gebracht. Wanneer wij nu de voorplantingssnelheid van het geluid op 333 M. per seconde stellen, zou in het beschreven geval de geluidsbron ruim 53 K.M. verwijderd zijn geweest. Volgens deze waarneming moet het onweêr dus gewoed hebben boven het noordoostelijk deel van Limburg of het noordoostelijk deel van Noord-Brabant, ergens in de omstreken van Vierlingsbeek.»

Het boven beschreven geval leert wel, dat donder hoorbaar kan zijn op afstanden van een vijftigtal kilometers. Toch is een dergelijke bewering nooit geuit en zullen velen geneigd zijn toch nog de mogelijkheid den donder op zulk een afstand te hooren, in twijfel te trekken, daar zij immers in strijd zou zijn met hetgeen groote geleerden en uitstekende waarnemers van vroeger en tegenwoordig meenen te kunnen aannemen. Het zal dus wel verstandig zijn aan te nemen

dat het beschreven geval tot de uitzonderingen behoort, hetgeen de genoemde mogelijkheid echter niet uitsluit. Wij zullen moeten aannemen, dat dit geval mogelijk was tengevolge van zeer bijzondere, voor de voortplanting van het geluid op verren afstand gunstige atmosferische omstandigheden. Wanneer de zetel van het onweër op ongewoon groote hoogte lag en daarbij luchtbeweging en temperatuursverdeeling in verticale richting aan den geluidsstraal een naar beneden gerichte kromming gaven, kunnen wij een zoo verre voortplanting van het geluid nog wel aannemen. Het was bladstil geworden, doch mogelijk heerschte er op groote hoogten sterke luchtbeweging uit de richting van het onweër, waardoor reeds een naar beneden gekromde geluidsstraal mogelijk en waarschijnlijk was. Temperatuurtoename naar boven toe was mede niet onmogelijk. Zoodra echter naar beneden gerichte geluidsstralen voorkomen, is de afstand, waarop de donder gehoord kan worden, nog maar alleen begrensd door de gehoorscherptheit van den waarnemer, waarvan dus in dit geval veel afhing. Het buitengewone van het geval kan echter ook daarin gelegen zijn, dat, in tegenstelling met verreweg de meeste gevallen, de geluidsstraal naar beneden gekromd was. Echter valt daaromtrent niets met zekerheid te zeggen. Onderzoekingen op dit gebied zijn zeldzaam, waarnemingen omtrent de hoorverheid van den donder uiterst schaarsch, zoodat het materiaal ontbreekt voor onderzoek naar den mogelijken afstand, waarop de donder gehoord kan worden.

Indien wij met dit kleine opstel mogen bereiken dat meerdere belangstelling voor een onderzoek in die richting werd opgewekt, dan achten wij onze moeite ruim beloond en ons doel bereikt.

's-Gravenhage, September 1907.