

# FLUITENDE ECHO'S,

DOOR

Dr. F. G. GRONEMAN.

---

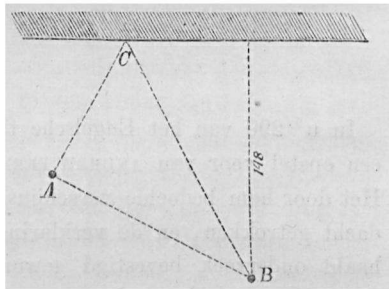
In n<sup>o</sup> 290 van het Engelsche tijdschrift *Nature* (20 Mei 1875), komt een opstel voor van ANDREW FRENCH, getiteld: "*Acoustic Phenomenon*". Het door hem bedoelde verschijnsel had reeds lang geleden mijne aandacht getrokken, en de verklaring, die ik er van gaf, was door herhaald onderzoek bevestigd geworden, toen ik met zijn stuk bekend werd. Wat de Engelsche natuuronderzoeker daarin mededeelt, komt, op één bijzonderheid na, met mijne ervaringen overeen. Ik meen echter dat het volgende ook nu nog van eenig belang is, te meer daar ik het verschijnsel vastknoop aan andere, die ANDREW FRENCH niet vermeldt, en wier bestaan wellicht tot heden nergens werd meêgedeeld.

Wanneer een geluidstrilling zich van een geluidsbron naar alle zijden in den dampkring voortplant en op haren weg een vast lichaam ontmoet, dan wordt zij teruggeskaatst. De richting, waarin het geluid het lichaam naderde, en die, waarin het zich daarvan na de terugkaatsing verwijderd, maken, zooals bekend is, gelijke hoeken met de oppervlakte van het lichaam in het punt, waar de terugkaatsing plaats heeft.

Deze eigenschap verklaart ons de echo. Plaatst iemand zich op eenigen afstand van een muur, dan zal hij een echo kunnen vernemen van eenig geluid, dat door hem of een ander persoon wordt voortgebracht. Maakt hij zelf dat geluid, dan zal hij de echo hooren na zooveel tijd als het geluid behoeft om de loodlijn van hem naar den muur heen en weer te doorloopen. Nemen wij bijv. aan (zie fig. 1), dat deze loodlijn 148 meter bedraagt. Het geluid plant zich met een snelheid van ongeveer 333 meters in de seconde voort, welk getal met de temperatuur en andere omstandigheden in verband staat. De te doorloopen weg is dus tweemaal 148, d. i. 296 meter. De echo wordt dus vernomen  $\frac{296}{333}$ , d. i.  $\frac{8}{9}$  seconde, na het geluid.

Geeft een ander persoon het geluid, en staat deze op een andere plaats als de eerste, dan doorloopt het geluid een gebroken lijn, die aan de wet der terugkaatsing voldoen moet, gelijk uit fig. 1 nader blijkt, waar A de persoon is, die het geluid te weeg brengt, C het punt waarin de terugkaatsing plaats heeft, B de persoon, die de echo hoort. Deze verneemt het geluid ook recht-

Fig. 1.



streeks langs den weg AB. Daar de gebroken lijn A C B echter grooter is dan de rechte A B, zal de echo na het geluid zelf komen. Wij zullen dat tijdsverschil kunnen vinden, als wij de beide wegen A C B en A B door de snelheid 333 meter deelen, en het verschil dezer uitkomsten zoeken. Laat b.v. A C B = 335 en A B = 150 meter zijn, dan worden deze wegen in  $\frac{335}{333}$  en  $\frac{150}{333}$  seconden doorloopen, van welke breuken het verschil  $\frac{185}{333} = \frac{5}{9}$  is. De echo wordt dus  $\frac{5}{9}$  seconde na het geluid door B waargenomen.

Hoe groot moet het terugkaatsende oppervlak echter zijn, zal er een verneembare echo ontstaan? Bij eenig nadenken ziet men in, dat een zeer geringe uitgebreidheid voldoende moet zijn. Wij vangen de trillingen op met onze oorschelp. Al wat daar langs gaat, doet niets tot onze waarneming af. Het deel van de geluidsgolf, dat wij behoeven, zal dus nimmer grooter zijn dan ons uitwendig oor. Maar met den afstand van ons oor tot de geluidsbron, gemeten langs den weg, dien het geluid volgt, en met de sterkte van de trillingen, waaruit het geluid bestaat, hangt de sterkte van onze geluidswaarneming nauw

samen. Is deze afstand klein en het voortgebrachte geluid krachtig, dan zal een veel kleiner deel van een geluidsgolf, in ons oor dringende, nog een zeer merkbare gewaarwording kunnen opwekken.

Om nu zulk een klein deel van een geluidsgolf terug te werpen en tot het oor te brengen, is natuurlijk geen geheele muur noodig, maar slechts een zeer klein plat vlak. De geluidstralen, die van de bron daarop vallen, zullen onderling bijna niet in richting verschillen, en kunnen evenwijdig genoemd worden. Zoo zal een enkele steen, een boomstam, een tak zelfs, voldoende zijn, om een echo op te wekken, en de eigenaardige galm of klank in een hoogstammig bosch wordt slechts door de ineensmelting van duizende echo's teweeggebracht, die tegen de stammen en takken der boomen ontstaan. Evenzoo is een zeer klein spiegeltje genoeg, om ons een beeld van de zon te geven.

Het galmen of rezoneeren in kerken, gangen, kelders en kamers met onbehangen wanden, hetgeen men ook hier en daar in nauwe stegen kan opmerken (het volk meent dan, dat daar onderaardsche holten of verborgen gangen moeten zijn), is een verschijnsel, dat in nauw verband tot het laatstgenoemde staat. Wij zullen het echter niet verder bespreken.

In den muziektempel van den Doelentuin te Delft, en wellicht in vele andere van dien aard, kan men een veelvoudige echo hooren, die onmogelijk zou zijn, indien niet de terugkaatsing op zeer kleine vlakken voldoende was om een echo te vormen. Wanneer men zich in de nabijheid van de plaats van den orkestdirecteur stelt en in de handen klapt, wordt het geluid terstond ettelijke malen zeer snel herhaald. De verschillende echo's zijn zeer duidelijk van elkaar te onderscheiden. Of zij door enkele of herhaalde terugkaatsing ontstaan, doet hier niet af, maar zeker is het, dat tot elke echo slechts zeer kleine gedeelten, als het ware slechts punten van het gebogen muurvlak, medewerken.

In 1858 was men tegenover Zutphen op den linker IJsseloever bezig met het inheien der fundeering voor een der pijlers van de aldaar bestaande spoorwegbrug. Toen ik eens bij dat werk tegenwoordig was, werd ik getroffen door een ratelend geluid, dat na elken slag van de zeer luidruchtige stoomhei vernomen werd. Hoe zonderling mij het verschijnsel ook eerst toescheen, de verklaring werd mij spoedig gemakkelijk. Ik bevond mij op den rand van de breede, zich langs de

rivier uitstrekken de grasvelden, zoogenaamde uiterwaarden, die bij hoogwater onderstaan en aan de landzijde door den rivierdijk begrensd worden. Niet ver van mij, ongeveer 150 meters stroomopwaarts, liep een andere dijk, in het verlengde van de IJselbrug, dwars over de uiterwaard heen. Deze dijk was afgebroken door een doorlaatbrug, die zeker wel 150 meters lang was. Andere voorwerpen, boomen of huizen, waren binnen den naasten omtrek niet te zien. Ik begreep, dat deze brug het ratelend geluid veroorzaken moest. Elk der dikke palen, waarop zij rustte, en er waren er zeker een paar honderd, moest de krachtige luchtrillingen terugwerpen, door de stoomhei opgewekt, en de bron worden van een echo. De afstanden van den heitoestel naar die verschillende palen, en van deze naar mijn oor, waren echter zeer onderscheiden in lengte. De echo's kwamen dus niet tegelijk, maar achter elkaar in een zeer kort tijdsbestek van nog geen seconde. De juistheid dezer verklaring laat geen twijfel over.<sup>1</sup>

Dat echo gevende lichamen nog veel geringer in breedte kunnen zijn dan de palen eener brug, bleek mij duidelijk uit de volgende waarneming. Op een hooge kale heide achter het schoone Geldersche Rozenaal bevindt zich ergens een zeer lange rij schrale dunne berkenboompjes, onderling zoowat 4 meters uiteen staande. In den zomer van 1874 was ik eens in de nabijheid van die plek, toen er een voerman naderde en met zijn zweep herhaalde malen klapte. Ook hier vernam ik telkens de mij toen reeds van ouds bekende ratelende echo's. Later liet ik andere personen op die plaats het verschijnsel hooren. Een klap in de handen was sterk genoeg om het op te wekken. Bij een andere gelegenheid bespeurde ik het zelfs bij een ijzeren tuinhak, waarvan de ronde spijlen geen 15 millimeters dikte bezaten.

Het verschijnsel, dat ANDREW FRENCH, voor zoover ik weet, het eerst bekend maakte, werd door mij en een paar mijner vrienden ongeveer in 1865 opgemerkt. Wij hadden meermalen, als wij langs de zuidzijde der Martinikerkerk te Groningen gingen, na elken eenigszins luiden voetstap op de straatsteenen, vooral op den hardsteenen rand van de trottoirs, een fluitend geluid gehoord, soms zoo sterk, dat het vanzelf de aandacht wekte. Langs die kerk loopt een uit rechte houten latjes be-

---

<sup>1</sup> Na het gereed komen der vaste ijzeren brug zijn dijk, doorlaat- en IJselbrug weggenomen.

staande afrastering. Ik zocht de verklaring van het geluid in een werking van deze latjes, en daarbij kwam mij het boven meêgedeelde verschijnsel bij de stoomhei in de gedachten. In den grond der zaak konden ratelende echo's en dit fluitende geluid niet onderscheiden zijn. De latjes van het hek zijn echter zoo dicht bij elkaar geplaatst, dat de afzonderlijke echo's ineen smelten tot één geluid, een toon, die om zekere onbekende redenen, iets fluitends heeft. Ook tegenwoordig kan men daar nog hetzelfde verschijnsel opmerken, maar het is niet meer zoo «in 't oor vallend» als vroeger. Waarom weet ik niet. Denklijk heeft eenig daar thans aanwezig plantsoen schuld aan deze verandering.

Om de juistheid mijner verklaring aan de proef te toetsen, onderzocht ik of andere hekken hetzelfde verschijnsel lieten hooren. Langs de staatsspoorwegen bij Groningen worden op vele plaatsen zulke hekken gevonden. Helaas zijn zij weinig onderscheiden in afmetingen. Op zeer veel punten in de nabijheid daarvan (weinig meters van het hek af) vond ik echter wat ik zocht. Het stampen met den voet op de straatsteenen, het klappen in de handen; of het slaan met twee steenen op elkaar wekte terstond den bekenden naklank op. Reeds dit feit bewijst genoeg, dat de verklaring de ware is. Iedereen kan bij dergelijke afrasteringen gemakkelijk de proef zelf nemen. Wie het geluid eens heeft opgemerkt, zal het honderde malen hooren. De voorwaarden tot een gunstig resultaat zijn, dat het hek uit loodrechte, overal even dikke en op gelijke afstanden geplaatste latten of spijlen besta, en dat zoowel voor als achter het hek het terrein vrij zij van andere echo wekkende voorwerpen. De gedaante der spijlen schijnt onverschillig. Een hek, dat zich over groote lengte in een rechte lijn uitstrekt, werkt het best. Bij de proef, hierachter onder n<sup>o</sup> 5 opgenoemd, was eenmaal het knarsen van steentjes onder mijn voet voldoende. Daar zijn de waarnemingen het duidelijkst geweest, en de voorwaarden voor het welgelukken bijna geheel vervuld.

De verklaring is, zoo als ik zeide, deze, dat elk der latjes op zijn beurt een echo geeft. De echo's volgen elkaar, wegens den geringen onderlingen afstand der latjes, zoo snel op, dat zij volstrekt niet meer afzonderlijk gehoord worden. Er is zelfs niets ratelends meer in het geluid, dat men hoort. Dit heeft integendeel het karakter van een fluitenden toon aangenomen, die eerst zeer hoog is, snel daalt tot een zekere laagte, en spoedig wegsterft. Eenigermate laat zich de echo

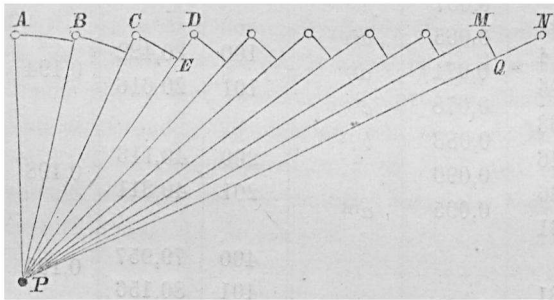
voorstellen door het woord "iuw", de *w* min of meer scherp, en 't geheel fluisterend uit te spreken. Maar het ware karakter kan men hieruit evenmin juist opmaken, als dat van het geluid eener musch uit de klanknaboetsing "tjielp".

Het gedeelte van de fluitende echo, dat ik voorstel door de *z*, verloopt te snel, om een blijvenden en, wat toonhoogte aangaat, meetbaren indruk te geven. Dit laatste is soms wel het geval bij het slot, door *uw* voorgesteld. Vandaar dat de controle van het verschijnsel mogelijk is. De verklaring geeft, zooals wij zien zullen, aanleiding tot het berekenen van den toon, dien men hooren moet, en de proef kan uitmaken, of de berekening uitkomt. Dit nu is volkomen het geval, en waar dit schijnbaar niet het geval is, kan men meestal de reden der afwijking vinden. De proef is wel eenigszins moeilijk, omdat door de snelle verandering van het geluid, dat bovendien in 't geheel zeer kortstondig van duur is, de toonhoogte aan het slot zelden duidelijk uitkomt. Men verkrijgt echter spoedig eenige geoefendheid. In Juni 1874 beproefde ik een afrastering bij het station te Groningen, en wel die, welke bij de havenkom gevonden wordt (n<sup>o</sup> 8 der tabel). Ik stond er 5 meters van af. Mijn helper bewoog zich langzaam in een rechte lijn van mij af, evenwijdig aan het hek. Bij elken pas klapte hij eenmaal in de handen. Ik hoorde telkens de fluitende echo, en bepaalde de hoogte  $d^{III}$ . Op eens hoorde ik echter bijna  $e^{III}$ . Ook mijn helper constateerde, dat hij den toon hoorde rijzen. Bij de opmeting van het hek bleek mij, dat de afstand der latjes aan die zijde kleiner was, dan in het deel, waarvoor hij eerst geplaatst was.

Eene nadere beschouwing van de toedracht der zaak zal ons in staat stellen, om de genomen proeven en haar uitkomsten te beoordeelen. Laten de punten A, B, C, D, enz. van fig. 2 de spijlen van het hek verbeelden, van boven gezien. P is de standplaats van den waarnemer. Een geluid, in P verwekt, plant zich langs de lijnen PA, PB, PC, enz. voort, kaatst tegen de punten A, B, C, D, etc. terug, en bereikt langs dezelfde lijnen in omgekeerde richting, dus volgens AP, BP, CP, enz., het oor. Streng genomen ontvangt het oor dus uit ieder dier richtingen een echo. Die echo is echter onhoorbaar zwak. De echo van B zal het oor later dan die van A bereiken, omdat de

schuine lijn P B langer is dan de loodlijn P A. Maar hoe schuiner de lijnen loopen, hoe langer zij worden. De lijn P C is dus weer langer dan P B, P D is langer dan P C, enz. Wij kunnen het verschil van twee op elkander volgende lijnen vinden door met een passer, welks eene punt in P staat, de eene op de andere over te brengen. Zoo zijn de dwarse lijntjes in de figuur ontstaan en is bv. het verschil der wegen D P en C P gelijk D E, dat van de wegen N P en M P gelijk N Q. Een blik op de figuur overtuigt er ons van, dat het verschil tusschen twee op elkaar volgende wegen grooter is, naarmate die wegen zelve langer zijn. Zet men de rij spijlen in de teekening nog zeer ver naar de rechterhand voort, bv. over een meter lengte, dan zal men erkennen, dat het verschil der wegen naar twee op elkaar volgende spijlen

Fig. 2.



len in dat ver afgelegene deel van het hek op zeer weinig na even groot moet zijn als de afstand tusschen twee op elkaar volgende spijlen zelf.

Grooter dan die afstand kan het bedoelde verschil niet worden. Om de toeneming van dit verschil te doen zien, hebben wij het volgende tabelletje berekend. De beteekenis der kolommen is in het hoofd aangeduid, zoodat er geen nadere toelichting noodig is. De afstand van den waarnemer tot het hek A P is daarbij 5 meters ondersteld, terwijl de afstand der spijlen onderling = 0,2 meter genomen is. De berekende verschillen zijn in millimeters uitgedrukt:

Nummer der spijl.	Haar afstand tot den per- soon.	Vershil dezer afstanden.	Corresponde- rende toon.	Nummer der spijl.	Haar afstand tot den per- soon.	Vershil dezer afstanden.	Corresponde- rende toon.
	<i>meters</i>	<i>meters</i>	<i>nagenoeg</i>		<i>meters</i>	<i>meters</i>	<i>nagenoeg</i>
1	5,000	0,004	<i>e<sup>viii</sup></i>	30	7,658	0,152	<i>c<sup>iii</sup></i>
2	5,004	0,012	<i>a<sup>vi</sup></i>	31	6,810		
3	5,016	0,020	<i>c<sup>vi</sup></i>				
4	5,036	0,028	<i>f<sup>is</sup><sup>v</sup></i>	40	9,265	0,169	
5	5,064	0,035	<i>d<sup>v</sup></i>	41	9,434		
6	5,099	0,043	<i>b<sup>iv</sup></i>				<i>b<sup>ii</sup></i>
7	5,142	0,050	<i>g<sup>is</sup><sup>iv</sup></i>	50	11,002	0,188	
8	5,192	0,057	<i>f<sup>is</sup><sup>iv</sup></i>	51	11,180		
9	5,249	0,065	<i>dis<sup>iv</sup></i>				<i>a<sup>ii</sup></i>
10	5,314	0,071	<i>d<sup>iv</sup></i>	100	20,422	0,194	
11	5,385	0,078	<i>c<sup>iv</sup></i>	101	20,616		
12	5,463	0,083	<i>b<sup>iii</sup></i>				
13	5,546	0,090		200	40,113	0,198	
14	5,636	0,095	<i>a<sup>iii</sup></i>	201	40,311		
15	5,731						
				400	79,957	0,199	
20	6,281	0,122	<i>e<sup>iii</sup></i>	401	80,156		
21	6,403						<i>g<sup>is</sup><sup>ii</sup></i>

Nemen wij nu aan dat de snelheid van het geluid bij de proef 333 meters zij, dan kunnen wij gemakkelijk het tijdsverloop vinden, waarna elke twee echo's op elkaar volgen. Wij behoeven daartoe slechts op te merken, dat het geluid de wegen van P naar de spijlen heen en terug doorloopt. De echo's van C en D, de derde en vierde spijl b. v., zullen respectievelijk vernomen worden na verloop van  $\frac{PCP}{333}$  en  $\frac{PDP}{333}$  seconden. Het verschil dezer tijden is blijkbaar het verschil der wegen P C P en P D P, of E D E, d. i.  $2 \times D E$ , gedeeld door 333.

Daar de afstanden slechts weinig verschillen, vooral in vergelijking van de groote snelheid, waarmede het geluid zich voortplant, vallen deze tijden zoo klein uit, dat ons oor de twee opeenvolgende echo's



niet meer kan vaneenscheiden, maar den indruk ontvangt van een *toon*. Wij herinneren ons dat de hoogte van een toon alleen afhangt van de snelheid, waarmede zijn trillingen op elkaar volgen. Nu is het aantal trillingen, dat de tonen onzer toonschaal maken, nauwkeurig bekend. Wij gebruikten, om de toonhoogte te bepalen, een Fransche *diapason normal*, die, blijkens gedaan onderzoek, 435 trillingen in de seconde volbrengt, gelijk behoort.

Deze toon heet  $a^I$ .

Zijn trillingen volgen elkaar dus in  $\frac{1}{435} = 0,0023$  seconde op. Volgens dezen maatstaf kan men nu het trillingsgetal voor elken toon onzer toonschaal berekenen, en daarna omgekeerd de ligging of den naam vinden voor een toon, van welken men slechts het trillingsgetal kent.

De zoo even gevonden breuk  $\frac{2 \times DE}{333}$  geeft, nadat men voor DE de waarde 0,020 uit de tabel genomen heeft, 0,00012 seconde voor den tijd tusschen het hooren van de echo's uit C en D. Een toon, waarvan de trillingen elkaar met deze snelheid opvolgen, maakt er 8325 ( $= \frac{1}{0,00012}$ ) in de seconde. Wij noemen hem voor de kortheid den *met het verschil CD correspondeerenden toon*. Als men de octaven door cijfers onderscheidt, en de notatie vaststelt zooals hier is aangeduid:

$c^I$   $c^{II}$   $c^{III}$  enz.

dan wordt deze toon tennaastenbij uitgedrukt door  $e^{VI}$ .

Wij hebben voor alle in de tabel voorkomende verschillen de correspondeerende tonen berekend. Wel had hier nog meer nauwkeurigheid kunnen in acht genomen worden, maar niet zonder dat aan de tabel een uitgebreidheid werd gegeven, die wij minder wenschelijk achtten.

Uit de kolom der tonen blijkt genoegzaam dat de fluitende echo's op een onmeetbare hoogte beginnen en van daar zeer snel eenige octaven dalen tot een toonhoogte, die in ons geval die van de hoogere tonen der menschelijke sopraanstem is. De afdaling geschiedt sprongsgewijs, maar wegens haar snelheid schijnt zij vloeiend te zijn. De toon bereikt een grens. De grootste waarde, die het verschil kan verkrijgen, kan men aan den afstand der spijlen gelijkstellen, en is dus 0,200 meter. De correspondeerende toon van dat ver-

schil zou nog iets hooger dan  $gis^{II}$  zijn, daar zijn trillingsgetal 833 is en  $gis^{II}$  816 trillingen maakt. Wij zien voorts dat de toon weldra tot nabij deze grens genaderd is; want bij de spijlen 30 en 31 is hij reeds  $c^{III}$ , bij n<sup>o</sup>. 42 en 43 is hij ongeveer  $b^{II}$ , dus een *halve toon* lager, en van de 100ste tot de 400ste verandert hij geen *kwart toon* bijna meer.

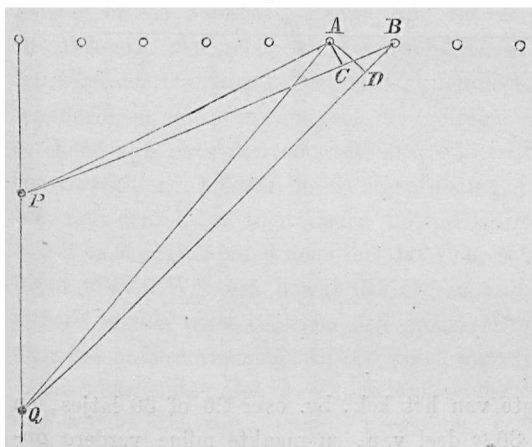
Het geheele verschijnsel duurt slechts kort. Wanneer de luchtschudding, door een klap met de handen voortgebracht, sterk genoeg is om zich aan het oor op een afstand te doen gevoelen van 160 meter, niettegenstaande het geluid bovendien op den scherpen naar ons toegewenden kant van een latje wordt teruggekaatst, dan zullen wij bij de proef de echo van het 400ste latje nog kunnen vernemen, welks afstand tot ons 80 meter is. Maar dan zal die echo slechts  $\frac{160}{333}$  seconde na den slag in de handen gehoord worden, dat is na 0,485 of bijna een halve seconde. In dat kleine tijdsbestek volgen de in de tabel aangewezen tonen elkaar op! De daling tot  $c^{III}$  duurt slechts 0,05 seconde, of een tiende van den geheelen duur. Dit is het deel wat door de letter *i* werd voorgesteld in de klanknabootsing *iuw*, waarvan boven sprake was. Het *uw* komt met het langzamer van  $c^{III}$  tot den grenstoon zakkende gedeelte overeen, dat  $\frac{9}{10}$  van den geheelen duur inneemt, en wegens de te groote afstanden tevens verzwakt en wegsterft.

Wio nu deze studie tot hier toe gevolgd heeft zal erkennen, dat het moeilijk valt, om uit te maken welken toon het oor bij de proef vasthoudt en voor de controle gebruikt. Wanneer alle omstandigheden gunstig zijn, dus het terrein vlak en vrij, het hek regelmatig, recht en lang, de omgeving rustig, zonder andere geluiden, de dampkring stil, dan zal de genoteerde toon buiten quaestie de grenstoon zijn, zooals ook ANDREW FRENCH schijnt vast te stellen zonder uitzondering. Maar in vele gevallen is het ver daarvan af. Laat bv. het hek korter zijn, dan *kan* de grenstoon niet gehoord worden; of laat het ongelijkmatig gebouwd zijn, of niet recht, maar gebogen zijn. In zulke gevallen schijnt het oor steeds den laatsten toon vast te houden. Is er op deze condities niets aan te merken, dan kan nog de dampkring onrustig zijn, of andere geluiden kunnen de waarneming van den zwakkeren grenstoon verhinderen. Dan ook pakt het oor een hoogerem toon dan deze.

Op een punt wijk ik van ANDREW FRENCH af. Deze zegt, dat men een

hoogeren toon hoort, als men zich van het hek verwijdert. Ik meende dat in 't eerst ook uit de theorie te moeten afleiden. Men moet onderstellen, dat men niet den grenston waarneemt, maar een hoogeren, die er nabij

Fig. 3.



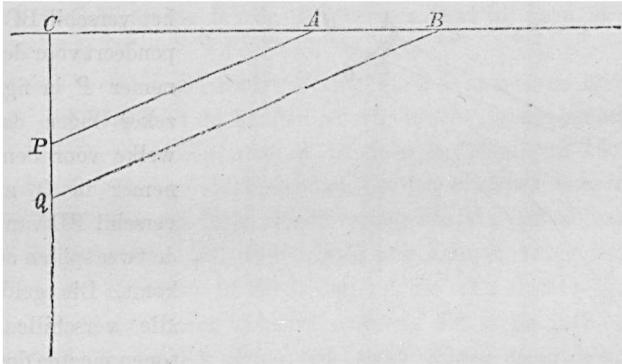
ligt. De toon, die met het verschil BC correspondeert voor den waarnemer P in fig. 3, is zeker lager dan die, welke voor den waarnemer in Q met het verschil BD van dezelfde twee spijlen overeenkomt. Dit geldt voor alle verschillen. Alle tonen moeten dus rijzen. Toen ik dit gevolg had afgeleid, in 1874, begaf

ik mij spoedig naar een der hekken (N<sup>o</sup>. 5 der tabel). Tot mijn verwondering bleef echter de toon onveranderd, of ik een, of twee, of twintig meter van het hek afstand. Het afgeleid gevolg werd dus niet bevestigd. Ook toen ANDREW FRENCH het als feit mededeelde, heb ik vergeefs beproefd het te hooren. Mijn waarneming kan ik echter zeer goed verklaren. De verschillen hängen bij hetzelfde hek slechts af van de helling der lijnen PA, enz. (fig. 4). Zij zullen dus bij A voor een waarnemer in P dezelfde grootte hebben als bij B voor een waarnemer in Q. Den toon, dien P van A hoort, verneemt Q van B. De geheele tonenreeks, die het stuk CA aan P oplevert, verneemt Q van het stuk CB, slechts zijn er nog eenige tusschentonen meer ingeschakeld. Wordt nu de grenston niet waargenomen (die natuurlijk geheel onafhankelijk van de standplaats des waarnemers is, en dus ook niet door ANDREW FRENCH kan bedoeld zijn) dan zal een hoogere toon bij voorkeur door het oor gepakt worden, welke voor P bv. bij A zetelt, maar dan ook voor Q bij B aanwezig is. — Wellicht eindigde het hek, waarvan FRENCH spreekt, tusschen A en B, zoodat Q een hoogeren *eindtoon* moest hooren dan P, maar deze bijzonderheid vermeldt hij niet.

Bij de achterstaande hekken was ik zeker van de proef. Alle onderzocht ik herhaaldelijk, soms in verschillende jaren. Hetzelfde hek leverde mij altijd denzelfden toon. Ik zorgde steeds vroegere waarne-

mingen en getallen te vergeten, om mij niet te laten influenceeren. Eerst bepaalde ik de toonhoogte met behulp van een stemvork  $a' =$

Fig. 4.



435. Dan mat ik de lengte van het hek, bv. over 20 of 30 latjes, en nam daar het 20ste of 30ste deel van, en maakte mijne verdere opmerkingen. De temperatuur doet iets af tot de voortplantingssnelheid van het geluid. Daar ik mijne proeven meestal bij warm zomerweer genomen heb, heb ik de snelheid des geluids voor alle gelijkelijk op 341 meter in de seconde gesteld.

Nummer.	Standplaats van het hek.	Afstand der spijlen.	Genoteerde toon.	Zijn triltgetal.	Trill. get. van den grenstoon.	Jaartal der proef.
		Meters.				
1	Zuidzijde Martini-kerk te Groningen . . . . .	0,102	b <sup>III</sup>	1958	1672	1873/5
2	Achter Daalhuizen te Velp . . . . .	0,102	b <sup>III</sup>	1958	1672	1875
3	Meeuwerderweg, Groningen . . . . .	0,136	e <sup>III</sup>	1305	1254	1875
4	Op zijde van Daalhuizen. . . . .	0,136	e <sup>III</sup>	1305	1254	1875
5	Oosterviaduct, Groningen . . . . .	0,137	e <sup>III</sup>	1305	1245	1874,5
6	In het dorp Velp. . . . .	0,137	e <sup>III</sup>	1305	1245	1875
7	Overbeek bij Velp . . . . .	0,145	fis <sup>III</sup>	1450	1171	1874
8a	Stationshaven, Groningen . . . . .	0,139	bijna e <sup>III</sup>	1280	1227	1874
b	Idem, linkergedeelte . . . . .	0,146	d <sup>III</sup>	1160	1168	1874
9	Spoorwegstation Steeg . . . . .	0,196	f <sup>II</sup>	696	870	1874

Wij zien hoeveel soms de gehoorde toon van den grenston verschilt. Slechts bij n<sup>o</sup>. 8a en b is de overeenkomst groot. De grenston is natuurlijk zelden juist een toon van onze toonschaal. Vreemd is het, dat de genoteerde tonen dat wel zijn. Maar ik geloof dat het oor bij de altijd moeilijke proef zoozeer op de stemvork steunt, die tot vergelijking dient, dat het onwillekeurig den gehoorde toon gelijkmaakt aan den naastbijliggenden toon der toonschaal. Werkelijk zullen de tonen van kolom 4 slechts benaderingen zijn, en dus ook de getallen der volgende kolom, die berekend zijn naar den maatstaf  $a^1 = 435$  trillingen. Opmerkelijk is het hoe verschillende hekken, indien hun afmetingen overeenkomen (kolom 3), ook mij denzelfden toon deden noteeren. De proeven N<sup>o</sup>. 1 en 2, N<sup>o</sup>. 3 en 4, N<sup>o</sup>. 5 en 6 doen ons dat zien. N<sup>o</sup>. 7 en 8b loopen daarentegen uiteen. Wel een bewijs dat er een vast verband moet bestaan, althans in den regel, tusschen den grenston van een hek en den toon, dien het oor voornamelijk bij de proef waarneemt.

De waarneming N<sup>o</sup>. 9 schijnt onmogelijk. De gehoorde toon toch had minder trillingen dan de grenston. Toch heb ik ettelijke malen achtereen dien toon gemeten. Maar het hek grensde aan de binnenzijde aan een dichtgroeicnd struikgewas, en was niet zeer gelijkmatig van bouw. Het is niet onmogelijk dat deze omstandigheden invloed hadden. Als ik kan hoop ik dit nogmaals te onderzoeken.

Wellicht zijn er onder mijn lezers, die gelegenheid en lust bezitten om een proef te nemen. Zoo ja, en willen zij mij hun uitkomst meedeelen, niets zou mij aangenamer zijn.

Dec. 1875.