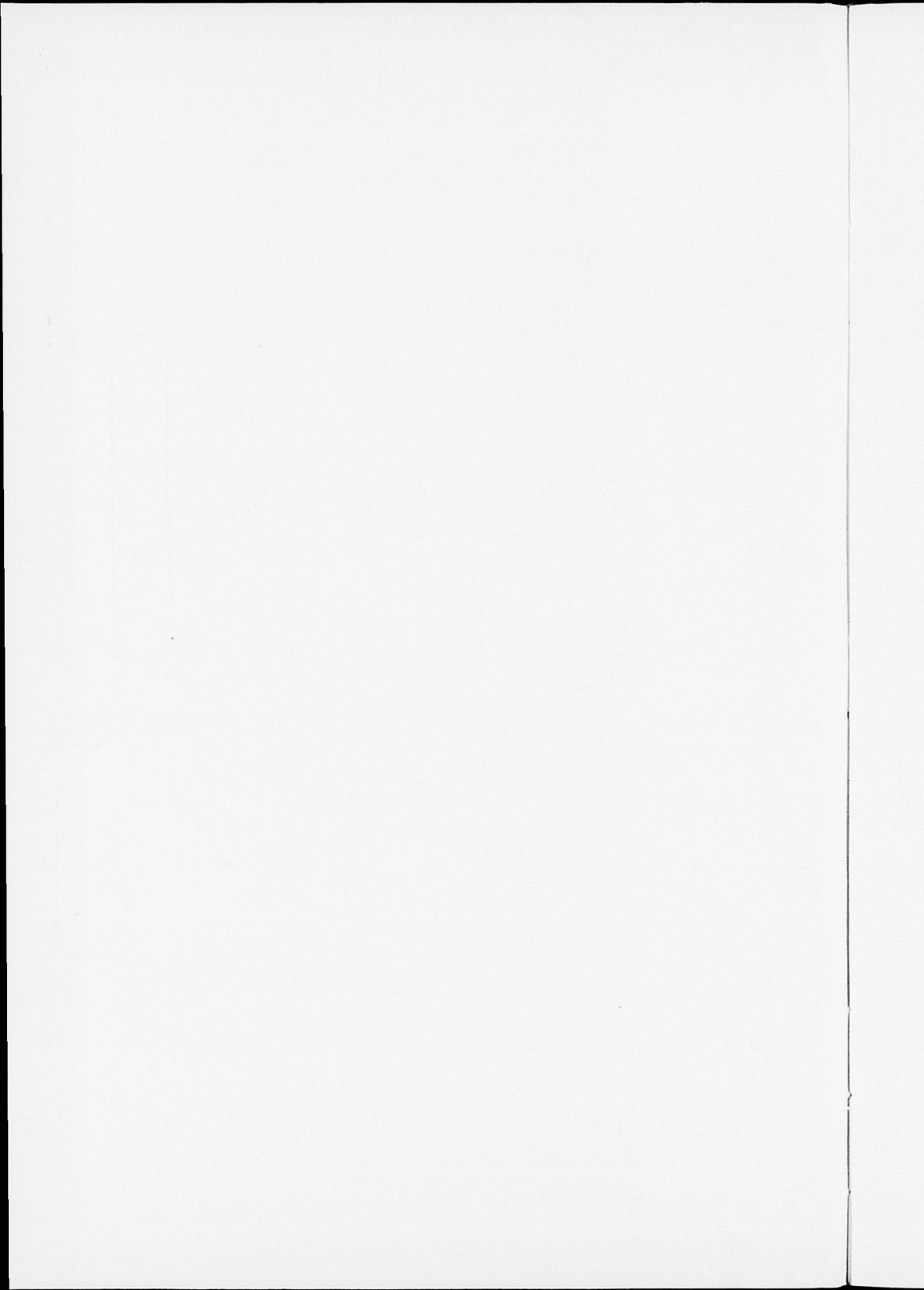


DE AFSTOMPING DER GEHOORZENUW

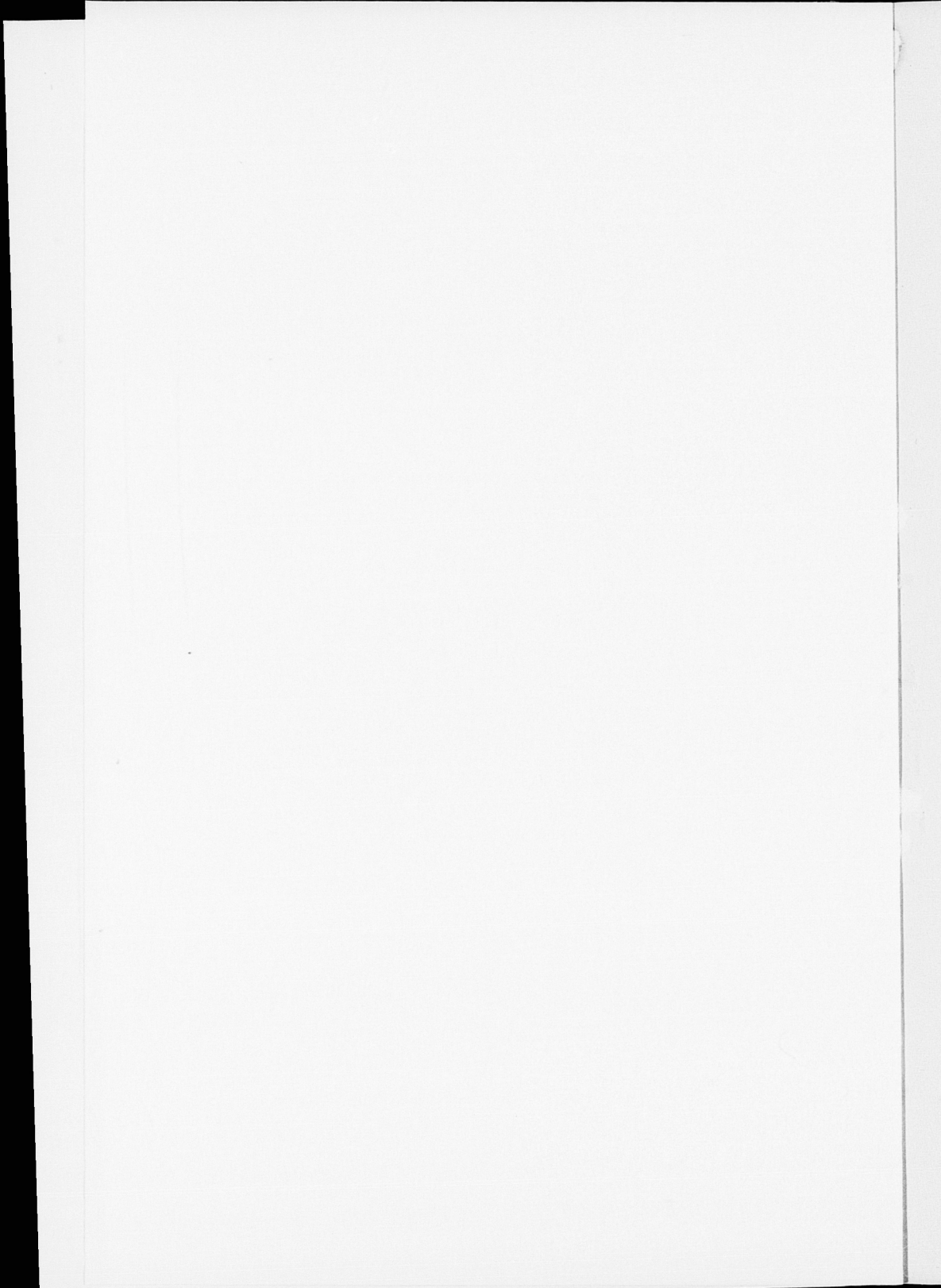
DOOR

GELUIDSINDRUKKEN.

Diss.
Utrecht
1884



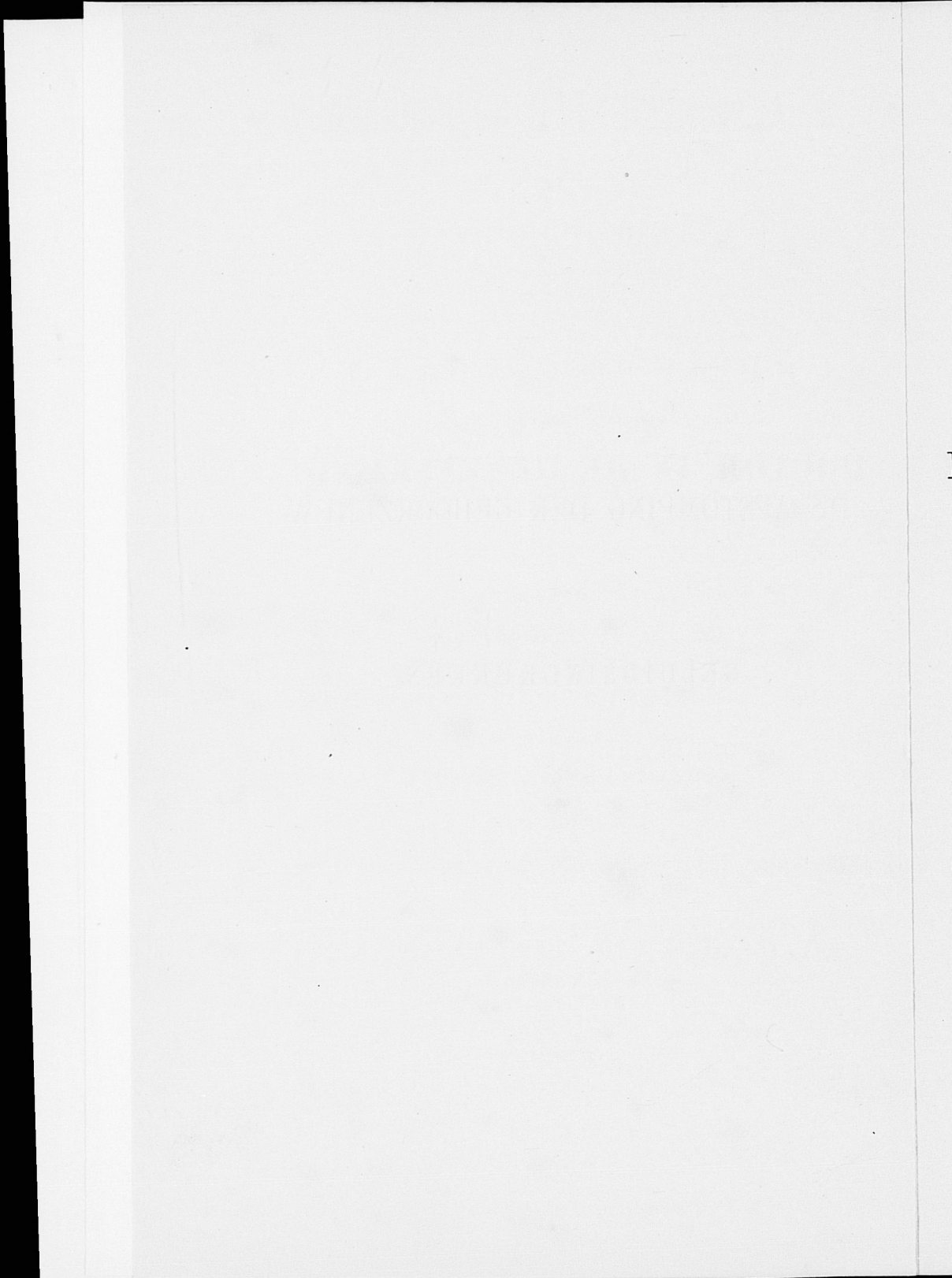




DE AFSTOMPING DER GEHOORZENUW

DOOR

GELUIDSINDRUKKEN.



mis streekt 1884

DE AFSTOMPING DER GEHOORZENUW

DOOR

GELUIDSINDRUKKEN.

PROEFSCHRIFT

TER VERKRIJGING VAN DEN GRAAD VAN

DOCTOR IN DE GENEESKUNDE,

AAN DE

RIJKS-UNIVERSITEIT TE UTRECHT,

NA MACTHIGING VAN DEN RECTOR MAGNIFICUS

M^R. H. J. HAMAKER,

HOOGLEERAAR IN DE FACULTEIT DER RECHTSGELEERDHEID,

VOLGENS BESLUIT VAN DEN SENAAAT DER UNIVERSITEIT,

TEGEN DE BEDENKINGEN VAN DE

FACULTEIT DER GENEESKUNDE,

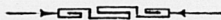
TE VERDEDIGEN

op Donderdag, den 10^{den} Juli 1884, des voormiddags te 11 uren,

DOOR

ALBERTUS HUIJSMAN,

geboren te GARDEREN.



UTRECHT — G. METZELAAR. — 1884.



WONNEN DER BLOKSTRAAT

GEWELDSINDRUKKEN

PROFESSOR

DE WETENSCAPEN

DOCTOR IN DE GENESKUNDE

DE WETENSCAPEN

DE WETENSCAPEN

M. H. J. HAMAKER

DE WETENSCAPEN

DE WETENSCAPEN

DE WETENSCAPEN

DE WETENSCAPEN

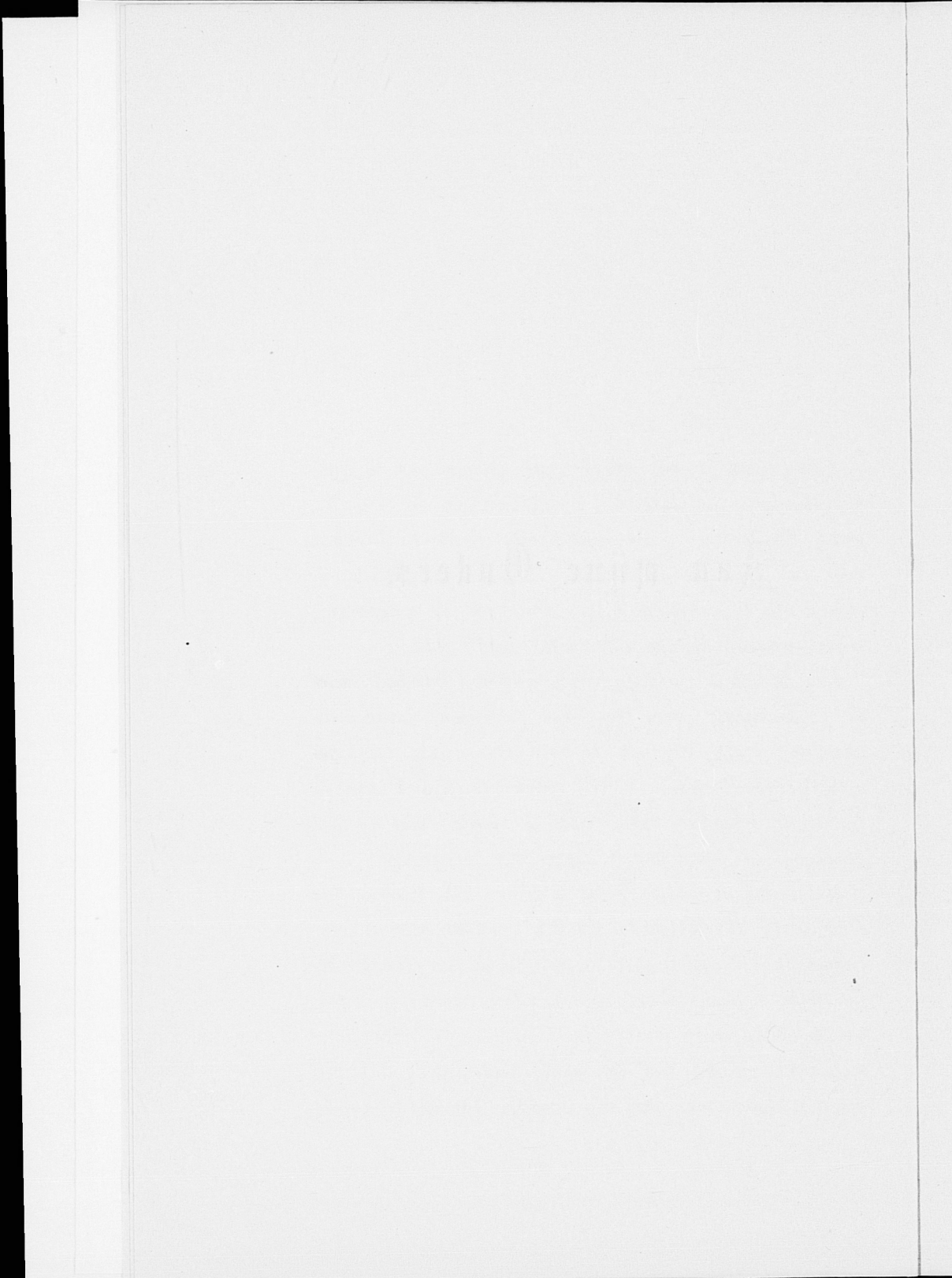
DE WETENSCAPEN

op donderdag den 10^{ten} Juli 1884, des voormiddags 11 uur

WILHELMUS HILSMAN

DE WETENSCAPEN

Aan mijne Ouders.



Aangenaam is het mij, in de gelegenheid te zijn, U, Hooggeleerde Heeren, Professoren der Medische Faculteit, een woord van dank te brengen voor het vele goede, dat ik, in wetenschappelijk opzicht, van U genieten mocht, en voor de aangename wijze, waarop dit ten allen tijde plaats had.

Een terugblik op mijn academischen studietijd, dien ik reeds enkele jaren voor het praktische leven verwisselde, roept mij ook U voor den geest, zeer gewaardeerde Professor LONCQ, wiens leeftijd U van de Academie scheidde, aan wien ik steeds, met zooveel genoegen, als mijn ouden leermeester terugdenk.

Het meest van allen geldt U mijn dank, Hooggeachte Promotor, Hooggeleerde DONDERS, onder wiens leerlingen ik het mij immer tot een geluk zal rekenen behoord te hebben: uwe tegenwoordigheid werkte steeds bezielend op mij, dank zij de nieuwe en heldere gezichtspunten, die Gij in menig onderwerp, dat mij minder klaar was, voor mij opendet. Uw onverflauwde

ijver was mij telkens een spoorslag om mijne taak te volbrengen, wanneer de eischen der praktijk zich wel eens tegen die voleindiging aankantten.

Ook U, Hooggeachte Professor ENGELMANN, wensch ik afzonderlijk mijne erkentelijkheid te betuigen voor de hulp, die ik zoo vaak van U inriep en die Ge mij steeds zoo bereidwillig verleendet.

Voorts wensch ik hier nog melding te maken van de vriendschappelijke en leerrijke leiding, die ik, als assistent in het Rotterdamsche Ziekenhuis, van U, Zeer Geleerde HESSELINK, mocht genieten, en breng daarbij dankbaar hulde aan de nagedachtenis van Uwen voorganger, den te vroeg ontslapen Dr. RIENDERHOFF, die, evenals Gij, mijn verblijf aldaar, tot een der aangenaamste tijdperken mijns levens wist te maken.

Ten slotte zij aan allen, die mij bij het nemen der proeven en bij de samenstelling van dit proefschrift behulpzaam waren, in het bijzonder aan Dr. HAMBURGER, daarvoor mijn vriendelijke dank gebracht.

I N L E I D I N G.

Bij mijne studiën over de physiologie van het gehoorzintuig, werd mij door Prof. Donders op verschillende leemten in onze kennis omtrent dat onderwerp gewezen, en wel in het bijzonder — op onze onvoldoende kennis van de vermoënis of afstomping der gehoorzenuw, onder den invloed van verschillende geluidsprikkels. Inderdaad, terwijl de afstomping der gezichtsenuw met groote zorg werd onderzocht en bij dat onderzoek belangrijke uitkomsten werden verkregen, is aan die der gehoorzenuw weinig de aandacht geschonken. Vóór weinige jaren daarover handelende, had Urbantschitsch ¹⁾ nog alléén van de onderzoekingen van Dove ²⁾ en J. J. Müller ³⁾ gewag te maken, waarvan de eerste in korte woorden slechts op een paar verschijnselen had gewezen, die in afstomping hare verklaring zouden vinden, en de tweede

1) Archiv f. d. gesammte Physiol. B. XXIV. S. 575.

2) Pogg. Annalen. B. CI. S. 692 en CVII. S. 653. 1857 en 1859.

3) Ber. d. Kön. Sachs. Gesellsch. der Wissensch. Sitzung
6 Mai 1871.

de afstomping niet rechtstreeks had onderzocht, maar eenvoudig had ondersteld bij zijne proeven over entotisch voortgebrachte harmonische tonen. En ook thans, na de uitkomsten, door Urbantschitsch verkregen, en anderen, die hem volgden, is onze kennis ook nog niet in die mate gevorderd, dat verder onderzoek geheel overbodig zijn zou. Daarom heb ik mij gaarne tot taak gesteld, het voornaamste bijeen te brengen van hetgeen door anderen op dit gebied was verricht, en, onder de leiding van Prof. Donders, door eigen onderzoek zoo mogelijk de verschijnselen, die tot afstomping betrekking hebben, wat nader te leeren kennen.

Bij onze beschouwingen zullen wij uitgaan van de afstomping der gezichtszenuw, die zooveel nauwkeuriger bekend is, en door de vergelijking met deze ons eenigszins laten leiden. Overigens zal het onderzoek hoofdzakelijk geschieden met het oog op de theorie van den gehoorzin, die wij aan Helmholtz ¹⁾ te danken hebben. Die theorie onderstelt, zooals men weet, dat de trillingswijze van samengestelde klanken, aan het trommelvlies medegedeeld, door de keten der gehoorbeentjes voortgeplant, in de cochlea in enkelvoudige sinustrillingen wordt ontleed, die voor iederen perioden-duur haar omschreven gebied hebben en hier de zenuwvezelen prikkelen, wier energie de corresponderende toonhoogten vertegenwoordigt. Van het onderscheiden van verschillende ook gelijktijdig aanwezige toonhoogten en van dat in Klangfarbe of timbre, dat zijn oorsprong vindt in de samenwerking der partiëele tonen van denzelfden klank, werd door die voorstelling op verrassende wijze rekenschap gegeven.

1) Tonempfindungen. 1^e Ausgabe. 1862.

Aanvankelijk werden daarbij de Corti'sche bogen als het medetrillend klavier beschouwd. Toen later bleek, dat die bogen bij vogels en amphiënen ontbreken (H a s s e), die toch buiten kijf verschillende toonhoogten onderscheiden, bleek de membrana spiralis op zich zelve de rol te kunnen vervullen, die aan de bogen van Corti was toegekend. H e n s e n ¹⁾, die van den top tot de basis der cochlea de radiaire afmetingen dier membrana bepaalde, opperde daarvan reeds het denkbeeld, en H e l m h o l t z ²⁾ leverde het wiskundig betoog, dat een in radiaire richting uitgespannen vlies in zijne verschillende deelen in tonen van verschillenden trillingsduur kan medetrillen, hetgeen, toepasselijk zijnde op de membrana spiralis, een nog vasteren grondslag zou geven aan zijne theorie dan de bogen van Corti.

Naar die theorie moet de onwerkzaamheid van een deel van dit vlies, de verlamming van enkele bundels der gehoorzenuw, de tonen van zekeren trillingsduur doen wegvallen, op gelijke wijze als door locale stoornis van het netvlies, door het verlammen van zekere bundels der gezichtsenuw, een deel van het gezichtsveld wordt weggenomen. En verder moet ook de afstomping, onder den invloed van zekere tonen, uitsluitend gelden voor tonen van denzelfden trillingsduur, wier trillingen weer dezelfde elementen treffen, die door de vorige geprikkeld waren.

De grenzen, binnen welke de afstomping zich doet gevoelen in den positieven of negatieven invloed op de overige deelen der gehoorzenuw aan te toonen, zou wel het hoogste zijn, wat experimenteel te bereiken

1) Zeitschrift f. wiss. Zoölogie B. XIII. S. 492.

2) Tonempfindungen. 2^e Ausg.

ware. Doch ook waar dit niet gelukken mag, zullen de feiten ook in betrekking tot de theorie niet alle belangrijkheid missen.

Achtereenvolgens zullen wij behandelen :

1. Afstomping voor een bepaalden toon, rechtstreeks onderzocht op het getroffen oor.
2. Afstomping voor een bepaalden toon, onderzocht door vergelijking der gevoeligheid voor dien toon met die voor andere tonen.
3. Afstomping voor een bepaalden toon, onderzocht door vergelijking der gevoeligheid voor denzelfden en voor aangrenzende tonen op het getroffen en het niet getroffen oor.
4. Afstomping na onregelmatige geluiden.
5. Resultaten, in betrekking tot de theorie, en verdere beschouwingen over de energieën van oog en oor.

I. Afstomping der vezelen van het getroffen oor.

Ieder weet bij ervaring, dat de gevoeligheid van het oog door inwerking van licht afneemt. Treden wij uit helder licht in het halve duister, dan zien wij de voorwerpen niet, die wij eenige minuten later zeer wel onderscheiden, en na een verblijf in het volslagen duister verblindt ons het sterke licht en moeten wij gewinnen aan het matige licht, waarbij wij gewoon zijn te werken, — het matige licht, waarbij de gevoeligheid dan ongeveer gelijk blijft en wij uren lang onzen arbeid kunnen voortzetten. Opmerkelijk is het, hoeveel langer de gevoeligheid van het

directe zien zich handhaaft, in vergelijking met die van het indirecte. Richtten wij den blik onbewegelijk op een bepaalde, zij het een zwakke ster aan den sterrenhemel, dan blijft ze minuten lang (personen met eenigszins vasten blik kunnen er zich van overtuigen) schier onverflauwd zichtbaar, terwijl alle andere, ook de helderste, ja zelfs de maan, na weinige sekunden verbleeken en geheel verdwijnen, om bij geringste beweging van den blik, waarbij zij andere netvliespunten treffen, weer in volle klaarheid zichtbaar te worden. Door die afstomping van het indirecte zien verliezen wij trouwens' weinig of niets. Zij kan een voordeel zijn, wanneer wij alle aandacht willen concentreren op een bepaald punt; en overigens bewegen wij den blik altijd voldoende, om de peripherie van het netvlies wakker te houden voor alle sterke indrukken. Wil men zich soms eens rekenschap geven van hetgeen er buiten het gefixeerde punt in het gezichtsveld omgaat, dan zal men zich van zelf wachten voor het onbewegelijk blijven fixeeren van hetzelfde punt.

Voor het gehoor blijkt van dergelijke afstomping, hetzij voor alle, hetzij voor enkele geluiden, rechtstreeks zoo goed als niets. Men verhaalt van een pijnlijke gevoeligheid, die zou zijn waargenomen bij personen, die lang achtereen nauwelijks geluiden hadden vernomen. Zeker is het intusschen, dat men een tijd lang alle geluiden zooveel mogelijk kan afweren, zonder dat iets blijkt van de groote gevoeligheid, die het oog verkrijgt na een lang verblijf in het duister: waarschijnlijk staat deze laatste in verband met het zich hierin ontwikkelend staafjesrood, dat als zoogenoemde sensibilisator 1) zou kunnen werken:

1) Verg. Donders, Graefe's Archiv f. Ophth. B. XXX. 1. S. 54.

in dit geval zou afstomping van het oor eerst met die van het oog vergelijkbaar zijn, wanneer hier het staafjesrood verdwenen is. Dit alléén is waar, dat sterke tonen en geruischen, gelijktijdig aanwezig, zwakke overstemmen en zelfs onhoorbaar maken, 't minst nog een zuiver aangehouden toon, die tusschen trompetgeschal kan blijven doorklinken. Een dergelijke toon, aanhoudend gehoord, gaat ons ook het meest „vermoeien”, in den waren zin van het woord, d. i. storend, ondragelijk worden, hetgeen alweer aanwijst, dat men er al zeer weinig voor *vermoeit*, in den overdrachtelijken zin, d. i. door afgestompt wordt. Men hoort beweren, dat men een stemvork, die voor het oor uitgeklonken is, slechts een oogenblik behoeft te verwijderen en terug te brengen voor het oor, om den toon op nieuw te hooren. Urbantschitsch zegt het althans in betrekking tot het andere oor. Ons is dat beweren altijd twijfelachtig gebleven. Om zuiver te zijn, moet het oor op dezelfde plaats en de stemvork in gelijken stand op gelijken afstand van het oor verblijven. Dit werd verkregen door de stemvork in een blok te bevestigen en het hoofd met de tanden in eene moule. Onder die voorzorgen gaf de proef bij Prof. Donders (D.), Prof. Engelmann, Dr. Hamburger, Kagenaar en mij zelf (H.) een negatief resultaat, zonder die voorzorgen een wankelend.

Urbantschitsch ¹⁾ deelt nog andere proeven mede, waarbij de stemvork direct door aanraking gedempt werd, zoodat de toon slechts zeer zwak bleef voortbestaan: hij beweert, dezen zwakken toon dan op het niet getroffen oor sterker te hebben waargenomen. De voorzorgen, waarop wij wezen, zijn intusschen ook hierbij niet in acht genomen. Wij herhaalden de proeven, door een krachtig aangesla-

1) Archiv f. d. ges. Physiologie. B. XXIV. S. 578.

gen stemvork te houden voor het uiteinde eener lange caoutchouc-slang, waarvan het andere uiteinde, verdeeld, met ivoren olijven in de beide ooren stak. Maar ook op deze wijze konden wij ons niet met zekerheid overtuigen, dat een zwakke toon op het pas getroffen oor zwakker gehoord werd dan op het andere.

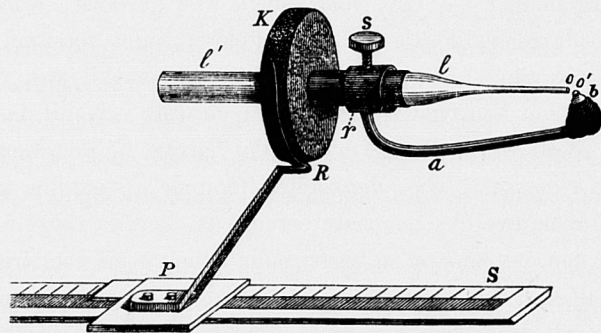
Vroeger hadden wij reeds soortgelijke proeven genomen. Wij bezigden een stemvork van 250 (dubbele) trillingen met resonator, door Koenig expresselijk voor ons doel vervaardigd, electro-magnetisch in constante sterke trilling gehouden. Van de resonance-kist ging een wijde metalen buis uit, voerende naar een verwijderd vertrek, waar de toon niet direct te hooren was. Een tweede elastieke buis werd zóóver buiten den resonator bevestigd, dat bij sluiting der metalen buis de toon langs dien weg met moeite even hoorbaar was. Nabij het oor vereenigden zich de beide buizen in het oorstuk. Nadat een tijdlang (1 à 5 minuten en langer) de krachtige toon in het oor geklonken had, werd plotseling (door een eenvoudig mechanisme) gelijktijdig de metalen buis gesloten en de caoutchouc-buis geopend. Op het oogenblik zelf werd de te voren ook nauwelijks hoorbare toon ontwijfelbaar waargenomen. — Ons voornemen was geweest, wanneer dezelfde toon, zooals wij onderstelden, niet terstond zou gehoord zijn, te onderzoeken, of hij bij verschil van toonshoogte zou hoorbaar zijn geworden, en welk verschil daartoe gevorderd werd. Nu het bleek, dat, alvast bij de tonen van onze stemvork, voor denzelfden toon de afstomping reeds niet of nauwelijks te constateeren was, kon de vergelijking van den invloed op aangrenzende tonen geen doel treffen.

Alléén zeer hooge tonen worden niet aanhoudend gehoord. Hoorbaar zijn naar Appun en Preyer tonen tot 40960 trillingen in de sekunde en bij grooter intensi-

teit wel nog verder. Lord Rayleigh ¹⁾ nu is, zoover wij weten, de eerste, die opmerkte, dat zeer hooge tonen niet blijvend gehoord worden. Hij verkreeg ze met vogelfluitjes en bepaalde de golflengten als 1"304 en 1"28, beantwoordende aan $n = 10063$ en 10260 . Hij merkte tevens op, dat het bedekken van het oor, niet langer dan een fractie van een sek., voldoende was, om den toon weer te voorschijn te roepen. Ook Helmholtz overtuigde zich bij Rayleigh van de juistheid van diens bevinding.

Inderdaad is het hoogst gemakkelijk, zich daarvan te vergewissen. Zooals Wollaston reeds had opgemerkt, zijn er groote individuele verschillen voor de grenzen van den hoogsten hoorbaren toon. Dat op hooger en leeftijd de grens zich minder ver uitstrekt, werd bij herhaling opgemerkt en ook door ons bevestigd. Maar binnen deze ligt een andere grens, waarbij de toon binnen eenige sekunden ook nog verdwijnt. De hooge tonen verkregen wij door het aanblazen van kleine sphaerische resonatoren, die van glas gemakkelijk te blazen zijn. Na het afslijpen van het dunne buisje, waaraan het bolletje (fig. 1 b) ge-

Fig. 1.



1) Philosophical magazine. 1882. Vol. XIII. p. 344.

blazen is, verkrijgen wij een cirkelvormige opening o' met een scherpen rand. Het bolletje met lak bevestigd aan den arm a , wordt langs ll' aangeblazen door een plat gedrukt nauw buisje met opening o . Het buisje ll' , gaande door den koker r , waarmede ook a verbonden is en hieraan bevestigd door s , is met kurken plaat K bevat in den ring R en door dezen verbonden met de plaat P , verschuifbaar op eene slede S ; het liet zich gemakkelijk zoo richten, dat langs een caoutchouc-buis met de soufflerie een krachtige toon verkregen werd.

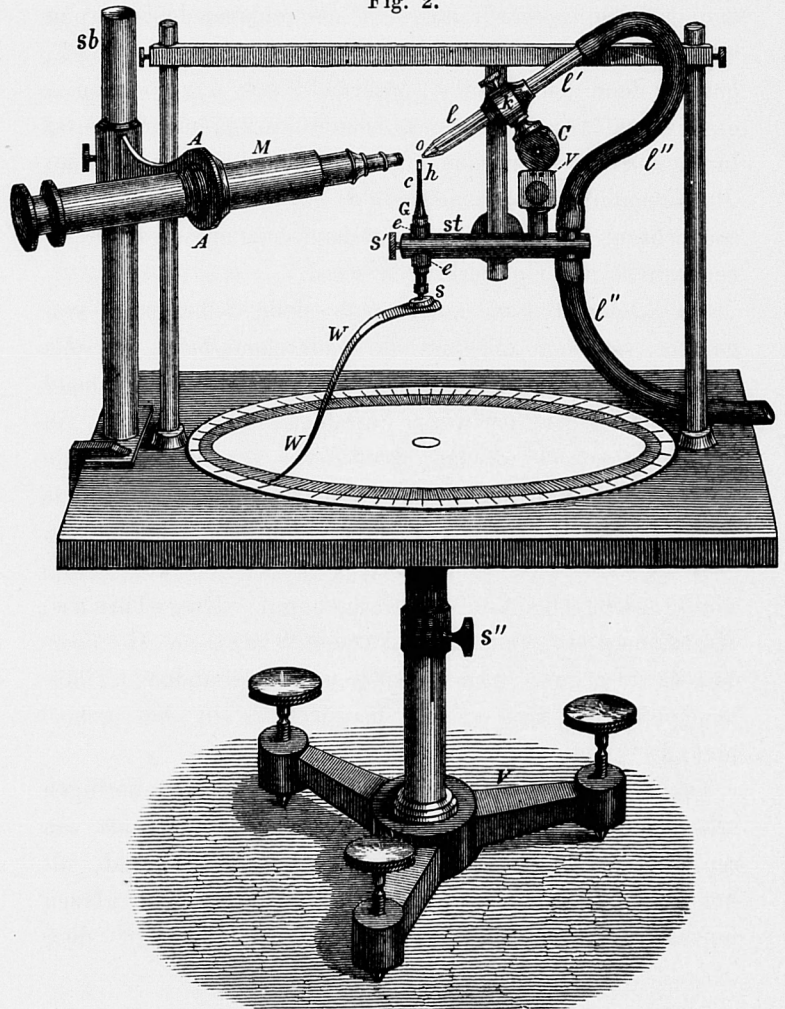
De kleine toestel kan, op de slede S bevestigd van en tot het oor of, met de caoutchouc-buis, in alle richtingen voorbij het oor bewogen worden. De inhoud van den resonator werd gevonden door weging, in ledigen toestand en met kwikzilver gevuld, voorts de opening gemeten, en uit deze gegevens liet zich met de formule van Helmholtz ¹⁾ de toonhoogte berekenen. Wij gebruikten er hoofdzakelijk twee: k_1 (kogel) die 15600, k_2 , die 23096 trillingen gaf. Engelmann, Hamburger, van Genderen Stort en H. hoorden k_2 zeer goed, maar slechts eenige sekunden, k_1 blijvend; D. en Kagenaar hoorden k_2 in het geheel niet, k_1 goed, maar niet blijvend.

Om alle overgangen en daarbij snelle veranderingen van toonhoogte te verkrijgen, werden, in plaats van resonatoren, dunne cilindervormige buisjes gebezigd, uit het midden van voor de blaaspijp uitgerekte glazen buizen, waarvan de toonhoogte werd gewijzigd door

1) Tonempfindungen. 4^{te} Ausgabe. 1877. S. 600. — Terwijl de middellijn der opening zich tot die van het bolletje nagenoeg verhoudt als 1 : 5, kon de coëff. 47000 in de waarde van $n = 47000 \sqrt{\frac{\sigma}{s}}$ gebruikt worden.

het dalen en rijzen van een kwik-kolom. De inrichting was deze (fig. 2):

Fig. 2.



I. Een glazen buis *G*, door een conisch stuk overgaande in een cilinder-buisje *c*, gevuld met kwik tot *h*, met koperen omhulsel bewegelijk in ebonieten cilinder *e*,

bevestigd met schroef s' in een koperen stang st . — In den stalen bodem der buis dringt bij S een schroef, die door een wijzer W op en neer bewogen wordt, af te lezen op den graadboog: bij het op en neergaan rijst en daalt resp. de kwik in de capillairbuis.

II. Glazen toevoerbuis ll' , met kleine ovale opening o , lucht blazende op den scherpen rand der opening van G . Die toevoerbuis gaat door een koperstuk K , bevestigd met scharnierbeweging op een koperen cilinder C , waardoor de helling kan geregeld worden, en kantelende in een voetstuk r , zoodat o nauwkeurig op de opening van G kan gericht worden. — Van de glazen buis ll' gaat een caoutchouc-slang l'' uit, gaande door de dwarse stang st , voorts door een Woulf'sche flesch, met watten gevuld, en door een buis met staaftjes chloorzink, naar de soufflerie.

M is het mikroskoop, bewegelijk op statiefbuis Sb , verschuifbaar in een dwarsen arm A , met mikrometer-oculair, waarmede de stand van de kwik in c wordt afgelezen. Uit eenige aflezingen, bij verschillenden stand van den wijzer, kan de hoogte voor elken stand berekend en op een tabel gebracht worden. Het geheel is bevestigd op voetstuk V , met schroef S'' , en kan zodoende hooger en lager gesteld worden.

De middellijn van het lumen van c bedroeg 0,93 m.M. Bij een lengte der luchtkolom van 4.54 m.M. verkregen H. en Hamburger, bij een lengte van 6.2 verkreeg D. een inconstanten toon. Voor de gezegde lengten werden resp. $n = 16980$ en $n' = 12680$ gevonden ¹⁾, bijna $\frac{1}{3}$ minder

1) Berekend naar de door Wertheim gegevene formule
$$n = \frac{v}{4(1+x)},$$
 waarin $x = 2c \sqrt{s} \left(1 - \sqrt{\frac{s}{S}} + \sqrt{\frac{S}{s}} \right)$. (Ann. de chim. et de phys. III. Série. T. XXXI. Krönig's Journal. Bd. II.)

dus dan voor b_1 en b_2 (23096 en 15600), die resp. voor H. en D. insgelijks een inconstanten toon gaven. Misschien zijn de formules voor het kleine bolletje en het fijne korte buisje niet volkomen van toepassing. Maar de oorzaak kan ook in verschil van intensiteit der tonen van bolletje b en capillairbuis c gelegen zijn. Zóóveel is zeker, dat bij niet stijgende intensiteit de tonen van kortere luchtkolommen gehoord worden en constant blijven. Wij gebruikten eerst de gewone soufflerie, later vooral het pneumatisch apparaat van Waldenburg, zoo geregeld, dat bij drukking van 85 m.M. water de toon een vol uur constant bleef. Hiermede was aan alle eischen voor vergelijkende proeven voldaan. Wijzigde men nu voor een oogenblik de drukking, dan werd niet slechts de intensiteit, maar ook de toonhoogte gewijzigd. Nabij de grenzen van het hoorbare gaf dit aanleiding tot een bijzondere complicatie.

D. bracht den wijzer op een stand, dat de toon voor hem onhoorbaar was. Bij drukken en loslaten der buis, hoorde hij echter telkens den toon. Het bleek nader, dat bij een bepaalden graad van samendrukking de toon ook aanhield, blijkbaar tengevolge van het dalen van den toon bij verminderde snelheid van uitstrooming. Tegelijk kan H. het stijgen van den toon hooren bij geopende buis, en het *stijgen* tevens nog van de intensiteit, waar hij voor D. geheel onhoorbaar werd. Gelijk resultaat als D. verkreeg daarentegen H., wanneer bij $1 = 3.14$ m.M. met geopende buis, de toon (23800 tr.) voor hem onhoorbaar was geworden. — Op de grenzen van het hoorbare de drukking sterk verhoogende, kan men den toon, blijkbaar door het vermeerderen van n , doen verdwijnen, waarna nog een zeker geruisch kan overblijven, dat reeds met den toon hoorbaar was geworden.

In het medegedeelde ligt opgesloten, dat wij de toonhoogten, die wij gebruikten, niet nauwkeurig kennen. Wat de formules geven, zijn de tonen, die niet door sterk aanblazen zijn opgedreven. De door ons gebezigde zijn dus hooger dan de berekende getallen. Van grootere resonatoren steeg door sterk aanblazen de toon meer dan een halve tert (n dus van 5:6); met wijdere buizen komen daarbij de harmonische boventonen voor den dag. Dat die hier niet in 't spel waren, leerde de gelijkmatige daling der tonen in kenbare verschillen, en de verkregen hoogste waarden van n voor de betrekkelijk zwakke tonen. Berekend voor de buisjes, en de voordeeligste combinatie van l en van manometerdrukking, bedroegen ze:

	l	n
voor Huijzman	3,14	. . . 23800
„ Hamburger	4,05	. . . 20500
„ Donders	6,02	. . . 12680

Voor de resonatoren werd nog ongeveer $\frac{1}{3}$ meer gevonden, waarbij dan nog de invloed van het sterke aanblazen komt. De eerste boventoon zou ons dus bij H. tot minstens 50000, dus reeds veel verder brengen dan den met de volmaakste hulpmiddelen ooit gehoorde toon. Zeker hebben wij dus met den grondtoon te doen. Voor eene directe bepaling der toonhoogte hadden wij geen gelegenheid. Overigens komt het bij onze proeven op de absolute hoogte minder aan. Onze experimenten betreffen hier tonen die óf *inconstant* óf *niet meer* gehoord worden, en deze hoogte is voor verschillende personen zeer verschillend en bovendien niet minder van de intensiteit dan van den trillingsduur afhankelijk. Overigens staat zooveel vast, dat voor al de hooge tonen, met c verkregen, n te laag is aangegeven.

Zooals ik opmerkte, zijn er groote individueele verschillen. De hoogste toon, door D. nog even of niet vernomen, klonk voor H. en E. zeer krachtig op 5 tot 10 M. afstand, en wel aanhoudend, zooals ook nog hoogere tonen, het oor onaangenaam aandoende. Wat lager tonen hoort D. genóegzaam even sterk als H. en E., en zoo bijzonder onaangenaam als anderen worden ze hem niet.

D. hoorde zijn inconstanten toon aanvankelijk krachtiger, na eenige proeven zwakker, en daarmee werd de duur der hoorbaarheid korter. Blijft hij uit, dan heeft men slechts voor een oogenblik een scherm tusschen oor en geluidsbron te brengen, om hem op nieuw te verschijn te roepen. Telkens, zoodra hij verdwijnt, het scherm tusschen schuivende en verwijderende, worden de perioden al spoedig korter, om later vrij constant te blijven. — Allen hoorden den toon bij korteren, zoowel als bij langeren duur allengs — diminuendo — verdwijnen, nooit plotseling; daarentegen zet hij, na het verwijderen van het scherm, telkens krachtig in. Laat men het scherm weg, dan blijft de toon een onbepaalden — langen — tijd uit. Opmerkelijk, dat hij nu, na het voorbijbewegen van het scherm, des te korter aanhoudt, hoe langer, ook zonder hoorbaren toon, de inwerking geduurd had. Dr. Hamburger hoorde den toon, voortgebracht door capillairbuis *c* (fig. 2), waarin $l = 4.86$, ($n = 16130$), aanvankelijk 10 sekunden; na blijvende inwerking van den niet gehoorde toon gedurende 5 minuten, werd de toon, na voorbijbeweging van het scherm, op nieuw gehoord, doch thans slechts gedurende 3 sekunden. H. hoorde den toon, beantwoordende aan $l = 3.88$ ($n = 19630$), aanvankelijk 8 sekunden; na blijvende inwerking insgelijks van 5 minuten, gedurende welken

tijd de toon niet werd gehoord, werd het scherm voorbij het oor bewogen en daarmee de toon weer gehoord, doch thans slechts gedurende 5 sekunden.

De toon houdt des te korter aan, hoe hooger hij is, d. i. hoe dichter bij de grens van den hoogsten hoorbaren toon gelegen, en voor gelijken toon des te langer, hoe grooter zijn intensiteit. Ligt hij vlak bij den nog hoorbaren toon, dan hoort men hem slechts bij het openen en sluiten der buis. Een voorbeeld van den invloed der intensiteit:

Bevestigd hoofd, geluidsbron tegenover het rechter oor op 15 cM., gedekt met kurkplaat: bij 't wegnemen van deze wordt een krachtige toon gehoord, diminuendo verdwijnende in 6 sekunden. Verschoven op 30 : niet gehoord. Weer naderende op 6 : krachtige toon. Op 30 ctm. gedekt : nauwelijks hoorbaar bij ontblooten; — op 25 : zeer duidelijk; — op 15 : goed; — op 10 : sterker; — op 5 : zeer sterk, en eerst na 18 sek. geheel uitgeklonken.

Nu, achtereenvolgens :

1	gedekt	bij	20	cM.	afstand,	gehoord	2	sekunden.
2	"	"	15	"	"	"	2	"
3	"	"	10	"	"	"	6	"
4	"	"	5	"	"	"	10	"
5	"	"	5	"	"	"	9	"
6	"	"	10	"	"	"	3.5	"
7	"	"	15	"	"	"	2	"
8	"	"	20	"	"	"	1	"
	gemiddeld	bij	20	cM.	afstand,	gehoord	1.5	sekunden.
	"	"	15	"	"	"	2	"
	"	"	10	"	"	"	4.75	"
	"	"	5	"	"	"	9.5	"

De proeven geschieden bij ingeklemde (maar verschuifbare) geluidsbron en in mondstuk bevestigd hoofd. Men kan daarbij de geluidsbron van en tot het oor brengen, of voor- en achterwaarts, boven- en benedenwaarts. Recht tegenover het oor is de toon het sterkst. Van en tot

het oor bewogen, waarbij hij telkens veel verzwakt, kan hij overigens constant blijven, zonder scherm, — eveneens bij snel of langzaam bewegen van 't scherm, na de korte intermissie telkens met een kracht terugkeerende, die hij bij vrijen toegang der golven maar kort behoudt.

Ik heb mij geruimen tijd bezig gehouden met het registreeren van den duur der pausen (afsluiting der buis) en van den daarop bij opening volgenden duur van den toon, zonder een langeren duur na langere pause als regel te kunnen vaststellen.

D. meent zich daarvan echter overtuigd te hebben. Wanneer de toon niet meer aanhield, verhief hij zich nog eenige malen systolisch: dat die toon niet subjectief was, bleek hem telkens bij het sluiten en openen der aanvoerbuis, waarmede hij onmiddellijk uitbleef en terugkeerde. Hoe langer nu de buis werd gesloten gehouden, des te langer, binnen zekere grenzen, werd de toon én aanhoudend én systolisch gehoord. Telkens ééne sekunde pauseerende, werd achtereenvolgens een duur gevonden van 6, 6, 4.5, 5.5 (na langere pause), 2.5, 2, 2.

Een opmerkelijk verschijnsel is het, dat, wanneer het hoofd vrij is, men het maar even te schudden heeft, om den toon te doen terugkeeren; alleen bij D. had dat schudden weinig invloed. 't Is alsof elke beweging, zelfs het verwijderen van het hoofd, den toon doet wederkeeren. Wellicht is daarbij toch slechts het tijdelijk afwenden van het oor in 't spel. Ook bij een willekeurige spanning in het oor verkregen Engelmann en H. wel eens hetzelfde.

Het ligt voor de hand, uit de medegedeelde proeven te besluiten, dat de gehoorzenuw door en voor zeer hooge tonen spoedig wordt afgestompt.

Wij denken ons de trillingen als mechanische prikkels

van drukking of uitrekking der peripherische elementen, de werking te vergelijken met die van den mechanischen tetanomotor van Heidenhain. De mechanische prikkels kunnen, evenals de electriche, bij genoegzame snelheid zich accumuleeren tot een tetanus. Op de gehoorzenuw wijst een bepaalde toon, hoe kort ook van duur, alreeds een tonische werking aan, met tetanus gelijk te stellen. Accumuleeren zich daartoe bij de hoogste tonen de effecten der 20000 en meer trillingen in de sekunde als zoovele golven in de zenuwvezelen, dan gaat het cijfer dat der electriche prikkels, die een tetanus kunnen geven, ver te boven. Al veel vroeger kan daarmee in de beweegzenuwen een proces bereikt worden, waarvan het effect met dat van een constanten stroom gelijk staat: een proces, waarbij de tetanus ophoudt en veelal werking slechts bij het begin en ook bij het einde der prikkeling wordt gezien, als bij het openen en sluiten van een constanten stroom.

Nu deed zich de vraag voor, of het verdwijnen van den toon na een korte inwerking niet als de werking van een constanten stroom was op te vatten. Werkelijk denkt men daaraan onwillekeurig, wanneer men in 't geheel geen toon meer hoort en nu telkens bij het sluiten en openen der toevoerbuis een kort geluid waarneemt. Het bleek ons echter, dat dit anders te verklaren was (verg. bl. 12): 't is de werkelijke verlaging van den toon onder de geringere drukking der lucht bij de voorbijgaande vernauwing der buis. Maar dit betel niet, dat in het algemeen het verdwijnen van den toon, na een korte inwerking der golven, als een overgang in het effect van een constanten stroom kan te beschouwen zijn. Wel is waar, wordt bij het enkel bedekken van het oor met een scherm, dat met het afbre-

ken van den stroom zou gelijk staan, de verdwenen toon nooit weer gehoord; maar ook, waar electriche tetanisatie in het effect van den constanten stroom overgaat, ontbreekt niet zelden de openingscontractie, en minder nog is een openingswerking te wachten na het natuurlijke mechanische tetaniseeren door geluidstrillingen, die moeielijk aanleiding kunnen geven tot een polarisatiestroom, waaraan de openingscontractie thans door velen wordt toegeschreven (zie Tigerstedt, en anderen). 't Is dus geen zoo onwaarschijnlijke hypothese, dat de irritatie door de hoogste tonen het karakter aanneemt van die door den constanten stroom. Werkelijk gaat ook bij het electriche tetaniseeren eener beweegzenuw de tetanus in schijnbare werkeloosheid over, die, nadat de stroom een oogenblik slechts wordt afgebroken, weer voor tetanus plaats maakt, — een analogie met ons verschijnsel (het wegblijven van den toon en het weerkeeren, na snel voorbijbewegen van een scherm), waarop Prof. Engelmann ons opmerkzaam maakte ¹⁾.

Intusschen kan men zich ook een andere voorstelling maken. Men kan zich denken, dat de medetrilling in het oor gestoord wordt en alle prikkeling uitblijft. Ongelijmd is die voorstelling zeker niet. Dat op hooger leeftijd de gehoorzin zijn hoogste tonen verliest, laat zich zeer wel verklaren uit een zekere stijfheid der medetrillende deelen. Zou het nu vreemd zijn, dat door en bij de trilling zich eenigerlei mechanisch impediment opdeed? Bij proeven met den phonautograaf van Scott

1) Verg. Engelmann. Over prikkeling van spieren en zenuwen met intermitterende electr. stroomen. Onderzoekingen Physiol. Labor. 3^{de} Reeks. I. 1872. bl. 103, en Archiv f. d. gesammte Physiologie von Pflüger. B. IV. S. 3.

ziet men de trillingen van zwakke tonen soms uitblijven en terugkeeren op de grilligste wijze, zonder dat men de oorzaak kan op 't spoor komen. En nu bedenke men, hoe ontzettend klein de amplituden zijn der medetrilling in het oor. Prof. Donders ¹⁾ hoorde nog vrij krachtig den toon van een stemvork, welks trillings-amplituden, gelijktijdig onder het mikroskoop gezien, kleiner waren dan $\frac{1}{3}$ mikron (μ = duizendste millimeter): naar schatting zouden die van $\frac{1}{30} \mu$ nog gehoord zijn, en 't is niet te wachten, dat die der membrana tympani, minder nog die der membrana spiralis, dan meer konden bedragen hebben dan $\frac{1}{100} \mu$, voor de hoogste tonen, die der membrana spiralis zeker minder.

Is het niet denkbaar, dat, bij zóó uiterst kleine beweging, de trilling zelve zich, in voedingsstoornis of anderszins, een mechanisch impediment schept, dat bij een oogenblik rust ophoudt te bestaan? — De invloed van het schudden van het hoofd moest daaraan reeds doen denken.

Bovendien bedenke men, dat de verklaring der verschijnselen uit afstomping niet zonder bezwaar is. Wel is waar strookt daarmee het steeds regelmatig diminuendo verdwijnen van den toon, hetzij snel, hetzij langzaam, — ook het, onder gelijke korte afsluiting van het oor, telkens bij 't verdwijnen van den toon, na iedere herhaling korter en korter aanhouden van den toon, — de korte duur ook van den toon, volgende op het voorbijbewegen van het scherm na lang voortgezette inwerking der golven zonder hoorbaren toon (H. en H a m b u r g e r), — de constantie vooral van het verschijnsel, bij alle personen, onder alle omstandigheden, wat van een mechanisch,

1) Zie zijne studiën over den telephoon, in Kon. Akad. van Wetenschappen. Proces-verbaal van 29 December 1877.

immers uit zijn aard meer wisselvallig, impediment niet te wachten ware. Maar kwalijk daarmede te rijmen is de snelheid, waarmee de afstomping na eenige weinige sekunden ontstaat, bij zwakke, zoowel als bij sterke prikkels, meer nog de korte tijd, — de fractie eener sekunde, — blijkens de volle kracht waarmede, bij vrijen toegang der golven, de toon weer inzet, — tot herstel gevorderd, misschien ook het onbepaald uitblijven van den toon bij het voortbestaan derzelfde golven, die voor korte oogenblikken schier tot het maximum der sensatie opvoerden.

Prof. Donders raadde te beproeven of een korte krachtige trilling van het inwendige oor den slapenden toon niet weer zoude wekken. Een sterke hamerslag, de stoot van een krachtige fluit of trompet, de knal van een pistoolschot, alles nabij het oor, schreeuwen in het oor van de vocaal *i*, met haar hooge boventonen, een stemvork, met groote amplituden vóór het oor of op den schedel: alles werd beproefd. Maar de slapende toon der steeds invallende golven bleef slapen. Een mechanisch beletsel, had, naar het schijnt, door de schudding moeten worden opgeheven.

Hiermede is het althans zeer onwaarschijnlijk geworden, dat een zuiver mechanisch impediment zou in het spel zijn. Maar met gewone afstomping zijn sommige verschijnselen ook moeilijk te rijmen. Inderdaad treedt, bij nadere overweging, de analogie met tetanus, overgaande in het effect van den constanten stroom, meer en meer op den voorgrond. Onder II zullen wij verschijnselen leeren kennen, die ook met deze hypothese nog het best zijn in overeenstemming te brengen.

Overigens, welk nerveus proces in het spel zij, zal het nog de vraag blijven, waar het wordt afgebroken, óf in zijn meest peripherische elementen, óf op een dier

plaatsen, waar het proces, om in het sensorium aan te komen, eene „Schwelle” moet bestijgen.

Zooveel over directe afstomping voor betrekkelijk lage en voor de hoogste tonen. Voor het onderzoek van die voor tusschengelegen tonen, niet onbelangrijk wellicht voor de beslissing van onzekere punten, ontbrak ons de tijd.

II. Afstomping voor een bepaalden toon, onderzocht door vergelijking der gevoeligheid voor dien toon met die voor andere tonen.

Op het oog komt partiële afstomping bij de eenvoudigste proeven aan den dag. Men heeft slechts een wit blad, met een kleiner zwart bedekt, op een bepaald punt te fixeeren, om, bij het richten van den blik op een grijs blad, het witte donker, het zwarte helder te zien uitkomen. Eenige sekunden waren voldoende, om het netvlies-gedeelte, dat aan sterker licht werd blootgesteld, voor het zwakkere van het grijze vlak af te stompen.

Laat zich iets soortgelijks voor een deel der vezelen van de gehoorzenuw constateeren?

De proef is hier niet zoo eenvoudig als voor de gezichtsenuw. Waar het deze gold, konden door hetzelfde licht tal van vezelen op gelijke wijze geprikkeld worden, en men had nu slechts de reactie van een ander licht op de aldus geprikkelde en op niet geprikkelde vezelen te vergelijken. In het oor daarentegen treft iedere toonhoogte slechts bepaalde vezelen; en, om hare afstomping te bewijzen, moet hare reactie met die van een anderen toon (en wel van gelijke intensiteit) op andere vezelen

vergeleken worden. Nu hebben wij gezien, dat rechtstreeks, zonder vergelijking van afstomping der getroffen deelen, alvast voor betrekkelijk lage tonen, daarvan weinig blijkt. Alléén zeer hooge tonen verdwijnen, waarna, zooals wij zagen, lagere van minder energie constant en goed hoorbaar bleven. In zoover mag worden aangenomen, dat het gezegde verdwijnen op afstomping berust, is dus voor die hooge tonen het bewijs van partiëele afstomping van bepaalde vezelen, naast andere — die gevoelig bleven —, geleverd.

Andere proeven bevestigden deze uitkomsten ten volle. De als fig. 2 beschreven toestel stelt in staat, den aan-geblazen toon door draaiing aan den wijzer voortdurend te veranderen. Het gevolg daarvan bestudeerden wij door beweging binnen de grenzen, waar de tonen hoorbaar zijn, maar na eenige sekunden verdwijnen. Nabij het onhoorbare ω verdwijnt de toon in minder dan 1 sekunde, nabij het constant blijven α kan hij tot 30 sekunden aanhouden, om toch ook geheel te verdwijnen: wij bezitten daarvan verscheidene vrij regelmatige reeksen van verschillende personen. Een toon nu tusschen α en ω eindigde na 6 sekunden; terstond daarop werd de wijzer zoo gedraaid, dat de toon tot α naderde, alzoo lager was: eene geringe draaiing in dien zin was bij H. en Hamburger altijd voldoende, om den toon, daaraan eigen, te voorschijn te roepen. Voor dien toon had dus de voorafgaande niet afgestompt. Werd daarentegen de wijzer zóó gedraaid, dat de toon tot ω naderde, dus hooger werd, dan werd hij meestal stellig niet, enkele malen twijfelachtig gehoord, hetzij de beweging snel of langzaam, hetzij over groote of kleine uitgestrektheid had plaats gegrepen. D. en H. hebben in vele proeven den hoogerem toon ieder éénmaal twijfelachtig gehoord, Hamburger nooit. Gaven anderen wel eens aan, hem te hooren, dan

was er vaak grond genoeg voor twijfel of voor het aannemen van eenige hoofdbeweging of druktingsverandering, waardoor hij kon ontstaan. Genoeg, dat zeker de hoogere toon niet of hoogst zelden gehoord wordt, wanneer de lagere was verdwenen.

Dit alles toont ten duidelijkste aan, dat, bij afstomping voor den gehoorde toon, geen afstomping voor een lagere plaats heeft. Voorts zij opgemerkt, dat de hoogere toon, die, na het uitklinken van den lagere, weigerde en door tijdelijke aanwending van het scherm te voorschijn kwam, in sommige gevallen stellig als hooger werd herkend dan de primitieve.

Wij beproefden bovendien, in hoe ver het mogelijk was, den overigens inconstanten toon door langzaam, maar aanhoudend bewegen, terwijl hij nog gehoord werd, hoorbaar te houden, en het bleek, dat dit bij langzaam bewegen in de richting naar α wel eenigermate gelukte in die naar ω daarentegen de hoorbaarheid niet werd verlengd, en dat door langzaam heen en weer bewegen de toon bij mij telkens verdween tijdens het naderen tot ω , om weer te verschijnen tijdens het terugkeeren tot α : in eene reeks van zorgvuldige proeven, met bevestigd hoofd en gesloten oogen, waarbij op geenerlei wijze van de beweging van den wijzer iets werd vernomen, gaf ik telkens met de grootste regelmatigheid de plaats aan, waar de toon verdween en weer hoorbaar werd, — bij bewegingen tusschen $n = 20700$ en $n' = 21400$, en wel ongeveer in het midden, resp. bij het naderen tot α en tot ω . Voor Hamburger, daarentegen, die $n = 15475$ gedurende 8 sek., $n' = 15737$ gedurende 5 sek. hoorde, bleef, bij heen en weer bewegen tusschen n en n' de toon aanhoudend, alléén met sterk crescendo en decrescendo.

Deze verschijnselen zijn het, waarop ik het oog had, toen ik (bl. 20) bij voorbaat op II verwees.

Kan men een afstompen van den gehoorde, zonder afstomping van de aangrenzende, op hetzelfde oor ook bewijzen voor minder hooge en voor betrekkelijk lage tonen?

In twee afgelegen vertrekken bevinden zich twee stemvorken, S van 250, S' van 240 d. trillingen in 1", met electromagneten. De toon wordt door twee buizen *b* en *b'* naar een derde vertrek geleid, waar ze zich vereenigen in de oorhuis B. Onder afwisselend sluiten van *b* en *b'* worden de intensiteiten gelijk gemaakt. Nu wordt, gedurende 1 of meer minuten, door sluiten van *b* of *b'* slechts één toon toegelaten, en daarop, bij afwisselend sluiten van *b* en *b'*, met den anderen vergeleken: het resultaat was, dat de intensiteiten weinig of niet verschillen. Ook wanneer, na de inwerking van S of S', beide tonen gelijkelijk werden verzwakt, zelfs tot het even hoorbare, bleef het verschil gering: waar het bestond, evenwel, in den regel zeker ten nadeele van den toon, die was voorafgegaan. Omtrent de methode, waarbij gelijke verzwakking der beide te vergelijken tonen verkregen werd, zij het voldoende mede te deelen, dat de oorhuis B over een kleine uitgestrektheid zich in twee buizen B' en B'' splitste, die zich weder tot één vereenigden, en dat daarvan B' door een schroef zoo werd samengeknepen, dat de toon weinig of nauwelijks hoorbaar bleef: men had nu, na een krachtigen toon door B ontvangen te hebben, deze slechts volkomen te sluiten, om den steeds aanwezigen verzwakten door de nevengeleiding te hooren en door afwisselende sluiting van *b* en *b'* de verzwakte tonen van S en S' te vergelijken.

Dezelfde proef, verricht bij grooter verschil in toonhoogte (het grootste bij S van 250 en S' van 210 trillingen in

1"), gaf minder overtuigende resultaten, omdat, bij zooveel verschil in toonhoogte, moeilijker over intensiteit te oordeelen is, maar naar schatting toch dezelfde. Ook door toevoeging van het dubbel-otoscoop naar Lucae ¹⁾, toen de proef zoo was ingericht, dat men den toon, die lang had ingewerkt, afwisselend op het eene en het andere oor hooren kon, bleek nimmer recht duidelijk van afstomping van het getroffen oor, — alreeds niet duidelijk voor den toon, die te voren had ingewerkt, en a fortiori niet voor den toon, welks trillingsduur daarvan afweek.

Die uitkomst is zeker vreemd, terwijl, zooals wij onder III uit andere proeven zullen zien volgen, toch ook voor tonen van den hier beproefden trillingsduur de afstomping zeker niet ontbreekt.

III. Afstomping voor een bepaalden toon op het eene oor, onderzocht door vergelijking met denzelfden toon op het andere.

Veel duidelijker dan bij vergelijking op hetzelfde oor, komt bij die van het eene oor met het andere de afstomping aan den dag. Trouwens heeft men hierbij het voordeel, dat men op de beide ooren een en denzelfden toon vergelijken kan, op hetzelfde oor daarentegen alléén verschillende tonen.

Op drie wijzen kan men die afstomping onderzoeken :

1. door vergelijking der intensiteit van denzelfden toon, afwisselend op het eene en het andere oor;
2. door bepaling der richting, waarin de toon binoetisch gehoord wordt;

1) Arch. f. Ohrenheilkunde B. III. 1867 S. 205.

3. door vergelijking van het timbre van denzelfden klank op de beide ooren, nadat zekere partiële tonen van den klank op het eene oor hebben ingewerkt.

1. *Vergelijking der intensiteit van denzelfden toon, afwisselend op het eene en op het andere oor.* Op het oog komt, bij vergelijking, de invloed der lichtwerking aan ééne zijde zeer spoedig te voorschijn. Men heeft slechts het eene oog gedurende eenige sekunden te sluiten en te dekken, terwijl het andere geopend bleef, om, bij afwisselend sluiten der beide oogen, zich van het verschil in intensiteit, waaronder verlichte vlakken of voorwerpen zich vertoonen, te vergewissen. Bij het maken van kleurvergelijkingen met het eene oog in het spectroscop, wordt het andere, dat inmiddels gesloten bleef of slechts in zwak licht geopend, spoedig zooveel gevoeliger en, in verband daarmee, zoo gewijzigd in zijn sensaties, dat nu, bij vergelijking, velen meenen een ongelijkheid hunner oogen te ontdekken, waar slechts verschil van afstomping in het spel is. Treffend is het, hoe men bij waarneming der heldere maan met een kijker, weldra met het gebruikte oog in de vrij donkere ruimte niets meer onderscheiden kan, terwijl men met het andere de zwak verlichte voorwerpen duidelijk ziet. Men vraagt zich af, of door afstomping van het eene oog de gevoeligheid van het andere zelfs niet verhoogd wordt: opzettelijke proeven daaromtrent zijn zeker niet ongewenscht.

Op het oor nu laat zich hetzelfde, wanneer ook niet in gelijke mate, constateeren.

Urbantschitsch ¹⁾ plaatste in ieder oor een gutta-percha-slang met één harer uiteinden, terwijl voor de beide andere uiteinden, naast elkander gehouden, een

1) Archiv f. d. ges. Physiologie. B. XXIV. S. 577.

lage trillende stemvork heen en weer bewogen werd. Door „Einlage von Watte in den Schlauch" werd voor beide zijden gelijke intensiteit verkregen, wanneer die verschilde. Daarop werd de stemvork sterk aangeslagen, 10 tot 15 sekunden voor één der buizen gehouden, terwijl de andere werd dicht geknepen, nu door het strijken langs de trillende beenen gedempt en aldus weer voor dezelfde buis gebracht, tot dat de trillingen hier onhoorbaar werden: voor de andere thans ontslotene buis gehouden, hoorde nu het te voren niet getroffen oor den zwakken toon nog verscheidene sekunden.

De afstomping mag hiermede wel bewezen heeten. Zuiverder is evenwel de proef, wanneer de stemvork niet bewogen wordt. Bij de herhaling der proef, bezigden wij de gaffelswijs verdeelde buis van het Interferenz-otoscoop van Lucae¹⁾, waarvan de hoofdbuis B in een verwijderd vertrek met de gelijkmatig trillende stemvork in verband stond, en de beide takken r en l met hunne ivoren olijven resp. in rechter- en linkeroor staken. D. hoort op het rechter oor den toon zwakker en lager dan op het linker. Vóór de bifurcatie is op B een klem aangebracht, die den te voren krachtigen toon tot een minimum reduceert. Nu wordt r door samendrukking gesloten en de klem van B geopend, waarmede de toon sterker in het linker oor klinkt. Na 2' wordt de klem van B losgelaten: de toon wordt zwak op het linker oor gehoord, bij gelijktijdig openen van r en sluiten van l (steeds op symmetrische plaatsen) bepaald sterker op 't rechter, en verder, bij het afwisselen, allengs sterker op het linker, ten slotte hier zelfs sterker dan op het rechter. Dezelfde proef herhaald, met den krachtigen toon in het

1) Archiv für Ohrenheilkunde. B. III. S. 186 u. 299.

rechter: de gedempte toon daarna op rechter nauwelijks hoorbaar, veel krachtiger op linker, waar hij ook ten slotte wat krachtiger blijft (zooals hij pleegt te zijn).

Gelijke uitkomsten werden ook door mij verkregen, met de stemvork van 250 trillingen en ook met nog andere. Bij mij zijn rechter en linker oor voor stemvorktonen even gevoelig. De proeven, waarbij oorspronkelijk rechter en linker oor aan den krachtigen toon werden blootgesteld, gaven dan ook in allen deele gelijke uitkomsten. Bij verder toeschroeven van B konden wij ook bevestigen, dat op het afgestompte oor de toon vroeger geheel verdween dan op het andere.

2. *Verandering der richting, waarin het geluid binotisch gehoord wordt.*

Met beide ooren hoorende, kunnen wij, ook zonder beweging van het hoofd, de richting, waarin een geluid tot ons komt ¹⁾, nauwkeurig beoordeelen. Hoofdzakelijk worden wij daarbij geleid door de intensiteit van het geluid in de beide ooren. Zijn de ooren gelijk en het hoofd symmetrisch, dan brengt een geluid, uitgaande van eenig punt p in het sagittale vlak, afgezien van asymmetrische reflexen, een gelijk effect in beide ooren voort, en in dit geval is men, omtrent hetgeen voor en achter ligt, onzeker voor enkelvoudige tonen, — merkwaardig genoeg niet voor den klank der menschelijke stem. Ligt het punt daarentegen links of rechts van dat vlak, dan zal het oor aan die zijde sterker getroffen worden, en naar die zijde wordt de richting, waarin wij hooren, nu verplaatst. Zoo wordt dan ook, bij verminderde ge-

1) Vergel. de proeven van Rayleigh. Nature. Vol. XIV. 1876. p. 32.

voeligheid van het eene oor, zoolang men daaraan niet gewoon is, een geluid naar de andere zijde verplaatst, bij gevolg een geluid, dat uitgaat van het sagittale vlak, naar de zijde van het scherper hoorende oor. Hiervan nu is gebruik gemaakt ter herkenning der afstomping aan ééne zijde.

Met de onder III. 1. (bl. 27) beschreven inrichting verkrijgt men van denzelfden toon golven van gelijke intensiteit in de beide ooren. D. en H. hooren dan den toon op korten afstand (30 à 40 cM.) recht voor zich in het mediane vlak. Drukkende op *l*, hoort men hem alléén *in het rechter-*, drukkende op *r*, alléén *in het linker oor*. Vermindert men dan de drukking, waarbij ook het tweede oor meer en meer begint te hooren, dan wandelt de toon van het eene oor naar het mediane vlak en bereikt het als beide ooren den vollen toon ontvangen. Zooals gezegd, is bij D. rechts de toon wat zwakker, hetgeen niet belet, dat, bij gelijke kracht der golven aan beide zijden, de toon nagenoeg in het mediane vlak gehoord wordt: dit moet het gevolg zijn van lange ervaring.

Hetzelfde effect nu als drukking van *r* of *l* oefent de afstomping van linker- of rechteroor uit.

De eerste waarneming van Dove ¹⁾ is daartoe terug te brengen. Wanneer hij van twee unisono klinkende stemvorken, de eene voor het ééne, de andere voor het andere oor hield, en één van deze om hare verticale as draaide, zoodat zij door de vier interferentie-standen ging, hoorde hij daarbij „nicht nur ein blosses Anschwellen und Abnehmen, sondern alternirend den Ton „mit dem einen und dann mit dem andern Ohre.“ — Bij deze proef blijven de golven aan ééne zijde con-

1) Pogg. Annalen B. Cl. S. 692. 1857.

stant en veroorzaken eenige afstomping, zoodat de toon hier zwakker is dan de volle toon der andere zijde, sterker dan de door interferentie gedempte. Dientengevolge verplaatst zich de binotische toon beurtelings naar de eene en naar de andere zijde, wat Dove (wel wat overdreven) noemde: „alternierend mit dem einen und dann mit „dem andern Ohre” hooren. — Later wijzigde Dove ¹⁾ de proef in dier voege, „dass die vor das rechte und linke „Ohr gehaltene Stimmgabeln verschiedene Töne geben” waarbij, bij het gaan door de interferentie-plaatsen „nicht „wie bei unisono tönenden Gabeln abwechselnd die eine „und die andere, sondern die eine und dann beide” gehoord worden. Waarschijnlijk wilde Dove daarmede bewijzen, dat tonen, die niet unisono zijn, in de resp. ooren gehoord worden, zonder kennelijken invloed op elkander uit te oefenen.

Maar vooral zijn het Urbantschitsch ²⁾ en S. P. Thompson, die den invloed der afstomping voor een bepaalden toon op de richting, waarin die toon binotisch gehoord wordt, hebben onderzocht.

De even beschreven proef is afkomstig van Purkyně ³⁾. Langs één der buizen hoorde hij den toon in het toegankelijke oor, langs beide buizen, in het achterhoofd. Die proef was ook het uitgangspunt voor Urbantschitsch. De plaats, waar het geluid binotisch wordt gehoord, werd door verschillende schrijvers verschillend aangegeven. Urbantschitsch nu kwam tot het resultaat, dat hierbij individuëele verschillen in het spel zijn, en dat bovendien de zetel zich bij verschillen in toons-

1) Pogg. Ann. B. CVII. S. 653. 1859.

2) Archiv f. d. ges. Physiologie. B. XXIV. S. 579.

3) Prager Vierteljahrschr. B. III. S. 94. 1860.

hoogte en intensiteit kan verplaatsen. Ongelijke oorscherpte had het gevolg, dat de richting naar de zijde van het scherper hoorende oor verschoven werd. Bij personen nu, die den toon binotisch in het mediaanvlak hoorden, liet hij dien toon aan ééne zijde krachtig inwerken, daarna zwakker in beide ooren en vond hierbij nu de richting naar de zijde van het niet getroffen oor afgeweken, om geleidelijk, en wel vrij spoedig, naar het mediaanvlak terug te keeren.

Wij bepaalden nu ook met de gewone stemvork van 250 trillingen, in een afgelegen vertrek, de binotische plaats of richting (zie tabel, bl. 32, kolom 3) bij een twintigtal personen, daarbij tevens vragende naar verschil in intensiteit (kolom 1) en toonhoogte (kolom 2) der beide ooren: het teeken $<$ in kolom 1 betreft de intensiteit; in kolom 2 geeft de richting der verbindingslijn tusschen D en S aan, op welk oor de toon hooger gehoord werd. Dat iedere aanwijzing daaromtrent vertrouwen verdient, zouden wij niet durven beweren.

Volnummer.	N A A M.	Stand.	Vergelijking van Rechter- en Linkeroor.		Binotisch.	<i>Nadere besch.</i>
			1. Intensi- teit.	2. Hoogte.	3.	
					Plaats of richting.	
1	Donders	hoogl.	D < S	D / S	Med. \ 30 cM.	
2	Engelmann	id.	D < S	D / S	Med. boven vóór.	
3	Huijsman	arts	D = S	D \ S	Med. vóór zich.	
4	Hamburger	Dr.	D = S	D = S	in het hoofd.	Plaats nie aan te w
5	Kagenaar	ama- nuënsis	D = S	D = S	Med. vóór zich.	
6	van Loon	secretaris	D = S	D \ S	Iets links in med.	
7	Idenburg	med. st.	D < S	D / S	Med. vóór zich.	
8	v. Leersum	id.	D < S	D \ S	Med. o vóór zich.	
9	Hattink	id.	D > S	D \ S	Med. in het voorhoofdsbeen.	
10	v. d. Boogaart . . .	id.	D = S		Med. vóór zich.	
11	Du Boeuff	id.	D < S	D / S	Med. vóór zich.	
12	M. Snellen	id.	D = S		Med. vóór zich.	
13	v. Dorsten	id.	D < S	D = S	Med. vóór zich.	
14	Ecker	id.	D = S	D / S		Niet te bep
15	J. A. Tamson	id.	D < S	D \ S	Med. vóór zich.	
16	Dobberke	id.		D / S	Iets links in med.	
17	Das	id.	D = S	D = S	Med. ongeveer 30 cM. vóór zich.	
18	Huijghens	id.		D \ S	Med. dicht bij het voorhoofd.	Plaats niet bepalen.
19	Snel	id.	D = S	D / S	Med. in het achterhoofd.	

Zooals blijkt, geeft het meerendeel voor den binotischen toon plaats en richting aan, waar D. en H. hem hoorden: mediaan vóór zich, — bij gebogen hoofd wat naar beneden. Bij eenigen van deze, vooral bij D. en H., werden nu de proeven van Urbantschitsch her-

haald, bij allen in 't algemeen met hetzelfde gevolg: altijd week de richting af naar de zijde van het oor, dat niet was blootgesteld geworden, — bij D. dan vooral snel en gemakkelijk, wanneer het sterker hoorende linker oor getroffen was. De terugkeer tot het mediane vlak liet zich gemakkelijk met den vinger aanwijzen: hij duurde, naar gelang van den tijd en de kracht der inwerking van 1 tot 30 sekunden. Het effect der afstomping was volkomen na te bootsen, door de buis voor één der ooren dicht te knijpen en zich langzaam te laten openen. — De proef geschiedde met stemvorken van verschillende trillingsduur, altijd met hetzelfde gevolg, ook met zeer hooge toonen, tot nabij het inconstante. Bij D. volgde het effect reeds sterk na korte blootstelling, maar verdween dan ook spoedig. Bij Prof. Engelmann (die veel hooger tonen hoort) niet zoo snel: na inwerking van 30 tot 60 sekunden op het linker oor, was evenwel de toon binotisch geheel in het rechter verplaatst, maar ging weer vrij spoedig naar het mediaanvlak. H. (die ook zeer hooge tonen hoort) verkreeg resultaten gelijk aan die van Engelmann: na de inwerking werd de toon binotisch volkomen in het andere oor gehoord, na 20 sekunden weer in het mediaanvlak.

Met een krachtig vogelfluitje van $n = 7880$ was op de gewone wijze geen resultaat te verkrijgen, blijkbaar alléén, omdat de in de ooren gebrachte buizen het directe hooren van den schellen toon niet uitsloten. H. plaatste zich nu op 20 M. afstand van het fluitje, het rechteroor door een dop goed afgedekt, het linker naar de zijde van den toon gekeerd, het hoofd door de tandmoule bevestigd. Tien minuten lang hoorde hij op die wijze den toon met het linker oor, nu en dan schijn-

Volgnummer.	N A A M.	Stand.	Vergelijking van Rechter- en Linkeroor.		Binotisch.	<i>Nadere beschrijving.</i>
			1.	2.	3.	
			Intensi- teit.	Hoogte.	Plaats of richting.	
1	Donders	hoogl.	D < S	D / S	Med. \ 30 cM.	
2	Engelmann	id.	D < S	D / S	Med. boven vóór.	
3	Huijsman	arts	D = S	D \ S	Med. vóór zich.	
4	Hamburger	Dr.	D = S	D = S	in het hoofd.	Plaats niet wel aan te wijzen.
5	Kagenaar	ama- nuënsis	D = S	D = S	Med. vóór zich.	
6	van Loon	secretaris	D = S	D \ S	Iets links in med.	
7	Idenburg	med. st.	D < S	D / S	Med. vóór zich.	
8	v. Leersum	id.	D < S	D \ S	Med. o vóór zich.	
9	Hattink	id.	D > S	D \ S	Med. in het voorhoofdsbeen.	
10	v. d. Boogaart . .	id.	D = S		Med. vóór zich.	
11	Du Boeuff	id.	D < S	D / S	Med. vóór zich.	
12	M. Snellen	id.	D = S		Med. vóór zich.	
13	v. Dorsten	id.	D < S	D = S	Med. vóór zich.	
14	Ecker	id.	D = S	D / S		Niet te bepalen.
15	J. A. Tamson . . .	id.	D < S	D \ S	Med. vóór zich.	
16	Dobberke	id.		D / S	Iets links in med.	
17	Das	id.	D = S	D = S	Med. ongeveer 30 cM. vóór zich.	
18	Huijghens	id.		D \ S	Med. dicht bij het voorhoofd.	Plaats niet te bepalen.
19	Snel	id.	D = S	D / S	Med. in het achterhoofd.	

Zooals blijkt, geeft het meerendeel voor den binotischen toon plaats en richting aan, waar D. en H. hem hoorden: mediaan vóór zich, — bij gebogen hoofd wat naar beneden. Bij eenigen van deze, vooral bij D. en H., werden nu de proeven van Urbantschitsch her-

haald, bij allen in 't algemeen met hetzelfde gevolg: altijd week de richting af naar de zijde van het oor, dat niet was blootgesteld geworden, — bij D. dan vooral snel en gemakkelijk, wanneer het sterker hoorende linker oor getroffen was. De terugkeer tot het mediane vlak liet zich gemakkelijk met den vinger aanwijzen: hij duurde, naar gelang van den tijd en de kracht der inwerking van 1 tot 30 sekunden. Het effect der afstopping was volkomen na te bootsen, door de buis voor één der ooren dicht te knijpen en zich langzaam te laten openen. — De proef geschiedde met stemvorken van verschillende trillingsduur, altijd met hetzelfde gevolg, ook met zeer hooge tonen, tot nabij het inconstante. Bij D. volgde het effect reeds sterk na korte blootstelling, maar verdween dan ook spoedig. Bij Prof. Engelmann (die veel hooger tonen hoort) niet zoo snel: na inwerking van 30 tot 60 sekunden op het linkeroor, was evenwel de toon binotisch geheel in het rechter verplaatst, maar ging weer vrij spoedig naar het mediaanvlak. H. (die ook zeer hooge tonen hoort) verkreeg resultaten gelijk aan die van Engelmann: na de inwerking werd de toon binotisch volkomen in het andere oor gehoord, na 20 sekunden weer in het mediaanvlak.

Met een krachtig vogelfluitje van $n = 7880$ was op de gewone wijze geen resultaat te verkrijgen, blijkbaar alléén, omdat de in de ooren gebrachte buizen het directe hooren van den schellen toon niet uitsloten. H. plaatste zich nu op 20 M. afstand van het fluitje, het rechteroor door een dop goed afgedekt, het linker naar de zijde van den toon gekeerd, het hoofd door de tandmoule bevestigd. Tien minuten lang hoorde hij op die wijze den toon met het linkeroor, nu en dan schijn-

baar (immers bij aanblazen onder constante drukking) wel iets verzwakkende, maar toch duidelijk genoeg tot aan het einde: op het oogenblik nu van het ontblooten van het linkeroor, werd de toon in dit oor, hoewel gekeerd naar de tegengestelde zijde, krachtig gehoord, een bewijs, dat de gevoeligheid hier voor een oogenblik althans aanzienlijk grooter was dan op het andere.

Ook Thompson ¹⁾ deed zijn proeven bij vrijen toegang der geluidsgolven, zonder buizen, — evenzeer met stemvorken. „Let one ear,” zegt hij: „be fatigued by „listening to a loud pure note. Than let the listener „try to estimate the direction of a sound of the same „pitch. If his left ear has been fatigued, he will invariably imagine the source of sound to be further to the „right, than it really is, and vice versa. — When one „ear was fatigued with a c" fork, no illusory displacement was perceived in an a" fork.”

Zonder deze laatste proef te kennen, had het reeds in ons voornemen gelegen langs dezen weg te onderzoeken, tot welke hoogte-verschillen met den afstompden toon het effect van afstomping zich zou doen gevoelen. De proeven geschieden met de buizen van Lucae in de ooren, en de stemvorken in verwijderde vertrekken. Een daarvan S bleef constant op $n = 250$. De andere S' was door König nauwkeurig gegraduëerd tot 240 en 260. Had nu 250 op het ééne oor 30 sek. ingewerkt en werd dezelfde toon nu ook tot het andere oor toegelaten, dan waren verplaatsing en allengsche terugkeer goed te constateeren. Nu zijn wij op de beschrevene wijze bij machte, in een volgende, en zelfs afwisselend in een en dezelfde proef, langs beide buisjes den toon

1) Philosophical Magazine. 1881. Vol. XII, p. 355.

van de andere stemvork toe te laten en ook daarvan de binotische richting te bepalen. Zonder eenigen twijfel nu liet zich op die wijze vaststellen, dat bij een verschil van weinig trillingen in de sekunde geen merkbare verplaatsing der richting meer aanwezig is.

Boven (bl. 24) maakten wij melding van een nevengeleiding, die ons bij sluiting der hoofdbuis den toon zeer verzwakt deed hooren, verkregen door een splitsing der oorbuis. In betrekking tot de proeven, die ons hier bezighouden, hebben wij een soortgelijke nevengeleiding aangebracht in de toevoerbuis van S, terwijl die van S' in die mate was samengedrukt, dat de intensiteit van den toon van S gelijk stond met die der nevengeleiding. Zoo waren wij in staat gesteld, na langs de hoofdgeleiding door een der oorbuizen op het ééne oor S krachtig te hebben doen hooren, gelijktijdig op beide ooren S sterk en S', naar verkiezing, sterk of verzwakt te laten inwerken. Bij verzwakte tonen kwam nu het verschil der binotische directie voor S en S' duidelijker en bij minder verschil in toonshoogte te voorschijn dan bij de onverzwakte.

In onze proeven wordt de afwijking in graden rechts van het sagittale vlak met +, links van dat vlak met — aangeduid. In het sagittale vlak, naar voren, is dus 0° (naar achteren 180°), in 't rechteroor + 90°, in 't linker — 90°.

Donders. S 250, S' 240 d. trillingen.

Toon op rechteroor wat zwakker dan op linker: binotische richting (b.r.) = — 5°; bij gelijke intensiteiten b.r. = + 25°.

a. Bij (normale) b.r. = — 5°. Inwerking van S op linkeroor, gedurende 2': matig effect, b.r. aanvankelijk = + 35°, allengs minder; intusschen S', bij afwisseling gehoord, b.r. constant = 0°.

b. Bij b.r. = -10° . Inwerking van S op rechteroor, gedurende 2': groot effect, b.r. = -85° , langzaam verminderend; nu afgewisseld met S', b.r. = 0° . Na 30 sekunden geeft S nog negatieve afwijking, stellig meer dan S'.

c. b.r. met S' = -5° . Inwerking van S op rechteroor, gedurende 2': groot effect, b.r. = -85° ; S', bij afwisseling, b.r. constant = -5° .

Intensiteit van linkeror zooveel verminderd (toch nog grooter gebleven dan die van rechter), dat b.r. = 0° .

a'. b'. c'. Herhaling der proeven a., b., c., met overeenkomstig resultaat: b.r. komt echter in b' en c' niet verder dan = 45° .

Blijkbaar is dus de gevoeligheid grooter, wanneer D. een klein negatief overwicht der b.r. laat bestaan: dit kan dus voordeelig zijn, om voor nog kleinere verschillen in trillingsaantal het verschil tusschen S en S' te constateeren.

D. nam verder proeven met S 250, S' 245 d. trillingen.

a. Zwakke klem op linker oorbusje, waarbij b. r. + 10° .

Inwerking S op linkeror, ruim 2', krachtige toon: b.r. = + 70° , S', bij afwisseling, = + 10° ; S' b.r. allengs verminderende van + 70° tot + 10° , waarmede b.r. voor S en S' gelijk zijn.

Het oorspronkelijke overwicht op het rechteroor, door verzwakking van den toon op het linker, bleek ook hier voordeelig.

Voor S 250, S' 247 trillingen verkreeg D. hetzelfde resultaat.

Eindelijk bij 100 zwevingen in de minuut, bij een verschil dus van $1\frac{2}{3}$ trilling, was het resultaat in zoover afwijkend, dat nu ook S' binotisch een afwijking gaf, hoewel eene geringere dan S.

a. Inwerking S op rechteroor, gedurende 2', krachtige toon: b.r. = + 50° voor S, + 30° voor S'.

b. Inwerking op linkeror, ruim 1.5': b.r. voor S — 60° , voor S' 0° .

c. Onder gunstige omstandigheden, inwerking op linkeror, 1.5':

bij verzwakte tonen, achtereenvolgens: S + 70°, S' + 10°, S + 50°, S' + 2°, S + 20°, S' 0°.

Na 30'': S 0°, S' 0°.

H. verkreeg in tal van proeven, bij zeer uiteenlopende toonsverschillen van S en S', gelijke resultaten als D.

Proeven met grooter verschil tusschen S en S', die, na prikkeling en afstomping voor S, geen wijziging hoegenaamd van S' gaven, gaan wij met stilzwijgen voorbij.

Dit gold nog bij S 250, S' 245. Bij een verschil van slechts 100 zwevingen in de minuut was daarentegen, na inwerking van S, de verandering der binotische-directie voor S en S' nagenoeg gelijk, niettegenstaande het hoogte-verschil nog juist werd aangegeven. Alleen met de verzwakte tonen werd ook door H. de verandering der binotische richting voor S' altijd kleiner gevonden dan voor S.

Waarschijnlijk is ons geworden, dat verschil in de afwijking der binotische richting zal te constateeren zijn, zoolang duidelijk verschil in toonhoogte tusschen S en S' te herkennen is.

De hier gevolgde methode is gegrond op de aanwijzing voor de richting van het hooren, voortvloeiende uit het verschil van intensiteit van den toon in de beide ooren. Inderdaad is dit verschil daarvoor het gewichtigste element. Maar in de laatste jaren hebben merkwaardige proeven en beschouwingen bewezen, dat ook verschillen van timbre en van phase en zelfs meerdere of mindere bekendheid met het timbre daarvoor niet zonder betekenis zijn. Ons was het te doen, deze elementen bij onze proeven zooveel mogelijk uit te sluiten, en daarom verdienden de bijna enkelvoudige tonen van de stemvork, met gelijke lengten der geleidbuizen voor de beide ooren,

dus zonder verschil van phase der aankomende geluiden, de voorkeur. Wie nader wenscht te kennen, welke factoren bij 't bepalen der richting werkzaam zijn, raadplege Silvanus P. Thompson (On the function of the two ears in the perception of space. Philos. Magaz. Vol. XIII. 1882. p. 406), die de nieuwste litteratuur heeft verzameld en, na een kritisch en zelfstandig experimenteel onderzoek, zijn resultaat samenvat in de volgende woorden: „Judgments as to the direction of sounds „are based, in general, upon the sensation of different in- „tensity in the two ears; but the perceived difference of „intensity upon which a judgment is based is not usu- „ally the difference in intensity of the lowest or funda- „mental tone of the compound sound (or „clang”), but „upon the difference in intensity of the individual tone „or tones of the clang for which the intensity difference „had the greatest effective result on the quality of the „sound.”

3. *Verandering van het timbre, door afstomping van zekere partiële tonen.*

Wij hebben boven (bl. 2) gezien, dat, naar de theorie van Helmholtz, de trillingswijzen van samengestelde klanken, aan het trommelvlies medegedeeld, door de keten der gehoorbeentjes voortgeplant, in de cochlea in enkelvoudige sinus-trillingen worden ontleed.

Zuiver is evenwel die analyse niet, althans niet voor zeer groote amplituden. Dit vindt dáárin zijnen grond, dat bij dergelijke amplituden de corresponderende elastische krachten daaraan niet meer volkomen evenredig zijn. In dit geval, namelijk, voegen zich bij de trillingen van den resoneerenden toon nog zoodanige, die aan zijne harmonische boventonen beantwoorden.

Dit geldt in de eerste plaats voor stemvorken: bij zeer sterken aanslag van een stemvork van slechts 64 trillingen, die daarbij uitslagen maakte van bijna een centimeter, kon Helmholtz ¹⁾ met resonatoren de boventonen tot den vijfden, d. i. tot dien van 320 trillingen hooren. Maar ook in het oor, en wel bepaaldelijk in het trommelvlies, met zijn asymmetrischen bouw, en in de losheid van het hamer-aanbeeld-gewricht, ligt de grond voor het ontstaan van afwijkingen, waaruit boventonen voortvloeien, die in de daarop werkende geluidsgolven niet lagen opgesloten.

Een krachtige enkelvoudige toon zou dus in de geleidende deelen van het oor een trilling voortbrengen, die, in de cochlea geanalyseerd, *boventonen* zou laten onderscheiden.

Helmholtz meent in een zeker „Klirren,” bij het inwerken van een zeer sterken lagen toon, en in zekere combinatie-tonen daarvan het effect te vinden.

J. J. Müller nu stelde zich voor, den invloed dier boventonen op het timbre aan te toonen. Hij meent dit te kunnen bereiken, door het oor voor een der boventonen af te stompen. Hij gebruikt daartoe stemvorken en wel in de eerste plaats van n , $2n$ en $3n$ (60, 120, 180) trillingen. Nadat hij $2n$ of $3n$ lang voor het eene oor gehouden had, vond hij den klank van n op dat oor „deutlich weicher, leerer, und etwas schwächer”, dan op het andere, wat hij aan afstomping van het ééne oor voor den boventoon $2n$, resp. $3n$, toeschrijft. Gelijke proef deed hij met stemvorken van hoogerem toon, den stemvorktoon $2n$ uit resonator ontvangende langs een gaffelswijs verdeelde buis, met beide einden in de

1) Helmholtz l. c. S. 263.

ooren, aan ééne zijde echter dichtgedrukt, en daarna den grondtoon in de plaats stellende en, door afwisselend een der buizen te sluiten, den klank op de beide ooren vergelijkende. En met gelijk resultaat: „im ermüdeten „Ohr war der Ton stets weniger klangreich und schien „etwas schwächer.”

Wij hebben de proeven van J. J. Müller met dezelfde stemvorken, op blok bevestigd, van 60, 120 en 180 d. trillingen in 1" herhaald, zonder ons van de verandering van timbre door het hooren van $2n$ en $3n$ te kunnen overtuigen. Daarmede zij echter niet gezegd, dat wij zijn uitkomsten betwijfelen, en hopen daarom ook gelegenheid te vinden, die proeven nog eens op te vatten.

De vraag, die Müller zich stelde, liet zich wel op geen andere wijze oplossen: entotische boventonen laten zich door een resonator niet versterken en zijn dus slechts aan verandering van timbre te herkennen. Maar geldt het afstomping voor objectieve tonen, dan kan men een meer directe methode volgen. Men kan, namelijk, vóór het eene oor korter of langer tijd een der boventonen als enkelvoudigen toon laten hooren, en onderzoeken, of dat oor, voor dien toon nu minder gevoelig geworden, een gewijzigd timbre hoort. A priori reeds twijfelde Müller daaraan niet. Had zijne *n* objectief $2n$ doen hooren, wat in zijne proeven niet het geval was, dan zou „selbstverständlich”, zegt hij, de werking op de afgestompte vezelen tot de verandering in timbre hebben moeten leiden. Intusschen is ook voor objectieve tonen, zooals ons gebleken is, op directe wijze althans, afstomping niet zoo gemakkelijk aan te toonen.

Wij beproefden, onder anderen, de boventonen eener opene pijp van n trillingen te verzwakken door het oor met een pijp van $2n$ af te stompen. In de buis van n zijn $2n$,

$3n$, $4n$, enz. als boventonen aanwezig en met den resonator gemakkelijk te hooren. Wij beproefden nu het effect te constateeren van afstomping met den klank voor een pijp van $2n$, waarin naast $2n$, ook $4n$, $6n$, enz. als boventonen voorkomen. Voor elk der pijpen van n en $2n$ werd de drukking afzonderlijk zoo geregeld, dat geen zwevingen te hooren waren en nu één der ooren aan de volle kracht van $2n$ (en zijn boventonen) blootgesteld: na 1' was de klank van n , die, door een elastische buis met de soufflerie verbonden, voor elk der ooren kon worden gebracht, voor het afgestompte oor bij gelijke intensiteit iets weeker, lediger dan voor het andere. — Of ook het timbre der vocaal o , op $B = 120$ gezongen, na afstomping door een stemvorktoon van b en b' iets van zijn karakter verloor ¹⁾, was H. twijfelachtig. Evenwel de a-snaar eener gitaar, die, nabij het einde met den duim krachtig aangeslagen, een merkwaardig timbre met intensieve boventonen, zelfs zonder resonator, laat hooren, verloor iets daarvan op het oor, dat aan den klank van pijpen van $2n$, $3n$ en $5n$, op dezelfde soufflerie naast elkander aangeblazen, was blootgesteld geweest. Intusschen zijn al deze veranderingen in timbre veel moeilijker te constateeren dan de verandering der directie bij het binotische hooren, en bovendien niet in graden te meten, zooals deze. Voor ons doel was er dus geen reden, aan het onderzoek over timbre-verandering door afstomping voor zekere boventonen veel tijd te wijden.

1) Verg. Helmholtz. Tonempfindungen. S. 103.

IV. Afstomping na onregelmatige geluiden.

Tot dusverre heeft men zich weinig of niet bezig gehouden met het onderzoek der afstomping na onregelmatige geluiden. Mach deelt elders een proef mede, die daartoe zou zijn terug te brengen. Wanneer men in een gewone kamer een kort geluid voortbrengt, b. v. door een slag met stok of liniaal op een tafel, dan hoort men dien slag, zonder meer. Sluit men daarentegen de ooren, en trekt men snel de handen weg, onmiddellijk na den slag, dan hoort men een krachtige terugkaatsing van den wand, meestal het sterkst van achter en boven. Bij het herhalen der proef vonden wij, dat na $\frac{1}{40}$ sek. de directe slag niet meer gehoord wordt, dat de terugslag nu het sterkst is, dat hij vrij regelmatig afneemt met den tijd, die er tusschen slag en ontblooting verloopt, en bij ontblooting $\frac{1}{2}$ sek. na den slag, — nauwelijks meer gehoord wordt. Om over het effect te oordeelen, moet men zelf de proef doen: men staat dan verbaasd over de kracht en den duur van den teruggekaatste slag, terwijl men den slag zelf niet gehoord heeft. De onderstelling is nu, dat de slag bij onbedekte ooren deze voor een korten tijd heeft afgestompt en ongevoelig gemaakt voor den terugslag. Mogelijk is het ook, dat bij onregelmatige groote trilbewegingen van den slag ¹⁾ de gereflecteerde stoten niet geheel tot haar recht komen.

Dat gelijktijdig bestaande geluiden belemmerend inwerken op onze gehoorscherpthe voor andere, weten wij bij dagelijksche ervaring uit het gewone leven: waar we

1) Zie bij Hensen (Hermann „Handb. der Physiol.” B. III, 2^e Abth. S. 19) de figuren van een slag, met den phonautograaf verkregen.

nauwkeurig naar iets willen luisteren, wenschen we eene stille omgeving. Dat een lang verblijf nabij een machine, die veel geraas maakt, ons oor onaangenaam gaat aandoen, weten we eveneens; dat arbeiders in ketelfabrieken en stokers op locomotieven vaak hulp inroepen wegens verkregen hardhoorendheid weet ieder oorarts bij ervaring. In dergelijke gevallen hebben we echter meestal met nog zoovele andere factoren rekening te houden, dat we ze niet in de rij onzer physiologische waarnemingen als bewijzen van afstomping mogen aanvoeren.

Op onzen weg ligt het te onderzoeken:

1°. of tijdelijke inwerking van een onregelmatig geluid op een normaal oor daarin verschijnselen van voorbijgaande afstomping in 't leven roept, en, zoo ja, 2°. van welken aard die afstomping is.

Onder onregelmatige geluiden of geruischen hebben we te verstaan: geluidsgolven van niet periodieke trillingen. Om dergelijke krachtige geluiden te voorschijn te roepen, werden door ons achtereenvolgens gebezigd: een electriche schel, een groote ratel, herhaald slaan van een stok op een platte tafel, slaan met een stok tegen een plaat van blik, met een ijzeren hamer op een aanbeeld. De proeven strekten allen, om de afstomping van één oor na te gaan, ten opzichte

a. van andere geruischen en

b. van tonen,

al of niet door vergelijking van het eene met het andere oor.

Voor *a* werden genomen:

horloge-tik, het tikken van een paar nagels op elkaar, een met vilt bekleed valhamertje, enz.

Voor *b.* stemvorktonen en fluisterspraak.

De eerste proeven geschieden met een krachtig klinkende electriche bel: vóór de inwerking werd de af-

stand bepaald, waarop ieder oor het tikken van 't horloge hoorde en onderzocht, of de resp. stemvorken door ieder oor afzonderlijk even goed werden gehoord, zoowel bij geleiding langs caoutchouc-buizen met olijven, als door de lucht. H. richtte de proef in als volgt: de gehoorscherpste voor den stemvorktoon, die langs de buis zijn weg tot het oor vond, werd voor beide ooren gelijk gemaakt, door met een klemschroefje den toevoer van het geluid naar het best hoorende (linker) oor te verminderen. De horloge-afstand werd gevonden te zijn voor het linkeroor 1.7 M., voor 't rechter 1 M. Terwijl nu het rechteroor met een caoutchoucdop gesloten was, werd gedurende 15' de sterk klinkende elektrische schel voor het linkeroor gehouden: onmiddellijk daarna werd de dop van 't andere oor verwijderd en als horloge-afstand gevonden:

	Links:	Rechts:
	0.05 M.	0.55 M.
na 3'	0.1 "	0.6 "
" 7'	0.2 "	0.6 "

De door de thans weer in de ooren gestoken buizen voortgeleide zwakke stemvorktonen werden, zoo links als rechts, zeer goed gehoord: afstomping hiervoor bleek niet.

Na 10', horloge links 0.45 M., rechts 0.65 M.

Links bestond aanhoudend suizen.

Na 30', links 0.57 M., rechts 0.74 M.

Eene in een aangrenzend vertrek staande stemvork met resonance-kast werd links zelfs beter gehoord dan rechts.

Bij herhaling der proef op een anderen dag werd voor het horloge hetzelfde gevonden en werden zacht aangeslagen stemvorken van verschillende toonshoogte op korten afstand beurtelings voor ieder der ooren

gehouden: een sterker hooren van deze op het getroffen dan op het niet getroffen oor bleek hierbij niet.

Experimenten op gelijke wijze ook door anderen (K a g e n a a r, Dr. W a e l c h l i) genomen met den ratel en met slagen op de tafel, leerden, we mogen zeggen, zonder uitzondering, dat, na lang inwerken van het geruisch op één oor, de gehoorscherpthe van dat oor voor andere geruischen op treffende wijze was afgenomen, terwijl vermindering der gehoorscherpthe voor stemvorktonen en voor fluisterstem niet te constateeren was. Daar het aldus bleek, dat krachtige geruischen voor stemvorktonen, die geen hooger trillingsaantal hadden dan 500, niet deden afstompen, bleef ons over, na te gaan, of dit insgelijks gold voor toonhoogten, die meer nabij de grens van de hoogst hoorbare gelegen zijn. Wij maakten daarbij gebruik van ons capillairbuisje (fig. 2). Bij mij zelve verrichtte ik de proef, als volgt:

De toon, voortgebracht door 't capillair buisje beantwoordde aan $n = 18094$. Vóór de proef hoorde ik dezen toon met het linkeroor duidelijk, gedurende 9 sekunden, den horloge-tik op een afstand van 1.5 M. Bij onbewegelijk hoofd, het rechteroor met dop gesloten en ll' (fig. 2) dichtgeknepen, werd gedurende 5' vlak bij het linkeroor met een stok op een blikken plaat geslagen: onmiddellijk daarna, de tanden als te voren in de moule, hoorde ik het horloge op een afstand van slechts 0.75 M., na opening van ll' den hoogen toon, duidelijk, maar wel iets zwakker, en ook iets korter dan 9 sekunden.

Een tweede proef, waarbij als geraasmakende factor gebruikt werd een aanbeeld, waarop met hamers werd geslagen, leverde bij mij hetzelfde resultaat.

K a g e n a a r onderwierp zich aan dezelfde proef op

gelijke wijze: een iets lagere toon werd door hem 6" gehoord in het linkeroor, het horloge op 6 d.M afstand van het oor. Gedurende 5' werd krachtig met hamers op het aanbeeld geslagen: onmiddellijk daarna hoorde hij den toon weer ongeveer 6", maar zwakker dan vóór de proef, terwijl de horloge-afstand van 6 d.M. tot 3 d.M. was teruggebracht.

Ook voor Hamburger verdween de hooge toon niet, na 5 minuten inwerken van het hamer-aanbeeld geraas; wel meende hij steeds den toon zwakker te hooren dan vóór de proef.

Zeker verdienen de trilbewegingen van een knal, een slag, van brommen en suizen nog nader met phonautograaf en veranderlijke resonatoren onderzocht te worden en in verband gebracht met de afstomping, die na hare inwerking op het oor volgt. Er komen brommende geruischen voor, waarin, als in het licht, over zekere uitgebreidheid, alle trillings-snelheden schijnen vertegenwoordigd te zijn.

V. Resultaten, in betrekking tot de theorie, en verdere beschouwingen over de energieën van oog en oor.

De theorie van Helmholtz onderstelt, zooals wij zagen (bl. 2), dat de trillingswijze van samengestelde klanken, in de cochlea, in enkelvoudige sinus-trillingen wordt ontleed, die voor iederen trillingsduur haar omschreven gebied hebben, en hier de zenuwvezelen prikkelen, welker energie de corresponderende toonhoogten vertegenwoordigt.

Met deze leer zijn de resultaten onzer proeven in 't algemeen in overeenstemming.

Zoo vinden wij, in de eerste plaats, dat de afstomping zich hoofdzakelijk bepaalt tot den toon, die inwerkte, d. i., volgens de theorie, tot de geprikkelde vezel. Strekt ze zich, in zekere mate, ook tot de aangrenzende tonen uit, zoo bewijst dit, — wat ook de theorie mocht onderstellen: dat een enkelvoudige toon niet slechts de daarmede volkomen samenstemmende fibrillen in trilling brengt, maar ook in zekere mate de daaraan grenzende en zodoende ook verscheidene vezelen irriteert (allen proportioneel aan afstomping onderworpen), van welker gezamenlijke irritaties het zwaartepunt ligt in den gehoorde toon. Dat deze toon werkelijk de summatie is van verscheiden tonen, met klein verschil in hoogte, blijft onmerkbaar, omdat die tonen enkel subjectief zijn en zwevingen dus ontbreken. Bij allengsche verandering nu van den trillingsduur verschuift dat zwaartepunt gestadig, om weldra een verplaatsing te bereiken, waarbij de toon zich als hooger of lager karakteriseert: de daartoe gevorderde verplaatsing bepaalt wat men de fijnheid noemt van het gehoor. Netvlies en huid verhouden zich op gelijke wijze tegenover de inwerking en het voortschrijden resp. van een lichtpunt en de punt eener naald.

Bij zeer hooge tonen komt, zooals wij zagen (bl. 8 e. v.) een complicatie voor: de toon verdwijnt na korten duur, niet door afstomping, maar door overgang van den tetanus, waarmede het aanhouden van den toon te vergelijken is, in het effect van den constanten stroom, waarbij het hooren ophoudt. Maar, volkomen in overeenstemming met de theorie, verschijnt de toon op nieuw bij 't geringste dalen, ook wanneer hij dan nog tot de inconstante blijft behooren. En komt hij niet evenzeer terug bij het stijgen, zoo is het de vraag, of, bij de geringe verhooging, waarover men beschikken kan zonder

den toon absoluut onhoorbaar te maken, de dan getroffen vezelen niet reeds den invloed der voorafgegane trillingen genoegzaam hadden ondervonden en eenvoudig in haren toestand volhardden. Men bedenke, dat ook een verandering van toonshoogte voor zoo kleine verschillen hier niet meer te hooren is. Wij hebben dus geen recht de waargenomen verschijnselen als strijdig met de theorie te verklaren.

Eindelijk, wat het effect van onregelmatige klanken betreft, is het wel opmerkelijk, dat de afstomping voor korte geluiden, zooals het tikken van een horloge, zich zooveel meer doet gevoelen dan die voor regelmatige tonen. Tot verklaring daarvan dienen de onregelmatige geluiden nader bestudeerd te worden. Bovendien is het de vraag, in hoeverre, ten aanzien van geluiden, die het karakter van regelmatige tonen missen, andere deelen van het inwendige oor, bepaaldelijk de vliezige deelen van het vestibulum, een bijzondere beteekenis hebben.

Het zal den lezer niet ontgaan zijn, dat wij de afstomping bestudeerden in bepaalde gehoorzenuwvezelen, in vergelijking met de zenuwvezelen van een deel van 't gezichtsveld (verg. bl. 3). Zodoende werden de toonshoogten der eerste met het plaatsgevoel der laatste in verband gebracht. In betrekking daartoe, zij het mij geoorloofd hier eenige beschouwingen, die uit gesprekken met Prof. Donders zijn voortgevloeid, te laten volgen.

De gewone opvatting is deze, dat toonshoogte en kleur de analoge energieën zijn van den gehoor- en den gezichtszin. „Wie das Ohr”, zegt Helmholtz, „Schwingungen von verschiedener Dauer als Töne ¹⁾ verschie-

1) Tonempfindungen, S. 244.

„ner Höhe auffasst, erregen Aetherschwingungen von verschie-
 „schiedener Dauer im Auge die Empfindung verschiedener
 „Farben.“ Hij vergelijkt verder de „Gesichterscheiningen,
 „die sich auf Farbe beziehen“, met de „Verschiedenheiten
 „der Qualität des Tones, nämlich Tonhöhe und Klang-
 „farbe“, — de eerste zoowel als de laatste gebonden
 aan specifieke zenuwvezelen, waarvan iedere vezel dan
 verder alleen „Unterschiede der Stärke der Erregung“
 hebben zou.

Dat aan beide — aan verschillen van kleur en van toons-
 hoogte — verschillen van trillingsduur ten gronde liggen,
 gaf gereede aanleiding, beide voor analog te houden. Maar
 die trillingen zelve behooren tot een geheel verschillende
 orde. Voor ééne trilling der menschelijke stem een *bil-
 lion* trillingen van het zichtbare spectrum! Deze brengen
 de moleculen en atomen in beweging en geven photo-
 chemische processen, gene daarentegen de kleine massas
 en werken rechtstreeks zuiver mechanisch.

Om de analogie te bewijzen van toonhoogte en kleur,
 hebben wij dus andere gronden noodig: staan ze althans
 in gelijke betrekking tot de zenuwvezelen?

Wat de geluidsindrukken betreft, heeft *Helmholtz*
 in het licht gesteld, hoe morphologie, physica en physi-
 ologie, in de schoonste overeenstemming, er toe leiden,
 onderscheidbare toonhoogten aan afzonderlijke zenuw-
 vezelen te verbinden. En *Thomas Young* had, zooals
 wij weten, reeds veel vroeger voor zijne drie fundamen-
 teele energieën van den kleurzin, op iedere gevoels-area
 van het netvlies, drie vezelen gepostuleerd. Bij het ont-
 werpen zijner theorie was *Young* daartoe alleszins ge-
 rechtigd. Men kende destijds noch de eindiging der ge-
 zichts-zenuwvezelen noch hare peripherische elementen.
 Maar nu gebleken is, dat er slechts gelijksoortige kegels en

staafjes, in de fovea centralis enkel gelijksoortige kegels te vinden zijn, moet de onderstelling, als strijdig met de werkelijkheid, vervallen. In Helmholtz zal ze ook zeker geen verdediger vinden. Wel is waar, verklaart hij in zijn „Tonempfindungen” (S. 244), dat de twee hypothesen, zijne eigene, betreffende den gehoorzin, en die van Young, betreffende den kleurzin, „die Vorgänge in den Nerven der beiden vornehmsten Sinne des Menschen auf dasselbe einfache Schema zurückführen, welches wir von den Bewegungsnerven kennen.” Maar in zijne physiologische Optik” (S. 292) merkt hij zelf op, dat de hypothese der drie vezelen „nicht das wesentliche ist” der theorie van Young. Hij houdt zich aan deze „in der ursprünglichen, handgreiflicheren Gestalt, die eine grössere Bestimmtheit der Vorstellung und des Ausdrucks giebt, wenn auch nur im Interesse der Darstellung”, en zegt met zooveel woorden, dat de theorie even voldoende zijn zou, „wenn man die Annahme machte, dass innerhalb jener einzelner Faser dreierlei von einander verschiedene Thätigkeiten auftreten könnten.” Afgezien nu daarvan, dat de morphologie, bij de volkomenheid die zij alreeds bereikte, in gebreke blijft, aan de hypothese der drie vezelen de hand te reiken, nopen ons positieve gronden van algemeenen en van bijzonderen aard ¹⁾, om in dezelfde vezel der gezichtsenuw meer dan één proces aan te nemen. En zoo luidt ons antwoord op de gestelde vraag ontkennend, namelijk: dat, terwijl elke onderscheidbare toonhoogte haar eigen vezelen heeft, er geen grond bestaat de verschillende processen der kleursensatie aan afzonderlijke vezelen te verbinden.

1) Verg. o. a. Donders, in Ann. d' Oculistique. T. LXXXVII. p. 205. 1882..

En hiermede hangt het samen, dat de kleuren gemengde sensaties vormen, de toonhoogten zelfstandig blijven; dat alle kleuren zich vormen uit een klein aantal fundamenteele, bij de tonen zooveel energieën te onderscheiden zijn als toonhoogten; dat de kleuren met hare overgangen, in een bepaalde orde, zich rangschikken in een cirkel, met typische kleuren en keerpunten, de tonen een enkele reeks vormen van de hoogste tot de laagste, zonder speciëel karakter, aan deze of gene eigen; dat, eindelijk, naast de kleuren (de verschillende partiële processen) zich, als totaal-proces, het neutrale wit vertoont ¹⁾, waarvan bij de tonen het analogon niet te vinden is.

Zoo komen wij terug tot ons uitgangspunt: de analogie der toonhoogten — niet met de kleuren, maar met de plaatsmerken „Localzeichen” (Lotze). Inderdaad is aan ieder gevoel in het oog en op de huid, afgescheiden van het karakter van kleur, van temperatuur en drukking, een kenmerk van plaats verbonden. In de gehoorzenuw ontbreekt dat merk, als zoodanig. Kunnen wij oordeelen over de richting, waarin het geluid tot ons komt, 't is alléén krachtens de ongelijke effecten van hetzelfde geluid op de beide ooren en eenigermate uit eigenaardige veranderingen van een bekend timbre, in verband met de richting, waarin de respectieve golven het oor bereiken (verg. bl. 37). De vezelen der gehoorzenuw missen dus het plaatsmerk. Wat voor het „Localzeichen” in de plaats treedt, als verbonden aan iedere vezel, dat is de onderscheiding van toonhoogte. Evenals de eindorganen met hunne plaatsmerken, liggen die van hoogte-verschillen in een bepaalde orde, die zich voor beide ook in 't centraal-

1) Verg. Onderzoekingen physiol. labor. D. VI. bl. 100.

orgaan gewijzigd schijnen te herhalen. En, evenals in de huid en in het netvlies, smelten de indrukken der onmiddellijk aan elkander grenzende elementen tot één sensatie samen. Bij den aanleg der respectieve organen, zoo stellen wij ons voor, werd met de vermeerdering der weefselementen, in verband met hunne dispositie, aan elk element, naast de algemeene energie, het resp. merk reëel of virtuëel verbonden. Bij de genetische verklaring houde men in het oog, dat, gaven de gehoorvezelen slechts een stijgende reeks van toonshoogten, onverschillig naar welke functie, de geluidsgolven zelve, met hare interferenties, daarin de harmonische betrekking der tonen, in verband met den trillingsduur, en het timbre, in verband met resonance, noodwendig moesten te voorschijn roepen, terwijl de plaatsmerken in het oog en op de huid, in verband met wederzijdsche contrôle, onder den invloed der ervaring, de voorwaarden vonden voor hunne ontwikkeling.

Zoo schijnt er inderdaad voldoende grond, om in plaatsmerken en toonmerken homologe energieën te zien. Op een gewichtig punt van verschil moge echter worden gewezen. Het plaatsmerk is als een uitwendige stempel. Naast hare specifieke sensatie, bij alle verschillen van kleur en intensiteit, brengt iedere gezichtszenuw-vezel haar eigen plaatsmerk mede. Aan het directe zien beantwoordt de fovea centralis, en de haar omringende punten hebben, in verband met hunne ligging, ieder hunne corresponderende richting in betrekking tot het gefixeerde. Doch waarin bestaat dat merkteken? Loffelijke pogingen zijn aangewend, om voor verschil van plaats verschil van de sensatie op te sporen; maar aannemelijk schijnt het niet, dat grond en oorsprong van het plaatsmerk daarin zouden gevonden zijn. Dit geldt voor de

huid zoowel als voor het oog: men herkent de plaats die getroffen is, maar hoe en waardoor — daarvan kan men zich geen rekenschap geven.

Daarentegen herkennen wij verschil van toonshoogte ontwijfelbaar in de sensatie zelve. Zij is er een integreerend deel van. De hoogste tonen, zegt Preijer, zijn als de steek eener fijne naald; breed daarentegen is het geluid der lage tonen. Dat zijn kenmerken, die den klank zelveu betreffen. Er is dus een gewichtig punt van verschil tusschen plaatsmerk en toonmerk. Mogelijk is het evenwel, dat het later blijk en zal minder essentiëel te zijn, dan het zich thans voordoet.

Beantwoordt nu de toonshoogte werkelijk aan de plaatsmerken, dan rijst de vraag, of in de gehoorvezel ook nog iets schuilt van de verscheidenheid der sensatie, die wij aan de vezelen der overige zintuigen, buiten het plaatsmerk, toekennen.

Vroeger lag het voor de hand, verschil van timbre als zoodanig op te vatten. Maar de verklaring daarvan (door Ohm en door Helmholtz) uit de trillingswijze en hare analyse in sinustrillingen schijnt geheel te voldoen. Toch moge men vragen, of kwalitatief verschil van prikkeling derzelfde vezel en daaraan gebonden verschil van sensatie dan geheel zou zijn uitgesloten. De theorie onderstelt, dat de trillingswijze in zuivere sinustrillingen wordt geanalyseerd en dat iedere vezel der membrana spiralis slechts voor ééne enkelvoudige sinustrilling vatbaar is. Analyseeren wij een klank met kogelvormige resonatoren, dan krijgt inderdaad ieder resonator slechts zijn corresponderende sinustrilling. Maar analyseeren wij den klank met snaren, dan neemt iedere snaar daaruit niet slechts haren grondtoon, maar ook haar boventonen op. Dit is bijv. het geval bij het schoone experiment van Helm-

h o l t z ¹⁾, dat de verschillende vocalen door resonance in de vrije snaren van het klavier doet weerklinken. Prof. D o n d e r s liet mij een treffende proef hooren op een gitaar met slechts 2 snaren, een zilveren A-snaar, en de gewone *g*-snaar op *a* gestemd, volkomen zuiver het octaaf van A. Terwijl de vinger op het midden der A-snaar rust, wordt ze niet ver van haar bovineinde met den duim krachtig aangeslagen, waarbij ze haar octaaf *a* laat hooren, met zeer sterke boventonen, een timbre, geheel afwijkende, van den klank der *a*-snaar zelve, waar ook aangeslagen. Maar deze laatste, recht zuiver gestemd, laat zich ook door de *a* der A-snaar krachtig in trilling brengen, en haar timbre is daaraan dan zoo volkomen gelijk, dat men, na het dempen der A-snaar, deze meent te hooren doorklinken en zich eerst overtuigt de *a*-snaar gehoord te hebben, als men daarop ook deze dempt. Blijkbaar gaat dus de trillingswijze der halve A-snaar geheel op de *a*-snaar over.

Door het aanslaan van *a*, $a\ 8^\circ$ enz. op de *a*-snaar kan nu ook verder A (resp. met één, met drie knopen, enz.) in trilling geraken en den toon *a*, $a\ 8^\circ$ enz., met timbre, naderende tot dat der *a*-snaar, doen hooren.

Zouden nu ook de langere vezelen althans der membrana spiralis niet partiëel in een of meer boventonen trillen kunnen? Zoo ja, dan zullen ze ook die boventonen van den klank overnemen, van een vocaal bijv., op gelijke wijze, wanneer ook veel zwakker en (bij minder bepaalden eigen toon) onregelmatiger, als de snaren van het klavier in de proef van Helmholtz.

En wat die vezelen overnemen deelen ze alvast in den vorm der mechanische irritatie aan de zenuwvezelen mede,

1) Tonempfindungen. S. 65.

waarbij immers ook wijziging van den vorm der geleidingsgolven in de zenuwgeleiding te wachten is: dat deze voor vormwijziging in hooge mate vatbaar zijn, ligt opgesloten in den korten duur der trillingen, die nog tot haar recht komen, zonder in het effect van den constanten stroom over te gaan (vergl. bl. 17). Duidelijk is het bovendien, dat, wanneer de vorm der trillingen voor de zenuwvezel onverschillig ware, in de medetrilling der vezelen van de membrana spiralis een deel der trillingswijze van den klank voor het timbre zou verloren gaan. — Op deze wijze nu kunnen wij ons voorstellen, dat ook in iedere zenuwvezel op zichzelf de trillingswijze der fibrillen tot het karakteriseeren van het timbre bijdraagt.

Uit het laatste gitaar-experiment (het resoneeren van A bij het aanslaan van *a*) volgt, dat een enkelvoudige toon van *n* trillingen in 1" niet slechts elastische fibrillen van *n* eigen trillingen, maar ook die van $n : 2$ (met één knoop), en verder van $n : 3$ (met twee knopen) enz., doet medetrillen. Zouden dan ook niet de fibrillen der membrana spiralis met eigen toon van $n : 2$, de trillingen van *n* kunnen aannemen met een knoop? Zoo ja, dan zal de enkelvoudige toon van *n* ook eenigermate dien van $n : 2$ doen hooren. En nu verdient het zeker de aandacht, dat juist enkelvoudige tonen bijzonder dof en laag klinken, en dat men zeer geneigd is ze voor een octaaf lager te houden dan ze werkelijk zijn ¹⁾: deze toon zou subjectief of liever entotisch kunnen aanwezig zijn en zich te eer als subjectieve entotische ondertoon in den klank kunnen doen gelden, omdat de boventonen er in ontbreken. Deze onderstelling mocht te eer worden uitgesproken, omdat de mogelijkheid

1) Vergel. Helmholtz, Tonempfindungen. S. 119.

bestaat, ze experimenteel te toetsen. De weg moet daartoe worden ingeslagen, dien J. J. Müller volgde (verg. boven bl. 38), om te onderzoeken of van zeer sterke enkelvoudige tonen entotisch de boventonen worden voortgebracht. Men zou nu den onderton $n : 2$ kunnen afstompen en onderzoeken, of daarna n hooger en lediger klinkt en niet meer met $n : 2$ te verwarren ware. Terwijl bij de herhaling der proeven van Müller het effect der afstomping ons niet recht duidelijk geworden was, hebben wij ons aan de laatste proef nog niet gewaagd.

Zoo zouden in de vezelen der gehoorzenuw, evenals in andere zintuigzenuwen, verscheidenheid der sensaties ook met verscheidenheid der processen in verband staan, die, terwijl ze in de peripherische elementen al aanstonds begonnen met verscheidenheid der photochemische werking, zich in de vezelen der gezichtszenew ook als chemisch verschillende processen konden voortplanten, in die der gehoorzenuw, in verband met de mechanische irritatie, zich tot den vorm der geleidingsgolven zouden bepalen.

De hier medegedeelde beschouwingen brengen een nieuw element in de productie van het timbre. Komt het als zoodanig in aanmerking, dan zou, zooals men bij eenige overweging gereedelijk zal inzien, de betrekkelijke moeilijkheid, om in elk timbre de partiële tonen te onderscheiden, minder raadselachtig zijn. Overigens verwerpe men de onderstelling niet, omdat de theorie schijnbaar reeds voldoende van de verschillen van timbre rekenschap gaf. De ontwikkeling van een organisme gaat met alles te rade, 's menschen hand slechts met één doel en één middel. Natuurkeus verzuimt niets, kunstkeus alles — behalve het éne wat zij beoogt.

S T E L L I N G E N

I.

Het is niet bewezen, dat het timbre uitsluitend uit kwalitatief onveranderlijke eigen tonen van verschillende vezels der gehoorzenuw wordt samengesteld.

II.

Schluckpneumonie na tracheotomie wordt het best voorkomen door permanente tamponnade der trachea.

III.

Het is noodzakelijk, om, op grond van het klinische symptomenbeeld, een onderscheid te maken tusschen amyotrophia spinalis progressiva en dystrophia muscularis progressiva. Deze laatste „progressieve spieratrofie” vindt hare oorzaak in een primair lijden der spieren.

IV.

Tabes dorsualis is geene systeemziekte.

V.

Op goede gronden heeft Nencki de anaërobiose, in den letterlijken zin van het woord opgevat, tegen Gunning verdedigd. Toch bewijzen zijne proeven niet, dat er organismen zijn, die zonder zuurstof leven kunnen.

VI.

Een contagium animatum in den zin van Henle moge verdedigbaar, op goede gronden zelfs theoretisch zeer waarschijnlijk zijn, het is tot nog toe voor geen der bekende infectieziekten streng bewezen.

VII.

De veranderingen, die aan eene extremiteit optreden bij chronische ontsteking van een harer groote gewrichten, laten zich het best verklaren door trophischen zenuw-invloed.

VIII.

Bij verwondigen in de regio ciliaris moeten wij streven door antiseptische behandeling het oog te bewaren.

IX.

De expectatieve methode in het tijdperk der nageboorte mag slechts in spoed eischende gevallen door die van Crédé worden vervangen.

X.

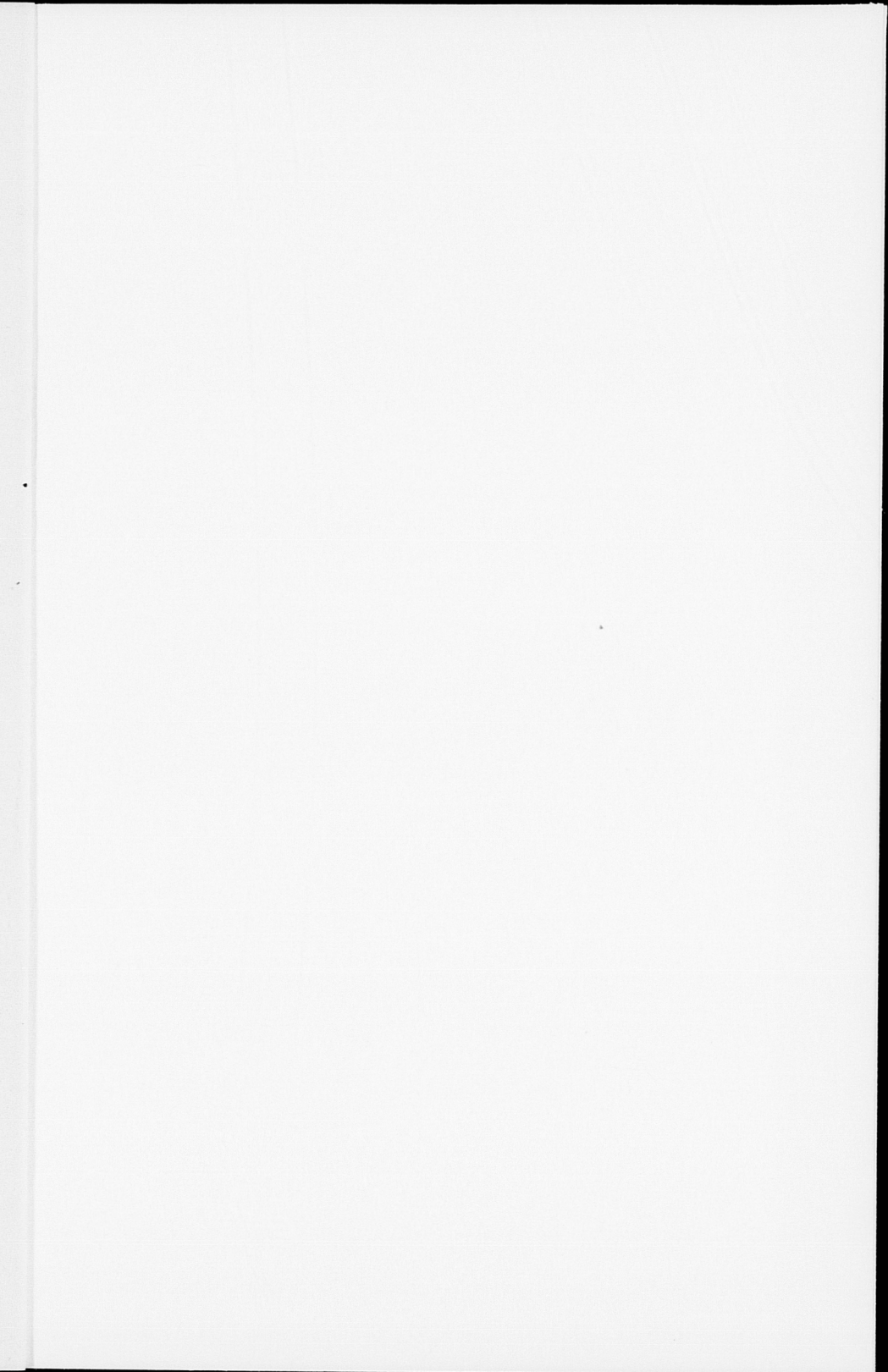
Weeënzwakte is op zich zelve nooit indicatie tot het aanleggen van den forceps.

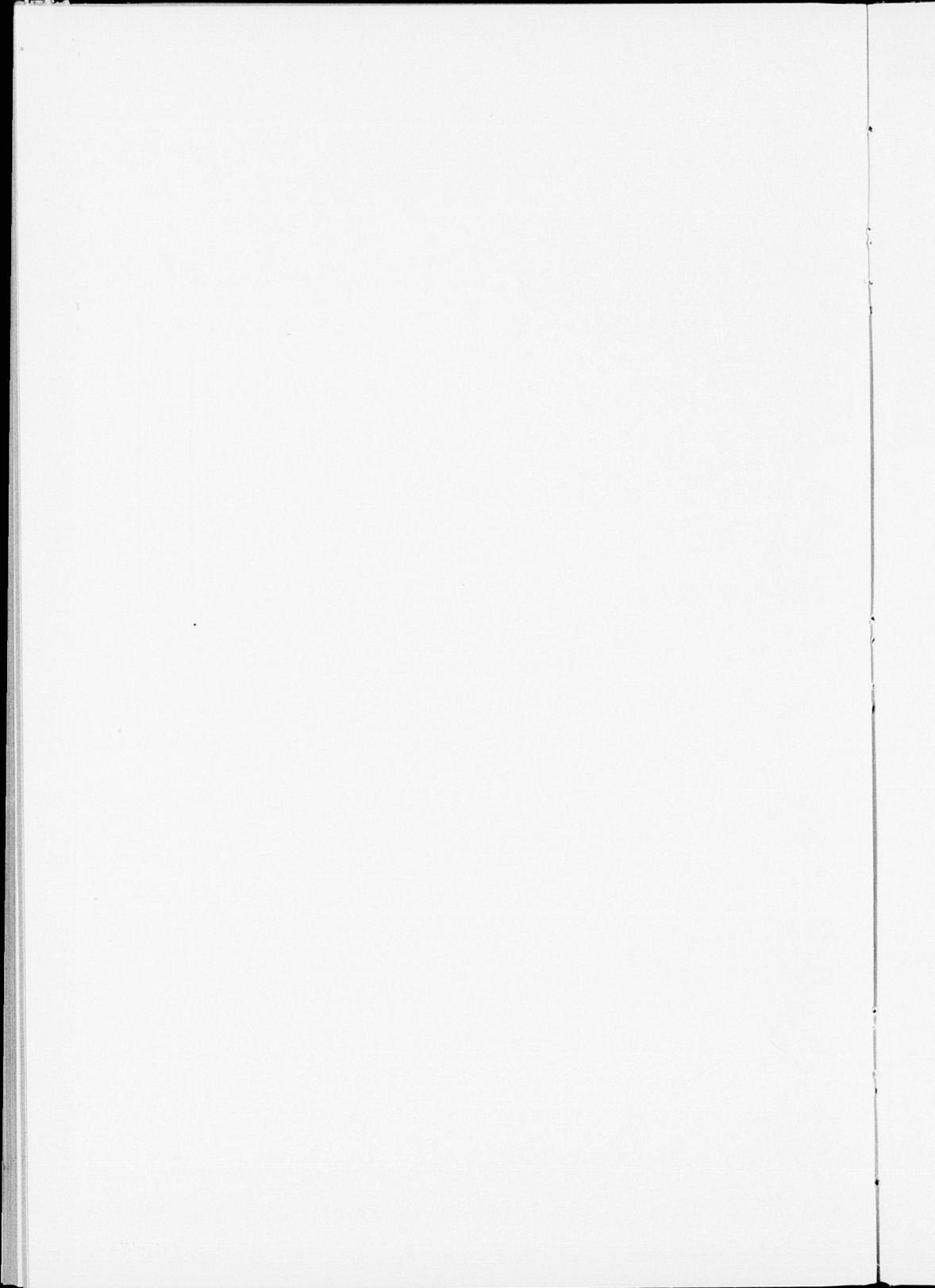
XI.

Nylander's alcalische bismuthoplossing is het beste reagens voor suiker in urine.

XII.

In Art. 26 van de Wet, regelende de uitoefening der Artsenijbereidkunst (S. 61), moeten de woorden: „die voorhanden moeten zijn” veranderd worden in: „die voorhanden zijn.”





BOEKBINDERIJ
OELLERS
VALKENBURG