

IETS OVER HET IJKEN IN HET ALGEMEEN, EN DAT VAN STEMVORKEN IN HET BIJZONDER,

DOOR

F. A. T. DELPRAT.

Naarmate wetenschap, nijverheid en handel eene hoogere vlucht namen, werd ook de behoefte meer en meer gevoeld, om, ter juiste waarneming en meting van natuurkrachten en ter bepaling van de juiste waarde van producten, een stelsel van nauwkeurige maten, gewichten en geldswaarden te bezitten. Waarschijnlijk was ook wel de soms overdreven^u zucht om van deze vorderingen en uitgebreidere transactiën praktische resultaten in den vorm van winsten te behalen, hierop van invloed.

Zoo ontstonden er dan in alle beschaafde landen vaste leggers of *standaarden*, voor lengtematen, inhoudsmaten en gewichten, en verkreeg men ook door dezen het middel om de maat voor de geldswaarde, de munten, nauwkeurig te bepalen. Met deze, met de uiterste zorg bewaarde standaarden, moesten nu jaarlijks van regeeringswege de in gebruik zijnde maten en gewichten vergeleken en gecontrôleerd worden. Dit werd het werk van den ijk, die jaarlijks de gevorderde nauwkeurigheid der maten en gewichten door het opslaan van een merk, het ijkmerk, waarborgt.

Deze ijk werd in latere tijden ook nog uitgebreid tot de werktuigen, die gebruikt worden om met de juiste geijkte maten en gewichten te

meten, en zoo worden thans, ook hier te lande, niet alleen de gewichten geïjkt, maar ook de weegwerktuigen; niet alleen de liter, maar ook de toestellen waardoor men, met dien liter, bijv. eene hoeveelheid lichtgas kan meten, namelijk de gasmeters. Dit is dus eigenlijk eene afwijking van het oorspronkelijke, zuivere begrip van den ijk. Het Rijk toch waarborgt wél de juistheid van den liter, maar hoe men met dien liter lichtgas moet meten, dit is een physisch vraagstuk, dat wél door wettelijke of gemeentelijke voorschriften kan geregeld worden, maar dat toch niet meer tot het eigenlijk karakter van den ijk behoort. Hetzelfde geldt van het ijken van de weegwerktuigen. Zoo voortgaande, zal men allengs op een verkeerden weg afdwalen. Met eenige handigheid en kennis toch, kan men met eene juiste weegschaal valsch wegen, met een gasmeter valsch meten, en, zoo zoude men met hetzelfde recht werktuigen kunnen vergen, om bijv. bij het meten van wollen stoffen het te sterk rekken langs de metermaat te voorkomen, en daardoor te beletten dat de koper benadeeld wordt. En, wat het nameten van lichtgas betreft, beter ware het eene eenheid van lichtsterkte, eene photometrische eenheid vast te stellen, zooals sommige rijken reeds gedaan hebben, o. a. Engeland en Frankrijk, waarmede dan voortdurend gecontrôleerd kan worden, niet of de hoeveelheid lichtgas, maar of de daarbij verkregene lichtkracht, aan de bepalingen en contracten voldoet.

Doch wij zouden afdwalen van het hoofddoel van dit opstel, en haasten ons nu te spreken over een geheel anderen ijk, van een waarborg namelijk omtrent het aantal regelmatige geluidstrillingen, die het oor bij het waarnemen van een muzikalen toon ontvangen moet.

Aan de lezers van het *Album* behoeven wij wel niet uitvoerig te herinneren, hoe muzikale tonen worden voortgebracht door de elkander regelmatig opvolgende trillingen van een toongevend lichaam, die, voortgeplant naar het oor door de middenstof, meestal de lucht, waarin dat lichaam en het oor zich bevinden, in dit laatste de gewaarwording van geluid opwekken. Zoo ook is het algemeen bekend, dat met de snelheid dier trillingen de toonhoogte rijst. De toonhoogte is dus afhankelijk van het aantal trillingen, dat in eene zekere tijdseenheid, bijv. de seconde, wordt volbracht. Eene dubbele snelheid geeft de octaaf, enz. De snelheid van voortplanting of verspreiding van het geluid blijft daarbij onveranderd.

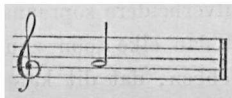
Componisten, of zooals men thans spreekt: toonzetters, toondichters,

moeten nu weten, welk geluid, welke toonhoogte, met een door hen ter nedergeschreven noot overeenkomt. Want, elke toon brengt zijne eigenaardige uitwerking voort op den hoorder. Bij een hoogen of lagen toon is die uitwerking physiologisch en psychologisch zeer verschillend. Een hooge toon geeft het denkbeeld van inspanning, verheffing, verrukking, extase; een lage toon daarentegen van somberheid, van ernst, nadenken, kalmte, kracht. En, al mogen nu ook de uitdrukking en houding van haar of hem, die zulk een toon met de stem voortbrengt, eenigermate met physiologische oorzaken in verband staan; ook op de hoorders is toch evenzeer eene andere gelaatsuitdrukking, bij zenuwachtige gestellen zelfs eene andere houding, waar te nemen. Bij het volgen van een diep afdalende tonenreeks, zien de meeste toehoorders ernstig; het is alsof zij met geopenden mond de tonen tot in den schoot der aarde willen navolgen. Geheel anders wordt de uitdrukking wanneer zij eene hooge zilverheldere sopraanstem als tot in den hemel willen nastaren. Zoo heeft dan elke toon zijn eigen karakter, en moet de componist zekerheid hebben, dat dit karakter bewaard blijve door alle tijden heen. Bovendien, er zijn grenzen voor stemmen en instrumenten, eene hoogte of laagte die niet kan overschreden worden. Hooge tonen, die met de stem niet dan na zeer langdurige oefening, en dan nog slechts met inspanning kunnen voortgebracht worden, mogen, zelfs van de volkomenste en geoefendste stemmen, niet dan met spaarzaamheid en voorzichtigheid worden gevegd, wil men het schoone orgaan niet spoedig verwoesten. Evenzoo hebben de lage tonen hunne grenzen. En, dit geldt niet alleen voor de stem, maar ook piano- en vioolsnaren kunnen maar eene zekere spanning verdragen, en, bij al te geringe spanning weigeren zij geluid voort te brengen.

Ware het nu mogelijk dat dezelfde geschreven noot niet meer met denzelfden toon, dat is met hetzelfde aantal trillingen overeenstemde, maar allengs hooger of lager werd, dan zouden de uiterste tonen al ras buiten de grenzen der mogelijkheid kunnen vallen, het muziekstuk niet meer uitvoerbaar zijn, en de oorspronkelijke bedoeling der compositie werd niet meer teruggegeven.

Volksgezangen bijv. moeten zoo geschreven worden, dat zij binnen het bereik van gewone, weinig of niet geoefende stemmen vallen; dat zij krachtig, vrij, ongedwongen, met ruime borst kunnen gezongen worden; doch aan dezen eisch zoude niet voldaan worden, zoo de geschreven tonen hooger waren geworden dan oorspronkelijk bedoeld

was. En zulk een klimmen nu heeft werkelijk allengs plaats gevonden. Uit sommige compositiën, zooals die van GLÜCK, kan reeds opgemaakt worden, dat zij voor eene lagere stemming werden geschreven. Deze rijzing van toonhoogte zou voortdurend hebben blijven doorgaan, zoo niet eindelijk in Frankrijk maatregelen daartegen beraamd waren geworden, die nog wel niet door andere landen zijn overgenomen, maar allengs toch van algemeenen invloed zullen zijn. In Frankrijk namelijk is, onder waarborg van de regeering, eene officiële A ingevoerd, en worden stemvorken door het Rijk afgeleverd en gestempeld, geijkt, die den officieel aangenomen toon A (*la*) aangeven, en waardoor dus alle overige tonen van den toonladder bepaald zijn. Deze normale geijkte stemvork, de *diapason normal*, geeft dan den toon aan, die in de muziek aldus geschreven wordt:



Straffen zijn er nu wel niet vastgesteld op het bezigen van eene andere stemming; maar, behalve straffen, zijn er nog wel andere huis-middeltjes. Zoo weigert de regeering subsidiën aan muziekscholen en inrichtingen, waar de normale stemming niet is aangenomen; op alle rijks instellingen is zij verplichtend, zoo ook bij de militaire muziekkorpsen, enz.

Zien wij nu in de eerste plaats, waardoor deze voortdurende klimming in de stemming ontstond, en hoe een verder klimmen niet meer te vreezen is.

De allengs hogere stemming is het gevolg geweest van zeer verschillende invloeden.

Het is onzen lezers bekend, dat de hoogte van stemming bij orkes-ten bepaald wordt door een stemvork, die den bovenbedoelden toon A aangeeft; de A namelijk van de 3^e vioolsnaar. Algemeen, sinds het laatst der vorige eeuw, wordt die toon daarvoor gebruikt, daar hij op de meeste instrumenten duidelijk en zeker klinkt. Vroeger werd als grondslag aangenomen de C (*ut*) van een achtvoets orgelpijp, of de 3^e violoncel-snaar. Deze bepaling was eenigszins onzeker, daar de toon van een orgelpijp nog van andere omstandigheden dan hare lengte, zooals van hare temperatuur enz., afhangt.

Om nu zulk een stalen stemvork te maken en op den gewilden toon te brengen, werd zij aanvankelijk te laag van toon gemaakt en dan voorzichtig afgevijld, tot dat haar toon bij het aanslaan of aanstrijken, op het gehoor af, de toon was van de stemvork die men als grondslag aannam. Maar door die behandeling en door dat vijlen en bewerken, werd de vork iets warmer, en daardoor haar toon lager, dan wanneer zij later afkoelde. Na die bewerking was de stemvork dus iets, hoezeer onmerkbaar, te hoog; met de copie van deze vork had hetzelfde plaats, en zoo werd de verhooging na verloop van tijd merkbaar, en ging zij steeds voort.

Dan heeft de militaire muziek hieraan ook grootendeels schuld. Door haar zijn de koperinstrumenten veel meer in gebruik gekomen en verbeterd; in de orkesten worden veel meer koperinstrumenten gebezigd dan vroeger; hoe hooger toon hoe krachtiger geluid; en dit kwam overeen met de eischen van krijgshaftige muziek. Door de betere constructie der koperen instrumenten en door de vorderingen der wetenschap, kan nu echter ook aan die eischen voldaan worden, zonder de buitengewoon hooge stemming, die allengs heeft plaats gevonden.

Eindelijk ligt er in den menschelijken aard een zeker streven naar hooger, naar het bereiken van het moeilijkste, iets excelsiors-achtig; ook hieraan mag wellicht de steeds hoogere stemming worden toegeschreven.

Het gevolg van dit alles was, dat hooge tenor- en sopraanstemmen al zeldzamer en zeldzamer werden, dat de stemmen spoediger versleten en dat zangers op enkele plaatsen, zooals te Rijssel, waar het orkest van de opera boven allen hoog was, zich niet meer op hun gemak gevoelden.

Reeds in de eerste helft dezer eeuw, omstreeks 1840, stelde MARLOIE zich voor, de zaak wetenschappelijk te onderzoeken. Hij wendde zich tot de directie der Fransche opera, om de daar als grondslag aangenomen stemvork te mogen onderzoeken. Hij kwam te ongelegener tijd; men was bezig eene nieuwe opera in te studeeren, en bekreunde zich niet om wetenschappelijke onderzoekingen. MARLOIE bleef aandringen, men verwees hem naar de concierge. Deze herinnerde zich wel het bestaan van een stemvork, doorzocht den geheelen rommel — en een opera-rommel zegt heel wat — doch hij vond niets; het bleef bij de traditie.

Bij gebrek aan een officieel stuk wendde LISSAJOUS zich in 1856 tot de eerste violen en vond dat de A van het orkest 898 trillingen in

de seconde maakte. Vergelijkt men nu hiermede de A van de Parijsche orkesten, die in 1715 door SAUVEUR bevonden werd 810 trillingen te maken, dan komt dit overeen met eene rijzing van bijna één toon in 1½ eeuw.

Ziehier eene opgave, waaruit duidelijk blijkt hoe de stemming voortdurend hooger werd.

In de XVII^e eeuw maakte de A van de opera te Parijs, volgens SAUVEUR: 810 trillingen in de seconde.

Te Toulouse en Carlsruhe, in deze eeuw:	870	»	»	»
In het conservatoire te Parijs	870	»	»	»
spoedig geklommen tot	882	»	»	»
Opera te Parijs in 1834	875,5	»	»	»
Id. in 1856	898	»	»	»
Rijssel in deze eeuw	901	»	»	»
Guides in België	911	»	»	»

In 1834 werd te Stuttgardt een congres van toonkunstenaars gehouden en de wenschelijkheid uitgesproken om eene internationale stemming vast te stellen, en als zoodanig werd met algemeene stemmen voorgesteld eene A van 880 trillingen per seconde. Tien jaar lang heeft men vruchteloos getracht deze algemeen te doen aannemen; maar hot is niet veel meer dan een voorstel gebleven.

In een rapport aan de *Société d'encouragement* in 1855 door LISSAJOUS ingediend, werd de aandacht andermaal op dit onderwerp gevestigd; de internationale tentoonstelling te Parijs gaf daartoe aanleiding. BERLIOZ kwam hierop terug in een rapport van 1858.¹ Hij toonde aan dat men toen nog wel de verschillende bestaande orkesten kon vereenigen voor de destijds in zwang gekomene zeer groote uitvoeringen; hunne stemming onderling was nog bereikbaar; maar, moesten zulke orkesten samenwerken met kerkorgels, dan was samenstemming onmogelijk, zooals eene noodlottige ervaring hem bij de uitvoering van een Te Deum in de kerk van St. Eustachius te Parijs geleerd had. De oude kerkorgels waren natuurlijk lager gestemd dan de latere orkesten. Wel kunnen zeer kleine verschillen door verstemmen verholpen worden, doch bij eene aanzienlijke verstemming verliezen de blaasinstrumenten hunne zuiverheid. Bedraagt het verschil juist een halven toon, of, wat wel bijna nimmer zal voorkomen, één geheel toon, dan kan in het gebrek

¹ Zie: *Journal des débats*, 24 Sept., 1858.

voorzien worden door de muziekstukken een halven of heelen toon hooger of lager te schrijven (te transponeeren). Ongelukkig is dit meestal het geval niet.

Wij zullen niet alle voorstellen nagaan die achtereenvolgens werden gedaan, maar nog slechts mededeelen dat er in 1859 door de Fransche regeering eene commissie werd benoemd van toonkunstenaars en geleerden, om rapport uit te brengen over eene normale in te voeren stemming. Deze commissie bestond uit: J. PELLETIER, staatsraad en secretaris-generaal van den minister van staat, voorzitter; HALEVY, AUBER, BERLIOZ, DESPRETZ, CAMILLE DOUCET, LISSAJOUS; de generaal MELLINET, inspecteur der militaire muziekkorpsen, MEYERBEER, ED. MONNAIS, ROSSINI en AMBROISE THOMAS, namen te bekend om eene uitvoeriger vermelding noodig te maken van hunne muzikale en wetenschappelijke verdiensten.

De commissie stelde zich in verband met de voornaamste muzikale lichamen en toonkunstenaars in alle beschaafde landen der wereld. Allen zonden hunne stemvorken en deden van hunne ingenomenheid blijken. Daaronder ook onze LUBECK. De door hem ingezonden stemvork was iets lager dan de Parijsche. Ook hij juichte het denkbeeld eener overal gelijke stemming zeer toe.

De keus voor de normale stemming werd bepaald door zeer verschillende belangen; die van de nijverheid, daar de vervaardiging van muziek-instrumenten op groote schaal geschiedt; die van de componisten van tal van opera's, die nog langen tijd op de repertoires zullen blijven; en eindelijk die van het publiek, dat zich wel naar kleine wijzigingen in gewoonten wil voegen, maar aan radicale veranderingen steeds grooten tegenstand biedt; getuige bijv. het invoeren van den meter en het kilogram. Na alle stemvorken en belangen te hebben gehoord, stelde de commissie op 1 Februari 1859 eene A voor, die door 870 trillingen per seconde wordt voortgebracht.¹ De regeering vereenigde zich met het voorstel en nam de A als grondslag aan voor de normale stemming (diapason normal). Van regeeringswege worden

¹ In sommige werken vindt men niet 870 opgegeven, maar de helft: 435. Dit verschil ontstaat doordien de Duitsche en Engelsche natuurkundigen, door ééne slingering of trilling het eenmaal heen- en wedergaan van het slingerend lichaam verstaan; terwijl de Franschen wat haastiger te werk gaan, en ééne heen- en wederbeweging twee slingeringen noemen. Wij hebben gemeend in het bovenstaande ons aan deze laatste bepaling te moeten houden.

nu stemvorken gecontrôleerd en afgeleverd, die deze A aangeven en die gewaarmerkt worden door een stempel, een ijkmerk, op het bovenste eindvlak van één der beenen.

Wèl is het te betreuren dat deze stemming nu niet meer algemeen wordt aangenomen, doch het schijnt dat de groote kosten verbonden aan het vernieuwen der meeste blaasinstrumenten en dergelijke uitgaven meer, eene meer algemeene invoering in den weg staan; maar zooveel is toch gewonnen, dat door de vaststelling van de toonhoogte in een land als Frankrijk, dat zich bovendien zoo gaarne als toongever voordoet, nu wel een grens zal gesteld zijn aan eene verdere rijzing. Vooral omdat men nu, met betere hulpmiddelen toegerust, niet meer behoeft te vreezen voor eene rijzing van de achtervolgende copieën van de officiële stemvork.

Laat ons nu zien hoe die contrôle geschiedt.

Een geoefend oor kan veel, maar niet alles; de uitstekende orgelmaker CAVAILLÉ-COLL, te Parijs, bekend zelf, in een stuk geplaatst in de *Ami de la religion*, 5 Februari 1859, dat eene zeer juiste methode, door SCHEIBLER uitgedacht, om verschillende toonen te vergelijken, hem heeft geleerd dat het fijnste gehoor toch nog niet volkomen is te vertrouwen.

De methode van SCHEIBLER berustte op het waarnemen der *zwevingen*. Wanneer twee lichamen, snaren, stemvorken, orgelpijpen of wat zij ook zijn, gelijktijdig volkomen denzelfden toon voortbrengen, neemt het oor wel een toon waar, sterker dan die van één dier lichamen uitgaande, maar het hoort een geluid van dezelfde toonhoogte en dat regelmatig voortklinkt. Verschilt de toonhoogte een weinig, bijv. minder dan een halven toon, dan neemt men eene afwisselende versterking (niet verhooging) en verzwakking van het geluid waar, een soort van op- en nedergolven. Dit verschijnsel draagt den naam van *zweving* en is een bekend hulpmiddel bij het stemmen van pianosnaren. De oorzaak daarvan is licht na te gaan. Gesteld, een snaar of een stemvork geeft een toon overeenkomende met 50 trillingen in de seconde, een andere vork 51, dan is het duidelijk, zoo beide vorken of snaren te gelijker tijd worden aangestreeken, dat zij dan bij het einde der 1^e seconde weder in denzelfden zin bewegen en aan de lucht een stoot in dezelfde richting geven; dus als het ware een dubbelen stoot, waardoor dan een krachtiger geluid moet ontstaan. Maakten zij in eene halve seconde 50 en 51 trillingen, dan zoude dat zamentreffen bij het einde van elke halve seconde plaats hebben; 2×50 en 2×51 of 100 en 102 trillingen

in de seconde zouden dus twee versterkingen in de seconde geven, en zoo kan men dus licht nagaan dat het verschil der trillingsgetallen in de seconde ook het aantal zwevingen per seconde zal doen kennen.

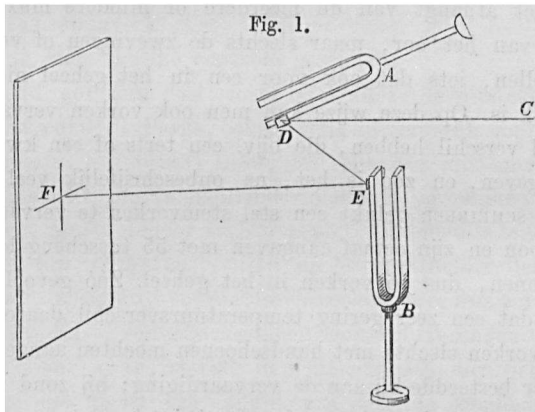
Hierop grondde nu SCHEIBLER zijne methode. Om een stemvork gelijk met eene andere te stemmen, nam hij eene derde, die met de standaardvork een gemakkelijk waar te nemen getal, bijv. 4 zwevingen in de seconde gaf, en vervaardigde een slinger waarvan de slingertijd nauwkeurig met die zwevingen overeenkwam. Nu maakte hij een stemvork, die met de derde insgelijks hetzelfde getal van 4 zwevingen gaf; was dit verkregen, dan was deze ook volkomen gelijk gestemd met de eerste of standaardvork. Het voordeel dezer methode is daarin gelegen, dat men nu niet afhangt van de meerdere of mindere muzikale nauwkeurigheid van het oor, maar slechts de zwevingen of versterkingen heeft te tellen, iets dat ook voor een in het geheel niet muzikaal oor mogelijk is. Op deze wijze kan men ook vorken vervaardigen die een bepaald verschil hebben, die bijv. een terts of een kwart van den grondtoon geven, en zoo is het, na onbeschrijfelijk veel geduld en moeite, aan SCHEIBLER gelukt een stel stemvorken te vervaardigen, die den grondtoon en zijn octaaf aangaven met 55 tusschengelegene zuiver bepaalde tonen, dus 56 vorken in het geheel. Zóó gevoelig was deze *Tonometer*, dat een zeer gering temperatuursverschil daarop merkbaar was en de vorken slechts met handschoenen mochten aangevast worden. Twintig jaar besteedde hij aan de vervaardiging; hij zond zijne uitvinding met een uitvoerig stuk aan het Instituut in, dat er echter nimmer een rapport over uitbracht. Een Parijsch instrumentmaker, WÖLFEL, vervaardigde een dergelijken toestel op het voetspoor van SCHEIBLER. Waarschijnlijk zijn dit wel de eenige immer vervaardigde *Tonometers*.

Een ander toestel om toonhoogten te bepalen is de *Sirène* van CAGNIARD-LATOUR, een werktuig in alle leerboeken beschreven. Twee koperen schijven zijn voorzien van overeenkomende gaatjes, die volgens een cirkel op onderling gelijke afstanden zijn geplaatst. Een dezer schijven is onbeweeglijk, de andere beweegt er rakende over heen. Door de onderste schijf wordt een luchtstroom gedreven, de beweeglijke, daarboven geplaatste schijf, komt hierdoor in beweging, en beurtelings kan dus de luchtstroom door de gaatjes ontsnappen, of wordt hij door een niet doorboord gedeelte tegengehouden. Door deze periodieke luchtstooten wordt een toon voortgebracht. Hoe sneller de omwenteling der bovenste schijf plaats heeft, hoe hooger toon. Door die beweging wordt

tevens eene wijzer-inrichting bewogen, waardoor de snelheid van rond draaiing, en dus het aantal luchttrillingen in zekeren tijd, bekend wordt. Een stemvork die met een voortgebrachten toon samenstemt, verricht dus ook hetzelfde aantal trillingen. Deze toestel heeft voor geluidsproeven groote waarde, maar is voor het vergelijken van stemvorken niet gemakkelijk, wegens de moeilijkheid om de snelheid van omwenteling eenigen tijd standvastig te houden.

Een veel beter middel geeft de schoone proef van LISSAJOUS. Wij willen die dus eenigzins uitvoeriger beschrijven, daar zij den grondslag uitmaakt van de wijze waarop thans de diapason normal wordt gecontrôleerd.

Gesteld, men hebbe een stemvork B (Fig. 1) verticaal opgesteld, en

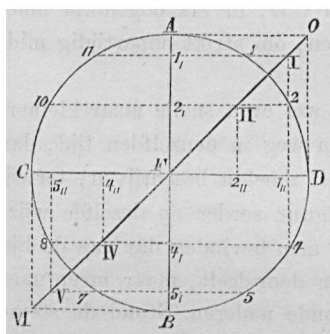


aan een der beenen een spiegelkje E bevestigd. Een sterke lichtstraal DE valt op dit spiegelkje en wordt teruggekaatst in F op een scherm. Dan is het duidelijk, dat, zoo de stemvork B wordt aangestreeken, het spiegelkje E snel voorover en achteruit zal gaan, in een verticaal vlak, en er een verticaal lichtstreepje op het scherm zal gezien worden. Viel er op eene horizontaal gestelde trillende stemvork A een lichtstraal CD, dan zal de door het spiegelkje D teruggekaatste lichtstraal DE, zoo deze op het spiegelkje E wordt opgevangen, daarop een horizontaal streepje beschrijven. De beweging van D zou dus, zoo het spiegelkje E stilstond, op het scherm bij F een horizontaal streepje doen ontstaan, even alsof een lichtstraal volgens DE op het spiegelkje E viel, en de stemvork B niet trilde maar om hare verticale as heen en weer draaide.

Om nu na te gaan welke figuren op het scherm zullen ontstaan, wanneer beide stemvorken gelijktijdig trillen, moeten wij de wet nagaan, volgens welke de snelheid geregeld wordt, waarmede het lichtend punt,

door een slingerend spiegeltje teruggekaatst, eene rechte lijn op het scherm beschrijft. Deze wet, op wis- en natuurkundige gronden bewezen, is de volgende. Gesteld AB (Fig. 2) zij het verticale lijntje, beschreven door het op- en nederslingerende lichtbeeldje, dat in Fig. 1 op het scherm wordt geworpen door de terugkaatsing van den lichtstraal in het slingerende spiegeltje E . Beschrijven wij op dat lijntje als middellijn een cirkel $ADBC$. Laat een punt uit A met eenparige snelheid langs den cirkel-omtrek bewegen en dit punt A verlaten, gelijktijdig met het lichtbeeldje dat langs AB heen en weder slingert. Onderstellen wij ten slotte nog dat de onveranderlijke snelheid van

Fig. 2.



het punt dat den cirkel-omtrek doorloopt, zóó geregeld zij, dat het lichtbeeld, dat langs AB slingert, juist in denzelfden tijd van A naar B en terug naar A gaat, als het punt noodig heeft om den cirkel-omtrek te doorloopen. Het lichtbeeldje en het punt zullen dus, gelijktijdig uit A vertrekkende, elkander telkens in A en B ontmoeten. Nu bestaat het eigenaardige van de beweging langs AB daarin, dat het lichtbeeld en het rondlopende punt steeds

overal gelijktijdig zullen aankomen in de loodlijntjes $1\ 11, 2\ 10$ enz., die loodrecht op AB getrokken worden. Als het eene punt dus in $1, 2, D, 4$ enz. gekomen is, zal het lichtbeeld in $1_1, 2_1, F, 4_1$ enz. aankomen. In den aanvang beweegt het lichtbeeld dus langzamer dan het punt op den omtrek; dicht bij F zijn beide bewegingen bijna even snel; dan vertraagt de beweging van het lichtbeeld weder, komt in B , keert daar terug, om weder allengs versneld naar F te gaan, enz. — Volgens diezelfde wet heeft ook natuurlijk de beweging langs CD of van het horizontale lijntje op het scherm plaats.

Onderstellen wij nu dat het lichtbeeldje op het scherm geworpen wordt, terwijl beide stemvorken in Fig. 1 bewegen, dat deze twee gelijk gestemde stemvorken gelijktijdig de beweging aanvangen en even groote wegen aan het lichtbeeldje zouden doen doorloopen, zoo zij elk afzonderlijk trilden; dan zal de eene vork het den weg AB , de andere den weg CD trachten te doen doorloopen. Beschouwen wij weder een cirkel op de gelijke wegen AB en CD beschreven, en verdeelen wij den omtrek in

12 gelijke deelen A—1, 1—2 enz., dan is het duidelijk dat wanneer de eene stemvork het lichtbeeldje in één tijddeeltje van A naar 1_1 tracht te bewegen, de andere het in dienzelfden tijd van D naar 1_{11} zou trachten te brengen. Het lichtbeeld moet dus den verticalen afstand A_1 van A en den even grooten horizontalen afstand D_1 van D hebben afgelegd; het moet dus liggen in het snijpunt I van de loodlijnen 2—4 en 1—11, loodrecht op CD en AB getrokken. Zoo verder redeneerende, zal het duidelijk blijken, dat het lichtbeeld de rechte lijn 0—VI zal beschrijven, die, door F gaande, den rechten hoek AFD midden door deelt. Eigenlijk was dit ook wel te voorzien, want overal moet het punt gehoorzamen aan twee even krachtige invloeden, die het trachten te doen slingeren langs AB en CD; in elk oogenblik moet het dus even ver van beide lijnen afblijven, om strikt onpartijdig midden door beide invloeden heen te zeilen.

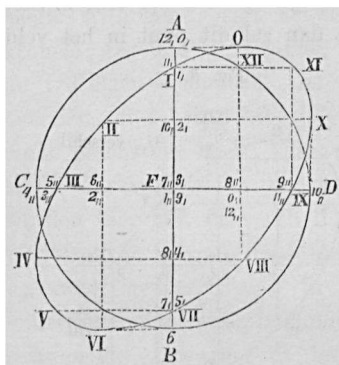
Maakte een der stemvorken, bijv. E, wel even snelle maar kleinere trillingen, doorliep het dus een kleineren weg in denzelfden tijd, dan zou men ook op AB een kleineren cirkel moeten beschrijven, terwijl die op CD onveranderd bleef; en de figuur verder op dezelfde wijze construeerende voor elk der cirkels, zou men bevinden dat dan de lijn 0—VI den hoek AFD niet meer midden door deelt, maar meer naar den sterksten invloed, meer naar CD zoude naderen. Stond de stemvork B geheel stil, dan viel de lijn 1—VI op CD.

Daar de stemvorken wel bijna nimmer volkomen gelijk beginnen te trillen, zal deze rechte lijn 0—VI wel nimmer gedurende eenigen tijd in dien stand zijn te behouden. En, al begonnen zij de beweging volkomen gelijktijdig, dan zouden de afgelegde wegen gedurende de geheele beweging in dezelfde mate afnemen en juist op hetzelfde oogenblik in rust komen moeten. Bij volkomen juist gestemde vorken, die juist gelijktijdig in beweging komen, zal dus de lijn 0—VI wel altijd recht blijven, maar allengs van stand veranderen.

Gaan wij nu na welke figuren verkregen zullen worden, als beide stemvorken wel even snel trillen, maar hare bewegingen niet gelijktijdig aanvangen. Onderstellen wij bijv. in Fig. 3, dat het lichtbeeldje door de beweging alleen langs CD in 0_{11} , en door de beweging alleen langs AB, op datzelfde oogenblik in 0_1 zoude hebben moeten komen. Teekenen wij de figuur verder in die onderstelling, dan zien wij eene ellips ontstaan. Eene ellips zal dus weder het bewijs geven dat de vorken volkomen gelijk gestemd zijn.

De Figuren 2 tot 7 toonen de verschillende vormen aan, die verkregen worden, wanneer het verschil in den aanvangstijd der beweging (verschil in

Fig. 3.



phase) 0, $\frac{1}{12}$, $\frac{2}{12}$, $\frac{3}{12}$ enz. bedraagt van den tijd benoodigd voor eene trilling heen en weder. Deze figuren zal men gemakkelijk naar aanleiding der laatste constructie, in Fig. 2 gevolgd, kunnen verkrijgen.

Wanneer twee stemvorken voor het oor gelijk gestemd zijn, kan er toch nog een klein, voor de fijnste gehooien niet merkbaar verschil in toonhoogte en dus in trillingstijd bestaan. Bijv. een verschil van 1 op 3000 trillingen. In dit geval zal men wel aanvankelijk ook de rechte lijn, Fig. 2, zien ontstaan, maar

allengs zal het verschil een merkbaar gedeelte van den slingertijd bedragen; het zal zijn alsof er achtereenvolgens een verschil in phase van $\frac{1}{12}$, $\frac{2}{12}$ enz. ontstaat, en de rechte lijn zal overgaan in Fig. 3, van deze in Fig. 4, en zoo zal de figuur allengs al de gedaanten van de Figuren 5, 6 en 7 doorloopen. Men noemt dit het draaien der figuren; deze draaiing is dus een bewijs van een zeer klein verschil in stemming. Ook dit verschil is nog uit de beschouwing der figuren te bepalen, want het aantal geheele omdraaiingen der figuur in ééne seconde stemt klaarblijkelijk overeen met het aantal trillingen dat een der stemvorken meer heeft gemaakt dan de andere. Het verband tusschen de zweepingen en dit verschijnsel valt hier dadelijk in het oog.

De proef die wij hier in hoofdtrekken hebben beschreven, is wel eene der meest belangrijke in deze eeuw op het gebied der acustiek genomen. Zij is echter, zooals met vele natuurkundige proeven het geval is, gemakkelijker te beschrijven dan te nemen. Er zijn allerlei voorzorgen noodig, om door middel van lenzen een scherp lichtbeeldje op de vorken en op het scherm te verkrijgen; men moet over een sterken lichtstraal kunnen beschikken enz. LISSAJOUS heeft dan ook, om de proef meer in te richten voor de eischen van de praktijk, eene vibratie-microscop uitgedacht, waarmede hetzelfde verschijnsel gemakkelijker is waar te nemen. In hoofdzaak is de inrichting als volgt: De stemvork, die als grondslag dient, wordt horizontaal geplaatst, met de armen verticaal boven elkander gelegen; aan een dezer armen is

een microscoopje bevestigd, de andere is met een even groot gewichtje bezwaard, zoodat beide armen dezelfde trillingen volbrengen, overeenstemmende met den verlangden toon. Wordt die vork nu aangestrekten, zoo zal het microscoopje in eene verticale lijn op en neder trillen. Ziet men er door heen naar een vast punt, dan zal dit punt in het veld

Fig. 4.

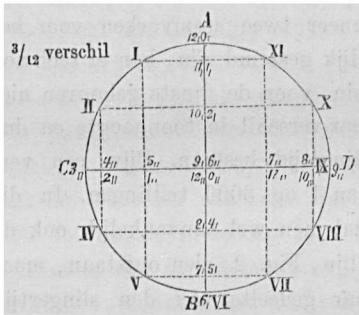
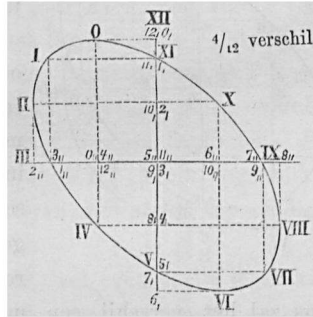


Fig. 5.



van het microscoop verticaal op en neder schijnen te gaan. Nu wordt de vork, die men gelijk met de eerste wil stemmen, in verticalen stand vóór het microscoopje geplaatst. De armen van deze vork zullen dan horizontale trillingen volbrengen. Beschouwd men deze beweging door het stilstaande microscoopje, zoo zoude men een op deze vork aangetee-

Fig. 6.

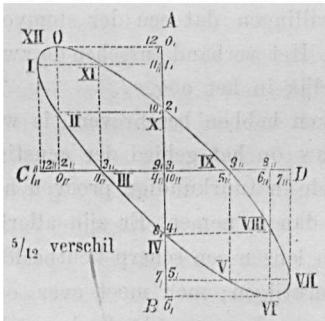
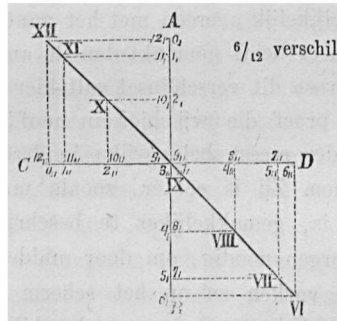


Fig. 7.



kend punt horizontaal zien bewegen. Wanneer men dus beide vorken aanstrijkt, zal men dit punt, gewoonlijk een blinkend stipje of een klein korreltje stijfsel, de Lissajousche figuren zien beschrijven, en bewerkt men deze tweede vork dan zoo lang, totdat de gewilde figuur zich voordoet. Om de normale stemvork zoo min mogelijk te belasten, wordt alleen

het objectief van het microscoopje aan deze vork, en het oculair, afgescheiden daarvan, aan een afzonderlijk draagstuk bevestigd.

De Lissajousche figuren zijn zeer fraaie, sierlijke figuren; door de snelle trillingen vormt het lichtbeeld aaneengeschakelde, grillig gekromde, regelmatige figuren, die al kleiner en kleiner worden, totdat de trillingen ophouden. Om den geheelen doorloopen weg te kunnen overzien, dien het lichtbeeldje van den aanvang der beweging tot het einde beschreven heeft, zijn zeer vernuftige toestellen uitgedacht, waaronder die van TISLEY voornamelijk vermelding verdient. De figuren worden hier niet door een lichtbeeldje beschreven, maar door een fijn uitgetrokken glazen buisje met gekleurd vocht, of door een naaldje op zwart gemaakt glas. In plaats van stemvorken bezigt men twee onderling loodrecht op elkander bewegende slingers, door wier gemeenschappelijke beweging de teekenstift bestuurd wordt. Men kan deze slingers zwaar en lang maken, zoodat zij eenige kracht op de teekenstift kunnen uitoefenen. Wel is waar slingeren zij dan veel langzamer dan een stemvork trilt; maar het is duidelijk uit de constructie bij Fig. 2 gevolgd, dat niet de absolute trillingssnelheid de gedaante der figuren bepaalt, maar wel de onderlinge verhouding dier snelheden. Met dezen toestel verkrijgt men dus vergrootte figuren op langzamer schaal.

Voor het uitdenken van nieuwe patronen, van versieringen enz. hebben deze opvallend fraaie figuren reeds toepassing gevonden. Worden zij op zwart gemaakt glas geteekend, dan kunnen zij door ondergeplaatst sterk licht en door een toestel met lenzen en spiegels op een scherm geprojecteerd worden. Dr. A. VAN HENNEKELER heeft een zeer vernuftig, eenvoudig en weinig kostbaar toestel uitgedacht om dezelfde figuren zuiver en net te kunnen afteekenen. Maar eene nadere beschouwing van deze figuren en toestellen zou niet meer tot de grenzen van ons onderwerp behooren. Wij meenen dat het bovenstaande echter opnieuw het nauw verband zal hebben aangetoond, waardoor afgetrokkene beschouwingen, strenge nauwkeurige natuurkundige waarnemingen en schoone kunsten vereenigd worden tot één harmonisch geheel.

NASCHRIFT. — Na het schrijven dezer regelen, is het mij gebleken, dat te Berlijn en in vele andere plaatsen in Duitschland thans de Fransche diapason gevolgd wordt.