



Universiteit  
Leiden  
The Netherlands

**Grenzen van het hoorbare: over de meerstemmigheid van het lichaam**  
Tongeren, M.C. van

**Citation**

Tongeren, M. C. van. (2013, March 13). *Grenzen van het hoorbare: over de meerstemmigheid van het lichaam*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/20611>

Version: Not Applicable (or Unknown)

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/20611>

**Note:** To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/20611> holds various files of this Leiden University dissertation.

**Author:** Tongeren, Mark Christiaan van

**Title:** Grenzen van het hoorbare : over de meerstemmigheid van het lichaam

**Issue Date:** 2013-03-13

# Hoofdstuk 3

## Op zoek naar feiten



*We need to understand [music's] working, its charms,  
both to protect ourselves against them and,  
paradoxically, to enjoy them to the full!*

Nicholas Cook<sup>1</sup>

### 1. De wetenschap centraal

In dit hoofdstuk, en het volgende, staat de wetenschap centraal als venster op het verschijnsel boventoonzang en boventonen. Als een onderneming die erop gericht is de werkelijkheid te beschrijven en verklaren, herbergt de wetenschap een aantal disciplines die inzicht geven in boventoonzang.<sup>2</sup> Ze behandelen in de meeste gevallen aspecten van de zangtechniek (vanuit het perspectief van onder andere de fonetiek) of de akoestische klankeigenschappen,<sup>3</sup> of bieden een etnomusicologisch-antropologisch perspectief op de tradities.<sup>4</sup> Vanaf het begin, in de jaren zestig en zeventig, zijn studies van deze vakgebieden gecombineerd in discipline-overstijgende onderzoeken, omdat de technische uitleg van boventoonzang gekoppeld werd aan traditionele stijlen en technieken in Azië. Er is relatief weinig serieuze studie verricht naar eigentijdse vormen van boventoonzang; hier zijn het in de eerste plaats musici en componisten zelf die, soms zonder kritische distantie, schrijven over de techniek, de betekenis, en de geschiedenis van boventoonzang.<sup>5</sup> Het heeft betrekkelijk lang geduurd voordat boventoonzang door is

---

<sup>1</sup> Nicholas Cook, *Music. A very short introduction*. Oxford: Oxford University Press, 2000, 129.

<sup>2</sup> Mijn eerdere studie (Mark van Tongeren *Overtone singing. Physics and metaphysics of harmonics in East and West*. Amsterdam: Fusica, 2004) geeft een overzicht van een aantal onderzoekstakken: akoestiek en zangtechniek (Hoofdstuk Een); perceptie en cognitie (Hoofdstuk Twee); inheemse tradities (Hoofdstuk Drie en Vier); moderne muziek (avant-garde, experimenten, nieuwe muziek, Hoofdstuk Vijf); moderne toepassingen en geloofssystemen (Hoofdstuk Zes).

<sup>3</sup> Gerrit Bloothoof et al., 'A phonetic study of overtone singing', *Proc. XIIth Congress of Phonetic Sciences*, Aix-en-Provence V, 1991, 14-17; Hugo Zemp en Trân Quang Hai, 'Recherches experimentales sur le chant diphonique', *Cahiers de Musiques Traditionnelles*, 4, 1991, 27-68; Sven Grawunder, *On the physiology of voice production in South-Siberian throat singing*. Berlijn: Frank & Timme GmbH, 2009.

<sup>4</sup> Huston Smith et al., 'On an unusual mode of singing of certain Tibetan lamas', *Journal of the Acoustical Society of America*, 41, 1967, 1262-1264; Carole Pegg, *Mongolian dance, music & oral narrative*. Seattle: University of Washington Press, 2001; Theodore Levin en Valentina Suzukei, *Where rivers and mountains sing. Sound, music, and nomadism in Tuva and beyond*. Bloomington: Indiana University Press, 2006; Mark van Tongeren, 'A Tuvan perspective on throat singing', *Oideion 2. The Performing Arts World-Wide*, 1995: 293-312; David Dargie, *Xhosa music*. Kaapstad: David Philip, 1988; Bernard Lortat-Jacob, *Chants de passion. Au coeur d'une confrérie de Sardaigne*. Parijs: Les Editions du Cerf, 1998.

<sup>5</sup> Karlheinz Stockhausen, *Towards a cosmic music*. Longmead: Element Books, 1989; Michael Vetter, *Die Musik der Engel. Ein Lese- und Arbeitsbuch zum Obertonsingen* (ongepubliceerd manuscript), 2010; David Hykes, 'Harmonic chant—global sacred music', in Don Campbell (red.), *Music: physician for times to come*. Wheaton: The Theosophical

gaan dringen tot het domein van algemene wetenschappelijke kennis. Vijftien jaar geleden was dit nog maar amper het geval. Sinds kort wordt de techniek steeds vaker genoemd in handboeken en standaardwerken op gebieden als de psychologie en de cognitie van muziek en klank, inleidingen tot muziek, en dergelijke. Ze verwijzen naar de mogelijkheden om binnen de toon bewust nuances aan te brengen op het niveau van boventonen en naar de mogelijkheid om deze nuances ook bewust te kunnen waarnemen, als een alternatief voor de gangbare ideeën omtrent geluid.<sup>6</sup>

In dit hoofdstuk worden een aantal fundamentele aspecten uitgelegd van de boventoonreeks en van de zangtechniek die deze reeks voor de luisteraar hoorbaar maakt. Ik begin met een stapsgewijze beschouwing van gangbare manieren om harmonischen aan te duiden. Zij zijn immers een onveranderlijke factor in elke vorm van boventoonzang, waar telkens weer aan gerefereerd moet worden. Maar hoe noteer je de boventoonreeks? Onveranderlijk of niet, de boventoonreeks blijkt allerlei vormen aan te nemen in de representaties via andere toonladders, stemmingen en muzieknotaties. Ik sta stil bij de incongruentie die bestaat tussen de boventoonreeks en het gelijkzwevende, twaalftonige toonstelsel dat wereldwijd als een standaard kan worden beschouwd. Auteurs en componisten komen soms tot zeer uiteenlopende oplossingen in het overbruggen van die verschillen. Op basis van een vergelijking kom ik tot een theoretische onderbouwing van de keuzes die ik hier zelf in maak.

Een andere reden om in dit eerste deel de relatie tussen de boventoonreeks en de gelijkzwevende twaalftoonsstemming opnieuw onder de loep te nemen is de kritische toon waarmee sommige componisten (en ook boventoonzangers) dat tweede systeem tegemoet treden. Bij componist Lou Harrison, een groot voorstander van reine stemmingen of *Just Intonation*, is die toon bovendien emotioneel en zelfs politiek geladen:

We're pounded at daily by Equal Temperament advocates, by the whole industry which wants to make interchangeable instruments on a planetary basis, all in the same tuning—and an irrational one to begin with. In other places, such as Java, however, the average villager may have a greater understanding, tolerance and interest in tuning variation than some of the most refined musicians in the West. My classic example is the young Widiyanto. He played on two gamelan whose tunings differed only in one pitch, which varied by the interval 55:44 (32 cents). "Oh," he immediately remarked, "they are very different."<sup>7</sup>

Wat dat laatste betekent en wat het verschil is tussen de natuurlijke en de gelijkzwevende stemmingen zal in het voorliggende hoofdstuk gaandeweg duidelijker worden. Ik zal na de bespreking van de boventoonreeks in diverse gedaantes, als ik mijn artistieke keuzes onderbouw, kort terugkomen op mogelijke politieke ondertonen van dergelijke keuzes.

---

Publishing House, 1991. Enkele studies van anderen waarin werken met boventoonzang besproken worden zijn: Mya Tannenbaum, *Conversations with Stockhausen*. Oxford: Clarendon Press, 1987; John Schaefer, *New sounds*. New York: Harper & Row, 1987; van Tongeren, *Overtone singing*, 2004.

<sup>6</sup> Het belang en nut van een vroege 'educatie van het oor' met behulp van muziekvormen uit de hele wereld (in plaats van uitsluitend de moderne Europese vormen) wordt voor boventoonzang onder andere aangetoond door Marie-Cécile Barras en Anne-Marie Gouiffès ('The reception of overtone singing by uninformed listeners', *Journal of Interdisciplinary Music Studies*, II/1 & 2, 2008, 59-70).

<sup>7</sup> Harrison geciteerd in Leta E. Miller, *Lou Harrison. Composing a world*, 1998. New York: Oxford University Press, 126.

Het volgende deel van dit hoofdstuk (paragraaf 11 en verder) vat enkele gegevens samen die de lezer in staat stellen te begrijpen wat een boventoonzanger doet, en hoe de relatie tussen klinkers en boventonen gelegd kan worden. Ik laat tevens zien dat boventoonzangers zich intensief bezig houden met de gekoppelde processen van geluidsproductie en geluidspceptie via een vorm van informatie (harmonischen) die reguliere zangers doorgaans niet bewust gebruiken. Als een zanger zich strikt tot het zingen van boventonen beperkt, waarin hij zelf bron en waarnemer van dat geluid is, hoe ontstaat en beweegt dat geluid dan in en om de zanger? In dit hoofdstuk schets ik aldus een beeld van verschillende transformaties en representaties van de boventoonreeks.

## 2. Enkele termen

Een natuurlijke toon bestaat uit een stapeling van geluidstrillingen. We duiden de snelheden van die trillingen aan met *frequentie*: de natuurkundige aanduiding voor het aantal periodieke trillingen, of bewegingscycli, per seconde, uitgedrukt in Hertz (Hz). We weten uit eigen ervaring dat de laagste frequentie doorgaans de sterkste is: dat is de frequentie die we meestal identificeren als de toonhoogte van een klank. *Toonhoogte* is het psychologische correlaat van frequentie. De laagste frequentie van een toon wordt de *grondtoon* of eerste *harmonische* genoemd, de frequenties daarboven de hogere harmonischen of *boventonen*. Tezamen vormen zij het *spectrum* van de klank. Het *klankspectrum* is dus het geheel aan frequenties waaruit een periodieke trilling opgebouwd is. Meestal worden de grondtoon en de boventonen in hun geheel waargenomen als een toon met een *klankkleur*, ook wel *timbre* genoemd. Relatieve sterkteverschillen tussen de grondtoon en de boventonen vormen een specifiek spectrum van frequenties, dat de luisteraar interpreteert als een uniek timbre. Wordt de verdeling tussen luide en zachte boventonen anders, dan nemen we dat waar als een verschil in klankkleur. Relatief sterke hogere harmonischen geven een schellere klank; relatief veel en/of sterke lage harmonischen nemen we waar als een doffe klank.

## 3. Grondtonen, boventonen en harmonischen

In een ideale situatie hebben de boventonen frequenties die gehele veelvouden zijn van die van de grondtoon: twee, drie, vier, vijf, enz. maal de frequentie van de grondtoon. De verhouding van grond- en boventonen kan dus weergegeven worden als 1:2:3:4:5:.... In de akoestiek en de muziek spreekt men wel van *harmonischen*, *natuurtonen*, *partialen* of *deeltonen*. Strikt genomen moeten deze termen onderscheiden worden, maar in de praktijk (van zowel de wetenschap als de muziek) wordt dat onderscheid lang niet altijd gemaakt. De naamgeving is wel van belang, onder andere voor de nummering: als we de grondtoon als de eerste harmonische tellen, en pas de tweede harmonische als de eerste boventoon, dan verschillen harmonische en boventoon per definitie één heel getal van elkaar. Voor instrumenten die alleen oneven harmonischen hebben, zoals de klarinet, wordt de telling iets ingewikkelder: de 3<sup>e</sup>, 5<sup>e</sup>, 7<sup>e</sup>, ... harmonischen komen dan overeen met de 1<sup>e</sup>, 2<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup>, ... boventonen. Ik zal de grondtoon van nu af aan laten tellen als de eerste boventoon, a) omdat het onderscheid tussen harmonische en boventoon niet gemaakt wordt door boventoonzangers (en eigenlijk ook niet door onderzoekers van boventoonzang en de stem in het algemeen); b) omdat we in deze studie vooral met

boventoonzang van doen hebben; en c) omdat het de communicatie vereenvoudigt en meer vrijheid van uitdrukking geeft.<sup>8</sup>

Voor het aanduiden van specifieke boventonen gebruik ik de notatie die in het klassieke artikel over de techniek van het boventoonzingen van Hugo Zemp en Trân Quang Hai<sup>9</sup> gebruikt wordt: daarbij duiden **H2**, **H3**, **H4**, ... op de tweede, derde, vierde harmonische, en **Hx** duidt op een willekeurige harmonische. **F0** is de verkorte vorm om de grondtoon (Fr. *fondamental*, E. *fundamental*) aan te duiden.

Tabel 3.1. Het onderscheid tussen grondtoon, boventoon en harmonische. Het is gebruikelijk voor boventoonzang om niet de strikte telling aan te houden voor de term boventoon, maar de telling zoals die in de kolom 'harmonische' staat.

nootnaam	afkorting	boventoon (strikt)	harmonische	klarinet
<b>g</b>	<b>H6</b>	<b>5° boventoon</b>	<b>6° harmonische</b>	
<b>e</b>	<b>H5</b>	<b>4° boventoon</b>	<b>5° harmonische</b>	<b>2° boventoon</b>
<b>c</b>	<b>H4</b>	<b>3° boventoon</b>	<b>4° harmonische</b>	
<b>G</b>	<b>H3</b>	<b>2° boventoon</b>	<b>3° harmonische</b>	<b>1° boventoon</b>
<b>C</b>	<b>H2</b>	<b>1° boventoon</b>	<b>2° harmonische</b>	
<b>C1</b>	<b>F0=H1</b>	<b>grondtoon</b>	<b>1° harmonische</b>	<b>grondtoon</b>

Het bijzondere van de natuurtoonreeks ten opzichte van de toonschalen die door mensen bedacht zijn, is dat deze niet hetzelfde is voor elk hoger octaaf. De reeks bestaat uit een opeenvolging van unieke intervallen en gaat in theorie door tot in het oneindige. Daarbij verdubbelt elk hoger gelegen octaaf het aantal tonen van het eronder gelegen octaaf. Die regel komt voort uit de simpele rekenkundige verhoudingen van de boventoonreeks. Zoals Pythagoras heeft kunnen vaststellen met het monochord, door snaarlengtes in tweeën, drieën, viereën, enzovoort te delen, zo kan ook de boventoonzanger ontdekken, door stapsgewijs de deeltonen van hogere octaven te zingen, dat er steeds meer differentiatie is. De opeenvolgende octaven van de grondtoon (2:1, 4:2, 8:4, 16:8, 32:16, ...) bevatten steeds meer tonen.

#### 4. De boventoonreeks in ratio's en intervallen

Om het idee van de 0...-cyclus beter te kunnen begrijpen is het noodzakelijk om te weten dat er verschillende begrippen gehanteerd kunnen worden om tonen en toonrelaties aan te duiden. Het is mogelijk om zonder notenschrift al een redelijk goed inzicht te krijgen in (muziek gebaseerd op) de boventoonreeks, als de rekenkundige principes die eraan ten grondslag liggen bekend zijn. De eerste stap

<sup>8</sup> Als harmonischen geen exacte gehele veelvoud van de grondtoon zijn heten ze *inharmonischen* of *inharmonische boventonen*. Boventonen, deeltonen en partialen kunnen dus zowel harmonisch als inharmonisch zijn. De term *natuurtoon* wordt vooral gebruikt voor blaasinstrumenten als de natuurtrompet, midwinterhoorn-en Alpenhoorn, en voor het overblazen van fluiten. *Flageolet* is de naam die gebruikt wordt voor gestreken en getokkelde harmonischen op snaarinstrumenten, alsook voor harmonischen gespeeld op blaasinstrumenten.

<sup>9</sup> Zemp en Trân, 'Recherches experimentales', 27-68.

is om de getalsverhoudingen of ratio's van de boventoonreeks te verbinden met de namen van intervallen. Intervallen zijn de afstanden tussen tonen die onder andere met het solmisatiesysteem (do-re-mi-fa-sol-la-si-do) benoemd worden. Van deze zeven afstanden zijn er vijf groot (een hele toon) en twee klein (een halve toon), als volgt:

do	1	re	1	mi	$\frac{1}{2}$	fa	1	sol	1	la	1	si	$\frac{1}{2}$	do
----	---	----	---	----	---------------	----	---	-----	---	----	---	----	---------------	----

De afstand (het interval) tussen do en do, het octaaf, is tevens de stap van de grondtoon naar de eerste bovenharmonische, en die verhouding kan ook genoteerd worden als 2:1. De tweede, hogere toon heeft een trillingsgetal dat exact tweemaal dat van de grondtoon is. Verreweg de meeste toonschalen zijn in alle opeenvolgende octaven hetzelfde opgebouwd. De frequenties van alle tonen in een octaaf worden idealiter exact verdubbeld elke keer dat een toon in een hoger octaaf voorkomt, of gehalveerd in een lager octaaf.

In de natuurtoonreeks is het eerste octaaf (2:1) 'leeg': er zit geen andere toon tussen.

Het tweede octaaf, of liever gezegd: het dubbeloctaaf, betreft de sprong van 2:1 naar 4:1. Omdat de verhouding 2:1 ook als 4:2 genoteerd kan worden, kunnen we het tweede octaaf als een nieuwe 2:1 relatie beschouwen, of als een herhaling van hetzelfde patroon. Binnen het dubbeloctaaf (4:1) verschijnt wél een andere toon met een nieuwe kwaliteit, in de verhouding 3:1. Verkleind tot het dichtstbijgelegen octaaf van de grondtoon is deze ratio gelijk aan 3:2. In muziektermen heet dat de kwint. Het is het op één na zuiverste verschil dat men kan vinden tussen twee tonen (na het octaaf en alle hogere octaven). De ratio van 3:1 verandert niet wezenlijk (in kwaliteit) als we hem noteren als 3:2. De eerste, grote sprong 3:1 wordt volledigheidshalve *duodeciem* genoemd, ofwel een octaaf plus een kwint. Maar vele musici spreken simpelweg over de kwintrelatie, zonder het extra octaaf in ogenschouw te nemen.

Het daaropvolgende octaaf is 8:1, wat overeenkomt met 8:4. Het omvat drie toonsafstanden in de verhoudingen 5:4, 6:4 en 7:4. De eerste (5:4) is weer een nieuwe kwaliteit, die in muzikale termen de grote tertst heet. De ratio 6:4 kan vereenvoudigd weergegeven worden als 3:2 door de beide getallen door twee te delen. Hieruit blijkt dat het geen uitbreiding in kwalitatieve zin van het aantal tonen ten opzichte van het lageregelegen octaaf inhoudt. 6:4 is zelf ook weer een octaaf, ofwel een verdubbeling, van 3:2, en is opnieuw een kwint in relatie tot de tweede octaaftoon, 4:1. De verhouding 7:4 is de vierde toon in het derde octaaf en introduceert wél weer een extra toon, namelijk het septiem.

We zien nu al een aantal patronen in de opbouw van de boventoonreeks.

*1. Nieuwe tonen die in een octaaf verschijnen, hebben een oneven geheel getal in de teller*

De ratios 3:2, 5:4, 7:4 introduceren steeds een nieuw muzikaal interval ten opzichte de grondtoon. Dit geldt evengoed voor 9:8, 11:8, 13:8, ... , 33:32, ... . Ook de begintoon 1:1 is een nieuwe toon.

*2. Nieuwe tonen komen in principe terug in alle hogere octaven, wat zich laat aflezen aan de teller die nu even in plaats van oneven is.*

De 1:1 wordt 2:1, 3:2 wordt 6:4, 5:4 wordt 10:8, 7:4 wordt 14:8.



3. Hieruit volgt: even veelvouden zijn altijd octaven van tonen die al in één of meer lagere octaven voorkomen.

Ofwel: 2:1 is het octaaf van 1:1, 4:2 is het octaaf van 2:1 en het dubbeloctaaf van 1:1. Evenzo wordt 6:4 nogmaals verdubbeld tot 12:8.

4. In elk hoger gelegen octaaf wordt het aantal nieuwe tonen verdubbeld, te beginnen in het octaaf boven de grondtoon.

Deze regels worden inzichtelijker aan de hand van opname **CD #43**, waarop H2-H8 te beluisteren is, en het het volgende diagram, waarin ook twee bovenliggende octaven genoteerd zijn.

Tabel 3.2. Verdeling van de eerste 32 harmonischen over vijf octaven.

octaaf	harmonischen																aantal tonen	nieuwe boventonen	
5 <sup>e</sup>	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	16	8
4 <sup>e</sup>	8		9		10		11		12		13		14		15		16	8	4
3 <sup>e</sup>	4				5				6				7					4	2
2 <sup>e</sup>	2								3									2	1
1 <sup>e</sup>	1																	1	

Het vierde octaaf begint met de achtste harmonische en loopt door tot nummer 16. De nieuwe tonen zijn 9:8, 11:8, 13:8 en 15:8. We vinden hier acht verschillende tonen in totaal, eentje meer dan onze bekende diatonische toonladder (*do re mi fa sol la si do*). Als ik dit stuk van de boventonenreeks zing (met stijgend de grote septiem/H15 en dalend de kleine septiem/H14) dan zijn de overeenkomsten met de grote-tertstonladder ook te horen (**CD #44**). In de boventoonreeks is 9:8 een *grote secunde*. 10:8 is wederom de *grote tert*s en 12:8 herhaalt de kwint, voor de tweede keer (6:4 en 3:2 gaan hem voor). 11:8 valt vrijwel exact tussen de *reine kwart* en de *overmatige kwart*, en 13:8 komt dichtbij een *kleine sext*. Deze twee ratio's gelden samen als ver verwijderd van alles waar we muzikaal vertrouwd mee zijn.<sup>10</sup> 14:8 is opnieuw het kleine septiem (7:4). Tot nu toe liggen de afstanden van toon tot toon steeds om en nabij een hele toon, of een *grote secunde*. 15:8 vult de grote secunde tot het octaaf op met twee *kleine secundes*.

Het daaropvolgende octaaf is minder relevant voor boventoonzang, omdat de boventonen nog maar met moeite geselecteerd kunnen worden door zangers. En als dat lukt, dan nog zullen lang niet alle luisteraars dat kunnen waarnemen. Deze hogere harmonischen, die voortborduren op de kleine secunde en gaandeweg kwarttonen worden, hebben aanzienlijk minder energie dan de lagere en dragen vooral bij aan de klankkleur.

We hebben nu twee benaderingen van de boventoonreeks gezien: de *ratio's*, of getalsverhoudingen, van de eerste 16 harmonischen, en de overeenkomstige *intervallen* in muzikale termen, zijn steeds gerelateerd aan de grondtoon en diens octaven. Hieronder staan de relaties nogmaals in een overzicht,

<sup>10</sup> David B. Doty, *The Just Intonation primer*. San Francisco: Other Music, 2002, 61.

daarin duiden de intervallen echter op afstanden tussen *naast elkaar gelegen* harmonischen. Een verticale verbinding duidt telkens op een octaafsprong. Op de sequentie 10-11-12 volgt later in dit hoofdstuk een toelichting.

Tabel 3.3. Intervallen tussen opeenvolgende harmonischen.

H8	grote secunde	H9	grote secunde	H10	kleine secunde	H11	grote secunde	H12	kleine secunde	H13	grote secunde	H14	kleine secunde	H15	kleine secunde	H16
H4	- grote terts -		H5	- kleine terts -		H6	- kleine terts -		H7	- grote secunde -		H8				
H2	- kwint -				H3	- kwart -				H4						
H1	- octaaf -														H2	

Het begrip *ratio* is exact en ondubbelzinnig. Het begrip *interval* geeft een toonsafstand slechts bij benadering. De ratio's 300:200 en 303:200 laten een miniem onderscheid zien, maar beide worden qua interval gerekend tot de *kwint*. In de boventoonreeks staat elke volgende stap voor een nieuwe, unieke ratio. Het reine octaaf (2:1), de reine kwint (3:2), de reine kwart (4:3) en ook de grote terts (5:4) zijn uniek als intervallen gebouwd op lage hele getallen. Daarboven ontstaan er meerdere variaties van dezelfde intervallen op rij. In de muziektheorie (en voor het gehoor) zijn 6:5 en 7:6 beide een kleine terts, maar het verschil ( $\frac{6}{5}$  is net iets kleiner dan  $\frac{7}{6}$ ) is voor een geoefend gehoor significant. Hierop volgen grote en kleine secundes, die steeds een stukje kleiner worden:  $\frac{7}{8}$ ,  $\frac{8}{9}$ ,  $\frac{9}{10}$ ,  $\frac{10}{11}$ ,  $\frac{11}{12}$ . In de boventoontheorie zijn er dus 'grote en kleine *grote secundes*' (en vervolgens ook 'grote en kleine *kleine secundes*').

## 5. De boventoonreeks in frequenties

Het is nu noodzakelijk om de relaties van harmonischen ook als een fysisch fenomeen te beschrijven. Dat doen we in termen van frequenties: een maateenheid die veel later ingevoerd is dan ratio's en de intervallen van het solmisatiesysteem. Welke frequentie de grondtoon ook heeft, als men deze vermenigvuldigt met de gehele getallen 2-16 (en hoger), dan verkrijgt men de natuurlijke boventonen van die frequentie. Nemen we een gangbare frequentie, zoals die van de toon a (220 Hz) op de piano, en zetten we daar de boventoonreeks op, dan zien we:

Tabel 3.4. Frequentieverloop van de eerst twaalf harmonischen van een boventoonreeks op een grondtoon van 220 Hz.

harmonische	F0	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
frequentie(Hz)	220	440	660	880	1100	1320	1540	1760	1980	2200	2420	2640

Met de grondtoonfrequentie is tevens de toename van elke willekeurige harmonische naar de volgende (of de afname naar de vorige) gegeven. Het frequentieverschil bedraagt steeds exact de frequentie van de grondtoon. En hoewel dat *frequentieverschil* gelijk blijft, wordt het *interval* telkens kleiner. De 220 Hz tussen 220 en 440 Hz is een octaaf, maar de 220 Hz tussen 1980 en 2200 Hz is een hele toon.

Om het denken in ratio's tegenover dat van denken in frequenties te verduidelijken, kunnen we een gedachtenexperiment doen. Toonschalen zijn niet-lineair opgebouwd en vereisen dus ook niet-lineaire

oplossingen als men ze wil aanpassen. Als we de *absolute* frequenties van alle stappen van een gegeven reeks ( $n \cdot x$ ) opschuiven met bijvoorbeeld 5 Hz ( $n \cdot x + 5$ ), dan verandert de muzikale aard van de reeks compleet en levert het in muzikale termen een bizarre reeks op. Verhogen we het voorbeeld van 220 Hz met 5 Hz, dan verschijnt op een nieuwe grondtoon van 225 Hz een H10 van 2205 Hz (Tabel 3.5), en dat is niet langer deelbaar door 225 Hz. De basistoonreeks is ingekrompen, alle intervallen klinken te klein en dus ‘vals’. Als we daarentegen de 5 Hz verschil in de begintoon ook niet-lineair laten toenemen in de boventonen, dan ontstaat er een zinvolle, correcte toonreeks  $((n+5) \cdot x)$ . De 5 Hz verschil neemt dan exponentieel toe met een heel getal, gelijk de boventoonreeks, en er ontstaat een *relatief* verschil in de frequenties.

Tabel 3.5. Een boventoonreeks van 220 Hz wordt 5 Hz naar boven verschoven. De verkeerde, lineair-veranderde reeks telt ook bij alle overige frequenties 5 Hz op. De correcte, niet-lineaire reeks vermenigvuldigt de grondtoon én het verschil van 5 Hz voor elke nieuwe trap.

	F0	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
<b>basisreeks</b>	220	440	660	880	1100	1320	1540	1760	1980	2200	2420	2640
<b>bizarre reeks</b>	225	445	665	885	1105	1325	1545	1765	1985	2205	2425	2645
<b>correcte reeks</b>	225	450	675	900	1125	1350	1575	1800	2025	2250	2475	2700

Frequenties worden echter zelden aangeduid door musici, omdat in muziek vrijwel altijd de *relatieve* verhoudingen essentieel zijn, en die kunnen in het algemeen voldoende duidelijk met andere middelen worden aangegeven. Er is één frequentie die gebruikt wordt door vrijwel alle musici die gangbare westerse stemmingen gebruiken in een georganiseerd verband, zoals een orkest, een strijkkwartet of een gitaarband, en dat is de al genoemde 440 Hz.<sup>11</sup> Deze toon of frequentie is mede ingesteld om de problemen die ontstaan als er meerdere types instrumenten (en dus stemmingen) tegelijk klinken, te beperken. Het is slechts in theorie mogelijk om de afstemming van tonen en instrumenten volledig harmonieus (in de zin van ratio's en proporties) te laten verlopen volgens één enkel systeem van frequenties.

## 6. Een andere universele reeks

Een toonladder of toonschaal vertelt ons hoeveel tonen er in een octaaf gaan en waar ze geplaatst zijn. Een nauwkeuriger begrip om toonsafstanden aan te duiden is *stemming*: dit bepaalt de theoretische, exacte ligging van alle tonen in een reeks.<sup>12</sup> In de praktijk kan daar van afgeweken worden, bijvoorbeeld om emotie uit te drukken, maar een stemming geeft in ieder geval een basis om tonen en instrumenten op elkaar af te stemmen. Voor elke stemming (pythagoreïsche stemming, middentoonstemming, en vele

<sup>11</sup> Maar ook dit referentiepunt is uiteindelijk relatief: de frequentie kende vele lokale verschillen en is ook in de loop der eeuwen sterk veranderd. Zie bijvoorbeeld de toevoegingen van vertaler Alexander Ellis in: Hermann Helmholtz, *On the sensations of tone*. New York: Dover Publications, 1954, Appendix XX (493-514). Ook vandaag de dag is er van absolute standaardisatie geen sprake, en neigt de concerttoon te stijgen.

<sup>12</sup> Of intervallen ook echt zo gespeeld worden als in theorie de bedoeling is, is weer een geheel andere vraag, die in het volgende hoofdstuk uitgebreider aan bod komt.

andere) zijn theoretische en rekenkundige principes ontwikkeld die bepalen hoe de relatieve afstanden van elke toon binnen een octaaf gevonden kunnen worden.

De meest gangbare stemming voor muziek gespeeld op moderne instrumenten is de *evenredigzwevende stemming*.<sup>13</sup> Deze verdeelt het octaaf in twaalf exact gelijke afstanden. Worden al deze twaalf tonen achter elkaar gespeeld, dan spreken we van een chromatische toonladder. De diatonische of grote-tertstonladder (het do-re-mi-fa-sol-la-si-do) is doorgaans gebaseerd op deze stemming. Omdat de piano en andere toetsinstrumenten zo een belangrijke rol spelen in Europese klassieke muziek, is deze stemming standaard geworden.

De evenredigzwevende stemming was bedoeld om een eind te maken aan allerlei *onevenredige* verschuivingen in de halve tonen en hele tonen waarin het octaaf verdeeld kan worden. Het werd steeds problematischer om kwinten, kwarten en tertsen zuiver te stemmen in composities die telkens nieuwe grenzen opzochten. De behoefte om meer noten met elkaar te verbinden in melodisch en vooral in harmonisch opzicht daagde muziektheoretici uit tot het vinden van een oplossing. Alle oplossingen<sup>14</sup> hadden beperkingen: zuiver klinkende akkoorden *hier* leidden altijd weer tot onzuivere, wrange akkoorden *daar*. De verdeling van die onzuiverheden over steeds meer intervallen leidde uiteindelijk tot een verdeling van *alle* twaalf tonen over het octaaf: ziedaar de *evenredigzwevende chromatische* toonladder. Sindsdien is het mogelijk om het aantal zwevingen dat ontstaat tussen intervallen in principe gelijk of evenredig te maken, of men dat interval nu op de C, de F, de As of de Dis plaatst.

Deze evenredigzwevende temperatuur kwam vanaf eind zeventiende eeuw geleidelijk in zwang in de Europese kunstmuziek. Hij werd tegen het einde van de negentiende eeuw overal in Europa toegepast voor piano's, orgels en harpen, en had grote invloed op zangers en instrumentalisten die zelf hun intonatie moesten bepalen. En omdat dit muzieksysteem in vele opzichten overgenomen werd in landen buiten Europa, is deze stemming een wereldwijde standaard geworden. Maar de stemming kent ook vele tegenstanders, omdat er voor elk interval, behalve het octaaf, water bij de wijn gedaan wordt. Of zoals de Nederlandse muziektheoreticus Adriaan Fokker het formuleerde: “stelselmatig is aan het muzikale gehoor geweld aangedaan”.<sup>15</sup> De zwevingen beginnen voor de critici al te storen op de grote tertsen (die totdantoe zo mogelijk altijd zuiverder gestemd werden).

Al dit rekenwerk ten spijt, is de muziekpraktijk weerbarstig: eeuwen (en in feite millennia) van muziektheorie hebben geleid tot heldere formuleringen van de problemen en gefundeerde, pragmatische

---

<sup>13</sup> Deze wordt meestal aangeduid met de term gelijkzwevende stemming, welke iets minder nauwkeurig is omdat niet de zwevingen, maar de afstanden tussen de tonen in logaritmische eenheden gelijk zijn. Zie Adriaan Fokker, ‘Harmonische muziek’, *Archives du Musée Teyler*, IX/5, 1942, 476.

<sup>14</sup> Zoals de middentoonstemming, Werckmeister 1, 2, en 3, of Valotti die op een beperkt aantal toonsoorten zuivere akkoorden opleverden, maar na modulatie naar andere toonsoorten zeer schrille akkoorden (Doty, *Just Intonation*, 2-6).

<sup>15</sup> Fokker, ‘Harmonische muziek’, 474. Zoals we zagen in Hoofdstuk Twee werd Fokker in zijn kritiek voorgegaan door Constantijn Huygens, die zich niet kon verzoenen met de gelijkzwevende septiem, en vasthield aan de H7. Precies het interval (verdubbeld tot H14) dat in Tabel 3.8 ‘buiten de boot valt’.

benaderingen. Maar de kloven tussen de natuurtoonreeks, de evenredigzwevende, de reine, de middentoon- en andere stemmingen blijven bestaan.

Tabel 3.6. De intervallen van de boventoonreeks in het vierde octaaf, vanaf de achtste boventoon, benaderen de diatonische toonladder, maar zijn in detail verschillend. Zoals we reeds zagen is er één extra interval ten opzichte van de diatonische reeks (referentietoon:  $c'=261,6$  Hz).

<b>frequentie harmonische</b>	<b>261,6</b>	<b>294,3</b>	<b>327</b>	<b>359,7</b>	<b>392,4</b>	<b>425,1</b>	<b>457,8</b>	<b>490,5</b>	<b>523,2</b>
<b>harmonische</b>	<b>H8</b>	<b>H9</b>	<b>H10</b>	<b>H11</b>	<b>H12</b>	<b>H13</b>	<b>H14</b>	<b>H15</b>	<b>H16</b>
<b>absolute notennamen</b>	<b>c'</b>	<b>d'</b>	<b>e'</b>	<b>f'</b>	<b>g'</b>	<b>a'</b>	<b>bes'</b>	<b>b'</b>	<b>c''</b>
<b>freq. evenredigzwevende stemming</b>	<b>261,6</b>	<b>293,7</b>	<b>329,6</b>	<b>349,2</b>	<b>392</b>	<b>440</b>	<b>-</b>	<b>493,9</b>	<b>523,2</b>
<b>relatieve notennamen</b>	<b>do</b>	<b>re</b>	<b>mi</b>	<b>fa</b>	<b>sol</b>	<b>la</b>	<b>-</b>	<b>si</b>	<b>do</b>

### 7. De boventoonreeks in cents

Ik kom nu bij een laatste eenheid om de boventoonreeks te beschrijven, en dat is de ontbrekende schakel tussen de boventoonreeks en het moderne evenredigzwevende systeem dat ik zojuist besprak. Een exacte manier om de gelijke toonsafstanden van de evenredigzwevende stemming te benoemen vergt logaritmische berekeningen. Elke stap kan dan weer ingedeeld worden in 100 gradaties, zodat het octaaf in totaal 1200 stapjes telt. Dat is wat de Britse natuurkundige Alexander Ellis (1814-1890) gedaan heeft om blijvende problemen rondom stemming het hoofd te bieden. Hij doopte de eenheid van zijn rekenkundige hulpmiddel de *cent*, en sindsdien is de cent een veelgebruikt meetinstrument om toonschalen en hun specifieke stemmingen met elkaar te vergelijken. De cent verdeelt het octaaf dus in 1200 stappen en elke halve toon in 100. Een verhoging van 50 cent boven een toon (bijvoorbeeld een c) betekent dat de verhoogde toon zich precies halverwege de erboven gelegen toon (in dit geval een cis) bevindt. De helft van deze halve toon wordt ook wel kwarttoon genoemd.

Het nadeel van het werken met frequentieverhoudingen en ratio's is dat het lang niet altijd duidelijk is welke combinatie in absolute zin groter is. De cent laat van elk willekeurig paar intervallen in één opslag zien welke groter is. Een reine kwint (ratio 3:2) met daarbovenop een reine terts (5:4) levert een reine septiem op (15:8). In cents levert de optelsom 702 + 386 op, is 1088 cents. Maar is de reine septiem 15:8 nu groter of kleiner dan een ander interval, de pythagoreïsche septiem (243:128)? Dit wordt onmiddellijk zichtbaar als die laatste ook omgezet wordt naar cents. Dat levert 1110 op, en dus is hij iets ruimer dan

Tabel 3.7. De eerst zestien harmonischen geplaatst bij de dichtsbijgelegen tonen van de evenredigzwevende, chromatische toonreeks. Erboven de afwijking van de harmonischen in cents.

<b>afwijking (cents)</b>	-		<b>+2</b>	-	<b>-14</b>	<b>+2</b>	<b>-31</b>	-	<b>+4</b>	<b>-14</b>	<b>-49</b>	<b>+2</b>	<b>+41</b>	<b>-31</b>	<b>-12</b>	-
<b>nabijgelegen toon</b>	<b>c</b>	<b>c</b>	<b>g</b>	<b>c</b>	<b>e</b>	<b>g</b>	<b>bes</b>	<b>c</b>	<b>d</b>	<b>e</b>	<b>fis</b>	<b>g</b>	<b>as</b>	<b>bes</b>	<b>b</b>	<b>c</b>
<b>harmonische</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>

de reine septiem.<sup>16</sup> De cent leent zich er goed voor om afwijkingen van de evenredigzwevende stemming te laten zien. Dat de laatste heel anders is dan de boventoonreeks is te zien in Tabel 3.7, waar de afwijkingen in cents van de 12 gelijkgestemde tonen van het octaaf staan.

### 8. Incongruentie van de gelijkzwevende stemming met de boventoonreeks

In de studies die ik geraadpleegd heb waarin harmonischen een centrale rol spelen, of het nu om muzikaal-compositorische, muziektheoretische, (meta)fysische, psycho-akoestische of fonetische onderzoeken naar boventoonzang gaat, heb ik verschillende notaties en intervallen voor de boventoonreeks aangetroffen. Dit verwonderde mij gezien het feit dat beide reeksen volstrekt regelmatig zijn. Ook verbazend is het gebrek aan discussie over de verschillende manieren waarop de matrix van de boventonen overgezet kan worden op de matrix van het Europese notenschrift en de intervalnamen (een gebrek dat toeneemt naarmate de imprecisie toeneemt). Daarom is het noodzakelijk om auteurs die ik in de loop der tijd geraadpleegd heb aan een kritische blik te onderwerpen, en mij af te vragen hoe ik zelf de boventoonreeks wil opvatten en noteren. De keuze uit auteurs en publicaties die ik hieronder zal presenteren is chronologisch, en dient vooral om de aanzienlijke verschillen tussen hun representaties van de boventoonreeks aan het licht te brengen. In Appendix Twee zijn de notaties per auteur te vinden, zoals ze in hun geschriften genoteerd staan of genoemd worden.

In de voorlaatste tabel (Tabel 3.7) was te zien dat H9 en H12 amper afwijken van de evenredigzwevende stemming. De H5, met -14 cents, en de H15, met -12 cents, liggen nog voldoende dichtbij een toon om geen grote verwarring op te leveren. Maar de -31 cents van H7 betekent dat die toon eenderde in de richting van de eronder gelegen toon klinkt als ik een bes op de piano aansla (en de C als grondtoon neem). Dit wordt als een serieuze afwijking ervaren door sommige auteurs, musici en theoretici en dus krijgt dit interval vaak een verlagingsteken. De H13 ligt het dichtst bij een as, en wel 41 cents erboven. Dat betekent dat hij 59 cents onder de a ligt en eigenlijk niet als een a genoteerd zou moeten worden. Geen harmonische tot H16 wijkt echter zoveel af van de gelijkzwevende stemming als H11, die volgens de cents-telling vrijwel exact tussen de twee nabijgelegen tonen f en fis ligt, op een kwarttoon afstand van beide tonen. Voor die tonen die een twijfelachtige positie innemen ten opzichte van de chromatische toonladder moet een keuze gemaakt worden, waarbij een afronding naar de dichtstbijgelegen toon erboven of eronder voor de hand ligt. Dit gebeurt echter niet altijd, en in zeldzame gevallen zien auteurs zelfs een *derde* mogelijkheid voor de ‘afronding’ naar de evenredigzwevende stemming.

In Tabel 3.8 geef ik de resultaten, waarbij de tonen met letters worden aangeduid. Waar nodig zijn ze getransponeerd naar de boventoonreeks op C. Om de relatie met H13 te verduidelijken is H14, het octaaf van de zevende harmonische, toegevoegd. In Tabel 3.9 en 3.10 staan de notaties van elke harmonische naast elkaar, door de lager genoteerde tonen meer naar links te zetten en de hogere meer naar rechts.<sup>17</sup>

<sup>16</sup> William Sethares, *Timbre, tuning, spectrum, scale*. Londen: Springer Verlag, 2005, appendix B.

<sup>17</sup> De bronnen voor de boventoonreeksen van de auteurs zijn: Helmholtz, *On the sensations*, 1954, 22; Géza Révész, *Inleiding tot de muziekpsychologie*. Amsterdam: Noord-Hollandsche Uitgevers Maatschappij, 1944, 13-14; Hans Kayser, *Textbook of harmonics*. Idyllwild: Sacred Science Institute, 2006, 124; Juan G. Roederer, *Introduction to the*

Tabel 3.8. Resultaten van de vergelijking van de notatie van H7, H11 en H13 in verschillende bronnen.

JAAR	AUTEUR	H7	H11	H13	H14
1863	Helmholtz	BES	11F	13A	BES
1944	Révesz	AIS	-	-	AIS
1950	Kayser	BES	FIS	A	BES
1979	Roederer	BES	-	-	BES
1987	Willemze	BES	F½ #	A½b	BES
1991	Godwin	BES↓	F↑	A↓	BES↓
1991	Zemp/Trân	BES-	FIS-	-	BES-
1991	Bloothoof	A+	F+	GIS+	A+
1992	Vetter	BES	FIS	AS	BES
1996	Rachele	BES↓	F↑	A↓	BES↓
2005	Sethares	BES	FIS	AS	BES
2006	Doty	BES[7↓]	F↑	AS[13]	BES[7↓]
2006	Levin / Suzuki	BES	F½ #	A½b	BES
2008	Wikipedia	BES-	GES-	AS+	BES-

De H7 (Tabel 3.9) is aanzienlijk lager dan de kleine septiem, de dichtsbijzijnde toon in gelijkzwevende stemming. Sommige auteurs besteden hier aandacht aan en geven de verlaagde H7 aan met een pijltje naar beneden bij het molteken. Anderen verbinden een 7 aan het molteken, of gebruiken het symbool waarmee naast de gebruikelijke halve tonen (kruisen en mollen) ook kwarttonen aangegeven worden. Enkele auteurs noteren eenvoudigweg een kleine septiem. De laatste is uiteraard de minst nauwkeurige optie. Een kwartnotatie is behoorlijk nauwkeurig, en het vermelden van 7 is de meest exacte benaming, omdat daaruit de exacte frequentieverhouding 7:4 spreekt.

Ook de H11 en H13 laten veel variatie zien, zoals blijkt uit Tabel 3.10. Voor H11 worden kwarttoonnotaties gegeven (behoorlijk nauwkeurig), wordt het getal 11 genoteerd aan de noot (zeer exact) en wordt er een verhoging (kruis) gegeven (onnauwkeurig). De notatie van de boventoonreeks op Wikipedia behoort tot de meest overzichtelijke en volledige die ik heb aangetroffen. Maar de H11 wordt hier verbazend genoeg noch als f noch als fis genoteerd, maar als *ges*. In de muziektheorie worden fis en

---

*physics and psychophysics of music*. New York: Springer Verlag, 1979, 96; Theo Willemze, *Algemene muzikleer*. Utrecht: Het Spectrum, 1987, 85; Joscelyn Godwin, *The mystery of the seven vowels*. Grand Rapids: Phanes Press, 1991, 12; Zemp en Trân, 'Recherches experimentales', 27-68; Bloothoof et al., 'Phonetic study', 14-17; Michael Vetter, *Das Oberton Chorbuch*. Kirchgarten-Geroldstal: Michael Vetter Verlag, 1992, 31; Rollin Rachele, *Overtone singing study guide*. Amsterdam: Cryptic Voices Productions, 1996, 26; Sethares, *Tuning*, 22; Doty, *Just Intonation*, 14; Levin en Suzuki, *Where rivers and mountains*, 53; Engelstalige Wikipedia, [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org), lemma 'harmonic series', laatst geraadpleegd 15 mei 2012.

Tabel 3.9. Resultaten van de notatie van H7 uitgesplitst naar de gelijkzwevende toonhoogte waaraan de notatie gerelateerd wordt en naar de aanwezigheid of afwezigheid van een verlagingsteken.

<b>Helmholtz</b>				<b>BES</b>
<b>Révesz</b>		<b>AIS</b>		
<b>Kayser</b>				<b>BES</b>
<b>Roederer</b>				<b>BES</b>
<b>Willemze</b>				<b>BES</b>
<b>Godwin</b>			<b>BES↓</b>	
<b>Zemp/Trân</b>			<b>BES-</b>	
<b>Bloothoof</b>	<b>A+</b>			
<b>Vetter</b>				<b>BES</b>
<b>Rachele</b>			<b>BES↓</b>	
<b>Sethares</b>				<b>BES</b>
<b>Doty</b>			<b>BES[7↓]</b>	
<b>Levin / Suzuki</b>				<b>BES</b>
<b>Wikipedia</b>			<b>BES-</b>	

Tabel 3.10. Resultaten van de notatie van H11 en H13 uitgesplitst naar de gelijkzwevende toonhoogte waaraan de notatie gerelateerd wordt en naar de aanwezigheid of afwezigheid van een verhogings- of verlagingsteken. Ter verduidelijking is de H12 op G toegevoegd.

	<b>H11</b>		<b>H12</b>	<b>H13</b>	
<b>Helmholtz</b>	<b>11F</b>		<b>G</b>		<b>13A</b>
<b>Kayser</b>		<b>FIS</b>	<b>G</b>		<b>A</b>
<b>Willemze</b>	<b>F½ #</b>		<b>G</b>		<b>A½b</b>
<b>Godwin</b>	<b>F↑</b>		<b>G</b>		<b>A↓</b>
<b>Zemp/Trân</b>		<b>FIS-</b>	<b>G</b>		
<b>Bloothoof</b>	<b>F+</b>		<b>G</b>	<b>GIS+</b>	
<b>Vetter</b>		<b>FIS</b>	<b>G</b>		<b>AS</b>
<b>Rachele</b>	<b>F↑</b>		<b>G</b>		<b>A↓</b>
<b>Sethares</b>		<b>FIS</b>	<b>G</b>		<b>AS</b>
<b>Doty</b>	<b>F↑</b>		<b>G</b>		<b>AS[13]</b>
<b>Levin/Suzukei</b>	<b>F½ #</b>		<b>G</b>		<b>A½b</b>
<b>Wikipedia</b>			<b>GES-</b>	<b>G</b>	<b>AS+</b>

ges ‘enharmonisch gelijk’ genoemd: de verhoging van de f naar fis komt op hetzelfde neer als de verlaging van de g naar ges. Maar H11 ligt 51 cents boven de f, en 49 cents onder de fis. Dit maakt de notatie als een ges onbegrijpelijk: de H11 ligt beduidend verder van de g (de kwint) verwijderd dan van de f (de kwart). De interpretatie als f is bovendien begrijpelijk. Het verschil van enkele cents is weliswaar hoorbaar voor opmerkelijke luisteraars in hogere octaven, maar dat betekent nog niet dat iemand feilloos kan vaststellen dat H11 twee cents dichterbij fis dan bij f ligt. Men kan de H11, afhankelijk van de context, makkelijk



horen als ‘een soort van reine kwart’. Dit is bijvoorbeeld het geval bij het *Wilhelmus*, waar de eerste toon op ‘Na-’ van ‘Nasoue’ op een H11 valt. Hier wordt H11 zeker niet als een verlaagde kwint (een ges) gehoord, en voor de meeste luisteraars (vanwege de context van de melodie) ook niet als een overmatige kwart (een fis), maar als een reine kwart (een f). Deze omstandigheid heeft er mogelijk toe geleid dat vele auteurs de H11 als het ware milder noteren dan hij in werkelijkheid is, als f in plaats van fis. Een verhoogde f (fis) heeft bovendien de associatie met de *diabolus in musica*, de verklanking van de duivel in de Europese muziekgeschiedenis.

Het mag duidelijk zijn dat de f enerzijds en de fis en ges anderzijds verschillende muzikale resultaten tot gevolg hebben, mochten de auteurs of anderen deze notatie gebruiken als basis voor een uitvoering waarmee instrumenten of zangers de boventonen omzetten naar een muziekstuk in grondtonen. Dit zal doorgaans niet het geval zijn: de auteurs proberen een transcriptie, en geen prescriptie, te geven van een muzikaal en akoestisch gegeven. Toch lijken de verschillende notatiewijzen ingegeven te zijn door een muzikale interpretatie van de feiten: het is deels een kwestie van smaak, gevoel en muzikale intuïtie of men de H11 wil horen als een zeer hoge f of een matig hoge fis. Uit deze verschillen wordt duidelijk dat theoretici, filosofen en metafysici de feiten deels interpreteren met hun muzikale gevoel en een voorstelling van hoe het zou moeten klinken als men de tonen van de boventoonreeks—in gedachten of uitwendig—tot klinken brengt.

Dat geldt ook voor de H13: ik plaats hem zelf op het gehoor op een as (een kleine sext) in plaats van een a (grote sext). Waarom sommige auteurs toch voor een a kiezen blijft meestal onduidelijk. Kwarttonen worden hier niet gebruikt, pijlen soms wel. Helmholtz is de enige die volledige nauwkeurigheid betracht door expliciet het getal 13 te gebruiken naast de notatie van de a, waarbij opgemerkt moet worden dat as logischer zou zijn. Doty maakt daar een variatie op door aan het molteken van de as een 3 te verbinden, waaruit kenners opmaken dat het de typische verhoging (bovenop de as) van H13 is. Ook hier weer geldt dat het verschil tussen a en as vanuit muzikaal oogpunt groot te noemen is, en dat het weglaten van een pijl, molteken of 13 afbreuk doet aan de nauwkeurigheid van de aanduiding. De gis+ van Bloothoofst is ondanks het plusteken een ongelukkige keuze, net als de ges van Wikipedia voor H11.

Wat nu aan het licht komt is op zich niet nieuw: de feiten van de boventoonreeks en van de gelijke verdeling van het octaaf in twaalf tonen zijn al lang bekend. Wat mij opvalt, en verbaast, is de enorme discrepantie tussen de manieren waarop de bronnen, inclusief *recente* bronnen, deze twee standaardreeksen aan elkaar koppelen. Dit is niet alleen een kwestie van fijnafstemming in termen van frequenties, of van het gebruik van dit of dat teken voor de verlagingen en verhogingen, die voor elk geval net anders zijn. Zelfs de basistonen van de twaalftoonsreeks waar auteurs op uit komen lopen flink uiteen. Het is daarbij opvallend dat meer exact georiënteerde bronnen niet zorgvuldiger omgaan met de intervalnotatie dan de muzikaal georiënteerde bronnen; het tegendeel is eerder waar. Dit brengt aan het licht dat een verder uitstekende natuurkundige bespreking van geluid iets heel anders is dan een werk dat muziektheoretisch gefundeerd is. Alvorens de vraag te beantwoorden wat voor mij als boventoonzanger de meest bruikbare notatie is, waarbij ik rekenschap wil afleggen van muzikale en getalsmatige overwegingen, presenteer ik op de volgende twee pagina's een manier om het probleem van deze twee toonschalen te visualiseren.

### Vergelijking van de lineaire en de logaritmische schaal

In deze tabellen wordt anschouwelijk gemaakt hoe het lineaire verloop van de frequenties van de boventoonreeks verloopt in vergelijking met de exponentiële groei van de evenredigzwevende stemming. De verdeling van het octaaf in 1200 stappen is de sleutel tot deze vergelijking. Voor de boventoonreeks ga ik uit van de nummers H8 tot en met H16. Als hun omvang 1200 moet bedragen, dan betekent dat dat het octaaf 1200 Hz moet omspannen. Ik laat de reeks lopen van 1200 tot 2400 Hz. Dat octaaf wordt overbrugd door acht stappen van 150 Hz, en daarmee is tevens de waarde van de denkbeeldige grondtoon H1 gegeven. Omdat deze reeks lineair verloopt, kan dit octaaf verdeeld worden in blokken van 50 Hz. Deze waarden zijn hier gegeven, en vormen de bovenste twee rijen van de tabel.

f(Hz)	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500	1550	1600	1650	1700	1750	1800	1850	1900	1950	2000	2050	2100	2150	2200	2250	2300	2350	2400
Hx	H8			H9			H10			H11			H12			H13			H14			H15			H16

De volgende deeltabel is voor de toonreeks in evenredigzwevende stemming. 1200 is ook het aantal stappen dat een octaaf omspant in Alexander Ellis' standaardverdeling die aansluit op deze evenredigzwevende stemming. Het octaaf op een piano omvat 12 tonen. Deze 12 stappen, van een halve toon elk, worden tezamen een chromatische toonladder genoemd. Elke halve toon van het octaaf wordt weer in 100 cents verdeeld, waarbij 100 cents bij elke volgende halve toon een groter aantal Hz bedraagt. Ik noem het begin van het octaaf voor het gemak 'C' en laat de cents niet van 0 tot 1200 lopen (zoals normaalgesproken het geval is), maar van 1200 tot 2400. Omdat het puur om een theoretische vergelijking gaat, maakt dit geen verschil. Zowel de boventoonreeks als de twaalftoonreeks kunnen wat hun opbouw betreft feitelijk op elke frequentie beginnen. Voordat het onderste gedeelte van de tabel verder opgebouwd wordt, volgen hier eerst de twee reeksen in hun regelmatige vorm: de boventoonreeks op donkergrijze, de chromatische reeks op witte achtergrond.

f(Hz)	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500	1550	1600	1650	1700	1750	1800	1850	1900	1950	2000	2050	2100	2150	2200	2250	2300	2350	2400
Hx	H8			H9			H10			H11			H12			H13			H14			H15			H16
Noot	C		C#	D		D#	E		F	F#	G		Ab		A	Bb		B							C
Cents	1200		1300	1400		1500	1600		1700	1800	1900		2000		2100	2200		2300							2400

Nu komt het erop aan de verbinding te maken tussen de 1200 cents van de onderste tabel met de 1200 Hz van de boventoonreeks. Zeven harmonischen wijken af van de chromatische toonladder (alleen nummer acht en nummer zestien vallen samen met de begin- en eindtoon). Boven de cents-schaal en de notennamen in de onderste twee rijen zet ik nu respectievelijk a) de exacte centswaarde van elke boventoon, b) de afwijkingen in cents van de boventonen tot de dichtstbijzijnde gelijkzwevende toon en c) de corresponderende nummers van de boventonen H8 tot en met H16. Omdat H11 op 1 cent na een kwarttoon bedraagt en dus vrijwel exact tussen twee halve tonen in ligt, noteer ik hem hier eerst boven elk van de twee naastliggende tonen: F en Fis. Het middenveld tussen lineair (harmonisch) en logaritmisch (evenredigzwevend) is lichtgrijs.



### 9. Keuzes in de interpretatie van de boventoonreeks

Ik heb laten zien dat er een aantal problematische intervallen zijn in de boventoonreeks, ten opzichte van de evenredigzwevende chromatische toonladder. Maar er doet zich nog een probleem voor. Het vierde octaaf van de boventoonreeks (H8 tot H16) bevat acht tonen. Die acht tonen kunnen opgedeeld worden door er ofwel hele, ofwel halve tonen tussenin te zetten (hele tonen zijn do-re, re-mi, fa-sol, sol-la, la-si en halve tonen mi-fa en si-do). Uitgaande van de reeks H8-H16, moeten die hele en halve tonen zo uitgekozen worden dat er uiteindelijk een octaaf overblijft. In Tabel 3.11 geef ik onder elkaar, met Romeinse cijfers, de vier mogelijke verdelingen van de afstanden in grote (1) of kleine secondes ( $\frac{1}{2}$ ) tussen de opeenvolgende tonen. In de bovenste kolom staan de harmonischen.

Tabel 3.11. Vier mogelijke verdelingen van het vierde octaaf van de boventoonreeks in hele en halve tonen.

Hx	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16
I	c	d	e	f <sup>is</sup>	$\frac{1}{2}$ g	a	$\frac{1}{2}$ bes	b	$\frac{1}{2}$ c
II	c	d	e	f <sup>is</sup>	$\frac{1}{2}$ g	$\frac{1}{2}$ as	bes	$\frac{1}{2}$ b	$\frac{1}{2}$ c
III	c	d	e	$\frac{1}{2}$ f	g	a	$\frac{1}{2}$ bes	$\frac{1}{2}$ b	$\frac{1}{2}$ c
IV	c	d	e	$\frac{1}{2}$ f	g	$\frac{1}{2}$ as	bes	$\frac{1}{2}$ b	$\frac{1}{2}$ c

Als ik ervanuit mag gaan dat de boventoonreeks zich ontwikkelt volgens gestaag kleiner wordende ratios, dan zou dit weerspiegeld moeten worden in de intervallen. Wat blijkt nu? Geen enkele van de opties laat dit regelmatige verloop zien. Cruciaal zijn de verdelingen van de H11 en de H13. Als ik begin met een hele stap voor de H11 (optie I en II), dan volgt daar onherroepelijk een halve stap op. Nog een halve stap van 12 naar 13 (optie II) veroorzaakt echter een hele stap tussen 13 en 14. Elke optie laat zien dat er op een halve stap toch nog een hele stap moet volgen. Hoewel de treden van de boventoonladder in werkelijkheid steeds kleiner worden ( $\frac{1}{8}$ ,  $\frac{1}{9}$ ,  $\frac{1}{10}$ , ...) wordt dit niet gereflecteerd in de verdelingen over de twaalf tonen van het octaaf dat musici hanteren. Hier komt een vreemde incongruentie aan het licht tussen twee logische toonreeksen, de ene volstrekt regelmatig in de exacte proportionele toename (de boventoonreeks), de andere volstrekt regelmatig in de exponentiële toename (de gelijkzwevende chromatische reeks). Het blijkt dat de twee reeksen elkaar in het geheel niet kunnen verdragen.

Wat is nu de beste keuze? Feitelijk is optie II de meest geschikte, omdat de matrix van het centssysteem eenvoudigweg voorschrijft dat daarin de meest nabij gelegen tonen naar voren komen. Het heeft de wonderlijke eigenschap dat er een soort cluster van halve tonen rondom de kwint ontstaat (fis-g, g-as), terwijl die halve tonen aan beide kanten omgeven worden door hele tonen (e-fis, as-bes). Dat druist vaak tegen intuïties van musici en theoretici in. Optie III doet dat veel minder, omdat het gehoor van veel musici er al aan gewend is dat de kwart (meestal) een halve toon boven de terts zit, zodat de stap tussen 10 en 11 met een halve toon logisch lijkt. Bovendien voldoet het verdere verloop vanaf H11 aan de verwachting dat de intervallen kleiner worden: 1 - 1 -  $\frac{1}{2}$  -  $\frac{1}{2}$  -  $\frac{1}{2}$ . Maar het is ook de minst correcte optie, afgaande op de ideale verdeling van de cents van optie II!

Wat zegt het gehoor? *Mijn* gehoor neemt de H13 eerder als een mineur waar, dus een kleine sext, ofwel opties I of III. De H11 klinkt mij weliswaar verhoogd in de oren, maar meestal niet zo scherp als een overmatige kwart. Ook de stap van 11 naar 12 komt op mij niet over als een halve stap, maar een hele. Daaruit volgt dat niet opties I of III, maar optie IV voor mij de beste zou zijn.

Mijn conclusie moet dus—net als die van de meeste auteurs—het midden houden tussen de theorie en de praktijk van de muziek. Ik zie het centssysteem als een verlengstuk en verfijning van de gelijkzwevende stemming, die niet toegesneden is op de boventoonreeks. Het is niet in staat om de inherente incongruentie tussen de twee toonsystemen op te heffen, vanwege de hele stap rond de 13 die ergens op de halve stap rond de 11 moet volgen. Mijn gehoor

1. stelt het centssysteem in het gelijk voor de H13 (as), maar
2. interpreteert het natuurlijke verloop van H10 naar H11 eerder als een ‘grote halve’ toonsafstand (f) dan een ‘kleine hele’ (fis) én
3. evalueert bovendien het interval tussen H11 en H13 als een kleine terts (f-as of fis-a, maar niet f-a)

Hieruit volgt dat ik op een notatie van de reeks uitkom met een f en een as. De enige uit de lijst die eenzelfde keuze maakt is David Doty (na eerst de H11 als een verlaging van Fis gesignaleerd te hebben); Willemze en Levin/Suzukei komen dicht in de buurt met een half-verhoogde f. De tabel, en de notaties van de boventoonreeks zonder en met bijzondere tekens komen er dan zo uit te zien:

Tabel 3.12. Boventoonreeks met persoonlijke voorkeursverdeling van hele en halve tonen, zonder extra hulptekens.

H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16								
c	1	d	1	e	$\frac{1}{2}$	f	1	g	$\frac{1}{2}$	as	1	bes	$\frac{1}{2}$	b	$\frac{1}{2}$	c

Illustratie 3.13. Muzieknotatie van de boventoonreeks, met hulptekens.



Een mogelijkheid bleef nog onbesproken, en dat is theoretisch gezien de *meest logische* reeks, en praktisch gezien de *meest onlogische*. In dit geval worden het aantal hele en halve stappen van de tabel wél na elkaar gezet in afnemende sprongen: eerst alle hele dan alle halve tonen. Dit is logisch omdat de breuken steeds kleiner worden:  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{1}{4}$  ... . Het is onlogisch omdat de twaalfde harmonische op de gis (een overmatige kwint) valt, terwijl de reine kwint uit de boventoonreeks verdwijnt. We komen deze verdeling nooit tegen

omdat voor iedereen duidelijk is (en de centsnotatie ook uitwijst) dat H12 een vrijwel perfecte reine kwint is.

Tabel 3.14. De boventoonreeks verdeeld over de twaalf halve tonen in steeds kleinere stappen.

H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16								
c	1	d	1	e	1	fis	1	gis	½	a	½	bes	½	b	½	c

## 10. Toepassing op de 0...

Ter afsluiting van deze beschouwing van de boventoonreeks kom ik terug op de 0... Een heikel punt bij een poging om geluid en muziek van de grond af op te bouwen op basis van de boventoonreeks is de keuze van de grondtonen. Moeten we beginnen op een willekeurig gekozen grondtoon, en van daaruit proportioneel alle grondtonen afleiden? Dan zouden we kunnen betogen dat we naast die grondtoon telkens een segment van de boventoonreeks boven die grondtoon als vertrekpunt nemen voor nieuwe tooncombinaties. Voorbeeld: stel dat we beginnen met een grondtoon van 100 Hz, dan kunnen we werken met de hexatonische (zestonige) toonschaal die loopt van H6-H12. Die intervallen transponeren we naar lagere octaven (bijvoorbeeld door ze door 8 te delen). Op basis van (een selectie van) die zes tonen zingen we vervolgens weer boventonen, die we met elkaar combineren. Op deze en op talloze andere manieren is het mogelijk om uit de intervallen van een strikt harmonische boventoonreeks nieuwe toonreeksen af te leiden. De winst is dat er een reeks ontstaat die volledig op de eenvoudige proporties van de natuurtoonreeks gebouwd is. Maar daar moet een prijs voor betaald worden: er zal op deze manier nooit enig algemeen referentiesysteem van tonen kunnen zijn zoals we dat nu hebben. Er zal immers altijd een grondtoon als uitgangspunt gekozen moeten worden waarop alle vertakkingen terug te voeren zijn; én de afgeleide toonschalen zullen al snel vormen aannemen die veel complexer zijn dan dit voorbeeld. Dit wordt duidelijk uit de vele specifieke toonschalen die vooraanstaande *Just Intonation*-componisten ontwikkeld hebben, en uit die van hun antieke Griekse voorbeelden, in de bloeiperiode van de *harmoníai*.<sup>18</sup>

Sommige *Just Intonation*-componisten en -musici (en ook vele boventoonzangers) zetten zich af tegen de chromatische toonladder in evenredigzwevende stemming, zoals we aan het begin van dit hoofdstuk zagen in het citaat van Lou Harrison. Het was ook lange tijd mijn droom om een algemene benadering van mijn muziek van de grond af op te bouwen op basis van de boventoonreeks, zonder de evenredigzwevende stemming als referentie te gebruiken. Maar telkens weer stuitte ik op het bezwaar van de keuze van de grondtoon, alsook van de afleidingen van de grondtoon. Uiteindelijk zou dat een willekeurige keuze zijn, waarmee het idee van een werkelijk ‘natuurlijke’ reeks (in de zin van: niet door mensenhanden gemaakt)

<sup>18</sup> Zie de Inleiding. Ik noem hier slechts twee voorbeelden: Harry Partch bouwde zijn oeuvre op een 43-tonige toonladder en moest zelf vele instrumenten ontwikkelen om de muziek te realiseren (Bob Gilmore, ‘The climate since Harry Partch’, *Contemporary Music Review*, 22, Nos 1 en 2, 15-33); La Monte Young gebruikte, in zijn eigen woorden, een “underlying musical structure characterized by the predominance of intervals with numerators and denominators factorable by the primes 7, 3, and 2, and by the exclusion of intervals with numerators and denominators factorable by the prime 5”. (La Monte Young en Marian Zazeela, *Notes on the Theatre of eternal music and The tortoise, his dreams and journeys*, 2000. Gepubliceerd op zijn website, [www.melafoundation.org](http://www.melafoundation.org), laatst geraadpleegd 7 oktober 2012).

op losse schroeven zou komen te staan. Wat in eerste instantie natuurlijk lijkt, leidt in de praktijk tot een dwangmatige en geforceerde systematiek. Ik zal niet ontkennen dat de componisten die hun composities, of zelfs hun hele oeuvre, ophangen aan één of meer sleutelfrequenties, een punt hebben. Maar na wikken en wegen zijn de *0...* op de cd gerealiseerd met een set van dertien stemvorken, waarbij telkens één of twee stemvorken als referentietoon dienden. Zo combineer ik het experiment van de *0...* (en hun soms uitzinnige ratio's) aan het praktische nut van die (soms verdoemde) evenredigzwevende chromatische toonreeks.

### 11. Boventoonzingen

In het resterende deel van dit hoofdstuk volgt in kort bestek een aantal van de meest relevante aspecten van het hoorbaar maken van de boventoonreeks met de (zang)stem. Door middel van een nauwkeurige articulatie, vergelijkbaar met, maar preciezer dan bij spraak, kunnen de hogere resonanties van het stemgeluid stuk voor stuk hoorbaar gemaakt worden. Zoals te horen is op **CD #45**, is er sprake van een zekere continuïteit tussen het articuleren van klinkers en het zingen van boventonen. De eerste reeks bestaat uit een deel van de gesproken klinkers die we dagelijks gebruiken in het nederlands: oe – o – a – aa – e – ee – ie (boet – bot – bad – baat – bed – beet – biet). De reeks heeft duidelijk te onderscheiden, spectrale pieken, die ons vertellen met welke klinkers we van doen hebben, maar dat horen we niet. De tweede reeks, met dezelfde klinkers, benadrukt eigenschappen van de klinkers die als ‘muzikaal’ op te vatten zijn door een vaste toon aan te houden—maar we horen meestal slechts die ene toon. In de derde reeks worden de bewegingen van tong, lippen, kaken en pharynx zó op elkaar afgestemd dat ze gezamenlijk bijdragen aan een concentratie van resonanties binnen een kleiner frequentiebereik. Nu

Tabel 3.15. Geluidsvoorbeeld 44. Zeven klinkers worden eerst gewoon (1), dan met een aanhoudende toon (2) uitgesproken. Vervolgens worden de voornaamste klinkerresonanties versterkt, waardoor een zevental harmonischen hoorbaar wordt (3). Tot slot worden tussenliggende harmonischen aangevuld om de eerste zestien trappen van de boventoonreeks te vormen, waarbij de klinkers als achtergrond meeklinken (4).

4	BOVENTOONREEKS MET KLINKERS OP ACHTERGROND	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
		↓	↓	↓	↓	↓				↓						↓
		OE	O	A	AA	E				EE						IE
3	MET BOVENTONEN OP DE KLINKERS	2	3	5	6	9				12						16
		↑	↑	↑	↑	↑				↑						↑
		OE	O	A	AA	E				EE						IE
2	GESPROKEN MET EEN TOON	OE	O	A	AA	E				EE						IE
1	GESPROKEN	OE	O	A	AA	E				EE						IE

worden bij sommige klinkers al duidelijker die boventonen hoorbaar die de klinkerkwaliteit bepalen. De nadruk verschuift hier van de klinkers als klankobject *an sich*, naar de belangrijkste *resonanties* van de

klinkers. Tenslotte bepalen niet meer de zeven klinkers de mondposities, maar de zeven harmonischen van hun sterkste formanten én de tussenliggende harmonischen. Naarmate de klank helderder wordt neemt het aantal mondposities toe, overeenkomstig de toename van het aantal boventonen tussen de klinkers. Achtergrond (boventonen) is voorgrond geworden en voorgrond (klinkers) is nu secundair: er is van de klinkers nog slechts een vage contour waar te nemen. Binnen de *kwaliteit* van de kleur tekent zich nu duidelijk de *kwantiteit* van de afzonderlijke trillingen af.

## 12. Van de longen tot de oren

Het bovenstaande experiment vindt plaats op twee plekken: in de mond, en in de hersenen. Het pad dat afgelegd wordt tussen het ‘doen ontstaan’ van geluid tot het ‘doen waarnemen’ ervan behelst een aantal transformaties of omzettingen. Die zal ik nu kort bespreken, waarbij ik me concentreer op het menselijk lichaam als begin- en vertrekpunt van geluid. Ik laat daarom de rol van de omgeving buiten beschouwing, terwijl dat wel bij uitstek de plaats is waar muziek in de beleving van veel mensen plaatsvindt. Het is immers daar (bijvoorbeeld in de concertzaal) waar muziek ‘klinkt’. We kunnen die zichtbare, fysieke omgeving echter niet als bron van boventonen aanwijzen. Ook al kunnen we stellen dat de wetmatigheden van resonantie in algemene zin gegeven zijn, voor elk specifiek weerklinken van harmonischen en timbre gaat het hier om een zingende en soms sprekende mens.

De Zweedse stemonderzoeker Johan Sundberg heeft laten zien dat de stem, en elke andere geluidsbron, beschreven kan worden als een krachtbron, gecombineerd met een oscillator en een resonator.<sup>19</sup> De krachtbron van de stem bestaat uit de longen, waarmee de luchtdruk opgebouwd wordt. Deze kan de stembanden, de oscillator, in een regelmatige of periodieke trilling brengen. De afstand tussen stembanden en lippen is een resonator. Ik zal er meestal aan refereren als ‘de mondholte’ of ‘de stemweg’. De krachtbron levert de energie om de oscillator aan te drijven, en de resonator bepaalt in welke vorm deze energie gedistribueerd wordt.

De stembanden, of glottis, zijn opgebouwd uit een aantal laagjes weefsel, die qua vorm, stugheid en structuur van individu tot individu verschillen, en zodoende mede bijdragen aan ons unieke stemgeluid.<sup>20</sup> Als we ademhalen staat de glottis open. Als we geluid willen maken, worden de stembandspiersamengetrokken. De mate van spanning op de stembanden en de mate van druk vanuit de longen kunnen onafhankelijk gevarieerd worden, en daarmee wordt de stem geactiveerd. De werking van het proces van stemgeving is vernoemd naar degene die het in detail verklaard heeft en heet het Bernoulli-effect. Dankzij dit effect kunnen we het spel van evenwicht en verstoring van deze twee krachten zodanig beheersen dat er met een bepaalde regelmaat gedoseerde hoeveelheden moleculen uit de longen ontsnappen. Die regelmaat vertaalt zich voor ons gehoor in een toonhoogte, en komt overeen met de frequentie waarmee de stembanden open- en dichtgaan. Met deze frequentie ontstaan verstoringen in de bewegingen van moleculen die net boven de stembanden liggen. Vanuit hun (relatieve) ruststand worden ze in beweging gebracht door moleculen die uit de longen ontsnappen, waarmee ze een kettingreactie in werking stellen.

<sup>19</sup> Johan Sundberg, ‘The acoustics of the singing voice’, *Scientific American*, 236, 1977, 82-91.

<sup>20</sup> Harm Schutte, ‘De zangstem’, *Natuur en Techniek*, 55, 1987, 810-821.



De luchtdrukverschillen die zo ontstaan planten zich voort door de moleculen van de mondholte, en van daaruit naar de ruimte om de spreker/zanger heen.<sup>21</sup>

De oren, die gevoelig zijn voor deze luchtdrukverschillen, vertalen de trillingen van bewegende luchtdeeltjes naar tonen, timbres, luidsterktes en toonduren. Daarbij vinden weer een aantal omzettingen of vertalingen plaats in het traject van het buitenoor tot in de hersenen. Het buitenoor, bestaande uit de gehoorschelp en gehoorgang, helpen om geluid gericht op te vangen. Het trommelvlies markeert het begin van het middenoor, waar twee gehoorbeentjes (hamer en aambeeld) drukverschillen in het omringende medium (meestal: de lucht) omzetten naar de bewegingen van een derde: de stijgbeugel. Deze drukt op het ovaal venster, dat weer drukgolven teweegbrengt in de vloeistof in het slakkenhuis. Het patroon van deze drukgolf veroorzaakt trillingen op specifieke gebieden van het basilair membraan: een langwerpige, opgerold 'bed' (in de vorm van een slakkenhuis) van ongeveer 20.000 trilhaartjes. De bewegingen in de vloeistof en trilhaartjes worden omgezet in elektrische pulsen. De doorgifte van de elektrische impulsen in de hersenen vindt tot slot plaats in de vorm van chemische reacties van neurotransmitters. Hieruit ontstaan uiteindelijk gewaarwordingen van specifieke geluidstrillingen in het bewustzijn.<sup>22</sup>

### 13. Formanten

Geluid dat een zekere waarneembare toonhoogte heeft bestaat uit periodieke trillingen. De eenvoudigste trilling staat gelijk aan een pure sinusgolf, en is alleen elektronisch te realiseren. Vrijwel alle geluiden die we in natuurlijke bronnen horen, inclusief de stem, zijn complexe trillingen, bestaande uit een opeenstapeling van dergelijke sinusachtige tonen. Van de complexe trillingen komt het geluid van fluiten (zowel van de fluit als instrument als het fluiten met de mond) het dichtst bij zulke tonen. Ook die boventoonzangtechnieken die een fluitend geluid opleveren zijn opgebouwd uit bijna sinusachtige tonen, zeker in het geval van sommige Mongoolse zangers.

Het mechanisme dat zangers in staat stelt om met de stem harmonische deeltonen hoorbaar te maken wordt door fonetici verklaard met de theorie van de zogenaamde *formanten*. Dit zijn resonantiegebieden in het geluidsspectrum, ofwel frequentiegebieden met een beperkte bandbreedte die relatief sterk klinken ten opzichte van naastgelegen gebieden, die gedempt worden. Formanten *geven vorm* aan klank op het niveau van de resonator: ze worden waarneembaar als we met de mond het gelijkmatige verloop van het spectrum van het brongeluid (de oscillator) bewerken, zodat het onregelmatig wordt, en 'kleur' krijgt. Er zijn zo'n vijf formanten te localiseren in het stemgeluid, die overeenkomen met een bepaalde stand van de onderdelen van de stemweg. Als we spreken of zingen bewegen de formanten voortdurend, terwijl we verschillende klinkers, diftongen en triftongen produceren. Nog anders gezegd: formanten verdelen de geluidsenergie van het brongeluid zodat sommige frequentiegebieden (de hoge resonanties van de IE bijvoorbeeld) meer energie bevatten dan de midden- en lage gebieden (die meer energie krijgen bij respectievelijk AA en OE).

---

<sup>21</sup> Arthur Benade, *Fundamentals of musical acoustics*. New York: Dover, 1990, 364-369.

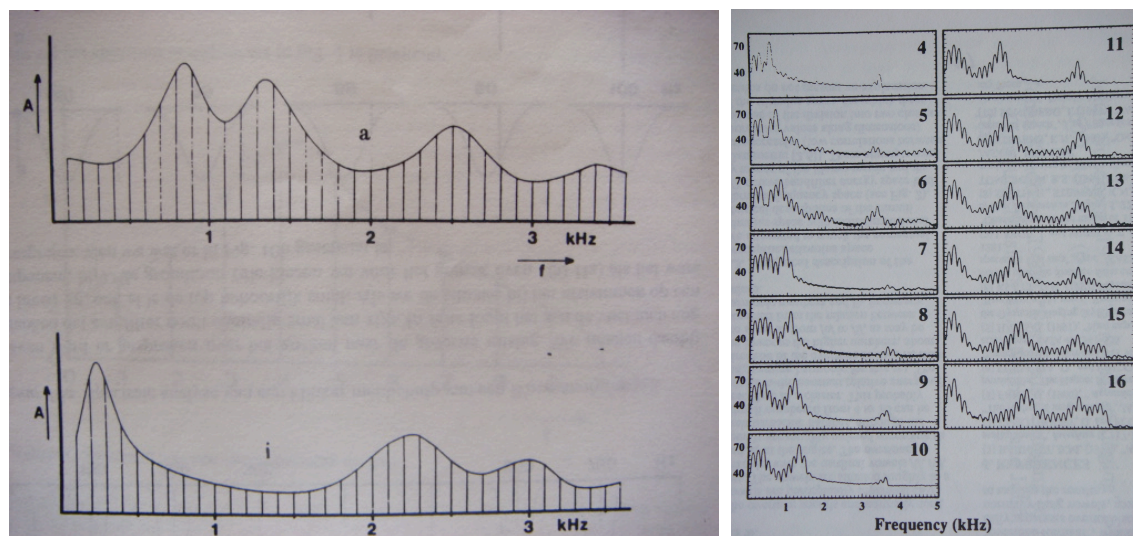
<sup>22</sup> Roederer, *Introduction to the physics*, 1979.

De reeds genoemde Johan Sundberg heeft aangetoond dat er zoiets bestaat als een zangersformant.<sup>23</sup> Klassieke operazangers zijn in staat om de geluidsenergie van twee formanten te bundelen in één sterkere formant. Op deze manier kan de zangstem zich duidelijk en krachtig manifesteren in het gehele geluidsspectrum van een groot orkest, in plaats van verdronken te worden in het geweld van vele tientallen instrumenten. De operazanger opereert in een beperkt frequentiegebied, voldoende om de luisteraar de informatie te verschaffen die hij nodig heeft om de solist uit het totale klankbeeld te filteren, en om eventueel te verstaan welke woorden hij zingt.

Boventoonzangers maken ook gebruik van de bundeling van formanten.<sup>24</sup> De methode behelst een gerichte afstemming van de betrokken resonantieholtes op de frequentie van de piek van de formant. De frequenties van alle grond- en boventonen apart kunnen beschouwd worden als een reeks pieken, steeds op één enkele frequentie (bv. 125, 250, 375, 500, 625, ... Hz). De formanten dempen de meeste van deze frequenties, en laten vier à vijf frequentiegebieden door. Als een formant exact samenvalt met één van deze frequenties, dan heeft die frequentie een maximale resonantie in de mondholte: hij wordt in het geheel niet gedempt. Als de formant bovendien een zodanige vorm heeft dat hij niet een heuvelachtige top heeft, maar een bergachtige piek, dan krijgt die frequentie relatieve geluidsenergie, omdat de naastgelegen harmonischen meer gedempt worden.<sup>25</sup> Dit is het beste grafisch te illustreren (Illustratie 3.17).

Illustratie 3.16. (links) Formanten van gesproken klinkers, met 'heuvelkarakteristiek'.

Illustratie 3.17. (rechts) Formanten van boventonen (H4-H16) met puntige karakteristiek. Bronnen: Hans het Hart, 'Sprakgeluid', in Marcel van den Broecke (red.), *Ter sprake*, Dordrecht: Foris Publications, 1988, 59; Bloothoof et al., 'Acoustics', 15.



Een boventoonzanger verplaatst een formant (of een dubbele, gecombineerde formant) van de ene naar de andere harmonische, met een trefzekerheid die ongeveer net zo groot is als die waarmee sprekers klinkers

<sup>23</sup> Sundberg, 'Acoustics', 84-88.

<sup>24</sup> Gerrit Bloothoof et al., 'Phonetic study', 14-17.

<sup>25</sup> Dit wordt gerealiseerd door middel van het aanspannen van de stembandspieren, resulterend in een relatief lange sluiting van de glottis (Bloothoof et al., 'Phonetic study', 16).

en medeklinkers maken. Een boventoonzanger vindt deze plekken vanzelf na verloop van tijd, net zoals een spreker klinkers vindt zonder erbij na te denken.<sup>26</sup> Andere factoren die bijdragen aan de versterking van specifieke boventonen zijn een gutturale klankkleur van het stemgeluid, die het spectrum relatief veel hoge boventonen meegeven, terwijl de grondtoon en lage boventonen zwakker worden; en een nasaal stemgeluid, dat de pieken van formanten steiler maakt, en de resonanties meer concentreert.

#### 14. Enkele basistechnieken

Musicoloog Hugo Zemp en zanger-musicoloog Tr n Quang Hai ontdekten dat de basistechnieken van zowel traditionele als eigentijdse boventoonzang terug te voeren zijn op twee manieren van articulatie.<sup>27</sup> Zij noemen de eerste manier de techniek met een enkele mondholte, omdat de mondholte  n grote resonator vormt waarmee de boventonen geselecteerd worden. Deze grote klankruimte kan beschouwd worden als een Helmholtz-resonator en selecteert relatief lage harmonischen uit het brongeluid. De tong blijft laag in de mond, en de selectie van boventonen gebeurt door middel van het vergroten van de opening van de resonator (het openen van de getuiste lippen, voor de selectie van hogere boventonen), het verlagen van de kaken (eveneens voor de selectie van hogere boventonen) en soms het verhogen van het achterste deel (de wortel) van de tong (idem). Bij de tweede techniek komt de tong omhoog, om de mondholte in twee holtes te verdelen,  n voor en  n achter. Het is nu voornamelijk de tong die bepaalt welke boventonen van het brongeluid het sterkst de mondholte passeren en de mond van de zanger verlaten. Beweegt de tong naar voren, dan verkleint de resonator voorin de mond, verschuiven de gecombineerde formanten naar de hogere frequenties en klinken hogere boventonen. De lippen worden getuist en ingezet om boventonen te selecteren. De kaak blijft nu meestal stabiel.

Dit is goed te zien in de film *Le chant des harmoniques*, waarin hoofdrollen weggelegd zijn voor een röntgenapparaat, een Kay Elemetrics spectrograaf en zanger Tr n Quang Hai.<sup>28</sup> Belangrijke gebieden waarin boventoonzang beoefend wordt, zoals Mongolië en Siberië, waren relatief ontoegankelijk tijdens het filmen van *Le chant des harmoniques*. Er waren geen fonetische of zangtechnische studies gemaakt van traditionele zangers, en de gefilmde ontmoeting tussen Tr n en een Mongoolse zanger die Parijs aandeed voor concerten, was een zeldzame buitenkans om uit de eerste hand keelzang te horen en te zien. Zemp en Tr n baseren hun theorie daarom op grondige analyses van röntgenopnames en spectraalanalyses van Tr n, die alle technieken die beschikbaar waren op plaatopnames imiteert. Terwijl we horen hoe hij boventonen zingt, zien we hoe de lippen, tong en delen boven de stembanden van Tr n bewegen, en hoe het sonogram met het volledige frequentiespectrum de veranderingen in de boventonen volgt. Tr n's

---

<sup>26</sup> Wie een zin uitspreekt zonder medeklinkers creëert een reeks formanten met een grote nauwkeurigheid, die in sommige opzichten niet onderdoet voor de nauwkeurigheid waarmee een zanger boventonen selecteert. De bijkomende factor is de afstemming op de grondtoon, waarvoor de training en intuïtie nodig is die musici ontwikkelen als 'belichaamde kennis'.

<sup>27</sup> Zemp en Tr n, 'Recherches experimentales', 27-68.

<sup>28</sup> Hugo Zemp en Tr n Quang Hai, *Le chant des harmoniques* (film), 1989.

imitaties zijn weliswaar niet altijd in overeenstemming met de traditionele technieken, maar de kijker ziet nu wel verschillen die voorheen alleen hoorbaar waren.

Onafhankelijk van Zemp en Trân, en ongeveer tegelijkertijd, ontwikkelde Michael Vetter zijn methode, die gebaseerd is op de fonetische principes die Stockhausen jaren eerder toepaste. Zijn systeem brengt ten opzichte van het systeem van Zemp en Trân verfijningen aan die vooral voor de eigentijdse boventoonzanger van toepassing zijn. De één-mondholte techniek heet bij Vetter *Gong-techniek*, omdat de tongwortel opgeheven wordt richting het zachte verhemelte, zoals bij het uitspreken van *ng*, om de lage harmonischen duidelijker uit te laten komen. De twee-mondholten techniek staat gelijk aan de *bird-techniek*, naar de Amerikaanse *r*, als in *here*, *are*. Die *r* is niet exact gelijk aan de mondstand die veel eigentijdse boventoonzangers gebruiken, omdat de zijkanten van de tong meer omhooggekruld en de lippen meer getuit worden, maar het is wel de spraakklank die er het dichtst bij komt. Naast deze twee technieken onderscheidt Vetter nog vier manieren welke de boventonen van klinkers sterker naar voren kunnen halen. Dat doet hij volgens een nauwkeurig vastgelegd articulatiepatroon, met behulp van de medeklinkers *m*, *n* en *r*: M-I-Ü-U, NOIOIOI, N-I-Ö-O en R-I-E-Ä-A-O-U.<sup>29</sup> Elk van deze trajecten leent zich voor specifieke melodische en harmonische verkenningen van de boventoonreeks, afhankelijk van de gekozen grondtoon.

Voor een gevorderde boventoonzanger is het mogelijk de boventonen in de eerste vier octaven boven de grondtoon zonder veel moeite te reproduceren. Dit hangt wel van de hoogte van de grondtoon af: als deze te hoog is, zal hij sneller bij zijn plafond komen, dat meestal rond de 3000 Hz ligt, en minder boventonen tot zijn beschikking hebben. Dit betekent onder andere, dat boventoonzangers van het mannelijke geslacht in het voordeel zijn wat betreft hun harmonisch bereik. Vrouwen stuiten vanwege hun natuurlijke hoge register sneller tegen het plafond van hun hogere resonanties.

Met oefening is het mogelijk allerlei sprongen tussen de boventonen te maken, en dus bewust bepaalde melodieën te zingen, zoals op de opname van het *Wilhelmus* (CD #1) gedemonstreerd werd. Een onvermijdelijke beperking bij het zingen van melodieën is die van de boventoonreeks zelf: de toonsafstanden staan vast en dus kunnen alleen melodieën gemaakt worden die opgebouwd zijn uit die tonen die voorkomen in de gegeven reeks natuurtonen. De lezer-luisteraar heeft in het eerste muzikale intermezzo al kunnen merken dat er een paar *nootsprongen* gemaakt zijn om de melodie van het *Wilhelmus* correct in harmonischen te zingen: door met de grondtoon te bewegen schuift de hele boventoonreeks mee, en kunnen bepaalde tonen in het boventoonbereik gezongen worden die niet voorkomen in de reeks op de aanvankelijke grondtoon.

## 15. Harmonieën van harmonischen

In het merendeel van de literatuur over boventoonzang wordt ervan uitgegaan dat er boven een aangehouden grondtoon een duidelijk hoorbare boventoonmelodie is. Dit voldoet aan de meeste definities van boventoonzang, waarbij uitgegaan wordt van één zanger die duidelijk onderscheiden boventonen maakt. Deze ‘duidelijke’ vormen van boventoonzang zijn vrij uitgebreid beschreven, en worden ook op

<sup>29</sup> Michael Vetter, *Die Obertonschule* (3-cd), 1987; Vetter, *Die Musik der Engel*, 2010.

grote schaal beoefend. Sommige zangers (en dan spreek ik zowel over Europese als over sommige Toevaanse en Mongoolse boventoonzangers) hebben technieken ontwikkeld om vrij subtiele, relatief zachte boventonen als melodisch en zelfs harmonisch materiaal te gebruiken. Melodisch, omdat er met de boventonen van klinkers, hoe zacht ook, melodieën gemaakt kunnen worden. Harmonisch, omdat het mogelijk is, naarmate de techniek van het zingen en het gehoor zich ontwikkelen, om meerdere formanten tegelijk waar te nemen. Zo kan een solozanger meerdere boventonen tegelijk zingen. Dit kunnen we, met gevaar voor taalkundige verwarring die onherroepelijk op de loer ligt, een meer harmonische manier van boventoonzang noemen. Een harmonie van harmonischen is het resultaat, zoals met enige oefening te horen is op geluidsvoorbeeld **CD #46**, een kort fragment van Toevaanse keelzang of *khöömei*. In en rondom het Altai gebied van Mongolië en Rusland zijn meerdere technieken ontwikkeld die klinkerachtige klanken met boventonen verbinden.

Dergelijke zangmethodes kunnen, via de weg van het (virtuoos) boventoonzingen, ook weer terugleiden naar een nieuwe manier van luisteren naar spraakklanken. Als de oren eenmaal goed ontwikkeld zijn om de intrinsieke harmonieën van alledaagse en onalledaagse klanken te herkennen, dan kunnen deze klanken op een andere, meer muzikale manier toegepast en waargenomen worden.

## 16. Samenvatting en conclusie

Wie willekeurig enkele bronnen opslaat om te zien hoe de boventoonreeks gerepresenteerd wordt door fysici, akoestici, muziektheoretici, musici en componisten, krijgt niet de indruk op een onveranderlijke reeks te stuiten. Er is een soort wildgroei aan notennamen en symbolen in omloop. De oorzaak daarvan is niet de boventoonreeks op zich, maar de incongruentie ervan met de evenredigzwevende chromatische toonladder die sinds de negentiende eeuw ingeburderd is geraakt. De meest kernachtige manier om harmonischen te beschrijven is via ratio's van lage gehele getallen: 1:2:3:4.... Alle afgeleide termen, zoals intervallen, frequenties en cents zijn in bepaalde opzichten precies, maar kunnen tot verwarring leiden in andere opzichten. Heden ten dage geven weinigen gevolg aan het pleidooi dat Hermann Helmholtz ongeveer anderhalve eeuw geleden hield voor reine stemmingen, en aan het voorbeeld van een nauwkeurige notatie van de boventoonreeks zoals hij dat in zijn standaardwerk hanteerde. Het valt op dat van de geraadpleegde bronnen de exacte wetenschappers meer moeite hebben om op een ondubbelzinnige wijze aan de intervallen van de boventoonreeks te refereren dan muziektheoretici én musici. Dit lijkt te bevestigen dat er een behoefte is aan muzikaal geschoolde onderzoekers en aan een bredere erkenning en toepassing van het specifieke soort kennis dat zij ontwikkelen, zoals het nieuwe veld van onderzoek in de kunsten propageert.

Wie de nadruk wil leggen op de zuivere proportionele verhoudingen van alle tonen in de boventoonreeks, doet er goed aan die proporties voorop te stellen. Dat is ook wat ik voor ogen had met de *Permutationes*, de eerste vijf  $0... (0.32 - 0.28)$ , waarbij ik slechts met de nummers van de boventoonreeks en met de ratio's van de intervallen werk. Ik heb in dit hoofdstuk willen laten zien welke vragen een rol spelen bij het bepalen van een notatie van de boventoonreeks, en mijn keuzes daarin onderbouwd.

Vervolgens heb ik laten zien hoe deze reeks met de stem hoorbaar gemaakt kan worden. Zoals we al in Hoofdstuk Een zagen kan de boventoonreeks zowel impliciet ten gehore worden gebracht (zoals bij

klinkers gebeurt) als expliciet (met boventoonzangtechnieken). De voornaamste theorie die beide methoden goed kan beschrijven is die van de formanten: controle over deze resonantiekarakteristieken in de stemweg speelt een sleutelrol in het selecteren van specifieke harmonischen. De twee belangrijkste manieren om boventonen te selecteren worden door de musicologen Hugo Zemp en Tr n Quang Hai de technieken met  n respectievelijk twee mondholtes genoemd, en door Michael Vetter de NG- of gong-techniek, respectievelijk de RR- of bird-techniek.

# ***Numerology***

## **Geluidsvoorbeeld #48**

*Twee zangers zingen boventonen. De tonen buitelen om elkaar heen. Is dit een magische of knappe vertoning? Of is dit muzikale charlatanerie?*

*De zangers maken getal hoorbaar. Het is alsof ze met elkaar spreken. De ene zegt: 5 - - - 4 - - 4 - - 4 - 4 - - 3 - - 5 - - 5 -. De ander antwoordt ondertussen 4 - - 4 - - 4 - - 4 - - 3 - - - - 5 - - 5 - - 5 - 5. Het zijn hele getallen die om elkaar heen buitelen. Het nummer waar ze samen omheen cirkelen schuift steeds iets op. Ze tellen langzaam omhoog, maar dan zonder woorden. Uiteindelijk tot nummer 14. Maar daarvoor al, brengt één van de zangers ook zijn grondtoon, zijn nummer één, omhoog, en de ander volgt. De getallen buitelen verder, als regendruppels. Als één getallenreeks opeens weer zakt, en er twee rijen nummers door elkaar lopen, dan vallen verschillende getallen even samen: een zeven schuurt tegen een acht (of is het een vier?) aan.*

*Zangers en luisteraar vergapen zich aan boventonen. En vergapen zich aan getallen. Is dit niet een soort oermaterie van het universum?*

*In het verre verleden werden getallen, en de ervan afgeleide ratio's als een kosmische openbaring ervaren. De zintuiglijke wereld van geluid werd verbonden met systemen van getallen en ratio's. Het monochord klonk de wiskunde en de muziek voor millenia aan elkaar. Nu is een instrument niet langer nodig, en wordt zuiver getal een zinnelijke ervaring, op het puntje van de tong.*

*Voor Sumeriërs, Chinezen, Egyptenaren en Grieken betekende de ontdekking van het getal tevens de geboorte van een nieuw soort kennis, wijsheid of inzicht. Onze antieke voorvaderen beschouwden getal als sleutel tot diepere geheimen van het bestaan en van de kosmos. Kennis van getallen (om precies te zijn: de lagere gehele getallen), stond voor hen gelijk aan zowel hoge spirituele inzichten als geavanceerde 'technologie' of kennis. Door bewerkingen met getallen te voltrekken en deze te contempleren, werden kosmische denkbeelden gecultiveerd. Deze denkbeelden over de goddelijke oorsprong van de mens en zijn plaats in de kosmos werden aldus verbonden met een volstrekt nieuw fenomeen: de abstracte taal van de rekenkunde. Tegelijk vond er een doorbraak plaats in het menselijk bewustzijn, dat een abstracte manier van denken ontwikkelde. Dit had zulke overweldigende innerlijke beelden tot gevolg dat de hoogste spirituele denkbeelden er wel aan verbonden móesten worden. De inzichten waren voorbehouden aan de selecte groep ingewijden rondom mystici, waarvan Pythagoras het prototype was voor de westerse wereld.*

*Muziek was als vanouds onderdeel van het omgaan met getallen, vanwege de ontdekking van welluidende toonsafstanden (intervallen) wanneer de snaarlengte van een monochord in twee, drie, vier, enz. gelijke delen verdeeld en aangeslagen werd. Muziek werd mede tot sleutel van de kosmos, en vormde met rekenkunde, geometrie en astronomie het quadrivium in de middeleeuwen: de pijlers van alle kennis.*

*De rekenkundige mogelijkheden van de lage, hele getallen leidde al snel tot een uitgebreide muziektheorie, die zich vooral bezighield met de verantwoorde opbouw van intervallen en toonschalen, aspecten van de akoestiek die zeer serieus genomen werden. Vele theoretici en filosofen droegen hun steentje bij aan deze muziekleer, de harmoníai van de Antieken, zonder dat er expliciet gewag werd gemaakt van wat wij nu harmonischen noemen.*

*Lag de sleutel—onzichtbaar—op het puntje van hun tong?*

*Pas met Père Mersenne's boek Harmonie universelle (1636) werden harmonischen wetenschappelijk beschreven als afzonderlijke waarneembare deeltonen van een complexe trilling. Met hem begon een afbrokkeling van aloude pythagoreïsche denkbeelden in muziek, die ten dele vervangen werden door wetenschappelijke inzichten in akoestiek. Maar er zijn nog steeds restanten van het oeroude geloof overgebleven, die door bepaalde muziekervaringen weer makkelijk tot leven gewekt worden en een nieuwe invulling krijgen.*

*Getal als middel om waar te zeggen.*

*Het getal als weg tot waarheid.*

*Het getal als waarheid.*

*Nog altijd bouwen wis- en natuurkundigen voort op de ontdekking van het getal. Getal is, inderdaad, een sleutel tot onbegrepen of ongerealiseerde werkelijkheden geweest en gebleven. Nog altijd zoeken fysici verder om—via getallen—het raadsel van het universum te ontsluiten.*