



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.

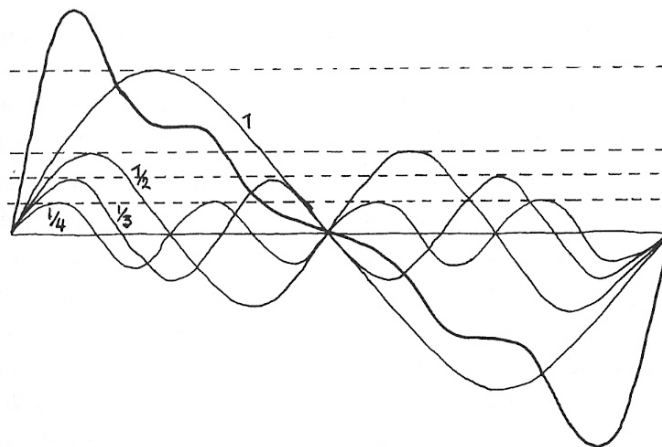
Author: Tongeren, Mark Christiaan van

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

Issue Date: 2013-03-13

H o o f d s t u k 4

Het octaaf en andere onzuiverheden



We still do not know whether Pythagorean proportionism relates to something in nature.

Robert Walker¹

1. Op zoek naar nuance

Op de cd *Hier begint het* en in de eerste twee hoofdstukken heb ik de directe ervaring van gezongen boventonen voorop gesteld. In Hoofdstuk Drie heb ik de onmiddellijkheid van de ervaring van harmonischen verlaten, en een eerste theoretisch-conceptuele schil rondom dit fenomeen opgetrokken, gerelateerd aan wiskundige en muziektheoretische aspecten van de boventoonreeks. Nu zal ik een andere blik op boventonen en hun proporties ontvouwen, waarbij het accent op de *fysische* eigenschappen van werkelijke en vermeende harmonische trillingen ligt.² In de meeste handboeken waarin theoretische en akoestische beginselen over muziek besproken worden, leren we in eerste instantie dat trillingen zuiver harmonisch van aard zijn. Vanaf de Griekse beschaving, de bakermat van de westerse muziektheorie, wordt in de trillingen van de snaren van snaarinstrumenten, en vervolgens van stemmen en andere instrumenten, de aanwezigheid of mogelijkheid van perfect zuivere ratio's verondersteld. Dit idee heeft lange tijd het muzikleven overheerst, en dat doet het voor een groot deel nog steeds.³ Voor boventoonzangers krijgt het een concrete, haast tastbare dimensie. Voor velen van hen lijkt het idee te overheersen dat de boventoonreeks een onwrikbaar oergegeven is waar alle afwijkende modellen van afgeleid zijn. Het zingen van boventonen vormt voor vele zangers en luisteraars een bewijs van het bestaan van een dergelijke ideale orde, ook al wordt dat bewijs introspectief gevonden met de stem en 'intuïtief gemeten' met de oren. Is empirisch onderzoek in staat om de veronderstelde perfecte, wiskundige orde van de boventoonreeks te bevestigen? Waar komen we die ideale reeks tegen, of hoe dicht wordt het ideaal benaderd? Het octaaf, 2:1, belichaamt welhaast de zuiverheid zelf in het westerse denken over muziek. Maar is het waar dat boventoonzangers een ideale reeks ten gehore brengen (1:2:3:4:...)? Of lijkt dat maar zo en is er steeds sprake van enkele cents of Hz verschil? Een andere vraag is: hoe verhoudt de inwendige harmonie van deze zang zich tot de uitwendige harmonie van gezongen en gespeelde intervallen? Is het waar, bijvoorbeeld, dat octaven wereldwijd gedefinieerd worden door de verhouding 2:1, en dat de boventoonreeks voor deze en andere intervallen een volstrekt zuiver model bevat? Onderzoeken van onder andere fysicus Arthur Benade (jaren zeventig van de vorige eeuw), perceptiedeskundige Aad Houtsma et al. (jaren tachtig) en muziektheoreticus William Sethares (in de jaren negentig, en het eerste decennium van de eenentwintigste eeuw) geven een genuanceerder beeld van harmonischen als een reëel en als een geïdealiseerd verschijnsel. Dit zijn de 'moeilijkere' feiten, de plek waar de meest gangbare interpretatie of representatie van de

¹ Robert Walker, *Musical beliefs. Psychoacoustic, mythical and educational perspectives*. New York: Teachers College, 1990, 96.

² De fysische, wiskundige, muziektheoretische en andere benaderingen hebben betrekking op fenomenen die in werkelijkheid met elkaar verweven zijn.

³ Walker, *Musical beliefs*; Douglas Kahn, 'Ether ore: mining vibrations in American Modernist music', in Veit Erlmann (red.), *Hearing cultures. Essays on sound, listening and modernity*. Oxford: Berg, 2005, 108, 127.

boventoonreeks wringt. Het blijkt niet eenvoudig te zijn te achterhalen hoe de waargenomen boventoonreeks zich verhoudt tot de fysische processen in de lucht waar de oren aan blootstaan.

Het motto van dit hoofdstuk is een citaat van musicus, pedagoog en onderzoeker Robert Walker uit 1990: hij stelt dat we niet weten of er *überhaupt* zuivere proporties bestaan in de natuur. Dat is een boude uitspraak! Walker meent dat ruim tweeduizend jaar onderzoek geen antwoord opgeleverd heeft en dat de zoektocht naar zuivere ratio's nog altijd voortduurt.⁴ De bron van het citaat, Walker's boek *Musical beliefs. Psychoacoustic, mythical, and educational perspectives*, dwingt bewondering af voor de manier waarop hij drie nauwverwoven thema's van de westerse muziek ontrafelt:

1. muziektheorie van Pythagoras tot en met de Verlichting
2. geloof in en mythes over muziek en harmonie
3. onderzoek in akoestiek en de (psycho)fysica van geluid

Terwijl ik mij als zanger en onderzoeker bleef verdiepen in zuivere proporties, liet Walker's suggestie dat ik—al zingend—een mythe in stand hield mij niet los.⁵

In dit hoofdstuk neem ik Walker's uitdaging aan. Ik heb in het vorige hoofdstuk gekeken naar de boventoonreeks als een patroon dat zich wiskundig gezien eenvoudig ontwikkelt. De boventoonreeks, beschouwd als resonanties van gelijkmatige, periodieke geluiden, lijkt een objectief gegeven dat verheven is boven de willekeur van menselijke keuzes en beperkingen in het creëren van muzikaal gewenste proporties (intervallen, frequenties). In *Musical beliefs* vat Walker samen hoe er op allerlei manieren aan de wetmatigheden van harmonische resonantie getornd wordt:

Musical theory ignores the fact that vibrating strings have inharmonic partials as well as harmonic ones because of such physical factors as degree of stiffness, placement of the bridge, and method of securing the string for tightening. Piano strings, for example, tend to produce out-of-tune partials. They become inharmonic to the extent that by the 15th partial they are so sharp that the 15th is near the ideal pitch of the 16th partial. Strings on fretted and other stringed instruments display peculiar characteristics in their harmonic content that are dependent upon the physical nature of the instrument. Brass instruments tend to produce flat harmonics, and the vibrational behavior of a simple tube, like that of a simple string, is considerably modified in musical practices, both in performance and manufacture of instruments, to overcome the problems of inharmonic partials.⁶

⁴ Walker, *Musical beliefs*, 96. Walker suggereert met zijn vraag dat dit (tevens) een buitenmuzikaal raadsel is. Als 'spontane' harmonische resonanties al een over-geïdealiseerd uitgangspunt voor die queeste zijn, wordt het dan inderdaad niet erg moeilijk om volstrekt harmonische vormen buiten de muziek te vinden, in de materiële wereld?

⁵ Walker (*Musical beliefs*, 85-96) plaatst zijn bespreking mede in de context van een felle strijd tussen filosoof-pedagoog Jean-Jacques Rousseau (1712-1778) en de Encyclopedisten enerzijds, en componist en muziektheoreticus Jean-Phillipe Rameau (1683-1764) en de Harmonicisten anderzijds. Rameau gebruikte de nieuwe kennis van de boventoonreeks, als eigenschap van een *corps sonore*, voor een nieuwe en invloedrijke muziektheorie. Rameau oogstte zowel bijval voor als felle kritiek op zijn ideeën: zijn idee van 'functionele harmonie' raakte alom ingeburgerd en wordt nog altijd gebruikt. Maar zijn stelling dat *alle* harmonie terug te voeren zou zijn op de boventoonreeks, en de implicatie dat er een enkele natuurkundige regel of wet zou zijn die de creatieve beginselen van muziek zou kunnen beschrijven, werd zwaar bekritiseerd en noopte Rameau uiteindelijk tot herziening van zijn theorie.

⁶ Ibid., 92.

Dat de ideale proporties die de hele westerse muziekgeschiedenis *in theorie* gedomineerd hebben in de praktijk onhaalbaar zouden zijn, verwoordt Walker onder andere als volgt:⁷

... few, if any, sounds are ideal in the real world, including those produced through electronic synthesis. With modern technology it is difficult to produce, for example, a pure sinusoidal waveform with no impurities or a complex wave with absolutely perfect integer relationships between all the partials. But here we have the distinction between the ideal and the reality of existence. In the development of Western musical theory, this distinction is important.⁸

Als Walker *ongelijk* heeft, dan blijft het idee van zuiver harmonische intervallen, dat algemeen aanvaard wordt, overeind staan, ook als het kritisch onder de loep genomen wordt. Als zijn twijfel echter terecht is, dan zou (vrijwel?) niemand ooit de reeks 1:2:3:4:... in zijn meest ideale vorm waargenomen hebben. Het is bekend dat harmonischen gespeeld op snaarinstrumenten en natuurtonen geproduceerd op blaasinstrumenten door overblazen afwijkingen vertonen van de ideale proporties, vanwege de opgevoerde druk op de luchtkolom in de buizen en de vereiste spanning op snaren. Maar geldt ook voor de natuurlijke stem dat de meeresonerende harmonischen *eigenlijk niet harmonisch* zijn? En is het ook op elektronische wijze niet mogelijk de ideale proporties van de boventoonreeks te construeren, zoals Walker in bovenstaand citaat suggereert? Is een boventoonreeks *uitsluitend* opgebouwd uit de *exacte* ratios 2:1, 3:2, 4:3, etcetera, een onbereikbaar ideaal? Het is mogelijk een relatief kort antwoord op deze vragen te geven. Toch prefereer ik grotendeels de chronologie aan te houden waarin ik al onderzoekend de bronnen raadpleegde, omdat gaandeweg steeds scherper duidelijk wordt wanneer er gesproken kan worden van harmonische verhoudingen in de strikte zin van het woord, en wanneer niet.

2. De boventoonreeks gefalsificeerd?

Walker stelt, met andere woorden, dat noch natuurlijke noch synthetische boventonen zuiver harmonisch kunnen zijn. Voor Walker is de zuiverheid van de boventoonreeks een illusie. Nergens anders ben ik een dergelijke strikte interpretatie van pythagoreïsche proporties en akoestische resonantie tegengekomen. Wel is al langer bekend dat de inwendige ratio's tussen deeltonen soms niet ideaal zijn. Al in de zeventiende eeuw wisten kenners dat sommige instrumenten, zoals bellen en klokken,⁹ afwijkingen vertonen van die veronderstelde, zuivere natuurorde. De ontwikkeling van de akoestiek en psycho-akoestiek vanaf de tweede helft van de negentiende eeuw heeft aan het licht gebracht dat productie, overdracht, perceptie en cognitie van geluid op vele fronten in strijd zijn met de idealen die componisten, theoretici en filosofen uitdroegen (en soms nog uitdragen). De wetten van de boventoonreeks, die in 'Op zoek naar feiten' uit de doeken zijn gedaan, zijn niet zaligmakend. De lage, gehele getallen gaven in de vorm van proporties¹⁰ de contouren

⁷ Dat geldt in ieder geval in het jaar van publicatie van zijn boek: 1990. Recente ontwikkelingen in audiosynthese en audioanalyse corrigeren de discrepantie tussen theorie en praktijk voor sommige soorten elektronisch geluid, en in mindere mate voor (electro-)akoestische muziek.

⁸ Walker, *Musical beliefs*, 60.

⁹ Perceptiedeskundige Reinier Plomp, wiens theorie uitgebreider ter sprake komt in het volgende hoofdstuk, noemt de zeventiende-eeuwse beiaardier Jacob van Eyck de eerste die vaststelde dat er bij klokken prominent, en laag in de reeks partialen, een kleine in plaats van een grote terts meeresoneert (*Hoe wij horen*. Breukelen: sin. nom., 1998, 21).

¹⁰ De *tetraktys* 1:2:3:4, later uitgebreid met 4:5:6.

voor het toonmateriaal van musici en componisten gedurende een groot deel van het tweede millennium, maar bleken steeds minder in overeenstemming met de nuances van de praktijk.¹¹ Met andere woorden: ze voorzagen tevens in een reusachtige mythe.

Wie nauwkeurig luistert naar zangers en zangeressen (van allerlei muziekstijlen), en een gevoel ontwikkelt voor hun intonaties, weet dat ze uitdrukking geven aan de tekst en het gevoel van muziek door bepaalde tonen van de melodie iets hoger (of soms ook lager) te intoneren. Klassieke zangers drukken volgens Johan Sundberg emotie uit door middel van een hoge, en soms zelfs zeer ruime, intonatie.¹² Daarbij nemen ze vrijheden ten opzichte van de stemmingen en de intonaties van de instrumenten die hen begeleiden. Groepen instrumenten, zoals de violen, nemen minder vrijheden dan een zangsolist om uitdrukking te geven aan hun spel en blijven dichter bij elkaar qua toonhoogte. Zingt een zangeres met een piano, dan ligt de (getempereerde) stemming van de begeleiding vast.¹³ Het is dan, net als in het vorige geval, vrijwel onvermijdelijk dat de zangeres dezelfde intervallen een weinig tot aanzienlijk ruimer of krapper neemt. Dat luisteraars zelf uitstekend in staat zijn dergelijke onzuiverheden als het ware te ‘corrigeren’ mag blijken uit onze versie van het *Wilhelmus*: de intervallen van de boventoonreeks (die soms sterk afwijken van de evenredigzwevende stemming) worden lang niet door elke luisteraar opgemerkt of als storend ervaren.

Er is in Europese kunstmuziek bovendien vaak sprake van vibrato, waarbij de intonatie continu een beetje schommelt. Er wordt niet op een exacte *frequentie* gezongen, maar op een *toonhoogte*, en die toonhoogte heeft een gemiddelde frequentie waaromheen de stem fluctueert. De stem wijkt doorgaans iets af qua toonhoogte van instrumenten met een gefixeerde stemming, zoals de piano. Ook als zangers een strakke toon zingen (*recto tono*), zoals bij het uitvoeren van veel oude muziek gebruikelijk is (om bij voorbeelden uit de westerse kunstmuziek te blijven), dan nog zijn er altijd lichte schommelingen in de grondtonen. Zouden we buiten de Europese kunstmuziek gaan kijken (bijvoorbeeld naar popmuziek of Japanse hofmuziek), of de muzikale avant-garde onder de loep nemen, dan zouden we in verhevigde vorm afwijkingen zien van in Europa ontwikkelde theorieën en verwachtingspatronen die lange tijd als standaard voor *alle* muziek zijn gehouden.

Maar Walker heeft het niet alleen over al deze inmiddels bekende feiten. Wat Walker stelt komt neer op een falsificatiepoging van de theorie van de zuiver-harmonische boventoonreeks. Met boventoonzang als startpunt van dit onderzoek, wil ik uitsluitsel proberen te krijgen over de vraag of het terecht is om aan te nemen dat een boventoonzanger eigenhandig ten gehore brengt wat boventoonzanger Michael Vetter ‘de oergrond van alle harmonie’ noemt. Kan de inwendige opbouw van het stemgeluid *niet* zuiver harmonisch zijn?

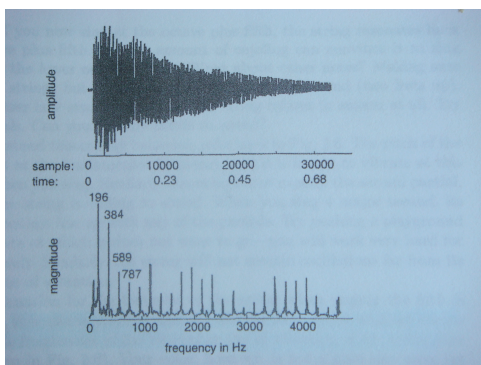
¹¹ Vooral vanaf de Verlichting, toen de muziektheorie sterk opbloede.

¹² Johan Sundberg, *Science of the singing voice*. Illinois: Northern Illinois University Press, 1987, 178. Zie ook: Thomas D. Rossing, *The science of sound*. Reading: Addison Wesley Publishing Company, 1990, 363-364.

¹³ Zelfs binnen het wiskundig strenge systeem van de getempereerde stemming blijken allerlei nuances te bestaan. Sommige pianisten zweren bij een bepaalde pianostemmer, omdat zijn manier van (getempereerd) stemmen de essentie van de klank van de vleugel naar boven haalt en helpt een eigen geluid te creëren.

3. Zijn volstrekt zuivere harmonischen mogelijk?

Natuurkundige en muziektheoreticus William Sethares heeft zich aan vier aspecten van geluid gewijd die de titel van zijn boek vormen: *Timbre, tuning, spectrum, scale*. Hij onderzoekt daarbij empirisch, door alle vier aspecten van klanken afzonderlijk en in detail te synthetiseren en te (laten) beluisteren, hoe elk aspect invloed heeft op de andere aspecten en kan bijdragen aan een gezocht eindresultaat. Sethares kijkt onder andere naar de inwendige opbouw van bestaande klanken, alvorens ze zelf elektronisch te wijzigen of herconstrueren. Hij laat een aantal verschillen en overeenkomsten zien tussen de spectra van natuurlijke en elektronische bronnen (Illustratie 4.1, Tabel 4.2). Het blijkt dat de golfvorm van de getokkelde snaar van een gitaar in het tijdsverloop eerst een vrij complex patroon laat zien en dan snel eenvoudiger wordt. De snaar gaat in wezen een strijd aan om vrij te trillen met de punten waar hij vastgeklemd zit. “This is a tug of war the string inevitably loses, because the bridge and nut are far more massive than the string. Thus, all oscillations except those at certain privileged frequencies are rapidly attenuated”.¹⁴ In de tabel zijn de vier laagste frequenties gegeven, en zij bedragen in dit geval 196, 384, 589, 787 Hz. Dat is vrijwel, maar inderdaad niet exact harmonisch.¹⁵



Illustratie 4.1 Golfvorm en spectrum van de tonen van een getokkelde gitaar (bron: Sethares, 2005, 18). Een golfvorm is een opeenvolging in de tijd van overdruk en onderdruk ten gevolge van de verplaatsing van luchtdeeltjes bij het produceren van een geluid. De membraan van een microfoon, gelijk die van onze oren, is gevoelig voor deze drukverschillen, wat omgezet kan worden naar een patroon van op- en neergaande energielijnen. Een spectrum geeft het geluidsniveau (SPL of sound pressure level) verticaal weer (in Decibel) tegen de frequenties op de horizontale as.

Tabel 4.2 Frequenties van de eerste vier harmonischen van een getokkelde snaar, in Hz (bron: *ibid.*).

	ideaal (theorie)	reëel (praktijk)	verschil
F0	196	196	-
H2	392	384	- 8
H3	588	589	+ 1
H4	784	787	+ 3

Er is een wezenlijk verschil tussen de ideale en de reële spectra. Het ideale spectrum is ondubbelzinnig harmonisch, dat wil zeggen, alle trillingsfrequenties zijn exacte, gehele veelvouden van een laagste frequentie. Het reële spectrum is dat niet. Toch is het volgens Sethares nog altijd “... *primarily* harmonic. Over 20 partials are clearly visible at *roughly equal* distances from each other, with frequencies at (*approximately*) integer multiples of the fundamental ...”.¹⁶ Met deze bewoordingen legt Sethares de nadruk op een bevestiging van het aloude idee dat boventonen een patroon volgen van zuivere proporties van lage,

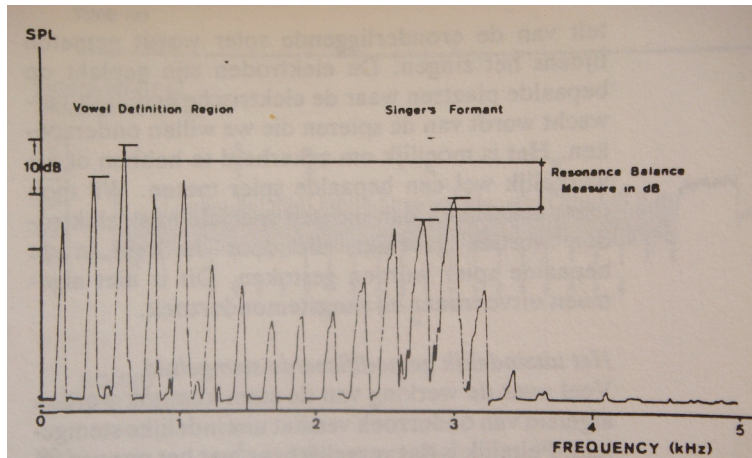
¹⁴ William Sethares, *Timbre, tuning, spectrum, scale*. Londen: Springer Verlag, 2005, 17.

¹⁵ Vgl. Arthur Benade, *Fundamentals of musical acoustics*. New York: Dover, 1990, 56-62.

¹⁶ Sethares, *Timbre*, 17-18, mijn cursiveringen.

gehele getallen. Met de cursivering wil ik aangeven dat de harmonischen juist *niet* voldoen aan dat veronderstelde patroon. Daarmee lijkt Walker gelijk te krijgen. Maar hoe zit het met de stem?

Metingen aan het spectrum van de zangstem (geen boventoonzang) van Harm Schutte, tot 2011 hoofd van het Voice Research Lab aan de Rijksuniversiteit Groningen, laten eveneens onzuiverheden zien, zoals Illustratie 4.3 toont. Ook hier is sprake van enige *non-zero* energie of *distortion* tussen de harmonischen.



Illustratie 4.3. Het spectrum van een gezongen toon laat oneffenheden zien tussen de pieken van de boventonen (bron: Harm Schutte, 'De stemvorming gemeten', *Logopedie en Foniatrie*, 62, 1990, 45).

Op het oog zijn de afstanden van de pieken gelijk verdeeld, maar dat zegt niets: de vraag is nu juist of de ratio's *volstrekt* perfect zijn of niet. Walker suggereert herhaaldelijk en in verschillende bewoordingen dat dat niet zo is.¹⁷ Het eerste artikel waarin spectrale analyse van boventoonzang toegepast werd, betrof een opname van Tibetaanse monniken, en werd in 1967 gepubliceerd in het gezaghebbende *Journal of the Acoustical Society of America*.¹⁸ We zien daarin onder andere minuscule spectrogrammen, waar gestapelde lichte en donkere lijnen de afstanden en relatieve luidheden tussen de luidste harmonischen weergeven. De analisten van het Massachusetts Institute of Technology noteren ook de frequenties: een grondtoon (F0) van 75 Hz en twee prominente harmonischen H5 en H10, resp. 375 en 750 Hz. Hoe betrouwbaar zijn die

¹⁷ Walker's zin die ik als motto van mijn hoofdstuk gebruik, wordt voorafgegaan (*Musical beliefs*, 94) door een citaat van de wiskundige en 'encyclopedist' Jean le Rond d'Alembert, die de componist Jean-Philippe Rameau voor de voeten werpt dat de boventoonreeks niet als een ultieme oorzaak beschouwd kan worden, omdat we niet weten of er een andere wetmatigheid ten grondslag ligt aan die reeks. Walker concludeert zijn bespreking van de Rameau-Rousseau controverse als volgt: "The continued belief in the significance of Pythagoreanism over a period of more than 2,500 years of scientific and technological advance in the West justifies the notion that Western music is built on belief masquerading as science" (ibid., 94). Walker vervolgt dat zelfs een rigoreus wetenschapper als Hermann Helmholtz een eeuw na Rameau een kier zal openlaten voor pythagoreïsche wetten, en na hem nog anderen, zodat we vandaag de dag nog altijd niet weten of zuivere proporties aangetroffen worden in de natuur (ibid., 95-96).

¹⁸ 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.

frequentiewaardes? Zijn ze in het aflezen verondersteld, in overeenstemming met de algemeen aanvaarde theorie van harmonische resonantie? De spectrograaf voorziet immers niet in dergelijke exacte waardes.

Enkele jaren later geeft zangeres en onderzoekster Bonnie Mara Barnett, gedetailleerde informatie over de gezongen frequenties van grond- en boventonen die zij zelf produceert. Ook zij gebruikt spectrografische analyse, en daarbij houdt ze een marge van 2,5 % aan voor de afgelezen frequenties. Ondanks deze relatieve precisie, blijft een veel grotere discrepantie tussen de frequenties van een door haar gezongen F0 en H5 helaas onopgemerkt.¹⁹ Wat Barnett in ieder geval wel aanteeft, is dat de spectrogrammen, in combinatie met de ruime marges die inherent zijn aan het visuele aflezen van de frequentiewaardes, betrekkelijk onnauwkeurig zijn.²⁰

Ruim een decennium later introduceert Kay Elemetrics, de leverancier van Barnett's spectrograaf, sterk verbeterde machines voor spectrale analyses, met een voor die tijd spectaculaire precisie—en dat in real time. Het leidt onder andere tot nieuw onderzoek naar boventoonzang en andere vocale technieken in de etnomusicologische onderzoeksgroep van het Centre Nationale de la Recherche Scientifique in Parijs.²¹ In de reeds genoemde film *Le chant des harmoniques* van Hugo Zemp zien we deze analyses ontstaan terwijl röntgenapparatuur ons een blik in de mondholtes van zanger-onderzoeker Tràn Quang Hai gunt. Het artikel van Zemp en Tràn met boventoonzanganalyses dat op de film volgde geeft ideale harmonische waardes voor de boventonen. “Avec la technique à deux cavités, et le fondamental le plus grave (110 Hz = La1), Tràn Quang Hai arrive à ressortir les harmoniques entre H6 (660 Hz) et H20 (2200 Hz)”.²² Toch is ook dit onderzoek noch gericht noch toegesneden op het ontmaskeren van eventuele harmonische onzuiverheden. De *exacte* veelvouden van de grondtoon worden, zoals gebruikelijk, niet verantwoord. Wel blijkt dat modernere middelen voor elektronische analyse nauwkeuriger de spectrale verdelingen van harmonischen laten zien, en dat hun waardes nog steeds geïnterpreteerd worden als zuiver harmonisch.

Ik keer terug naar Sethares voor een recenter, digitaal voorbeeld. Dit betreft de elektronische opwekking van twee sinustonen met de waardes f en $2f$, ofwel een octaaf. Dit levert twee egale, ideale golfvormen op: de bouwstenen van natuurlijke, harmonische geluiden (Illustratie 4.5). Het spectrum van de combinatie van deze twee klinkende golfvormen laat volgens de verwachting twee duidelijke energiepieken zien van f (100 Hz) en $2f$ (200 Hz) (Illustratie 4.4). De kleine afwijkingen van de harmonische veelvouden van de grondtonen van een gitaar zijn hier verdwenen.

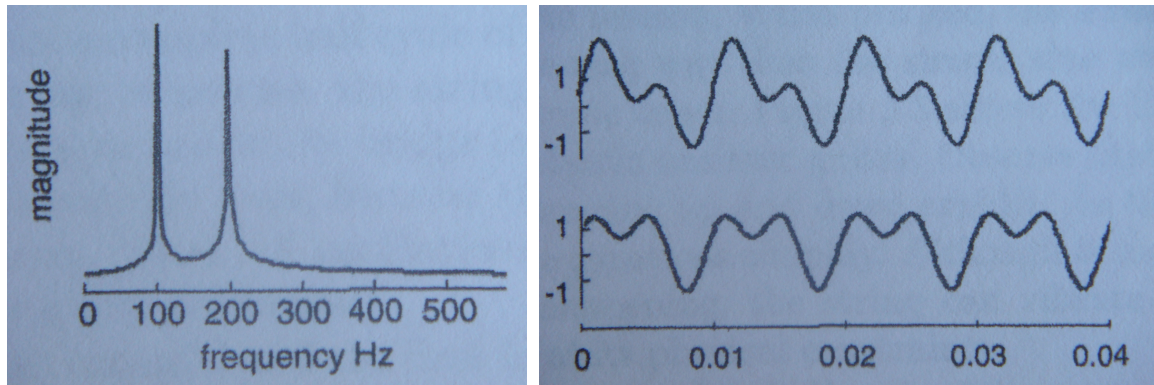
Mogelijk is Walker's claim uit 1990 dat zelfs elektronische middelen geen zuiver harmonisch spectrum kunnen genereren zonder ‘impurities’ achterhaald door voortgaande ontwikkelingen in audiosynthese. Het lijkt er immers op dat hier een volstrekt zuivere verhouding van 2:1 gerealiseerd is. Anderzijds: er is bij de

¹⁹ Bonnie Mara Barnett, ‘Aspects of vocal multiphonics’, *Interface*, 6, 1977, 121. “The C# which coincides (*sic.*) with the first formant frequency of 291.5 Hz. is the fifth harmonic of the the fundamental frequency 54.7 Hz”. De verschillen overschrijden hier zelfs de waardes met de maximale marges naar boven resp. beneden.

²⁰ Elders stelt ze dat een niet geringe marge van 30 Hz in acht moet worden genomen bij 117.6 Hz (*ibid.*, 121).

²¹ *Les voix du monde. Une anthologie des expressions vocales* (3-cd met tekstboekje), 1996. Zie ook de besprekingen en verwijzingen van het werk van Hugo Zemp en Tràn Quang Hai (in Hoofdstuk Drie en navolgende voetnoot) en Bernard Lortat-Jacob (Hoofdstuk Zeven).

²² Hugo Zemp en Tràn Quang Hai, ‘Recherches experimentales sur le chant diphonique’, *Cahiers de Musiques Traditionnelles*, 4, 1991, 31.



Illustraties 4.4 en 4.5: Spectrum en golfvorm van twee pure sinustonen van 100 en 200 Hz (bron: Sethares, 2005, 15). Sethares toont met dit voorbeeld aan dat een faseverschil tussen de twee sinustonen wél leidt tot verschillende golfvormen, maar dat dit niet leidt tot een andere perceptie. “Thus, the spectral representation captures perceptual aspects of a sound that the waveform does not. ... [The] spectrum ... is more meaningful to the ear than are the waveforms ...” (ibid., 15-16). Waar het mij om gaat is dat er tussen en naast de pieken van de harmonischen nog altijd sprake is van energie.

electronische opwekking nog wel enige ‘nonzero’ energie te ontwaren rondom de twee pieken. Volgens Sethares is deze het gevolg van de techniek van de Fourier analyse.²³ Het is al langer bekend dat er bij het opnemen en afspelen van (akoestisch) geluid altijd enige verstoring of ‘distortion’ optreedt, waar verschillende oorzaken voor kunnen zijn, maar die inherent is aan de apparatuur.²⁴ De vraag is dan of die verstoring ook al in de elektronische geluidsbron optreedt, zodat er inderdaad, zoals Walker beaamt, geen sprake is van een pure harmonische trilling; óf dat de oneffenheden pas de kop opsteken bij de opname en analyse van het klinkende geluidsspectrum. Antwoorden op die vragen zouden uitsluitsel kunnen geven over de kwestie of de akoestische werkelijkheid zelf, en de waargenomen werkelijkheid die we er van afleiden, opgebouwd kunnen zijn uit zuivere proporties. Horen we in de niet-instrumentale, niet-gemeten, niet-theoretisch-onderbouwde, directe ervaring van boventoonzang nu wel of niet ideale, pythagoreïsche proporties?

De empirische weg om die vraag op te lossen blijft obstakels opleveren, wat in de richting wijst van een falsificatie van de hypothese dat boventoonzangers perfecte pythagoreïsche harmonieën tot klinken brengen. Als dat klopt, dan zou dat betekenen dat alleen in de wiskunde de boventoonreeks als een reeks ideale proporties blijft bestaan. Het zou tevens betekenen dat het spreken over en refereren aan *perfect* zuivere ratio’s bij boventoonzang onterecht is, net als het hele idee van *perfect* reine stemmingen (van gitaar- en vioolsnaren bijvoorbeeld), van *perfect* zuiver intoneren in koorzang, van *Just Intonation* Al deze praktijken zouden berusten op een geïdealiseerde muziektheorie. Het *mythische perspectief* uit de titel van Walker’s boek zou niet alleen musici, luisteraars en filosofen uit voorbije eeuwen betreffen, maar ook diezelfde uit onze eeuw, *plus* menig wetenschapper uit onze tijd, zoals de meesten die over boventoonzang publiceerden. De praktijk zou grilliger zijn, en continu kleine onregelmatigheden vertonen. Op zich is dat niet moeilijk voor te stellen, op het niveau van ontelbare moleculen die tezamen als een wervelwind een

²³ Sethares, *Timbre*, 18.

²⁴ Aad Houtsma et al., *Auditory demonstrations* (cd met tekstboekje). Acoustical Society of America/Instituut voor Perceptie Onderzoek, 1987, 72.

druk golf doorgeven, nadat er verderop in de ruimte een gitaarsnaar aangetokkeld wordt, of een stem klinkt. Enige chaos ligt dan meer in lijn der verwachting dan volstreekte regelmaat.

Op basis van de bronnen die ik besprak, kan ik voorlopig concluderen dat metingen aan akoestische geluidsbronnen, waaronder de stem, geen volstrekt zuivere boventoonreeks laten zien en dat er een minimale hoeveelheid 'impurities' (Walker) of 'nonzero' energie (Sethares) aanwezig is, zelfs als er sinustonen in harmonische ratio's opgewekt worden. Het is tevens duidelijk geworden dat de hoeveelheid 'nonzero' energie te klein is om op het gehoor te kunnen waarnemen en ook dat niet uit te sluiten valt dat die energie geproduceerd wordt door de apparatuur tijdens de synthese of analyse zélf van het geluid.

4. Grote en kleine octaven

Als we niet alleen naar de inwendige proporties van tonen kijken, maar ook naar uitwendige proporties van de combinaties van twee of meer tonen, dan blijkt dat daar de veronderstelde zuiverheid van ratio's van (kleine) gehele getallen achterblijft bij wat vaak onder musici gedacht wordt. Nog sterker geldt nu dat de zuiverheid een (wiskundige) voorstelling betreft, in plaats van een reële, zuiver-harmonische afstemming van muzikale intervallen. Sommige ratio's liggen al eeuwenlang onder vuur, zoals we in Hoofdstuk Twee zagen met Huygens' pleidooi voor de zevende boventoon (7:4). Maar van de meest elementaire verhouding 2:1, de eerste trap van de boventoonreeks, leek de zuiverheid verheven boven elke twijfel. De laatste decennia wordt de veronderstelling dat een zuiver octaaf de hoeksteen is van muziek over de hele wereld steeds verder genuanceerd.²⁵

Op de rijk geannoteerde cd *Auditory demonstrations*, mede geproduceerd door het Instituut voor Perceptie Onderzoek in Eindhoven,²⁶ staan twee proeven die demonstreren dat luisteraars zuivere octaven (2:1) lang niet altijd als ideaal beschouwen.²⁷ In de eerste proef wordt een referentietoon van 500 Hz afgewisseld met een andere die van 985 Hz naar 1035 Hz gaat, in stapjes van 5 Hz. Het blijkt dat proefpersonen een interval dat iets groter is dan het octaaf, namelijk 1010 Hz, vaak als zuiverder beoordelen dan dat met de exacte ratio 2:1 (1000 Hz) of de iets kleinere intervallen (985-995 Hz). Een sluitende verklaring konden de onderzoekers niet geven voor dit fenomeen.²⁸ Dit eerste voorbeeld benadrukt ratio's in hun melodische aspecten: een tweede voorbeeld betreft harmonische aspecten. In demonstratie 16 wordt een melodie in een hoog register gepresenteerd tezamen met een baslijn. De laatste staat steeds in C, de melodie staat achtereenvolgens in B, C# en C. 40% van de luisteraars beoordelen de opgerekte combinatie C-C# als correcter dan de 'juiste' combinatie C-C. Het zal voor vele musici een verrassing zijn dat een

²⁵ Zie bijvoorbeeld een veelgebruikt studieboek als Juan G. Roederer's *Introduction to the physics and psychophysics of music* (New York: Springer Verlag, 1979, 146-147) voor het idee dat de eerste intervallen van de boventoonreeks mondiaal bepalend zijn voor de indruk van consonantie of welluidendheid.

²⁶ Houtsma et al., *Demonstrations*. Tegenwoordig heet het instituut: 'IPO Center for User-System Interaction'.

²⁷ Houtsma et al., *Demonstrations*, demonstraties 15 en 16.

²⁸ Ibid., 42. Dat dit verschijnsel niet beperkt blijft tot (electronische) laboratoriumproeven, maar ook gangbaar is in de klassieke en akoestische concertpraktijk, was al bekend uit studies naar de stemming van instrumenten. John R. Pierce schrijft in *Klank en muziek. Een combinatie van wetenschap en cultuur* (Maastricht: Natuur & Techniek, 1983, 62): "Piano's worden vaak gestemd met iets te grote octaven, soms als gevolg van de stijfheid van de snaren, soms ook omdat de pianist een voorkeur heeft voor het helderder timbre dat er het gevolg van is".

melodie plus begeleiding met een onderling verschil van een semitoon (!) goed kunnen klinken, in vergelijking met een versie waarbij de bastonen in dezelfde toonsoort staan. Het octaaf mag kennelijk een flink stuk groter zijn om nog goed te kunnen klinken.

We zouden een parallel kunnen trekken tussen deze twee experimenten en boventoonzang, als we het eerste experiment als een melodie en het tweede als een harmonie opvatten. De meeste boventoonzang is gericht op het melodische verloop van harmonischen, maar de mantra's van Tibetaanse Gyütö monniken, La Monte Young's vroege experimenten met boventonen, alsook sommige van mijn eigen stukken en die van andere eigentijdse (boventoon)zangers benadrukken het harmonische aspect van samenklanken. Daarbij ontstaat een statisch klankbeeld op basis van unisono grondtonen en één of meer lang aangehouden boventonen, of sterk resonerende klinkers.²⁹ Ook bij melodische boventoonzang horen we weinig variatie in de grondtonen en is er meestal sprake van 'drone-meerstemmigheid', dat wil zeggen die vorm van meerstemmigheid waarbij een melodie begeleid wordt door een enkele (soms meerdere) lang aangehouden tonen. Voor zowel harmonische als melodische types van boventoonzang blijft de grondtoon meestal hoorbaar aanwezig, alsof een separate lage bastoon een hogere partij begeleidt. Virtuoze boventoonzangers (zoals Rollin Rachele, David Hykes en Stuart Hinds) zijn in staat om complexe baslijnen te zingen onder een boventoonmelodie, waarbij de baslijn naar de achtergrond verschuift of juist als een schijnbaar onafhankelijke partij meeklinkt met de boventoonmelodie.

Maar de vergelijking gaat niet goed op, omdat in al deze gezongen grondtoon-boventoon combinaties— in tegenstelling tot de genoemde elektronische experimenten— steeds een aangehouden, natuurlijke toon centraal staat. Er valt niet te ontsnappen aan het feit dat octaven van een boventoonzanger exacte octaven blijven (2:1, 4:1, 8:1, 16:1), of eventueel iets wat daar zéér dichtbij ligt. Wijken zij hoorbaar af, dan kan het niet anders of het zijn de nabijgelegen ratio's (15:1 of 17:1) met een halve toon verschil. Zowel de elektronische experimenten als boventoonzang doorbreken muzikale verwachtingspatronen, maar ze bewegen in tegenovergestelde richting. De eerste zet, met behulp van elektronische manipulaties, diep ingesleten culturele aannames op losse schroeven. De tweede werpt luisteraars terug op natuurlijke principes van geluid die sommige van die aannames weer wél lijken te bevestigen. Naarmate de technologie (en de tijd) voortschrijdt, ontstaan verdere mogelijkheden voor experiment, elektronisch, instrumentaal en vocaal: ik bespreek tot slot de mogelijkheid om niet alleen intervalsrelaties te manipuleren, maar ook het inwendige spectrum van tonen drastisch te wijzigen. Met behulp van nieuwe timbres gebaseerd op *inharmonische boventoonreeksen* is het mogelijk om nieuwe vormen van welluidendheid te construeren, en het geloof in zuivere proporties verder te ondermijnen.

5. Een totaalbenadering

“The octave is dead ... long live the octave”. Met deze veelzeggende titel van het eerste hoofdstuk van *Timbre, tuning, spectrum, scale* valt William Sethares met de deur in huis. Met zijn boek presenteert hij nieuwe ideeën en modellen over de eeuwenoude kwestie van consonantie: welluidende versus onwelluidende samenklanken. Zijn uitgangspunt is een aantal anomalieën uit de geluidsl leer. Eerst haalt hij

²⁹ Deze voorbeelden komen nader aan bod in de hoofdstukken Zeven en Elf.

diverse bronnen aan die benadrukken hoe sterk twee tonen met een octaaf verschil overeenstemmen, en dat we octaven in alle culturen tegenkomen, als een universeel oergegeven van de muziek.³⁰ Vervolgens laat hij lezen, horen en zien (op de cd-rom bij het boek) dat opgerekte octaven zuiverder kunnen klinken dan exacte octaven in de ratio 2:1. Dan op pagina drie verklaart hij hoe dat kan: “the “trick” is to choose the spectrum or timbre of the sound (the tone quality) to match the tuning (the intervals desired)”. Hij neemt bovendien radicaal stelling in het consonantie-debat: “it is possible to make almost any interval reasonably consonant, or to make it wildly dissonant, by properly sculpting the spectrum of sound”.³¹

De boodschap die Sethares uitdraagt, en de voortvarende manier waarop hij dat doet, strijkt veel musici met een klassieke achtergrond tegen de haren in, en waarschijnlijk ook een deel van de musicologen en theoretici die toegewijd zijn aan de Europese klassieke canon. Maar zijn betoog is sterk en overtuigend. In een afgewogen methode koppelt Sethares de synthese van nieuwe geluiden aan vernieuwende theoretische beschouwingen. Met zijn zelfgecomponeerde elektronische werkjes slaagt Sethares er inderdaad in traditioneel ‘wringende’ intervallen relatief egaal te laten klinken. Mooi is anders, maar het is een mogelijkheid. Zijn integratie van de vier variabelen *timbre*, *tuning*, *spectrum*, *scale* is een nuttige benadering die de eigenaardigheden en theoretische complexiteiten van deze vier variabelen signaleert. Belangrijker, en origineler, is dat hij oplossingen biedt voor bepaalde problemen door te kijken naar en experimenteren met de onderlinge samenhang van de vier elementen.

De meeste aandacht gaat uit naar nieuw geconstrueerde toonschalen, die in vaktermen van theoretici en componisten³² *xenharmonic* worden genoemd. *Xen-* (vreemd-) duidt op ongebruikelijke verdelingen van het octaaf: evenredigzwevende toonladders van 13 tot en met 24 tonen (zoals de 19-toons evenredigzwevende toonladder), *onevenredige* verdelingen van het octaaf, en verdelingen van *non-octaven* behoren allemaal tot het terrein dat in recente experimentele muziek verkend is. Dankzij de nieuwe mogelijkheden die digitale audiosynthese biedt en de bevoegdheid van een musicus-theoreticus zoals Sethares, is het nu mogelijk om, zoals de auteur beweert, in wezen elke denkbare toonschaal redelijk tot goed te laten klinken. Het enige wat moet gebeuren is de computer het beste timbre voor die toonschaal uit te laten rekenen. “Although Western music relies heavily on harmonic sounds, these are only one of a multitude of kinds of sound. Modern synthesizers can easily generate inharmonic sounds and transport us into unexplored musical realms”.³³ De auteur geeft ook voorbeelden van muziek die ver van de Europese muziek afstaat, en waar van oudsher alternatieve systemen bestaan voor de combinatie timbre-stemming-spectrum-toonschaal waar onze oren zo aan gewend zijn. Intervallen, die liefhebbers van barokmuziek op zich als onzuiver beschouwen, kunnen door hen toch als welluidend ervaren worden in muziek voor bijvoorbeeld Thaise metallofonen of de Turkse *mansur ney* (rietfluit).³⁴ Vele onderzoekers gingen Sethares voor in het nameten van stemmingen en

³⁰ Sethares, *Timbre*, 1, 2.

³¹ *Ibid.*, 3.

³² Vaak verenigd in één en dezelfde persoon.

³³ *Ibid.*, 7.

³⁴ *Ibid.*, 70.

timbres in inheemse tradities,³⁵ maar dergelijke cross-culturele vergelijkingen zijn nog steeds van groot belang zolang het zuivere octaaf en andere Europese ideeën als norm beschouwd worden voor *alle* muziek.

Sethares bevestigt opnieuw dat er bij akoestische instrumenten vaak afwijkingen optreden van de zuiver-harmonische reeks opgebouwd uit proporties in lage hele getallen. *Binnenin* de toon speelt de matrix van de boventoonreeks een belangrijke rol. Maar in harmonische en melodische *combinaties van tonen* worden met oude en nieuwe middelen naar verhouding grote afwijkingen van zuivere intervallen toegelaten zonder dat de perceptie van een welluidend geheel in gedrang komt.

6. Bevestiging voor Robert Walker

Ik citeerde Robert Walker, die schreef: “ ... few, if any, sounds are ideal in the real world ... ” Maar wat is *few*? Welke feiten hebben we totnogtoe gezien die inderdaad wijzen richting een falsificatie van een ideale boventoonreeks? Op welke fronten toont de ideale boventoonreeks, zoals ik die op cd en in eerdere hoofdstukken verondersteld heb, gebreken? Walker zelf geeft een aantal redenen om het bestaan van zuivere proporties, als een basiswet van alle geluid, als een mythe uit de Europese muziekgeschiedenis te beschouwen:

1. *Vele instrumenten, waaronder bellen en klokken, worden gekenmerkt door inharmonische boventoonreeksen.* Harmonischen zijn niet *de* hoofdbestanddelen van alle geluid, maar vormen tezamen met inharmonischen (en ruisklanken, die Walker buiten beschouwing laat) één van de mogelijke akoestische basispatronen.
2. *In de praktijk worden vermeend harmonische boventoonreeksen opgerekt (bijvoorbeeld door hoge snaarspanningen, of door overblazen).* Dit wordt inderdaad bevestigd door Sethares.
3. *Proportionele zuiverheid van boventoonreeksen is ook niet aan te tonen voor normale trillingen, zonder extreme spanningen: er zijn altijd kleine afwijkingen in de ratio's.* Sethares herbevestigt dit voor de snaren.
4. *Empirisch onderzoek stuit altijd op onzuiverheden (impurities) tussen harmonischen.* Ook dit zagen we terug in metingen aan instrumenten (van William Sethares) en aan de grafische weergave van het spectrum van de menselijke stem (van Harm Schutte).
5. *Volstrekt zuivere ratio's zijn ook via elektronische weg niet te genereren.* We zagen bij Sethares dat dit wel mogelijk is. Maar er is altijd sprake van enige ‘non-zero energie’, waaruit geconcludeerd zou kunnen worden dat een boventoonreeks met een perfectie van 100% niet elektronisch op te wekken is.

Verder heb ik gekeken naar intervallen tussen combinaties van tonen, die volgens Walker ook bijdragen aan een idee van zuiverheid naar het model van de lagere intervallen van de boventoonreeks (zoals het octaaf, de kwint en de kwart).

6. *De werkelijke stemming en intonatie van instrumenten en zang worden vaak geïdealiseerd voorgesteld in hele getalsverhoudingen.* Deze stelling is meermalen bevestigd met onderzoeken naar de praktijk van het musiceren, zoals de intonatie van zangers.

³⁵ Hermann Helmholtz, *On the sensations of tone*. New York: Dover Publications, 1954; W. Jay Dowling en Dane L. Harwood, *Music cognition*. Orlando: Academic Press, 1986.

7. *Volstrekt zuivere intervallen, waaronder zelfs het octaaf, hoeven niet per se zuiver te klinken.* Electronische experimenten in een artificiële muzikale context bevestigen inderdaad dat luisteraars de voorkeur kunnen geven aan zeer ruime melodische en harmonische intervallen (proporities).
8. *Nieuw-geconstrueerde spectra met inharmonische boventoonreeksen kunnen zuiver klinken.* Dit laat Sethares zelf zien en horen. Worden de intervallen van een electronische boventoonreeks bijvoorbeeld gebaseerd op de tritonus, dan verliest dit interval als samenklank haar extreem schrille karakter.

In muziektradities verspreid over de wereld zijn nog veel meer voorbeelden te vinden van stemmingen waarin octaven, kwinten, kwarten, etcetera, afwijken van de perfecte vormen, terwijl ze door inheemse luisteraars (en steeds meer anderen) als welluidend beschouwd worden. Al deze observaties laten zien dat Walker's stelling, dat de ideale proporities 1:2:3:4:... zelden of mogelijk zelfs nooit voorkomen, juist lijkt te zijn. Het is een *ideaal* dat heel dicht benaderd wordt, onder andere in de uitvoeringspraktijk van de Europese kunstmuziek. Maar ideale proporities lossen niet de belofte van universele geldigheid in die veel van onze musici en theoretici er graag in zien. Het blijft *ideaal*: een *idee*, een geloof, een product van de geest en dan vooral van de verbeelding.

7. Een ander geluid

En toch blijft Walker's stelling bevreemdend. Er is immers ook bevestiging te vinden voor het bestaan van zuivere harmonischen. Publicaties over boventoonzang en de stem geven doorgaans exacte veelvouden van een grondtoon voor het spectrum van de stem, zonder reserves, naast andere, inharmonische reeksen, stemmingen en intonaties voor instrumenten en instrumentale en vocale samenklanken. Sethares interpreteert zijn metingen aan een gitaar (Tabel 4.2) ondanks kleine afwijkingen als "primarily harmonic", wat klinkt als 'eigenlijk harmonisch'. En voor de inwendige harmonie van de stem vonden we slechts onzuiverheden *tussen* harmonischen, die mogelijk afkomstig is van meetinstrumenten. Van een falsificatie van Walker's idee dat zuivere proporities helemaal niet bestaan is nog geen sprake.

Ik stuit tot slot op een gedegen, fysisch onderbouwd naslagwerk over akoestiek, *Fundamentals of musical acoustics* (1976/1990), waarin de natuurkundige Arthur Benade elk aspect van zijn presentatie grondig nameet, en het kaf van het koren scheidt.³⁶ Hij wijst terecht op het 'eenvoudig-lijkende gedrag' van trillende snaren, en toont minimale afwijkingen aan met een tabel zoals Tabel 4.2 hierboven. Ook hij overweegt de trillingsvorm van hypothetische, ideale snaren, met de nodige scepsis.

Before we become too charmed by the simplicity inherent in this whole-number relationship, we should try to determine whether the discrepancies between the simple whole-number relationship and the measured frequencies of the strings are the result of experimental error in the measurement (so that they may be ignored here), or whether they are the manifestation of further complexities that we will perhaps need to study later. When the string frequencies are carefully re-measured by various techniques, we find that these discrepancies truly belong to the guitar and its strings.³⁷

Benade bespreekt vervolgens ook de *ideale combinaties* van enkelvoudige sinusoidale golven en beschouwt deze hele-getalsrelaties als "the physical basis of tone colour" en "the special relationships between notes

³⁶ Benade, *Fundamentals*, 1990.

³⁷ *Ibid.*, 57-58.

which underlie formal music all over the world”.³⁸ Hij erkent, “There is something intellectually very attractive about the apparent simplicity of sounds made up of components having integer frequency ratios”³⁹ maar voegt er onmiddellijk aan toe dat we niet in de val moeten trappen het bestaan van die ideale reeks onkritisch aan te nemen. Via deze weg, en verdere metingen, concludeert Benade echter dat de veronderstelling terecht is.

We find that there is a large class of familiar sound sources that normally produce sounds whose frequency components are found to be related in the *precisely* whole-number manner that we postulated for our hypothetical strings. Examples of sources of this kind are very common. The human voice is the most familiar one, while the woodwind and brass instruments join with the violin family to provide orchestral examples. These diverse sound sources have one common element in their nature that sets them apart from the bells, chimes, and strings we have considered so far. Instead of simply ringing (and decaying away) in response to an impulsive stimulus, all of these instruments are capable of producing *sustained* sounds. ... It turns out that the vast majority of our musical listening experiences are with sounds whose frequency components are in exact whole-number relation, or very nearly so. It is not surprising, then, that the formal structure of music (wherever it has developed over the world) is strongly influenced by the properties of sounds each of which has whole-number relations among its components.⁴⁰

Ondanks zijn eigen waarschuwing, houdt Benades met deze conclusie nog iets te veel vast aan het idee van wereldwijde, formele structuren van muziek: vandaag de dag is het problematisch om zulke algemene uitspraken over het onoverzichtelijke terrein van de muziek te doen. We hebben gezien dat er sinds Benades’ publicatie lacunes in onze kennis zijn opgevuld en nuances zijn aangebracht, onder andere voor muziek buiten de klassieke Europese traditie. Maar zijn opvatting blijft relevant en steekhoudend wat de stem betreft. Gedetailleerde informatie voor de stem, waaruit de hele-getalsratio’s inderdaad blijken, geeft Benade verderop in zijn boek.⁴¹ Hij vermeldt een zanger die hij een toon van 100 Hz laat zingen met “exact multiples of 100 Hz”.⁴² Verderop geeft hij de eerste drie frequenties voor twee tonen gezongen door een sopraan. Beide laten exacte, harmonische verhoudingen zien:⁴³

Tabel 4.6. Grondtoon en twee harmonischen voor twee tonen gezongen door een sopraanstem (bron: Benades, 1990, 382).

	toon 1	toon 2
F0	466,2	587,3
H2	932,3	1174,7
H3	1398,5	1762,0

Walker’s boek trof mij ooit als een uitgebalanceerde doordenking van fysische aspecten van muziek en geluid, en van de cultuur en mythes daaromheen, en zijn boek doet dat nog steeds. Wel had hij Benade’s conclusies kunnen kennen of (naar ik aanneem) in andere bronnen dergelijke conclusies kunnen vinden. Als het echter op het scherpst van de snede aankomt, dan laat ik tot slot nog een kier open voor Walker.

³⁸ Ibid., 61.

³⁹ Ibid., 62.

⁴⁰ Ibid.

⁴¹ Ibid., 370, 382.

⁴² Ibid., 370.

⁴³ Ibid., 382. Niet deze (beperkte) tabel en de referentie van pagina 370, maar het ontwerp van Benade’s onderzoek, de redeneertrant en de verantwoording overtuigen mij ervan dat het probleem dat ik aansneed voldoende beantwoord is.

Immers, als we de metingen van Benade beschouwen als representaties van een massa bewegende moleculen rondom de stembanden, in de ruimte, tot aan de hamer van het middenoor, dan moeten we erkennen dat we ons richten op een vereenvoudigd model van de akoestische werkelijkheid.

8. Samenvatting en conclusie

In dit hoofdstuk stond Robert Walker's vraag centraal of er in de natuur nu wel of niet zoiets als een volstrekt perfecte, zuivere toonreeks, opgebouwd uit lage, gehele getallen (1:2:3:4: ...) voorkomt. Een rondgang langs luisterexperimenten met uitgerekte octaven en met zelfgecomponeerde timbres (bestaande uit niet-harmonische reeksen), en langs metingen aan intonaties van de zangstem maakt duidelijk dat het menselijk gehoor een buigzame instantie is, die bereid is aanzienlijke onzuiverheden te accepteren. Het geloof in een zuivere, getalsmatige harmonie—een geloof dat eeuwenlang en nog steeds een belangrijke rol speelt in Europese kunstmuziek—berust voor een belangrijk deel op simplificaties en mythes. De *uitwendige* afstemming van toonreeksen (melodische toonverhoudingen) en toonstapelingen (harmonische toonverhoudingen) is veel beweeglijker en manipuleerbaarder dan de *inwendige* verhoudingen van de boventoonreeks. Is het nu mogelijk om de stelling dat de boventoonreeks *volstrekt zuiver* is te falsificeren? Ik moest concluderen dat we waarschijnlijk niet in staat zijn een volstrekt zuivere boventoonreeks empirisch, *objectief te meten*.

Deze conclusie heeft mijns inziens twee implicaties voor dit artistieke onderzoek. De intervallen van de *grondtonen* die wij intoneren bij de 0... zullen welbeschouwd zelden overeenstemmen met heeltallige lage ratio's, wat de algehele (uitwendige) zuiverheid van de twee stemmen relativeert. Voor de inwendige harmonische verhoudingen blijft deze vraag onbeslist. Aangezien elke objectieve meting plaatsvindt binnen een systeem van aannames waarin menselijke keuzes een rol spelen, overweeg ik de zuiverheid van de gezongen boventoonreeks als een *subjectief gemeten* ideaalvorm te beschouwen. De ratio's die wij met de 0... 'meten' of hoorbaar maken, vergroten voor het oor harmonische proporties van timbres en klinkers uit, welke sprekende en horende mensen voortdurend uiten en waarnemen, ook al is het onbewust.

Voor mijn kunstenaarspraktijk betekent deze theoretische onderbouwing onder meer dat het belichaamde zingen en beluisteren van harmonischen zélf de idealiteit van de boventoonreeks even goed of zelfs beter benadert dan de objectiverende wetenschap, óók als ik daarbij de grootst mogelijke scepsis in acht neem. De kunstpraktijk en onderzoek in de kunsten kunnen een aanvullende rol spelen in het wetenschappelijke onderzoek naar het horen, net zoals wetenschappelijk onderzoek mede bijdraagt aan de ontwikkeling van het boventoonzingen.

The Ground beneath my Ears

Geluidsvoorbeeld #49

“Yet Nature created an *infinite gradation* – *infinite!* who still knows it nowadays?”

Ferruccio Busoni in zijn kritiek op de twaalftoonsreeks als bron voor de Europese kunstmuziek
Sketch of a new esthetic of music, 1907¹

Alle muziek overschrijdt grenzen op een bepaalde manier, maar hoe kunnen we de grens in muziek tot uitgangspunt maken? Door er bovenop te gaan zitten en alle discrete stappen te vermijden. We horen het vaak genoeg, in blue notes en andere glissandi, maar daar zijn ze uitzondering op de regel dat de toon zich telkens weer van en naar een vast punt beweegt. Wat als we proberen elk vast punt te vermijden en als we tonen steeds laten aanzwellen en afzwellen? Dan krijgen we een sirenemuziek zonder houvast, parallel aan die andere, grenzeloze ‘arte dei rumori’ voorgesteld door de schilder Luigi Russolo in 1913. De stem kan deze sirenemuziek vervolmaken, door ook de klankkleur in ‘infinite gradations’ te variëren, zonder vaste punten te kiezen. Het resultaat is The Ground beneath my Ears. De zanger wordt uitgedaagd om, improviserend met beperkingen, de drie ‘oneindig variabele’ grootheden toonhoogte, kleur en dynamiek te verkennen. Als uitgangspunt dienen modellen die de bedenker van The Ground voorzingt tijdens het instrueren van het stuk. Deze hebben een open vorm, zonder regelmaat en herhaling, en brengen de onregelmatigheid qua vorm van spraak in herinnering. Het gaat erom zich continu bewust te zijn van een coördinatiepunt waarop deze drie oneindigheden voor een miniem moment een vaste waarde hebben. Al deze momenten worden nauwgezet gevolgd door een tweede zanger. Er ontstaat een spanningsveld tussen de wens om de twee stemmen als één te laten klinken, en de drang om vrijelijk te bewegen in een akoestisch veld dat het hele middenbereik van de stem omvat. De eerste stem lijkt vrij te kunnen bewegen, maar schijn bedriegt: hij moet de snelheid van zijn veranderingen afstemmen op het aanpassingsvermogen van de tweede.

¹ Geciteerd in Kahn, ‘Ether ore’, 2005, 113.

Idealiter passen de twee stemmen zodanig bij elkaar dat de magie van versmelting steeds optreedt en het verschil tussen beide stemmen vrijwel opgeheven wordt. Er is dan niet langer sprake van twee stemmen, maar evenmin van één stem: er ontstaat een nieuwe situatie, een 'eenstemmig duet' waarin alle harmonischen gelijkmatig meegolven. De samenvallende boventoonreeksen zijn het fysieke bewijs van een juiste afstemming. Maar harmonischen mogen niet de hoofdrol gaan spelen: concrete boventoonsprongen zouden onvermijdelijk tot een ritmische achterstand van de volger leiden.

Wat in improvisatievorm onmogelijk lijkt—exact en onmiddellijk nadoen of zelfs meedoen wat een andere improvisator doet—wordt nu mogelijk, omdat alle puntsgewijze coördinaten (van tonen en ritmes) ontbreken. Dat wat niet of slechts gebrekkig genoteerd kan worden in westerse notatie (de kleur van een klank) lijkt hier exact voorgeschreven te zijn. Zo ontstaat de indruk dat beide zangers exact weten waar ze naartoe gaan, alsof er sprake is van een ingestudeerde compositie. Het resultaat is een weerslag van de gemoedstoestand en scheppingsdrang van de voorzanger. Een dynamisch, sonisch fluïdum uitgedrukt door twee lichamen.

Goed getrainde zangers spelen achter de façade van de vreemde, onorthodoxe stembewegingen een subtiel kat- en muisspel door te balanceren op de rand van versmelting. Hier en daar veroorzaakt de één of de ander grillige zwevingen door te snel of te langzaam van toonhoogte te veranderen. Iets dergelijks kan de minder getrainde zangers overkómen, met een esthetisch resultaat dat niet onder hoeft te doen voor de getrainde zangers, maar dat qua beheersing van het geest-lichaams-proces iets achterblijft.

Mits de regels streng opgevolgd worden, legt The Ground beneath my Ears iets bloot dat altijd aanwezig is, ín en voorbít de expressie. De bestaande orde wordt omgekeerd, nu grondtonen zich niet kunnen wentelen in hun grond-heid, en deels in functie komen te staan van complexe patronen van resonanties, trillingen, verdikkingen en verdunningen in de ruimte ... De grondtoon moet zijn hegemonie prijsgeven en gaan luisteren. Het is een schijnafhankelijkheid, vergelijkbaar met die van het individu, dat in functie staat van ontelbare complexe patronen en processen: de sterke en de zwakke electromagnetische kracht, de instandhouding van genenpopulaties, de grilligheid van de geschiedenis ...