

DE ONGELETERDE LUISTERAAR



2010 KNAW

© Sommige rechten zijn voorbehouden / Some rights reserved

Voor deze uitgave zijn gebruiksrechten van toepassing zoals vastgelegd in de Creative Commons licentie. [Naamsvermelding 3.0 Nederland]. Voor de volledige tekst van deze licentie zie <http://www.creativecommons.org/licenses/by/3.0/nl/>

KONINKLIJKE NEDERLANDSE AKADEMIE VAN WETENSCHAPPEN

Postbus 19121, 1000 GC Amsterdam

T 020 551 0700

F 020 620 4941

E knaw@bureau.knaw.nl

www.knaw.nl

pdf beschikbaar op www.knaw.nl

Opmaak: Ellen Bouma, Alkmaar

Druk: Bejo druk & print, Alkmaar

ISBN 978 90 6984 618 7

Het papier van deze uitgave voldoet aan ∞ iso-norm 9706 (1994) voor permanent houdbaar papier.



Deze publicatie is gemaakt van FSC-papier en gecertificeerd onder nummer CU-COC-804134-N.

HENKJAN

HONING

.....

DE ONGELETTERDE

LUISTERAAR

Over muziekcognitie, muzikaliteit en methodologie

KONINKLIJKE NEDERLANDSE AKADEMIE VAN WETENSCHAPPEN

Amsterdam, 2010

Rede uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van bijzonder hoogleraar Muziekcognitie vanwege de Stichting Akademieerstoelen Geesteswetenschappen van de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen aan de Universiteit van Amsterdam op woensdag 1 december 2010.

Opgedragen aan H. Christopher Longuet-Higgins (1923-2004)

Mevrouw de Rector Magnificus,
Mevrouw de Decaan,
Leden van de Commissie Akademieerstoelen Geesteswetenschappen van de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen,
Leden van het curatorium van deze bijzondere leerstoel,
Zeer gewaardeerde toehoorders,

Fransen baby's huilen anders dan Duitse baby's. Dat was de conclusie van een eind vorig jaar verschenen studie in het wetenschappelijke tijdschrift *Current Biology*.¹ Duitse baby's bleken te huilen met een dalende toonhoogte, Franse baby's daarentegen met een stijgende toonhoogte, om pas op het eind iets te dalen. Het was een verrassende observatie, met name in het licht van de heersende theorie dat bij huilen het toonhoogteverloop altijd zou moeten dalen, als fysiologische consequentie van de snel dalende druk tijdens het produceren van geluid.² Kennelijk kunnen baby's van slechts enkele dagen oud zowel de dynamiek als het toonhoogteverloop van hun huilen beïnvloeden. Waarom zouden ze dat doen?

De onderzoekers interpreteerden het als de eerste stappen in de ontwikkeling van taal. In het gesproken Frans is de gemiddelde intonatiecontour namelijk stijgend,³ en in het Duits juist dalend.⁴ Dit gecombineerd met het feit dat het (menselijk) gehoor al werkt in het laatste trimester van de zwangerschap, maakte dat de onderzoekers concludeerden dat deze baby's in de laatste maanden van de zwangerschap de intonatiepatronen van de gesproken taal in hun omgeving oppikken en deze vervolgens imiteren in hun huilen.

Deze observatie was tevens verrassend omdat tot nu toe werd aangenomen dat kinderen pas ergens tussen de zes en achttien maanden aandacht krijgen voor hun moedertaal en deze gaan imiteren in hun brabbelen.⁵ Is dit inderdaad, zoals de onderzoekers benadrukten, unieke evidentie dat taalgevoel al zeer vroeg aanwezig is? Of zijn er nog andere interpretaties mogelijk?

Hoewel de feiten helder zijn, is deze interpretatie een typisch voorbeeld van wat je een taalbias zou kunnen noemen: een begrijpelijk enthousiasme van taalkundigen om een veelheid aan verschijnselen in deze wereld te interpreteren als talig. Er is echter veel meer voor te zeggen dat deze pasgeboren baby's vaardigheden laten zien waarvan de oorsprong niet te vinden is in taal maar in muziek.

We weten al wat langer dat baby's een grote perceptuele gevoeligheid hebben voor zowel de melodische, ritmische als dynamische aspecten van spraak en muziek,⁶ aspecten die taalkundigen graag onder de term 'prosodie' scharen, maar die

feitelijk de bouwstenen van muziek zijn.⁷ Pas veel later in de ontwikkeling van een kind wordt gebruikgemaakt van deze ‘muzikale prosodie’, bijvoorbeeld bij het markeren en vervolgens herkennen van woordgrenzen.⁸ Maar deze al zeer vroeg aanwezige muzikale vaardigheden zijn – en dat benadruk ik nog maar eens – in essentie niet talig.

Het zal duidelijk zijn: ik heb het hier over ‘het ongeletterde luisteren’, een – voor zover we weten – menselijke aanleg voor het waarnemen, interpreteren en waarderen van muzikale nuances vanaf dag één, nog voordat er een woord gesproken, laat staan bedacht is. Het is het preverbaal en preletterstadium waar het muzikale luisteren vol van is.

Aan deze natuurlijke aanleg voor muziek – ik zal het ‘muzikaliteit’ noemen – is nog veel te ontdekken. Het is een van de centrale onderwerpen van het onderzoek dat ik geholpen door deze bijzondere leerstoel hoop verder te ontwikkelen. Ik zal er straks, samen met enkele opmerkingen over methodologie, op terugkomen. Eerst nog iets meer over de spanning tussen taal- en muziekonderzoek, en de plaats hiervan in het vakgebied muziekcognitie.

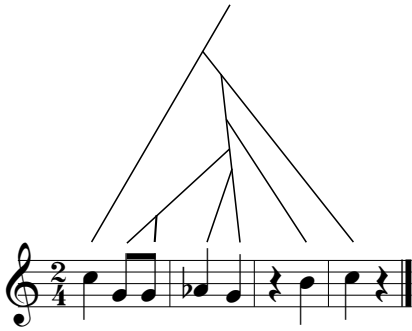
Muziek en taal

Muziek en taal worden meestal met elkaar vergeleken op het punt van de syntaxis: het opdelen van muziek in noten en frases, en het opdelen van taal in woorden en zinnen. Het veronderstelt een analogie tussen taal en muziek die menig muziekonderzoeker heeft geïnspireerd om methodes uit de taalkunde in te zetten bij het analyseren van muziek.⁹

Een bekend voorbeeld is het in 1983 gepubliceerde *A Generative Theory of Tonal Music* van de musicoloog Fred Lerdahl en de taalkundige Ray Jackendoff.¹⁰ Met dit boek wilden zij de muziektheoretische kennis die een luisteraar tijdens het luisteren impliciet gebruikt, expliciet te maken. De auteurs stond een formele theorie voor ogen die een beschrijving geeft van de muzikale intuïties van een luisteraar, waarbij ze een luisteraar op 't oog hadden met veel luisterervaring in het westerse klassieke idioom.¹¹ In die zin was het een van de eerste cognitieve theorieën over muziek.

De afbeelding hiernaast (afb. 1) laat een met behulp van de theorie van Lerdahl en Jackendoff gemaakte structurele analyse van een bekende melodie zien. Met een omgekeerde ‘boomstructuur’ worden de melodische relaties tussen de noten weergegeven; de ‘bladeren’ van de boom, hier de noten, zitten aan de onderkant.

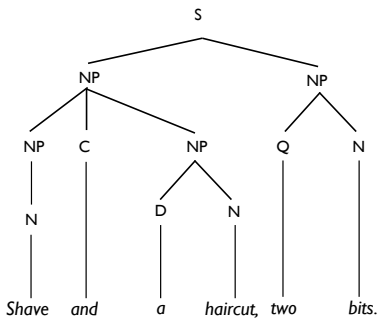
De elementen van zo'n structurele analyse hebben een hiërarchische relatie: sommige elementen (in dit geval noten) zijn ondergeschikt aan andere.



Afb. 1 Structurele analyse van een bekende melodie

De laatste noot (een c) is bijvoorbeeld ondergeschikt aan de eerste (eveneens een c), omdat hij aan een zijtak hangt. De derde noot (een g) staat het laagst in de hiërarchie en is dus het minst belangrijk. Kortom: hoe minder vertakkingen tussen een 'blad', d.w.z. een noot, en de 'wortel van de boom' (boven in de afbeelding), hoe zwaarder die noot weegt voor de analyse.

Dit soort syntactische boomstructuren zijn geïnspireerd door Noam Chomskys ideeën over taal, waar ze gebruikt worden om de grammaticale structuur van een zin te visualiseren.¹² Hieronder een voorbeeld.



Afb. 2 Voorbeeld van een taalkundige boom

In een taalkundige boom hebben de vertakkingen labels die de functie aangeven van de onder die vertakking gegroepede woorden. De grammatica die zo'n syntactische boom genereert bepaalt, welke vertakkingen wel of niet mogelijk, dan wel syntactisch correct zijn.

Muziek heeft aanzienlijk minder grammaticale beperkingen; noten en frases kunnen in vele combinaties en volgordes voorkomen. Dat wil niet zeggen dat structuur geen rol speelt in muziek, maar met name door het ontbreken van semantiek kan je van een melodie niet zeggen dat deze syntactisch ‘fout’ is. Een zin als ‘de luisteraar ongeletterd is’ is toegestaan bij muziek, maar niet bij gesproken of geschreven taal, die immers gericht is op communicatie. Wat dat betreft lijkt muziek meer op poëzie, waar de syntactische wetten eveneens minder zwaar wegen.

De parallellen tussen taal en muziek maken het echter nog steeds aantrekkelijk om naar de structurele overeenkomsten tussen beide fenomenen te blijven zoeken. Ook in meer recente studies waarin alternatieven worden geboden voor het chomskyaanse onderzoeksprogramma – zoals het aan deze universiteit door Remko Scha en collega’s ontwikkelde *Data-Oriented Parsing*¹³ – vormen boomstructuren een centraal concept dat het mogelijk maakt om op een vergelijkbare wijze over taal en muziek te redeneren.

Aanvankelijk was er, behalve lof, ook kritiek op de theorie van Lerdahl en Jackendoff. Een van die kritiepunten was bijvoorbeeld dat hierbij veel aan de interpretatie van de lezer wordt overgelaten, bijvoorbeeld de manier waarop de formele voorkeursregels gecombineerd moeten worden tot een feitelijke analyse. Dat lijkt misschien aantrekkelijk voor analytici, maar voor psychologen en informatici, die de theorie wilden toetsen dan wel toepassen, ontbrak een formalisatie van deze essentiële laatste stap.¹⁴

Een tweede punt van kritiek was dat alle analyses gebaseerd zijn op informatie die in de partituur aanwezig is. Maar in hoeverre is de partituur een perceptuele realiteit, een afbeelding van wat de luisteraar hoort? De muziektheorie van Lerdahl en Jackendoff, en daaraan gerelateerde theorieën,¹⁵ abstraheren wat dat betreft in hun notaties van de klinkende muziek; net zoals de taalkunde, die geschreven teksten analyseert, abstraheert van de gesproken taal. Lerdahl en Jackendoff presenteerden in feite een semi-formeel model van ‘de geletterde luisteraar’.

Letters of symbolen, geordend in boomstructuren, staan anno 2010 nog steeds centraal in zowel het chomskyaanse onderzoeksprogramma als in de, relatief jonge, probabilistische benaderingen van taal en muziek. Ze worden echter vaak gepresenteerd als tegengesteld: waar de chomskyaanse theorie uitgaat van een aangeboren generatieve grammatica, benadrukken datageoriënteerde theorieën juist de rol van het leren. Beide gaan er echter van uit dat hun object van onderzoek – taal of muziek – is te reduceren tot een verzameling symbolen. Waar een tekst samengesteld is uit letters, is een partituur samengesteld uit noten.

Deze veronderstelling heeft het grote voordeel dat de syntaxis van taal en muziek op dezelfde wijze beschreven en begrepen kan worden, en het werk van Lerdahl en Jackendoff is daarvan een goed voorbeeld. Het is alleen zeer de vraag of deze aanname over het geheel genomen juist is. Hoewel de praktijk laat zien dat het zeer wel mogelijk is muziek en taal weer te geven in symbolen, is het in het geval van muziekcognitie twijfelachtig of deze symbolen (lees: noten) betekenisdragende basiseenheden zijn die geordend kunnen worden in een boomstructuur. Wat zeggen een partituur en een boomstructuur over de luisterervaring? Het zou zeer goed kunnen dat de bomen van de moderne taalkunde ons belemmeren het bos van de muziek te zien.

‘Oohooohoo’ zong Billie Holiday in 1957 op het Newport Jazzfestival – een opening die ze vervolgde met het olijk rijmende ‘what a little moonlight can do-oo-oo’. Het zijn woorden en klanken waar je meteen blij van wordt. Als je naar de transcriptie van deze openingstekst kijkt, zie je niet veel meer dan drie ‘ooh’s’. Maar een zinvolle reductie tot afzonderlijke noten is vrijwel onmogelijk. Waar begint de ene noot, waar eindigt de andere? Het is een exercitie die weinig oplevert: de betekenis van ‘oohooohoo’ zit niet in een combinatie van de afzonderlijke klanken maar zal eerder gezocht moeten worden in het (ondeelbare) geheel.

Het voorbeeld laat zien dat letters, en taal in het algemeen, hier tekortschieten. De linguïst Ray Jackendoff, en met hem anderen, doen melodische uitspraken als ‘oei’, ‘auw’, ‘wauw’ of ‘hé’ af als fossielen, stammend uit het één-woord-stadium van taal.¹⁶ Maar anderen benadrukken mijns inziens terecht dat dit soort uitdrukkingen een fundamenteel en erg oud aspect van taal vormen. Misschien is het wel een indicatie dat muziek ouder is dan taal. ‘Oohooohoo’ is een goed voorbeeld van wat de cognitief archeoloog Steven Mithen bedoelt met een ‘prototaal’: een soort gezongen taal die voorafgegaan zou zijn aan onze muziek en onze moderne taal. Het is een visie die hij met veel flair uitwerkte in zijn boek *The Singing Neanderthals*¹⁷ en die hij in het najaar van 2005 in een symposium aan deze universiteit ter discussie stelde.¹⁸

Maar ook Mithen bleek soms last te hebben van een taalbias. Je zou zo’n ‘prototaal’ namelijk evengoed ‘protomuziek’ kunnen noemen: geen losse woorden die nog op zoek zijn naar een grammatica (zoals Jackendoff suggereert), maar ondeelbare uitingen van muzikaal-menselijke emotie. De betekenis wordt gedragen door de kleine nuances in toonhoogte, ritme en dynamiek – nuances waarvoor pasgeboren baby’s zeer gevoelig blijken te zijn, getuige het in de opening genoemde babyonderzoek. Maar ook volwassenen hebben er weinig moeite mee te beoordelen

of een zin bedoeld is als een vraag, een mededeling of een ironische opmerking.

Deze melodische uitingsvormen zouden wel eens kunnen raken aan de essentie van muziek waardoor de rest, met name de eerdergenoemde boomstructuren, wordt gereduceerd tot 'syntactische suiker', tot een toegevoegde, geletterde kijk op het luisteren die de essentie van muziek lijkt te verhullen.

Maar hoe zit het dan wel? Is het mysterie van muziek wel te onthullen? Het is een vraag waar vele muziekfilosofen zich het hoofd over gebroken hebben. En meestal is het antwoord, na veel omzwervingen, een eenvoudig 'nee'.¹⁹ Ik ben er echter van overtuigd dat muziek, wetenschappelijk gezien, geen groter mysterie hoeft te zijn dan taal en andere menselijke activiteiten, zoals schaken, sporten, de liefde of politiek bedrijven. Dat zijn allemaal activiteiten die wetenschappelijk goed te onderzoeken zijn, zo is gebleken. Met name de gereedschapskist van de cognitiewetenschappen is goed toegerust om de verschillende aspecten van muziek en het luisteren in kaart te brengen. Zo dadelijk meer over die gereedschapskist, de methodologie; nu eerst iets over het relatief jonge vakgebied zelf.

Muziekcognitie

Een van de pioniers van het vakgebied dat muziekcognitie is gaan heten, was H. Christopher Longuet-Higgins (1923-2004).²⁰ Niet alleen stond hij aan de wieg van de cognitiewetenschappen – in 1973 stelde hij als eerste de term *Cognitive Science* voor –,²¹ ook publiceerde hij al in 1976 zijn eerste computermodel van muziekperceptie (in het tijdschrift *Nature*),²² zeven jaar eerder dan het veel bekender geworden, maar minder precies geformuleerde boek van Lerdahl en Jackendoff. Het was Longuet-Higgins een doorn in het oog. In een recensie, in datzelfde *Nature*, schreef hij:

'Lerdahl and Jackendoff are, it seems, in favour of constructing a formally precise theory of music, in principle but not in practice.'²³

Hoewel Lerdahl en Jackendoff in hun boek vele malen preciezer waren dan enige muziektheoretische beschrijving in de gerenommeerde encyclopedieën, bekritiseert Longuet-Higgins mijn inziens terecht het vaak onnodig ontbreken van precisie.

Het is van een niet te onderschatten belang dat de muziekwetenschap zijn rijkdom aan kennis en theorieën formaliseert,²⁴ al was het alleen maar omdat het

precies maken van kennis een effectieve manier is om een vakgebied te ontsluiten en vervolgens toegankelijk en toepasbaar te maken in andere disciplines. Alle muziektheoretische kennis ten spijt, worden veel fundamentele begrippen in feite behandeld als axioma's; musicologen zijn immers in veel interessantere zaken geïnteresseerd dan basale noties zoals tempo of maatsoort. Maar feitelijk zijn deze axioma's onbegrepen, in de zin dat we ze niet (voldoende) kunnen formaliseren en aan een computer kunnen uitleggen. Daarin ligt nog steeds de uitdaging van het 'computationeel modelleren' (en van recente initiatieven zoals de *computational humanities*)²⁵ – een uitdaging die Longuet-Higgins als een van de eersten aanging.²⁶

Een voorbeeld van zo'n basaal muziektheoretisch begrip is de *syncope*. De meeste naslagwerken beschrijven een syncope als 'een naar voren geplaatst accent', en 'syncoperen' als 'een vaak door componisten gebruikte techniek om een regelmatig ritme te voorkomen door de nadruk in een ritme te verplaatsen'.²⁷ Lerdahl en Jackendoff definieerden het als volgt:

'In general the phenomenon of syncopation can be formally [*sic*] characterized as a situation [*sic*] in which the global demands of metrical well-formedness conflict with and override local preferences.'²⁸

Ik neem het hier op zoals Longuet-Higgins het citeerde in zijn boekrecensie.²⁹ Met twee kleine toevoegingen (tussen vierkante haken) maakte hij de zwakte van deze passage zichtbaar: een formele definitie van het begrip 'syncope' blijft namelijk uit en de condities waaronder zij optreed worden in het vage gelaten.

Longuet-Higgins liet het er echter niet bij zitten en publiceerde het jaar daarop, in 1984, een opvallend eenvoudige definitie die tot op de dag van vandaag gebruikt wordt.³⁰ Ik zal hem zo dadelijk aan de hand van een voorbeeld illustreren. Maar laat ik beginnen met een vraag. Welke van de twee onderstaande ritmes is volgens u gesyncopeerd?



Afb. 3 Welk ritme is gesyncopeerd?

Wie het notenschrift beheerst – de geletterde luisteraar (of ‘leesluisteraar’) –, zal zonder veel moeite het linker voorbeeld aanwijzen, geleid door het bindingsboogje dat een syncope, een ‘samenslag’, markeert. Als je echter een slagwerker zou vragen precies te spelen wat er genoteerd staat,³¹ dan klinken beide ritmes identiek. De geletterde luisteraar wordt hier misleid door de letters, ofwel de partituur. En met de geletterde luisteraar bedoel ik hier niet alleen de leesluisteraar, maar alle muziekwetenschappelijke disciplines die de ‘data’, de letters, de symbolen te serieus nemen³² in de zin dat er vaak ten onrechte gedacht wordt dat alle informatie in de ‘data’ – in dit geval de notatie – zit.

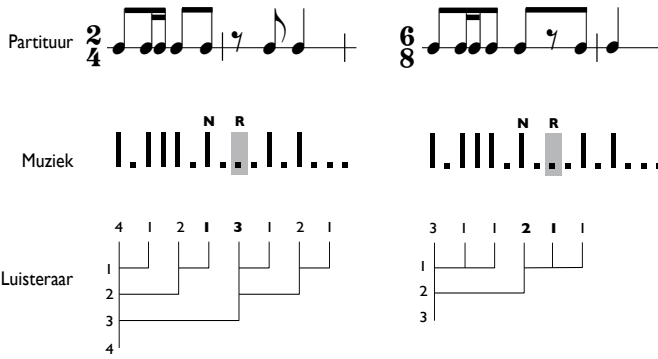
De ongeletterde luisteraar hoort hetzelfde, maar zijn verwachting is anders. Wat hij verwacht is niet gebaseerd op de partituur, maar is afhankelijk van wat hij of zij eerder heeft gehoord.³³ Meestal is dat vergelijkbaar met het linker voorbeeld, omdat wij als westerse luisteraars de neiging hebben om in onbekende muziek een (vaak gehoorde) tweedeling te horen. Verwacht de luisteraar echter een samengestelde maatsoort, zoals in het rechter voorbeeld, dan verdwijnt de syncope in zijn geheel.

In het uitgewerkte voorbeeld hiernaast is te zien waarom de theorie van Longuet-Higgins voorspelt dat hetzelfde ritme in een tweekwartsmaat wél en in een zesachtste niet als gesyncopeerd gehoord wordt.

Naast een kwantificering van het begrip syncope met een eenvoudige rekenregel, is het belangrijkste inzicht hier dat de gesyncopeerdheid van een ritmische passage gedefinieerd wordt als een *interactie* tussen de muziek (het klinkende ritme) en de luisteraar (die er een metrum op projecteert). Dat inzicht ligt ten grondslag aan het muziekcognitie-onderzoek en zegt in feite: *zonder luisteraar geen muziek*.

In dit geval leidt de verwachting van de luisteraar tot een ‘luide rust’: heel hard niks op een moment dat je een noot verwacht (zie de met een grijsvlakje gemarkeerde rust in het linker voorbeeld hierboven).³⁴ Die verwachting wordt gevormd door onze ervaring (ofwel blootstelling aan muziek) én, zoals ik zo dadelijk zal laten zien, voor een deel ook door onze biologie.

Waar komt dat gevoel voor regelmaat, ofwel maatgevoel vandaan? In Longuet-Higgins’ model was de maatsoort een gegeven, een aspect dat geen deel uitmaakte van de theorie en dat moest worden aangegeven door de gebruiker. Sindsdien is er veel onderzoek gedaan naar wat *beat-* en *metruminductie* is gaan heten, onderzoek naar de vraag hoe luisteraars regelmaat horen in muziek, en waarom sommige rusten voorbijgaan aan de luisteraar en andere zich opdringen als ‘heel hard niks’. Het feit dat de ene rust zich aan je opdringt en een andere, fysiek identieke rust



Rekenregel **N - R = 1 - 3 = -2** (gesyncopeerd) **N - R = 2 - 1 = 1** (ongesyncopeerd)

Afb. 4 Twee mogelijke notaties (gemarkeerd als 'Partituur') van hetzelfde ritme (gemarkeerd als 'Muziek'). Links geïnterpreteerd in een enkelvoudige, tweedelige maatsoort, en rechts in een samengestelde maatsoort (gemarkeerd als 'Luisteraar'). Het model voorspelt vervolgens dat het linker voorbeeld wel gesyncopeerd is en het rechter voorbeeld niet (gemarkeerd als 'Rekenregel'). De getallen onder het met strepen (slagen) en stippen (rusten) weergeven ritme, geven de metrische nadruk aan, i.e. de diepte van de metrische boom op die positie. Een negatief verschil tussen een noot (N) en een rust (R) geeft de sterkte van de syncope aan, een positief getal het ontbreken van een syncope.

niet, is een mooie index om te meten of iemand een bepaalde metrische verwachting heeft. We draaien het model van Longuet-Higgins hier als het ware om.

Met dit idee als uitgangspunt begon ik drie jaar geleden, samen met István Winkler van de Hongaarse Academie voor Wetenschappen, te werken aan een manier om deze theorie empirisch te toetsen. We maakten daarvoor gebruik van een methode die de hersenactiviteit meet tijdens het luisteren, en waarmee kan worden aangegeven of een bepaalde gebeurtenis (dan wel de afwezigheid van die gebeurtenis) verwacht wordt of niet.³⁵

De experimenten die we uitvoerden met Hongaarse studenten als deelnemers – luisteraars zonder expliciete muzikale training – lieten duidelijk zien dat de hersenen van ongeletterde luisteraars een sterk maatgevoel kunnen hebben: ze werden (onbewust) verrast door een 'luide', maar niet door een 'stille' rust. Zelfs in een situatie waarin deze luisteraars gevraagd werd hun aandacht op iets anders te richten, zoals de ondertitels van een zelfgekozen videofilm, bleven hun hersenen dit onderscheid maken.³⁶ De hersenen inducerden de beat (vandaar de term 'beatinductie'): bij het ontbreken van een noot op de plek waar een beat verwacht werd, gaven de hersenen een 'verrassingssignaal' af, de *mismatch negativity* of MMN.³⁷

Vervolgens wilden we weten in hoeverre beatinductie aangeboren is of aangeleerd zou kunnen zijn. Er is namelijk veel voor de zeggende dat beatinductie een fundamentele cognitieve en muziekspecifieke vaardigheid is. Het maakt het samen dansen en samen muziek maken mogelijk: *zonder beatinductie geen muziek*.

Om dit te onderzoeken deden we een vervolgonderzoek met een groep uiteindelijk ongeletterde luisteraars: baby's van twee tot drie dagen oud.³⁸ Tot onze verrassing bleken de hersenen van deze baby's op een vergelijkbare manier te reageren als die van de volwassenen. In het hersensignaal van de baby's was kort na de voorspelde 'luide rust' ook een piek in het hersensignaal te zien, een teken dat op die plek een noot verwacht werd. Zelfs pasgeboren baby's bleken een overduidelijk maatgevoel te hebben.³⁹

Muzikaliteit

Dit resultaat van empirisch onderzoek zette onze eerdere studies over beatinductie, die tot dan toe vooral muziektheoretisch en computationeel van aard waren, in een geheel nieuw perspectief. Waarom waren deze baby's blijvend verrast door het weglaten van een slag in een variërend ritme? Hebben we hier te maken met een aangeboren of in ieder geval met een op dag één actieve biologische functie?⁴⁰ Is beatinductie een muziekspecifieke of zelfs mensspecifieke eigenschap? En zou beatinductie een rol gespeeld kunnen hebben bij het ontstaan en de evolutie van muziek?

Tot voor kort werd gedacht dat beatinductie aangeleerd is, bijvoorbeeld omdat je door je ouders bewogen wordt op de maat van de muziek. Maar onze studie heeft uitgewezen dat dat onwaarschijnlijk is; op het verder ontwikkelen van het maatgevoel heeft het ongetwijfeld effect, maar de basisvaardigheid zelf is direct na de geboorte al duidelijk aanwezig.

Het is daarom opvallend dat, terwijl de meeste mensen weinig problemen hebben hun voet op de maat van de muziek te laten bewegen, dan wel om te horen of de muziek langzamer of sneller gaat, het vooralsnog onmogelijk lijkt om biologisch nauw aan ons verwante dieren, zoals chimpansees en andere aapsoorten, op de maat van de muziek te laten klappen of drummen.⁴¹ Zij hebben klaarblijkelijk geen maatgevoel. Wel lijken vogelsoorten als papegaaien en kakatoes de maat te horen, als we recent onderzoek van Noord-Amerikaanse onderzoekers mogen geloven.⁴² Mocht dat inderdaad zo zijn, dan maakt dat het verschijnsel alleen maar interessanter, en wat de evolutionaire implicaties betreft des te beter

te onderzoeken.⁴³ Wat delen wij met deze vogelsoorten (en niet met primaten), en wat kan dat ons vertellen over het ontstaan van muziek?

‘Muziek en evolutie’ heeft als thema het afgelopen jaar de agenda van de internationale conferenties en de relevante tijdschriften flink bepaald. Ondanks dat het wetenschappelijk bestuderen van de evolutie van cognitie door sommigen als schier onmogelijk wordt gezien, gedoemd om (op z’n best) een mooi verhaal te blijven,⁴⁴ zijn diverse onderzoekers strategieën aan het ontwikkelen om de cognitieve en biologische rol van muzikaliteit empirisch te onderbouwen. Samen met Annemie Ploeger (evolutionair psycholoog aan deze universiteit) ben ik recentelijk begonnen één mogelijke strategie verder uit te werken. Daarin is het centrale idee om de basale mechanismen, waaruit muzikaliteit lijkt te zijn opgebouwd, precies te maken en die vervolgens met empirische evidentie uit verschillende bronnen en disciplines te onderbouwen.⁴⁵ Maar we zijn in dat onderzoeksprogramma zeker niet de enigen. Ook collega’s als Ani Patel van het Neuroscience Institute in San Diego⁴⁶ en Tecumseh Fitch, momenteel verbonden aan de Universiteit van Wenen,⁴⁷ zijn er veel aan gelegen om de evolutionaire rol van muziek in kaart te brengen.

Methodologie

Ik hoop met het voorgaande een indruk te hebben gegeven van enkele van de inhoudelijke vragen die mij en het vakgebied muziekcognitie bezighouden, maar indirect ook van de methoden die daarin gebruikt worden. Ik benadrukte de rol van formalisatie, het belang van empirie en de functie van computationeel modelleren, waarin beide bij elkaar komen. Op die laatste methode wil ik ten slotte nog wat nader ingaan.

Computationeel modelleren was in de tijd dat Longuet-Higgins zijn eerste computermodel in *Nature* publiceerde nog slechts een belofte. Inmiddels is het uitgegroeid tot een prominente methodologie in de cognitiewetenschappen. Er bestaat momenteel vrijwel geen cognitieve theorie zonder een computationele component. Tegelijkertijd lijkt de methodologie slachtoffer te worden van zijn eigen succes, zeker als je kijkt naar de enorme hoeveelheid alternatieve modellen die voor vergelijkbare fenomenen (zoals beatinductie) beschikbaar zijn.

Je zou kunnen beweren dat de geesteswetenschappen, met recente initiatieven zoals de *computational humanities*, wat dat betreft achterloopt, met het gevaar te stranden op een plek waar de rest van de wetenschappelijke wereld allang weer

vertrokken is. Dat lijkt me echter een verkeerde voorstelling van zaken.

Zoals in elke wetenschappelijke discipline is het belangrijk om een balans te vinden tussen empirie en theorie. En de methode van computationeel modelleren zou wel eens meer potentie kunnen hebben dan het poneren van een visie, het ontwikkelen van een interpretatief kader of het simpelweg toetsen van hypothesen (allen niet ongebruikelijk in de alfa- en gammawetenschappen). Computationeel modelleren is een krachtige methode die beiden aspecten – theorie en empirie – bij elkaar brengt, met als centraal idee een methodologische cyclus waarin een theorie zo precies gemaakt wordt dat hij geformaliseerd en in een algoritme uitgedrukt kan worden. De geldigheid en reikwijdte van de theorie (nu in de vorm van een computationeel model) kan vervolgens getoetst worden in experimenten en met simulaties, om ten slotte – mochten de voorspellingen niet (geheel) in overeenstemming zijn met de empirische feiten – het algoritme aan te passen, en als consequentie daarvan de theorie.⁴⁸ Door steeds meer gerelateerde aspecten van een specifiek fenomeen (in de vorm van empirisch getoetste hypothesen) in het model op te nemen, is de hoop dat het model een inzichtelijke en begrepen afbeelding wordt van een specifiek proces, zijn eigenschappen en de relaties daartussen.

Daarnaast heeft een computationeel model ook intrinsieke eigenschappen. De beschikbaarheid van een model maakt het bijvoorbeeld mogelijk precieze theoretische voorspellingen te doen los van de data, de empirische observaties. Een model kan in principe uitspraken doen over gerelateerde problemen waarvoor het niet ontworpen was. Deze voorspellingen, die een consequentie zijn van het samenstel aan eigenschappen die elk een empirische basis hebben, maar die op zich nog niet getoetst zijn, maken voor een groot deel de meerwaarde uit van een model in computationele vorm. Als zodanig kan een model gebruikt worden voor het genereren van nieuwe hypothesen.

Maar niet alle voorspellingen zijn natuurlijk even interessant. Een model dat een verrassende voorspelling doet is, wat dat betreft, te prefereren boven een model dat iets voorspelt wat we allang verwacht hadden. Dat idee is mooi verwoord door Karl Popper in zijn *Conjectures and Refutations*:

‘Confirmations [of a theory] should count only if they are the result of risky predictions; that is to say, if, unenlightened by the theory in question, we should have expected an event which was incompatible with the theory – an event which would have refuted the theory.’⁴⁹

Hoewel Popper vooral bekend is geworden door het benadrukken van het wetenschappelijke belang van falsificatie, is dit een mooi voorbeeld van zijn denken over precies het tegenovergestelde: confirmatie. Het citaat verwoordt het intuïtieve idee dat ik samen met Jan-Willem Romeijn (wetenschapsfilosoof verbonden aan de Universiteit van Groningen) in de komende jaren hoop uit te werken tot een kwantitatieve verrassingsmaat (een *measure of surprise*) die kan dienen als alternatief voor bekendere criteria voor modelselectie, zoals *goodness-of-fit* – prefereer het model dat de data het best voorspelt – en *simplicity* – prefereer het eenvoudigste model –, criteria die veelvuldig gebruikt worden in de cognitiewetenschappen.⁵⁰

De centrale vraag in dit onderzoek is: hoe verrassend zijn de voorspellingen die gemaakt kunnen worden door een specifiek computationeel model, los van de mogelijke empirische observaties? Om in tweede instantie de vraag te stellen: welke rol kan het maken van risicovolle voorspellingen spelen in het prefereren van het ene model boven het andere? Het maakt het mogelijk om de enorme hoeveelheid aan alternatieve modellen, bijvoorbeeld op het gebied van beatinductie, terug te brengen tot een realistische hoeveelheid en om – en dat is eigenlijk interessanter – de huidige overvloed aan hypothesetoetsing meer richting te geven.⁵¹

Dit zijn overigens ideeën die niet heel dicht bij het geesteswetenschappelijke denken lijken staan. Toch denk ik dat noties als ‘risicovolle voorspelling’ of ‘verassende consequentie’ ook in de geesteswetenschappen een belangrijke rol kunnen spelen. Met een verrassingsmaat kunnen bijvoorbeeld ook andere geesteswetenschappelijke theorieën zonder of met slechts partiële evidentie (denk aan de historische wetenschappen of de archeologie) vergeleken en geëvalueerd worden. Toegegeven, het zijn grotendeels beloftes, maar een begin is inmiddels gemaakt.⁵²

Epiloog

Muziek. Voor de meeste mensen is het een kunst. Een bijzonder talent dat tot bijzondere kunstwerken heeft geleid, composities die steeds opnieuw geïnterpreteerd en geanalyseerd kunnen worden. Maar als muziek kunst is, waarom zou je het dan wetenschappelijk kunnen of willen onderzoeken?

De neurowetenschapper Robert Zatorre (Universiteit van Montreal) gebruikte tot voor kort in zijn onderzoeksaanvragen de term ‘*complex non-linguistic auditory processing*’ in plaats van ‘muziek’ omdat hij wist dat het voorstel anders al snel als onwetenschappelijk terzijde zou worden geschoven.⁵³ Gelukkig is het zelfbeeld van muziekonderzoekers aan het veranderen, met name door de realisatie dat muziek innig verstrengeld is met wie we zijn, wat we doen, voelen en weten, en de

groeïende interesse van de cognitie- en neurowetenschappen in het verschijnsel muziek als een bijzondere menselijke eigenschap.⁵⁴ Vandaar mijn nadruk in deze rede op de bijzondere eigenschap van muziek dat deze direct tot ons spreekt, zonder de tussenkomst van letters of grammatica. De huilende baby's uit de opening en de luisterende baby's met maatgevoel zijn daarvan twee duidelijke voorbeelden. In die zin belichamen pasgeboren baby's de ultieme luisteraar, een ongeletterde luisteraar die in ons allen huist.

Ter afsluiting zal ik de hoofdlijnen van het voorgenomen onderzoek samenvatten. Het betreft drie deelgebieden die ik de komende drie jaar hoop verder te ontwikkelen.

Ten eerste, onderzoek naar de cognitieve mechanismen die ten grondslag liggen aan muzikaliteit. Het is een van de onderwerpen in het onderzoeksproject dat binnenkort van start zal gaan binnen het onderzoekszwaartepunt *Brain & Cognition* van deze universiteit – een project met de ambitie de rol van aandacht en bewustzijn verder in kaart te brengen.⁵⁵ Daarnaast lenen deze cognitieve mechanismes zich – wanneer zij precies in kaart zijn gebracht – voor een empirische onderbouwing van een mogelijk adaptieve rol van muzikaliteit. Voor dit laatste aspect staat een samenwerking met biologen en evolutionair psychologen hoog op de agenda.

Ten tweede, het verder ontwikkelen en evalueren van de in de afgelopen jaren ontwikkelde methodologie van computationeel modelleren, en dan in het bijzonder de mate waarin verrassing in dit type modellen een rol speelt. Dit onderzoeksthema heeft de potentie om bruggen te slaan naar andere geesteswetenschappelijke disciplines, vooral in het kader van de *computational humanities*. Ik hoop in dezen op een inspirerende samenwerking met onder anderen wetenschapsfilosofen en computationeel linguïsten.

En ten derde, het verder exploreren van de rol die internet kan spelen bij het bestuderen van het luisteren naar muziek. Ik heb daar in deze rede weinig over gezegd, maar behalve de grootschalige en laagdrempelige luisterexperimenten die we eerder hebben gedaan,⁵⁶ zijn sociale netwerken en andere internet-gerelateerde ontwikkelingen een rijke bron voor luisteronderzoek en de rol van muziekcognitie daarin.⁵⁷ Het is ons voornemen om ook hiermee in de nabije toekomst met collega's van deze en andere universiteiten van start te gaan.

Aan het einde van deze rede gekomen, wil ik mijn dank uitspreken aan de Stichting Akademieerstoelen Geesteswetenschappen van de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, die mij heeft willen voordragen voor de eervolle benoeming op deze bijzondere leerstoel met als leeropdracht muziekcognitie. Deze dank geldt tevens de Faculteit der Geesteswetenschappen en het College van Bestuur van de Universiteit van Amsterdam voor het in mij gestelde vertrouwen.

Een deel van dit vertrouwen heb ik ongetwijfeld te danken aan John A. Michon, maar zeker ook aan Frank Veltman, Johan van Benthem, Frans Grijzenhout, Hotze Mulder, Koen Hilberdink en José van Dijck, en aan de leden van het curatorium van deze leerstoel: Guillaume van Gemert, Rokus de Groot en Martin Stokhof. Ik dank hen allen hartelijk.

Voor de rest zal ik dit dankwoord kort houden. Ik zal dan ook niet mijn naaste collega's, studenten en ex-studenten, mijn ouders, broers, goede vrienden en vriendinnen of zelfs mijn liefste vriendin bedanken, simpelweg omdat ook hiervoor letters tekortschieten.

Ik heb gezegd.

AANTEKENINGEN

- ¹ Mampe et al. (2009).
- ² Lieberman (1985).
- ³ Welby (2006).
- ⁴ Wiese (1996).
- ⁵ Hallé, de Boysson-Bardies & Vihman (1991).
- ⁶ Trehub (2003).
- ⁷ Honing (2009), p. 15-21. Zie ook Honing (2011a, te verschijnen).
- ⁸ Mattys, Jusczyk, Luce & Morgan (1999).
- ⁹ Deze paragraaf is een bewerking van 'Muziek als taal' uit Honing (2009).
- ¹⁰ Lerdahl & Jackendoff (1983).
- ¹¹ Lerdahl & Jackendoff (1983), p. 1.
- ¹² Chomsky (1957).
- ¹³ Bod, Scha, & Sima'an (2003).
- ¹⁴ Zie Lerdahl (2009).
- ¹⁵ Denk aan Heinrich Schenker of Eugene Narmour.
- ¹⁶ Jackendoff (2002).
- ¹⁷ Mithen (2005).

¹⁸ Zie <http://www.hum.uva.nl/mmm/origins/>.

¹⁹ Zie bijvoorbeeld Raffman (1993).

²⁰ Longuet-Higgins had een uitzonderlijke academische carrière. Hij begon als 29-jarige hoogleraar theoretische fysica aan het King's College in Londen en werd twee jaar later hoogleraar theoretische chemie in Cambridge. Daarnaast studeerde hij muziek in Oxford en was actief als componist, dirigent en pianist. Rond z'n veertigste stapte hij (rigoureuus) over naar het nieuwe vakgebied kunstmatige intelligentie en werd Royal Society Research Professor aan de Universiteit van Edinburgh, om uiteindelijk in 1974 te verhuizen naar de afdeling Experimentele Psychologie van de Universiteit van Sussex, waar hij bleef tot zijn emeritaat. Hij schreef baanbrekende artikelen over onder meer computer vision, computer linguïstiek, geheugen en muziekcognitie (verzameld in Longuet-Higgins, 1987).

²¹ Longuet-Higgins schreef: 'Perhaps "cognitive science" in the singular would be preferable to the plural form, in view of the ultimate impossibility of viewing any of these subjects [i.e. mathematics, linguistics, psychology and physiology] in isolation.' (Longuet-Higgins, 1973; herdrukt in Longuet-Higgins, 1987).

²² Longuet-Higgins (1976).

²³ Longuet-Higgins (1983).

²⁴ Honing (2009), p. 47-50.

²⁵ Willekens et al. (2010).

²⁶ Longuet-Higgins (1987).

²⁷ Grove Music Online (2009). Onder 'Syncopation'.
Zie <http://www.oxfordmusiconline.com/subscriber/article/grove/music/27263>.

²⁸ Lerdahl & Jackendoff (1983), p. 77.

²⁹ Longuet-Higgins (1983), p. 93.

³⁰ Longuet-Higgins & Lee (1984).

³¹ Wat overigens zelden gebeurt; zie Honing (2009), p. 125.

³² Honing (2011b, te verschijnen).

³³ Huron (2008).

³⁴ Een notatie met een rust is daarom toepasselijker dan een met een bindingsboogje.

³⁵ We deden dit met behulp van een elektro-encefalogram (EEG). Zo'n EEG zit echter vol met allerlei neurale activiteit die niet zo veel te maken heeft met de reactie op het geluid of de muziek. Daarom werd er gekeken naar zogenaamde *event-related potentials* (ERP). Dat zijn kleine stukjes signaal uit het EEG die op een vast tijdstip na een geluid (een *event*) optreden en met behulp van een computer opgeteld en gemiddeld worden, waardoor de ruis minder wordt en het signaal 'schoner'.

³⁶ Ladinig, Honing, Háden & Winkler (2009).

³⁷ Het door Riso Näätänen in 1978 ontdekte verschijnsel, de *mismatch negativity* (of MMN), wordt gezien als een onbewuste oriëntatie van de hersenen op afwijkende geluidsprikkels. Het is een betrouwbare maat gebleken die aangeeft of een bepaald geluidskenmerk als toonhoogte, duur of intensiteit 'uit de toon valt'. Je kunt de MMN dus gebruiken om te testen in hoeverre de verwachting van een luisteraar geschonden wordt.

³⁸ Honing, Ladinig, Winkler & Háden (2009).

³⁹ Winkler, Háden, Ladinig, Sziller & Honing (2009).

⁴⁰ Baby's hebben al drie maanden voor hun geboorte een werkend gehoor. Als de hersenen eenmaal in ontwikkeling zijn, is het daarom moeilijk aan te geven of er sprake is van een aangeboren eigenschap die op een bepaald moment 'aangaat', of dat we te maken hebben met een eigenschap die is aangeleerd.

- ⁴¹ Zarco, Merchant, Prado & Mendez (2009).
- ⁴² Fitch (2009).
- ⁴³ De Waal & Ferrari (2010).
- ⁴⁴ Lewontin (1998).
- ⁴⁵ Honing & Ploeger (2011, te verschijnen).
- ⁴⁶ Patel (2010).
- ⁴⁷ Fitch (2006).
- ⁴⁸ Desain & Honing (2004).
- ⁴⁹ Popper (1963).
- ⁵⁰ Pitt & Myung (2002).
- ⁵¹ Honing (2006a).
- ⁵² Honing (2006b) en Honing & Romeijn (in voorbereiding).
- ⁵³ Robert Zatorre, geciteerd door Ani Patel in de *New York Times* van 1 juni 2010. Ook op <http://www.nytimes.com/2010/06/01/science/01conv.html>.
- ⁵⁴ Zatorre (2005).
- ⁵⁵ http://www.mindopen.nl/MindOpen_nr5.html.
- ⁵⁶ Honing & Ladinig (2009).
- ⁵⁷ Honing (2011b, te verschijnen) en Honing & Reips (2008).

BIBLIOGRAFIE

- Bod, R., Scha, R., & K. Sima'an (red.) (2003). *Data-Oriented Parsing*. Chicago: University of Chicago Press
- Chomsky, N. (1957). *Syntactic Structures*. Den Haag: Mouton.
- Desain, P. & H. Honing (2004). *Final report NWO-PIONIER project 'Music, Mind, Machine'*, Technical Notes ILLC, X-2004-02. Amsterdam: Institute for Logic, Language and Computation, University of Amsterdam. Ook te vinden op <http://dare.uva.nl/en/record/117783>
- Fitch, W.T. (2006). The biology and evolution of music: A comparative perspective. *Cognition*, 100, 173-215.
- Fitch, W.T. (2009). Biology of music: Another one bites the dust. *Current Biology*, 19, R403-R404.
- Hallé, P.A., B. de Boysson-Bardies & M.M. Vihman (1991). Beginnings of prosodic organization: Intonation and duration patterns of disyllables produced by Japanese and French infants. *Language and Speech*, 34, 299-318
- Honing, H. (2006a). Computational modelling of music cognition: a case study on model selection. *Music Perception*, 24, 365-376
- Honing, H. (2006b). The role of surprise in theory testing: Some preliminary observations. *Proceedings of the International Conference on Music Perception and Cognition* (p. 38-42). Bologna: Universiteit van Bologna
- Honing, H. (2009). *Iedereen is muzikaal. Wat we weten over luisteren naar muziek*. Amsterdam: Nieuw Amsterdam Uitgevers
- Honing, H. (2011a, te verschijnen). *Musical Cognition. The Science of Listening*. New Brunswick, N.J.: Transaction Publishers
- Honing, H. (2011b, te verschijnen). Lure(d) into listening: The potential of cognition-based music information retrieval. *Empirical Musicology Review*, 6(3)
- Honing, H. & O. Ladinig (2009). Exposure influences expressive timing judgments in music. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35, 281-288
- Honing, H. & A. Ploeger (2011, te verschijnen). Cognition and the evolution of music: Pitfalls and prospects. *Topics in Cognitive Science (TopiCS)*
- Honing, H. & U.-D. Reips (2008). Web-based versus lab-based studies: A response to Kendall. *Empirical Musicology Review*, 3, 73-77
- Honing, H., O. Ladinig, I. Winkler & G. Háden (2009). Is beat induction innate or learned? Probing emergent meter perception in adults and newborns using event-related brain potentials (ERP). *Annals of the New York Academy of Sciences*, nr. 1169: *The Neurosciences and Music: Disorders and Plasticity*, p. 93-96

- Honing, H. & J.W. Romeijn (in voorbereiding). *Surprise! Assessing the value of risky predictions*
- Huron, D. (2008). *Sweet Anticipation: Music and the Psychology of Expectation*. Cambridge, Mass.: MIT Press
- Jackendoff, R. (2002). *Foundations of Language*. New York: Oxford University Press
- Ladinig, O., H. Honing, G. Háden & I. Winkler (2009). Probing attentive and pre-attentive emergent meter in adult listeners with no extensive music training. *Music Perception*, 26, 377-386
- Lerdahl, F. (2009). Genesis and architecture of the GTTM project. *Music Perception*, 26, 187-194
- Lerdahl, F. & R. Jackendoff (1983). *A Generative Theory of Tonal Music*. Cambridge, Mass.: MIT Press
- Lewontin, R.C. (1998). The evolution of cognition: Questions we will never answer. In D. Scarborough & S. Sternberg (red.), *Methods, models, and conceptual issues: An invitation to cognitive science*, Vol. 4 (p. 107-132). Cambridge, Mass.: MIT Press
- Lieberman, P. (1985). The physiology of cry and speech in relation to linguistic behavior. In *Infant Crying: Theoretical and Research Perspectives*, B.M. Lester & Z.C.F. Boukydis (red.) (p. 29-57). New York: Plenum Press
- Longuet-Higgins, H.C. (1973) Comments on the Lighthill report. *Artificial Intelligence – A Paper Symposium*. Londen: Science Research Council
- Longuet-Higgins, H.C. (1976). The perception of melodies. *Nature*, 263, 646-653
- Longuet-Higgins, H.C. (1983). All in theory – the analysis of music. *Nature*, 304, 93
- Longuet-Higgins, H.C. (1987). *Mental Processes. Studies in Cognitive Science*. Cambridge, Mass.: MIT Press
- Longuet-Higgins, H.C. & C.S. Lee (1984). The rhythmic interpretation of monophonic music. *Music Perception*, 1, 424-441
- Mampe, B., A.D. Friederici, A. Christophe & K. Wermke (2009). Newborns' cry melody is shaped by their native language. *Current Biology*, 19, 1994-1997
- Mattys, S.L., P.W. Jusczyk, P.A. Luce & J.L. Morgan (1999). Phonotactic and prosodic effects on word segmentation in infants. *Cognitive Psychology*, 38, 465-494
- Mithen, S.J. (2005). *The singing neanderthals: The origins of music, language, mind and body*. Londen: Weidenfeld & Nicolson.
- Patel, A.D. (2010). Music, biological evolution, and the brain. In M. Bailar (red.), *Emerging Disciplines* (p. 91-144). Houston, TX: Rice University Press
- Pitt, M.A. & I.J. Myung (2002). When a good fit can be bad. *Trends in Cognitive Science*, 6, 421- 425

- Popper, K.R. (1963). *Conjectures and Refutations: The Growth of Scientific Knowledge*. Londen: Routledge, p. 47-48
- Raffman, D. (1993). *Language, music, and mind*, Cambridge, Mass.: MIT Press
- Trehub, S. (2003). The developmental origins of musicality. *Nature Neuroscience*, 6, 669-673
- Waal, F.B.M. de & P.F. Ferrari (2010). Towards a bottom-up perspective on animal and human cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 14, 201-207
- Welby, P. (2006). French intonational structure: Evidence from tonal alignment. *Journal of Phonology*, 34, 343-371
- Wiese, R. (1996). *The Phonology of German*. Oxford: Clarendon Press
- Willekens, F. et al. (2010) *Computational Humanities. Roadmap to the Humanities in 2025*. Amsterdam: Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen (KNAW)
- Winkler, I., G. Háden, O. Ladinig, I. Sziller & H. Honing (2009). Newborn infants detect the beat in music. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106, 2468-2471
- Zarco, W., H. Merchant, L. Prado & J.C. Mendez (2009). Subsecond timing in primates: comparison of interval production between human subjects and rhesus monkeys. *Journal of Neurophysiology*, 102, 3191-3202
- Zatorre, R. (2005). Music, the food of neuroscience? *Nature Neuroscience*, 434, 312-315

