



# Meer muziek in de klas: een biologisch perspectief

Robert Harris

Liber amicorum Peter Mak

1 november 2015

## Abstract

### Meer muziek in de klas: een biologisch perspectief

Bij het bepalen van leerdoelen voor het muziekonderwijs is het belangrijk om niet alleen in cultureel, maar vooral in biologisch perspectief, de betekenis van muziek voor de ontwikkeling van het kind te bezien. De evolutionaire ontwikkeling van de muzikale aanleg blijkt o.a. uit de vondst van prehistorische muziekinstrumenten. De vele neurale en functionele overeenkomsten tussen het ‘muzikale’ en het ‘jagende’ brein kunnen de rol van het jagen bij de ontwikkeling van het muzikale brein verduidelijken, maar ook de rol van muziek in de evolutie van het jagende brein. Het verstaan van muziek als ‘spel’ (*play*) geeft verder inzicht in de functie van muziek bij de ontwikkeling van het kind en verduidelijkt tevens de betekenis van het muziekonderwijs bij het bevorderen van die ontwikkeling.

## 1. PRIMAIR ONDERWIJS

Vanaf 1 september 2015 zullen havisten die aan de PABO willen studeren d.m.v. een entreetoets moeten bewijzen dat zij over voldoende basiskennis beschikken t.a.v. taal en rekenen, aardrijkskunde, geschiedenis, natuur en techniek. In dit rijtje ontbreekt het vak muziek. Voor muziek worden er aan de poort geen eisen gesteld, ook niet aan studenten met een VWO diploma. Studenten hoeven niet te kunnen zingen om toegelaten te worden. Zij hoeven ook geen muziekinstrument te kunnen bespelen of kennis van de muziek te bezitten. Puur op basis van de toelatingseisen zouden wij niet verwachten dat er van de gemiddelde groepsleerkracht verlangd zou kunnen worden dat hij of zij ooit muzikles zou moeten kunnen geven.

### *Ambassadeurs*

In het licht van dit vermeende onvermogen van de groepsleerkracht om adequaat muzikles te kunnen verzorgen, is er nu een beweging op gang gekomen om de positie van muziek in het basisonderwijs te versterken. Het Platform Ambassadeurs Muziekonderwijs (<http://meermuziekindeklas.nl/>), met als erevoorzitter Koningin Maxima, werkt de komende vijf jaar mee aan het realiseren van de verbetering van muziekonderwijs voor kinderen van vier tot twaalf jaar. In het Platform zijn meerdere partijen vertegenwoordigd die een rol zouden kunnen spelen bij het verbeteren van het muziekonderwijs, o.a. gemeenten, provincies, centra voor de kunsten, de publieke omroep en opleidingsinstituten als de PABO's en de conservatoria.

### *Handreiking*

De minister stelt €25 miljoen beschikbaar via een subsidieregeling bij het Fonds voor Cultuurparticipatie. Joop van den Ende heeft dit bedrag verdubbeld. In opdracht van de

minister van OCW heeft de Commissie Verkenning Muziekonderwijs in het Primair Onderwijs de ‘Handreiking Muziekonderwijs 2020’ opgesteld om de kwaliteit van muziekonderwijs op de basisschool te bevorderen. Al bij voorbaat wordt gesteld dat er niet voldoende middelen zijn om op iedere school een vakleerkracht muziek aan het werk te zetten. Alle aandacht is op professionalisering van de groepsleerkracht gericht.

### *Leerdoelen*

Aan die professionalisering gaat er echter een nog belangrijker uitdaging vooraf: het bepalen van de leerdoelen. In ‘Muziekonderwijs 2020’ wordt gesteld dat het muziekonderwijs ‘genre vrij’ moet zijn, dat kinderen moeten leren (samen)zingen. Hun gehoor zal getraind worden en hun gevoel voor ritme ontwikkeld. Ze zullen muziekinstrumenten (samen)spelen en les krijgen in muziektheorie en -geschiedenis. Zij zullen muziek als een vorm van communicatie ervaren. Door actieve participatie leren zij zich artistiek te ontwikkelen. De handreiking rept van ‘beproeft methoden’ (Handreiking, bl. 11).

### *Muziek en muzikaliteit*

De methoden zijn beproefd en de leerdoelen komen bekend voor. Toch lijkt er een wetenschappelijk onderbouwing te ontbreken en een discussie over wat muziek in onze samenleving en voor de ontwikkeling van het kind betekent. De impliciete boodschap is dat, wat de lesmethode betreft, de traditie bepalend is en de in onze maatschappij heersende opvatting t.a.v. muziek en muzikaliteit onbetwistbaar. De rol van muziek in de ontwikkeling van het kind *als organisme* blijft onbesproken. Vooral dat laatste zou leidend kunnen zijn bij het bepalen van de leerdoelen voor het muziekonderwijs op de basisschool. De biologische oorsprong van de muzikale aanleg zou wel eens de sleutel kunnen zijn tot de muziekdidactiek.

## 2. MUZIEK EN *PERCEPT*

Archaeologische vondsten laten zien dat zo'n veertig duizend jaar geleden, het gebruik en het ontwerp van gereedschap door onze voorouders drastisch veranderde (Hardy et al., 2008). Het scala aan gereedschap werd in relatief korte tijd veel groter, maar ook complexer. Men begon niet alleen steen, maar ook ivoor, botten en geweien te bewerken. Uit dezelfde periode stamt het eerste muziekinstrument, de fluit (Conard et al., 2009), zo'n 30 duizend jaar vóór het wiel. Onze voorouders gebruikten niet alleen gereedschap, zij musiceerden.

### *Evolutie*

Daaruit zouden wij kunnen opmaken dat het brein van de prehistorische mens een muzikaal brein was. Maar ook dat de eigenschappen van het brein die muziek mogelijk maakten tegelijk zijn ontstaan met de eigenschappen die taal en het hanteren van gereedschap mogelijk maakten. De gelijktijdige verschijning van muziek, taal en gereedschap in de prehistorie lijkt meer dan toeval. Het zou de weerspiegeling kunnen zijn van de biologische ontwikkeling die in de honderdduizenden jaren daarvoor heeft plaatsgevonden en die zijn sporen in de structuur van het brein nagelaten heeft. In die structuur zouden wij misschien de verklaring kunnen vinden voor de universaliteit van zowel muziek als taal en gereedschap (Brown, 2004).

Als wij het over muziek hebben, hebben wij het doorgaans over muziek als cultuur: over stijl (Rosen, 1971), vorm en structuur (Cook, 1994), muzikale betekenis (Meyer, 1956) of esthetiek (Reitsma et al., 2014) en niet over de biologie. Maar, hoewel het bijna ondoenlijk is om een definitie van 'muziek' te geven, weten wij allemaal wat het is, want muziek is niet alleen een cultuurartefact, het is een zintuiglijk *percept*, net als kleur. Je kunt kleur een naam geven, je kunt zelfs de natuurkundige eigenschappen van de lichtgolven meten, je kunt kleur

in het kader van stijl, structuur, betekenis en esthetiek bespreken, maar de visuele gewaarwording van kleur is een *percept*.

### *Top-down perceptie*

Een *percept* is een product van het brein zelf, niet van de omgeving. De kleur rood wordt niet door het oog op een Cartesiaans scherm in het brein geprojecteerd. Het brein produceert de gewaarwording. Perceptie ontstaat weliswaar in reactie op de zintuiglijke waarneming, immers het doel van perceptie is om te weten wat er om ons heen gebeurt opdat wij adequaat kunnen handelen. Echter op basis van de informatie waar de zintuigen over beschikken, zou perceptie ontoereikend zijn. Daarom produceert het brein een *forward model*, een voorspelling van wat wij (zullen) zien, gebaseerd op eerdere perceptuele ervaringen (Adams et al., 2013). Op basis van actuele zintuiglijke input, corrigeert het brein de oorspronkelijke voorspelling en produceert de waarneming. Helmholtz (1866) beschreef perceptie daarom als een ‘best guess as to what’s out there in the world, given the observer’s current sensory input and prior experience’.

In voorkomende gevallen kan het brein meerdere interpretaties van dezelfde input ‘bedenken’. Misschien herinnert u zich de ansichtkaarten die een aantal jaren geleden korte tijd in omloop waren. Op het eerste gezicht was het een tweedimensionale voorstelling waar je vaak niet zoveel van begreep, maar als je er doorheen keek, was het beeld plotseling driedimensionaal. Afhankelijk van hoe je keek kon dezelfde ansichtkaart twee verschillende zintuiglijke *percepten* opleveren: tweedimensionaal of driedimensionaal.

Wij kennen ook allemaal het *percept* van beweging terwijl de trein stilstaat. De trein aan de andere kant van het perron vertrekt, maar je brein vertelt je dat je eigen trein vertrekt. En dan

kijk je op, en het *percept* van beweging is voorbij. Je staat stil, niet alleen letterlijk, maar ook perceptueel. En dan zijn er de optische illusies: beelden die je op twee verschillende manieren kunt zien, bijvoorbeeld de spinning dancer, waarbij de draairichting van de danseres plotseling lijkt te veranderen, terwijl het beeld gelijk blijft (<https://www.brainbashers.com/showillusion.asp?130>).

### *Spraakpercept*

In het auditieve domein is aangetoond dat er ook ‘sprake’ is van een *spraakpercept*. Remez et al. (1981) lieten proefpersonen bewerkte opnames van spraak horen, waarbij het frequentiespectrum ‘uitgekleed’ was. Voor de proefpersonen was het onmogelijk om de opnames te verstaan. Maar, belangrijker, de klank werd zelfs niet als spraak herkend. Proefpersonen beschreven het geluid als het getjilp van een korte golf zender, klanken uit de ruimte, of het geluid van marsmannetjes. Als de proefpersoon meegedeeld werd dat het om een opname van spraak handelde, ontstond er een plotselinge, bijna magische, waarneming van spraak, waarbij de gesproken tekst direct en accuraat verstaan werd. Wat aanvankelijk als een *geluidpercept* werd waargenomen, veranderde plotseling in een *spraakpercept*.

### *Zangpercept*

Naast het *spraakpercept* is er, in het auditieve domein, ook een *zangpercept*. Deutsch et al. (2011) lieten proefpersonen naar voorgelezen teksten luisteren waarin een gedeelte van de zin eindeloos herhaald werd. Onder invloed van de herhaling, veranderde het *spraakpercept* in een *zangpercept*. Hoewel het spraak was en bleef, en hoewel proefpersonen dat met het verstand ook konden beamen, ontstond er een muzikaal *percept* d.w.z. zingen i.p.v. praten. Als proefpersonen daarna werden gevraagd om de tekst na te zeggen, werd de toonhoogte en de melodie van het *zangpercept* onwillekeurig geïmiteerd.

In een vervolg onderzoek, lieten Tierney et al. (2013) zien dat, tijdens het zang*percept*, maar niet tijdens het spraak*percept*, een netwerk van hersengebieden actief werd dat geassocieerd kan worden met zingen i.p.v. spreken. De *speech-to-song illusion* is recentelijk op de beroemde toespraak van Martin Luther King 'I have a dream' toegepast. Door een jazz pianobegeleiding toe te voegen aan de oorspronkelijke opname, bereikte pianist en componist Peter van der Zwaag bij de luisteraar de perceptuele gewaarwording dat Dr. King zong i.p.v. sprak (<http://petervanderzwaag.com/maxsob.html>).

### *Melodisch percept*

In tegenstelling tot de meeste dieren, beschikt de mens over een relatief gehoor: het brein maakt van een reeks absolute toonhoogten een melodie d.w.z. een melodisch *percept*. De melodie blijft herkenbaar, ongeacht de toonsoort waarin het gespeeld of gezongen wordt. Pasgeboren kinderen van twee maanden kunnen al een bekende van een onbekende melodie onderscheiden (Plantinga & Trainor, 2009) en kinderen van zes maanden kunnen al een melodie in transpositie herkennen (Plantinga & Trainor, 2005). Dat is opmerkelijk in het licht van de tonotopische indeling van zowel het slakkenhuis als de auditieve cortex (Formisano et al., 2003). Zowel het oor als het brein registreert wel degelijk de exacte toonhoogte. En toch horen wij geen losse tonen, maar een melodie. Melodie is voor de mens net zo gewoon als kleur. Wij realiseren ons vaak niet dat het bijzonder is. Maar bij dieren komt het nauwelijks voor. Dieren hebben 'alleen maar' absoluut gehoor. In tegenstelling tot mensen, herkennen de meeste vogels hun eigen gezang niet meer als het getransponeerd wordt (Hauser & McDermott, 2003).

Als wij het over absoluut gehoor hebben, moeten wij niet aan *perfect pitch* denken, het redelijk zeldzame (0.01% van de bevolking (Profita et al., 1988) vermogen om toonhoogte bij



de notennaam te kunnen noemen. Dat kunnen vogels uiteraard niet. Met het begrip ‘absoluut gehoor’ moeten wij aan absoluut gehoor denken dat uit het gedrag blijkt (McDermott & Oxenham, 2008). En dan blijkt dat mensen die ook hebben. Levitin (1994) liet proefpersonen steeds naar verschillende opnames van hetzelfde overbekende muziekstuk luisteren, die echter van toonsoort verschilden (maar niet van tempo), en ontdekte dat proefpersonen geen moeite hadden om de goede toonsoort aan te wijzen. Schellenberg & Trehub (2003) lieten proefpersonen elke dag dezelfde bekende liederen zingen en ontdekten dat zij de liederen telkens in dezelfde toonsoort zongen. Hoewel de proefpersonen geen notennaam aan de klank konden geven, bleek uit hun gedrag dat hun hersenen de absolute toonhoogte niet alleen herkenden, maar die ook onder bepaalde omstandigheden ook konden oproepen.

Hoewel de mens dus, net als dieren, absoluut gehoor heeft, is het bij de mens niet functioneel. Zelfs individuen met *perfect pitch* gebruiken het relatieve gehoor wanneer zij naar muziek luisteren. Anders zouden zij de thema’s niet herkennen en de reprise van een sonate niet als een herhaling van de expositie ervaren. Muziek zou onbegrijpelijk zijn. Behalve in de muziek, is relatief gehoor ook functioneel in het domein van de taal. Stel je voor dat je iemand alleen kon verstaan als hij op een bepaalde toonhoogte zou spreken. Dan was verbale communicatie onmogelijk. Iedere spreker gebruikt immers een andere toonhoogte. De functionaliteit van het relatieve gehoor bij de spraak zou o.a. de reden kunnen zijn waarom het absolute gehoor bij de mens niet meer functioneel is.

### *Beat induction*

Bij het luisteren naar muziek, nemen wij ook het metrum waar, de beat. Ook de normaalste zaak van de wereld. Maar *beat induction* komt maar zelden voor in het dierenrijk (Honing et al., 2012). Het effect is bij de mens zo sterk dat wij de beat zelfs horen terwijl er geen noot op

de tel valt. Bij een syncoop, bijvoorbeeld, wordt de tel niet gespeeld, de beat echter wel gevoeld. EEG bij pasgeboren kinderen toont aan dat het jonge brein al reageert wanneer er een toon op de beat ontbreekt (Winkler et al., 2009). Beat is een auditief *percept*, een product van de hersenen. In het visuele domein nemen wij geen beat waar (Repp & Penel, 2004). Een knipperlicht kan nog zo regelmatig aan en uit gaan, het geeft ons geen *percept* van beat, en daarom zijn wij veel minder toe in staat om onze bewegingen ermee te synchroniseren (Patel et al., 2005).

### *Vestibulair horen*

De neiging om, bij een harde beat, mee te bewegen komt o.a. van het vestibulair (evenwichts) orgaan. Behalve versnelling en rotatie, is het evenwichtsorgaan ook gevoelig voor geluid, maar alleen in een bepaald frequentiegebied en boven een bepaalde geluidsintensiteit (Todd et al., 2000). Bij het praten, bijvoorbeeld, wordt het evenwichtsorgaan niet geprikkeld, zelfs als je een gedicht ritmisch opzegt. Maar als je zingt, is het frequentiegebied optimaal en het geluid van je eigen stem vaak al sterk genoeg om het evenwichtsorgaan te prikkelen. Dat een symfonieorkest dat effect kan hebben is niet verbazingwekkend, het gemiddelde geluidsniveau (gemeten bij de musicus) nadert de 120 dB (Schmidt et al., 2011). Maar Lowlands is te gek. Het faciliterende effect van beat op het lopen van Parkinson patiënten is daarom sterker bij luide muziek met een stevige beat (persoonlijke communicatie), evenals de neiging tot beweging die jongeren bij harde dansmuziek ervaren. Dat wij bij muziek bewegen heeft ook te maken met de rechtstreekse zenuwverbindingen tussen de auditieve cortex en de premotor cortex, de *arcuate fasciculus* en de *superior longitudinale fasciculus* (Zatorre et al., 2007) en met de aanwezigheid van spiegelneuronen in de premotor cortex, neuronen die zowel klank als beweging coderen (Kohler et al., 2002).

Muziek is wel degelijk ‘biologisch’. De perceptuele ervaring van zang, melodie en metrum is aangeboren en wordt door het brein zelf geproduceerd. De eigenschappen van het brein die tot deze ervaring leiden zijn divers en anatomisch verspreid. Er is geen ‘muziekknobbel’. Maar het vermogen om muziek als muziek te ervaren is een universele eigenschap van de mens die in de structuur van het brein geworteld is en door de evolutionaire ontwikkeling van het brein tot stand is gekomen. Het bijzondere is dat deze perceptuele ervaring vaak door het spel van muziekinstrumenten wordt bemiddeld, of zoals wij het misschien beter zouden kunnen noemen: ‘muziekgereedschap’.

### 3. MUZIEKGEREEDSCHAP

Jane Goodall definieert het gebruik van gereedschap als ‘the use of an external object as a functional extension of mouth or beak, hand or claw, in the attainment of an immediate goal’ (van Lawick-Goodall, 1970). Met gereedschap kun je iets doen dat normaal buiten je bereik ligt. Neuronen in je brein die op een object binnen handbereik reageren, reageren ook als het voorwerp zich binnen het bereik van een stuk gereedschap bevindt, bijvoorbeeld een hark (Maravita et al., 2001). Het gebruik van gereedschap vergroot je actieradius, niet alleen letterlijk, maar ook in het brein.

#### *Muziekinstrument*

Het feit dat geavanceerd gereedschap en muziekinstrumenten tegelijk werden ontwikkeld is daarom niet toevallig. Een muziekinstrument is een functioneel verlengstuk van de lippen en van de stem, een stuk geavanceerd gereedschap dus. Het vergroot letterlijk je bereik, je hebt meer noten op je zang. Je kunt er ook dingen met een fluit doen die zingend of fluitend (met de lippen) veel moeilijker gaan. Je moet in elk geval de prehistorische fluit niet direct als ‘primitief’ wegzetten. Op een plastic electriciteitsbuisje met zeven gaten kun je een

fluitconcert van Mozart spelen (Jelle Hogenhuis, ten minste). Wie weet wat onze prehistorische voorouders voor prachtige muziek op de eerste fluiten gespeeld hebben? De technologische revolutie die wij in de laatste vijf honderd jaar beleven vertoont overduidelijke overeenkomsten met de transitie van middel naar laat Paleolithicum veertig duizend jaar geleden. De eerste pijl en speer kunnen wij rustig met de Kalashnikow en de atoombom vergelijken. Moderne wapens zijn ingewikkelder en groter, maar het doel is hetzelfde en helaas verleggen ze de grenzen van de mens nog steeds aanzienlijk. En het is niet bij de ontwikkeling van wapens gebleven.

De computer en de Smartphone kunnen wij op één continuüm met de gereedschap van onze prehistorische voorouders plaatsen. Maar hoewel de moderne technologie als een verre afstammeling van prehistorisch gereedschap gezien kan worden, bedienen wij de auto en het vliegtuig, de Smartphone en de tablet nog steeds met een prehistorisch brein. Onze hersenen hebben een miljoen jaar nodig gehad om met de ontwikkeling van gereedschap mee te evolueren. Op de auto, de computer, en Smartphone heeft de biologie nog geen passend antwoord geformuleerd.

### *Gedeelde middelen*

Dat muziek, taal en gereedschap van dezelfde fysieke middelen gebruik maken is overduidelijk. Als wij zingen, zingen wij niet alleen tonen, maar ook teksten (lyrics). Zowel muziek als spraak maakt gebruik van het gehoor en de stem. Wij gebruiken de tong bij de articulatie, zowel bij het spreken als bij het bespelen van een blaasinstrument. Maar het gemeenschappelijk gebruik van fysieke middelen strekt zich ook uit tot de handen. Je kunt niet alleen met je lippen fluiten, maar ook met je handen. Een bereik van een duodecime is niet uitzonderlijk. Wij gebruiken de handen niet alleen om gereedschap te hanteren en een

muziekinstrument te bespelen, maar ook om, tijdens het spreken, gebaren te maken, zelfs als het niet functioneel is, zoals bij *handsfree* bellen. In het geval van gebarentaal, wordt het gebaar zelfs gebruikt om het spreken te vervangen. Sommige theorieën suggereren daarom dat de evolutie van de spraak via het gebaar is gegaan (Hewes et al., 1973).

### *Lateralisatie*

Het ontstaan van gereedschap, taal, en muziek ging gepaard met structurele veranderingen in het menselijke brein. De linker hersenhelft is niet alleen gespecialiseerd voor taal, maar ook voor gereedschap. Dat wordt duidelijk als er schade aan de linker hersenhelft optreedt.

Mensen kunnen dan misschien uitleggen waar een stuk gereedschap voor is en zelfs hoe je het gebruikt, maar kunnen het niet meer hanteren. Weer anderen zijn niet meer in staat om gereedschap met de juiste functie te associëren. Zij zullen bijvoorbeeld met een scheerapparaat hun haar proberen te föhnen (Lewis, 2006).

Het feit dat de mens voor het grootste deel rechtshandig is (Knecht et al., 2000) heeft ongetwijfeld te maken met de specialisatie van de linker hersenhelft voor zowel spraak als gereedschap (Corballis, 2003), immers de rechterhand wordt door de linker hersenhelft aangestuurd. Ook als wij spreken, gebaren wij vaker met de rechter hand (Kimura, 1973). Zelfs als rechtshandigen een stuk gereedschap met de linkerhand hanteren, wordt de linker hersenhelft geactiveerd i.p.v. de contralaterale (rechter), die je zou verwachten (Johnson-Frey et al., 2005). En als je slechts hoort dat iemand gereedschap aan het gebruiken is, wordt voornamelijk de linker hemisfeer geactiveerd (Lewis et al., 2005). Zoals wij zouden moeten verwachten, wordt muziek voornamelijk in de linker hersenhelft verwerkt, maar alleen bij diegenen die een muziekinstrument bespelen d.w.z. een stuk muziekgereedschap (Evers et al., 1999). Het gemeenschappelijke gebruik van neurale middelen door gereedschap, muziek en

taal openbaart zich in de rol van Broca bij zowel de muzikale en linguïstische syntax (Maess et al., 2001) als de syntax van doelgerichte handelingen (Pulvermüller & Fadiga, 2010).

#### 4. MUZIEK EN EVOLUTIE

Wij kunnen mogelijk een verklaring voor de overeenkomst tussen de neurale verwerking van taal, muziek en gereedschap in de evolutionaire geschiedenis van de mens vinden. Doorgaans wordt het ontstaan van het muzikale brein verklaard door het evolutionaire voordeel dat muziek t.b.v. seksuele aantrekkingskracht, sociale cohesie, en stressbeheersing zou verschaffen (Wallin & Merker, 2001). Anderen daarentegen, beweren dat muziek geen enkel evolutionaire voordeel bezit. Pinker (1997) noemt muziek ‘auditory cheesecake’, een hedonistisch bijproduct van de evolutionaire ontwikkeling van het gehoor. Tegen de achtergrond van dit debat, lanceerde Calvin (1993) de Unitary Hypothesis waarin hij beweerde dat het jagen de belangrijkste stuwende kracht achter de ontwikkeling van het menselijke brein geweest moet zijn, dus ook het talige en het muzikale brein.

Archaeologische vondsten maken duidelijk dat het jagen in de vroege prehistorie is begonnen (Villa & Lenoir, 2006). Geavanceerd gereedschap uit het late Paleolithicum is niet alleen het begin van de menselijke cultuur, maar ook het einde van een lange biologische ontwikkeling waarin het succesvolle jagen verantwoordelijk was voor het overleven van de mens en dus voor het ontstaan van ons brein, een brein dat niet alleen de taal voortgebracht heeft, maar ook de muziek.

##### *Geavanceerd gereedschap*

De kleine verbeteringen die in de loop van de prehistorie in het ontwerp en de uitvoering van speerpunten zijn gedetailleerd beschreven om de ontwikkeling van de intelligentie van onze

voorouders te documenteren (Zilhão & d'Errico, 2003). Wij kijken vaak met geveinsde bewondering naar het eerste 'geavanceerde' gereedschap van de prehistorische mens, want voor ons lijkt het maar primitief. Hoewel het logisch is dat alle aandacht naar de handvaardigheid uitgaat, is het evolutionaire vraagstuk veeleer de rol van het jagen zelf. Wij moeten ons niet blind staren op het ontwerp en de bouw van speerpunten, maar vooral de aandacht op de handeling zelf vestigen: het werpen van (eerst de steen en later) de speer.

### *Werpen*

Want hoe primitief de prehistorische speer ook was, de motoriek zal mogelijk van Olympisch niveau geweest zijn. Nog altijd is speerwerpen een Olympische sport van formaat. Vanaf 708 B.C. maakte het onderdeel uit van het Pentathlon in de antieke oudheid. De speer werd met behulp van een *amentum* geworpen, een leren riem, enigszins vergelijkbaar met het prehistorische gebruik van de atlatl (Raymond, 1986), een hulpmiddel om de snelheid en doeltreffendheid van de speerworp te vergroten. Sinds 1912 is het speerwerpen een onderdeel van de Decathlon bij de moderne Olympische Spelen. De wereldrecord afstandswerpen voor mannen staat op dit moment op 98,48 meter.

De techniek van het speerwerpen onderscheidt ons duidelijk van de chimpansee, onze naaste verwante onder de primaten. Het was Darwin al opgevallen dat het rechtop kunnen staan beslissend was voor de ontwikkeling van de soort (Klein, 2009). Hoewel chimpansees ook stenen werpen (Osvath, 2009) is de ontwikkeling van de worp een biologische verworvenheid van de mens. Een professionele honkbalwerper kan een snelheid van 170 km/uur halen terwijl een chimpansee niet verder komt dan 30 km/uur. Dat ligt o.a. aan de bouw van ons bovenlijf (Roach et al., 2013), maar ongetwijfeld ook aan de structuur van de hersenen.

### *Doel in de ruimte*

Er is één belangrijk verschil tussen het speerwerpen bij de Olympische Spelen en het speerwerpen van onze voorouders. Op de Spelen, gaat het vooral om de afstand. Bij onze voorouders, ging het vooral om het treffen van een doel. Onze voorouders gebruikten de speer bij de jacht. Daarvoor is een sterk ontwikkelde ruimtelijke voorstelling voor nodig en een perfecte koppeling tussen motoriek en ruimtelijke perceptie. Het speerwerpen moet dus een belangrijke rol gespeeld hebben in de functionele ontwikkeling van de rechter *posterior superior parietal cortex* en met name de IPS (Intra-Parietal Sulcus), een hersengebied dat een belangrijke rol speelt bij het reiken naar en het richten op een doel (Filimon, 2010). De IPS is verder betrokken bij mentale rotatie (Harris & Miniussi, 2003), maar ook bij de perceptie en de verwerking van muzikale toonhoogte. Het werpen naar een doel in de ruimte en het treffen van een toon zijn voor het brein functioneel gelijkwaardige functies.

### *Het SMARC effect*

Gedragsstudies hebben recentelijk de discussie over ruimtelijke aspecten van toonhoogte nieuw leven ingeblazen. In de oorspronkelijke studies, bleek dat proefpersonen hogere tonen hoorden alsof ze van een fysiek hogere locatie afkomstig waren (Pratt, 1930; Roffler & Butler, 1968). Mudd (1963) vond een diagonale relatie tussen toonhoogte en fysieke ruimte. Hogere tonen werden niet alleen hoger waargenomen, maar ook meer naar rechts, lagere tonen niet alleen lager maar ook meer naar links.

Recentelijk hebben Rusconi et al. (2006) een kortere reactietijd (en een respons die accurater was) gevonden als proefpersonen op een hogere toon moesten reageren met een knop die zowel hoger als meer naar rechts stond, en andersom, ongeacht de hand waarmee de toets ingedrukt werd. Lidji et al. (2007) demonstreerde dat het effect mogelijk met training te



maken kon hebben. Met een Stroop test, vonden Stewart et al. (2004) een ruimtelijk effect voor toonhoogte in pianisten, maar dan in het horizontale vlak. Taylor & Witt (2015) vonden dat pianisten sneller op visuele stimuli reageerden wanneer de beweging naar het doel overeenkwam met de richting van de toonladder die zij tegelijk hoorden. De associatie tussen ruimte en toonhoogte wordt het SMARC effect genoemd, de Spatial-Musical Association of Response Codes (Rusconi et al., 2006).

### *Mentale rotatie*

Het verwerken van muzikale permutaties kan in verband gebracht worden met mentale rotatie d.w.z. ruimtelijke transformaties (Cupchik et al., 2001). Muziekfuncties die in de rechter *superior parietal cortex* worden verwerkt, met name in de IPS (Intra-Parietal Sulcus), zijn o.a. retrograde (achteruitgaande) muzikale transformaties zoals bijvoorbeeld in contrapunt (Zatorre et al., 2010), transpositie (Foster & Zatorre, 2010) en de transformatie van toonhoogte in ruimtelijke coördinaten d.w.z. de klank-greep associatie (Brown et al., 2013). Tijdens het luisteren naar muziek met de intentie om het te spelen, vertonen improviserende musici grotere activiteiten in dit gebied dan niet-improviserende musici (Harris & de Jong, 2015). Rauschecker (2014) stelde dat het *posterior superior parietal cortex* een functie kon hebben in het leren en onthouden van muzikale sequensen. De anatomie van de ruimtelijke perceptie maakt duidelijk dat, voor het brein, Euclidische en tonale ruimte vergelijkbaar zijn.

### *Feedforward*

Tijdens een handeling, wordt de beweging op basis van feedback bijgestuurd. Maar bij het werpen met de speer is feedback slechts aan het begin van de handeling beschikbaar. Immers, pas als de speer de hand heeft verlaten, wordt het doel geraakt. Als het dier zich ook nog verplaatst tijdens de worp, moet het brein zowel de uitkomst van de worp als de bewegingen

van het dier nauwkeurig kunnen voorspellen. Het menselijke brein heeft daarom door het jagen het vermogen ontwikkeld om zowel het traject en de *time-to-contact* van de speer te kunnen voorspellen als de bewegingen van levende wezens.

### *Traject en time-to-contact*

De perceptuele gewaarwording van de baan van een bewegend voorwerp wordt door onze ervaring met zwaartekracht, wrijving, momentum en inertie *top-down* beïnvloed (Reed & Vinson, 1996; Hubbard, 1996; Finke et al., 1986; Hubbard & Bharucha, 1988). Ervaring leert het brein dat een pijl die schuin naar boven afgeschoten wordt, in een parabolische baan weer naar de aarde terug keert en dat een bal die naar beneden valt, steeds sneller zal vallen d.w.z. met de versnelling van de zwaartekracht. Deze impliciete kennis wordt rechtstreeks in onze perceptie en motoriek verwerkt. De neurale substraat van onze visuele perceptie van zwaartekracht en momentum is het vestibulaire systeem (Zago & Lacquaniti, 2005).

### *Melodie en ritme*

Het brein is niet alleen in staat om het traject en de *time-to-contact* van een bewegend voorwerp te voorspellen, maar ook dat de baan en de temporale eigenschappen van een bewegende toon d.w.z van een melodie. Het feit dat toonhoogte door het brein ruimtelijk wordt verwerkt betekent dat het traject van een melodie op dezelfde manier waargenomen wordt als het traject van een bewegend voorwerp. Wat omhoog gaat, komt weer naar beneden. Maar wij weten ook wanneer. Wij kunnen even nauwkeurig het ritmische tijdstip van de tel bepalen als de *time-to-contact* van een vallend voorwerp.

### *Audiation*

Voorspelling speelt een belangrijke rol bij de affectieve beleving van de muziek (Meyer, 1956; Huron, 2006), maar ook bij performance. De musicus is op de hoogte van de zintuiglijke consequenties van zijn eigen handelen, een verschijnsel dat in de muziek de klankvoorstelling of ‘*audiation*’ genoemd wordt (Gordon, 1999). Experimenten met auditieve feedback hebben aangetoond dat pianisten in hoge mate onafhankelijk zijn van auditieve feedback tijdens performance. Spelen zonder auditieve feedback is niet alleen accuraat, maar ook bijna net zo expressief als met feedback (Repp, 1999a; Repp, 1999b). Pianisten die hun spel op een stom klavier opnamen waren maanden later nog in staat om, bij het luisteren, hun eigen performance uit opnames van verschillende pianisten te selecteren (Repp & Knoblich, 2004). Feedback blijkt belangrijker te zijn voor het instuderen van een compositie dan voor de performance zelf (Finney & Palmer, 2003).

### *Active inference*

Het samenvallen van klankvoorstelling en motoriek wordt verklaard door *active inference* modellen van motor control die beweren dat er geen feitelijke verschil is tussen motor output en de voorspelling van zintuiglijke consequenties. *Motor commands* zouden aan de spieren verstrekt worden in de vorm van zintuiglijke voorspellingen (Friston, 2010; Adams et al., 2013; Clark, 2013). Speelbeweging zouden dus in dit model het resultaat zijn van de klankvoorstelling, en niet andersom, zoals iedere musicus intuïtief al weet. De cerebellum wordt een belangrijke taak toebedeeld bij het voorspellen van de zintuiglijke consequenties van de beweging (Ebner & Pasalar, 2008). Wij gebruiken deze voorspellingen niet alleen om onze eigen handelingen aan te sturen maar ook om op de handelingen van anderen te anticiperen (Gilbert & Sigman, 2007), bijvoorbeeld bij het ensemblespel.

### *Biologische beweging*

Experimenten met *point-light motion capture* laten zien dat het brein gespecialiseerd is voor de waarneming van *biological movement* d.w.z. bewegingen van mensen en dieren (Johansson, 1973). Op basis van minimale informatie (lichtjes op een aantal gewrichten) kunnen wij, in het donker, binnen een fractie van een seconde, biologische beweging van random bewegingen onderscheiden (Blake & Shiffrar, 2007), de identiteit (Loula et al., 2005) en het geslacht (Troje 2002), vaststellen, maar ook de richting (Beintema et al., 2002) en de emotionele implicaties van de beweging onderscheiden (Clarke et al., 2005). De waarneming van biologische beweging strekt zich uit tot het dier (Mather & West, 1993). De prehistorische jager leerde aan de beweging van het dier de identiteit (soort) onderscheiden, maar ook de richting van de beweging en de (dreigende) houding. Wij herkennen de biologische beweging van dieren op dezelfde manier als de beweging van de medemens. Het antropomorfe karakter van onze waarneming wordt onderstreept in stripboeken en films.

### *Dans*

Bij de dans, gaat het niet alleen om de *beat*, maar om de lichaamsbeweging. Als je de bewegingen van een danser waarneemt, wordt onmiddellijk een *percept* van biologische beweging opgeroepen. Maar de dans staat niet op zichzelf. Het is geen gymnastiek. Dans is muziek. Het onmiddellijke *percept* van biologische beweging dat bij het luisteren naar muziek ontstaat komt overeen met het *percept* van biologische beweging dat *point-light motion capture* visueel oproept. De synaesthesie van visuele en auditieve perceptie bij dansmuziek is niet uniek. Er zijn ook individuen die synaesthesie van visuele en auditieve perceptie bij kleur en toonhoogte ervaren (Zamm et al., 2013).

Het MNS (mirror neuron system) zet het auditieve *percept* van biologische beweging automatisch om in een motor-respons. Als de beweging niet geïnhibeerd wordt (Frasse et al., 1953), beweegt de concertganger met de muziek mee (Dainow, 1977). Het kunnen samenspelen wordt in hoge mate bepaald door het vermogen om de biologische beweging van medespelers zowel visueel als auditief te kunnen waarnemen. Glowinski et al. (2012) toonden aan dat luisteraars onmiddellijk weten of een muzikant alléén aan het spelen is, of met andere musici samen in een ensemble. Het kunnen waarnemen van biologische beweging in de muziek is een rechtstreeks gevolg van de ontwikkeling van de perceptie van biologische beweging bij de prehistorische jacht.

### *Syntax*

Complexe vaardigheden zoals het speerwerpen zijn afhankelijk van het vermogen om de afzonderlijke bewegingen c.q. spiercontracties te coördineren. Meerdere deelhandelingen worden in het brein op een hiërarchische, recursieve manier aan elkaar geregen om een hoger handelingsdoel te dienen (Grafton & Hamilton, 2007). Deze structuur kennen wij allemaal van de Droste cacao bus, maar natuurlijk ook van de grammatica: woorden in zinsdelen, zinsdelen in bijzinnen, en bijzinnen in zinnen. Lerdahl & Jackendoff (1983) hebben uitvoerig aangetoond dat de muziek dezelfde recursieve structuur vertoont.

Impliciete kennis van de syntax van de muziek openbaart zich zowel bij vocale improvisatie (Sági & Vitányi, 1988), als bij het bespelen van een muziekinstrument. Novembre & Keller (2011) lieten zien dat de reactietijd sneller was wanneer de hand naar een harmonisch congruent akkoord ging, dan naar een incongruente harmonie. Dit werd bevestigd in een vervolgonderzoek waarin EEG gebruikt werd om deze verwachtingen kwantitatief te toetsen (Sammler et al., 2013). De evolutionaire ontwikkeling van de recursieve structuur van zowel

de doelgerichte handeling als van taal en muziek wordt gezien als het fundament van de menselijke intelligentie (Corballis, 2011). Taal en muziek staan niet op zichzelf. Het ontstaan van recursieve structuren in beide domeinen kan gezien worden als het resultaat van de eisen die het speerwerpen aan de motoriek van onze voorouders gesteld heeft.

### *Muziek en jagen*

Er zijn dus grote functionele en anatomische overeenkomsten tussen de biologische vermogens die voor het jagen noodzakelijk waren en de vermogens die een rol spelen bij de performance en beleving van muziek. De ruimtelijke perceptie speelt niet alleen een grote rol bij het richten op een doel, maar ook bij het treffen van de toonhoogte. Het kunnen voorspellen van de baan van een vliegend of rennend beest is functioneel en neuraal vergelijkbaar met het voorspellen van het verloop van een toonladder of passage of het spatgelijk spelen van complexe ritmes tijdens het samenspel. Het kunnen waarnemen van de biologische beweging in de muziek is gelijk aan de waarneming van biologische beweging tijdens de dans of de jacht.

De overeenkomst tussen de syntax van de taal, de muziek en doelgerichte handelingen en het feit dat het gebied van Broca bij alle drie is betrokken doet vermoeden dat het krachtig, snel en gericht jagen op wild verantwoordelijk is geweest voor zowel de motorische als de linguïstische en muzikale ontwikkeling van het brein (Calvin, 1993). De evolutionaire selectiedruk op het ontstaan van het jagende brein was groot. De mens heeft zich in de vroege prehistorie voornamelijk met het jagen in zijn levensonderhoud voorzien.

Dat het jagen van invloed geweest kan zijn op de evolutionaire ontwikkeling van het muzikale brein is aannemelijk. Maar heeft de muziek zelf een functie gehad in de ontwikkeling van het

jagende brein en dus ook aan de overleving van de soort? Of anders gezegd, was het beoefenen van de muziek in evolutionair opzicht belangrijk voor de mens, of was het een *exaptation* (Gould, 1991), een bijproduct van de evolutie van het brein, of zoals Pinker (1997) het formuleerde, ‘auditory cheesecake’?

## 5. SPELEN

Het antwoord op die vraag ligt mogelijk in de essentie van de muziek opgesloten. Muziek is spel (*play*). Wij noemen het ook zo. Je ‘speelt’ viool. Niet alleen in het Nederlands, maar ook in andere talen: ‘I play the violin (GB), je joue du piano (F), hegedüt játszok (H)’. Hoewel het musiceren bittere ernst lijkt, en de emotionele reactie vaak hevig, weet iedereen dat de vreugde of het verdriet niet aan echte gebeurtenissen te wijten is. Muziek lijkt in dat opzicht niet alleen op andere kunstvormen zoals literatuur of film, maar ook op het spel van jonge dieren en kinderen. Spelen is spontaan en lonend. Het is wars van de normale consequenties van volwassen gedrag. Het kent geen extrinsiek doel, is origineel en creatief, wordt gekenmerkt door herhaling en vindt alleen plaats als de speler gezond is en vrij van stress (Bateson, 2014).

Er is tegenwoordig toenemende wetenschappelijke belangstelling voor de functie van het spelen in de ontwikkeling van het kind (en het jonge dier). Onderzoek wijst op een functie van spelen in de overleving en voortplanting (Fagen en Fagen, 2009). Het biedt een veilige omgeving om vaardigheden die later noodzakelijk zullen zijn om te overleven te beoefenen en om oplossingen te genereren voor uitdagingen in de sociale en fysieke omgeving (Bateson, 2014). Het spelen komt niet alleen bij zoogdieren voor, maar ook bij evolutionair oudere soorten (Burghart, 2014). Wij moeten daaruit concluderen dat het spelen ook van onschatbaar evolutionair nut geweest moet zijn.

Hoewel onder dieren, het spelen in de puberteit grotendeels ophoudt, is er bij sommige wilde dieren o.a. wolven, gorilla's en vooral dolfijnen ook bij volwassen exemplaren spel gesignaleerd (Kuczaj et al., 2006). Volwassen mensen spelen, daarentegen, niet alleen met hun minderjarige kinderen, maar ook in hun eentje en met elkaar. Het feit dat, bij de mens, het spelen in de puberteit niet ophoudt suggereert dat het volwassen spel een evolutionair belang gediend heeft d.w.z. dat het een rol gespeeld heeft bij de overleving en voortplanting van de prehistorische mens. Naast de sport, is muziek één van de meest voorkomende vormen van volwassen spel die wij kennen, en zover wij weten, de oudste.

De overeenkomsten tussen jagen en musiceren zijn uitvoerig beschreven. Wat zijn de verschillen? Het grote verschil tussen de jacht en het muziekspel is de ernst van de consequenties. Jagen is niet alleen gevaarlijk, bij het mislukken zijn de overleving en de voortplanting in het geding. Dat is bij de muziek niet zo, hoewel professionele musici ernstige podiumangst kunnen vertonen (Stephoe, 1989; van Kemenade et al., 1995). Bij het improviseren, maar ook bij het instuderen en repeteren van een compositie, en vooral bij het samen zingen en spelen, is het een feest. Dat was het ook voor de prehistorische jager.

's Nachts om het vuur, toen het te donker en gevaarlijk was om nog langer in het echt te jagen, heeft de prehistorische mens de 'jacht' zingend, dansend en spelend beoefend, maar dan in een virtueel muziekuniversum. Hij heeft de ruimtelijke voorstelling en de auditieve en visuele perceptie van natuurlijke en biologische beweging getraind. Zonder zich in gevaar te begeven, heeft hij het treffen van een levend, bewegend muzikaal doel beoefend en de neurale voorspelling van de zintuiglijke consequenties van zijn eigen handelingen geperfectioneerd. En hij heeft de uitvoering en coördinatie van complexe doelgerichte handelingen, niet alleen vocaal en dansend, maar ook spelend op een stuk muziekgereedschap, vervolmaakt.



De prehistorische jager heeft in het muziekspel een veilige omgeving gevonden om vaardigheden die noodzakelijk waren om te overleven te beoefenen en om oplossingen te genereren voor uitdagingen in de sociale en fysieke omgeving. Het is daarom aannemelijk dat het volwassen beoefenen van het spelen met klank de mens evolutionair voordeel heeft opgeleverd, maar ook dat het beoefenen van de muziek voor de ontwikkeling en het functioneren van kinderen en volwassenen nog altijd van onschatbaar belang moet zijn. Een bewijs daarvan zou in het bestaan van transfereffecten gevonden kunnen worden. Die zijn er dan ook.

Muziek beoefenen leidt in het domein van de taal, bijvoorbeeld, tot verbeterde hersenstamrespons bij toonhoogte (Musacchia et al., 2007), tot betere waarneming van klinkers (Strait et al., 2009) en medeklinkers (Parbery-Clark et al., 2012), onder slechte akoestische omstandigheden (Parbery-Clark et al., 2009) en in een vreemde taal (Wong et al., 2007; Gottfried et al., 2004; Marques et al., 2007). Muziekbeoefening kan met betere woordherkenning (Francois et al., 2013) en leesvaardigheid (Anvari et al., 2002) worden geassocieerd en met een grotere woordenschat (Forgeard et al., 2008). Hoewel dergelijke transfereffecten tot de verbeelding van schoolbesturen spreken, is het raadzaam om te beseffen dat het grootste biologische voordeel van de muziekbeoefening waarschijnlijk niet in de bevordering van de resultaten van het taal- en rekenonderwijs ligt.

Muziek is spel. Maar biologisch gezien, geen spelletje. Het is mensens, zowel voor kind als volwassene. Een biologisch perspectief op de rol van muziek in de ontwikkeling en het functioneren van het kind leert ons niet alleen dat iedereen ‘muzikaal’ is (Honing, 2012), maar dat het ‘spelen’ van muziek belangrijk is. Het biedt een veilige omgeving om vaardigheden die later noodzakelijk zullen zijn om te overleven te beoefenen, en om

oplossingen te genereren voor uitdagingen in de sociale en fysieke omgeving (Bateson, 2014).

Dat geldt voor het fluiten, zingen en dansen, maar ook voor het bespelen van een muziekinstrument. Muziek moet je niet leren, je moet het spelen.

## LITERATUUR

Adams, R. A., Shipp, S., & Friston, K. J. (2013). Predictions not commands: active inference in the motor system. *Brain Structure and Function*, 218(3), 611-643.

Anvari, S. H., Trainor, L. J., Woodside, J., & Levy, B. A. (2002). Relations among musical skills, phonological processing, and early reading ability in preschool children. *Journal of experimental child psychology*, 83(2), 111-130.

Bateson, P. (2014). Play, playfulness, creativity and innovation. *Animal Behavior and Cognition*, 1(2), 99-112.

Beintema, J. A., & Lappe, M. (2002). Perception of biological motion without local image motion. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(8), 5661-5663.

Blake, R., & Shiffrar, M. (2007). Perception of human motion. *Annual Review of Psychology*, 58, 47-73.

Brown, D. E. (2004). Human universals, human nature & human culture. *Daedalus*, 133(4), 47-54.

Brown, R. M., Chen, J. L., Hollinger, A., Penhune, V. B., Palmer, C., & Zatorre, R. J. (2013). Repetition suppression in auditory–motor regions to pitch and temporal structure in music. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 25(2), 313-328.

Burghardt, G. M. (2014). A brief glimpse at the long evolutionary history of play. *Animal Behavior and Cognition*, 1(2), 90-98.

Calvin, W. H. (1993). The unitary hypothesis: A common neural circuitry for novel manipulations, language, plan-ahead, and throwing. In: Gibson, K.R. & Ingold, T. (Eds.), *Tools, Language, and Cognition in Human Evolution*. Cambridge University Press, Cambridge, 230-250.

Clark, A. (2013). Whatever next? Predictive brains, situated agents, and the future of cognitive science. *Behavioral and Brain Sciences*, 36(03), 181-204.

- Clarke, T. J., Bradshaw, M. F., Field, D. T., Hampson, S. E., & Rose, D. (2005). The perception of emotion from body movement in point-light displays of interpersonal dialogue. *Perception*, *34*(10), 1171-1180.
- Conard, N. J., Malina, M., & Münzel, S. C. (2009). New flutes document the earliest musical tradition in southwestern Germany. *Nature*, *460*(7256), 737-740.
- Cook, N. (1994). *A Guide to Musical Analysis*. Oxford University Press, Oxford.
- Corballis, M. C. (2003). From mouth to hand: gesture, speech, and the evolution of right-handedness. *Behavioral and Brain Sciences*, *26*(02), 199-208.
- Corballis, M. C. (2011). *The Recursive Mind: The Origins of Human Language, Thought, and Civilization*. Princeton University Press.
- Cupchik, G. C., Phillips, K., & Hill, D. S. (2001). Shared processes in spatial rotation and musical permutation. *Brain and Cognition*, *46*(3), 373-382.
- Dainow, E. (1977). Physical effects and motor responses to music. *Journal of Research in Music Education*, *25*(3), 211-221.
- Darwin, C. (1871). *The Descent of Man and Selection in Relation to Sex*.
- Deutsch, D., Henthorn, T., & Lapidis, R. (2011). Illusory transformation from speech to song. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *129*(4), 2245-2252.
- Ebner, T. J., & Pasalar, S. (2008). Cerebellum predicts the future motor state. *The Cerebellum*, *7*(4), 583-588.
- Evers, S., Dannert, J., Rödding, D., Rötter, G., & Ringelstein, E. B. (1999). The cerebral haemodynamics of music perception. *Brain*, *122*(1), 75-85.
- Fagen, R., & Fagen, J. (2009). Play behaviour and multi-year juvenile survival in free-ranging brown bears, *Ursus arctos*. *Evolutionary Ecology Research*, *11*(7), 1053-1067.
- Filimon, F. (2010). Human cortical control of hand movements: parietofrontal networks for reaching, grasping, and pointing. *The Neuroscientist*, *16*(4), 388-407.

- Finke, R. A., Freyd, J. J., & Shyi, G. C. (1986). Implied velocity and acceleration induce transformations of visual memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, *115*(2), 175-188.
- Finney, S., & Palmer, C. (2003). Auditory feedback and memory for music performance: sound evidence for an encoding effect. *Memory & Cognition*, *31*(1), 51-64.
- Forgeard, M., Winner, E., Norton, A., & Schlaug, G. (2008). Practicing a musical instrument in childhood is associated with enhanced verbal ability and nonverbal reasoning.
- Formisano, E., Kim, D. S., Di Salle, F., van de Moortele, P. F., Ugurbil, K., & Goebel, R. (2003). Mirror-symmetric tonotopic maps in human primary auditory cortex. *Neuron*, *40*(4), 859-869.
- Foster, N. E., & Zatorre, R. J. (2010). A role for the intraparietal sulcus in transforming musical pitch information. *Cerebral Cortex*, *20*(6), 1350-1359.
- Fraisse, P., Oléron, G., & Paillard, J. (1953). I. Les effets dynamogéniques de la musique. Étude expérimentale. *L'année Psychologique*, *53*(1), 1-34.
- François, C., Chobert, J., Besson, M., & Schön, D. (2013). Music training for the development of speech segmentation. *Cerebral Cortex*, *23*(9), 2038-2043.
- Friston, K. (2010). The free-energy principle: a unified brain theory?. *Nature Reviews Neuroscience*, *11*(2), 127-138.
- Gilbert, C. D., & Sigman, M. (2007). Brain states: top-down influences in sensory processing. *Neuron*, *54*(5), 677-696.
- Glowinski, D., Torres-Eliard, K., Chiorri, C., Camurri, A., & Grandjean, D. (2012). Can naïve observers distinguish a violinist's solo from an ensemble performance? A pilot study. In *Third international workshop on social behaviour in music at ACM ICMI*.
- Gordon, E.E. (1999). All about audiation and music aptitudes. *Music Educators Journal* *86*(2), 41-44.

Gottfried, T. L., Staby, A. M., & Ziemer, C. J. (2004). Musical experience and Mandarin tone discrimination and imitation. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 115(5), 2545.

Gould, S. J. (1991). Exaptation: A crucial tool for an evolutionary psychology. *Journal of Social Issues*, 47(3), 43-65.

Grafton, S. T., & Hamilton, A. F. D. C. (2007). Evidence for a distributed hierarchy of action representation in the brain. *Human movement science*, 26(4), 590-616.

Handreiking Muziekonderwijs 2020:

<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2014/10/24/handreiking-muziekonderwijs-2020>

Hardy, B. L., Bolus, M., & Conard, N. J. (2008). Hammer or crescent wrench? Stone-tool form and function in the Aurignacian of southwest Germany. *Journal of Human Evolution*, 54(5), 648-662.

Harris, I. M., & Miniussi, C. (2003). Parietal lobe contribution to mental rotation demonstrated with rTMS. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15(3), 315-323.

Harris, R., & de Jong, B. M. (2015). Differential parietal and temporal contributions to music perception in improvising and score-dependent musicians, an fMRI study. *Brain Research*, 1624, 253-264.

Hauser, M. D., & McDermott, J. (2003). The evolution of the music faculty: A comparative perspective. *Nature neuroscience*, 6(7), 663-668.

Helmholtz, H. (1866/1967). *Handbuch der Physiologischen Optik*. 12<sup>th</sup> edition. Hamburg: Voss.

Hewes, G. W., Andrew, R. J., Carini, L., Choe, H., Gardner, R. A., Kortlandt, A., Krantz, G.S., McBride, G., Nottebohm, F., Pfeiffer, J., Rumbaugh, D.G., Steklis, H.D., Raleigh, M.J., Stopa, R., Suzuki, A., Washburn, S.L., Wescott, R. W. (1973). Primate communication and the gestural origin of language. *Current Anthropology*, 14(1/2), 5-24.

- Honing, H. (2012). *Iedereen is Muzikaal: Wat we Weten over het Luisteren naar Muziek*. Wereldbibliotheek.
- Honing, H., Merchant, H., Háden, G. P., Prado, L., & Bartolo, R. (2012). Rhesus monkeys (*Macaca mulatta*) detect rhythmic groups in music, but not the beat. *PLoS ONE* 7(12): e51369. doi:10.1371/journal.pone.0051369.
- Hubbard, T. L., & Bharucha, J. J. (1988). Judged displacement in apparent vertical and horizontal motion. *Perception & Psychophysics*, 44(3), 211-221.
- Hubbard, T. L. (1996). Representational momentum, centripetal force, and curvilinear impetus. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22(4), 1049-1060.
- Huron, D. B. (2006). *Sweet Anticipation: Music and the Psychology of Expectation*. MIT Press, Cambridge, MA.
- Johansson, G. (1973). Visual perception of biological motion and a model for its analysis. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 14(2), 201-211.
- Johnson-Frey, S. H., Newman-Norlund, R., & Grafton, S. T. (2005). A distributed left hemisphere network active during planning of everyday tool use skills. *Cerebral Cortex*, 15(6), 681-695.
- Kimura, D. (1973). Manual activity during speaking—I. Right-handers. *Neuropsychologia*, 11(1), 45-50.
- Klein, R. G. (2009). Darwin and the recent African origin of modern humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(38), 16007-16009.
- Knecht, S., Dräger, B., Deppe, M., Bobe, L., Lohmann, H., Flöel, A., Ringelstein, E.-B. & Henningsen, H. (2000). Handedness and hemispheric language dominance in healthy humans. *Brain*, 123(12), 2512-2518.

- Kohler, E., Keysers, C., Umiltá, M. A., Fogassi, L., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (2002). Hearing sounds, understanding actions: action representation in mirror neurons. *Science*, 297(5582), 846-848.
- Kuczaj, S. A., Makecha, R., Trone, M., Paulos, R. D., & Ramos, J. A. (2006). Role of peers in cultural innovation and cultural transmission: evidence from the play of dolphin calves. *International Journal of Comparative Psychology*, 19(2).
- Lerdahl, F. & Jackendoff, R. S. (1983). *A Generative Theory of Tonal Music*. MIT Press, Cambridge, MA.
- Levitin, D. J. (1994). Absolute memory for musical pitch: evidence from the production of learned melodies. *Perception & Psychophysics*, 56(4), 414-423.
- Lewis, J. W., Brefczynski, J. A., Phinney, R. E., Janik, J. J., & DeYoe, E. A. (2005). Distinct cortical pathways for processing tool versus animal sounds. *The Journal of Neuroscience*, 25(21), 5148-5158.
- Lewis, J. W. (2006). Cortical networks related to human use of tools. *The Neuroscientist*, 12(3), 211-231.
- Lidji, P., Kolinsky, R., Lochy, A., and Morais, J. (2007). Spatial associations for musical stimuli: a piano in the head?. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33(5), 1189- 1207.
- Loula, F., Prasad, S., Harber, K., & Shiffrar, M. (2005). Recognizing people from their movement. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31(1), 210.
- Maess, B., Koelsch, S., Gunter, T. C., & Friederici, A. D. (2001). Musical syntax is processed in Broca's area: an MEG study. *Nature Neuroscience*, 4(5), 540-545.



- Maravita, A., Husain, M., Clarke, K., & Driver, J. (2001). Reaching with a tool extends visual–tactile interactions into far space: Evidence from cross-modal extinction. *Neuropsychologia*, *39*(6), 580-585.
- Marques, C., Moreno, S., Castro, S. L., & Besson, M. (2007). Musicians detect pitch violation in a foreign language better than nonmusicians: behavioral and electrophysiological evidence. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *19*(9), 1453-1463.
- Mather, G., & West, S. (1993). Recognition of animal locomotion from dynamic point-light displays. *Perception*, *22*, 759-759.
- McDermott, J. H., & Oxenham, A. J. (2008). Music perception, pitch, and the auditory system. *Current Opinion in Neurobiology*, *18*(4), 452-463.
- Meyer, L.B. (1956). *Emotion and Meaning in Music*. The University of Chicago Press, Chicago.
- Mudd, S. A. (1963). Spatial stereotypes of four dimensions of pure tone. *Journal of Experimental Psychology*, *66*(4), 347-352.
- Musacchia, G., Sams, M., Skoe, E., & Kraus, N. (2007). Musicians have enhanced subcortical auditory and audiovisual processing of speech and music. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *104*(40), 15894-15898.
- Novembre, G., & Keller, P. E. (2011). A grammar of action generates predictions in skilled musicians. *Consciousness and Cognition*, *20*(4), 1232-1243.
- Osvath, M. (2009). Spontaneous planning for future stone throwing by a male chimpanzee. *Current Biology*, *19*(5), R190-R191.
- Parbery-Clark, A., Skoe, E., & Kraus, N. (2009). Musical experience limits the degradative effects of background noise on the neural processing of sound. *The Journal of Neuroscience*, *29*(45), 14100-14107.

- Parbery-Clark, A., Tierney, A., Strait, D. L., & Kraus, N. (2012). Musicians have fine-tuned neural distinction of speech syllables. *Neuroscience*, *219*, 111-119.
- Patel, A. D., Iversen, J. R., Chen, Y., & Repp, B. H. (2005). The influence of metricality and modality on synchronization with a beat. *Experimental Brain Research*, *163*(2), 226-238.
- Pinker, S. (1997). *How the Mind Works*. Norton, New York.
- Plantinga, J., & Trainor, L. J. (2005). Memory for melody: Infants use a relative pitch code. *Cognition*, *98*(1), 1-11.
- Plantinga, J., & Trainor, L. J. (2009). Melody recognition by two-month-old infants. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *125*(2), EL58-EL62.
- Pratt, C. C. (1930). The spatial character of high and low tones. *Journal of Experimental Psychology*, *13*(3), 278.
- Profita, J., Bidder, T. G., Optiz, J. M., & Reynolds, J. F. (1988). Perfect pitch. *American Journal of Medical Genetics*, *29*(4), 763-771.
- Pulvermüller, F., & Fadiga, L. (2010). Active perception: sensorimotor circuits as a cortical basis for language. *Nature Reviews Neuroscience*, *11*(5), 351-360.
- Rauschecker, J. P., 2014. Is there a tape recorder in your head? How the brain stores and retrieves musical melodies. *Frontiers in Systems Neuroscience*, *8*:149. doi: 10.3389/fnsys.2014.00149.
- Raymond, A. (1986). Experiments in the function and performance of the weighted Atlatl. *World Archaeology*, *18*(2), 153-177.
- Reed, C. L., & Vinson, N. G. (1996). Conceptual effects on representational momentum. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *22*(4), 839-850.
- Reitsma, O., van Gerwen, R. & de Munck, M. (2014). *Muziek Ervaren: Essays over Muziek en Filosofie*. Damon, Budel.

- Remez, R. E., Rubin, P. E., Pisoni, D. B., & Carrell, T. D. (1981). Speech perception without traditional speech cues. *Science*, *212*(4497), 947-949.
- Repp, B. H. (1999a). Control of expressive and metronomic timing in pianists. *Journal of Motor Behavior*, *31*(2), 145-164.
- Repp, B. H. (1999b). Effects of auditory feedback deprivation on expressive piano performance. *Music Perception*, *16*(4), 409-438.
- Repp, B. H., & Knoblich, G. (2004). Perceiving action identity how pianists recognize their own performances. *Psychological Science*, *15*(9), 604-609.
- Repp, B. H., & Penel, A. (2004). Rhythmic movement is attracted more strongly to auditory than to visual rhythms. *Psychological Research*, *68*(4), 252-270.
- Roach, N. T., Venkadesan, M., Rainbow, M. J., & Lieberman, D. E. (2013). Elastic energy storage in the shoulder and the evolution of high-speed throwing in Homo. *Nature*, *498*(7455), 483-486.
- Roffler, S. K., & Butler, R. A. (1968). Localization of tonal stimuli in the vertical plane. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *43*(6), 1260-1266.
- Rosen, C. (1971). *The Classical Style: Haydn, Beethoven, Mozart*. Faber & Faber, London.
- Rusconi, E., Kwan, B., Giordano, B. L., Umiltá, C., and Butterworth, B. (2006). Spatial representation of pitch height: the SMARC effect. *Cognition*, *99*(2), 113-129.
- Sági, M., & Vitányi, I. (1988). Experimental research into musical generative ability. In: Sloboda, J. (Ed.), *Generative Processes in Music: The Psychology of Performance, Improvisation and Composition*, Clarendon Press, Oxford, 179-194.
- Sammler, D., Novembre, G., Koelsch, S., & Keller, P. E. (2013). Syntax in a pianist's hand: ERP signatures of “embodied” syntax processing in music. *Cortex*, *49*(5), 1325-1339.
- Schellenberg, E. G., & Trehub, S. E. (2003). Good pitch memory is widespread. *Psychological Science*, *14*(3), 262-266.

- Schmidt, J. H., Pedersen, E. R., Juhl, P. M., Christensen-Dalsgaard, J., Andersen, T. D., Poulsen, T., & Bælum, J. (2011). Sound exposure of symphony orchestra musicians. *Annals of Occupational Hygiene*, 55(8), 893-905.
- Stephoe, A. (1989). Stress, coping and stage fright in professional musicians. *Psychology of Music*, 17(1), 3-11.
- Stewart, L., Walsh, V., and Frith, U. (2004). Reading music modifies spatial mapping in pianists. *Perception and Psychophysics*, 66(2), 183-195.
- Strait, D. L., Kraus, N., Skoe, E., & Ashley, R. (2009). Musical experience and neural efficiency—effects of training on subcortical processing of vocal expressions of emotion. *European Journal of Neuroscience*, 29(3), 661-668.
- Taylor, J. E. T., Witt, J. K., 2015. Listening to music primes space: pianists, but not novices, simulate heard actions. *Psychological Research*, 79(2), 175-182.
- Tierney, A., Dick, F., Deutsch, D., & Sereno, M. (2013). Speech versus song: multiple pitch-sensitive areas revealed by a naturally occurring musical illusion. *Cerebral Cortex*, 23(2), 249-254.
- Todd, N. P. M., Cody, F. W., & Banks, J. R. (2000). A saccular origin of frequency tuning in myogenic vestibular evoked potentials?: implications for human responses to loud sounds. *Hearing Research*, 141(1), 180-188.
- Troje, N. F. (2002). Decomposing biological motion: A framework for analysis and synthesis of human gait patterns. *Journal of Vision*, 2(5), 2.
- van Kemenade, J. F., van Son, M. J., & van Heesch, N. C. (1995). Performance anxiety among professional musicians in symphonic orchestras: a self-report study. *Psychological Reports*, 77(2), 555-562.
- van Lawick-Goodall, J. (1970). Tool-use in primates and other vertebrates. *Advances in the Study of Behavior*, 3, 195-249.

- Villa, P., & Lenoir, M. (2006). Hunting weapons of the Middle Stone Age and the Middle Palaeolithic: spear points from Sibudu, Rose Cottage and Bouheben. *Southern African Humanities*, 18(1), 89-122.
- Wallin, N. L., & Merker, B. (Eds.) (2001). *The Origins of Music*. MIT Press, Cambridge, MA.
- Winkler, I., Háden, G. P., Ladinig, O., Sziller, I., & Honing, H. (2009). Newborn infants detect the beat in music. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(7), 2468-2471.
- Wong, P. C., Skoe, E., Russo, N. M., Dees, T., & Kraus, N. (2007). Musical experience shapes human brainstem encoding of linguistic pitch patterns. *Nature neuroscience*, 10(4), 420-422.
- Zago, M., & Lacquaniti, F. (2005). Visual perception and interception of falling objects: a review of evidence for an internal model of gravity. *Journal of Neural Engineering*, 2(3), S198.
- Zamm, A., Schlaug, G., Eagleman, D. M., & Loui, P. (2013). Pathways to seeing music: Enhanced structural connectivity in colored-music synesthesia. *NeuroImage*, 74, 359-366.
- Zatorre, R. J., Chen, J. L., & Penhune, V. B. (2007). When the brain plays music: auditory–motor interactions in music perception and production. *Nature Reviews Neuroscience*, 8(7), 547-558.
- Zatorre, R. J., Halpern, A. R., & Bouffard, M. (2010). Mental reversal of imagined melodies: a role for the posterior parietal cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22(4), 775-789.
- Zilhão, J., & d'Errico, F. (2003). The chronology of the Aurignacian and Transitional technocomplexes. Where do we stand. In: *The chronology of the Aurignacian and of the transitional technocomplexes: dating, stratigraphies, cultural implications. Proceedings of Symposium* (Vol. 6, pp. 2-8).