

MUSIKKENS SPROG

Peter Vuust

Musik er ofte blevet kaldt for et universelt sprog, men i hvor høj grad er sprog og musik analoge? Med udgangspunkt i målinger af hjerneaktiviteten hos musikere og ikke-musikere med EEG (elektroencefalografi) og MEG (magnetisk encefalografi), handler denne artikel om, hvorvidt hjernens aktivitet i forbindelse med musik og sprog kan sammenlignes, og hvad denne indsigt i givet fald fører med sig. Det sandsynliggøres, at den højere kognitive bearbejdning af musik og sprog delvist har samme neurale fundament – for musikere i særdeleshed.

1. Introduktion***Musik og sprog***

Musik spiller en væsentlig rolle i alle kendte kulturelle og sociale fællesskaber, og selvom variationen i musikalsk udtryk fra Bachs cellosuiter over John Coltranes modaljazz til balinesisk gamelan musik er imponerende, er evnen til at kommunikere gennem musik almen menneskelig. Netop derfor er et af de oftest stillede spørgsmål, hvorvidt musik kan sammenlignes med et sprog? En jazzmusiker vil som regel svare bekræftende til dette spørgsmål uden nødvendigvis at kunne definere hvorfor, men følelsen af at kommunikere uden ord er for mange musikere netop det, der gør musik værd at beskæftige sig med. Med afsæt i den nyeste kognitive hjerneforskning og fundamentale musikteoretiske problemstillinger handler denne artikel om, i hvor høj grad hjernens aktivitet i forbindelse med musik og sprog kan sammenlignes, og hvad denne indsigt i givet fald fører med sig.

Jeg vil først med udgangspunkt i et helt nyt forsøg (Leino, Brattico, Tervaniemi & Vuust, 2007), som vi foretog med EEG (elektroencefalografi), kaste et kritisk blik på den gren af den neurokognitive forskning, der påviser kognitive moduler for behandling af musikalsk syntaks og semantik i hjernen (se Koelsch 2005 for en sammenfatning). Dernæst behandler jeg hjernens bearbejdning af kommunikative, rytmiske virkemidler i moderne jazz, eksemplificeret ved studier af polyrytmik, foretaget med MEG (magne-

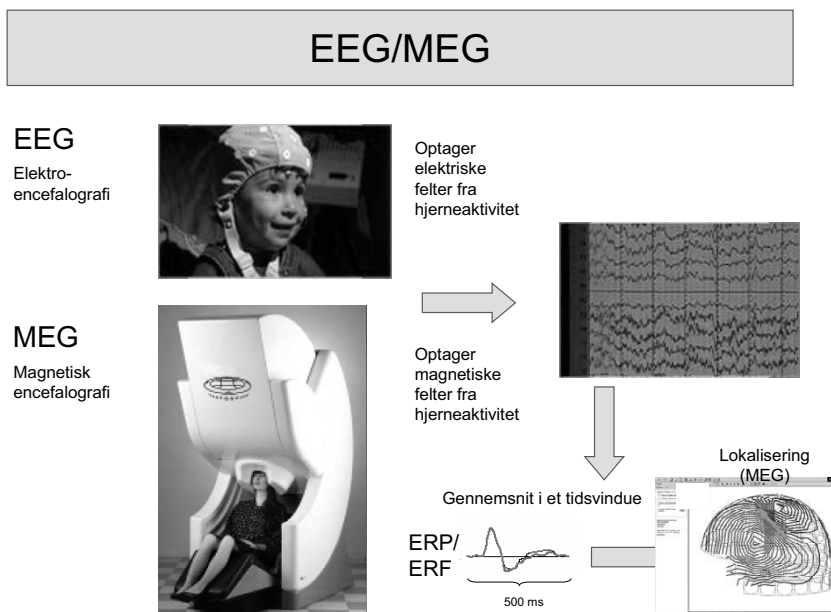
tisk encefalografi). Til sidst diskuterer jeg denne forskning i relation til den såkaldte transfer-effekt – musikkens mulige indflydelse på andre kognitive egenskaber.

Metoden: »Event-related potentials« målt med EEG/MEG

Før vi går i gang, er det nok en god idé at introducere den måde, vi måler hjernens aktivitet på (figur 1). Når tilstrækkeligt mange neuroner i hjernen er aktive på samme tid, resulterer det i en lille elektrisk strøm, som kan måles ved brug af elektroder, der placeres på hjerneskallen (EEG). Dette resulterer i hjernebølger, der går op og ned, i komplicerede mønstre der, selvom de har været studeret i årtier, langt fra er fuldt forstået. Den mest almindelige måde at analysere disse mønstre på er igennem de såkaldte »event-related potentials« (ERP), der kobler hjerneaktiviteten til en tidsbestemt begivenhed. På grund af det høje støjniveau, der er på de rå hjernebølger, er man nødt til at tage middelværdien over mange gentagelser af stimulus – typisk mere end hundrede gentagelser. Herigennem opstår pæne kurver (ERP), der kan fortælle os om hjernens aktivitet i forbindelse med begivenheden med en stor tidlig præcision (~1 millisekund (ms.)). De forskellige toppe på hjernebølgerne benævnes N1, N2, N3 etc. (for de negative udsving), P1, P2, P3 etc. (for de positive udsving). Ind imellem ses også betegnelserne N100, P300 etc., som indikerer polarisering og tidsforløb. P300 er fx et positivt udslag, som udløses ca. 300 ms. efter at begivenheden er indtruffet. Hertil kommer en række andre udslag på ERP-kurverne, som vi skal komme ind på senere bl.a. MMN (mismatch negativity) og ERAN (early right anterior negativity).

ERP-metoden har visse fortrin frem for andre hjerneskaningsmetoder. Den er som nævnt meget præcis tidsligt og kan bruges til at studere hjerneaktivitet til tidsbestemte begivenheder, uden at forsøgspersonerne på anden måde responderer end sig er opmærksomme på stimulus. Ulemperne er nødvendigheden af at midle over mange gentagelser og forsøgspersoner samt for EEGs vedkommende en forholdsvis ringe information om aktivitetens lokalisering i hjernen. Denne præcision kan dog forbedres ved brug af en MEG-skanner, der har samme fine tidsopløsning som EEG, men samtidig er i stand til at lokalisere responserne med en rumlig opløsning, som er mindre end 1 cm.

Desuden er ERP-metoden non-invasiv, hvilket betyder, at der ikke er etiske problemer forbundet med at anvende den, og samtidig helt lydløs, hvilket har gjort den til den foretrukne metode til undersøgelse af hjernens bearbejdning af auditive stimuli som sprog og i særdeleshed musik.



Figur 1: EEG/MEG optagelser af hjernens aktivitet. EEG optager den elektriske aktivitet (ERP: event-related potentials) gennem elektroder på hjerneskallen, MEG optager magnetiske felter, ERF (event-related fields) gennem superledere, der er placeret i en hjelm. I begge tilfælde kan aktiviteten tidsbestemmes præcist (~1 ms). Med MEG kan man endvidere lokalisere aktiviteten temmelig præcist i hjernen.

Musik og sprog i hjernen

Indtil for nylig har en del hjerneforskere været af den opfattelse, at musik og sprog udgør separate moduler i hjernen med tilhørende undermoduler, der behandler forskellige musikalske og sproglige delelementer (Peretz & Coltheart, 2003). For musiks vedkommende skelner man ifølge denne forståelse mellem bearbejdning af den temporale organisering, dvs. rytmik og metrik og bearbejdning af musiks tonale organisering, dvs. bearbejdning af intervaller, musikalsk kontur og klangfarve. Opfattelsen af musik og sprog som værende adskilte er først og fremmest baseret på studier af personer med hjerneskader, hvor man kan vise en dobbelt dissociation mellem musik og sprog, dvs. tilstedeværelsen af den ene egenskab i fravær af den anden og vice versa. Dette har bl.a. vist sig i forbindelse med bearbejdning af tonale strukturer, hvor der findes adskillige eksempler på personer med manglende musikalsk sans men med intakt sprogforståelse, ligesom der også findes eksempler på mennesker med store sproglige vanskeligheder men intakte musikalske færdigheder (Ayotte *et al.* 2000; Liegeois-Chauvel *et al.* 1998;

Mendez, 2001; Peretz *et al.* 2002; Peretz & Coltheart, 2003; Peretz *et al.*, 1994).

Denne forskning er præget af en grundlæggende hypotese om, at musik først og fremmest behandles i højre hjernehalvdel, hvorimod sprog behandles i venstre. Det støttes af en velunderbygget teori om, at den primære hørebarhed i den venstre hjernehalvdel er specielt indrettet til bearbejdning af temporal information, som er den væsentligste forudsætning for sprogforståelse, hvorimod den højre skulle være specialiseret til bearbejdning af spektral information, som er en forudsætning for opfattelse af tonehøjde og dermed musik (Zatorre, 1998; Zatorre & Belin, 2001; Zatorre *et al.*, 2002). På det seneste er der dog i takt med de nye tekniske muligheder, som moderne skanningsmetoder tilbyder, fremkommet en del resultater og heraf følgende teorier om, hvordan hjernen behandler musik, der om ikke modsiges, så nuancerer den meget skarpe, modulære opdeling mellem sprog og musik og i særdeleshed gør op med forestillingen om musik som tilhørende højre hjernehalvdel (Altenmüller, 2001).

De to forsøg, som jeg i det følgende vil fokusere på, er begge en del af denne forskning, som udvider vores viden om de neurale forudsætninger for musikalsk perception, kognition og læring. Forudsætningen for det mere nuancerede blik, som vi har fået på musikalsk kognition, er, at man i stigende grad er blevet opmærksom på forskellige faktorer, der determinerer hjernerens respons i forbindelse med musikopfattelse. Forsøgene er således eksempler på, hvordan forskellige manipulationer af faktorerne stimulus, forsøgsopgave og forsøgspersoner er helt afgørende for vores bearbejdning af musik, og hvordan hjernens bearbejdning af musik og sprog i visse tilfælde overlapper.

De ovennævnte studier, der støtter en meget skarp opdeling af hjernemoduler for musik og sprog, er for hovedpartens vedkommende læsionsstudier, dvs. studier af personer med kognitive vanskeligheder. Selvom læsionsstudier giver værdifuld information om hjernens funktioner, har de den svaghed, at de kun giver information om hvilke hjerneområder, der er nødvendige for en given opgave/processering, men ikke om hvilke områder der er tilstrækkelige. Med andre ord kan vi hos en person med en hjerneskade i et bestemt område og en medfølgende kognitiv begrænsning konkludere, at det pågældende område indgår i det netværk af hjerneområder, der foretager den givne bearbejdning, men vi opnår ingen information om hvilke andre områder, der yderligere er indblandet i bearbejdningen, og heller ikke hvordan modulerne i givet fald arbejder sammen. Man kan derfor forestille sig, at læsioner i områder, der er nødvendige for en meget basal bearbejdning af fx tonehøjde, vil stoppe al viderebearbejdning af musik, men ikke have stor indflydelse på sprogsansen. Det betyder dog ikke nødvendigvis, at der på et højere kognitivt niveau ikke kan være overlap mellem den neurale aktivitet i forbindelse med sprog og musik.

Netop denne hypotese har været omdrejningspunktet for de elektrofysiske studier, som har været foretaget af den musikkognitive gruppe ved Max Planck instituttet i Leipzig ledet af Stefan Koelsch. De har i en årrække undersøgt det neurale fundament for den menneskelige oplevelse af musikalsk syntaks og semantik og som deres væsentligste resultat fundet en sammenhæng mellem hjernerens respons i forbindelse med sproglige og musikalske syntaksfejl. Da dette udgør et afgørende brud med forestillingen om musik og sprog som adskilte systemer i hjernen, og der stadig er uafklarede spørgsmål i forbindelse med forsøgsparadigmet, har vi foretaget et forsøg, der uddyber den kognitive natur af dette resultat (Leino *et al.*, 2007).

2. Repræsentation af musikalsk syntaks i hjernen

Musikalsk syntaks

Hugo Riemann etablerede i sin bog om harmonik fra 1877 (Riemann, 1877) begrebet musikalsk syntaks, som ofte siden har været brugt til at beskrive den regelmæssighed eller forventningsstruktur, der opbygges i bevægelsen mellem musikalske modsætningspar. Funktionsharmonisk kan dette eksemplificeres ved modsætningen mellem tonika og dominant (se også fx Lerdahl & Jackendoff, 1999; Patel, 2003; Sloboda, 1985). I den tonale kadence (se figur 2), skaber de første 4 akkorder en stærk forventning om opløsning til tonika – en forventning, som er maksimal på sidste akkord før tonika, dominanten. Denne hierarkiske struktur, i hvilken tonika og dominanten udgør to yderpunkter og subdominanten en mellemposition mellem de to, er i denne forståelse et eksempel på musikalsk syntaks.

Position	1	2	3	4	5	6	7
Standard	T	D	T	T3	S	D	T
Neapolitaner			Sn		Sn		Sn
Falsk akkord			Mt		Mt		Mt

Figur 2: Akkordprogressioner i forbindelse med eksperiment 1. T = tonika, T3 = tonika i første omvendning, S = subdominant, D = dominant, Sn = neapolitansk subdominant, Mt = standardakkord, i hvilken kvinten er stemt ca. en kvart tone op.

Bemærk, at akkordprogressionen svarer til den tonale kadence fra position 3 til 7.

Inspireret af en serie sprogforsøg (Friederici, 1998; Friederici *et al.*, 2000a; Friederici *et al.*, 2000b), udviklede Koelsch et paradigme, i hvilket han brød denne musikalske forventning forskellige steder i den tonale kadence. I det paradigme placeres en neapolitansk subdominant på henholdsvis tonikas og subdominants plads i kadencen, samtidig med at man måler forsøgspersonernes EEG/MEG (Koelsch *et al.*, 2000; Maess *et al.*, 2001). På denne

måde kan man med stor tidslig præcision (~1ms) måle hjernens respons til brud på den musikalske syntaks. Paradigmet giver samtidig mulighed for at sammenligne syntaks-brud af forskellig styrke.

Ifølge klassisk funktionsharmonik og musiktradition opfattes den neapolitanske subdominant som et stærkere brud på den musikalske forventning på tonikas plads, end når den står som erstatning for subdominanten. Neapolitaneren er en mol-subdominant med en forstørret kvint og har en stærk tendens til opløsning til dominant-akkorden med delvist kromatisk stemmeføring. Derfor har den historisk været brugt som substitution for subdominanten, hvorimod den traditionelt ikke høres efter dominant-akkorden, som har en stærk affinitet mod tonika. Når den neapolitanske subdominant derfor placeres på subdominantens plads, opfattes det som et moderat, næsten behageligt, brud på den musikalske syntaks, hvorimod placeringen af samme akkord på tonikas plads lyder direkte forkert.

Når man måler forsøgspersoners EEG, samtidig med at de lytter til disse kadencer med indlagte syntaksbrud, finder man et udslag i hjernebølgerne («event-related potential» eller ERP), som er kraftigst ca. 150-250 ms efter syntaks-bruddet. Responsen kan lokaliseres til pars opercularis i Brocas område, et område i den venstre frontale del af hjernen, og det tilsvarende område i den højre hjernehalvdel. Dette udslag i hjernebølgerne blev døbt ERAN (early right anterior negativity) Med andre ord udløser et brud på den harmoniske syntaks en strøm i hjernen efter ca. 2/10 s. Denne hjerneaktivitet var kraftigst, når den neapolitanske subdominant substituerede tonika i modsætning til subdominanten, svarende til den musikteoretiske og oplevelsesmæssige forskel på neapolitaneren i de to funktioner. Dette sker hos helt almindelige mennesker uden formel musikalsk baggrund.

Brocas område (og dets højre homologe område) bliver normalt regnet for et sprogområde, og pars opercularis (den inferiore del af Brodmann område 44 (BA44)) menes at være specialiseret for hurtig, automatisk syntaktisk processering (Caplan *et al.*, 1998; Dapretto & Bookheimer, 1999; Friederici, 1998). Brud på den sproglige syntaks udløser en ERP kaldet en early left anterior negativity (ELAN), lokaliseret i BA44. Koelsch konkluderede, at Brocas område spiller en afgørende rolle for hjernens automatiske bearbejdning af syntaks, både hvad angår sprog og musik, med den lille forskel at den højre hjernehalvdel dominerer, når det drejer sig om musik (ERAN), i modsætning til bearbejdningen af sproglig syntaks, der fortrinsvis foregår i den venstre hjernehalvdel (ELAN).

Denne tilsyneladende overensstemmelse mellem hjerneaktiviteten i forbindelse med bearbejdningen af brud på den sproglige og musikalske forventning på et højt kognitivt niveau blev af Koelsch taget som et argument for i det hele taget at tale om en musikalsk syntaks i forbindelse med funktionsharmonik.

I det følgende skal vi foretage en kritisk eksperimentel undersøgelse af og specificering af validiteten i denne påstand. Vi vil forfølge tre hovedspørgsmål:

- 1) Er hjerneaktiviteten i forbindelse med de harmoniske forventningsbrud (ERANen) afgørende forbundet til den harmoniske hierarkiske struktur, dvs. en højere form for processering, eller kunne den blot være en almen fejlmeddelelse, der sker i forbindelse med brud på den sensoriske forventning?
- 2) Kan brud på »rytmisk« forventning udløse en ERAN? (er der også en rytmisk syntaks)?
- 3) Er den musikalske hjerneprocessering virkelig højresidig?

Mismatch Negativity (MMN)

Før jeg forklarer, hvad det første eksperiment går ud på, er jeg nødt til at introducere et særligt udslag på hjernebølgerne, den såkaldte MMN (mismatch negativity) som ses ca. 100-200 ms. efter en auditiv begivenhed (Naatanen *et al.*, 2001). Man skal forestille sig urmennesket på jagt i junglen. Der har været et inferno af forskellige lyde fra dyr, fugle, vinden i bladene, vandet i floden og meget andet. At kunne udskille lyden af en kvist, der knækker under foden på et stort kattedyr, fra dette lydtafet, har været afgørende for menneskets overlevelse og hermed en vital udfordring for det auditive system. MMN optræder i forbindelse med brud på auditive mønstre som et negativt udslag i hjernebølgerne. Den kan lokaliseres til den primære hørebarke i tindingelappen, men har som regel også en frontal komponent. MMN anses for at være en ubevidst bearbejdning med det formål at skanne de auditive omgivelser for afvigelser, der kan være af overlevelsesmæssig betydning for mennesket. MMN udløses, selv når man ikke er auditivt opmærksom. Den ses i forbindelse med afvigelser fra et gentaget aspekt af den auditive stimulation helt klassisk ved afvigelser i tonehøjde (Naatanen, 1992).

MMN er således en fejlmeddelelse med polarisering (negativ) og timing svarende til ERAN, men anses for at være sensorisk betinget og dermed på et lavere kognitivt niveau end den højere kognitive, hierarkiske processering, som betinger ERAN.

Repræsentation af det harmoniske hierarki i hjernen

Koeslchs argumentation for eksistensen af en musikalsk syntaks er specielt afhængig af tre forhold:

- 1) at ERAN kan lokaliseres til Brocas område,
- 2) at ERAN kan adskilles fra en sensorisk betinget fejlmeddelelse, hvilket giver anledning til en »mismatch negativity« (MMN), og
- 3) at amplituden af ERAN er større for neapolitaneren som substitution for tonika end for subdominanten.

I forbindelse med det sidste punkt er der en mulig fejlkilde i Koelschs forsøg. I Koelschs paradigme sammenlignes hjernerens responsen til et forventningsbrud på kadencens afsluttende tonika med et tilsvarende forventningsbrud, der sker tidligere i kadencen, på subdominantens plads. Da man gentager forsøget flere hundrede gange i konstant skiftende tonearter og derefter beregner middelværdien af de samlede hjernerensponser, er det muligt, at den observerede forskel i størrelsen af ERAN i de to positioner skyldes, at man i den sene tonika-position, i modsætning til den tidligere subdominant-position, har opnået en stærkere fornemmelse af tonearten, og at neapolitaneren, som indeholder to toneartsfremmede toner, derfor opfattes som en kraftigere afvigelse fra tonearten. Den tilsyneladende musikteoretisk funderede hierarkiske ERAN udløst af den neapolitanske subdominant kunne med andre ord være et resultat af en sensorisk primingseffekt mere end et udtryk for en højere kognitiv processing.

Eksperiment 1

Vi foretog et eksperiment, der skulle afprøve

- 1) hvorvidt den fundne ERAN, virkelig var et udslag af en hierarkisk repræsentation af den harmoniske syntaks, og
- 2) om der er forskel på en ERAN og en sensorisk betinget fejlmeddelelse (MMN).

10 forsøgspersoner lyttede til en harmonisk akkordprogression (figur 2) med 7 akkorder i stedet for Koelschs oprindelige 5. Som udgangspunkt er denne sekvens en lille variation af den tonale kadence, hvor der i position 3 og 7 er placeret en tonika, mens der i position 5 findes en subdominant. Udover standardsekvensen lyttede forsøgspersonerne til variationer af denne, i hvilke akkorderne i en af de tre positioner (3, 5 og 7) var substitueret med en neapolitaner eller en ustemt/falsk akkord (med en kvart tone for høj kvint). Samtidig målte vi forsøgspersonernes EEG.

Funktionsharmonisk skulle neapolitaneren være mere passende i position 5, som substitution for subdominanten end i position 3 og 7, hvor den substituerede tonika. Vi kunne derfor med dette paradigme anslå den neurale effekt af brud på den harmoniske forventning med forskellige grader af etableret grundtonalitet. Hvis ERAN er et udtryk for eksistensen af en musikalsk syntaks og ikke kun en sensorisk tilvænning til tonearten skulle dens amplitude være større i både position 3 og 7 end i position 5.

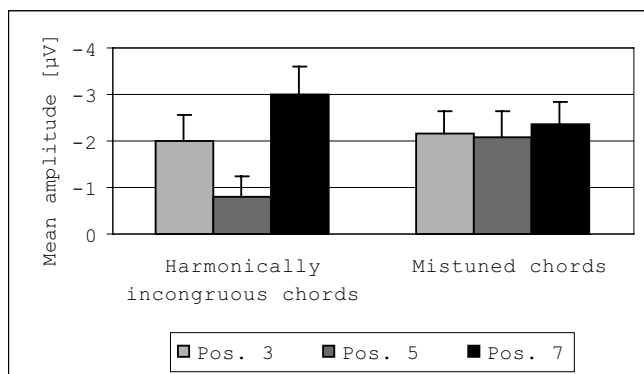
Paradigmet gav endvidere mulighed for at adskille den sensorisk betingede MMN fra den mere kognitive ERAN. Den ustemte akkord i vores paradigme skulle give anledning til en MMN, som ifølge Koelschs teori både amplitudemæssigt og lokaliseringmæssigt skulle afvige fra ERAN, fremkaldt af den neapolitanske subdominant.

Resultaterne af databehandlingen viste statistisk signifikante ERP-responser til både neapolitanske subdominanter og ustemte akkorder (figur 3, $p < .05$).

Der var ingen forskel på gennemsnittet af amplituden af ERAN og MMN. Til gengæld varierede ERAN-amplituden i forhold til positionen i kadencen. Den var større i position 3 ($p < .05$) og i position 7 ($p < .01$) end i position 5, hvorimod MMN-amplituden ikke varierede i forhold til placering af den ustemte akkord i kadencen. Et interessant fund var, at ERAN-amplituden i position 7 tenderede til at være større end i position 3 ($p = .09$).

Hjernerespensen, indekseret ved henholdsvis ERAN og MMN, udløstes ca 200 ms efter neapolitaneren/den ustemte akkord, og var gennemsnitligt 34 ms senere for den ustemte akkords vedkommende.

Overraskende fandt vi ingen signifikante forskelle i lokalisering af MMN og ERAN, og vi fandt heller ikke den højresidige dominans af hverken MMN- eller ERAN-signalet, som før har været vist.



Figur 3: Størrelsen af den neurale respons (ERAN/MMN-amplituden i μV) til harmonisk inkongruente akkorder (neapolitanske subdominanter) og falske akkorder (Mt) placeret på forskellige pladser i kadencen (se figur 2).

Konklusioner af eksperiment 1

Forsøget viser, at de hjerneprocesser, der ligger til grund for den menneskelige perception af den hierarkiske organisering af harmonier, indekseres af ERAN og grundlæggende adskiller sig fra den mere sensoriske betingede MMN, både hvad angår amplitude og timing (se også Koelsch *et al.*, 2001). Vores forsøg fastslår derfor endeligt, at det giver mening at tale om en musikalsk syntaks og en bearbejdning af denne på et højere kognitivt niveau end den sensoriske bearbejdning, som MMN er et udtryk for, og at den kan indekseres af ERAN. Idet samtlige forsøgspersoner var ikke-musikere, tyder forsøget endvidere på, at denne neurale repræsentation af den musikalske syntaks, er en alment menneskelig egenskab.

Den processering, som ERAN er et udtryk for, kan siges at være på et højere niveau end MMN, idet den afspejler en repræsentation i hjernen af

det komplekse system, som funktionsharmonikken udgør. Vore data giver dog også anledning til visse forbehold og en nuancering af disse konklusioner, i forbindelse med lokaliseringen af hjerneaktiviteten. For det første fandt vi ingen forskel mellem lokaliseringen af MMN og ERAN. Dette strider mod andre fund (Alho, 1995; Alho *et al.*, 1996; Naatanen, 1995), som viser, at MMN fortrinsvist genereres i den primære hørebar, som har sæde i tindingelappen, hvorimod ERAN ifølge litteraturen genereres en smule længere fremme hjernen i Brocas område, i frontallappen (Maess *et al.*, 2001; Tillmann *et al.*, 2006). Frontallappen regnes normalt for at være sæde for de højere kognitive funktioner, som styrer og monitorerer de øvrige hjerneprocesser (Frith, 2002; Fuster, 2001). Derfor er forskellen i lokalisering et af de væsentlige argumenter for at tilskrive ERAN en højere kognitiv funktion end MMN. Der kan dog være tekniske grunde til, at vi ikke finder en forskel, idet EEG er upræcis lokalisermæssigt i forhold til andre metoder, som fx funktionel magnetisk resonans skanning (fMRI) og magnetisk encefalografi (MEG).

Denne tekniske begrænsning kan dog ikke alene forklare en anden diskrepans fra litteraturen, nemlig at vi ikke så den højresidige dominans af ERAN, som ofte men ikke altid rapporteres. Maess *et al.* fandt en højresidig tendens i deres MEG-studium af ERAN, men den var ikke signifikant (2001). Loui *et al.* observerede en effekt af, om forsøgspersonerne havde deres opmærksomhed rettet mod de harmoniske sekvenser eller ej, men ingen forskel på signalets størrelse mellem de to hjernehalvdele og foreslog termen EAN (early anterior negativity) i stedet for ERAN.

Konkluderende viser vores forsøg således, at hjernens bearbejdning af det funktionsharmoniske hierarki, den harmoniske syntaks, kan måles ved hjælp af EEG/MEG og giver et respons, der minder om tilsvarende responser, som ses i forbindelse med sproglig syntaks, hvad angår lokalisering og timing, men muligvis er mere højresidig.

3. Hjernens bearbejdning af metriske brud

Lateralisering af auditivt stimulus

I det følgende skal vi stille følgende to spørgsmål (Vuust *et al.*, 2005):

- 1) Er musikken i sig selv afgørende for lateralisering af hjernens bearbejdning af musik, eller spiller mere subjektive faktorer, som fx forsøgspersonernes musikalske kompetence en rolle?
- 2) Findes der en rytmisk syntaks, som kan sammenlignes med den harmoniske?

Teorien om en højresidig tendens i forbindelse med hjernens bearbejdning af den musikalske syntaks ligger i forlængelse af den klassiske opdeling af sprog og musik i henholdsvis venstre og højre hjernehalvdel (lateralisering).

At musik behandles i den højre hjernehalvdel, har været den grundlæggende hypotese indtil for få år siden (Liegeois-Chauvel *et al.*, 1998; Signoret *et al.*, 1987) – en hypotese, der syntes plausibel, især i forlængelse af den fremherskende hypotese om hjernens bearbejdning af emotioner, der efter mange forskeres mening også til dels er højre-lateraliseret (se fx Adolphs, 2002). Idet musiks væsentligste funktion efter manges mening først og fremmest er at kommunikere menneskelige emotioner (Krumhansl, 1997; Meyer, 1956), passer dette hemisfære-sammenfald mellem bearbejdning af musik og emotioner godt.

Nyere resultater viser dog, at antagelsen om, at bearbejdningen af musik sker i højre hjernehalvdel, ikke holder stik. Først og fremmest er hjernens bearbejdning af musik ikke udelukkende betinget af den auditive stimulus som sådan, men bl.a. bestemt af forsøgsopgave (Poeppl *et al.*, 1996), hvilke emotioner forsøgspersonerne forbinder med musikken (Altenmüller *et al.*, 2002), samt muligvis i hvilken udstrækning og under hvilke omstændigheder forsøgspersonerne har modtaget musikalsk træning (Altenmüller, 2001).

En af de faktorer, der væsentligt ændrer hjernens bearbejdning af givne auditive stimuli, er således forsøgspersonernes kompetence og erfaring med dem. Opdelingen af forsøgspersoner i musikere og ikke-musikere giver en enestående mulighed for at studere hjernens plasticitet, dvs. dens evne til at forandre sig efter forholdene. I de senere år har man påvist både anatomiske og funktionelle forskelle imellem musikere og ikke-musikere. Pianister har mere hjernebark sat af til hænderne (Gaser & Schlaug, 2003) end ikke-musikere ligesom strygere har mere hjernebark sat af til den venstre hånd, som udfører mere specialiserede bevægelser end den højre (Elbert *et al.*, 1995). Den forholdsmæssige størrelse af lillehjernen i forhold til storhjernen korrelerer positivt med mængden af øvning hos musikere, og hjernebjælken (Corpus Callosum) er større hos musikere end ikke-musikere, hvilket indikerer en bedre kommunikation mellem hjernehalvdelene (Schlaug *et al.*, 1995).

På det auditive plan har man målt klare funktionelle forskelle både adfærdsmæssigt og med hjerneskaninger mellem forskellige grupper af musikere og ikke-musikere: Trompetister og violinister er specielt følsomme over for små variationer i tonehøjde (Pantev *et al.*, 2003). Musikere generelt er mere følsomme over for variationer i intervaller og musikalsk kontur (Fujioka *et al.*, 2004). Musikers hjerner reagerer hurtigere på musikalsk rytmisk og melodisk inkongruens (Besson *et al.*, 1994), og musikers hjerner reagerer på rytmiske afvigelser på 20 ms i modsætning til ikke-musikere, som ikke responderer på afvigelser i den størrelsesorden (Russeler *et al.*, 2001).

Bever og Chiarello (1974) observerede allerede i 1974, at musikere i modsætning til ikke-musikere var bedre til at genkende melodier med deres højre øre. De fremsatte derfor den hypotese, at musikere bearbejder musik i venstre hjernehalvdel i højere grad end ikke-musikere. Visse resultater har

peget i samme retning (fx Ohnishi *et al.*, 2001), men spørgsmålet har ikke været undersøgt systematisk. Dette kan skyldes det komplicerede samspil mellem musikalsk stimulus, forsøgsopgave og individuelle forskelle hos forsøgspersonerne, der udgør grundlaget for hjernens musikbearbejdning, herunder for lateraliseringen.

I forbindelse med hjernens bearbejdning af auditive stimuli tyder en omfattende litteratur på, at hjernen fortrinsvis bearbejder sprog i venstre side (Belin *et al.*, 1998; Frost *et al.*, 1999). Vi arbejdede derfor ud fra den hypotese, at bearbejdning af musik i venstre hjernehalvdel er betinget af, i hvor høj grad det musikalske input opfattes som kommunikativt af forsøgspersonerne.

Kommunikation i jazz

Den neurale lokalisering af rytmisk processering og dennes lateralisering er stadig et åbent spørgsmål (Peretz & Coltheart, 2003). Vi ved fra tidligere undersøgelser, at den direkte »online« musikalske kommunikation er et af de bærende elementer i jazz (Monson, 1997), og at en stor del af denne kommunikation foregår gennem rytmik. Specielt gælder, at brud på den rytmiske forventning (den rytmiske syntaks) er et væsentligt virkemiddel i den kommunikative proces især i forbindelse med fatiske sproghandlinger (Jakobson, 1960), der har som funktion at tiltrække sig opmærksomhed for derved at bidrage til oprettelsen af kommunikationskanaler mellem musikere (Vuust, 2000; *et al.*, 2006). Denne funktion er vigtig i musik, i særdeleshed fordi musikalsk kommunikation foregår mellem mange musikere på en gang, og der derfor er et konstant behov for at oprette nye kommunikationslinjer mellem forskellige instrumenter.

Det er derfor sandsynligt, at brud på den rytmiske forventningsstruktur udgør en kommunikativ begivenhed for jazzmusikere.

Eksperiment 2

Vi ønskede derfor at undersøge, hvorvidt forskellige typer af rytmiske brud giver anledning til henholdsvis venstre- og højresidig dominans af hjernerens respons hos musikere og ikke-musikere (for detaljer vedr. databehandling se Vuust *et al.*, 2006). Vi undersøgte hjernerens respons fra 9 jazzmusikere, der studerede ved Sibelius Akademiet i Helsinki, og sammenlignede dem med en kontrolgruppe på 8 ikke-musikere. Alle forsøgspersoner gennemgik en test bestående af 30 rytmiske imitationer, svarende til den, der anvendes ved optagelsesprøven på de danske musikkonservatorier. Kriteriet for at deltage som musiker i forsøget var, at man havde mere end 16 korrekte imitationer. Til sammenligning var gennemsnittet i en kontroltest blandt de rytmiske konservatoriestuderende ved Det Jyske Musikkonservatorium ca. 14. Kriteriet for at deltage som ikke-musiker var til gengæld, at man klarede mindre end fire af imitationsopgaverne. De to grupper af forsøgspersoners rytmiske kompetence var således helt forskellig.

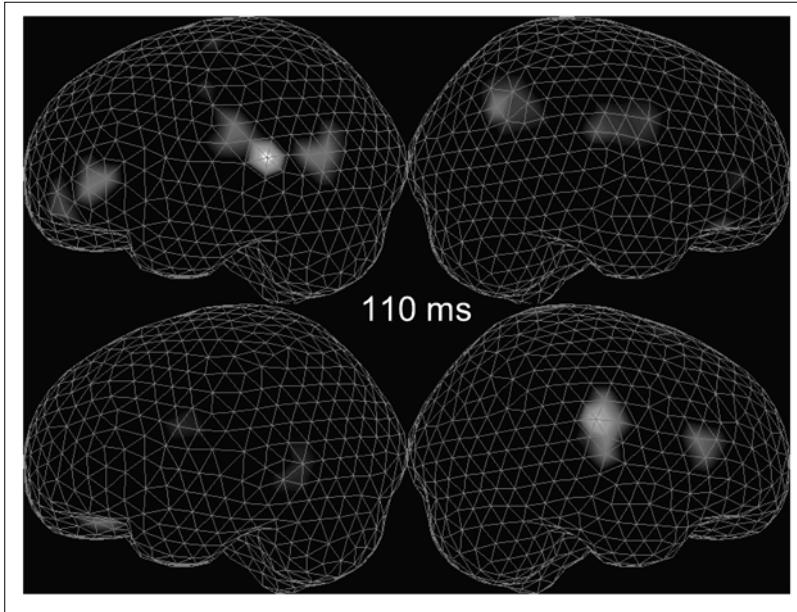
I forlængelse af eksperiment 1 konstruerede vi et paradigme bestående af tre rytmiske sekvenser (figur 4): sI, en simpel rock rytme uden rytmiske brud; sII, samme rockrytme som efter to takter forskydes en 8.del («metrisk forskydning»), sIII et brud på rockrytmen uden for taktens sædvanlige underinddeling efter ca. 2 takter. sII konstituerer således et acceptabelt brud på rytmen, i modsætning til sIII, der simpelthen opfattes som forkert. De rytmiske brud i sII og sIII svarede således til neapolitaneren i stedet for henholdsvis subdominant og tonika i eksperiment 1.

Figur 4: Stimulus i eksperiment 2. Tromme-sekvenserne (sI, sII, sIII) er frembragt i et »sequencener«-program ved brug af samples af naturlige trommelyde (hi-hat (HH), lilletromme (SD) og stortromme (BD)). sI indeholder ikke rytmiske brud, sII indeholder et musikalsk brud på den rytmiske forventning (metrisk forskydning), mens sIII indeholder et musikalsk uacceptabelt brud på den rytmiske forventning.

Forsøgspersonerne fik besked på at respondere på en af to varianter af sI, i hvilke det sidste lilletrommeslag i sekvensen var stemt op (sIu) eller ned (sId). Dette forsøgsdesign kaldes ofte »semi-attended« (Friedman *et al.*, 2001), idet forsøgspersonerne er opmærksomme på stimulus men ikke på den del af stimulus, som der måles på. På denne måde emulerer forsøgsdesignet den naturlige, kommunikative proces i jazz, hvor mønsterbrud tiltrækker sig forsøgspersonernes opmærksomhed.

Vi målte de to gruppers neurale respons til rytmebruddene med MEG. MEG måler de meget små magnetfelter, der opstår i forbindelse med de elektriske strømme, der udløses ved hjernens bearbejdning af stimuli. Med MEG har man en lige så fin tidsopløsning som EEG, men meget bedre muligheder for at lokalisere, hvor i hjernen signalet er genereret.

I tråd med tidligere forsøg (Munte *et al.*, 2003; Russeler *et al.*, 2001) fandt vi store og hurtige hjernerespons, når den rytmiske forventning blev brudt på en umusikalsk måde (som i sIII) i form af en Mismatch Negativity (MMN). Denne aktivitet kunne lokaliseres til hørebarken (figur 5). I forbindelse med den mere subtile afvigelse i sII, den metriske forskydning, fandt vi udelukkende responser hos jazzmusikere.



Figur 5: Neuralt respons (svarende til MMNm) ca. 110 ms. efter det stærke rytmiske brud (sIII). Øverst: 3 tilfældigt valgte ekspert musikere, nederst: 3 tilfældigt valgte ikke-musikere. Billedet er lavet med »Minimum Current Estimate« (MCE) software.

Der var klare forskelle mellem jazzmusikernes og ikke-musikernes hjerne-
respons. Generelt var der langt større amplitude i jazzmusikernes respons
($F=165$, $P<0.000001$). Hvor jazzmusikernes primære hjernerenspons var
lokaliseret i venstre hjernehalvdel, responderede ikke-musikerne mest i
højre hjernehalvdel. Forskellen mellem de to gruppers lateralisering var
signifikant ($F=18.75$, $P=0.001$, to-vejs ANOVA, faktorer: gruppe af for-
søgspersoner og type af rytmebrud (sII/sIII)). Denne lateraliseringseffekt
var mere udtalt for den metriske forskydning i sII. Til gengæld var den
neurale respons til grundrytmen sI ikke lateraliseret i nogen af grupperne.
Faktisk var der en svag tendens i begge grupper af forsøgspersoner til at
denne respons var kraftigst i højre hjernehalvdel.

Udover størrelsen af den neurale respons fandt vi en markant forskel i ti-
mingen af responsen til sIII i den venstre hjernehalvdel: for jazzmusikernes
vedkommende var responsen næsten 30 ms hurtigere end for ikke-musiker-
nes vedkommende ($P<0.001$).

Konklusioner af eksperiment 2

I forhold til eksperiment 1 viser forsøget, at den neurale processing (in-
dekseret af MMN) af den forventningsstruktur, der konstituerer det metriske
hierarki i musik, er grundlæggende forskellig fra den neurale processing

af forventningsstrukturene, der opbygges gennem funktionsharmonik (indekseret af ERAN). ERAN reflekterer processering på et højere kognitivt niveau end den sensorisk betingede MMN. Dette giver god mening rent musikteoretisk, idet metrik er fundamentet for den funktionsharmoniske forventningsstruktur: tonika forekommer normalt på et metrisk betonet slag i modsætning til dominanten, der forventes på et ubetonet slag. Som sådan afspejler metrik en meget basal musikalsk mekanisme, og den tilsvarende hjerneaktivitet befinder sig således på et lavere hierarkisk niveau end den, der udløses i forbindelse med harmonik.

Med dette forsøg er vi kommet en smule nærmere på at kunne svare på nogle grundlæggende spørgsmål om hjernens bearbejdning af musik. For det første kan vi nu entydigt afkræfte, at musik udelukkende aktiverer højre hjernehalvdel. Lateraliseringen af den neurale respons til rytmiske afvigelser afhænger i høj grad af forsøgspersonernes musikalske kompetence. Det er værd at notere, at vi, i modsætning til mange tidligere sammenligninger af musikeres og ikke-musikeres hjernerrespons, i dette forsøg har foretaget en forhåndsscreening af forsøgspersonerne efter deres musikalske, høre-læremæssige færdigheder. I forbindelse med MMN, der genereres i de primære auditoriske områder af hjernen, kan netop det være baggrunden for de klare lateraliseringsforskelle, vi observerede i dette studium.

Vores studium giver endvidere en indikation af, hvorfor man tidligere har fundet modstridende resultater i forbindelse med hjernens bearbejdning af rytmik og metrik. Mange studier rapporterer fx, at rytme er lokaliseret i venstre hjernehalvdel, hvorimod metrik skulle være lokaliseret i højre (Kester *et al.*, 1991; Polk & Kertesz, 1993; Samson *et al.*, 2001; Schuppert *et al.*, 2000). Rytmi¹ og metri² er dog ikke lette at adskille hverken konceptuelt eller eksperimentelt, idet det er svært at forestille sig en rytme, som ikke inducerer en metrik (Brochard *et al.*, 2003). I det nærværende studium har vi fundet forskellig MMN-lateralisering hos jazzmusikere og ikke-musikere. Dette på trods af at den auditive stimulus (rytmik med en stærk metrisk forankring) og opgave er ens for de to grupper. Vore resultater indikerer hermed, at MMN-lateraliseringen af rytmik og metrik først og fremmest bestemmes af forsøgspersonernes kompetence.

Det er muligt, at de observerede forskelle mellem musikerne og ikke-musikernes neurale bearbejdning af disse rytmebrud skyldes forskelle i den opmærksomhed, de to grupper retter mod stimulus. MMN bliver i visse tilfælde større, når opmærksomheden er rettet mod stimulus (Muller *et al.*, 2002). Ligeledes har det været foreslået, at hjernens venstre halvdel er sæde for lokal bearbejdning af stimulus i modsætning til en global bearbejdning,

1 Rytmi betyder her de faktisk forekommende mønstre i musikken.

2 Metrik er organiseringen af slag i gentagne mønstre, der er defineret ved accentuering. Metrik er den mentale organisering af tid, gennem hvilken rytmik kan opfattes og beskrives.

der skulle foregå i den højre hjernehalvdel (se fx Peretz, 1990). En mulig fortolkning af jazzmusikernes venstre-lateraliserede bearbejdning af de rytmiske brud kunne være, at de har mere overskud til at være opmærksomme på rytmebruddene, samtidig med at de løser forsøgsopgaven end ikke-musikerne. Imidlertid svarede de ikke mere korrekt (5.3, S.E.=.5) end ikke-musikerne (4.6, S.E=.4), når de efter forsøget blev spurgt om at gætte på antallet af forespillede sekvenser i alt (korrekt svar = 5), hvilket tyder på, at de to grupper af forsøgspersoner var nogenlunde lige opmærksomme på stimulus.

Sammenligning med sprogforsøg

Sproglig kompetences indflydelse på MMN-lateralisering har været studeret intensivt. I et banebrydende eksperiment undersøgte Näätänen et al. (1997) forsøgspersoners perception (MMN) af afvigende vokal-lyde i rækker af ens vokaler (eks: e e e e e æ e e e). Når de afvigende vokaler stammer fra forsøgspersonernes modersmål, giver de anledning til en stor, venstresidig MMN, hvorimod aktiviteten i forbindelse med vokaler fra et fremmedsprog er meget mindre og bilateral (dobbeltsidig). Med andre ord er den sproglige kompetence afgørende for venstresidig lateralisering af MMN til sprog-lyde. I et andet MMN-studium viste Kujala et al. (2003), at amplituden af MMNm til Morse kode skiftede lateralisering til den sproglige hemisfære efter tre måneders intensivt kursus i Morse kode. Morse kode er grundlæggende rytmer med sproglig betydning. Dette forsøg tyder altså på, at i det øjeblik forsøgspersonerne opfatter rytmer som meningsfulde, bliver de behandlet i den venstre hemisfære, allerede før rytmerne bliver bevidstgjorte. I vores forsøg fandt vi, at forsøgspersoners rytmiske kompetence betød en stor stigning i aktiviteten i venstre hjernehalvdel i forbindelse med bearbejdning af kommunikativt relevante musikalske 'cues' og at musikeres hjerner er mere sensitive overfor disse 'cues', end ikke-musikeres. Dette antyder, at musikalsk træning har skiftet den før-bevidste bearbejdning af disse rytmiske 'cues' til den venstre hjernehalvdel, ligesom sproglig kompetence skifter processeringen af sprog-fonemer til venstre hjernehalvdel. Det tyder på, at lateralisering af hjernens bearbejdning af betydning i en kommunikativ meddelelse, uanset om den er formidlet gennem sprog, Morse kode eller musik, er karakteristisk for højt udviklet kompetence både i sprog og musik.

4. Er musik et sprog for hjernen?

De to ovennævnte forsøg viser, at der er en sammenhæng mellem hjernens bearbejdning af musik og sprog. Eksperiment 1 viser, at der er et overlap mellem hjernens bearbejdning af musikalsk syntaks, som den kommer til udtryk igennem funktionsharmonik, og hjernens bearbejdning af sproglig

syntaks. Eksperiment 2 viser, at på et meget tidligt tidspunkt i den kognitive bearbejdning af kommunikativt relevante virkemidler, korrelerer aktivitet i venstre hjernehalvdel med forsøgspersoners kompetence både i musik, Morse kode og sprog. Det er derfor muligt, at kognitive processer og strategier i forbindelse med sprog og musik ligner hinanden. Det er også muligt, at hjernens bearbejdning af sprog og musik i visse kontekster ligner hinanden, og at musik i disse tilfælde udgør en slags sprog – specielt for musikere.

Der er rapporteret resultater, der peger i samme retning som de ovenstående, i en række studier af musik og sprog udført på meget forskellige måder. Det gælder ikke kun for musikalsk syntaks, men også for højere bearbejdning af musikalsk mening (Koelsch *et al.*, 2004; Levitin *et al.*, 2003; Vuust *et al.*, 2006). Det er dog nødvendigt at være yderst forsigtig, når man drager den slags konklusioner på baggrund af hjernestudier.

Et argument mod at parallelisere hjernens musik- og sprogbearbejdning er, at sproglig syntaks bygger på abstrakte beregninger på enheder ('ord'), der på det sensoriske niveau er meget ens og udelukkende involverer en svag akustisk afvigelse (Bigand *et al.*, 2006). I modsætning hertil er enhederne i musik i langt højere grad rodfæstet i lyds psykoakustiske egenskaber. Bigand *et al.* argumenterer således for, at det for musiks vedkommende er svært at adskille neuronale effekter af akustiske afvigelser fra syntaktisk processering. Magne *et al.* (2003) har dog for nylig fundet sammenlignelig hjerneaktivitet til prosodi i sprog og tonale afvigelser i musik, et område hvorpå de definerende akustiske egenskaber ligner hinanden meget.

For det andet gælder, at selv hvis samme hjerneområder er involverede i forbindelse med bestemte former for musikalsk og sproglig aktivitet, betyder det ikke nødvendigvis, at hjernen foretager sprog-agtige beregninger på musikalske strukturer. I disse eksperimenter har vi sjældent tilstrækkelig information om den specifikke integration mellem de hjernemoduler, der er involverede i en bestemt opgave (se også Friston, 2002).

Det er dog ikke længe siden, at ideen om den højre hjernehalvdel som sæde for musikken var fremherskende, og en del hjerneforskere ville have afvist, at der skulle være et overlap mellem hjernens bearbejdning af musik og sprog. De ovennævnte forsøg er brikker i et puslespil, der i disse år lægges i et forsøg på at indfange musikkens vej fra lydølge til et kognitivt fænomen, der kan erkendes, føles, diskuteres og sprogliggøres. Det faktum, at musikalsk analyse kan afdække sammenhænge på det kommunikative niveau mellem musik og sprog under visse omstændigheder, og at klassiske sprogområder i hjernen viser sig at være aktive i den forbindelse, tyder på, at manipulationer med det kommunikative niveau, forsøgspersonerne, forsøgsopgave og stimuli potentielt kan medvirke til at tilføje værdifulde dimensioner til vores viden om forholdet mellem hjernens bearbejdning af musik og sprog.

5. Musikalsk transfereffekt

I det ovenstående har jeg sandsynliggjort, at musik og sprog delvist trækker på de samme neurale ressourcer. Hvad kan denne viden så bruges til? Måske er den mest intense debat inden for dette felt diskussionen om den såkaldte transfereffekt (Barnett & Ceci, 2002), den idé at musikalske egenskaber kan have en gavnlig effekt på andre kognitive egenskaber såsom matematik, sprog og intelligens. Denne debat, der har stået på i århundreder, fik nyt liv i 1993, da den amerikanske forsker Frances Rauscher og kolleger (1993) lod en gruppe collestuderende lytte til Mozarts Sonate for to klaverer i D-dur (K. 448). De sammenlignede disse forsøgspersoners præstation i en intelligencetest (»the Stanford-Binet intelligence test« (Thorndike *et al.*, 1986)) foretaget umiddelbart efter, at de havde hørt sonaten, med præstationen i to andre grupper af studerende, der henholdsvis havde lyttet til afslapningsbånd eller siddet i stilhed, med det overraskende resultat at Mozart-gruppen klarede sig 8-9 points bedre end de andre grupper.

Denne effekt, den såkaldte Mozart-effekt, har været svær at eftergøre (Bonde, 2007; Dalla, Bella & Peretz, 2005; Nielsen, 2004; Steele *et al.*, 1999) og skyldes efter al sandsynlighed musikkens indvirkning på forsøgspersonernes parathed og humør (Husain *et al.*, 2002; Thompson *et al.*, 2001). Effekten er med sikkerhed ikke specielt knyttet til Mozarts musik, men derimod afhængig af musikalsk præference (Nantais & Schellenberg, 1999). Selv at lytte til en fortalt historie har for forsøgspersoner, der foretrækker dette, en større effekt end at lytte til Mozart. Det har ligeledes været svært at finde en forståelig forklaring på, at den del af IQ-testen, som Mozart-gruppen klarede bedre end kontrolgrupperne, er en rumlig opgave, den såkaldte »paper, folding and cutting« opgave, hvilket på overfladen ikke har meget med musik at gøre. En mulig forklaring er dog, at denne opgave hører til blandt intelligencetestens sværeste, og at forsøgspersonernes parathed og humør har den største indvirkning på deres præstation netop i de sværeste opgaver (Schellenberg & Hallam, 2005, s. 207).

Den ovenstående forskning har først og fremmest undersøgt effekterne af passiv lytning til musik og synes mere eller mindre udtømt. En mere givtig hypotese, nemlig den at aktiv udøvelse og musikalsk træning har en gavnlig virkning på andre kognitive områder, er fremdeles genstand for mange forskningsprojekter (Schellenberg, 2004), og adskillige forskergrupper har denne hypotese som væsentligste omdrejningspunkt for deres forskning. De to forsøg, som jeg i denne artikel har fokuseret på, viser, at der er overlap mellem højere processering af musik og sprog i hjernen, og at musikalsk træning har en overraskende stor indflydelse på hjerneaktiviteten i forbindelse med kommunikative auditive stimuli. Der er dog ikke i denne forskning en direkte sammenligning mellem sprog og musik. Det er der til gengæld andre forskere, der arbejder med. I Marseille har en gruppe forskere ledet af prof. Mireille Besson udført en række eksperimenter,

hvor i sprogetonen (prosodien) sammenlignes med melodik i musik. Prosodi i sprog udgør måske den mest oplagte grænseflade til musik, al den stund den benytter sig af tonehøjder som bærende af abstrakt betydning (fx ironi). Forsøgene viser, at børn i alderen 9-11, som modtager musikalsk træning, bliver bedre til at opfatte prosodi, hvilket kan påvises både adfærdsmæssigt og ved hjælp af EEG. Andre lignende eksperimenter fx foreløbige arbejder af Jentschke & Koelsch (2005) viser større ELAN til syntaks-fejl hos børn, der modtager musikundervisning, ligesom Ho et al (2003) viste forbedret verbal men ikke visuel hukommelse hos børn, der havde modtaget musikundervisning.

De nærliggende følgeslutninger, nemlig at musikalsk træning har en generelt gavnlig virkning på børns kognitive evner, har ofte været brugt som argument for mere musikundervisning i børnehaver, folkeskoler og gymnasier. Der er dog grund til at være forsigtig med den slags konklusioner. Her skal blot nævnes tre grunde.

For det første er den kognitive hjerneforskning og de skanningsmetoder, som de seneste 25 år har betydet en strøm af ny viden, endnu en relativt ung forskningsdisciplin, som har givet helt nye muligheder for at undersøge forholdet mellem menneskelig adfærd og hjernens aktivitet. Begrænsningen er her, at dette forhold er associativt. Der kan derfor være mange mellemregninger mellem årsag og virkning, som vi ikke i øjeblikket har nogen information om, hvilket betyder, at resultaterne kan og vil blive modificeret i løbet af de kommende årtier. For det andet er den effekt, som adfærdsforsøgene påviser, relativt lille. Det er derfor svært at argumentere for, at denne lille generelle effekt af musikundervisning skulle kunne gavne endsige erstatte en specifik undervisning i fx dansk eller matematik. Den tredje og væsentligste grund til, at transfereffekten som argument for musikundervisning er en ufarbar vej, er, at man på denne måde implicit argumenterer for, at musik er underordnet de andre discipliner. Hvis argumentet for musikundervisning i fx folkeskolen er, at det styrker færdighederne i matematik og dansk, har man samtidig sagt, at musik er mindre værd end disse discipliner.

At evnen til at forstå, nyde og producere musik skulle være underordnet andre menneskelige egenskaber, er måske sådan mange mennesker opfatter det. Visse forskere betragter musik som et evolutionært artefakt («cheesecake», »Music could vanish from our species and the rest of our lifestyle would be virtually unchanged«, *Steven Pinker*) uden nogen særlig betydning. Det er dog svært at forestille sig at musik, med den store betydning den har i mange sociale sammenhænge i vores samfund, og den betydning som den har i de fleste menneskers liv, skulle være uden evolutionær oprindelse. Af samme grund har der været mange teorier om musikkens evolutionære oprindelse. Musikkens overlevelsesmæssige betydning for mennesket har således været tilskrevet dens rolle i forbindelse med: seksuel selektion, synkronisering af det emotionelle niveau i sociale grupper, grup-

pearbejde (fx worksongs), udvikling af det auditive system (som fx den større MMN i vores rytme-forsøg kunne tyde på), udvikling af det motoriske system, sprogudvikling, social konfliktløsning, fritidsbeskæftigelse (harm-løs i forhold til fx »rafting«) og transgenerational kommunikation m.m. (se fx Huron, 2001).

Det er ikke denne artikels ambition at diskutere, hvorvidt ovenstående teorier er sandsynlige eller ej, men blot at gøre opmærksom på, at forskning i den evolutionære oprindelse af musik i samspil med dens neurobiologiske aflægger – den kognitive hjerneforskning i musik, som beskrevet i denne artikel – kan medvirke til at afklare det biologiske fundament for menneskets oplevelse af, fascination af og kommunikation gennem musik og dermed muligvis på længere sigt bidrage til forståelsen af musiks betydning for den enkelte og samfundet som helhed.

6. Konklusion

Det overordnede spørgsmål omkring forholdet mellem hjernens bearbejdning af musik og sprog, som denne artikel har forsøgt at belyse, berører områder som musikteori, musikalsk perception, kognition, indlæring og kulturel forankring og er dermed grundlæggende af tværfaglig karakter. I forhold til musikforskning, som traditionelt er et humanistisk anliggende, tilbyder hjerneforskningen sig som en naturvidenskabeligt funderet metode til at belyse nogle fundamentale spørgsmål i forbindelse med musik, som fx hvorfor mennesket overhovedet er udstyret med evnen til at kommunikere gennem musik, hvilken indflydelse den kulturelle påvirkning har på denne evne, samt hvorvidt musik er en slags sprog for hjernen. Jeg har i denne artikel forsøgt at sandsynliggøre, at den højere kognitive bearbejdning af musik og sprog delvist har samme neurale fundament, i særdeleshed for musikere. En mere præcis forståelse af, hvorledes denne bearbejdning foregår, hvordan den musikalske kommunikation gennem toner og harmonier påvirker hjernen, samt hvorvidt forskellen i musikeres og ikke-musikeres hjerneaktivitet er betinget af arv eller miljø, er blot nogle af de spørgsmål, der endnu er uafklarede.

Supplerende materiale til denne artikel findes på www.musikterapi.aau.dk/musikogpsykologi – se side 636.

LITTERATUR

- ADOLPHS, R. (2002): Neural systems for recognizing emotion. *Curr Opin Neurobiol* 12: 169-177.
- ALHO, K. (1995): Cerebral generators of mismatch negativity (MMN) and its magnetic counterpart (MMNm) elicited by sound changes. *Ear Hear* 16: 38-51.

- ALHO, K., TERVANIEMI, M., HUOTILAINEN, M., LAVIKAINEN, J., TIITINEN, H., ILMONIEMI, R.J., KNUUTILA, J. & NAATANEN, R. (1996): Processing of complex sounds in the human auditory cortex as revealed by magnetic brain responses. *Psychophysiology* 33: 369-375.
- ALTENMÜLLER, E. (2001): The Neurobiology of Music Perception: Cortical Processing of Time- and Pitch-Structures. Discussant paper submitted to »the Günne Conference, 2001«
- ALTENMÜLLER, E., SCHURMANN, K., LIM, V.K. & PARLITZ, D. (2002): Hits to the left, flops to the right: different emotions during listening to music are reflected in cortical lateralisation patterns. *Neuropsychologia* 40: 2242-2256.
- ALTENMÜLLER, E.O. (2001): How many music centers are in the brain? *Ann N Y Acad Sci* 930: 273-280.
- AYOTTE, J., PERETZ, I., ROUSSEAU, I., BARD, C. & BOJANOWSKI, M. (2000): Patterns of music agnosia associated with middle cerebral artery infarcts. *Brain* 123: 1926-1938.
- BARNETT, S.M. & CECI, S.J. (2002): When and where do we apply what we learn? A taxonomy for far transfer. *Psychol Bull* 128: 612-637.
- BELIN, P., ZILBOVICIUS, M., CROZIER, S., THIVARD, L., FONTAINE, A., MASURE, M.C. & SAMSON, Y. (1998): Lateralization of speech and auditory temporal processing. *J Cogn Neurosci* 10: 536-540.
- BESSON, M., FAITA, F. & REQUIN, J. (1994): Brain waves associated with musical incongruities differ for musicians and non-musicians. *Neurosci Lett* 168: 101-105.
- BEVER, T.G. & CHIARELLO, R.J. (1974): Cerebral dominance in musicians and non-musicians. *Science* 185: 537-539.
- BIGAND, E., TILLMANN, B. & POULIN-CHARRONNAT, B. (2006): A module for syntactic processing in music? *Trends Cogn Sci* 10: 195-196.
- BONDE, L.O. (2007): Mozart-Effekten – et notat. *Musik og Terapi* 27: 25-27.
- BROCHARD, R., ABECASIS, D., POTTER, D., RAGOT, R. & DRAKE, C. (2003): The »ticktock« of our internal clock: direct brain evidence of subjective accents in isochronous sequences. *Psychol Sci* 14: 362-366.
- CAPLAN, D., ALPERT, N. & WATERS, G. (1998): Effects of syntactic structure and propositional number on patterns of regional cerebral blood flow. *J Cogn Neurosci* 10: 541-552.
- DALLA, B.S. & PERETZ, I. (2005): Differentiation of classical music requires little learning but rhythm. *Cognition* 96: B65-B78.
- DAPRETTO, M. & BOOKHEIMER, S. Y. (1999): Form and content: dissociating syntax and semantics in sentence comprehension. *Neuron* 24: 427-432.
- ELBERT, T., PANTEV, C., WIENBRUCH, C., ROCKSTROH, B. & TAUB, E. (1995): Increased cortical representation of the fingers of the left hand in string players. *Science* 270: 305-307.
- FRIEDERICI, A.D. (1998): The Neurobiology of language comprehension. A Biological Approach. Friederici, A.D. (ed.), pp. 263-301 (Springer, New York, 1998).
- FRIEDERICI, A.D., MEYER, M. & VON CRAMON, D.Y. (2000a): Auditory language comprehension: an event-related fMRI study on the processing of syntactic and lexical information. *Brain Lang* 75: 289-300.
- FRIEDERICI, A.D., WANG, Y., HERRMANN, C.S., MAESS, B. & OERTEL, U. (2000b): Localization of early syntactic processes in frontal and temporal cortical areas: a magnetoencephalographic study. *Hum Brain Mapp* 11: 1-11.
- FRIEDMAN, D., CYCOWICZ, Y.M. & GAETA, H. (2001): The novelty P3: an event-related brain potential (ERP) sign of the brain's evaluation of novelty. *Neurosci Biobehav Rev* 25: 355-373.
- FRISTON, K. (2002): Beyond phrenology: what can neuroimaging tell us about distributed circuitry? *Annu Rev Neurosci* 25: 221-250.
- FRITH, C. (2002): Mechanisms of Control. Unpublished Work

- FROST, J.A., BINDER, J.R., SPRINGER, J.A., HAMMEKE, T.A., BELLGOWAN, P.S., RAO, S.M. & COX, R.W. (1999): Language processing is strongly left lateralized in both sexes. Evidence from functional MRI. *Brain* 122 (Pt 2): 199-208.
- FUJIOKA, T., TRAINOR, L.J., ROSS, B., KAKIGI, R. & PANTEV, C. (2004): Musical training enhances automatic encoding of melodic contour and interval structure. *J Cogn Neurosci* 16: 1010-1021.
- FUSTER, J.M. (2001): The prefrontal cortex--an update: time is of the essence. *Neuron* 30: 319-333.
- GASER, C. & SCHLAUG, G. (2003): Gray matter differences between musicians and nonmusicians. *Ann NY Acad Sci* 999: 514-517.
- HO, Y.C., CHEUNG, M.C. & CHAN, A.S. (2003): Music training improves verbal but not visual memory: cross-sectional and longitudinal explorations in children. *Neuropsychology* 17: 439-450.
- HURON, D. (2001): Is music an evolutionary adaptation? *Ann NY Acad Sci* 930: 43-61.
- HUSAIN, G., THOMPSON, W.F. & SCHELLENBERG, E.G. (2002): Effects of musical tempo and mode on arousal, mood, and spatial abilities. *Music Perception* 20: 151-171.
- JAKOBSON, R. (1960): Linguistics and poetics. *Style in Language*. Sebeok, T.A. (ed.), pp. 350-377 (MIT Press, Cambridge).
- JENTSCHKE, S. & KOELSCH, S. (2005): Influences of Musical Training on Neurophysiological Correlates of Music and Speech Perception in Children. *Proceedings of the 9th International Conference on Cognitive Neuroscience, Havana, 2005* 246.
- KESTER, D.B., SAYKIN, A.J., SPERLING, M.R., O'CONNOR, M.J., ROBINSON, L.J. & GUR, R.C. (1991): Acute effect of anterior temporal lobectomy on musical processing. *Neuropsychologia* 29: 703-708.
- KOELSCH, S. (2005): Neural substrates of processing syntax and semantics in music. *Curr Opin Neurobiol* 15: 207-212.
- KOELSCH, S., GUNTER, T., FRIEDERICI, A.D. & SCHROGER, E. (2000): Brain indices of music processing: »nonmusicians« are musical. *J Cogn Neurosci* 12: 520-541.
- KOELSCH, S., GUNTER, T.C., SCHROGER, E., TERVANIEMI, M., SAMMLER, D. & FRIEDERICI, A.D. (2001): Differentiating ERAN and MMN: an ERP study. *Neuroreport* 12: 1385-1389.
- KOELSCH, S., KASPER, E., SAMMLER, D., SCHULZE, K., GUNTER, T. & FRIEDERICI, A.D. (2004): Music, language and meaning: brain signatures of semantic processing. *Nat Neurosci* 7: 302-307.
- KRUMHANSL, C.L. (1997): An exploratory study of musical emotions and psychophysiology. *Can J Exp Psychol* 51: 336-353.
- LEINO, S., BRATTICO, E., TERVANIEMI, M. & VUUST, P. (2007): Representation of harmony rules in the human brain: further evidence from event-related potentials. *Brain Res*, in Press.
- LERDAHL, F. & JACKENDOFF, R. (1999): A Generative Theory of Music. *MIT Press, Cambridge, Massachusetts* 29: 145-160.
- LEVITIN, D.J. & MENON, V. (2003): Musical structure is processed in »language« areas of the brain: a possible role for Brodmann Area 47 in temporal coherence. *Neuroimage* 20: 2142-2152.
- LIEGOIS-CHAUVEL, C., PERETZ, I., BABAI, M., LAGUITTON, V. & CHAUVEL, P. (1998): Contribution of different cortical areas in the temporal lobes to music processing. *Brain* 121 (Pt 10): 1853-1867.
- MAESS, B., KOELSCH, S., GUNTER, T.C. & FRIEDERICI, A.D. (2001): Musical syntax is processed in Broca's area: an MEG study. *Nat Neurosci* 4: 540-545.
- MAGNE, C., SCHON, D. & BESSON, M. (2003): Prosodic and Melodic Processing in Adults and Children: Behavioral and Electrophysiologic Approaches. *Ann NY Acad Sci* 999: 461-476.

- MENDEZ, M.F. (2001): Generalized auditory agnosia with spared music recognition in a left-hander. Analysis of a case with a right temporal stroke. *Cortex* 37: 139-150.
- MEYER, L. (1956): *Emotion and Meaning in Music*. University of Chicago Press., Chicago.
- MONSON, I. (1997): *Saying Something: Jazz Improvisation and Interaction*. Chicago Studies in Ethnomusicology. Jazz Improvisation and Interaction. The University of Chicago Press
- MULLER, B. W., ACHENBACH, C., OADES, R.D., BENDER, S. & SCHALL, U. (2002): Modulation of mismatch negativity by stimulus deviance and modality of attention. *Neuroreport* 13: 1317-1320.
- MUNTE, T.F., NAGER, W., BEISS, T., SCHROEDER, C. & ALTENMULLER, E. (2003): Specialization of the Specialized: Electrophysiological Investigations in Professional Musicians. *Ann NY Acad Sci* 999: 131-139.
- NAATANEN, R. (1992): Attention and Brain Function. pp. 102-211 (Lawrence Erlbaum Ass., London, 1992).
- NAATANEN, R. (1995): The mismatch negativity: a powerful tool for cognitive neuroscience. *Ear Hear* 16: 6-18.
- NAATANEN, R., LEHTOKOSKI, A., LENNES, M., CHEOUR, M., HUOTILAINEN, M., IIVONEN, A., VAINIO, M., ALKU, P., ILMONIEMI, R. J., LUUK, A., ALLIK, J., SINKKONEN, J. & ALHO, K. (1997): Language-specific phoneme representations revealed by electric and magnetic brain responses. *Nature* 385: 432-434.
- NAATANEN, R., TERVANIEMI, M., SUSSMAN, E., PAAVILAINEN, P. & WINKLER, I. (2001): »Primitive intelligence« in the auditory cortex. *Trends Neurosci* 24: 283-288.
- NANTAIS, K.M. & SCHELLENBERG, E.G. (1999): The Mozart effect: An artifact of preference. *Psychological Science* 10: 370-373.
- NIELSEN, F.V. (2004): Musik og transfer: Hvad siger forskningen? I: PALSMAAR, H. (red). *For skolen og livet. Om korsang, dannelse og læreprocesser. Festskrift Sct. Annæ Gymnasium 75 år*. Kbh.: Sct. Annæ Gymnasium, s. 61-83.
- OHNISHI, T., MATSUDA, H., ASADA, T., ARUGA, M., HIRAKATA, M., NISHIKAWA, M., KATO, A. & IMABAYASHI, E. (2001): Functional anatomy of musical perception in musicians. *Cereb Cortex* 11: 754-760.
- PANTEV, C., ROSS, B., FUJIOKA, T., TRAINOR, L.J., SCHULTE, M. & SCHULZ, M. (2003): Music and learning-induced cortical plasticity. *Ann N Y Acad Sci* 999: 438-450.
- PATEL, A.D. (2003): Language, music, syntax and the brain. *Nat Neurosci* 6: 674-681.
- PERETZ, I. (1990): Processing of local and global musical information by unilateral brain-damaged patients. *Brain* 113 (Pt 4): 1185-1205.
- PERETZ, I., AYOTTE, J., ZATORRE, R.J., MEHLER, J., AHAD, P., PENHUNE, V.B. & JUTRAS, B. (2002): Congenital amusia. A disorder of fine-grained pitch discrimination. *Neuron* 33: 185-191.
- PERETZ, I. & COLTHEART, M. (2003): Modularity of music processing. *Nat Neurosci* 6: 688-691.
- PERETZ, I., KOLINSKY, R., TRAMO, M., LABRECQUE, R., HUBLET, C., DEMEURISSE, G. & BELLEVILLE, S. (1994): Functional dissociations following bilateral lesions of auditory cortex. *Brain* 117 (Pt 6): 1283-1301.
- POEPPEL, D., YELLIN, E., PHILLIPS, C., ROBERTS, T.P., ROWLEY, H.A., WEXLER, K. & MARANTZ, A. (1996): Task-induced asymmetry of the auditory evoked M100 neuromagnetic field elicited by speech sounds. *Brain Res Cogn Brain Res* 4: 231-242.
- POLK, M. & KERTESZ, A. (1993): Music and language in degenerative disease of the brain. *Brain Cogn* 22: 98-117.
- RAUSCHER, F.H., SHAW, G.L. & KY, K.N. (1993): Music and spatial task performance. *Nature* 365: 611.

- RIEMANN, H. (1877): *Musikalische Syntaxis. Grundriß einer harmonischen Satzbildungslehre*. Leipzig: Breitkopf & Härtel.
- RUSSELER, J., ALTENMULLER, E., NAGER, W., KOHLMETZ, C. & MUNTE, T. F. (2001): Event-related brain potentials to sound omissions differ in musicians and non-musicians. *Neurosci Lett* 308: 33-36.
- SAMSON, S., EHRLE, N. & BAULAC, M. (2001): Cerebral substrates for musical temporal processes. *Ann N Y Acad Sci* 930: 166-178.
- SCHELLENBERG, E.G. (2004): Music lessons enhance IQ. *Psychol Sci* 15: 511-514.
- SCHELLENBERG, E.G. & HALLAM, S. (2005): Music listening and cognitive abilities in 10-and 11-year-olds: The blur effect. *Neurosciences and Music II: from Perception to Performance* 1060: 202-209.
- SCHLAUG, G., JANCKE, L., HUANG, Y., STAIGER, J.F. & STEINMETZ, H. (1995): Increased corpus callosum size in musicians. *Neuropsychologia* 33: 1047-1055.
- SCHUPPERT, M., MUNTE, T.F., WIERINGA, B.M. & ALTENMULLER, E. (2000): Receptive amusia: evidence for cross-hemispheric neural networks underlying music processing strategies. *Brain* 123 (Pt 3): 546-559.
- SIGNORET, J.L., VAN EECKHOUT, P., PONCET, M. & CASTAIGNE, P. (1987): [Aphasia without amusia in a blind organist. Verbal alexia-agraphia without musical alexia-agraphia in braille]. *Rev Neurol (Paris)* 143: 172-181.
- SLOBODA, J. (1985): *The Musical Mind*. Oxford University Press, Oxford.
- STEELE, K.M., DALLA, B.S., PERETZ, I., DUNLOP, T., DAWE, L.A., HUMPHREY, G.K., SHANNON, R.A., KIRBY, J.L., JR. & OLMSTEAD, C.G. (1999): Prelude or requiem for the 'Mozart effect'? *Nature* 400: 827-828.
- THOMPSON, W.F., SCHELLENBERG, E.G. & HUSAIN, G. (2001): Arousal, mood, and the Mozart effect. *Psychol Sci* 12: 248-251.
- THORNDIKE, R.L., HAGEN, E.P. & SATTLER, J.M. (1986): *Stanford-Binet Intelligence Scale: Fourth Edition* Riverside, Chicago.
- TILLMANN, B., KOELSCH, S., ESCOFFIER, N., BIGAND, E., LALITTE, P., FRIEDERICI, A.D. & VON CRAMON, D.Y. (2006): Cognitive priming in sung and instrumental music: activation of inferior frontal cortex. *Neuroimage* 31: 1771-1782.
- VUUST, P. (2000): *Polyrhythm and Metre in Modern Jazz – a Study of the Miles Davis' Quintet of the 1960'ies* (Danish). Royal Academy of Music, Aarhus, Denmark.
- VUUST, P., ØSTERGAARD, L., PALLESEN, K.J., B.C. & ROEPSTORFF, A. (2006): Predictive coding of music-Brain responses to rhythmic incongruity. *Cortex, in submission*.
- VUUST, P., ØSTERGAARD, L. & ROEPSTORFF, A. (2006): Polyrhythmic communicational devices appear as language in the brains of musicians. ICMPC9 – International Conference on Music Perception and Cognition, ESCOM, Bologna: 1159-1167.
- VUUST, P., PALLESEN, K.J., BAILEY, C., VAN ZUIJEN, T.L., GJEDDE, A., ROEPSTORFF, A. & ØSTERGAARD, L. (2005): To musicians, the message is in the meter pre-attentive neuronal responses to incongruent rhythm are left-lateralized in musicians. *Neuroimage* 24: 560-564.
- VUUST, P., ROEPSTORFF, A., WALLENTIN, M., MOURIDSEN, K. & ØSTERGAARD, L. (2006): It don't mean a thing... Keeping the rhythm during polyrhythmic tension, activates language areas (BA47). *Neuroimage* 31: 832-841.
- ZATORRE, R. J. (1998): Functional specialization of human auditory cortex for musical processing. *Brain* 121 (Pt 10): 1817-1818.
- ZATORRE, R. J. & BELIN, P. (2001): Spectral and temporal processing in human auditory cortex. *Cereb Cortex* 11: 946-953.
- ZATORRE, R. J., BELIN, P. & PENHUNE, V.B. (2002): Structure and function of auditory cortex: music and speech. *Trends in Cognitive Sciences* 6: 37-46.