

## MUSIK

# MELODIEN IM KOPF

Was geschieht in unserem Gehirn, wenn wir Klänge von Johannes Brahms, Miles Davis oder Elvis Presley hören? Neue Studien zeigen, dass jede Person Musik in etwas unterschiedlichen Hirnregionen verarbeitet. Schon ein wenig Klavierüben kann solche Gehirnaktivitäten beträchtlich verändern.

VON ECKART ALTENMÜLLER

**A**m Abend eines langen Arbeitstages. Ich lege die CD meiner Lieblingsmusik ein: Johannes Brahms, zweites Klavierkonzert. Das getragene Hornsolo der ersten beiden Takte wird von sanft ansteigenden Akkorden des Klaviers abgelöst. Eine Flut von Erinnerungen stürmt auf mich ein. Bilder von den Wäldern um Rottweil, Gedichtzeilen von Eichendorff, der Spätsommertag, an dem ich mit sechzehn Jahren das Konzert für mich entdeckte ... Der Schluss dieses Abschnitts, in dem der Pianist Lautstärke und Tempo über Minuten hinweg steigert und sich dabei völlig verausgibt, raubt mir den Atem. Ich spüre die Ekstase des Solisten, der sich jetzt nicht mehr um richtige oder falsche Noten kümmern muss. Ein Schauer läuft mir den Rücken hinunter. Es

ist nicht möglich, derartig intensive, subjektive Musikerlebnisse anderen Menschen durch Worte mitzuteilen. Der französische Romancier Marcel Proust (1871–1922) beschreibt in seinem Roman »Auf der Suche nach der verlorenen Zeit« Musik als vorgeschichtliches Verständigungsmittel im Dienste sozialer Bindung. Wie Sprache ist auch Musik Bestandteil jeder menschlichen Kultur. Bereits vor über 35 000 Jahren konstruierten Menschen die ersten Musikinstrumente: Schlaginstrumente, Knochenflöten und Maultrommeln. Doch warum begannen sie zu musizieren, was hatte das für einen Nutzen?

Sprache dient der effizienten und detaillierten Informationsübermittlung. Dagegen ist der evolutionäre Vorteil von Musik bis heute umstritten. Der kanadische Emotionsforscher Jaak Panksepp meint, dass sich die Musik von den Trennungs-

rufen der frühen Hominiden ableitet. Im Tierreich dienen solche Rufe dazu, den Kontakt zwischen Mutter und Kind sowie innerhalb der Gruppe aufrechtzuerhalten. Die vegetativen Reaktionen beim Musikhören – so etwa die Gänsehaut bei einer besonders ergreifenden melodischen Wendung – waren nach Panksepp ursprünglich durchaus im biologischen Sinne nützlich: Hört das Tierkind die Stimme der Mutter, stellen sich seine Haare auf und wärmen es. Jeder von uns hat wohl schon durch Musik erzeugte Freuden-schauer erlebt: Bei diesem »Hautorgasmus« durch Musikhören ist das so genannte limbische Selbstbelohnungssystem aktiv – ähnlich wie bei Einnahme von Kokain oder sexueller Erregung.

Kaum ein anderes Kommunikationsmittel kann so starke emotionale Reaktionen auslösen. Es ist daher wenig verwunderlich, dass in unserem Alltag Mu-

*Aus urheberrechtlichen Gründen  
können wir Ihnen die Bilder leider  
nicht online zeigen.*

sik eine sehr wichtige Rolle spielt: In Umfragen werden Musizieren oder Musikhören sehr häufig als Hobby genannt. Viele betrachten Musik nach Familie, Freundschaft und Gesundheit als wichtigen Grundwert – noch vor Sport, Religion und Reisen.

Wahrscheinlich hätte allein schon der selbstbelohnende Charakter des Musikhörens Menschen vor Zehntausenden von Jahren zum Musizieren veranlasst. Aber Musik bringt noch einen praktischeren, evolutionären Vorteil mit sich: Sie hilft, das Gemeinschaftsleben zu organisieren und die Mitglieder einer Gruppe bei Auseinandersetzungen mit anderen stärker aneinander zu binden. Möglicherweise kommunizierten Frühmenschen tatsächlich schon vor der Entstehung der Sprache mittels einfacher Musik. Vielleicht entwickelten sich aber auch beide Kommunikationssysteme zunächst gemein-

sam und trennten sich erst später. Anthropologen stellen heute den Gemeinschaft stiftenden Aspekt der Musik in den Vordergrund. Bis in unsere Zeit dienen Wiegenlieder, Arbeitslieder (Spinnerlieder, Erntelieder) oder Krieglischer (Marschmusik) diesem Zweck. In den letzten Jahrzehnten kam die Identifikation und gegenseitige Abgrenzung unterschiedlicher Jugendkulturen als neuer sozialer Aspekt des Musizierens und Musikhörens hinzu.

#### **PRETISSIMO NERVOSO: WIE GELANGT MUSIK INS GEHIRN?**

Was sind nun die allgemeinen Voraussetzungen, um Musik zu hören? Nach der Aufnahme der Klänge im Ohr leitet der Hörnerv die Informationen zunächst an den Hirnstamm weiter. Dort durchlaufen sie mindestens vier Umschaltstationen, welche die Signale filtern, Muster erken-

**MUSIK HAT ZU ALLEN ZEITEN  
Menschen emotional bewegt  
und in Begeisterung versetzt –  
wie hier 1864 bei einem Konzert  
im Hoftheater Karlsruhe.**

nen und die Laufzeitunterschiede des Schalls zwischen beiden Ohren berechnen. Letzteres erlaubt uns, die Richtung zu orten, aus der die Töne kommen.

Der Thalamus – eine Hirnstruktur, die auch »Tor zur Großhirnrinde« genannt wird – stellt gezielt Informationen zur Rinde durch oder unterdrückt sie. Dieser Gating-Effekt ermöglicht unter anderem die selektive Aufmerksamkeitssteuerung, mit deren Hilfe wir zum Beispiel ein bestimmtes Instrument aus dem Orchesterklang heraushören. Vom Thalamus gelangen die Signale in die Hörrinde des Schläfenlappens. Interessanterweise ▶

## INTRODUZIONE MUSICALE: WAS WIR HÖREN, WENN WIR HÖREN



**EINE GEBURTSTAGSFEIER.** Die Sektgläser in den Händen, stimmt die fröhliche Runde das wohl meistbekannte, -gehörte und -gesungene Musikstück aller Zeiten an: »Zum Geburtstag viel Glück« oder englisch »Happy Birthday to You«. Aus verhaltenswissenschaftlicher Sicht ist die Funktion klar: Die Feiernden zeigen und erzeugen damit soziale Bindung. Der Festredner vermeidet daher auch besser, das Musikstück strukturell zu analysieren – schließlich will er die Stimmung nicht stören. Wir aber sind bei der Feier nur Zaungäste und können uns daher fragen: Was nehmen wir eigentlich genau wahr, wenn wir dieses Lied hören?

**MUSIK IST VIELSCHICHTIG AUFGEBAUT,** ein komplex zusammengesetzter Hörreiz. Daher laufen beim Musikhören viele unterschiedliche Wahrnehmungsvorgänge gleichzeitig ab. Die Grundelemente eines Tones sind Höhe, Dauer, Lautstärke und Klangfarbe. Werden mehrere Klänge nacheinander gespielt, entstehen akustische Muster, die im auditiven Arbeitsgedächtnis in einen zeitlichen Zusammenhang gebracht und dann im Langzeitgedächtnis gespeichert werden. Das musikalische Langzeitgedächtnis ist also eine in unserem Gehirn repräsentierte »Musikbibliothek«. Wer Musik hört, vergleicht sie mit bereits vorhandenen Mustern und prüft sie auf Vertrautheit und musikalischen Sinngehalt. Wir können sie als musikalische Vorstellung aus dieser Bibliothek abrufen und vor unserem »inneren Ohr« erklingen lassen.

Die Struktur musikalischer Muster beschreiben wir durch

- ▶ die Melodiestructur,
- ▶ die Zeitstruktur,
- ▶ die vertikale harmonische Struktur
- ▶ und die dynamische Struktur.

Ich möchte die Bedeutung der einzelnen Faktoren in einem Gedankenexperiment verdeutlichen. Lassen wir dafür »Happy Birthday« in uns erklingen:

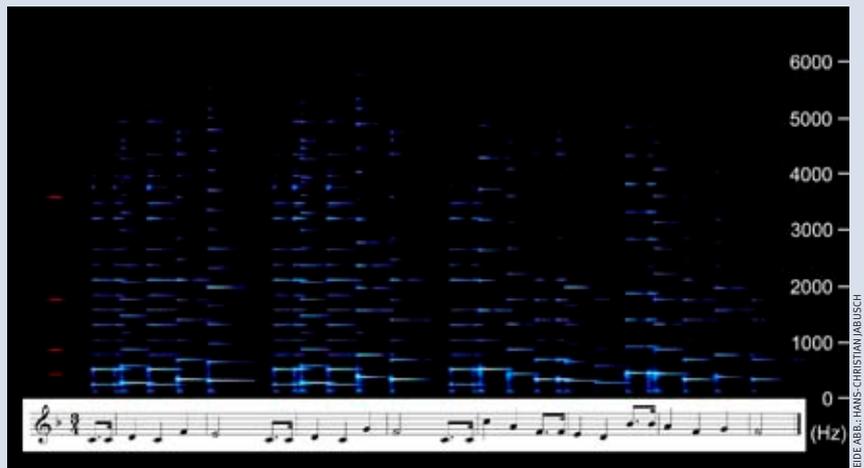
Diese einfache, acht Takte lange Melodie können wir als Ganzes hören, das heißt global oder ganzheitlich wahrnehmen. Wir können sie aber auch auf unterschiedliche Weise in ihre einzelnen Bestandteile aufgliedern. Diese lokale oder analytische Wahrnehmungsweise lässt sich bis zum Extrem treiben – dabei

erfahren wir Musik zersplittert und »punktuell« in einzelnen Tönen. Im nächsten Schritt setzen wir dann einzelne Töne zusammen. Zwei nacheinander gespielte Töne sind ein so genanntes Intervall. Wer also zunächst die Folge der ersten beiden Töne als Einheit hört, dann die Folge von Ton zwei und drei, dann die Töne drei und vier und so fort, hört intervallbezogen. Wir können aber auch etwas größere zeitliche Wahrnehmungseinheiten zusammenfassen und beispielsweise die Melodiekonturen beachten. Die Melodie führt erst kurz nach oben, dann nach unten, dann in immer größeren Sprüngen nach oben bis zum dritten »Happy Birthday«. Diese Stelle bildet den Höhepunkt, von da an sinkt die Melodielinie wieder.

Dieses konturbezogene Hören ist schon eher dem globalen, ganzheitlichen Wahrnehmen verwandt. Werden noch größere Einheiten zusammengefasst, dann bietet sich die Unterteilung des gesamten Liedes in den »Vordersatz« und den »Nachsatz« einer so genannten musikalischen Periode an. Diese gehorcht Symmetrieregeln und Harmoniegesetzen und erzeugt ein Gefühl von Spannung und Entspannung. In un-

serem Beispiel wäre der Vordersatz kurz vor dem letzten, mit Spannung gefüllten Sprung nach oben beendet – der dann den beruhigenden Nachsatz einleitet. Diese Hörweisen unterscheiden sich in der Länge der jeweils betrachteten und verarbeiteten Zeitsegmente.

**MUSIK BESTEHT ABER NICHT** nur aus Melodien, sondern auch aus Zeitstrukturen – vor allem Rhythmen und Metren. Ein Rhythmus entsteht aus dem zeitlichen Ablauf mindestens dreier aufeinander folgender Ereignisse. Unser Lied erklingt gleich zu Beginn mit einem energischen, so genannten punktierten Rhythmus. Dies gibt »Happy Birthday« von Anfang an einen festlichen Charakter, der später durch die gleichmäßig voranschreitenden Viertel unterstrichen wird. Das Metrum ist das gleichmäßige Pulsieren, das einer Tonfolge zu Grunde liegt, in unserem Fall ein Drei-Viertel-Takt. »Happy Birthday« ist also kein plumper »Geburtstagsmarsch«, sondern besitzt auch den schwebend tänzerischen Charakter eines Menuetts oder gar eines Walzers. Auch Rhythmus und Metrum wahrzunehmen setzt voraus, dass wir akustische Ereignisse zeitlich zusammenhän-



**DIE MELODIE VON »HAPPY BIRTHDAY«:** Die waagerechten Signale des Spektrogramms geben (von links nach rechts) die Frequenzspektren der einzelnen Töne wieder. Die Dynamik ist farbig gekennzeichnet: Lauter gespielte Töne sind heller. Oktavabstände sind am linken Bildrand rot markiert (ganz unten der Kammerton a = 440 Hz).

gend speichern und ihre Ordnung erkennen. Aber »Happy Birthday« besteht aus noch viel mehr als nur aus Melodien, Konturen, Rhythmen oder Metren. Neben dem horizontalen Aufbau besitzt Musik eine vertikale Struktur: die Klangfarben und Harmonien der einzelnen Töne und Mehrklänge. Um diese wahrzunehmen, hat das Gehirn nur einige Millisekunden Zeit. Die Klangfarben der singenden Stimmen unserer Geburtstagsgäste beispielsweise entstehen durch Geräusche und Einschwingvorgänge bei der Lautbildung und durch die Zusammensetzung der Obertöne der Sänger. Hören wir das Lied mehrstimmig oder mit Begleitung, nehmen wir die Harmonien wahr, indem wir die Zahlenverhältnisse zwischen den Schwingungszahlen pro Zeit erkennen. Einfache Schwingungsverhältnisse klingen in unseren Ohren meist angenehmer als komplexe. Diese Empfindungen sind subjektiv, unterscheiden sich zwischen verschiedenen Kulturen und verändern sich im Laufe der Zeit – sowohl im jeweiligen Kulturkreis als auch beim Einzelnen.

**SCHLIESSLICH HÖREN WIR WÄHREND** der Geburtstagsfeier auch die dynamische Struktur von »Happy Birthday«. Die vertikale Dynamik bezeichnet die Lautstärkenverhältnisse innerhalb eines Klanges. Sie verteilt die einzelnen Stimmen durch ihr Hervorheben beziehungsweise Zurücktreten auf Vordergrund und Hintergrund des Klangraums. Die horizontale Dynamik dagegen beschreibt den Lautstärkeverlauf innerhalb einer Gruppe aufeinander folgender Klänge. Sie spricht die Gefühle des Zuhörers stark an.

Ein Charakteristikum des Musikhörens scheint zu sein, dass wir zwischen verschiedenen Arten der Wahrnehmung umschalten können – die hier keineswegs alle beschrieben sind. Auch können wir uns rasch in Musik »einhören« und unsere Hörweisen verändern. Vielleicht hören Sie jetzt »Happy Birthday« auch schon anders? Unser Hörsystem ist lernfähig, plastisch.

Das wichtigste Merkmal der Musik ist aber ihre unmittelbare Wirkung auf die Emotionen. Musik kann uns bewegen, ohne dass wir dies mit Worten angemessen ausdrücken können.

▷ landen etwa neunzig Prozent der Informationen eines Ohres in der gegenüberliegenden Seite von Hirnstamm und Großhirn. Wenn Wissenschaftler in Tierversuchen einen Hörnerv durchtrennten, verstärkten sich allerdings die Verbindungen vom anderen, intakten Ohr zur gleichseitigen Hemisphäre.

Entlang dieser »aufsteigenden Hörbahn« vom Innenohr zur Hörrinde erfolgen nacheinander zunehmend kompliziertere Analysen der vom Innenohr kommenden Informationen. Gleichzeitig werden sie aber auch parallel verarbeitet. So erfüllt etwa bereits das erste Umschaltgebiet, der so genannte Cochleariskern, unterschiedliche Aufgaben: Während in seinem vorderen Teil die meisten Nervenzellen nur auf einzelne Töne reagieren und die eintreffenden Signale weitgehend unverändert weitergeben, verarbeitet der hintere Teil bereits akustische Muster wie Beginn und Ende eines Reizes oder Frequenzveränderungen. Verschiedene Teile des Gehirns kümmern sich also unter unterschiedlichen Aspekten um die gleiche Information. Die Endstation der Hörbahn ist die primäre Hörrinde auf der obersten Windung des Schläfenlappens, die Heschl'sche Querwindung. Dort reagieren viele Nervenzellen nicht nur auf reine Sinustöne, sondern auch auf komplexe Hörreize wie etwa Mehrklänge und Klangfarben.

### **ALLEGRO CON LOCALISATIONE: WO NEHMEN WIR DIE MUSIK WAHR?**

Bereits auf dieser Stufe unterscheiden sich die beiden Hirnhemisphären. So verarbeitet die primäre Hörrinde auf der linken Seite eher zeitlich sehr rasch ablaufende Informationen, auf der rechten dagegen vorwiegend Tonfrequenzspektren und Klangfarben. Wird die Heschl'sche Querwindung auf beiden Seiten zerstört, folgt daraus zwar keine vollständige Taubheit; aber die Fähigkeit, Laute zeitlich zu unterscheiden, ist danach drastisch gestört. Dadurch kann der Patient weder Sprache verstehen noch Musik wahrnehmen.

Die sekundären Hörareale schließlich liegen auf einem Halbkreis um die primäre Hörrinde und bearbeiten komplexere Muster. Weiter vorn, hinten und seitlich befinden sich – im weiteren Sinne – auditorische Assoziationsgebiete. Dazu gehört auch die so genannte Wernicke-Region der linken Hemisphäre, der eine entscheidende Funktion bei der Sprachwahrnehmung zukommt.

Das Bild einer streng getrennten Verarbeitung von Sprache in der linken und von Musik in der rechten Hirnhälfte ist weit verbreitet. Bis in die achtziger Jahre

des 20. Jahrhunderts stand diese vereinfachende Auffassung sogar in medizinischen Lehrbüchern, obwohl die meisten wissenschaftlichen Ergebnisse sie nicht stützten.

Die Suche nach einem »Musikzentrum« – nach Großhirnarealen, in denen Musik verarbeitet wird – begann bereits im 19. Jahrhundert. Damals konnten Wissenschaftler nur das Verhalten von hirngeschädigten Patienten beobachten. Aus den Leistungseinbußen – etwa der Unfähigkeit, ein Lied zu erkennen – schlossen sie, dass der Ort der Schädigung mit der betreffenden Fähigkeit zusammenhängt. Allerdings konnten sie so nur eine einzige Voraussetzung für eine bestimmte Leistung erkennen. Falls noch weitere Hirnregionen benötigt werden, konnten die Forscher diese nicht erfassen. Außerdem verhalten sich Patienten in den Tagen und Wochen nach einer Hirnverletzung immer wieder anders, da sich das Gehirn nach der Schädigung umorganisiert und den neuen Bedingungen anpasst. Dennoch konnten Wissenschaftler die Orte der Sprachverarbeitung im Gehirn bereits damals recht gut bestimmen. Vor allem erkannten sie, dass bei Rechtshändern meist die linke Hirnseite für Sprache zuständig ist. Wo und wie das Gehirn Musik verarbeitet, blieb dagegen auf Grund widersprüchlicher Befunde unklar.

Es zeigte sich, dass musikalische Leistungen sowohl nach Schädigung der linken als auch der rechten Hirnhälfte ausfallen können. Und zwar treten solche Defekte nicht nur bei Beeinträchtigung der Hörareale des Schläfenlappens auf, sondern auch dann, wenn Stirnhirn und Scheitelregionen betroffen sind. Wie Hirnforscher ebenfalls herausgefunden haben, werden bestimmte musikalische Teilaspekte wie Klangfarbe oder Rhythmus nicht eindeutig der linken oder rechten Hirnhälfte zugewiesen. Manche Ausfälle sind zudem sehr spezifisch: So kommt es vor, dass ein Hirngeschädigter entweder nur die Zeitstruktur oder nur die Melodiestructur nicht mehr verarbeiten kann. Demnach sind die dafür zuständigen Hirnregionen nicht identisch.

Die individuellen Unterschiede bei der Zuordnung musikalischer Leistungen zu Hirngebieten waren viel größer als bei Ausfällen der Sprachverarbeitung. Das ließ sich zum Teil aus den verschiedenen Untersuchungstechniken erklären, die nicht standardisierten Tests folgten. Isabella Peretz von der Université de Montréal beschrieb 1990 jedoch auch Unterschiede zwischen dem »analytischen« und »ganzheitlichen« Hören. Patienten mit einer Schädigung der linken Hirn-

▷ hälfte konnten schlechter Melodien unterscheiden, in denen einzelne Intervalle verändert waren (analytische Hörweise), während Patienten mit Schäden auf der rechten Seite eher Schwierigkeiten hatten, verschiedene melodische Konturen auseinander zu halten (ganzheitliche Hörweise). Peretz vermutete, dass die rechte Hirnhälfte prinzipiell Musik eher ganzheitlich verarbeitet und die linke eher analytisch.

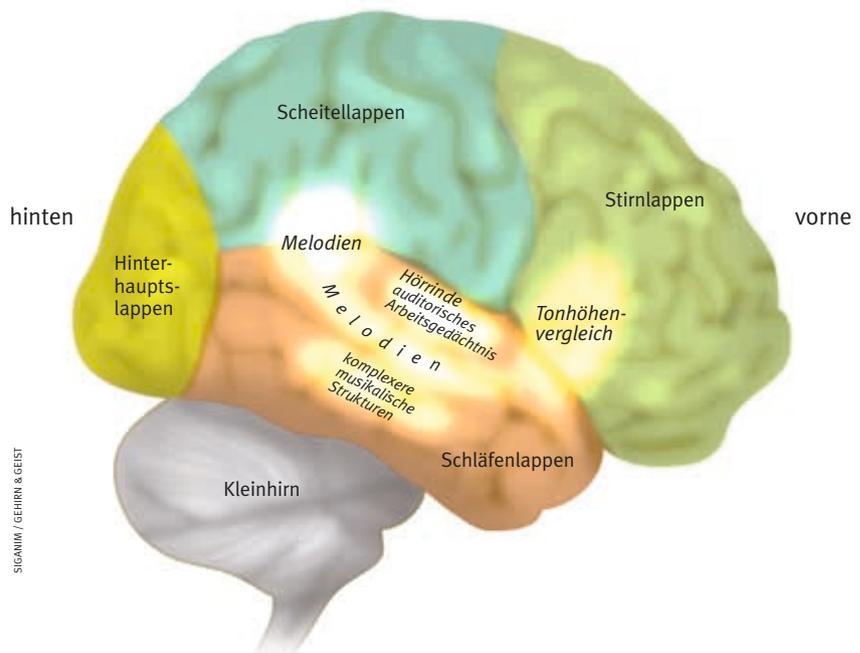
Diese Auffassung konnten wir aber nicht bestätigen. Meine Kollegin Maria Schuppert und ich fanden nach Schlaganfällen der linken beziehungsweise der rechten Seite bei den Patienten ein ganz heterogenes Ausfallmuster. Allerdings entnehmen wir den Befunden, dass die Wahrnehmung von Musik anscheinend hierarchisch organisiert ist: So setzt die erfolgreiche Verarbeitung von Intervallen und Rhythmen – also »analytisches« Hören (siehe Kasten Seite 52) – in der linken Hirnhälfte wohl voraus, dass rechts die »ganzheitlicheren« Merkmale Metrum und Melodiekontur erkannt werden. Ist nämlich die linke Seite geschädigt, nehmen die Patienten in der Regel nur Rhythmen oder nur Abfolgen von Tönen nicht mehr korrekt wahr. Bei Läsionen der rechten Seite dagegen erkennen sie nur entweder Konturen und Tonfolgen oder Metren und Rhythmen nicht mehr. Daher nehmen wir an, dass die rechte Gehirnhälfte zunächst die Grobstruktur der Musik herausarbeitet, wonach in der linken Hemisphäre eine feinere Analyse erfolgt.

### ANDANTE ADAPTABILE: HÖREN WILL GELERNT SEIN

Auch Untersuchungen an Gesunden mit modernen bildgebenden Verfahren zur Messung der Gehirnaktivität konnten bisher nur unvollständig aufklären, was der Musikwahrnehmung anatomisch und neurophysiologisch zu Grunde liegt. Wie bei den Beobachtungen Hirngeschädigter waren die Ergebnisse auch dieser Messungen verwirrend vielfältig und widersprüchlich. Die Vielfalt entsteht zum einem durch die Komplexität von Musik, denn die verschiedenen Teilaspekte wie Rhythmen und Intervalle werden in unterschiedlichen, teilweise überlappenden Hirnregionen verarbeitet. Andererseits ist deren Lage und Ausdehnung stark erfahrungsabhängig und unterscheidet sich bei musikalischen Laien und Berufsmusikern. Als Faustregel gilt, dass frühe Verarbeitungsstufen der Musikwahrnehmung im Gehirn, etwa Tonhöhen- und Lautstärkeunterscheidung, bei allen Menschen in der primären und sekundären Hörrinde beider Hirnhälften erfolgen.

## Wo »HÖRT« UNSER GEHIRN?

### TONHÖHEN UND MELODIEN – RECHTE HIRNHÄLFTE



**VERGLEICHT EIN MUSIKALISCHER LAIE UNTERSCHIEDLICHE TONHÖHEN**, sind der rechte hintere Stirnlappen und die rechte obere Schläfenlappenwindung aktiv. Dabei scheint die Stirnregion eher den Unterschied zwischen den Tonhöhen festzustellen, während im Schläfengebiet offenbar das auditive Arbeitsgedächtnis sitzt, das Töne zu Vergleichszwecken speichert. Bei längeren Störreizen zwischen den beiden zu vergleichenden Tönen werden auch die mittlere und die untere Schläfenlappenwindung einbezogen. Dort verarbeiten wir dementsprechend komplexe oder länger im Gedächtnis zu haltende musikalische Strukturen. Der große Unterschied bei Berufsmusikern ist nun, dass bei ihnen die linke Hemisphäre verstärkt aktiv wird, wenn sie Tonhöhen unterscheiden oder Akkorde wahrnehmen. Profis verschieben also einen Teil ihrer Gehirnarbeit beim Hören von Tönen von rechts nach links.

Hören wir nicht nur einzelne Töne oder Akkorde, sondern ganze Melodien, setzen wir wiederum andere Gehirnteile in Gang: Zusätzlich zur primären und sekundären Hörrinde sind nun auch auditive Assoziationsgebiete in der oberen Schläfenlappenwindung tätig – wieder vor allem in der rechten Hirnhälfte.

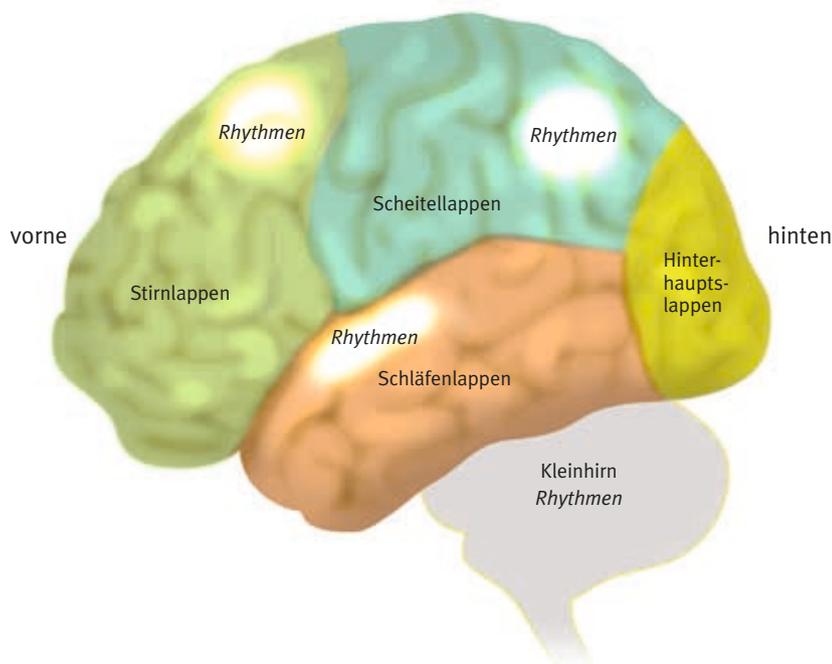
Für spätere Verarbeitungsstufen und komplexere Mustererkennung – wie etwa die Wahrnehmung von Melodien und Zeitstrukturen – sind jedoch bei jedem Menschen zumindest teilweise unterschiedliche Hirngebiete zuständig (siehe Abbildungen oben).

Wissenschaftler untersuchten auch das so genannte absolute Gehör, das manche Menschen besitzen. Die Betroffenen können ohne Vergleichston angeben, welchen Ton sie hören. Musiker mit absolutem Gehör besitzen eine größere hintere

obere Schläfenlappenwindung in der linken Hemisphäre. Dabei ist anscheinend sowohl für das absolute Gehör als auch für die Vergrößerung der Hirnregion entscheidend, dass das musikalische Training vor dem siebten Lebensjahr beginnt.

Wie plastisch die Musikwahrnehmung ist, zeigt sich schon nach wenigen Stunden Training. Christo Pantev und seine Mitarbeiter von der Universität Münster ließen Versuchspersonen Musik hören, bei der ein bestimmter Frequenzbereich herausgefiltert war. Sie stellten

## RHYTHMEN – LINKE HIRNHÄLFTE



**WENN MUSIKALISCHE LAIEN EINFACHE RHYTHMISCHE BEZIEHUNGEN VERARBEITEN** – so etwa das Verhältnis der Tonlängen 1:2:4 oder 1:2:3 –, nutzen sie so genannte prämotorische, also bewegungsvorbereitende Regionen sowie Teile des Scheitellappens der linken Hirnhälfte. Sind die Zeitverhältnisse komplexer (etwa 1:2,5:3,5), müssen prämotorische und Stirnlappen-Regionen auf der rechten Seite aktiv werden. In beiden Fällen arbeitet außerdem noch das Kleinhirn mit – in bester Übereinstimmung mit der verbreiteten Auffassung seiner Bedeutung als »Zeitgeber«.

Wieder zeigte sich bei einer Untersuchung von Musikstudenten ein anderes Bild: Hier waren beim Unterscheiden von Rhythmen oder Metren Teile des Stirnlappens und des Schläfenlappens auf der rechten Seite am aktivsten. Wenn es also um rhythmische Beziehungen geht, ist die Situation gerade umgekehrt wie bei Tonhöhen: Musikalisch Untrainierte verarbeiten sie auf der linken Seite, Geübte eher rechts.

fest, dass die primäre und sekundäre Hörrinde schon nach drei Stunden selektiv in diesem Frequenzband weniger aktiv waren. Umgekehrt führt mehrjähriges intensives musikalisches Training zu einer stärkeren Aktivität der zuständigen Hirnbereiche. Dabei verändern sich diese Regionen spezifisch nur für die jeweiligen Instrumente und musikalischen Erfordernisse. Bei Berufstrompetern etwa reagieren die »musikalischen« Hirnstrukturen nur auf Trompetentöne verstärkt, nicht aber auf Geigenklänge.

Auch das Richtungshören ist hochgradig übungsabhängig. Dirigenten etwa müssen die klangliche Balance des gesamten Orchesters und damit auch der seitlich sitzenden Musiker kontrollieren. Sie sind auch tatsächlich Pianisten darin überlegen, seitlich positionierte Klangquellen genau zu orten – und ihre Hörneurone sind dabei aktiver.

Aber auch musikalische Strukturen wie Intervalle und Rhythmen erfassen wir durch Übung besser. Daher bieten Musikhochschulen auch das Fach »Gehörbildung« an. In mehreren Längsschnittstudien untersuchten Wissenschaftler an unserem Institut, welche Veränderungen Gehörbildung und Musikunterricht in den an Musikwahrnehmung beteiligten Gehirnregionen bewirken. So erforschte Gundhild Liebert in unserem EEG-Labor zusammen mit dem Musikpädagogen Wilfried Gruhn an Musikstudenten die Auswirkungen eines etwa halbstündigen Gehör-Trainings. Insgesamt 32 rechtshändige junge Musikerinnen und Musiker sollten 140 abwechselnd dargebotene Dur-, Moll-, verminderte oder übermäßige Akkorde hören und identifizieren. Die Akkorde erklangen jeweils zwei Sekunden lang, worauf zwei weitere Sekunden des »inneren Nach-Hörens« folgten. Danach erhielt der eine Teil der Versuchspersonen über eine Lernkassette einen standardisierten Gehörbildungsunterricht mit dem Ziel, danach verminderte oder übermäßige Akkorde besser zu erkennen. Die ▶

*»Ich darf nicht verschweigen, dass wir Pianisten nicht immer gleichmäßig funktionieren. Ich meine damit nicht nur die Geöltheit unseres Spielapparates – ... ich meine damit auch die Qualität des Hörens, die sich unter dem Einfluss von Frische und Ermüdung, Entspanntheit oder Angst verändern kann. Viel wird davon abhängen, von welchem Instrument und Raum der Pianist gerade herkommt, ob er vertraute Verhältnisse vorfindet oder sich völlig umstellen muss. In diesem Fall wird das Einspielen und Einhören vor dem Konzert auch den Zweck haben, die jüngsten Hör- und Spielgewohnheiten möglichst gründlich aus dem Gedächtnis zu tilgen«*

Alfred Brendel, Nachdenken über Musik

»Vielleicht, sagte Kretschmar, sei es der tiefste Wunsch der Musik, überhaupt nicht gehört, noch selbst gesehen, noch auch gefühlt, sondern, wenn das möglich wäre, in einem Jenseits der Sinne und sogar des Gemütes, im Geistig-Reinen vernommen und angeschaut zu werden«

Thomas Mann, Doktor Faustus

▷ anderen Probanden lasen derweil eine Kurzgeschichte. Anschließend hörten alle noch einmal dieselben Akkorde wie eingangs, allerdings in veränderter Reihenfolge. Während der Hörsitzungen registrierten die Wissenschaftler die Aktivität größerer Neuronenpopulationen mittels EEG (siehe Abbildung unten).

### MENUETTO COREPRESENTATIVO: OHR UND HAND VERMÄHLEN SICH

Beim ersten Hören der Akkorde waren in beiden Hirnhälften die Stirn- und Schläfenregionen aktiv. Die Aktivierung nahm danach bei den Mitwirkenden ohne Gehörbildungsphase generell ab, was auf Gewöhnung zurückzuführen ist. Die Gehörbildung führte dagegen bei der ande-

**EINE »BADEKAPPE« MIT 32 Elektroden dient zum Ableiten des EEG. Um den Übergangswiderstand zwischen Haut und Elektrode möglichst klein zu halten, wird ein spezielles Gel in diesen Zwischenraum gefüllt.**

ren Gruppe nicht nur zu einem deutlich besseren Erkennen der Akkorde, sondern auch zu mehr Aktivität in zentral gelegenen Gehirngebieten, die Sinneswahrnehmungen mit Bewegungsvorstellungen verknüpfen – vor allem während der Phase des inneren Nach-Hörens. Womit konnte dies zusammenhängen? Auf die Frage, ob sie eine bestimmte Hörstrategie angewandt hätten, antworteten einige Versuchspersonen, sie hätten sich nach dem Training die Akkorde im Geiste als Griffe am Klavier vorgestellt. Da nahezu alle Probanden zu Hause ihr Gehör am Klavier schulten, hatte vielleicht der Unterricht die Repräsentationen der »Griffbilder« im Gehirn ins Spiel gebracht: die in der Hirnrinde gespeicherten Informationen, wie man einen bestimmten Akkord am Klavier spielt. Diese halfen dann während des inneren Nach-Hörens, die Klänge zu identifizieren.

Damit sind wir auf einen entscheidenden Tatbestand gestoßen: Menschen können Musik nicht nur als Klang – auditiv – wahrnehmen! Im Konzert beobachten wir auch den oder die Musiker beim Spielen (visuelle Wahrnehmung); bei lau-

teren Passagen fühlen wir Vibrationen – der taktile Sinn ist angesprochen. Spielen wir selbst ein Musikstück auf einem Instrument, nehmen wir es als Abfolge von Griffmustern wahr, also sensomotorisch. Studieren wir einen Notentext, erfassen wir ihn auf symbolischem Weg. In jeder dieser Modalitäten können wir Musik im Gehirn repräsentieren und in Gedächtnissystemen speichern. Wenn also sensomotorische Repräsentationen tatsächlich Tonmuster bestimmen helfen, muss das Gehirn gefühlte Musik in gehörte übersetzen. Berufspianisten können in der Tat eindrucksvoll schildern, wie ihnen beim Hören einer Klaviersonate die Finger jucken – und wie sie andererseits mit ihrem inneren Ohr Klaviermusik hören, wenn sie mit den Fingern selbstvergessen auf der Tischplatte trommeln. Wenn wir ein Instrument spielen, muss unser Gehirn immer Hörinformationen mit sensomotorischen Daten zusammenführen.

Um herauszufinden, wie viel Zeit das Gehirn benötigt, um solche Verknüpfungen herzustellen, maß mein Mitarbeiter Marc Bangert bei musikalischen Laien die Aktivität im Gehirn in zwei Situationen: Entweder hörten sie einfache, kurze Klaviermelodien, oder sie drückten stumm geschaltete Tasten an einem elektronischen Klavier. Damit hatte er ihre Hirnaktivität beim Hören und beim reinen Fingerbewegen aufgezeichnet – zwei völlig unterschiedliche Aktivitätsmuster. Daraufhin folgte eine Übephase: Die Versuchsteilnehmer hörten einfache Melodien und sollten sie auf dem Klavier nachspielen. Diesmal konnten die Probanden hören, was sie spielten. Jedes Mal, wenn sie eine Melodie bewältigt hatten, folgte eine etwas schwierigere als Aufgabe, bis sich die Spieler nicht mehr verbesserten (siehe Abbildung Seite 57). In der Regel schafften sie es, zwanzig bis dreißig Melodien nachzuspielen. Dann bestimmte Bangert wieder die Hirnaktivität – getrennt für das Hören von Klaviermelodien und das Drücken der stummen Tasten. Insgesamt führte er über mehrere Wochen hinweg elf solche Trainingssitzungen mit Hirnaktivitätsmessungen durch.

### CODA: VERÄNDERUNGEN IN DER GREIFREGION

Das Ergebnis: Bereits nach den ersten zwanzig Minuten Klavierübungen begannen sich die Aktivierungsmuster in den »Hörregionen« wie auch den »Greifregionen« leicht zu ändern. Drei Wochen später waren die Veränderungen deutlich erkennbar: Nun beteiligte sich allein schon beim Hören automatisch die sensomotorische Hirnregion, ohne dass die Teilnehmer ihre Hände auch nur ansatzweise beweg-



ECKHART AITENMÜLLER

## GEFÜHLE UND MUSIK IM GEHIRN

**OBWOHL SICH MUSIK DADURCH AUSZEICHNET**, starke Emotionen erzeugen zu können, begannen Forscher erst in den letzten Jahren, diesen Aspekt mit funktioneller Bildgebung zu erforschen. So untersuchte unsere Arbeitsgruppe an Jugendlichen, ob die Musikverarbeitung im Gehirn davon abhängt, ob sie ein Stück als schön empfinden oder nicht. Wenn den Teenagern die Musik gefällt, sind Teile des Stirnlappens und des Schläfenlappens auf der linken Seite stärker aktiv. Mögen sie ein Stück dagegen nicht, sind vergleichbare Gebiete auf der rechten Seite beschäftigt. Auch das unter der Großhirnrinde liegende, für Gefühle zuständige limbische System ist intensiv beteiligt: Als angenehm empfundene Musik brachte neben Teilen des Stirnlappens den Gyrus cinguli – eine weiter im Innern des Gehirns liegende Großhirnwindung – in Schwung. Dissonante, als unangenehm empfundene Musik führte dagegen zu Aktivität im rechten Gyrus parahippocampalis nahe der Unterseite des Gehirns. Und schließlich hängen die durch Musik hervorgerufenen Freude-Schauer mit dem limbischen Selbstbelohnungssystem zusammen.

ten. Drückten die Versuchsteilnehmer jetzt mit den Fingern auf stumme Tasten, begannen sich zusätzliche Hörregionen im Stirn- und Schläfenlappen einzumischen. Mit Abschluss des Experiments zeigten die Klavieranfänger ähnliche Aktivierungsmuster wie Berufspianisten: Bei Profis sind diese Muster nämlich weitgehend identisch, egal ob sie die Musik hören oder (stumm) spielen.

Erstaunlicherweise waren bereits nach fünf Wochen Training am Klavier die zunächst nur vorübergehenden Änderungen der neuronalen Vernetzung stabil: Wir hatten die Gelegenheit, eine der Versuchspersonen ein Jahr später noch einmal zu messen, und konnten bei ihr die Veränderungen der Hirnaktivität immer noch nachweisen, obwohl sie seit dem Training nicht mehr Klavier geübt hatte.

Wie diese Studie zeigt, können durch musikalisches Lernen also zusätzliche mentale Repräsentationen entstehen – in diesem Fall die Repräsentation von Tönen durch Fingerbewegungen. Allgemein bestimmt offenbar die individuelle Lern- und Hörbiografie die Aktivität unseres Gehirns, wenn wir Musik hören.



**TONFOLGEN WIE DIESE** mussten die Teilnehmer des Lernexperiments auf dem Klavier nachspielen – von ganz leichten (a) bis hin zu ziemlich anspruchsvollen (b).

Unser Hörsystem unterscheidet sich von allen anderen Sinnen in zwei wichtigen Punkten. Zum einen ist das Ohr das Sinnesorgan mit den wenigsten Sinneszellen. Ein Vergleich mit dem Auge macht dies deutlich: Hier stehen den etwa 3500 inneren Haarzellen des Innenohrs über 100 Millionen Photorezeptorzellen in der menschliche Netzhaut gegenüber! Erst das Gehirn errechnet aus den spärlichen Informationen des Ohrs die vielfältigen Details der auditorischen Wahrnehmung. Zum anderen ist der Hörsinn wahrscheinlich von allen Sinnen der lernfähigste. Dabei können die Lernvorgänge ganz unterschiedlich schnell sein: Unser Gehör lernt in Sekundenschnelle, aber auch über viele Jahre hinweg.

Wo genau verarbeitet unser Gehirn also Musik? Wenn tatsächlich Musik bei jedem Einzelnen in etwas unterschiedlichen Hirnbereichen wahrgenommen wird, ist es schwierig, allgemein gültige Gesetze dafür zu finden. Streng genommen existieren dann nämlich derzeit etwa sechs Milliarden unterschiedliche »Musikzentren« auf der Erde – in jedem Gehirn ein etwas anderes!

Dennoch – viele Voraussetzungen für das Musikhören gelten universell: Alle Menschen benötigen den Sinnesapparat im Innenohr, die Hörbahn vom Ohr zum Gehirn und die oberen Schläfenlappenwindungen, um Schallwellen als Musik dechiffrieren zu können. Auch die Arbeitsteilung zwischen der linken und der rechten oberen Schläfenlappenwindung – rasche zeitliche Analyse links, Verarbeitung der Tonhöhen rechts – dürfte im Wesentlichen allgemein gültig sein.

Und sogar für die Unterschiede in der Musikverarbeitung zwischen verschiedenen Personen gelten einige allgemeine Regeln und Grundsätze:

► Bereits auf der Ebene der einfachen Zeit- und Tonhöhenanalyse in den oberen Schläfenlappenwindungen passt sich das Gehirn an Gelerntes an.

► Im Gegensatz zum ungeübten Hörer ist bei Musikern dieselbe Musik mehrfach im Gehirn repräsentiert: als Klang, als Bewegungsprogramm (am Klavier), als Symbole (Noten) und so fort.

► Wie Musik bei einem Menschen repräsentiert ist, wird von der Summe dessen bestimmt, was er bisher auf musikalischem Gebiet gelernt hat – seine auditive »Lernbiografie«. Nicht zu vernachlässigen ist schließlich, dass auch Emotionen die Musik verarbeitenden Netzwerke im Gehirn beeinflussen und dass die Repräsentationen von Musik vom jeweiligen kulturellen Rahmen abhängen.

Das heißt: Sobald wir nicht mehr im Labor Musik in einzelne Faktoren zerlegen, sondern im Alltag Musik hören, verhält sich jedes Gehirn dabei etwas anders. Die beteiligten Hirnstrukturen passen sich schnell an neue Umstände an und sind über beide Hemisphären verteilt. Diese neuronale Dynamik beginnen wir erst jetzt zu erkennen und zu erforschen. ◀

*»Das ist die Eigenschaft der Dinge: Was künstlich ist verlangt geschlossenen Raum. Natürlichem genügt das Weltall kaum.«*

Johann Wolfgang von Goethe, Faust II



**ECKART ALTENMÜLLER** ist Professor am Institut für Musikphysiologie und Musiker-Medizin an der Hochschule für Musik und Theater in Hannover.

[altenmueller@hmt-hannover.de](mailto:altenmueller@hmt-hannover.de)

### Literaturtipps

**Altenmüller, E.:** How many Music Centers are in the Brain? In: Annals of the New York Academy of Sciences 2001, S. 930.

**Finscher, L. (Hg.):** Die Musik in Geschichte und Gegenwart, Basel: Bärenreiter 1995.

**Jourdain, R.:** Das wohltemperierte Gehirn. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag 1998.