

# DAS GEHIRN DES MUSIKERS ALS FORSCHUNGSGEGENSTAND

Thomas F. Münte

*Beim Musizieren ist das Gehirn des Musikers in vielfältiger Weise extremen Anforderungen ausgesetzt. Das Musikergehirn kann daher als Modell für das Studium der trainingsbedingten Veränderbarkeit des Nervensystems herangezogen werden. In diesem Artikel werden Beispiele für solche plastischen Veränderungen dargestellt.*

Seit den Zeiten des Phrenologen Franz Joseph Gall haben Neurowissenschaftler versucht, außergewöhnliche menschliche Fertigkeiten und Eigenschaften durch Veränderungen der Hirnanatomie zu erklären. So berichtete zum Beispiel der Anatom Leopold Auerbach am Beginn des letzten Jahrhunderts über Vergrößerungen der oberen Windung des Schläfenlappens des Gehirns bei einer Reihe von berühmten Musikern, die er nach ihrem Tode untersuchte. Mögen solche Untersuchungen heute lediglich als interessante Anekdoten der Wissenschaftsgeschichte erscheinen, so stellen sie doch die Wurzeln der Neuroplastizitätsforschung dar, also jener Forschung, die sich mit der Veränderbarkeit und Formbarkeit des Nervensystems durch Erfahrung und Übung beschäftigt. In der Tat haben Tierversuche in den letzten 20 Jahren zeigen können, dass sich die Größe und die zeitliche Organisation der Repräsentationen von Reizen durch Erfahrung verändern lassen /6, 13/. Bei Tieren führt beispielsweise ein Training, das auf sehr feine Zeitschätzungen abzielt, zu einer Vergrößerung der Bandbreite von Nervenzellen in den Hörgebieten der Hirnrinde, wohingegen Tiere, die auf die Unterscheidung von Tonhöhen trainiert wurden, eine schmalere Bandbreite aufwiesen /6, 10/. Dabei lassen sich sehr viel ausgeprägtere Veränderungen nachweisen, wenn die Reize für die Tiere bedeutsam sind bzw. wenn sie aufmerksam beachtet werden. Tierversuche gestatten, plastische Veränderungen des Nervensystems von der makroskopischen Ebene bis auf die Ebenen der Nervenzellen, Synapsen und Moleküle zurückzuverfolgen. /1, 14/

Es darf dabei jedoch nicht außer Acht gelassen werden, dass das typische Labortier in der Regel ohne die abwechslungsreiche Stimulation aufwächst, die bei Wildtieren anzutreffen ist. Auch sind die möglichen Variationen der Reize und Aufgaben, die man bei Tieren anwenden kann, beschränkt und das Training zumeist zeitlich stark begrenzt.

Insofern erscheint es notwendig, Untersuchungen zur erfahrungsabhängigen neuronalen Plastizität auf den Menschen auszudehnen, bei dem sehr viel einfacher komplexe Verhaltensweisen zu trainieren sind. Bei geburtstauen Menschen hat man so zeigen können, dass der „brach-

liegende“ Teil der Hirnrinde von anderen Modalitäten übernommen wird /3/. Ein weiteres, oft untersuchtes menschliches Modell stellen Personen mit Gliedmaßenamputationen dar /5/. Bei diesen Beispielen handelt es sich um Reaktionen und Umorganisationen des Gehirns auf krankhafte Zustände.

Was passiert aber beim Training außergewöhnlicher Fähigkeiten? Das Musizieren ist eine der komplexesten Fähigkeiten, die ein Mensch durchführen kann. So muss das motorische System eines Spitzenpianisten bis zu 1 800 Noten pro Minute koordiniert mit beiden Händen produzieren. Aber auch das Musikhören ist anspruchsvoll, da der Sinnesreiz Musik entlang verschiedener Dimensionen (Intervall, Rhythmus, Metrum, Harmonik etc.) strukturiert ist /12/. Schließlich erfordert das Musizieren die extrem schnelle und genaue Integration von sensorischen Reizen, also dem Gehörten einerseits und den aus den Gelenken und Muskeln rückgemeldeten Informationen andererseits, mit den motorischen Befehlen, die die Bedienung des Instrumentes ermöglichen. Man spricht hier von der „sensomotorischen Integration“.

Wie bei vielen anderen menschlichen Leistungen, ist auch bei der Musikausübung schon seit vielen Jahren debattiert worden, ob diese ausschließlich durch Erfahrung und langjähriges Training ermöglicht wird oder ob eine genetische Prädisposition angenommen werden muss. Das Studium von Musikern mit absolutem Gehör, also der Fähigkeit, einem einzelnen Ton ohne Referenzton einen genauen Notenwert zuzuordnen, im Vergleich zu solchen mit relativem Gehör, hat gezeigt, dass zumindest bei dieser Funktion beides, genetische Prädisposition und langjähriges, früh beginnendes Training, zusammenkommen müssen /2, 15/. Auch das Studium von extrem unmusikalischen Probanden ist geeignet, genetische Voraussetzungen für die musikalische Wahrnehmung herauszubekommen. /4, 7/

Diese Ausführungen zeigen, dass die Beschäftigung mit dem Gehirn des Musikers keineswegs ein esoterisches Unterfangen ist, sondern dass das Musikergehirn vielmehr ein perfektes Modell für das Studium der Plastizität des menschlichen Gehirns darstellt /8/.

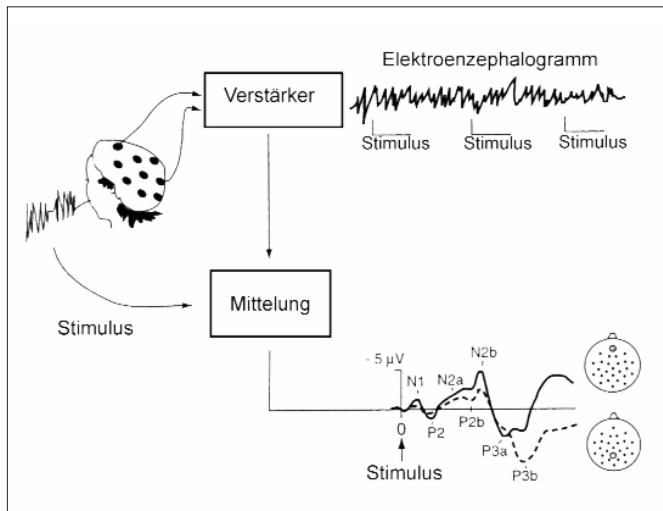


Abbildung 1  
 Technik der ereigniskorrelierten Hirnpotentiale. Die Versuchsperson hört (sieht/fühlt) Reize, die exakt kontrolliert von einem Computer dargeboten werden. Gleichzeitig wird vom Kopf der Versuchsperson über in einer elastischen Kappe montierte Elektroden das Elektroenzephalogramm (EEG) registriert. Mithilfe von Computerverfahren (sog. Averaging) können nun für die verschiedenen Reizklassen innerhalb eines Experimentes die Hirnpotentiale ermittelt werden, die spezifisch die Reizverarbeitung anzeigen. Diese Hirnpotentiale sind in hohem Maße von psychologischen Faktoren (Aufmerksamkeit, Gedächtnis, Motivation etc.) abhängig und können durch Instruktionen variiert werden. Die erhaltenen Spannungszeitdiagramme (unten rechts) weisen typische „Gipfel“ und „Täler“ auf, die vermessen und statistisch ausgewertet werden können.

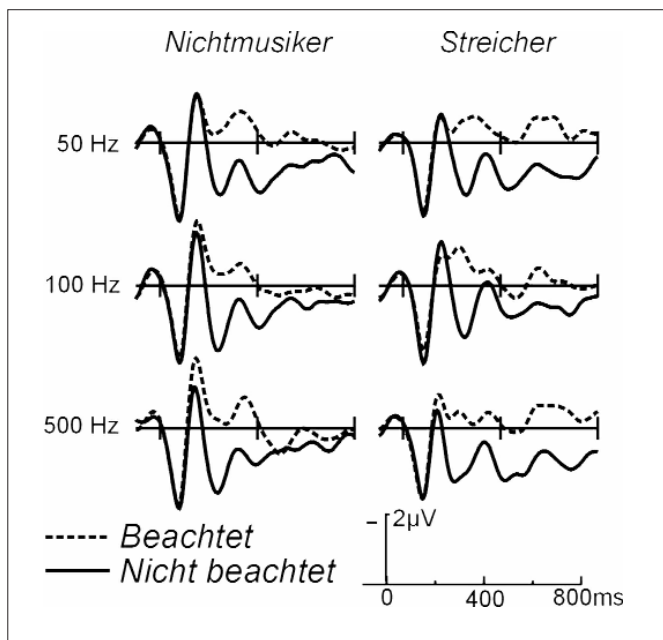


Abbildung 2  
 Untersuchung der auditorischen Aufmerksamkeit von professionellen Streichern und Nichtmusikern bei einer Aufgabe, die die selektive Beachtung eines von zwei Stimuluskanälen beinhaltet. Es sind die Hirnpotentiale für Stimuli gezeigt, wenn sie beachtet wurden (gestrichelt), verglichen mit den Hirnpotentialen für die gleichen Stimuli, wenn sie nicht beachtet werden sollten (durchgezogene Linie). Die Differenz zwischen diesen beiden Bedingungen ist bei den Streichern wesentlich ausgeprägter als bei den Nichtmusikern.

**MUSIK, EIN MULTIDIMENSIONALER STIMULUS**

Musik ist ein hochkomplexer Stimulus und das Hören und Produzieren von Musik setzt ohne Zweifel die Analyse und Integration der vielfältigen Dimensionen voraus, die der Musik innewohnen. Welches sind nun diese Basisbausteine? Zahlreiche neuropsychologische Untersuchungen legen nahe, dass der Verarbeitung der Tonhöhe und der zeitlichen Relation von Tönen bei der Musikverarbeitung eine besondere Rolle zukommt. Auf die Verarbeitung der Tonhöhe zum Beispiel setzen dann die Analyse von Intervall, Melodie-Kontur und Harmonik hierarchisch auf.

Wir haben uns in unseren eigenen Arbeiten daher zunächst dazu entschlossen, die Fähigkeiten der Musiker in Bezug auf die Verarbeitung dieser Basiseigenschaften auditorischer Stimuli zu überprüfen.

**Streicher**

In einer ersten Studie fragten wir, ob professionelle Musiker besser in der Lage sind, mithilfe ihrer selektiven Aufmerksamkeit eine von zwei Sequenzen von Tönen zu fokussieren, die über ihre Tonhöhe definiert wurden. Wir nutzen dabei die Aufzeichnung so genannter ereigniskorrelierter Hirnpotentiale (siehe Abbildung 1 und Legende), die elektrische Vorgänge im Gehirn des Menschen mit vorzüglicher zeitlicher Auflösung widerspiegeln. Da insbesondere Musiker, die Streichinstrumente spielen, über ein überlegenes Gehör für Tonhöhen verfügen sollen, griffen wir auf professionelle Streicher zurück und verglichen diese mit alters- und geschlechtsangepassten Nichtmusikern. Die beiden konkurrierenden Tonsequenzen waren dabei entweder um 50 Hz, 100 Hz oder 500 Hz unterschieden und die Aufgabe der Versuchspersonen bestand darin, im beachteten „Kanal“ selten auftretende, etwas längere Töne (= Zieltöne) zu identifizieren. Abbildung 2 zeigt die Hirnpotentiale der beiden untersuchten Gruppen. Hierbei fällt auf, dass die Potentiale der Streicher für die beachteten und nicht beachteten Töne eine weitaus größere Differenz aufweisen. Diese spiegelt sich auch im statistischen Vergleich der Kurven wider.

In der einschlägigen Literatur werden Aufmerksamkeitsdifferenzen in den Hirnpotentialen so interpretiert, dass die ausgeprägtere Kurve für die beachteten Reize die Übereinstimmung des auslösenden Stimulus mit einem „Muster“ anzeigt. Dieses bedeutet, dass die Musiker besser in der Lage sind, eine Übereinstimmung/Nicht-Übereinstimmung zwischen dem Muster und dem aktuellen Stimulus festzustellen, offensichtlich, weil ihr Muster präziser ist.

**Schlagzeuger**

Während Streicher aufgrund der Eigenschaften ihres Instrumentes hochspezialisiert für die Wahrnehmung kleiner Tonhöhendifferenzen sind, kann für Schlagzeuger gelten, dass diese insbesondere die zeitlich-rhythmische Dimension von Musik präferentiell verarbeiten. Dieses gilt

insbesondere für Jazz- und Rocks Schlagzeuger. Aus diesem Grunde testeten wir in einer weiteren Studie professionelle Schlagzeuger dieser Musikrichtungen und verglichen sie mit Holzbläsern aus dem Klassikfach sowie Nichtmusikern. Als Stimuli wurden Schlagzeugsequenzen (Abbildung 3A) verwendet, bei denen gelegentlich ein Schlag für 80 ms antizipiert wurde. Während des passiven Hörens der Sequenzen hatten die Probanden eine schwierige visuelle Diskriminierungsaufgabe zu erledigen. Abbildung 3B zeigt die Hirnpotentiale wie sie vom frontalen Skalp registriert werden können. Dabei wurde durch Subtraktion der Hirnpotentiale zu „passenden Schlägen“ von denjenigen zu den „unpassenden Schlägen“ die Hirnaktivität isoliert, die auf die rhythmische Verletzung zurückgeführt werden kann. Es zeigt sich eine deutlich höhere Aktivität für die rhythmisch unpassenden Schläge in der Schlagzeugergruppe. Dabei kann die Aktivität von verschiedenen Nervenzellpopulationen unterschieden werden: Eine initiale Antwort auf den unpassenden Schlag wird beiderseits in dem für das Hören spezialisierten Teil der Hirnrinde generiert, gefolgt von Aktivität in frontalen Hirnregionen (Abbildung 3C).

### Dirigenten

Eine weitere Musikergruppe, die hochspezialisierte Funktionen erfüllen muss, sind Dirigenten. Die Analyse der Aufgaben eines Dirigenten zeigt, dass dieser zwei zunächst unvereinbar erscheinende Aufgaben erledigen muss: Einerseits muss er, besonders während Orchesterproben, seine räumliche Aufmerksamkeit auf einen einzelnen Musiker richten, andererseits muss er gleichzeitig die gesamte auditorische Szene, also das Zusammenspiel aller Musiker, überwachen. In die Sprache der Psychologie übersetzt gilt es im Falle der Überwachung eines einzelnen Musikers, gerichtete räumliche Aufmerksamkeit zur Ausfilterung der relevanten Information einzusetzen. Die gesamte auditorische Szene hingegen erfordert die aufmerksamsunabhängige („präattentive“) Überwachung auf abweichende oder neuartige Reize. Wir haben daher professionelle Dirigenten mit Berufspianisten und Nicht-Musikern in einem Experiment verglichen, das diese unterschiedlichen Aspekte abbilden sollte. Von drei vor den Probanden und drei rechts neben den Probanden angeordneten Lautsprechern (siehe Abbildung 4A) wurden in rascher, unregelmäßiger Folge sechs Reize pro Sekunde präsentiert. Die Reize waren kurze Impulse von gefiltertem Rauschen, die beim Hörer den Eindruck eines Zischens erwecken. Es wurden zwei Kategorien von Reizen eingesetzt: häufige Standardreize („dunkles“ Zischen) und seltene abweichende Reize („helles“ Zischen). Die Aufgabe der Probanden bestand nun z. B. darin, den Lautsprecher direkt vor ihnen („Z1“) zu beachten und von diesem ausgehende abweichende Reize zu identifizieren und durch Knopfdruck zu beantworten. In anderen Versuchsdurchgängen war der periphere Lautsprecher „P1“ zu fokussieren. Von den unmittelbar benachbarten Laut-

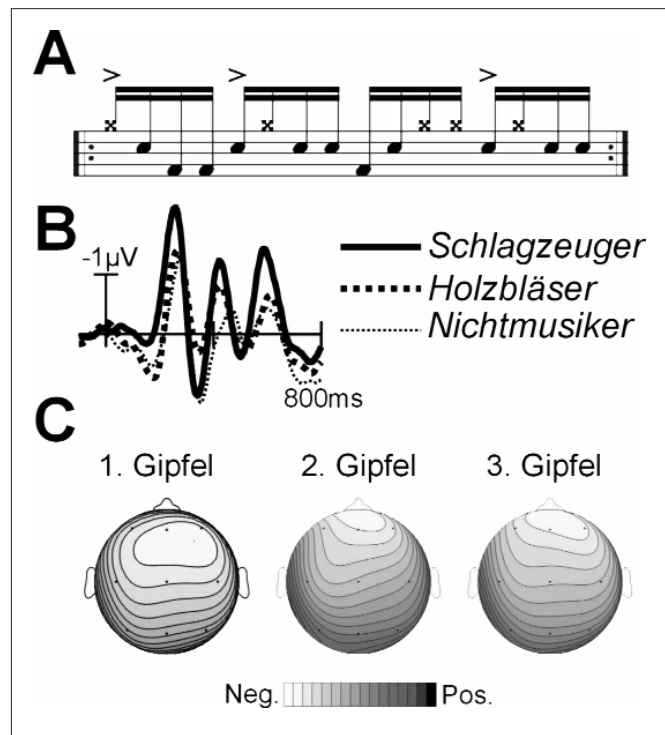


Abbildung 3

Untersuchung der automatischen Rhythmuswahrnehmung bei professionellen Rock- und Jazz-Schlagzeugern, Holzbläsern und Nichtmusikern.

A: Schlagzeugsequenz. Gelegentlich wurden in der kontinuierlich präsentierten Schlagzeugsequenz antizipierte (30 ms oder 80 ms) Schläge eingefügt.

B: Differenzpotentiale zwischen rhythmisch abweichenden (antizipierten) Schlägen und im Rhythmus liegenden Schlägen. Es findet sich für alle drei Probandengruppen eine elektrophysiologische Antwort, die allerdings für die Schlagzeuger wesentlich ausgeprägter ist. Ferner lässt sich für diese Probandengruppe eine ausgeprägte zweite und dritte Negativierung als Antwort auf den antizipierten Schlag registrieren.

C: Die topographische Verteilung der Hirnantworten gestattet Rückschlüsse auf deren Generatoren. Dargestellt sind die Isovoltkarten für die erste, zweite und dritte Negativierung auf die rhythmisch abweichenden Stimuli der Schlagzeuger.

sprechern (Z2 und Z3 bzw. P2 und P3) gingen auch Reize aus, diese waren aber zu ignorieren. Betrachtet man zunächst die Genauigkeit, mit der die einzelnen Gruppen ihre Aufgabe bewältigten, so ergibt sich, dass bei Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf den zentralen Lautsprecher Dirigenten, Pianisten und Nicht-Musiker gleich viele Abweichler (ca. 90 %) im Ziellautsprecher identifizierten und für die von den benachbarten Lautsprechern Z2 und Z3 kommenden Abweichlern nur wenige „falsche Alarme“ aufwiesen. Mit anderen Worten ist der Gradient der räumlichen Aufmerksamkeit im zentralen Hörraum für alle drei Gruppen recht steil. Sie können also genau fokussieren. Anders sieht es bei Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf den peripheren Lautsprecher aus. Hier gelingt nur den Dirigenten eine effektive Fokussierung auf den Ziellautsprecher, wohingegen sowohl Berufspianisten als auch Nicht-Musiker eine Vielzahl von Fehlreaktionen auf Abweichler in den Nachbarlautsprechern begehen.

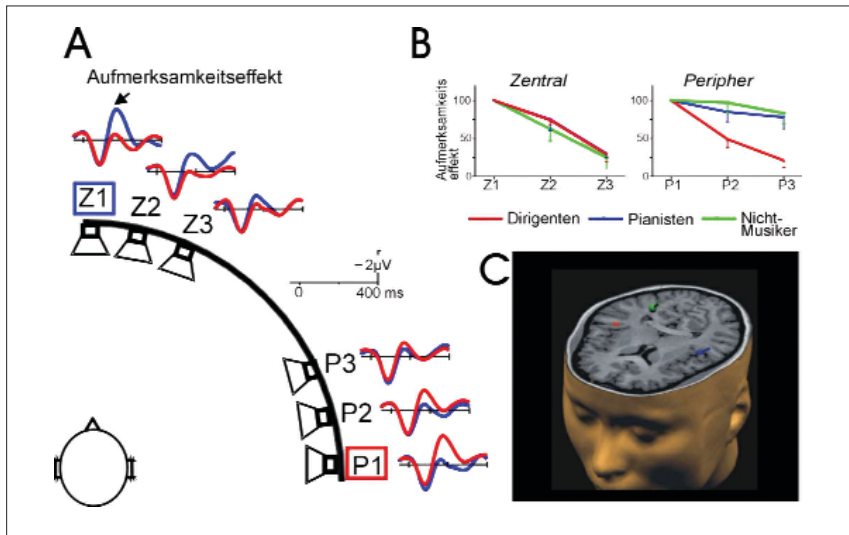


Abbildung 4

Untersuchung professioneller Dirigenten, Pianisten und Nichtmusiker.

- A: Versuchsaufbau: Die Probanden werden in schneller und zufälliger Folge über drei vor ihnen und drei rechts neben ihnen postierten Lautsprechern stimuliert, wobei jeweils der direkt vor ihnen liegende oder der rechts von ihnen liegende Lautsprecher relevant war. Die in der Nähe der sechs Lautsprecher dargestellten Hirnpotentiale stammen von der Dirigentengruppe und wurden zu den von den jeweiligen Lautsprechern präsentierten Reizen erhalten. Dabei sind die Potentiale blau dargestellt, wenn der Lautsprecher Z1 beachtet werden sollte, und rot, wenn der Lautsprecher P1 beachtet werden sollte. Es wird deutlich, dass die Potentiale aus der Zielrichtung negativer sind (Aufmerksamkeitseffekt) und dass dieser Aufmerksamkeitseffekt für die dem Ziellautsprecher benachbarten rasch abnimmt.
- B: Aufmerksamkeitseffekt für den zentralen und peripheren Raum. Es zeigt sich, dass nur die Dirigenten für den peripheren Raum eine Selektivität ihres Aufmerksamkeitseffektes aufbauen können. Sowohl für die Pianisten als auch für die Nichtmusiker ist der Aufmerksamkeitseffekt für alle drei peripheren Lautsprecher gleich groß, was bedeutet, dass diese Probanden eben nicht zwischen den eng zusammenliegenden Lautsprechern in der Peripherie unterscheiden können.
- C: Darstellung der neuroanatomischen Quellen der Hirnpotentiale zu abweichenden Stimuli außerhalb des Aufmerksamkeitsfokus bei Dirigenten. Es lassen sich dabei Quellen in der Hörrinde (rot und blau) aber auch in der frontalen Hirnrinde (grün) finden.

Wie sehen nun die Hirnpotentiale aus? In Abbildung 4A sind die Hirnpotentiale zu den häufigen Standardreizen für die Dirigentengruppe dargestellt. Hier zeigt sich, dass für Standardreize aus den relevanten Lautsprechern eine große Potentialdifferenz auftritt abhängig davon, ob die Reize beachtet werden mussten oder nicht. Für die benachbarten Lautsprecher fanden sich hingegen nur geringfügige Differenzen als Folge der Ausrichtung der Aufmerksamkeit. Betrachtet man den Aufmerksamkeitseffekt, definiert als die Potentialdifferenz zwischen der Hirnpotentialkurve zu Reizen aus der beachteten Raumrichtung und denselben Reizen, wenn die Aufmerksamkeit in die andere Raumrichtung fokussiert ist, so zeigt sich, dass dieser im zentralen Hörraum (Abbildung 4B) für alle drei Gruppen steil abfällt je weiter ein Reiz von der relevanten Schallquelle entfernt ist.

Für den peripheren Hörraum sieht dies jedoch anders aus: Hier findet sich nur für die Dirigenten eine signifikant geringere Ausprägung des Aufmerksamkeitseffektes für die dem relevanten Lautsprecher benachbarten Orte. Dies bedeutet

somit, dass nur die Dirigentengruppe in der Lage ist, ihre Aufmerksamkeit im peripheren Hörraum zu bündeln.

Bezogen auf die erste Aufgabe, die ein Dirigent erfüllen muss, also das Fokussieren auf einen einzelnen Musiker mithilfe der räumlichen Aufmerksamkeit, können wir also feststellen, dass die Dirigentengruppe sowohl im Vergleich mit einer, gemessen an den Jahren der professionellen Musikausübung, gleich erfahrenen Gruppe von Pianisten, als auch im Vergleich zu Nichtmusikern weit aus besser bei der Ansteuerung von Schallquellen im peripheren Hörraum abschneidet.

Zur zweiten Aufgabe, der Überwachung der gesamten „auditorischen Szene“, liefert unser Experiment ebenfalls erste Aufschlüsse. Schaut man sich die Potentiale zu den Reizen aus der nicht beachteten Raumrichtung an (also z. B. die Abwechler aus den Lautsprechern P1/P2/P3, wenn Z1 beachtet werden musste), so kann man bei den Nichtmusikern keine Unterschiede zwischen Potentialen zu Standardreizen und Abwechlern finden, wohl aber bei den Pianisten und Dirigenten. Mit andern Worten sind nur die Musiker in der Lage, die auditorische Szene außerhalb ihres Aufmerksamkeitsfokus zu überwachen. Erstaunlicherweise unterschieden sich aber auch die Hirnpotentiale von Dirigenten und Pianisten voneinander. Während beide Gruppen eine sogenannte Mismatch-Negativität (= negative Potentialauslenkung für Abwechler) zeigten, fand sich bei den Dirigenten darüber hinaus auch noch eine positive Auslenkung. Diese zeigt – so kann aus Arbeiten von Erich Schröger /11/ von der Universität Leipzig geschlossen werden – die Aktivierung eines Orientierungssystems an. Abbildung 4C gibt die Resultate von so genannten Quellenberechnungen wieder. Demnach kommt es bei den Dirigenten als Reaktion auf die abweichenden Reize im nichtbeachteten Raumteil zunächst im Hörkortex zu einer Aktivität, hier repräsentiert durch die rote und blaue Quelle, und danach findet sich eine Aktivierung eines mehr oben und vorne gelegenen Generators (grün). Letztere Quelle findet sich für die Pianisten nicht.

#### SCHLUSSFOLGERUNGEN

Somit ergibt sich für alle drei Beispiele, dass Musiker im Vergleich zu Nichtmusikern unterschiedliche Hirnpotentiale aufweisen. Wichtiger noch scheint, dass in Abhängigkeit von der Ausbildung eines Musikers, z. B. als Streicher, Schlagzeuger oder Dirigent, Hirnpotentialunterschiede zwischen einzelnen Musikergruppen zu finden sind, die offensichtlich das Produkt eines jahrelangen Trainings in Bezug auf bestimmte Charakteristika der Musik sind.

Wie sind solche Unterschiede nun zu interpretieren? Hierbei sollte zunächst zwischen quantitativen und qualitativen Hirnpotentialunterschieden differenziert werden. Findet sich ein quantitativer Unterschied, z. B. in der Amplitude eines bestimmten Anteils des Hirnpotentials, so ist

davon auszugehen, dass in derjenigen Probandengruppe, welche die höhere Amplitude aufweist, mehr Nervenzellen durch die Aufgabe aktiviert werden. Hier seien noch einmal die eingangs zitierten Befunde aus Tierexperimenten in Erinnerung gerufen. Diese besagen, dass das fortgesetzte Training eines Tieres auf einen bestimmten Aspekt eines Reizes dazu führt, dass die Ausdehnung desjenigen Hirnareals, welches für die Analyse dieses Aspektes zuständig ist, zunimmt. In gleicher Weise kann man, so haben Christo Pantev und Kollegen /9/ gezeigt, auch die Amplitudenveränderungen elektrischer Potentiale bei Musikern interpretieren.

Darüber hinaus fanden sich in unseren Datensätzen auch qualitative Unterschiede zwischen Probandengruppen. So wiesen z. B. nur die Dirigenten für abweichende Stimuli außerhalb des Aufmerksamkeitsfokus eine Positivierung auf, die eine Orientierungsreaktion auf den abweichenden Stimulus hin widerspiegelt. Hier zeigt sich, dass das jahrelange Training in der Überwachung komplexer auditorischer Szenen mit der Notwendigkeit, bei bestimmten abweichenden Ereignissen Konsequenzen zu ziehen, bei den Dirigenten zu einer veränderten kognitiven Strategie geführt hat, die sich in den Hirnpotentialen abbildet.

Es stellt sich nun die Frage nach der Bedeutung derartiger Untersuchungen. Es geht hier natürlich nicht darum zu zeigen, dass Menschen, die eine bestimmte Tätigkeit, sei es das Musizieren, sei es das Kopfrechnen, besonders üben, besser sind als solche, die diese Tätigkeit nicht regelmäßig durchführen. Vielmehr können solche Untersuchungen zeigen, in welcher Weise das Nervensystem und

das kognitive System des Menschen sich plastisch an Anforderungen anpassen. Unsere Daten legen dabei nahe, dass die Spezialisierung von Musikern sehr weit geht und dass das Musizieren Spuren im Gehirn der Musiker hinterlässt. In weiteren Studien gilt es nun zu zeigen, mit welcher zeitlichen Dynamik solche Veränderungen auftreten können. Darüber hinaus drängt sich vor dem Hintergrund von Tierversuchen auch die Frage nach den „Kosten“ einer derartigen Spezialisierung auf. Hier wurde nämlich gefunden, dass das Training bestimmter Diskriminationsleistungen zwar zu einer Verbesserung der Leistung der Tiere, einhergehend mit einer Ausdehnung der zuständigen Hirnrindenaareale, führte, andererseits aber auf Kosten der Diskriminationsleistung der Tiere in anderen Aufgaben ging /6, 10/. Ob es auch beim Menschen solche Kosten der Neuroplastizität gibt, ist noch zu klären.

Ein Fernziel dieser Forschung ist es aber, Interventionen zu entwickeln, welche es gestatten, neuroplastische Vorgänge beim Menschen gezielt anzuregen und zu steuern. Bisher ist es so, dass die Rehabilitationsbehandlung bei Patienten mit Nervenerkrankungen (Schlaganfällen, Schädelhirnverletzungen) zwar in vielen Fällen klinisch erfolgreich verläuft, allerdings nicht bekannt ist, warum sich der Zustand eines bestimmten Patienten gebessert hat und ob die verwandte Methode die für ihn optimale gewesen ist. Die Untersuchungen an Musikern und anderen Modellsystemen liefern wichtige Erkenntnisse über das Ausmaß und die zeitliche Dynamik plastischer Veränderungen am Nervensystem, die dann in einem zweiten Schritt in die Entwicklung von Therapieverfahren einfließen können.

#### Literaturhinweise

- /1/ Anderson, B.J. et al. Glial hypertrophy is associated with synaptogenesis following motor-skill learning, but not with angiogenesis following exercise. *Glia* 11, 73-80 (1994).
- /2/ Baharloo, S., Service, S.K., Risch, N., Gitschier, J. & Freimer, N.B. Familial aggregation of absolute pitch. *Am. J. Hum. Genet.* 67, 755-758 (2000).
- /3/ Bavelier, D. et al. Visual Attention to the Periphery Is Enhanced in Congenitally Deaf Individuals. *J. Neurosci.* 20, RC93 (2000).
- /4/ Drayna, D., Manichaikul, A., deLange, M., Snieder, H. & Spector, T. Genetic correlates of musical pitch recognition in humans. *Science* 291, 1969-1972 (2003).
- /5/ Flor, H. et al. Phantom-limb pain as a perceptual correlate of cortical reorganization following arm amputation. *Nature* 375, 482-484 (1995).
- /6/ Kilgard, M.P. et al. Sensory input directs spatial and temporal plasticity in primary auditory cortex. *J. Neurophysiol.* 86, 326-338 (2001).
- /7/ Münte, T.F. Brains out of tune. *Nature* 415, 589-590 (2002).
- /8/ Münte, T.F., Altenmüller, E. & Jäncke, L. The musician's brain as a model of neuroplasticity. *Nat. Rev. Neurosci.* 3, 473-478 (2002).
- /9/ Pantev, C. et al. Increased auditory cortical representation in musicians. *Nature* 392, 811-814 (1998).

- /10/ Recanzone, G.H., Merzenich, M.M., Jenkins, W.M., Grajski, K.A. & Dinse, H.R. Topographic reorganization of the hand representation in cortical area 3b owl monkeys trained in a frequency-discrimination task. *J Neurophysiol* 67, 1031-1056 (1992).
- /11/ Schröger, E. On the detection of auditory deviations: a pre-attentive activation model. *Psychophysiology* 34, 245-257 (1997).
- /12/ Schuppert, M., Münte, T.F., Wieringa, B.M. & Altenmüller, E. Receptive amusia: evidence for cross-hemispheric neural networks underlying music processing strategies. *Brain* 123 Pt 3, 546-559 (2000).
- /13/ Singer, W. Development and plasticity of cortical processing architectures. *Science* 270, 758-764 (1995).
- /14/ van Praag, H., Kempermann, G. & Gage, F.H. Neural consequences of environmental enrichment. *Nat. Rev. Neurosci.* 1, 191-198 (2000).
- /15/ Zatorre, R.J., Perry, D.W., Beckett, C.A., Westbury, C.F. & Evans, A.C. Functional anatomy of musical processing in listeners with absolute pitch and relative pitch. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A* 95, 3172-3177 (1998).

**Weiterführende Literatur findet sich in:**

- Münte, T.F., Altenmüller, E. & Jäncke, L. The musician's brain as a model for neuroplasticity. *Nature Reviews Neuroscience* 3, 473-478 (2002).
- Münte, T.F., Nager, W., Beiss, T., Kohlmetz, C., & Altenmüller, E. Specialization of the specialized: electrophysiological investigations in professional musicians. *Annals of the New York Academy of Science*, im Druck.
- Münte, T.F., Urbach, T.P., Düzel, E., Kutas, M. Event-related brain potentials in the study of human cognition and neuropsychology. In: Boller, F., Grafman, J., Rizolatti, G., Hrsg. *Handbook of Neuropsychology*, vol 1. Amsterdam: Elsevier, 2001: 139-235.



**Prof. Dr. Thomas F. Münte,**

geboren 1960, studierte Medizin und Neurowissenschaften in Göttingen und San Diego, USA. Nach dem Studium Ausbildung zum Neurologen an der Medizinischen Hochschule Hannover, dort auch Promotion und Habilitation (Neurale Korrelate von Sprache). Von 1996-1998 Gastprofessur am Department of Cognitive Science der University of California, San Diego. Seit 1999 Professor für Neuropsychologie im Studiengang Psychologie der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg. Sein wissenschaftliches Interesse gilt den neuronalen Grundlagen höherer Hirnfunktionen und ihrer Störungen.