

Wie lernen Senioren? Mechanismen der Hirnplastizität beim Musikunterricht im Alter¹

ECKART ALTENMÜLLER (HANNOVER)

Zusammenfassung

In diesem Artikel wird auf der Grundlage hirnpfysiologischer Erkenntnisse aufgezeigt, wie sich auch in höherem Alter das Nervensystem an die neuen Anforderungen anpasst, die mit dem Erlernen eines Instrumentes einhergehen. Diese Anpassungsvorgänge werden als „Neuroplastizität“ bezeichnet und können dem natürlichen Altern des Nervensystems teilweise entgegenwirken. Musizieren stellt dabei eine Situation der „angereicherten Umgebung“ dar. Dies führt zu höherer Synapsendichte, zu vermehrtem Wachstum von Nervenzellfortsätzen und zu einem höheren Gehirngewicht. Die Konsequenz daraus ist, dass es für den Instrumentalunterricht nicht nur nie zu spät ist, sondern dass sich das Erlernen eines Instrumentes auch in höherem Erwachsenenalter günstig auf die geistige Leistungsfähigkeit auswirkt. Musizieren kann darüberhinaus segensreich in der Rehabilitation von motorischen Defiziten bei Schlaganfallpatienten eingesetzt werden und es kann hilfreich sein, um einer dementiellen Entwicklung vorzubeugen.

Schlüsselwörter

Neurologie, Neuroplastizität, Musizieren im Alter, Angereicherte Umgebung, Demenz

Abstract

This article focuses on recent research demonstrating, how the aging brain is adapting to novel challenges accompanying learning to play a musical instrument. These changes affect all neural structures, counteract degradation due to aging and are usually referred to as “neuroplasticity”. Making music therefor can be considered as a situation of “enriched environment”. This leads to increased density of synapses, to larger dendritic trees and to an overall increase in brain weight. In consequence, it is not only ever too late to start playing an instrument; it furthermore promotes improvements in cognition, memory and emotional state in senior musicians. Making music can be excellently applied in rehabilitation of fine motor skills following stroke since it restores finger dexterity. In dementia, music can help to slow down the degradation of procedural memory and can improve emotional wellbeing.

Key Words

Neurology, Neuroplasticity, senior Musicians, enriched Environment, Dementia

Musizieren im Alter – Eine Einleitung

Musik machen und Musik hören gehören zu den wichtigsten Freizeitaktivitäten der Deutschen. Etwa sieben Millionen Deutsche musizieren in Ensembles und Chören regelmäßig. Der Umsatz der Deutschen Phonindustrie lag 2009 trotz der wirtschaftlichen Flaute bei mehr als 1,8 Milliarden Euro [25]. Musikalische Aktivitäten sind dabei schon lange nicht mehr auf das Kindes- und Jugendalter beschränkt, sondern eine steigende Anzahl von älteren Erwachsenen will erstmals ein Instrument erlernen. Deren Anteil stabilisiert sich bundesweit schon seit vielen Jahren bei etwa 10% der Schülerbelegungen der Musikschulen [26].

Dabei wird deutlich, dass insbesondere die älteren Erwachsenen sich dem aktiven Musizieren unter der kompetenten Anleitung der Musikschulen zuwenden. So werden Eltern häufig durch ihre Kinder, die begeisterte Musikschüler sind, zum Musizieren motiviert. Nicht selten sind es auch ehemalige Musikschüler, die nach einer Pause ihr früher erlerntes Instrument wieder aufnehmen, oder Senioren, die eine sinnvolle Lebensgestaltung und soziale Kontakte durch das Musizieren suchen. Oft sind es die Angehörigen der Nachkriegsgeneration, die auf Grund der damals schwierigen materiellen Lage trotz ihrer Musikbegeisterung nicht die Möglichkeiten hatten, ein Instrument zu lernen. Nachdem

¹ Dieser Beitrag basiert auf einer Veröffentlichung in: Heiner Gembris (Hrsg.): Musikalische Begabung und Alter(n). Schriften des Instituts für Begabungsforschung in der Musik (IBFM), Band 7, LIT-Verlag, Münster 2014.

sich diese Generation über Jahrzehnte für Familie und Beruf eingesetzt hat, sind jetzt endlich zeitliche und materielle Ressourcen frei, um das geliebte Hobby in Angriff zu nehmen. Aufgrund zahlreicher euphorischer Medienberichte erwarten dabei viele Menschen nicht nur höhere Lebenszufriedenheit durch ein schönes Hobby sondern auch positive Nebeneffekte auf die Denk- und Wahrnehmungsfähigkeit [2].

Musizieren als „Gehirnjogging“

Musizieren ist eine der anspruchsvollsten Leistungen des menschlichen Zentralnervensystems. Die koordinierte Aktivierung zahlreicher Muskelgruppen muss mit höchster zeitlicher und räumlicher Präzision und häufig mit sehr hoher Geschwindigkeit geschehen. Dabei unterliegen die Bewegungen einer ständigen Kontrolle durch das Gehör, durch den Gesichtssinn und durch die Körpereigenwahrnehmung. Die an die Muskulatur vermittelte Kraftdosierung muss bis in die kleinste Nuance genau berechnet werden. Ungeheure Mengen an eingehenden Informationen von Millionen Sinneszellen der Haut, der Gelenke, der Sehnen, der Muskelspindeln, der Augen und des Gehörs werden ständig ausgewertet und in die Planung der neuen Bewegungen miteinbezogen. Eine Besonderheit des Musizierens ist nämlich, dass die Bewegungen laufend an das gerade entstandene klangliche Ergebnis angepasst werden und der Handlungsplan blitzschnell angepasst wird. Erst diese rasche Integration der eingehenden Information in den aktuellen Handlungsplan ermöglicht die befriedigende Realisierung der Klangvorstellung. Noch komplizierter ist es, wenn im Ensemble musiziert wird. Zusätzlich zu den oben genannten Vorgängen müssen jetzt auch die mehr oder weniger subtilen Signale der Mitspieler in gemeinsame Aktionen münden.

Sind die Grundlagen des Instruments beherrscht, ist das Ziel des musizierenden Individuums nicht eine mathematisch überpräzise Wiedergabe, sondern ein durch Affekte modulierter „sprechender“ Vortrag, der Gefühle durch emotionale Kommunikation vermitteln kann [1]. Die dafür notwendige Realisierung vielfältiger Klangfarben, winziger Akzente, Dehnungen, Beschleunigungen, Vibrato-Nuancen und vieles mehr fordern vom Spieler eine lebhaftere Imaginationsfähigkeit und reiche emotionale Erfahrung.

Die neuronalen Grundlagen dieser Vorgänge sind bislang erst in Ansätzen verstanden. Unbestritten ist, dass Musizieren nahezu alle Hirnareale beansprucht und diese miteinander vernetzt. Sensomotorische, auditive und visuelle Regionen tragen in Wechselwirkung mit dem die Emotionen verarbeitenden limbischen System zu dieser Leistung bei. Die hierarchisch übergeordneten Zentren des Stirnhirnlappens sind an der Planung, Initiierung und Kontrolle der Bewegungsabläufe, an der Steuerung der Aufmerksamkeit und an der Auswertung des Bewegungserfolges stets beteiligt. Voraussetzung für die geordnete und fehlerarme Bewältigung derartig vielschichtiger Informationsverarbeitungsprozesse ist ein Lernvorgang, das Üben. Durch Üben werden die sensomotorischen, auditiven und die visuell integrativen Fertigkeiten erworben, die für die Beherrschung eines Instruments oder für das Singen notwendig sind. Gleichzeitig werden Gedächtnissysteme angelegt, strukturell analytische Kenntnisse zur Erfassung eines Musikstücks oder eines Notentextes erlernt und expressives, emotionales Musizieren geübt. Musizieren bedarf dabei des viele Jahre dauernden intensiven Lernens, denn viele auditive und sensomotorisch-exekutive Fertigkeiten können nur durch häufige Wiederholungen in das automatisierte prozedurale Gedächtnis überführt werden. Hirnphysiologisch ist dieser Vorgang dadurch gekennzeichnet, dass neuronale Netzwerke der tief im Innern des Gehirns gelegenen Basalganglien nach und nach Funktionen der Großhirnregionen übernehmen und damit dort frische Ressourcen für die Aufnahme neuer Informationen schaffen [3]. Der Prozess des Übens wird meist unbewusst reflektiert und im günstigen Fall durch kritisches Überprüfen eigener oder durch Lehrer vermittelter Einstellungen, durch neugierige Erkundung neuer Übungsstile und durch Schärfung der Selbstwahrnehmung optimiert [Überblick bei Gary McPherson, 14]. Richtiges Üben lernt man also durch Üben. Aber nicht nur der Erwerb, auch die Erhaltung eines hohen spieltechnischen Niveaus, über die Jahre der Ausbildung hinaus, beruht auf ständigem Üben, wobei speziell im Alter spezifische Anpassungsvorgänge notwendig sind [siehe Beitrag Maria Schuppert, in diesem Heft].

Musizieren als starker Anreiz für Neuroplastizität

Es ist unbestritten, dass Üben und Musizieren bei Kindern und Jugendlichen die Entwicklung des Gehirns fördert. Musizieren gilt dabei als starker

Anreiz für plastische Veränderungen des Zentralnervensystems. Unter dem Begriff der Neuroplastizität versteht man die funktionelle und strukturelle Anpassung des Nervensystems an Spezialanforderungen, wie sie das Musizieren mit sich bringt. Plastische Anpassungen treten dann auf, wenn relevante und komplexe Reize über einen längeren Zeitraum meist unter Zeitdruck verarbeitet werden müssen, und wenn der verarbeitende Organismus – in unserem Fall das musizierende Individuum – hoch motiviert ist und das „Belohnungshormon“ Dopamin und bei erfolgter Belohnung Glückshormone, wie die Endorphine oder endogenen Cannabinoide, – Stoffe die auch für die euphorisierende Wirkung von Marihuana sorgen –, ausschüttet. Neuroplastizität kann in allen Zeitbereichen und Lebensaltern beobachtet werden und begleitet kurz- und langfristige Lernvorgänge.

Die Mechanismen der Plastizität schließen rasche Veränderungen der Signalübertragung an den Nervenendknöpfchen (Synapsen) im Sekundenbereich ein, äußern sich aber auch im Wachstum von Synapsen und Nervenzellfortsätzen (Dendriten), das Stunden bis Tage dauert. Auch eine verstärkte Bemerkung der Nervenzellfortsätze mit Beschleunigung der neuronalen Signalübertragung findet als Anpassung des Nervensystems statt. Dies benötigt allerdings Wochen bis Monate. Das verringerte (physiologische) Absterben von Nervenzellen, die in die wichtigen Schaltkreise eingebunden sind, ist ein weiterer langfristiger plastischer Anpassungsvorgang des Nervensystems. Begleitet werden diese Veränderungen von einer vermehrten Bildung von Blutkapillaren, die aktivierte Nervenzellen mit Sauerstoff versorgen. Darüber hinaus bilden sich Stützgewebe, um die Infrastruktur des Nervensystems zu verbessern und um die Bereitstellung von Nährstoffen und den Abtransport von Stoffwechselabbauprodukten zu sichern. Man liegt also nicht ganz falsch, wenn man die Anpassungen des Nervensystems an geistiges Training mit den Anpassungsvorgängen der Muskulatur an körperliches Training vergleicht.

Mit neueren Untersuchungstechniken kann man diese plastischen Anpassungen darstellen. So wird im Kernspintomogramm der Effekt genutzt, dass

die Nervenzellsubstanz im Kontrast zu den weißen Nervenfasern grau erscheint. Dadurch lassen sich Dicke und „Grauheitsgrad“ der Hirnrinde, und damit indirekt auch die Anzahl und Größe der Nervenzellen, darstellen. Mit dieser als „Voxel-basierte Morphometrie“ oder „VBM“ bezeichneten Technik konnten Krista Hyde und Kollegen [12] in einer Längsschnittuntersuchung die Hirnentwicklung einer Gruppe sechsjähriger Klavierschüler mit gleichaltrigen Kindern ohne Klavierunterricht verglichen. Die Vermessung der Hirnregionen ergab vor Beginn der Klavierstunden keine Unterschiede zwischen den beiden Gruppen. Bei den Musikkindern zeigte sich jedoch nach 15 Monaten Klavierunterricht im Vergleich zur Kontrollgruppe eine Vergrößerung der Handrepräsentation im motorischen Hirnrindenareal. Auch die Hörregion in der rechten oberen Schläfenwindung war vergrößert. Außerdem waren die Faserverbindungen zwischen den rechten und linken Handregionen beider Hirnhälften verstärkt. Die Musikkinder schnitten auch in Hör- und Feinmotoriktests besser ab als ihre Altersgenossen. Interessanterweise trainierten die Kinder keineswegs sehr intensiv: Sie erhielten wöchentlich 30 Minuten Klavierunterricht, und zu Hause übten sie ungefähr zwei Stunden pro Woche!² Diese Studie ist auch deswegen besonders aussagekräftig, weil peinlich genau darauf geachtet wurde, dass der soziale und ökonomische Hintergrund der Eltern in beiden Gruppen gleich war. So waren Unterschiede in Arbeitsweise und Motivationslage aufgrund der Schichtzugehörigkeit weitgehend ausgeschlossen.

Ein neues Licht auf diese Anpassungen wirft jedoch eine ganz aktuelle Studie, die wir gerade eben zur Veröffentlichung eingereicht haben. Es wurden mit derselben VBM-Methode 36 herausragende Pianisten unserer Hochschule untersucht, die entweder das Klavierspiel vor dem Alter von sechseinhalb Jahren oder danach begonnen haben. Alle waren auf ihren Instrumenten exzellent und hatten an internationalen Wettbewerben teilgenommen. Interessanterweise fanden wir nur bei den relativ „späteren“ Anfängern die oben genannten Anpassungen der Nervenzellsubstanz in den sensomotorischen Hirnrindengebieten [21]. Das bedeutet, dass vor dem Alter von sechseinhalb Jahren die Netzwerke optimiert

2 In der Veröffentlichung ist nichts über das Üben vermerkt, aber Gottfried Schlaug hat mir persönlich versichert, dass die Kinder ein recht normales Übepensum von täglich ca. 20 Minuten absolvierten.

werden, und weniger Platz oder Nervenzellsubstanz brauchen. Danach muss das Gehirn die mangelnde Flexibilität der Verknüpfungsfähigkeit durch Masse kompensieren. In der Praxis gibt es noch einen weiteren interessanten Aspekt: Diejenigen, die früh anfangen, ihr Instrument zu spielen werden auch seltener krank, erleiden seltener Überlastungsverletzungen und seltener die Bewegungsstörung der „Musikerdystonie“ [19].

Gelten die Gesetze der Neuroplastizität auch bei älteren Erwachsenen?

Grundsätzlich sind die oben genannten Anpassungsmechanismen auch bei älteren Menschen anzutreffen. So findet man bei erwachsenen Berufsmusikern zahlreiche weitere neuroplastische Anpassungen, die hier nur kurz erwähnt werden sollen: Das Broca'sche Sprachzentrum in der linken Stirnhirnregion ist vergrößert – was erklärbar ist, da Musiker in Klängen „sprechen“, wie wir oben ja schon festgestellt haben. Das Kleinhirn, zuständig für feinmotorische Koordination, ist größer, und die Hörrinde im oberen Anteil des Schläfenlappens weist ebenfalls eine größere neuronale Dichte auf [15]. Übungsabhängige neuroplastische Anpassungen der Nervenfasern betreffen neben dem Balken auch andere Faserstrukturen: Die sogenannte Pyramidenbahn, die von den motorischen Hirnrindenanschnitten zu den motorischen Nervenzentren im Rückenmark zieht, ist bei Pianisten stärker ausgeprägt als bei nicht musizierenden Kontrollen [8].

Die Neuroplastizität ist bei Musikern besonders deutlich ausgeprägt, lässt sich aber auch bei anderen Personengruppen mit Spezialtalenten nachweisen. Überzeugend konnte dies durch eine Arbeit von Boyke und Kollegen [9] gezeigt werden: Eine Gruppe von 44 durchschnittlich 60-jährigen Senioren erlernten über drei Monate das Jonglieren mit drei Bällen. Vor und nach dem Lernen wurde die Gehirnstruktur der Trainingsgruppe und einer Kontrollgruppe verglichen. Es zeigte sich, dass die 25 besten Jongleure eine Zunahme der grauen Nervenzellsubstanz in einer Gehirnregion mit dem Namen „Area MT“ aufwiesen. Die „Area MT“ ist ein Hirnrindengebiet zwischen dem Hinterhauptslappen und dem Schläfenlappen. Sie dient der visuell-räumlichen und motorischen Integration und wird durch die Jonglieraufgabe angesprochen. Zusätzlich zeigten die erfolgreichen

Senioren eine Zunahme der Nervenzellsubstanz im Bereich des Hippocampus und im Bereich des Nucleus accumbens. Der Hippocampus ist an Gedächtnisprozessen beteiligt, aber auch wichtig für die seelische Stabilität. So ist bekannt, dass in dieser Region bei Depressionen die Dichte der grauen Substanz abnimmt. Der Nucleus accumbens wiederum ist ein Teil des Belohnungssystems. Man kann sich vorstellen, dass der Erfolg beim Jonglieren auch bei älteren Menschen als sehr befriedigend erlebt wird, was dann mit einer Zunahme der Nervenzellsubstanz in dieser Region einhergehen kann.

Natürlich sind diese Vorgänge bei Senioren sehr eindrucksvoll, allerdings gegenüber Jugendlichen in der Intensität abgeschwächt. Dies ist unter anderem durch die altersabhängig verminderte Aktivität zahlreicher Überträgerstoffe, insbesondere des wichtigen „Motivationshormones“ Dopamin bedingt. Hinzukommt, dass bereits ab dem fünfundzwanzigsten Lebensjahr Alterungsprozesse einsetzen. Heute gehen wir davon aus, dass das aktive Musizieren derartige Alterungsprozesse verzögert, ja teilweise sogar rückgängig macht. Neurophysiologisch und neuropsychologisch ist das Altern derzeit Gegenstand intensiver Forschungen. Dabei tragen folgende Mechanismen zu den typischen Altersveränderungen bei:

1. Neurone und ihre neuronalen Verbindungen verkümmern mit zunehmendem Alter und führen zu Funktionseinbußen.
2. Diese Veränderungen betreffen Wahrnehmung, Gedächtnis, motorische Kontrolle und Affekte. Die Folgen sind nachlassende Wahrnehmungsgenauigkeit, verlangsamte Reaktionsgeschwindigkeit, geringere motorische Geschicklichkeit und nachlassende Freude und Motivation.
3. Der Rückgang der neuronalen Aktivität ist durch die Abnahme der Ausschüttung zahlreicher wichtiger Neuro-Hormone bedingt. Nervenzellwachstumsfaktoren, Glückshormone, die oben genannten Motivationshormone, aber auch wichtige, die Stimmung regulierende Hormone, wie Serotonin und Noradrenalin werden in verringerten Ausmaß produziert.

Derartige Prozesse führen häufig zu einer ungünstigen Anpassung des Verhaltens, wodurch nach Art eines Teufelskreises wiederum die Abbauvorgänge beschleunigt werden. So neigen ältere Menschen dazu, sich zurückzuziehen und ihre Aktivität zu reduzieren, da sie weniger intrinsische Motivation entwickeln. Sie umgehen Situationen, die sie vor Herausforderungen stellen. Der Besuch einer Gesellschaft beispielsweise ist für viele Ältere zunächst vor allem eine Anstrengung. Das nachlassende Gedächtnis erschwert das Erkennen von Bekannten, so dass peinliche Situationen auftreten können. Das ungenauere Gehör macht die Kommunikation im Stimmengewirr einer Partygesellschaft zur Qual. Häufiges Nachfragen wird vermieden, die entstehenden Informationslücken können durch gedankliche Kombinationen oft nicht mehr ausgefüllt werden, da deren Geschwindigkeit nicht ausreicht. Der Gesichtssinn ist ebenfalls eingeschränkt, so dass Details nicht mehr wahrgenommen werden und vertraute Gesichter auf die Entfernung nicht erkannt werden. Man könnte zahlreiche weitere Punkte anführen, die eine derartige Situation zum „Megastress“ werden lassen. Aber der Rückzug in die Einsamkeit wäre genau die falsche Konsequenz, da dadurch die oben genannten Einbußen sich weiter verstärken würden und Anpassungs- und Kompensationsvorgänge nicht stattfinden können.

Hier kann das aktive Musizieren beitragen, Wahrnehmung, Denken, motorische Fertigkeiten zu üben und positive Emotionen zu erzeugen. Auf diese Weise können neuronale Abbauvorgänge verlangsamt- und sogar wieder rückgängig gemacht werden. Die neurobiologischen Grundlagen derartiger günstiger Auswirkungen einer mit adäquaten Reizen angereicherten Umgebung sind in der Zwischenzeit an Tiermodellen sehr gut untersucht worden. So konnte gezeigt werden, dass ältere Versuchstiere, die aus einer Käfighaltung ohne Spielgeräte und Klettermöglichkeiten in eine „angereicherte Umgebung“ mit zahlreichen Klettermöglichkeiten versetzt werden, eine Zunahme der Nervenzellzahl in der Gedächtnisregion des Hippocampus, eine größere Synapsendichte, vermehrte Nervenzellfortsätze, und ein höheres Gehirngewicht aufweisen. Wesentlich vermittelt wird dies durch die vermehrte Produktion von Nervenwachstumsfaktoren, insbesondere durch

den „Brain Derived Neurotrophic Factor“, kurz „BDNF“ genannt [13]. Musizieren ist für den älteren Menschen eine vergleichbare Situation einer „angereicherten Umgebung“ oder auf neudeutsch eines „enriched environments“.

Musizieren als „angereicherte Umgebung“: Konsequenzen für die Hirnphysiologie

Schon seit vielen Jahren ist bekannt, dass das alternde Gehirn schrumpft, in der Fachsprache „atrophiert“. Dies ist einerseits durch den physiologischen Abbau der Nervenzellen bedingt, ein Umstand der Apoptose genannt wird, andererseits durch eine Auslichtung der synaptischen Verbindungen und eine Ausdünnung der Vernetzung. Damit geht auch ein messbarer kognitiver Abbau einher, der sich auf alltägliche Denkleistungen auswirkt. Zwei wesentliche Kognitionsdomänen sind besonders stark betroffen: Exekutive Funktionen, die häufig als „Handlungssteuerung“ bezeichnet werden, und das Gedächtnis. Zu den exekutiven Funktionen gehören die Steuerung der Aufmerksamkeit, die Strategiebildung und die Unterdrückung unangemessener spontaner Triebregungen.

Wir haben oben gesehen, dass interessante, motivierende Stimuli die Neubildung von Neuronen und die Neuroplastizität fördern können. Allerdings spricht sehr viel dafür, dass das Ausmaß dieser plastischen Anpassungen genetisch bedingt ist [16]. Bislang ungeklärt ist dabei die Frage, ob Gene eher die lebenslange Anpassungsfähigkeit des Nervensystems kodieren, oder ob sie nur in bestimmten sensiblen Phasen eine Art optimale Voraussetzung für spätere Lernerfolge bereitstellen. Es gibt sehr gute Belege dafür, dass frühes Lernen einerseits die Wahrnehmungsschärfe der Sinnesorgane, vor allem des Ohres prägt, andererseits aber auch der Einübung grundsätzlicher Lernstrategien dient, und damit das Gerüst schafft, um im späteren Erwachsenenalter neue Fertigkeiten zu erwerben. Diese Erkenntnisse sind bislang vor allem für das auditive Lernen, insbesondere für den Fremdspracherwerb bewiesen worden [24], gelten aber vermutlich auch für feinmotorische Fertigkeiten, wobei hier der strenge wissenschaftliche Nachweis noch aussteht. Beispielsweise ist der Erwerb einer überdurchschnittlichen Fingergeschicklichkeit, gemessen an der Fähigkeit, mit einem einzelnen Finger wiederholt schnell auf eine Taste zu drücken

(sogenanntes „Tapping“), an ein intensives Training in den ersten 12 Lebensjahren gebunden. Danach wird es sehr schwierig, eine bestimmte Geschwindigkeit zu überschreiten. Für diese Annahme spricht auch das Erfahrungswissen, dass Spitzenvirtuosen in der Regel sehr früh mit einem Instrument begonnen haben, und dass Spätanfänger, die nach dem Alter von 16 Jahren begonnen haben bei den Instrumenten, die sehr schnelle und hochoptimierte Bewegungen erfordern extrem selten sind. Interessant ist übrigens, dass unterschiedliche Lernstile und Teilaspekte des Musizierens unterschiedliche Plastizitätsdynamiken aufweisen. So ist zum Beispiel das perzeptuelle Lernen, unter anderem die Verfeinerung des Hörens, Sehens und der Körperwahrnehmung, stärker an frühe kritische Perioden gebunden als die Steuerung der Aufmerksamkeit, die Strategiebildung oder die Verbesserung der Gedächtnisfunktionen.

Der Einfluss musikalisch-sensomotorischen Lernens auf die neuronalen Netzwerke der Grosshirnrinde wurde schon vor über 10 Jahren an Erwachsenen beim Erlernen des Klavierspiels nachgewiesen [7]. Überraschend war hier die zeitliche Dynamik: Bereits nach 20 Minuten Klavierüben entstand bei erwachsenen Anfängern eine funktionelle Koppelung mit gleichzeitiger Aktivierung der Nervenzellverbände in den Hörrinden und in den sensomotorischen Arealen. Diese schnelle Änderung kann nur durch Zunahme der synaptischen Interaktion erklärt werden. Nach fünf Wochen Training am Klavier waren diese zunächst nur vorübergehenden Änderungen der neuronalen Vernetzung stabil und es kam zu einer Zunahme des neuronalen Austausches und der neuronalen Leitgeschwindigkeit zwischen den Hör- und Bewegungsregionen. Diese Veränderungen können bereits mit einer verstärkten Bemerkung der Nervenfasern, die Hör- und Bewegungsverarbeitung verbinden, erklärt werden.

Die bislang wohl aussagekräftigste Studie, in der mit psychologischen Methoden Transferleistungen musikalischer Aktivität auf andere Denkfertigkeiten älterer Menschen untersucht wurde, stammt von Bugos und Kollegen [10]. Die Autoren erteilten 16 Senioren im Alter zwischen 60 und 85 Jahren über sechs Monate Klavierunterricht und verglichen die kognitiven Leistungen mit einer Kontrollgruppe von 15 gleich alten Probanden vor und nach dem sechs

Monate anhaltenden Klavierunterricht. Drei Monate nach Abschluss des Trainings wurde eine letzte Testung der kognitiven Fertigkeiten durchgeführt. Die Klaviergruppe hatte nach dem Unterricht eine Verbesserung von Leistungen, die Arbeitsgedächtnis und exekutive Funktionen, wie Planung und Strategiebildungen mit einschlossen. Diese Leistungsverbesserungen waren allerdings eher schwach ausgeprägt und teilweise drei Monate nach Beendigung des Unterrichts nicht mehr nachweisbar. Dennoch ist hier ein erster Nachweis der oben aufgeführten Veränderungen durch „angereicherte Umgebung“ gelungen.

Kann Musikerziehung auch bei Gehirnerkrankheiten helfen?

Die oben erwähnten schnellen Vernetzungseffekte in der Grosshirnrinde beim Erlernen des Klavierspiels ermutigten uns, diesen Mechanismus der auditiv-sensomotorischen Kopplung für die Rehabilitation von Feinmotorikstörungen nach Schlaganfällen zu nutzen. Dazu wurde ein Trainingsprogramm entwickelt, das es ermöglichte, bei musikalischen Laien durch Schlagzeug- und Klavierspiel eine derartige Koppelung zu erzeugen. Bei 32 Schlaganfallpatienten ohne wesentliche musikalische Vorerfahrung wurden in 15 Trainingssitzungen über drei Wochen sowohl fein- als auch grobmotorische Aspekte gefördert. Dabei erlernten die Patienten, einfache Melodien auf einem elektronischen Drum-Set mit acht Pads mit der Hand zu klopfen, wobei jedes Drum-Pad einen unterschiedlichen Ton erzeugte. Dieser Teil des Trainings diente der besseren Kontrolle grobmotorischer Aspekte. Wenn hier eine gewisse Fertigkeit erreicht war, wurden an einem elektronischen Klavier einfache Melodien erlernt. Dies sollte die Rehabilitation der Fingerfeinmotorik fördern. Patienten, die lediglich herkömmliche Therapien erhielten, bildeten die Kontrollgruppe. Vor und nach dem Training wurden die feinmotorischen Funktionen mit Hilfe standardisierter test-psychologischer Verfahren erfasst [4]. Die Ergebnisse zeigten eine deutliche Verbesserung der Fingerbeweglichkeit und der Alltagsfertigkeiten in der Trainingsgruppe gegenüber den Kontrollpatienten und belegen somit die Wirksamkeit des musikunterstützten Trainings [20]. In hirnelektrophysiologischen Untersuchungen konnten wir auch die Koppelung der Hörregionen und der motorischen Handregionen darstellen [17]. Somit ist der Mechanismus der auditiv-sensomotorischen

Integration ein wichtiger Beitrag für die Verbesserung der feinmotorischen Rehabilitation. Die besonders hohe Effektivität dieses Trainings kann mehrere Ursachen haben:

1. Die Patienten können über die auditorische Kontrolle die Präzision ihrer motorischen Aktionen in Echtzeit genau überprüfen.
2. Der Schwierigkeitsgrad der Bewegungen kann den Fähigkeiten der Patienten angepasst werden.
3. Das Verfahren ist für die Betroffenen aufgrund der starken emotionalen Tönung des Musizierens und der Neuheit des Ansatzes sehr motivierend. Gerade hier muss man sich immer wieder vor Augen führen, dass die „Rehabilitation“ meist auf Defizite orientiert ist und die teilweise Wiedergewinnung alter Fertigkeiten zum Ziel hat. Das Erlernen einer neuen Fertigkeit befreit die Patienten von dem Druck impliziter Leistungserwartungen (eine früher beherrschte Fertigkeit wiederzugewinnen) und ermöglicht lustbetontes exploratives Lernen in einem neuen Kontext.

Nachdem wir oben in Zusammenhang mit der Studie von Jennifer Bugos und Kollegen die positiven Effekte des Musizierens auch auf Denkfertigkeiten und Gedächtnis erwähnt haben, stellt sich nun die wichtige Frage, ob Musizieren einen kognitiven Abbau und eine Demenz verhindern kann. Diesbezüglich konnte in einer im angesehenen „New England Journal of Medicine“ veröffentlichten Langzeitstudie tatsächlich überzeugend nachgewiesen werden, dass gemeinsames Musizieren sich hinsichtlich der kognitiven Leistungsfähigkeit von Senioren positiv auswirkt [22]. Dazu wurden 469 Menschen, die älter als 75 Jahre waren, untersucht und über durchschnittlich fünf Jahre begleitet. In dieser Zeit entwickelten 125 Menschen Demenz (27%). Allerdings erkrankten von denen, die mehrfach wöchentlich Musik machten, nur 24% an einer Demenz. Noch effektiver in dieser Hinsicht erwiesen sich Schachspiel (16%) und Tanzen (17%). Insgesamt reduzierte Instrumentalspiel das Risiko einer Demenzerkrankung um bis zu 70 Prozent. Das Musikmachen ist somit neben dem Schachspielen und dem Tanzen für das erfolgreiche kognitive

Altern eine außerordentlich förderliche Aktivität. Hirnphysiologische Hintergründe für diesen Effekt dürften in neuroplastischen Anpassungen liegen, wie wir sie oben auch beim Erlernen des Jonglierens erwähnt haben.

Wie steht es nun mit den Auswirkungen des Musizierens bei Patienten, die bereits unter einer Demenz leiden? Häufig hört man die Auffassung, dass Menschen mit Alzheimer-Demenz besonders sensitiv auf musikalische Stimulation reagierten und dass bei ihnen die musikalischen Gedächtnisfunktionen überdurchschnittlich lange erhalten bleiben. In der Musiktherapie wird darüber hinaus die positive Auswirkung des Musikhörens auf allgemeine Gedächtnisfunktionen, auf Wohlfühl und emotionale Stabilität von Alzheimerpatienten betont. Erstaunlicherweise gibt es bislang wenig fundierte experimentelle Untersuchungen zu diesem Themenkomplex. In einer Übersicht fassen Amee Baird und Séverine Samson die Befunde zusammen [6]. Sie unterscheiden dabei das explizite und das implizite musikalische Gedächtnis. Unter dem expliziten musikalischen Gedächtnis wird die Fähigkeit verstanden, früher gehörte Lieder oder Musikstücke korrekt zu benennen (semantisches explizites Gedächtnis), sie als bekannt zu erkennen oder zum Beispiel fehlerhafte Melodien zu bemerken. Auch die Fähigkeit, Lebensumstände, in denen diese Lieder eine wichtige Rolle spielten, zu erinnern wird als episodisches Gedächtnis zum expliziten Gedächtnis gezählt. Das implizite Gedächtnis für Musik zeigt sich, in „unbewusstem“ Behalten zuvor gehörter Melodien oder in der Fähigkeit ein Musikinstrument zu spielen.

Es zeigt sich bei Sichtung der veröffentlichten Fallberichte und der wenigen systematischen Studien zu diesem Thema, dass Alzheimer-Patienten deutliche Störungen des expliziten musikalischen Gedächtnisses aufweisen. Dies lässt sich neurobiologisch aus den typischen hirnmorphologischen Veränderungen bei der Erkrankung begründen. So beruht das explizite musikalische Gedächtnis überwiegend auf Funktionen des Schläfenlappens, die besonders früh von den neuropathologischen Veränderungen bei Alzheimer-Demenz betroffen sind. Anders verhält es sich beim impliziten Gedächtnis. Musiker, die an Alzheimer-Demenz erkranken sind oft noch erstaunlich lange in der Lage, ihr Instrument zu spielen. Es existieren sogar Fallberichte, dass neue Stücke

gelernt werden konnten. Für implizites Lernen von Melodien spricht auch die Tatsache, dass in einer Studie bei Alzheimerpatienten der „Mere-exposure-effekt“ gefunden wurde. Darunter versteht man das Anwachsen musikalischer Vorlieben durch das alleinige mehrfache Hören eines Musikstücks.

Unklar ist nach Baird und Samson [6] bislang die Datenlage hinsichtlich der Verbesserung anderer Gedächtnisfunktionen durch das Hören von Musik bei Alzheimer-Patienten. In einer größeren Studie konnte gezeigt werden, dass Alzheimerpatienten autobiographische Inhalte besser erinnerten und auch positiver gestimmt waren, wenn sie Musik hörten. Diese Effekte waren allerdings sehr klein und konnten nicht uneingeschränkt von anderen Wissenschaftlern repliziert werden. Als Erklärung für die bessere Gedächtnisleistung wird die Induktion einer positiven Stimmung durch Musik herangezogen. So ist bei Gesunden bekannt, dass positive Bewertungen von Musik die Gedächtnisleistung leicht erhöhen kann [11].

Die strengsten Bewertungen von Therapien werden durch das „Cochrane-Netzwerk“ erstellt. In diesem Netzwerk arbeiten Wissenschaftler, Ärzte, Statistiker, die Ergebnisse von Therapiestudien nach strengsten Richtlinien bewerten. Im Jahr 2003 wurde als Zusammenfassung der Cochrane-Untersuchung zur Wirksamkeit von Musiktherapien bei Demenz folgender sehr ernüchternde Satz formuliert: „Es gibt keine ausreichenden Gründe, den Einsatz von Musik in der Pflege von älteren Demenzkranken zu empfehlen oder davon abzuraten.“ [23] An dieser Stelle soll dennoch eine Lanze für die Musiktherapie bei Demenzkranken gebrochen werden. Zunächst ist diese Studie zehn Jahre alt und neuere Untersuchungen zeichnen ein positiveres Bild. Aber ein noch wichtigeres Argument ist, dass viele Effekte sich einer strengen wissenschaftlichen Nachweisbarkeit entziehen. So ist es zum Beispiel extrem schwierig, mit Demenzkranken eine sogenannte „prospektive, verblindete, randomisierte Studie“, den Goldstandard wissenschaftlicher Therapieforschung einzuhalten. Dies würde bedeuten, dass große Gruppen Demenzkranker nach Zufall entweder mit einer standardisierten Musikintervention oder einer „Kontrollintervention“ behandelt würden und dass vor und nach der „Intervention“ aussagekräftige Messgrößen zuverlässig erhoben werden, am Besten, ohne dass

die Auswerter wissen, wer von den Patienten in der Musikgruppe und wer in der Kontrollgruppe war. Die Probleme liegen auf der Hand: Zunächst ist jeder Demenzkranke verschieden, und leidet meist auch noch unter anderen Alterskrankheiten. Die geistige Leistungsfähigkeit ist extrem abhängig von der Tagesform und schwankt sogar im Tagesverlauf, und jede musikalische Biographie ist ebenfalls einzigartig. Viele der positiven Musik-Effekte sind dennoch in der individuellen Therapeuten-Patientenbeziehung ganz deutlich und werden von Therapeuten und Angehörigen immer wieder bestätigt. Dies haben auch Teppo Särkämö und Kollegen in ihrer Übersichtsarbeit zur Musiktherapie bei Demenzkranken festgestellt [18].

Zusammenfassung und Forschungsfragen

Fasst man die dargestellten Ergebnisse zusammen, so kann man Folgendes feststellen:

1. Auch in höherem Alter passt sich das Nervensystem an die neuen Anforderungen an, die mit dem Erlernen eines Instrumentes einhergehen.
2. Diese Anpassungsvorgänge können dem natürlichen Altern des Nervensystems teilweise entgegenwirken.
3. Musizieren stellt für die Menschen eine Situation der „angereicherten Umgebung“ dar. Mit größter Wahrscheinlichkeit wird man bei Menschen die gleichen Veränderungen finden, die in Untersuchungen an Tieren bewiesen wurden. Eine angereicherte Umgebung führt zu höherer Synapsendichte, zu vermehrtem Wachstum von Nervenzellfortsätzen und zu einem höheren Gehirngewicht.
4. Die Konsequenz daraus ist, dass es nicht nur nie zu spät ist, sondern dass sich das Erlernen eines Instrumentes auch in höherem Erwachsenenalter günstig auf die geistige Leistungsfähigkeit auswirkt.
5. Musizieren kann segensreich in der Rehabilitation von motorischen Defiziten bei Schlaganfallpatienten eingesetzt werden.
6. Aktives Musizieren kann hilfreich sein, um einer dementiellen Entwicklung vorzubeugen.

Wichtig ist allerdings, dass man bei der musikpädagogischen Arbeit mit Senioren nicht einem einseitigen Leistungsdenken verfällt. Überzogene Selbstansprüche, zu hohe Erwartungen an das Lerntempo, zu großer Ehrgeiz können rasch zu Entmutigung, zu Frustration und dann zu Depression führen – und letztere geht wieder mit einem Abbau von neuronaler Substanz einher.

Die musikpädagogische und die neuro-musikologische Altersforschung stecken noch in den Kinderschuhen. Folgende drängende Forschungsfragen sollten in Angriff genommen werden:

- Neurobiologische Forschungen sollten sich verstärkt mit der Aufklärung der Mechanismen der Neuroplastizität im höheren Alter befassen. Hier werden neue Methoden der Hirnvermessung durch kernspintomographische Spezialverfahren einen großen Stellenwert haben.
- Bislang ist noch sehr wenig über die Dynamik der plastischen Anpassungen bei Erwachsenen bekannt. Überhaupt nicht untersucht ist, ob sich plastizitätsbedingte Anpassungen nach Beenden der musikalischen Aktivität wieder zurückbilden.
- Die Bedingungen plastischer Anpassungen im Alter sind nicht geklärt. Welche Rolle spielt sensomotorische Aktivität, welche Motivation, welche positive oder negative Emotion?
- Dringend benötigt werden langfristige, auf 10 bis 15 Jahre angelegte Interventionsstudien an Erwachsenen.
- Dringend benötigt werden Studien an Erwachsenen, in denen „weiche Kriterien“, Sozialverhalten, emotionale Wahrnehmung, subjektive und objektive Lebensqualität als Zielvariablen integriert werden.
- Dringend benötigt werden Studien, in denen die Möglichkeit, durch Musizieren gesundheitliche Störungen positiv zu beeinflussen, gezielt untersucht wird.

Literatur

1. Altenmüller E: Hirnphysiologische Grundlagen des Übens. In: Mahler U (Hrsg.): Handbuch Üben, Breitkopf und Härtel, Wiesbaden 2006: 47–67
2. Altenmüller E: Musizieren als Neurostimulans: Mit Musik der Demenz vorbeugen. Musikphysiologie und Musiker-Medizin 17, 2010: 1–6
3. Altenmüller E, Jabusch HC: Zu den neuro-wissenschaftlichen Grundlagen des sensomotorischen Lernens. In: Busch B, Pramshüfer F (Hrsg.): Grundwissen Instrumentalpädagogik: Kompendium und Studienbuch, Breitkopf und Härtel, Wiesbaden 2014 (Im Druck)
4. Altenmüller E, Schneider S, Marco-Pallares PW, Münte TF: Neural reorganization underlies improvement in stroke induced motor dysfunction by music supported therapy. Ann NY Acad Sci: 1169, 2009: 395–405
5. Altenmüller E, Siggel S, Mohammadi B, Samii A, Münte T: Play it again Sam: Brain Correlates of Emotional Music processing. Frontiers in Psychology. doi: 10.3389/fpsyg.2014.00114, 2014
6. Baird A, Samson S: Memory for Music in Alzheimer's Disease: unforgettable? Neuropsychology Review: 19, 2009: 85–101
7. Bangert M, Altenmüller E: Mapping Perception to Action in Piano Practice: A longitudinal DC-EEG-study. BMC Neuroscience 4, 2003: 26–36
8. Bengtsson S, Nagy Z, Skare S, Forsman L, Forsberg H, Ullen F: Extensive Piano practicing has regionally specific effects on white matter development. Nat Neurosci, 8, 2005: 1148–1150
9. Boyke J, Driemeyer J, Gaser C, Büchel C, May A: Training-induced brain structure changes in the elderly. Journal of Neuroscience, 28(28), 2008: 7031–7035
10. Bugos J, Perlstein WM, McCrae CS, Brophy TS, Bedenbaugh P: Individualized piano instruction enhances executive functioning and working memory in older adults. Aging & Mental Health, 2007, 11: 464–471
11. Eschrich S, Altenmüller E, Münte TF: Unforgettable film music: The role of emotions in episodic long-term memory for music. BMC Neuroscience 9, 2008: 48
12. Hyde KL, Lerch J, Norton A, Forgeard M, Winner E, Evans AC et al.: Musical training shapes structural brain development. Journal of Neuroscience, 2009, 29: 3019–3025

13. Kempermann G, Fabel K, Ehninger D, Babu H, Leal-Galicia P, Garthe A, Wolf S: Why and how physical activity promotes experience-induced brain plasticity. *Frontiers in Neuroscience* 8: doi: 10.3389/fnins.2010.00189, 2010
14. McPherson G: From child to musician: Skill development during the beginning stages of learning an instrument. *Psychology of Music* 33, 2005: 5–35
15. Münte TF, Altenmüller E, Jäncke L: The musician's brain as a model of neuroplasticity. *Nature Reviews Neuroscience*, 3, 2002: 473–478
16. Pieramico V, Esposito R, Sensi F, Cilli F, Mantini D, Mattei PA, Frazzini V, Ciavardelli D, Gatta V, Ferretti A, Romani GL, Sensi SL: Combination training in aging individuals modifies functional connectivity and cognition, and is potentially affected by dopamine-related genes. *PLoS One*. (8):e43901. doi: 10.1371/journal.pone.0043901, 2012
17. Rojo N, Amengual J, Juncadella M, Rubio F, Camara E, Marco-Pallares J, Schneider S, Veciana M, Montero J, Mohammadi B, Altenmüller E, Grau C, Münte TF, Rodriguez-Fornells A: Music-supported therapy induces plasticity in the sensorimotor cortex in chronic stroke: a single-case study using multimodal imaging (fMRI-TMS). *Brain Injury* 25: 787-793, 2011
18. Särkämö T, Leitinen S, Tervaniemi M, Numminen A, Kurki M, Rantanen P: Music, Emotion and Dementia: Insight from neuroscientific and clinical research. *Music and Medicine* 4, 2012: 153–162
19. Schmidt A, Jabusch HC, Altenmüller E, Kasten M, Klein C: Challenges of making music: What causes musician's dystonia? *JAMA Neurology*. 70, 2013: 1456–1459.
20. Schneider S, Münte TF, Rodriguez-Fornells A, Sailer M, Altenmüller E: Music supported training is more efficient than functional motor training for recovery of fine motor skills in stroke patients. *Music Perception*: 27, 2010: 271–280
21. Vaquero L, Hartmann K, Ripollés P, Rojo N, Sierpowska J, Cámara E, Mohammadi B, Münte TF, Rodriguez-Fornells A, Altenmüller E: Long-term effects of Musical training: a structural approach. *NeuroImage*, 2014 (under review)
22. Verghese J, Lipton R, Katz MJ, Hall cB, Derby C A, Kuslansky G, Ambrose A F, Sliwinski M, Buschke H: Leisure activities and the risk of dementia in the elderly. *New England Journal of Medicine*, 348(25), 2003: 2508–2516
23. Vink A, Birks J, Bruinsma M, Scholten R: Music therapy for people with dementia. *Cochrane Database Systematic Rev.* CD003477, 2004
24. White EJ, Hutka SA, Williams LJ, Moreno S: Learning, neural plasticity and sensitive periods: implications for language acquisition, music training and transfer across the lifespan. *Front Syst Neurosci.* Nov 20;7:90. doi: 10.3389/fnsys.2013.00090, 2013
25. <http://de.wikipedia.org/wiki/Musikindustrie> (21.11.2014)
26. <http://www.musikschulen.de/musikschulen/fakten/schuelerzahl-altersverteilung> (21.11.2014).

Korrespondenz

Univ. Prof. Dr. med. Eckart Altenmüller
 Institut für Musikphysiologie und Musiker-Medizin,
 Hochschule für Musik,
 Theater und Medien Hannover,
 Emmichplatz 1, 30175 Hannover
 Telefon: 0511 – 310 05 52,
 Fax: 0511 – 310 05 57
 E-Mail: eckart.altenmueller@hmtm-hannover.de