

Unter der Haube:
Mithilfe von EEG-
Messungen lassen sich
Veränderungen der
Gehirnaktivitäten
beim Klavierspielen
beobachten – etwa
bei musikalischen
Herausforderungen.

MUSIK IM KOPF

TEXT: STEFANIE REINBERGER

Musik, ist eine urmenschliche Fähigkeit, genetisch in unseren Köpfen verankert und, genau wie die Sprache, eine universelle Eigenschaft des Menschen. Das menschliche Gehirn ist dafür geschaffen, Musik sowohl zu genießen als auch zu produzieren. Was genau im Kopf beim Musizieren geschieht, das untersucht Daniela Sammler mit ihrem Team am Max-Planck-Institut für empirische Ästhetik.

Menschen machen schon seit Jahrtausenden Musik. So kennt man Knochenflöten, die bei archäologischen Untersuchungen in Höhlen auf der Schwäbischen Alb zutage kamen – rund 35 000 Jahre alt, geschnitzt und gespielt von Steinzeitmenschen. Sie gelten als die ältesten Fundstücke von Musikinstrumenten, aber man kann davon ausgehen, dass Musik in der menschlichen Evolution bereits viel früher eine Rolle gespielt hat. Dabei ist Musik sehr wahrscheinlich kein evolutionäres Nebenprodukt, das sich aus der Sprache heraus entwickelt hat, wie die Wissenschaft lange annahm. Stattdessen scheint sie eher eine Art

Schwester der Sprache zu sein – zwei Kommunikationsarten, entstanden aus einem gemeinsamen frühen Vorläufer. Das macht sich auch im Gehirn bemerkbar: Es nutzt beim Verarbeiten von Sprache und Musik teils dieselben Regionen.

Solche Gemeinsamkeiten von Sprache und Musik sind ein zentrales Thema von Daniela Sammler und ihrer Forschungsgruppe am Max-Planck-Institut für empirische Ästhetik. Dabei interessieren sie sich unter anderem dafür, in welchen Bereichen beide Ausdrucksformen ähnlichen Mechanismen unterliegen – und wann das Gehirn unterschiedliche Lösungen braucht, um Sprache oder Musik zu verarbeiten. Schon vor ihrer Zeit in Frankfurt widmete sich Sammler am Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften in Leipzig gemeinsam mit Stefan Koelsch und

Angela Friederici Studien zum Hören von Musik. Eine der zentralen Fragen war, wie wir Harmonien, aber auch Disharmonien wahrnehmen. Musik folgt bestimmten Regeln, ähnlich wie einer Art Grammatik – und das kommt beim Musikhören zum Tragen: Menschen haben die musikalischen Regeln ihres kulturellen Umfelds verinnerlicht und wenden sie beim Musikhören intuitiv an. So gibt es Harmoniefolgen, die unserem Gehirn stimmig erscheinen – und andere, die dem Regelwerk widersprechen. Tatsächlich gelang es den Forschenden, in ihren Experimenten nachzuvollziehen, dass das Gehirn auf „Regelverstöße“, etwa auf unpassende Schlussakkorde, mit veränderter Aktivität reagiert. „Interessanterweise ist die Hirnantwort bei Disharmonien vergleichbar mit der, die wir bei grammatikalischen Fehlern in der Sprache beobachten“, so Sammler.

Doch das Hören ist nur eine Seite der Medaille. Musik entsteht durch das Musizieren, wenn Menschen singen, trommeln oder in die Tasten ihres Klaviers greifen. „Wir wollten daher wissen, ob Menschen, die tagtäglich Musik produzieren, dabei ebenfalls diesem Regelwerk folgen“, sagt Sammler. Beim Musizieren kommen nun zwei Komponenten zusammen: eine musikalische Idee – also die Vorstellung davon, wie Musik klingen soll und welche Harmonien wir als stimmig empfinden; und dann gilt es, diese Idee mithilfe einer Bewegung umzusetzen – etwa in Fingersätze auf einer Klaviertastatur, in bestimmte Griffe auf den Löchern einer Flöte oder beim Singen in die Bewegung von Kehlkopf und Stimmbändern.

64

Kognition und Motorik treffen sich hier also und beeinflussen einander wechselseitig. Das entspricht der viel beachteten These des „Embodiment“, die besagt, dass Körper und Geist zusammenwirken. Motorische Vorgänge sind demnach nicht allein das Ergebnis kognitiver Prozesse – die Motorik unterstützt auch die Kognition. Ein einfaches Beispiel: Kinder lernen zählen, indem sie die Finger benutzen. Die Bewegung einer bestimmten Anzahl von Fingern unterstützt demnach das Konzept des Zählens im Gehirn. Pianistinnen und Pianisten realisieren die musikalische Idee durch die Position der Finger auf der Tastatur und das Anschlagen der Tasten. Die Bewegung der Hände und Finger folgt dabei den grammatischen Regeln der Musik. Umgekehrt verstärkt die motorische Ausführung die musikalische Idee, also die Vorstellung davon, wie es richtig klingt. Tatsächlich gibt es zahlreiche Belege dafür, dass bei Musikerinnen und Musikern das auditorische und das motorische System sehr eng miteinander verknüpft sind.

Beim Klavierspielen geht es aber nicht nur darum, irgendwie die richtigen Tasten zu treffen. Theoretisch ließe sich ein Akkord auf der Klaviertastatur mit einer Vielzahl verschiedener Hand- und Fingerbewegungen anspielen. In der Praxis hängt der Fingersatz aber auch von ökonomischen

Aspekten ab – wie schnell sich ein Akkord mit einem bestimmten Fingersatz umsetzen lässt und wie man von da aus am besten zum nächsten Akkord kommt – und davon, welcher Ausdruck vermittelt werden soll: Der Daumen hat mehr Kraft als beispielsweise der Ringfinger, was sich auf die Lautstärke auswirkt. Pianistinnen und Pianisten koordinieren beim Musizieren also mindestens zwei Planungsstufen: welchen Akkord, also was sie spielen müssen, um das musikalische Regelwerk in ihren Köpfen zu erfüllen, und wie sie diesen Akkord greifen.

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Menschen verinnerlichen die musikalischen Regeln ihrer Kultur ähnlich wie die Grammatik ihrer Sprache und wenden sie intuitiv an.

Messungen der Hirnaktivitäten beim Klavierspielen zeigen, dass Pianisten sowohl auf eine Verletzung der Harmonieregeln als auch auf regelwidrige Fingersätze reagieren; beides wird im Gehirn getrennt voneinander verarbeitet.

Beim gemeinsamen Musizieren synchronisieren sich die Hirnwellen von Musikern, offenbar um das Zusammenspiel zu koordinieren.

Um herauszufinden, wie das gelingt, beobachtete Sammler mit ihrem Team mithilfe von EEG-Messungen die Gehirnaktivitäten von Pianisten beim Spielen. Alle Teilnehmenden hatten zehn Jahre oder länger eine klassische Klavierausbildung genossen. Ihre Aufgabe war es nun, noch nicht eingeübte Harmoniefolgen zu spielen, und zwar entsprechend der Bewegung von Händen, die sie auf einem Bild-

schirm sahen. „Wir haben bewusst darauf verzichtet, nach Noten spielen zu lassen, weil das weitere Prozesse ins Spiel gebracht hätte, die für uns im Experiment nur sehr schlecht kontrollierbar wären, weil zum Beispiel nicht alle gleich gut Noten lesen und vom Blatt spielen können“, erklärt die Wissenschaftlerin das Vorgehen. „Mein Chorleiter hat immer gesagt: Ihr müsst auswendig singen, damit ihr euch auf die Musik und den Zusammenklang konzentriert und nicht auf die Notenblätter.“

Schlussakkord mit Hindernis

Die vorgegebenen Sequenzen, die es im Experiment zu spielen galt, waren alle musikalisch stimmig. Der Schlussakkord dagegen konnte passend sein oder einen Fehler enthalten: In diesem Fall handelte es sich entweder um eine unpassende Harmonie, also einen Grammatikfehler, oder um einen ungewöhnlichen Fingersatz, den geübte Pianisten so nicht spielen würden, da er umständlich zu greifen ist. Wie würden die Gehirne der Probanden auf die Fehler reagieren? Tatsächlich machten sich beide Fehlerarten im EEG bemerkbar, etwa in einer Verzögerung beim Spielen. Allerdings zeigte sich, dass Fehler im Fingersatz immer zu einer Verzögerung führten. Dagegen erwiesen sich Fehler in der Harmonie vor allem dann als störend, wenn die Musizierenden die Idee der Sequenz verstanden hatten – wenn sie also nach ein paar Akkorden ein Gespür dafür entwickelt hatten, wie es weitergehen müsste. „Das zeigt uns, dass das Musikerhirn die beiden Planungsstufen ‚Was wird gespielt?‘ und ‚Wie spiele ich es?‘ tatsächlich trennt“, sagt Sammler.

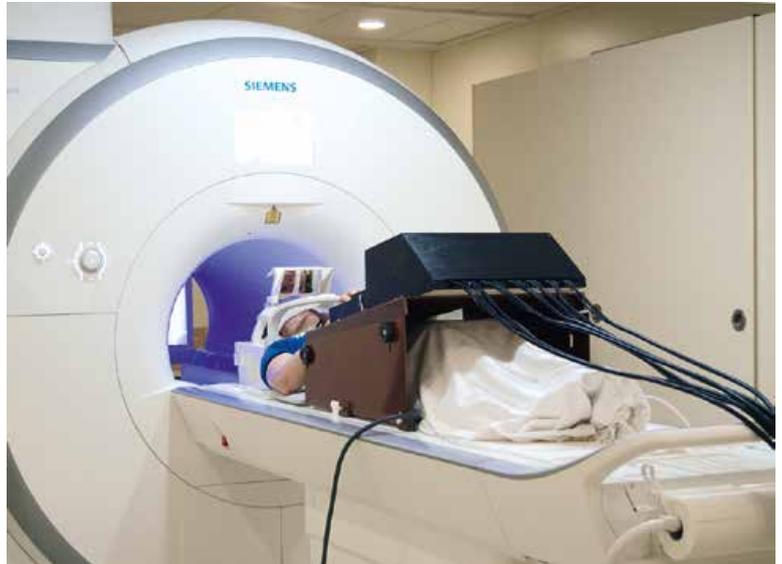
Diese Erkenntnis reichte Sammler aber noch nicht. „Im EEG können wir nur nachvollziehen, dass sich die Gehirnaktivitäten ändern, aber nicht, wo diese Prozesse ablaufen – dafür brauchen wir die MRT, die Magnetresonanztomografie“, erklärt sie. Die Psychologin tüftelte in Zusammenarbeit

mit einigen Kolleginnen und Kollegen und der Blüthner Pianofabrik in Leipzig ein außergewöhnliches Experiment aus: Sie schickte Pianisten samt Klavier in die Röhre. Dafür ließ sie eigens eine Art Miniklavier mit nur 27 Tasten anfertigen, das die Probanden dann, auf dem Rücken liegend, im Scanner spielen konnten. Ein Zweiwegespiegel sorgte dafür, dass die Probanden ihre eigenen Hände auf der Tastatur sehen konnten und gleichzeitig die Hände, die – wie schon im vorherigen Experiment – auf einem Monitor die Akkorde vorgaben. Erneut galt es, kurze Sequenzen zu spielen, die am Ende entweder einen Harmoniefehler oder einen Fehler im Fingersatz enthalten konnten.

Dabei bestätigte sich, was die Forschenden bereits aus den vorherigen Experimenten geschlussfolgert hatten: Die beiden Planungsschritte – nämlich das Was und das Wie – liefen getrennt voneinander ab. Sie aktivierten im Gehirn unterschiedliche neuronale Netzwerke. Für die Fingerbewegung wurden vorwiegend motorische Areale beansprucht, während die Planung der musikalischen Idee insbesondere Regionen im Stirnhirn und im Schläfenlappen aktivierte – von denen Experten vermuten, dass sie unter anderem als Speicher für Regelwissen dienen. „Das Spannendste war allerdings, dass bei beiden Anforderungen das Broca-Areal aktiv war. Diese Region im Gehirn ist vielen lediglich als Sprachzentrum bekannt, sie spielt jedoch auch eine Rolle bei der Handlungsplanung – und zwar egal, ob wir einen Satz formulieren, Kaffee kochen oder eben musizieren wollen“, sagt Sammler.

Forschungsarbeiten zu diesem Areal haben Erstaunliches über das Planen von Handlungen zutage gebracht. Demnach steht am Anfang die Idee, also „etwas erzählen“, „Kaffee kochen“ oder „eine Melodie spielen“. Der vordere Teil der Hirnregion setzt diese Idee in Verhaltensregeln um: Welcher Handlungsschritte bedarf es, um Kaffee zu kochen? Innerhalb des Broca-Areals, anatomisch gesehen

FOTOS: MPI FÜR KOGNITIONS- UND NEUROWISSENSCHAFTEN (2)

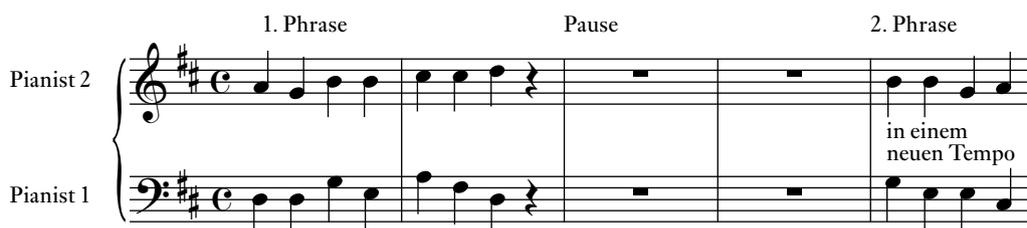
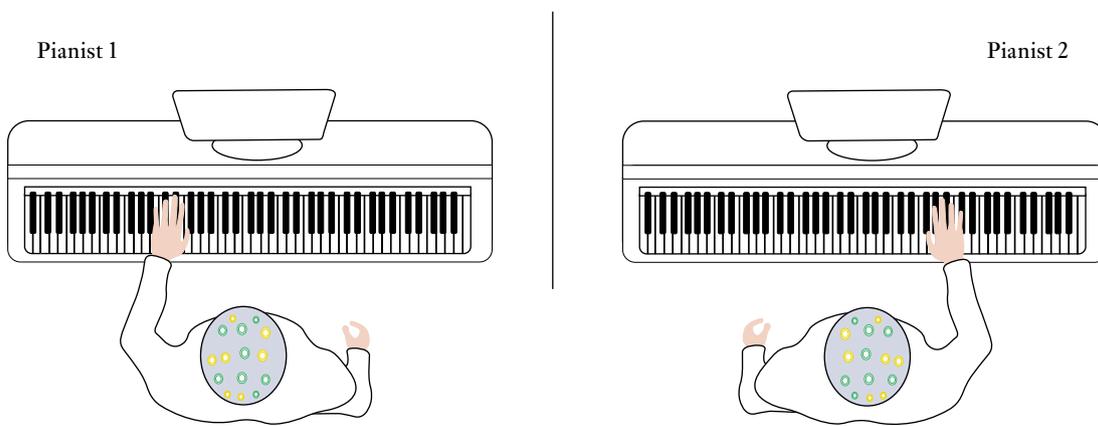


Spezialanfertigung: Ein eigens konstruiertes Miniklavier ermöglicht es, einen Pianisten beim Spielen im MRT zu untersuchen. Dadurch können die Forschenden nachvollziehen, welche Gehirnbereiche beim Musizieren besonders aktiv sind.

von vorne nach hinten verlaufend, wird die Planung dann immer feingliedriger. Zum Beispiel: Wie muss ich den Kaffee in die Maschine geben, um die richtige Menge zu dosieren? „Dieses Muster konnten wir auch beim Musizieren beobachten: Die Planung beginnt demnach bei der musikalischen Idee und wird dann immer feiner bis zur konkreten Bewegung der Finger auf der Klaviertastatur“, erklärt Sammler. Die Hand-

lungsplanung beim Musizieren funktioniert also genau wie bei Alltagshandlungen: Es erfolgt eine Übersetzung vom Was zum Wie – von der musikalischen Idee zur Bewegung auf dem Klavier.

So spannend diese Erkenntnisse sind: Sie konzentrieren sich ausschließlich auf die Soloperformance, also darauf, was beim einzelnen Musiker passiert, der sein Instrument spielt. „Das ist



stärkere Synchronisierung der Hirnwellen

↑

schwächere Synchronisierung der Hirnwellen

↓

In der Pause planen beide Pianisten für die 2. Phrase das gleiche Tempo.

In der Pause planen die Pianisten für die 2. Phrase unterschiedliche Tempi.

66

im Grunde genommen aber eine sehr reduzierte Situation“, erklärt Daniela Sammler. „Denn evolutionsbiologisch gesehen, war Musik sehr wahrscheinlich etwas, was man gemeinsam gemacht hat, in der Gruppe.“ Konzerte, bei denen einzelne Musiker ein Publikum unterhalten, sind dagegen eine verhältnismäßig neue Erfindung. Musik diente ursprünglich dem Miteinander – etwa bei der Kommunikation zwischen Mutter und Baby. Oder um einen Partner zu finden. Oder auch, um Gruppenzugehörigkeit zu pflegen. Damit geben Untersuchungen mit einzelnen Probanden zwar

Aufschluss über grundlegende Prinzipien, nach denen das Denkgorgan arbeitet. Doch letztlich ist das nur ein kleiner und möglicherweise recht eingeschränkter Aspekt des Gesamtbilds. „Dies betrifft nicht nur die Musik, sondern sämtliche Handlungen, bei denen Menschen zu zweit oder in Gruppen interagieren“, sagt Sammler. „Die finnische Neurowissenschaftlerin Riitta Hari ging sogar so weit zu sagen, dass Gehirne vor allem für die Interaktion gemacht sind.“

Interaktion steht also im Zentrum der Kognition. Doch noch ist recht wenig

Synchronisationstest: Zwei Pianisten spielen gleichzeitig, zunächst in einheitlichem Tempo. Nach der Pause sollen sie das Tempo ändern. Dafür haben beide entweder die gleiche Vorgabe oder unterschiedliche Anweisungen. Im Ergebnis verstärkt sich bei gleicher Vorgabe zur Beginn der Pause die Synchronisation der Gehirnwellen, bei unterschiedlichen Anweisungen schwächt sie sich dagegen ab. Warum danach noch innerhalb der Pause das vorhergehende Synchronisationsniveau erreicht wird, ist nicht abschließend geklärt.

darüber bekannt, wie sie auf neuronaler Ebene funktioniert. Was bekannt ist: Gehirne beginnen im Gleichtakt zu schwingen, wenn Menschen miteinander interagieren. Das erscheint im EEG als synchronisierte Hirnwellen und passiert eigentlich bei allen gemeinsamen Handlungen – egal, ob wir miteinander spazieren gehen, tanzen, eine Debatte führen oder eben musizieren. Doch synchronisieren sich die Gehirnwellen, weil wir uns beispielsweise im Gleichtakt bewegen oder dieselbe Melodie spielen? Ist der Effekt eine Folge davon, dass wir gleichzeitig ähnliche Dinge tun? Oder handelt es sich um einen Mechanismus, der die Interaktion unterstützt?

Entscheidend fürs Zusammenspiel

Um dieser Frage nachzugehen, untersuchten Daniela Sammler und ihr Team erneut Pianisten – diesmal im Duett. Immer zwei Freiwillige bekamen die Aufgabe gestellt, gemeinsam eine Melodie zu spielen, während die Forschenden per EEG die Hirnwellen erfassten. Dabei übernahm eine Person den Part der linken Hand und die andere den der rechten. Harmoniefolge und Tempo waren vorgegeben und passten zueinander – bis zu einer Pause im Stück. Danach hatten die Musizierenden die Anweisung, in einem anderen Tempo weiterzuspielen, wobei die beiden teilweise gegensätzliche Vorgaben bekamen. Das beeinflusste wiederum die Synchronizität der Gehirne. Planten beide mit der gleichen Anweisung – schneller oder langsamer –, war sie hoch. Waren unterschiedliche Tempi vorgegeben, wichen auch die Gehirnwellen voneinander ab – und zwar umso mehr, je unterschiedlicher das geplante Tempo nach der Pause war.

„Wir interpretieren dieses Ergebnis so, dass die Synchronisation der Hirnwellen kein Nebenprodukt des Zusammenspiels ist, sondern ein Mechanismus, mit dem die Musiker das



FOTO: KATRIN BINNER

Sorgfältig vorbereitet: Forschungsgruppenleiterin Daniela Sammler richtet eine EEG-Haube für ein Experiment mit einer Pianistin her.

Zusammenspiel koordinieren“, sagt Daniela Sammler. „Und das gilt dann sehr wahrscheinlich nicht nur für die Musik, sondern auch für andere Handlungen, bei denen es auf gute Interaktion ankommt.“ Hier geht es also um generelle Mechanismen zwischenmenschlicher Zusammenarbeit. Noch vermag die Arbeit der Frankfurter Max-Planck-Forscherin lediglich Hinweise darauf zu geben, dass

die Synchronisation für das Zusammenspiel entscheidend ist. Wo sie entsteht, kann derzeit niemand sagen. „Dazu müssten wir beide Pianisten gleichzeitig in zwei verschiedene MRT-Röhren legen“, sagt Daniela Sammler. Das sei natürlich eine große logistische Herausforderung, räumt sie ein, aber sie ist sehr zuversichtlich, dass ihr das gelingt: „Das kommt auch noch!“