

## **Taubheit und musikalische Perzeption –**

### **Anmerkungen aus medizinisch-neurowissenschaftlicher Sicht**

Stefan Evers

#### **1.1 Einleitung**

In meinem Vortrag soll es darum gehen, was wir aus medizinisch-physiologischer Sicht über die Musikperzeption (d. h. die Gesamtheit vom sensorischen Verständnis über die Analyse bis hin zur (Re-)Produktion) bei Menschen mit Taubheit oder ausgeprägter Schwerhörigkeit wissen. Es soll im Folgenden von Taubheit gesprochen werden, auch wenn das Konzept einer vollständigen Taubheit gerade bei Menschen mit erworbener Hörstörung umstritten ist. Bei der angeborenen Taubheit liegen die Verhältnisse nochmals anders, sie ist in der Forschung auch in musikalischer Hinsicht bisher viel weniger untersucht worden.

Wenn man die wissenschaftliche Literatur auf Untersuchungen zur Musikperzeption und Taubheit untersucht, stellt man erst einmal fest, dass es nur wenige, überwiegend spekulative Aufsätze und darüber hinaus nur sehr wenig eigenständige experimentelle Untersuchungen gibt. Analysiert man die medizinische Datenbank MedLine, so sind darin seit 1893 (Stand November 2020) insgesamt 702 Arbeiten zu den Stichworten «deaf\*» und «music\*» erschienen, davon befassen sich alleine 279 mit der Musikperzeption nach Cochlea-Implantation, 128 mit Amusie, 58 mit Ludwig van Beethoven und 55 mit musikalischen Halluzinationen (s. u.). Nur 47 Artikel finden sich insgesamt zu Taubheit (ohne Hörhilfen) und Musik. Dies ist angesichts der Fülle des medizinischen Schrifttums doch erstaunlich wenig. Einseitige Taubheit spielt hierbei nur eine untergeordnete Rolle, da durch die komplexe bilaterale Verschaltung der Hörbahnen sämtliche kritischen Areale gleichermaßen angeregt werden und das Netzwerk weitgehend unbeeinträchtigt funktioniert.

Außerdem muss das Phänomen der Amusie/Ton-Taubheit abgegrenzt werden. Hierbei handelt es sich um eine kortikale Verarbeitungsstörung von Musik, ohne dass das Hörvermögen selbst betroffen ist. So können die Betroffenen z. B. Musik nicht als solche verstehen, können sich nicht in Musik ausdrücken, können Noten nicht lesen oder schreiben, obwohl sie sich Musik vorstellen können etc. Amusien sind zumeist erworben durch einen Schlaganfall oder andere fokale Läsionen des Gehirns, können aber auch (gerade im asiatischen Raum) angeboren sein oder durch systemische neurologische Erkrankungen verursacht werden. Dass eine Amusie funktionell einer Taubheit entspricht, ist aber extrem selten und nur möglich, wenn beide Hemisphären von der Läsion betroffen sind. Da dieses

Phänomen jedoch für die Frage der sensorineuralen Taubheit (also der Unfähigkeit, Schallwellen adäquat aufzunehmen, wie sie hier im Mittelpunkt steht) nicht relevant ist, soll dies nicht näher diskutiert werden.

Die Soziologin Harriet Martineau, die selber eine Form der progressiven Taubheit hatte, war eine der ersten im 19. Jahrhundert, die die persönlichen/gesellschaftlichen Folgen der Taubheit in ihrem Essay «Letters to the Deaf» 1834 beschrieb. Neben der sozialen Isolation durch die gestörte Kommunikation beschrieb sie den eingeschränkten Genuss von Musik als wesentliche Folge der Taubheit (Naples et al. 2020). Aus heutiger Sicht nehmen verschiedene Faktoren Einfluss auf das Ausmaß und die Qualität des «Genusses» von Musik:

- Taubheit oder ausgeprägte Schwerhörigkeit
- Taubheit prälingual oder postlingual erworben
- einseitige oder beidseitige Taubheit
- Hören mit oder ohne Hörhilfen
- zusätzliche amusische Störung.

In der sogenannten «Deaf Community» (die eine große Bandbreite von Hörbeeinträchtigungen umfasst) ist die Beschäftigung mit Musikperzeption, gerade bei jüngeren Mitgliedern, sehr populär geworden. Inzwischen berichtet sogar die Mehrzahl der Betroffenen über irgendeine Art der Beschäftigung mit Musik (Darrow 1993). Es gibt dazu verschiedene Strategien, so die Komposition von Musik, die vor allem vibrotaktile und visuelle Elemente enthält, bis hin zur Vibrationswahrnehmung von Gesang in Echtzeit. Es gibt inzwischen Discos für taube Menschen, die vor allem mit Lichteffekten und Vibrationen arbeiten. Taube professionelle Perkussionisten und Komponisten wie z. B. Evelyn Glennie (\*1965) erreichen hohe musikalische Leistungen allein durch das Vibrationsempfinden in verschiedenen Körperteilen und damit auch künstlerische und gesellschaftliche Akzeptanz.

## **1.2 Musik und Taubheit – Gehirnphysiologie/-pathologie**

Im Folgenden soll zusammengefasst werden, was wir derzeit über die kognitive Musikverarbeitung von Menschen mit Taubheit wissen. Danach soll ein besonderer Schwerpunkt auf das Phänomen der musikalischen Halluzinationen gelegt werden, da dieses mit am besten untersucht ist und auf Mechanismen hinweist, wie sie bei Menschen mit Taubheit auftreten.

Dabei spielt eine Rolle, wann die Taubheit erworben ist. So konnte in einer Studie gezeigt werden, dass bei Menschen mit angeborener Taubheit trotz Hörhilfen wie z. B. Cochlea-Implantat die emotionale Bewertung von Musik beeinträchtigt bleibt, während diese Fähigkeit bei Menschen mit erworbener Taubheit (aber gleichem Ausmaß des Hörverlusts) ungefähr das Niveau erreicht, das auch normal Hörende aufweisen (Mazaheryazdi et al. 2018).

In der funktionellen Bildgebung ist gezeigt worden, dass die auditorischen Areale des Gehirns lernen, verstärkt auf taktile Reize zu reagieren. Allerdings sind diese Änderungen wahrscheinlich funktionell nur sehr wenig relevant, d. h. viele taube Menschen haben kein im Alltag spürbar besseres taktiles Verarbeitungsvermögen. Allerdings gilt dies für einfache Reize. Bei der komplexen Verarbeitung von taktilen Reizen, die aus Musik generiert werden, scheint eine Überlegenheit bei tauben Menschen nachweisbar zu sein, vor allem bei Vibration. In einer Studie zur Identifizierung des emotionalen Gehalts von Musik über taktile Reize am Finger waren taube Menschen hörenden Menschen überlegen bei der Empfindung von «Glücksgefühlen» (Sharp et al. 2020). In der Rhythmus-Erkennung werden vibrotaktile Reize bei tauben Menschen eingesetzt. Dabei ist in einer Studie untersucht worden, inwieweit die vibrotaktile Stimulation zu einer Synchronisierung mit dem Rhythmus von Tanzmusik führt (Tranchant et al. 2017). So konnten taube Menschen ihren Tanzrhythmus aufgrund der vibrotaktile Stimulation in derselben Exaktheit an die Originalmusik anpassen wie Menschen mit normalem Gehör aufgrund der akustischen Stimulation. Bei Menschen mit normalem Gehör war dagegen die Exaktheit der Rhythmusanpassung bei akustischer Stimulation besser als bei vibrotaktile Stimulation.

Beim sogenannten «Captioning», der Verbildlichung von akustischen Signalen z. B. in einem Video, ist naturgemäß die gesamte Menge der akustischen Information und vor allem die emotionale Konnotation verkürzt und simplifiziert. Dennoch wirkt diese Methode bei Menschen mit Taubheit. In einer Studie, die vor allem den emotionalen Gehalt von Musik visuell verschlüsselte, zeigten Menschen mit Taubheit zwar eine ähnliche Lokalisation der Gehirnaktivität bei der Analyse des Captionings im Vergleich zu Menschen mit normalem Hörvermögen, aber die Intensität der Aktivierung war signifikant höher. So wurde eine erhöhte Aktivität in den Arealen mit freiwilliger Aufmerksamkeit gefunden, außerdem waren die sprachbezogenen kortikalen Gehirnareale aktiver (Revuelta et al. 2020). Dieses Captioning wird auch in der virtuellen Realität eingesetzt. Dabei ist jüngst eine Methode entwickelt worden, bei der am Ohr selbst durch taktile Stimulation Richtungshören und Entfernung von akustischen Quellen bei Menschen mit Taubheit oder ausgeprägter Schwerhörigkeit imitiert werden. In Studien zeigte diese Methode ein besseres Verständnis

von virtueller Realität bei tauben Menschen, sie konnten Aufgaben in Bezug auf die virtuelle Realität in fast derselben Zeit lösen wie Menschen ohne Hörprobleme (Mirzaei et al. 2020).

In der funktionellen Bildgebung sind ebenfalls Untersuchungen zur Musikverarbeitung von tauben Menschen durchgeführt worden. Dem liegt die Erkenntnis zugrunde, dass nach einer sensorischen Deprivation einer Modalität (z. B. Taubheit, Blindheit, Sensibilitätsverlust) der Kortex sich so reorganisieren kann, dass die Reize der anderen Modalitäten anders/besser verarbeitet werden, dies nennt man cross-modale Reorganisation. Bei blinden Menschen zeigt sich dies in vielfacher und gut bekannter Hinsicht z. B. in einem verbesserten Hörvermögen oder verbesserter Taktilität. Bei Menschen mit Taubheit kann auch phänomenologisch eine verbesserte visuelle Wahrnehmung festgestellt werden, die allerdings beim Menschen (im Gegensatz zur hereditär tauben Katze) bis vor kurzem nicht mit einer cross-modalen Reorganisation im auditorischen Kortex in Verbindung gebracht werden konnte. So zeigte die funktionelle Kernspintomographie bei Menschen mit früh erworbener Taubheit eine größere Dicke des Kortex im rechten Planum temporale, aber nicht im Heschl-Gyrus und Heschl-Sulcus (zuständig für das primäre Hören), in der mittleren temporalen Area MT+ und im Sulcus calcarinus (zuständig für das primäre Sehen) (Shiell et al. 2016). Diese Dicke wurde dann mit der Fähigkeit korreliert, visuelle Bewegungen schnell und korrekt wahrzunehmen. Dabei zeigte sich, dass diese visuelle Fähigkeit mit der Reorganisation des Planum temporale zusammenhängt, obwohl das Planum temporale ansonsten fast ausschließlich Aufgaben bei der akustischen Reizverarbeitung erfüllt.

Das rechte Planum temporale wurde also als eine Region identifiziert, die sich bei erworbener Taubheit reorganisiert und sensitiver wird für visuelle Reize. Diese Plastizität unterstützt die kompensatorischen Mechanismen bei visueller Stimulation. So korreliert die verbesserte Fähigkeit, visuelle Bewegungen wahrzunehmen bei früh ertaubten Menschen mit einem verdickten Kortex in einem Teil des rechten Planum temporale. Auch die weiße Substanz (also subkortikale Anteile des Planum temporale) wurde dabei untersucht (Shiell und Zatorre 2017). Dabei zeigte sich, dass nur im Planum temporale, aber nicht in anderen Teilen des Gehirns, die in auditorische Prozesse involviert sind, eine vermehrte Aktivierbarkeit korreliert ist mit der Fähigkeit, visuelle Bewegungen wahrzunehmen und einzuordnen.

Zusammenfassend wurden bei Menschen mit erworbener Taubheit also folgende plastische Veränderungen des Gehirns gefunden (Good et al. 2014):

- verbesserte Wahrnehmung von visuellen Reizen im peripheren Gesichtsfeld
- erhöhte Aufmerksamkeit für visuelle und somatosensorische Reize

- erhöhte Aktivität im sekundären auditorischen Kortex nach visuellen und vibrotaktilen Reizen
- erhöhte Aktivität des visuellen Kortex und des mittleren temporalen Kortex während der Wahrnehmung von Bewegung (Tanz)
- erhöhte Aktivität nach nicht-auditorischen Reizen in den Arealen der multimodalen Integration, insbesondere im Gyrus et sulcus temporalis superior und im Planum temporale.

Wie oben bereits ausgeführt, stellen Menschen mit einem Cochlea-Implantat in diesem Zusammenhang eine besondere Gruppe dar. Hier ist vielfach bereits gezeigt worden, dass das Cochlea-Implantat nicht nur die verbale Kommunikationsfähigkeit verbessern kann, sondern dass auch die Wahrnehmung anderer akustischer Stimuli, insbesondere der Musik, wieder in einem bestimmten Umfang möglich wird. Dabei scheinen der Zeitpunkt der Cochlea-Implantation und auch der Zeitpunkt des Eintretens der Taubheit für die Wahrnehmung und emotionale Verarbeitung von Musik bei Menschen mit Cochlea-Implantat keine große Rolle zu spielen (Fuller et al. 2019). Auch die Unterschiede zwischen einseitiger und beidseitiger Taubheit bei Trägern eines Cochlea-Implantats spielt eine untergeordnete Rolle.

Es besteht in der Forschung aber auch Konsens darüber, dass durch ein Cochlea-Implantat nie eine «normale» Musikperzeption möglich wird und dass auch bei Menschen mit erworbener Taubheit durch ein Cochlea-Implantat nie die musikalischen Fähigkeiten wiederhergestellt werden können, wie sie vor der Entwicklung der Taubheit bestanden haben, was nicht nur an Limitationen der heutigen Technik liegt, sondern auch an den Umbauprozessen des Gehirns durch die Taubheit.

Dennoch konnten Studien zeigen, dass musikalisches Training beim Cochlea-Implantat zu verbesserter akustischer Reizverarbeitung führen kann über die musikalische Eben hinaus. Der verminderte Zugang zu komplexen akustischen Reizen wie Musik, Umweltgeräuschen oder Stimmenemotionen können dabei zu einer signifikanten Beeinträchtigung der Lebensqualität führen. In verschiedenen Studien ist daher untersucht worden, wie musikalisches Training bei Menschen mit einem Cochlea-Implantat zu einer Verbesserung auch anderer Wahrnehmungen führen kann. Dabei wurde festgestellt, dass selbst nach Erreichen eines Plateaus im Spracherwerb bei Menschen mit einem Cochlea-Implantat das musikalische Training noch zu einer Verbesserung der Wahrnehmung in der Sprachprosodie und in der Perzeption von Emotionen führen kann (Jiam und Limb 2020). Bemerkenswert ist auch eine weitere Studie, die zeigen konnte, dass die Freude am Musikhören bei Menschen mit einseitigem Cochlea-Implantat größer ist, wenn das normale Ohr und das Ohr mit

Cochlea-Implantat zusammen musikalisch stimuliert werden, obwohl die musikalische Präsentation am Cochlea-Implantat allein als unangenehm empfunden wurde. Anscheinend ist das binaurale Hören von Musik mit einem höheren Genuss verbunden als das monaurale Hören, selbst wenn es das gesunde Ohr betrifft (Landsberger et al. 2020).

## **1.3 Musikalische Halluzinationen**

### **1.3.1 Einleitung und Epidemiologie**

Da musikalische Halluzinationen bei Menschen mit Taubheit ein häufigeres Phänomen darstellen als bei Menschen, die normal hören können, soll an dieser Stelle das Phänomen genauer erläutert werden. Musikalische Halluzinationen als ein spezifischer Subtyp der akustischen Halluzinationen stellen eine Störung der komplexen Verarbeitung akustischer Reize dar, in denen die Perzeption durch instrumentale Musik, Geräusche oder Gesang geformt wird, die Perzeption wird als extern beurteilt (Berrios 1990; Cerrato et al. 2001). Sie sind seltener als ungeformte akustische Halluzinationen wie z. B. bestimmte Formen des Tinnitus. Typischerweise besteht eine Einsicht in die Natur der Halluzination, aber keine Möglichkeit der willentlichen Beeinflussung. Von den musikalischen Halluzinationen werden die «Ohrwürmer» als unwillentlich entstehende innere Musikimagination abgegrenzt, die aber willentlich beeinflussbar ist und nicht als externe Perzeption wahrgenommen wird (Moseley et al. 2018). Die verschiedenen mentalen Erscheinungsformen der musikalischen Wahrnehmung sind in Tabelle 1 dargestellt.

*Tabelle 1: Verschiedene Arten der mentalen Wahrnehmung von Musik.*

- 1) Willentliche Musikimagination: aktive Vorstellung von Musik
- 2) Unwillentliche Musikimagination («Ohrwurm»): Musik entsteht unfreiwillig in Gedanken, wird aber als intern erkannt und ist willentlich zu unterdrücken
- 3) Dauernde unwillentliche Musikimagination: chronische Ohrwürmer
- 4) Musik-Halluzinose: Lang anhaltende Musikimagination bei Patienten mit organischen Erkrankungen wie z. B. Hörverlust (zumeist ohne Distanzierung)
- 5) Musikalische Halluzination: Musik ist präsent, als ob sie wirklich (d. h. extern) spielen würde (zumeist mit Distanzierung)

Fukunishi et al. (1998) berichteten von musikalischen Halluzinationen bei 0,16% eines großen Kollektivs in einem Krankenhaus. Dagegen lag in einem Kollektiv von älteren Menschen mit Hörstörungen die Prävalenz von musikalischen Halluzinationen zwischen

2,5% (Cole et al. 2002) bis 3,6% (Teunesse et al. 2012). In einer anderen Studie bei Patienten mit Hörstörungen hatten 16,2% akustische Halluzinationen (davon Stimmen 51%, Musik 36% und Klingeltöne 24%), dabei stieg die Prävalenz von Halluzinationen mit der Schwere der Hörstörung bis maximal 24% an (Linszen et al. 2019), es wurde keine Altersabhängigkeit gefunden, vor allem betroffen waren Frauen mit einer linksseitigen Hörstörung. Rein rechnerisch stieg das Risiko für musikalische Halluzinationen um 1,02 pro 1 dB Hörverlust. Auch bei gesunden Kindern und Jugendlichen wurden musikalische Halluzinationen beschrieben (Aziz 2009). Das seltene Auftreten von musikalischen Halluzinationen kann das natürliche Vorkommen reflektieren, es ist aber wahrscheinlich, dass sie nur selten berichtet werden.

Die wahrscheinlich ersten Berichte über musikalische Halluzinationen wurden von Coleman 1849 und von Baillarger 1846 publiziert (Berrios 1990). Die ersten wissenschaftlichen Beschreibungen wurden von Petazzi (1900) und von Bryant (1907) erstellt. Es wurde kontrovers diskutiert, ob musikalische Halluzinationen eine Quelle der Kreativität bei Komponisten sein könnten (Gordon 1996). Dies wurde für Joseph Haydn (Gordon 1999) und Gaetano Donizetti (Peschel et al. 1992) vorgeschlagen. Maurice Ravel, der eine diagnostisch ungeklärte neurodegenerative Erkrankung in seinen letzten Lebensjahren hatte, sagte von sich selbst, dass er noch «so viel Musik in seinem Kopf habe», dass er diese aber nicht spielen oder schreiben konnte, da ihm die Umsetzung seiner Gedanken in Sprache und Handlungen nicht mehr gelang (Alajouanine 1948; Alonso und Pascuzzi 1999). Dies war möglicherweise auch eine Manifestation einer musikalischen Halluzination. Bedrich Smetana berichtete von sich selbst über seine musikalischen Halluzinationen in Form von zwei männlichen Stimmen in G-Dur (Neumayr 1991). Zusätzlich hatte er einen ausgeprägten Hörverlust in seinem späteren Leben sehr wahrscheinlich aufgrund einer Syphilis (Feldmann 1964). Er erlebte auch musikalische Halluzinationen in Form eines As-Dur Akkords, dies illustrierte er in dem letzten Satz seines zweiten Streichquartetts.

### **1.3.2 Übersichtsarbeiten**

Übersichten von Fallbeispielen mit musikalischen Halluzinationen sind bislang mehrfach publiziert worden (Berrios 1990; Berrios 1991; Keshavan et al. 1992). Eine Übersicht fand ein weibliches Überwiegen von 80% und ein durchschnittliches Alter von 60 +/- 19 Jahren. 67% der Patienten waren taub, bei 40% waren die musikalischen Halluzinationen das einzige Symptom. Bei 26% gab es eine psychiatrische Vorgeschichte, zumeist eine Depression. Bei 39% der Fälle gab es Hinweise auf eine Gehirnerkrankung wie z. B. Tumor,

epileptischer Fokus und Schlaganfall (Berrios 1991). Es wurde geschlossen, dass musikalische Halluzinationen häufiger bei älteren Frauen mit Taubheit oder einer strukturellen Gehirnerkrankung auftreten. Sie bestätigten frühere Annahmen, dass Taubheit, Ohrerkrankungen, fortgeschrittenes Alter, Drogen und Gehirnerkrankungen wichtige Faktoren in der Generierung und der Persistenz von musikalischen Halluzinationen sind. Aufgrund der Fälle mit einer Gehirnerkrankung wurde geschlossen, dass die Beteiligung der rechten, nicht-dominanten Gehirnhälfte als zugrundeliegende Ätiologie häufiger ist als die Beteiligung der linken Hemisphäre. In einer anderen Übersicht (Keshavan et al. 1992) wurden drei Untergruppen getrennt analysiert: eine mit Hörverlust; eine mit einer umschriebenen Gehirnerkrankung; eine mit psychiatrischen Erkrankungen. Dabei war Taubheit am meisten mit musikalischen Halluzinationen assoziiert, unspezifische Gehirnschädigungen traten auch häufig bei musikalischen Halluzinationen auf. Es wurden ein weibliches Überwiegen und eine Tendenz zum Auftreten im mittleren bis höheren Lebensalter beschrieben. Zusätzlich waren psychische Störungen ein zusätzlicher Beitrag zur Entstehung von musikalischen Halluzinationen; Depressionen oder Psychosen können demnach mit musikalischen Halluzinationen assoziiert sein, ohne dass eine Taubheit oder eine umschriebene Gehirnerkrankung vorliegt. In dieser Übersicht waren rechtsseitige Gehirnläsionen nur marginal häufiger mit einer musikalischen Halluzination assoziiert als linksseitige.

In einer eigenen Übersicht über die in der Literatur beschriebenen Fälle mit musikalischer Halluzination wurden fünf Untergruppen von Krankheitsursachen differenziert (Evers und Ellger 2004). Zusammenfassend konnten die Daten von 132 Fällen analysiert werden. Bei Patienten, zu denen mehr als eine Ursache passte, wurde die wahrscheinlichste gewählt, die anderen Pathologien wurden als Ko-Diagnose bezeichnet. Dies bedeutet, wann immer mehr als eine der fünf Pathologien gefunden wurde, wurde die Diagnose gewählt, die am engsten mit der musikalischen Halluzination verbunden war.

Das Alter reichte von 20 bis 90 Jahren mit einem Durchschnitt von 62 +/- 19 Jahren. 30% waren männlich, 70% weiblich. In 27% konnte eine Gehirnläsion oder ein epileptischer Fokus lokalisiert werden (20 Fälle rechts, 16 links). Eine generalisierte Gehirnatrophie wurde bei weiteren 26% beschrieben. Bei 23% wurde die Händigkeit angegeben, alle waren Rechtshänder.

Schwerhörigkeit war die wahrscheinlichste Ursache der musikalischen Halluzination bei 52 Fällen. Bei 18 wurde zusätzlich eine generalisierte Gehirnschädigung beschrieben. Außerdem hatten elf Patienten eine psychiatrische Komorbidität und acht zeigten



epileptische Aktivität klinisch oder im EEG. Bei weiteren 29 Patienten lag eine Schwerhörigkeit vor, die musikalische Halluzination wurde aber wahrscheinlich durch andere Pathologien verursacht. Bei 31 Patienten waren die musikalischen Halluzinationen ein Begleitphänomen von psychiatrischen Erkrankungen (davon 14 Depression und 11 Schizophrenie). 21 Patienten hatten eine fokale Gehirnläsion. In 13 Fällen lag die Läsion in der rechten Hemisphäre, in acht Fällen in der linken. Die Gehirnläsionen waren vaskulär oder ein Tumor (je sechs Fälle), in zwei Fällen waren sie infektiös und in den verbleibenden Fällen konnte die Läsion nicht genau identifiziert werden. Bei 34 Patienten wurde eine diffuse Gehirnatrophie beschrieben, ohne dass in den meisten Fällen ein Grund dafür angegeben werden konnte. Bei 15 Patienten wurde epileptische Aktivität als Trigger für die musikalischen Halluzinationen angenommen. In je einem Drittel der Patienten wurde die epileptische Aktivität in der rechten Gehirnhälfte, in der linken Gehirnhälfte oder diffus lokalisiert. In weiteren 15 Fällen wurde epileptische Gehirnaktivität beschrieben, aber nicht als Hauptursache für die musikalischen Halluzinationen angenommen. Intoxikation oder eine Gehirnentzündung war die Hauptursache für musikalische Halluzinationen bei 13 Patienten. Insbesondere Intoxikationen mit Medikamenten traten hier auf.

Bei 73 Fällen finden sich Details über die Inhalte der musikalischen Halluzinationen. 57 Patienten nahmen bekannte Töne wahr, nur bei fünf war der Klang völlig unbekannt. Die Inhalte reichten von religiösen Liedern über Kinderlieder bis hin zu unspezifischer Radiomusik. Klassische Musik und volkstümliche Musik wurden eher selten wahrgenommen. Die Musik wurde vokal, rein instrumental oder gemischt vokal/instrumental präsentiert. Eine unilaterale Wahrnehmung der Musik wurde von zehn Patienten berichtet, eine bilaterale von 21 Patienten. Die durch die wahrgenommene Musik hervorgerufenen Emotionen waren angenehm in sieben Fällen und bedrohlich/unangenehm bei 30 Patienten; bei vier Fällen waren die Emotionen neutral, in den übrigen Fällen fanden sich keine Angaben. Die Geschlechtsunterschiede waren in den einzelnen Subgruppen nicht signifikant, aber Frauen waren insgesamt häufiger betroffen als Männer. Dies zeigte sich am stärksten in der Gruppe der Patienten mit Schwerhörigkeit (77% versus 23%).

### **1.3.3 Analyse der Literatur**

Patienten mit musikalischen Halluzinationen nehmen vor allem bekannte Lieder und Melodien wahr, die sie aus dem Radio, aus religiösen Zusammenhängen und aus der Kindheit kennen. Dieses relativ konsistente Muster ist oftmals auch mit persönlichen Erinnerungen an diese Musik assoziiert, somit rühren diese Halluzinationen oft von

individuellen Erinnerungsspuren her. Bei älteren Betroffenen treten deswegen sehr häufig religiöse Lieder als musikalische Halluzinationen auf (Warner und Aziz 2005). Dieser mögliche Mechanismus wird auch «concept of parasitic memory» genannt. Es ist jedoch noch völlig unklar, warum solche Erinnerungsspuren offensichtlich spontan zu Bewusstsein kommen ohne eine spezifische Stimulation des Gehirns. Ein anderer Mechanismus, der in der Literatur diskutiert wird (Keshavan et al. 1992), ist die «neuronal irritation». Halluzinatorische Wahrnehmung kann verstanden werden als eine Konstruktion einer erneuten Erfahrung von gespeicherter Perzeption durch die Erregung von relevanten neuronalen Netzwerken (z. B. Halluzinationen induziert durch epileptische Entladungen im zerebralen Kortex). Stimmen, oft in Kombination mit instrumentaler Musik, werden häufiger als musikalische Halluzinationen beobachtet als rein instrumentale Musik. Noch häufiger werden musikalische Halluzinationen als furchterregend und negativ und nicht als angenehm oder positiv oder neutral wahrgenommen.

Über den Einfluss der Lateralität von Gehirnläsionen, die mit musikalischen Halluzinationen assoziiert sind, ist bislang kein einheitliches Konzept verfügbar. Früher wurde angenommen, dass die rechte, nicht-dominante Hemisphäre eine wichtige Rolle in der Entstehung von musikalischen Halluzinationen spielt (Berrios 1990 und 1991). Interessanterweise sind akustische Halluzinationen bei älteren Menschen häufig mit einer asymmetrischen Beeinträchtigung des Hörvermögens und einer unvollständigen Suppression des sensorischen Inputs vom linken Ohr assoziiert (Cole et al. 2002). Dies würde in Übereinstimmung damit stehen, dass die rechte Hemisphäre häufig dominant für die Musikwahrnehmung ist (Zatorre 1984), wenigstens bei Nicht-Musikern. Auf der anderen Seite muss berücksichtigt werden, dass rechtshemisphärische Läsionen klinisch nur geringfügig häufiger mit musikalischen Halluzinationen assoziiert sind als linkshemisphärische. Zusammenfassend gibt es bislang keine klaren Hinweise darauf, ob die Lateralität von Gehirnläsionen oder Gehirnfunktionsstörungen eine Rolle bei der Entwicklung von musikalischen Halluzinationen spielt.

Es gibt nur vereinzelte Beschreibungen einer erfolgreichen Therapie, von denen keine allgemeinen Empfehlungen abgeleitet werden können. Möglicherweise kann eine verstärkte externe auditorische Stimulation den Schweregrad der anhaltenden musikalischen Halluzinationen reduzieren (Collins et al. 1989). Eine kausale Behandlung des Symptoms «musikalische Halluzination» ist nicht bekannt. Wenn in Fallberichten eine erfolgreiche Therapie beschrieben wurde, dann handelte es sich eher um die Beseitigung der zugrundeliegenden Ursache oder um die Verbesserung einer Hypakusis. Bei depressiven Patienten oder Patienten mit einer Schizophrenie verschwanden manchmal die

Halluzinationen durch eine antidepressive oder neuroleptische Medikation. In einzelnen Fällen waren folgende Medikamente erfolgreich: Fluvoxamin, Clomipramin, Olanzapin, Quetiapin, Carbamazepin und Valproat, die beiden letzteren Medikamente waren zur Stimmungsstabilisierung verordnet worden und nicht zur Therapie einer Epilepsie. In jüngerer Zeit wurde mehrfach über einen wirkungsvollen Einsatz von Acetylcholinesterase-Hemmern bei musikalischen Halluzinationen berichtet, auch bei Patienten, die keine Hinweise auf eine demenzielle Entwicklung aufwiesen.

### **1.3.4 Pathophysiologische Überlegungen**

Durch die Analyse von Fallberichten kann kein eindeutiger Mechanismus abgeleitet werden, wie musikalische Halluzinationen entstehen. Tatsächlich scheinen musikalische Halluzinationen durch unterschiedliche Mechanismen hervorgerufen zu werden, sodass nicht von einer Entität gesprochen werden kann.

Von einer Schwerhörigkeit wird in dem Zusammenhang häufig berichtet, und sie scheint der wichtigste/häufigste Faktor zu sein, der mit musikalischen Halluzinationen assoziiert ist. Auch sind musikalische Halluzinationen intensiver, wenn die Umgebungsgeräusche leise sind (Hammeke et al. 1983; Terao 1995). In diesem Sinne können musikalische Halluzinationen als ein Deafferenzierungs-Phänomen interpretiert werden, damit meint man Empfindungen, obwohl die zuführenden Nervenfasern abgeschnitten sind, wie etwa beim Phantomschmerz. Gordon (1997) war sogar der Meinung, dass musikalische Halluzinationen exklusiv mit einer Innenohrstörung assoziiert sein müssen, die zu einem «hyperactive state of the ear» führt. Patienten mit einer Kombination von Tinnitus und akustischen Halluzinationen berichten demnach überwiegend von musikalischen Halluzinationen. Es gibt jedoch eindeutige Fälle ohne jeglichen Hinweis auf eine Hörstörung im Mittel- oder Innenohr, die trotzdem typische musikalische Halluzinationen aufgewiesen haben (Erkwoh et al. 1993; Evers et al. 2002). Insofern repräsentieren Erkrankungen des Ohres zwar eine häufige, aber keine notwendige Bedingung für musikalische Halluzinationen. Weiterhin wurde vorgeschlagen, musikalische Halluzinationen mit visuellen Halluzinationen zu vergleichen, die durch fokale Läsionen im Okzipitallappen hervorgerufen werden und Charles-Bonnet-Syndrom genannt werden, d. h. dass diesen Halluzinationen eine Störung in der Gehirnrinde zugrunde liegt. Weiterhin wurde auch eine sensorische Deprivation in der Umwelt als Trigger für musikalische Halluzinationen angenommen.

Zerebrale Bildgebungsstudien von Patienten mit musikalischen Halluzinationen zeigten eine Dysfunktion des temporalen Kortex (Erkwoh et al. 1993; Kasai et al. 1999; Tanriverdi et al. 2001), der linke Temporallappen war dabei häufiger betroffen als der rechte. Es gibt zudem alte Berichte über die Initiierung von musikalischen Halluzinationen durch eine direkte Stimulation des Gyrus temporalis superior (Penfield 1958; Penfield und Perot 1963). Daher ist es möglich, dass ein Teil der musikalischen Halluzinationen, insbesondere die mit einer fokalen Gehirnläsion oder epileptischer Aktivität im EEG, fokale epileptische Anfälle im temporalen Kortex darstellen. Jüngere Forschungen mittels funktioneller Gehirnabbildung bestätigen die wichtige Rolle des Temporallappens in der Generierung von akustischen/musikalischen Halluzinationen, zeigen aber auch, dass noch andere Gehirnareale involviert sein können, insbesondere umschriebene Areale des Frontallappens. Zusammenfassend scheint der Sulcus temporalis superior das wichtigste/häufigste Gehirnareal zu sein, das bei musikalischen Halluzinationen aktiviert wird (Bernardini et al. 2017), darüber hinaus gibt es jedoch individuell sehr unterschiedliche zusätzliche Aktivierungen.

Ein anderer Typ des Deafferenzierungs-Phänomens kann in einer Läsion der zentralen akustischen Bahnen/Strahlung liegen. Wenn man die einzelnen Fälle von musikalischen Halluzinationen aufgrund einer fokalen Gehirnläsion analysiert, liegen zahlreiche dieser Läsionen in den zuführenden akustischen Bahnen oder in den Konnexionsfasern zwischen der primären akustischen Gehirnrinde und den Assoziations-Gehirnrinden. Beschrieben wurden eine Blutung zwischen dem linken Corpus geniculatum und der linken akustischen Gehirnrinde und Hirnstammläsionen im lateralen oder paramedianen pontinen Tegmentum (Douen et al. 1997; Schielke et al. 2000) oder eine Störung der Basalganglien (Wodarz et al. 1995). Zusammenfassend war der Pons eine der häufigsten Gehirnareale, die mit musikalischen Halluzinationen assoziiert war.

Musikalische Halluzinationen können nicht nur als ein rein psychotischer Zustand erklärt werden, da eigentlich immer eine Distanzierung davon möglich ist. Sie können in einigen Fällen aber auch durch das Konzept der Zwangserkrankungen beschrieben werden (Matsui et al. 2003).

In früheren Arbeiten über musikalische Halluzinationen sind auch andere Theorien zu deren Entstehung entwickelt worden. So wurde eine neuropsychologische Herangehensweise vorgeschlagen, um musikalische Halluzinationen durch spontane und nicht dynamische Aktivität in einem kognitiven Netzwerkmodul zu erklären. Interessanterweise konnte im PET keine Aktivität im primären akustischen Kortex bei musikalischen Halluzinationen gefunden

werden, wogegen bei verbalen akustischen Halluzinationen eine Aktivierung des Heschl-Gyrus aufgedeckt werden konnte (Dierks et al. 1999). Die Gehirnareale, die in das Modul für die Generierung musikalischer Halluzinationen eingebunden sind, waren der posteriore Temporallappen, die rechten Basalganglien, das Kleinhirn und der inferiore Frontallappen. Diese Befunde können jedoch nicht erklären, wie die spontane Aktivierung dieses Netzwerkes überhaupt zustande kommt.

Störungen von Lernen oder Gedächtnis müssen ebenfalls bei der Erklärung von musikalischen Halluzinationen berücksichtigt werden. Dies hat zu dem Konzept des «parasitic memory» (Keshavan et al. 1992) geführt. Dies bedeutet, dass musikalische Halluzinationen in den meisten Fällen eine nicht verlernte musikalische Perzeption darstellen und somit eine autonome, d. h. nicht veränderbare Gedächtnisfunktion sind, die rein zufällig, aber auch durch externe Stimulierung abgerufen werden kann. Interessanterweise bestehen auch fast alle musikalischen Halluzinationen aus sehr bekannten musikalischen Sequenzen und eben nicht aus nur selten gehörten oder unbekanntem Sequenzen.

Zusammenfassend gibt es bislang keine biologischen Erkenntnisse, die die Pathophysiologie der musikalischen Halluzinationen vollständig erklären können. Dennoch existieren Theorien, die die verschiedenen Eigenarten der musikalischen Halluzinationen beschreiben können. Die meisten Fälle entsprechen dem Konzept des Deafferenzierungs-Phänomens, das auch von der visuellen Wahrnehmung bekannt ist. In einem kleineren Teil der Fälle kann eine messbare epileptische oder dysfunktionale Aktivität in bestimmten Gehirnarealen mit musikalischen Halluzinationen assoziiert sein. Schließlich kann auch das Konzept einer Aktivierung von Störungen der Gedächtnisfunktionen, «parasitic memory» genannt, zur Erklärung der musikalischen Halluzinationen herangezogen werden. Insofern ist es eher unwahrscheinlich, dass musikalische Halluzinationen zur Generierung von kompositorischen Einfällen beitragen können.

## Literatur

Alajouanine T. Aphasia and artistic realization. *Brain* 1948; 71: 232-234

Alonso RJ, Pascuzzi RM. Ravel's neurological illness. *Semin Neurol* 1999; 19 Suppl 1: 53-57

Aziz V. Musical hallucinations in normal children and adult non-psychiatric population. *BMJ Case Rep* 2009; 2009

Bernardini F, Attademo L, Blackmon K, Devinsky O. Musical hallucinations: a brief review of functional neuroimaging findings. *CNS Spectr* 2017; 22: 397-403

- Berrios GE. Musical hallucinations: a historical and clinical study. *Br J Psychiatry* 1990; 156: 188-194
- Berrios GE. Musical hallucinosis: a statistical analysis of 46 cases. *Psychopathology* 1991; 24: 356-360
- Bryant WS. De la grande importance psychique des affections d'oreilles. *Archives Internationales de Laryngologie, Otologie, et Rhinologie* 1907; 23: 85-98
- Cerrato P, Imperiale D, Giraudo M, Baima C, Grasso M, Lopiano L, Bergamasco B. Complex musical hallucinosis in a professional musician with a left subcortical haemorrhage. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2001; 71: 280-281
- Cole MG, Dowson L, Dendukuri N, Belzile E. The prevalence and phenomenology of auditory hallucinations among elderly subjects attending an audiology clinic. *Int J Geriatr Psychiatry* 2002; 17: 444-452
- Collins MN, Cull CA, Sireling L. Pilot study of treatment of persistent auditory hallucinations by modified auditory input. *Br Med J* 1989; 299: 431-432
- Darrow AA. The role of music in deaf culture: implications for music educators. *Journal of Research in Music Education* 1993; 41: 93-110
- Dierks T, Linden DEJ, Jandl M, Formasino E, Goebel R, Lanfermann H, Singer W. Activation of Heschl's gyrus during auditory hallucinations. *Neuron* 1999; 22: 615-621
- Douen AG, Bourque P. Musical auditory hallucinosis from *Listeria rhombencephalitis*. *Can J Neurol Sci* 1997; 24: 70-72
- Erkwoh R, Ebel H, Kachel F, Reiche W, Ringelstein E B, Büll U, Saß H. FDG-PET and electroencephalographic findings in a patient suffering from musical hallucinations. *Nuklearmedizin* 1993; 32: 159-163
- Evers S, Ellger T, Ringelstein EB, Knecht S. Is hemispheric language dominance relevant in musical hallucinations? Two case reports. *Eur Arch Psychiatry Clin Neurosci* 2002; 252: 299-302
- Evers S, Ellger T. The clinical spectrum of musical hallucinations. *J Neurol Sci* 2004; 227: 55-65
- Feldmann H. Die Krankheit Friedrich Smetanas in otologischer Sicht aufgrund neuer Quellenstudien. *Mshr Ohrenheilk Laryngol Rhinol* 1964; 98: 209-226
- Fukunishi I, Horikawa N, Onai H. Prevalence rate of musical hallucinations in a general hospital setting. *Psychosomatics* 1998; 39: 175
- Fuller C, Başkent D, Free R. Early deafened, late implanted cochlear implant users appreciate music more than and identify music as well as postlingual users. *Front Neurosci* 2019; 13: 1050
- Good A, Reed MJ, Russo FA. Compensatory plasticity in the deaf brain: effects on perception of music. *Brain Sci* 2014; 4: 560-574
- Gordon AG. Creativity and mental health. *J R Soc Med* 1996; 89: 728
- Gordon AG. Do musical hallucinations always arise from the inner ear? *Med Hypotheses* 1997; 49: 111-122

- Gordon AG. Seeking Haydn's secrets. *Cerebrovasc Dis* 1999; 9: 54
- Hammeke TA, McQuillen MP, Cohen BA. Musical hallucinations associated with acquired deafness. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1983; 46: 570-572
- Jiam NT, Limb C. Music perception and training for pediatric cochlear implant users. *Expert Rev Med Devices* 2020: 1-13
- Kasai K, Asada T, Yumotot M, Takeya J, Matsuda H. Evidence for functional abnormality in the right auditory cortex during musical hallucinations. *Lancet* 1999; 354: 1703-1704
- Keshavan MS, Davis AS, Steingard S, Lishman WA. Musical hallucinosis: a review and synthesis. *Neuropsychiatry Neuropsychol Behav Neurol* 1992; 5: 211-223
- Landsberger DM, Vermeire K, Stupak N, Lavender A, Neukam J, Van de Heyning P, Svirsky MA. Music is more enjoyable with two ears, even if one of them receives a degraded signal provided by a cochlear implant. *Ear Hear* 2020; 41: 476-490
- Linszen MMJ, van Zanten GA, Teunisse RJ, Brouwer RM, Scheltens P, Sommer IE. Auditory hallucinations in adults with hearing impairment: a large prevalence study. *Psychol Med* 2019; 49: 132-139
- Matsui T, Matsunaga H, Ohya K, Iwasaki Y, Koshimune K, Miyata A, Nobuo K. Clinical features in two cases with musical obsessions who successfully responded to clomipramine. *Psychiatry Clin Neurosci* 2003; 57: 47-51
- Mazaheryazdi M, Aghasoleimani M, Karimi M, Arjmand P. Perception of musical emotion in the students with cognitive and acquired hearing loss. *Iran J Child Neurol* 2018; 12: 41-48
- Mirzaei M, Kan P, Kaufmann H. EarVR: using ear haptics in virtual reality for deaf and hard-of-hearing people. *IEEE Trans Vis Comput Graph* 2020; 26: 2084-2093
- Moseley P, Alderson-Day B, Kumar S, Fernyhough C. Musical hallucinations, musical imagery, and earworms: A new phenomenological survey. *Conscious Cogn* 2018; 65: 83-94
- Naples J, Valdez TA. Letters to the Deaf: Present-day relevance of history's earliest social analysis of deafness. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2020; 162: 319-321
- Neumayr A. *Musik und Medizin. Band 3.* Wien, Verlagsgesellschaft, 1991
- Penfield W, Perot P. The brain's record of auditory and visual experience. *Brain* 1963; 86: 595-694
- Penfield W. Some mechanisms of consciousness discovered by electrical stimulation of the brain. *Proc Nat Acad* 1958; 44: 51-66
- Peschel E, Peschel R. Donizetti and the music of mental derangement: Anna Bolena, Lucia di Lammermoor, and the composer's neurobiological illness. *Yale J Biol Med* 1992; 65: 189-200
- Petazzi A. Contributo allo studio delle allucinazioni acustiche specialmente in rapporto con l'alterazione dell'apparato uditivo periferico. *Archivio Ital Otol Rinol Lar* 1900; 10: 385-429
- Revuelta P, Ortiz T, Lucía MJ, Ruiz B, Sánchez-Pena JM. Limitations of standard accessible captioning of sounds and music for deaf and hard of hearing people: an EEG study. *Front Integr Neurosci* 2020; 14: 1

- Schielke E, Reuter U, Hoffmann O, Weber J. Musical hallucinations with dorsal pontine lesions. *Neurology* 2000; 55: 454-455
- Sharp A, Bacon BA, Champoux F. Enhanced tactile identification of musical emotion in the deaf. *Exp Brain Res* 2020; 238: 1229-1236
- Shiell MM, Champoux F, Zatorre RJ. The right hemisphere planum temporale supports enhanced visual motion detection ability in deaf people: evidence from cortical thickness. *Neural Plast* 2016: 7217630
- Shiell MM, Zatorre RJ. White matter structure in the right planum temporale region correlates with visual motion detection thresholds in deaf people. *Hear Res* 2017; 343: 64-71
- Terao T. Tricyclic-induced musical hallucinations and states of relative sensory deprivations. *Biol Psychiatry* 1995; 38: 192-193
- Teunisse RJ, Olde Rikkert MG. Prevalence of musical hallucinations in patients referred for audiometric testing. *Am J Geriatr Psychiatry* 2012; 20: 1075-1077
- Tranchant P, Shiell MM, Giordano M, Nadeau A, Peretz I, Zatorre RJ. Feeling the beat: bouncing synchronization to vibrotactile music in hearing and early deaf people. *Front Neurosci* 2017; 11: 507
- Warner N, Aziz V. Hymns and arias: musical hallucinations in older people in Wales. *Int J Geriatr Psychiatry* 2005; 20: 658-660
- Wodarz N, Becker T, Deckert J. Musical hallucinations associated with post-thyroidectomy hypoparathyroidism and symmetric basal ganglia calcification. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1995; 58: 763-764
- Zatorre RJ. Musical perception and cerebral function: a critical review. *Music Perception* 1984; 2: 196-221