

Temporäre Harmonisierung des monotonalen Tinnitus mittels transponierter Musik – Smetana-Phänomen

Gerd Tymnik¹, Martin Spindler², Jutta Reiß¹, Tobias Schlemmer⁴,
Eberhard Kuhlisch³, Gert Schönfelder⁵, Matthias Lippmann⁶,
Stefan Schmidt⁴, Gerhard Weber² und Adolf Finger⁶

¹ HNO-Arztpraxis, Meißner Str. 84, D-01558 Großenhain
dr.tymnik@t-online.de, jutta_reiss@gmx.de

² Technische Universität Dresden, Institut für Angewandte Informatik, D-01062 Dresden
{martin.spindler, gerhard.weber}@tu-dresden.de

³ Medizinische Fakultät der Technischen Universität Dresden,
Institut für Medizinische Informatik und Biometrie, D-01307 Dresden
eberhard.kuhlisch@tu-dresden.de

⁴ Technische Universität Dresden, Institut für Algebra, D-01062 Dresden
{tobias.schlemmer, stefan.schmidt}@tu-dresden.de

⁵ Prignitz Mikrosystemtechnik GmbH, Margarethenstraße 61, D-19322 Wittenberge
schoenfelder@prignitz-mst.de

⁶ Technische Universität Dresden, Institut für Nachrichtentechnik, D-01062 Dresden
{matthias.lippmann, adolf.finger}@tu-dresden.de

Abstract. Ein neuer Ansatz zur Linderung von chronisch-dekompensiertem Tinnitus mit monotonalem Charakter wird vorgestellt. Mithilfe von transponierter Musik wird der monotone Tinnitus gezielt in ein wohlklingendes (harmonisches) Klangerlebnis eingebettet und damit dem Betroffenen das Defokussieren des Dauertons erleichtert. Das Verfahren wurde softwarebasiert umgesetzt und in einer Untersuchungsreihe mit Patienten auf seine Wirksamkeit überprüft. Dabei konnte insbesondere ein Sofort-Effekt unter der angepassten Musik herausgestellt werden, welcher das Intensitätsempfinden des Tinnitus drastisch senkt.

Schlüsselwörter: transponierte Musik, monotonaler Tinnitus, Linderung, Harmonisierung

1 Einleitung

Die Therapie des chronisch-dekompensierten Tinnitus muss weiterhin, trotz der Vielfalt der angebotenen Verfahren, als nicht befriedigend angesehen werden [1].

Es ist der Natur des Krankheitssymptoms geschuldet, dass die (eine) Gold-Standard-Therapie auch kaum zu erwarten ist. Legitim, ja notwendig, ist insofern eine breitgefächerte Tinnitusforschung. Vor allem sollte nach Möglichkeiten gesucht werden, etablierte bzw. bewährte Therapien zu verbessern.

Die Musiktherapie wird nicht ernstlich infrage gestellt. [2]

Wir sind diesbezüglich einem interessanten Phänomen nachgegangen.

Die Idee für unseren neuen Ansatz lieferte uns Smetana, der ebenfalls qualvoll an einem Tinnitus litt. Seinen Tinnitus versuchte er mit einer eigenen Komposition widerzuspiegeln: Streichquartett Nr. 1 e-Moll, „Aus meinem Leben“. Dabei soll das 4-gestrichene e seinen Tinnitus repräsentieren. [3]

Lässt sich ein (Tinnitus-) Ton in eine musikalische Ton-Skala einordnen, so kann er auch harmonisch in einer Komposition aufgegriffen werden, so wie das 4-gestrichene e in Smetanas Werk. Unser Ansatz ist es, eine eigene Tonleiter zu jedem beliebigen Tinnituston (TT) aufzubauen – unter Beachtung der mathematischen Relationen der Musik-Harmonie. Ist die individuelle Tinnitus-Tonleiter berechnet, so können Musikstücke eingespielt und in Echtzeit transponiert vom Patienten abgehört werden. Die Tinnitus-Tonleiter kann solange nachjustiert werden bis der Tinnitus harmonisch in der angebotenen Musik „verschwimmt“.

Im Rahmen einer interdisziplinären Arbeitsgruppe ist es uns gelungen, diese Smetana-Idee programmtechnisch derart umzusetzen [4], so dass wir Patienten mit monotonalem Tinnitus diese modifizierte Musik anbieten konnten. Ziel unserer prospektiven Untersuchungsserie war, einen Soforteffekt unter 10 minütiger Anwendung zu belegen. Die ersten Ergebnisse hierbei sind in der Tat vielversprechend.

2 Methodik

Zum Verständnis unseres praktischen Vorgehens muss etwas musiktheoretisches Basiswissen vereinfacht rekapituliert werden [5]:

Das Musikempfinden unterliegt dem Weber-Fechner-Gesetz. Entsprechen die Tonfrequenzen einer geometrischen Folge mit der irrationalen Zahl $q = \sqrt[12]{2} \approx 1,06$ als Quotient, dann empfindet man akustisch die relativen Abstände der musikalischen Tonhöhen als gleich. Stellen also klar definierte, physikalische Reize eine geometrische Folge dar, dann ist die Empfindung, infolge der psycho-akustischen Verarbeitung, eine arithmetische Folge.

Es wurde die logarithmische Einheit Cent (ct) eingeführt ($1ct := \frac{1 \text{ Oktave}}{1200}$), so dass man musikalische Intervalle, in Cent angegeben, arithmetisch addieren kann¹. Bei der gleichstufigen Stimmung (nur diese wird hier betrachtet) wird eine Oktave (Verdopplung bzw. Halbierung der Frequenz) in 12 gleich große Halbtöne geteilt. Jeder Halbton umfasst 100 ct. Für die Berechnung des Cent-Wertes eines Intervalls aus dem Frequenzverhältnis gilt:

$$\text{Intervall} \left(\frac{f_1}{f_2} \right) = 1200 \text{ ct} \times \log_2 \left(\frac{f_1}{f_2} \right)$$

Der Kammerton a' mit 440 Hz als Referenzton zur Stimmung von Instrumenten ist keine physikalische Naturkonstante. Aus praktischen Erwägungen legte man erst 1939 in London diesen Frequenzbezug fest. In unserem Verfahren mit Transpositionsmöglichkeit ist der Referenzton variabel. Wir bestimmen die individuelle Tinnitus-Tonleiter

¹ DIN 13320:1979, Akustik - Spektren und Übertragungskurven; Begriffe, Darstellung

derart, dass die TT-Frequenz Referenz- bzw. Grundton des einzuspielenden Stückes ist. Bei einem Musikstück in C Dur (Grundton c) gilt: $f_{c'} := f_{TT}$, d.h., die Frequenz des Tones c' wird der des individuellen Tinnitus-Tones gleichgesetzt. Dieses Vorgehen gilt entsprechend für jede beliebige Tonart und deren Grundton. Natürlich wird hierbei das Prinzip der diatonisch-heptatonischen Tonleiter nicht gebrochen – mit dem Halbtonabstand $\sqrt[12]{2}$ (bzw. 100ct).

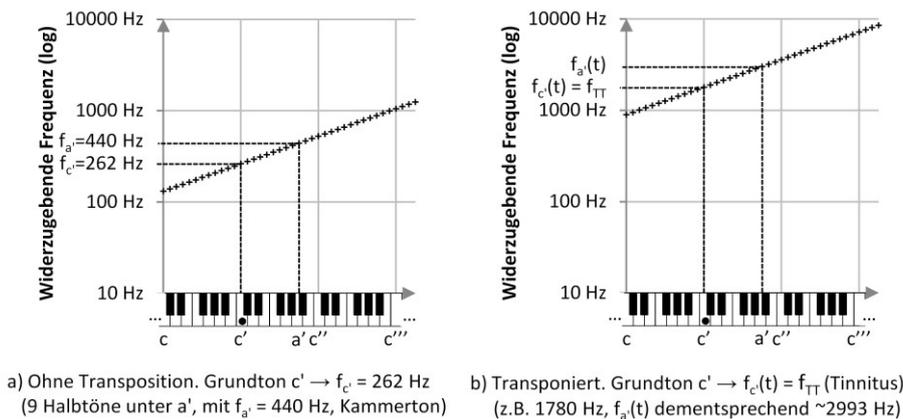


Abbildung 1. Funktionale Beziehung zwischen Tönen der Klaviertastatur und der Frequenzskala (in logarithmischer Darstellung):

- a) Musikwiedergabe Stück in C-Dur ohne Transposition
 b) Musikstück in C-Dur, Grundton c' wird gestimmt auf den individuellen Tinnituston des Patienten, im Beispiel $f_{TT} = 1780$ Hz
 Die Steigung der Kennlinie (Halbtonintervall-Verhältnis) bleibt auch bei Transposition gleich.

Für die praktische Anwendung wurde ein softwarebasierter, polyphoner Musik-Synthesizer entwickelt, der auf einem PC oder tragbaren Gerät betrieben werden kann. Die Ansteuerung erfolgt mittels MIDI²-Protokoll (Musical Instrument Digital Interface).

Je angeschlagener Note erklingen einzeln dedizierte, parametrisierte (Sinus-) Generatoren, die abschließend zusammengemischt werden. Töne sind live (per Keyboard) oder durch Wiedergabe vorab aufgezeichneter Sequenzen (Standard-MIDI-Files) einspielbar. Die Parameter zur Tongenerierung können in Echtzeit verändert werden.

Im Live-Betrieb kann der Pianist seine auf dem Keyboard produzierte Musik in der ursprünglichen Stimmung über Kopfhörer hören, während der Patient die für sein Gehör und vor allem für seinen Tinnitus angegliche (transponierte) Töne hört.

Bei dem Patienten wird vorab durch subjektiven Abgleich die individuelle Tinnitusfrequenz bestimmt. Dieser subjektive Abgleich kann durch Nutzung mathematischer Verfahren verbessert werden. Der Grundton ist auch während des Musikabhörens in unterschiedlich feinen Intervallen (Oktave, Halbton oder 1 Cent) anpassbar (korrigierbar), bis die bestmögliche Harmonisierung erreicht ist.

² MIDI Manufacturers Association: „The Complete MIDI 1.0 Detailed Specification“, 1996, 3rd Edition

Bei Patienten mit einer sehr hohen (tiefen) Tinnitusfrequenz ist durch zusätzliche Abwärts- (Aufwärts-) Transposition um eine oder mehrere Oktaven dennoch eine Harmonisierung zu erreichen.

Wir einigten uns für das Live-Einspielen auf Musik-Fragmente der Komponisten Rojahn, Spindler, Türk und Corelli. Alle Patienten bekamen die gleiche Abfolge von Musikstücken zu hören. Natürlich wäre für zukünftige Betrachtungen auch der Vergleich mit anderen Musik-Genres interessant.

Schwerhörigkeiten werden getrennt für den rechten und linken Kanal nach dem Tonaudiogramm ausgeglichen.

Bei der Bestimmung der subjektiven Tinnitusintensität entschieden wir uns für die VAS-Skalierung (Visuelle Analog-Skala, quantifiziert von 0 bis 10). Um einen Soforteffekt nachweisen zu können, wurde zu drei Zeitpunkten gemessen, unmittelbar vor der Musikanwendung als Ausgangssituation, etwa in der Mitte während der Musikanwendung und 15 Minuten nach erfolgter Musikanwendung.

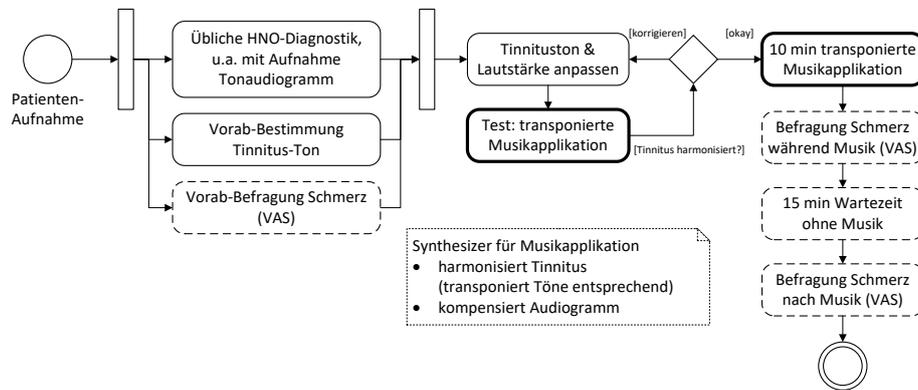


Abbildung 2. Ablaufplan zum Verfahren (Musik-Applikation und Evaluation)

3 Statistik

Zur Beschreibung der Patienten werden absolute und relative Häufigkeiten, Mittelwerte und Standardabweichungen sowie Minima und Maxima für kontinuierlich gemessene Größen angegeben. Die tabellarischen Angaben werden durch die Darstellung der individuellen Verläufe und einen zusammenfassenden Boxplot ergänzt. Eine erste orientierende Untersuchung auf eine mögliche Wirksamkeit wurde auf die Analyse der VAS-Werte beschränkt. Die Angaben zu diesen Werten waren vollständig, lagen also für alle Patienten zu allen drei Messzeitpunkten vor. Als statistisches Modell wurde ein Mittelwertmodell für wiederholte Messungen verwendet. Die Kovarianzstruktur wurde mit einer Compound-Symmetrie hinreichend gut modelliert und die Modellfehler wurden als normalverteilt angenommen. Angaben zu sich ergebenden Mittelwerten und Effekten wurden durch 95% Konfidenzintervalle vervollständigt. Die Adjustierung der

p-Werte bzw. der Konfidenzintervalle erfolgte nach dem Verfahren von Šidak. Zur Auswertung wurde das Programmpaket SPSS³ verwendet.

4 Material und Ergebnisse

In der HNO-Praxis konnten aus dem Patientengut mit chronisch-dekompensiertem Tinnitus, der jeweils ausdiagnostiziert und -therapiert war, 32 Patienten mit rein monotonal empfundenem Tinnitus für eine prospektive Untersuchung mit orientierendem Charakter gewonnen werden.

Unter den 32 Patienten im Alter von 38 bis 71 Jahren (mittleres Alter: 57,7 Jahre; SD=7,7) waren 19 Männer und 13 Frauen. Die angegebenen Tinnitusfrequenzen lagen zwischen minimal 65 und maximal 15.000 Hz (Median: 4.878 und Interquartilabstand IQR=6.366).

Der monotone Tinnitus war einseitig oder beidseitig – dann aber bei gleicher Frequenz.

Den geeigneten Patienten wurde die Anwendung mit der modifizierten Musik angeboten. Nach umfassender Aufklärung über Vorgehensweise und Ablauf wurden die Patienten angehalten, mittels einer visuellen Analogskala zu drei vorgegebenen Zeitpunkten ihr Tinnitusempfinden, bezüglich Intensität, einzuschätzen: unmittelbar vor Anwendung, während und 15 Minuten nach der Anwendung

Tabelle 1. Zusammenfassende Darstellung von Alter, Tinnitusintensität nach VAS und Tinnitusfrequenz (SD – Standardabweichung, min – minimaler Wert, max – maximaler Wert)

Messgröße	N	Mittelwert	SD	min	max
Alter [Jahr]	32	57,7	7,7	38	71
VAS vor der Sitzung	32	5,3	2,0	1	10
VAS während der Sitzung	32	1,6	1,7	0	7
VAS 10–15 min nach Sitzung	32	3,7	2,4	0	8

Tabelle 2. Vorab bestimmte Tinnitusfrequenzen (IRQ – Interquartilabstand)

Messgröße	N	1. Quartil	Median	3. Quartil	IQR	min	max
Tinnitusfrequenz [Hz]	32	2.316	4.878	8.682	6.366	65	15.000

Die Abbildung 3 verdeutlicht überzeugend die Einzelverläufe der jeweiligen VAS-Angaben aller Patienten vor, während und 15 Min. nach Anwendung der transponierten Musik.

³ IBM Corp. Released 2013. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 22.0. Armonk, NY

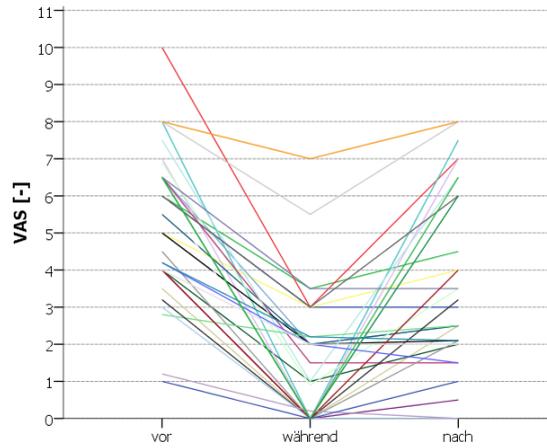


Abbildung 3. Einzelverläufe der VAS-Angaben für alle 32 Patienten – vor, während und nach der Applikation der modifizierten (transponierten) Musik

Tabelle 3. Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle der mittels VAS bestimmten Tinnitusintensität

<i>Zeit</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>95%-CI</i>
<i>vor</i>	5,3	(4,6; 6,1)
<i>während</i>	1,6	(0,9; 2,2)
<i>nach</i>	3,7	(2,8; 4,6)

In der Tabelle 3 sind die berechneten Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle der nach VAS angegebenen Tinnitusintensität aufgeführt.

Die Darstellung (Abbildung 4) der VAS-Werte als Boxplot spiegelt die Ergebnisse sehr deutlich wider.

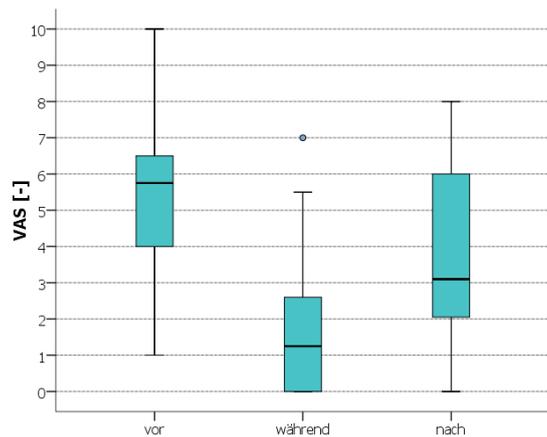


Abbildung 4. VAS-Werte-Darstellung als Boxplot zeigt den Kurzzeit-Effekt deutlich

Tabelle 4. Veränderung der VAS-Werte, die zugehörigen 95% Konfidenzintervalle und p-Werte. Sowohl die Konfidenzintervalle als auch die p-Werte wurden für die multiple statistische Fragestellung adjustiert.

<i>Zeit</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>95%-CI</i>	<i>p-Wert</i>
<i>während zu vor</i>	-3,8	(-4,7; -2,9)	< 0,001
<i>nach zu vor</i>	-1,6	(-2,3; -1,0)	< 0,001
<i>nach zu während</i>	2,1	(1,1; 3,2)	< 0,001

Der mittlere VAS-Wert fällt während der Musikanwendung von 5,3 Einheiten auf 1,6 Einheiten um 3,8 Einheiten signifikant ab, um 15 Minuten nach der Applikation um 2,1 Einheiten auf 3,7 Einheiten statistisch signifikant anzusteigen. Der mittlere VAS liegt 15 Minuten nach der Anwendung aber immer noch 1,6 Einheiten statistisch signifikant unter dem mittleren Ausgangswert (alle $p < 0,001$).

5 Diskussion und Schlussfolgerungen

In unseren Vorfeld-Überlegungen haben wir einen Sofort-Effekt mittels Harmonisierung vermutet bzw. hatten diesen theoretisch für uns postuliert. Dass dieser Effekt derart deutlich wurde, hatten wir nicht erwartet. Wir sind uns aber auch der Einschränkung bzw. bedingten Aussagekraft dieser ersten (kleinen) Untersuchungsserie bewusst.

Selbst bei Einwänden gegen die Nutzung von VAS zur Beurteilung der Tinnitus-Intensität reduziert sich diese unter der Musikanwendung zweifelsfrei deutlich. Besonders eindrucksvoll ist tatsächlich, dass von 32 Patienten 13 den Tinnitus temporär (während der Musikwiedergabe) nicht mehr vernommen haben. Generell wurde die transponierte Musik von den Patienten als entspannend und beruhigend empfunden. Die Patienten hatten von uns eine CD mit ihrer speziell angepassten Musik zur „Hausanwendung“ erhalten. Auch die Rückmeldungen dieser Anwendungen sind äußerst positiv. (Eine weitere statistische Aufarbeitung ist vorgesehen.)

Es deutet alles darauf hin – bei aller Vorsicht der Aussage und bei Betrachtung lediglich des monotonalen Tinnitus, dass die Anwendung transponierter Musik beim chronisch-dekompensierten Tinnitus assistierend hilfreich sein könnte.

6 Zusammenfassung

Die Therapie des chronisch-dekompensierten Tinnitus ist weiterhin nicht zufriedenstellend. Insofern sind Bemühungen legitim, etablierte Verfahren positiv zu modifizieren. Wir sind von Smetanas Intuition ausgegangen, der seine Tinnituserkrankung mit einer eigenen Komposition widerspiegelte und sicherlich diesen auch vor seiner Ertaubung musikalisch zu harmonisieren versuchte. Diese Idee sollte generalisiert einsetzbar gemacht werden. Hierzu wurde ein Programm entwickelt, mit dem es möglich ist, den besonders qualvollen monotonalen Tinnitus mittels individuell angepasster (transponierter) Musik temporär zu lindern.

In einer prospektiven Untersuchungsserie mit 32 Patienten, die an einem monotonalen, chronisch-dekompensierten Tinnitus litten, wurde die Tinnitusintensität während der Anwendung transponierter Musik tatsächlich als deutlich reduziert angegeben. Möglicherweise öffnet sich ein zusätzliches Tor im Rahmen von Musikanwendung, um Tinnitus zu lindern.

Danksagung

Diese Arbeit wurde gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages (Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand, AiF Projekt GmbH, ZIM FKZ: KF2039103AJ2, KF2039106AJ4, KF2077605AJ2, KF2077608AJ4, KF3017001AJ2, KF3017004AJ4, KF3431501AJ4, KF2907802AJ2).

Herrn Dipl. Chem. Reinhard Sturm, Innotec-GmbH Leipzig, sind wir zu außerordentlichem Dank verpflichtet. Herr R. Sturm hat bei Formung der interdisziplinären Arbeitsgruppe, Vorbereitung und organisatorischen Leitung des Projektes entscheidend gewirkt. Vor allem seiner klugen und diplomatischen Führung ist das Gelingen des Vorhabens zu verdanken.

Literatur

1. Goebel, G., Hesse, G. & Mazurek, B.: „Tinnitustherapie: Ein Königsweg existiert nicht.“, HNO-Nachrichten 2016, 46 (6) S. 34 – 38
2. Hesse, G.: „Tinnitus“, G. Thieme Verlag, 2008
3. Feldmann, H.: „Tinnitus – Grundlagen einer rationalen Diagnostik und Therapie“, G. Thieme Verlag, 1998
4. M. Lippmann et al., "Signal processing and system design for tinnitus treatment," 2016 IEEE Sixth International Conference on Communications and Electronics (ICCE), Ha Long, 2016
5. Schröder, E.: „Mathematik im Reich der Töne“. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1982