

Implikationen verschiedener Aufnahmetechnologien zur Untersuchung von Umgebungsgeräuschen

André Fiebig¹, Ming Yang²

¹ Technische Universität Berlin, Institut für Strömungsmechanik und Technische Akustik, Einsteinufer 25, 10587 Berlin, E-Mail: Andre.Fiebig@tu-berlin.de

² HEAD Genuit Stiftung, Ebertstr. 30a, 52134 Herzogenrath-Kohlscheid

Einleitung

Die Auswirkungen von Umgebungslärm auf die menschliche Gesundheit und auf das Wohlbefinden sind unbestritten, aber in ihrer Komplexität nicht vollständig verstanden. Zur tiefergehenden Untersuchung wird zunehmend der Ansatz Soundscape mit dem Ziel eingesetzt, die menschliche Wahrnehmung einer akustischen Umgebung detailliert zu erfassen. Das Konzept Soundscape wird vor allem herangezogen, um wesentliche situative Faktoren zu erkennen, denn schon seit längerer Zeit wurde das Potential des Soundscape-Ansatzes zur holistischen Betrachtung von Umweltgeräuschen erkannt und die Relevanz für die Bewertung der Belästigung durch Lärm im kommunalen Bereich thematisiert [1].

Die aktuelle ISO/TS 12913-2 [2], die als Technische Spezifikation 2018 erschienen ist, sieht im Bereich Soundscape zur Messung von akustischen Umgebungen den Einsatz binauraler Messtechnik vor. Hierbei ist die Anforderung, das Umgebungsgeräusch derart aufzuzeichnen, dass es dem Höreindruck einer Person in der originalen Situation entspreche sowie eine gehörrichtige Reproduktion des Umgebungsgeräusches erlaube.

Binaurale Aufnahmen, im Gegensatz zu einer Aufnahme mittels einem einfachen Messmikrofon, erhalten sämtliche räumliche Informationen aller verteilten Geräuschquellen und erlauben eine gehörrichtige Wiedergabe der akustischen Umgebung für weitergehende Untersuchungen. Im Folgenden werden die Implikationen unterschiedlicher Aufnahmetechnologien zur Untersuchung von Umgebungsgeräuschen aus der Perspektive des Konzeptes „Soundscape“ diskutiert und spezifische Auswirkungen auf Geräuschbewertungen in Abhängigkeit der Aufnahmetechnologie beleuchtet. Dafür wurden in Hörversuchen unter kontrollierten Bedingungen Umgebungsgeräusche dargeboten, die die Versuchsteilnehmer gemäß verschiedener Kriterien bewerteten. Hierbei wurde vor allem der Einfluss der räumlichen Hörwahrnehmung auf typische Kriterien der Umweltgeräuschbewertung exploriert.

Stand der aktuellen Standardisierung im Bereich Soundscape

Der Ansatz Soundscape wird zunehmend zur Untersuchung von Wirkungen von Geräuschen auf den Menschen in Außenräumen genutzt. Dabei ist die wesentliche Forderung, die menschliche Wahrnehmung einer akustischen Umgebung kontextsensitiv zu erfassen. Ein Soundscape existiere erst durch die menschliche Wahrnehmung einer akustischen Umgebung gemäß der DIN ISO 12913-1 [3], siehe Abbildung 1. Daher sind die drei wesentlichen Aspekte

des Konzeptes Soundscape - die wahrnehmenden Menschen, die akustische Umgebung und der Kontext - vollständig zu beachten.

Wenn es um die Charakterisierung einer akustischen Umgebung geht, wird in der ISO/TS 12913-2 [2] definiert, dass diese „real, aufgenommen oder virtuell“ sein kann. Eine aufgenommene oder virtuelle akustische Umgebung wird dabei in der Regel nicht unmittelbar in-situ in einem Außenbereich sondern in einem Laborkontext bewertet. Zur Frage der Aufzeichnung, Dokumentation, Reproduktion und Archivierung einer akustischen Umgebung heißt es in der ISO/TS 12913-2 weiter, dass zur Messung von akustischen Umgebungen der Einsatz binauraler Messtechnik vorzusehen sei. Grundsätzlich müsse die akustische Messung die Art und Weise berücksichtigen, in der Menschen die untersuchte akustische Umgebung wahrnehmen. Binaurale Aufnahmen erhalten räumliche Informationen verteilter Geräuschquellen bzw. Schallereignisse und erlauben somit eine gehörrichtige Wiedergabe der akustischen Umgebung.

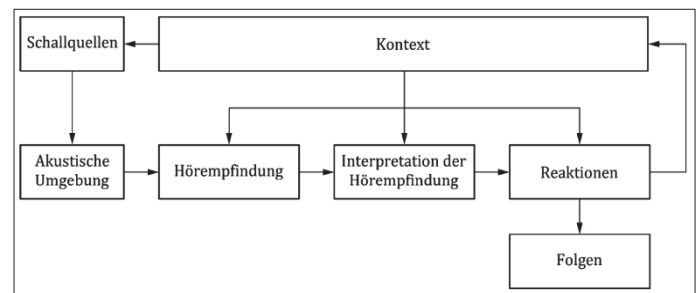


Abbildung 1: Elemente des Wahrnehmungskonstrukts Soundscape nach DIN ISO 12913-1 [3]

Dabei werden in der ISO/TS 12913-2 im Anhang D verschiedene Anforderungen an die binaurale Messung, beispielsweise bezüglich der Messposition, Messdauer, Abstand zu reflektierenden Strukturen und Dokumentation der Messungen formuliert. Wesentlich sei dabei, dass die gewählte Messposition stets eine erwartete typische Hörerposition darstelle, wodurch sich die Orientierung des Messsystems zu den wesentlichen Schallquellen in einer akustischen Umgebung ableiten ließe.

Da verschiedene weitere Aufnahmetechnologien ebenfalls die räumlichen Informationen einer akustischen Umgebung erhalten können und für Laboruntersuchungen eine hohe Immersionsgüte und Natürlichkeit erlauben und häufig im Bereich Soundscape Anwendung finden [4], thematisiert die ISO/TS 12913-2 ebenfalls derartige Mehrkanalaufnahme- und Wiedergabetechnologien. Es heißt, dass die Vorteile zum Beispiel vom Verfahren Ambisonics bezüglich Immersion allgemein anerkannt sind, aber aufgrund fehlender

Standardisierung derartiger Technologien aktuell die etablierte Binauralmesstechnik zur Dokumentation, Analyse und Wiedergabe von Umgebungsgeräuschen vorzuziehen sei. Ähnlich schlussfolgert Hong et al. [5], dass Ambisonics Vorteile bezüglich interaktiver Reproduktion bietet, aber bislang eine internationale Standardisierung entbehre, wohingegen die binaurale Messtechnik aufgrund ihrer einfachen Anwendung und guter räumlicher Abbildung oft in Soundscape-Studien Anwendung findet.

Grundsätzlich ist zu beobachten, dass Studien zur Untersuchung der komplexen Wirkungen von akustischen Umgebungen auf den Menschen teilweise nur mit monauralen Signalen in Hörexperimenten operieren. Daher wurde die Frage näher untersucht, inwiefern für Laboruntersuchungen wesentliche Unterschiede für relevante Soundscape-Bewertungskriterien zwischen binauralen Aufzeichnungen im Vergleich zu monauralen Aufnahmen der identischen Umgebung auftreten und die normative Forderung der ISO/TS 12913-2 nach Verwendung von Binauralmesstechnik gerechtfertigt ist. Diese Fragestellung wurde mittels eines Hörexperimentes untersucht.

Experiment zum Vergleich der Bewertungen von monauralen und binauralen Aufnahmen

Hintergrund des Experiments

Mittels eines Laborexperimentes mit wiederholten Messungen an denselben Untersuchungseinheiten (within-subject) und einer Instruktion mit unvollständiger Information wurde untersucht, ob binaurale Daten im Vergleich zu Messmikrofonaufnahmen der identischen Messorte beim Abhören mit Kopfhörern zu unterschiedlichen Bewertungen bezüglich relevanter Kategorien aus dem Bereich Soundscape gemäß der ISO/TS 12913-2 führen. Die ISO/TS 12913-2 sieht eine Untersuchung und Wiedergabe in Laborexperimenten von monauralen Aufnahmen grundsätzlich nicht vor.

Versuchsteilnehmer

Es nahmen insgesamt 10 Versuchspersonen am Hörversuch teil (2 weiblich, 8 männlich). Das Durchschnittsalter betrug 26.5 Jahre bei einer Standardabweichung von 3.4. Nach Selbstauskunft wiesen alle Versuchspersonen ein normales, unbeeinträchtigt Hörvermögen auf.

Stimuli

Es wurden diverse Umgebungsgeräusche monaural (M360, Microtech Gefell) und binaural (SQobold und BHS II, HEAD acoustics) zeitsynchron aufgezeichnet (Berlin, Düsseldorf, Osaka, London, Sheffield). Zur prinzipiellen Untersuchung möglicher Bewertungsschiede zwischen monauralen und binauralen Aufnahmen wurde ein kalibriertes binaurales Headset verwendet. Es ist an dieser Stelle anzumerken, dass die ISO/TS 12913-2 grundsätzlich jedoch die Anwendung eines Kunstkopfmesssystems vorsieht.

Insgesamt wurden aus einer großen Menge an Aufzeichnungen 8 Umgebungsgeräusche, die monaural und binaural zeitgleich an verschiedenen Orten aufgezeichnet wurden, ausgewählt. Die zeitliche Dauer der Versuchstimuli betrug jeweils 30 s (s. Abb.2).

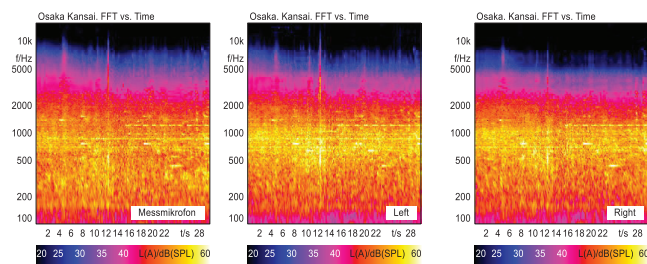


Abbildung 2: Umgebungsgeräusch Osaka Kansai (links: Messmikrofonaufnahme, rechts: binaurale Messung (linkes und rechtes Ohrsignal)). FFT über Zeit

Die jeweiligen zusammengehörenden Signale eines Ortes, wie exemplarisch in Abbildung 2 gezeigt, wiesen aufgrund der anzuwendenden Aufnahmeentzerrung nur kleinere Unterschiede bezüglich des Schalldruckpegels und der Lautheit auf. Beispielsweise wurde ein L_{Aeq} von 68.7 dB(A) und eine Lautheit N_5 von 27.0 sone für das monaurale Signal „Osaka Kansai“ bestimmt und für die binaurale Messung L_{Aeq} -Werte von 69.8 dB(A) und 69.2 dB(A) bei einer Lautheit N_5 von 27.0 sone und 26.0 sone nach ISO 532-1[5] bestimmt.

Apparat

In dem Laborexperiment wurden verschiedene Geräusche mittels programmierbarer Equalizer (labP2) und entzerrten Kopfhörern (HD 650) wiedergegeben. Die kontrollierte Versuchssteuerung wurde durch eine Software (SQala) vorgenommen.

Prozedur

Die Versuchsteilnehmer erhielten lediglich die Information, dass in dem vorliegenden Experiment allgemein die Wahrnehmung von Umgebungsgeräuschen untersucht wird. Nach einer kurzen Trainingssequenz, in der sich die Versuchspersonen mit den Bewertungsskalen und einigen Signalen vertraut machen konnten, folgte der Hörversuch.

In den folgenden Versuchsblöcken wurden monaurale und binaurale Signale randomisiert wiedergegeben, wobei innerhalb eines Blockes derselbe Messort nicht zweimal präsentiert wurde. Die Stimuli wurden gemäß der Methode A aus der ISO/TS 12913-2 auf 5-stufigen Kategorienskalen bezüglich des Grades der Zustimmung (*strongly agree* - *strongly disagree*) für jeweils 8 Attribute bewertet (*pleasant*, *chaotic*, *vibrant*, *uneventful*, *calm*, *annoying*, *eventful*, *monotonous*), siehe Abb. 3.

Abbildung 3: Im Hörversuch genutzte Benutzeroberfläche mit multiplen Kategorienskalen zur Bewertung von Umgebungsgeräuschen gemäß der ISO/TS 12913-2

Aufgrund der bisherigen fehlenden standardisierten Übersetzung der in der ISO/TS 12913-2 vorgeschlagenen Attri-

bute wurden im Hörversuch die englischen Begriffe genutzt. Im zweiten Teil des Experiments wurde eine 11-stufige Kategorienskala zur Bewertung der Angenehmheit (*pleasantness*) verwendet, bei der in Analogie zur ISO/TS 15666 [6] neben der numerischen Beschriftung der Kategorien die Deskriptoren „not at all“ und „extremely“ für die Extrema der Skala verwendet wurden. Abschließend füllten die Versuchspersonen einen Fragebogen aus. Der Hörversuch dauerte ca. 40 Minuten und alle Daten wurden anonymisiert verarbeitet.

Ergebnisse

Die Versuchsteilnehmer bewerteten mittels der 5-stufigen Kategorienskalen die Attribute *pleasant* ($F_{(1,144)}=10.4$, $p<0.01$) und *annoying* ($F_{(1,144)}=7.7$, $p<0.01$) monaural und binaural statistisch signifikant unterschiedlich (s. Abb. 4). Mittels der 11-stufigen Skala zur Angenehmheit verschiedener Umgebungsgeräusche konnte ebenfalls ein statistisch signifikanter Unterschied ($F_{(1,90)}=5.3$, $p<0.05$) beobachtet werden. Für alle betrachteten Vergleiche konnten mit dem vorliegenden Hörversuch und der damit verbundenen Datenbasis keine bedeutenden Interaktionseffekte ermittelt werden.

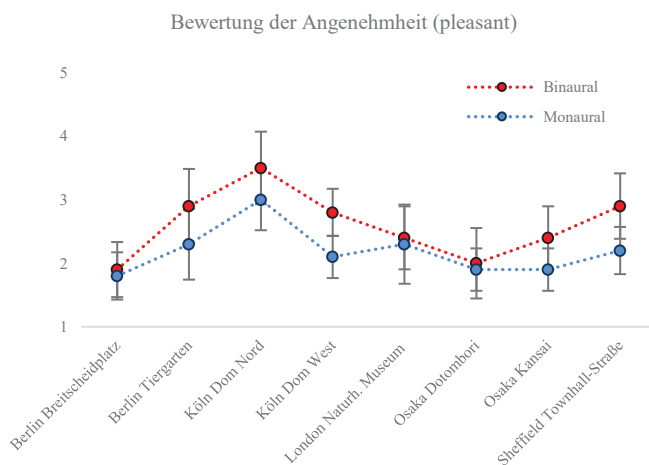


Abbildung 4: Vergleich der Bewertungen (arithmetische Mittelwerte und Konfidenzintervalle 95%) von verschiedenen monaural und binaural aufgezeichneten Umgebungsgeräuschen (blau: monaural, rot: binaural)

Insgesamt zeigte sich trotz vergleichbarer Schalldruckpegel, dass die binauralen Aufnahmen systematisch angenehmer (*pleasant*) und weniger störend (*annoying*) beurteilt wurden. Dabei wiesen 8 von 10 Versuchspersonen in der nachfolgenden Befragung darauf hin, nicht die manipulierte Variable (monaural vs. binaural) im Hörversuch (bewusst) bemerkt zu haben. Dadurch erscheint die Auswirkung von potentiellen Aufforderungsmerkmalen (*demand characteristics*) eher wenig bedeutend. Ferner gaben mehrere Versuchsteilnehmer an, dass das Attribut *vibrant* zur Bewertung der Geräusche in dem vorliegenden Laborexperiment „wenig“ geeignet sei.

Zusammenfassung

Nach der ISO/TS 12913-2 ist die Anwendung binauraler Messtechnik zur Aufzeichnung, Dokumentation und Reproduktion von akustischen Umgebungen normativ. Obwohl

auch andere Technologien eine hohe Abbildungsgüte und Immersion bei der Reproduktion von Umweltgeräuschen ermöglichen, sieht die aktuelle ISO/TS 12913-2 bisher nur die Binauralmesstechnik aufgrund der vorhandenen Standardisierung und Etablierung dieser Technologie vor. Die Möglichkeit der Anwendung von Mehrkanalverfahren zur optimalen räumlichen Wiedergabe beispielsweise mittels größerer Lautsprecheranordnungen wird in einem Kommentar in der ISO/TS 12913-2 erörtert.

Aktuell ist zu beobachten, dass in einigen Veröffentlichungen, die Untersuchungen mittels Soundscape-Konzept durchführen, ausschließlich monaurale Daten wiedergegeben und bewertet werden. Dies ist nicht mit der ISO/TS 12913-2 konform.

Der vorliegende Hörversuch zeigte, dass gehörrichtige Aufzeichnungen im Vergleich zu monauralen Messungen derselben akustischen Umgebung zu signifikant anderen Bewertungen führen können, wenn man die in der ISO/TS 12913-2 vorgeschlagenen Kriterien zur Bewertung von akustischen Umgebungen mittels des Ansatzes Soundscape betrachtet. D.h. erwartungsgemäß führte eine gehörrichtige Wiedergabe von Umgebungsgeräuschen zu überzufällig veränderten Urteilen bezüglich maßgeblicher Soundscape-Attribute im Vergleich zu einer monauralen Darbietung.

Interessant erscheint, dass die in der ISO/TS 12913-2 vorgeschlagenen Bewertungskriterien bislang nicht unmittelbar auf räumliche Aspekte der Hörwahrnehmung in einer akustischen Umgebung abzielen.

Danksagung

Die Hörversuche wurden im Hörstudio der HEAD acoustics GmbH durchgeführt.

Literatur

- [1] Lercher, P., Schulte-Fortkamp, B.: Die Relevanz der Soundscape Forschung für die Bewertung von Lärmbelastigung im kommunalen Bereich, Zeitschrift für Lärmbekämpfung 6, Springer Verlag (2003)
- [2] ISO 12913-2:2018. Acoustics. Soundscape, Part 2: Data collection and reporting requirements, International Standardization Organization, Genf (2018)
- [3] DIN ISO 12913-1:2018: Akustik - Soundscape - Teil 1: Definition und Rahmenkonzept, Beuth Verlag (2018)
- [4] Małeckı, P., Ozga, A., Piechowicz, J.: Soundscape analysis based on ambisonic recordings executed in a primeval forest, ICA 2016, Buenos Aires (2016)
- [5] Hong, J.Y., He, J., Lam, B., Gupta, R., Gan, W.S.: Spatial Audio for Soundscape Design: Recording and Reproduction, Applied Sciences, June 2017 (2017)
- [6] ISO 532-1:2017: Acoustics. Methods for calculating loudness. Part 1: Zwicker method, International Standardization Organization, Genf (2017)
- [7] ISO/TS 15666:2003: Acoustics. Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys, International Standardization Organization, Genf (2003)