

Untersuchung des Einflusses der Störgeräusrichtung auf das Sprachverstehen mit Richtmikrofonsystem

Exploration of the influence of noise direction on speech recognition with a directional microphone system

Abstract

Within the scope of the hearing aid fitting, measurements of speech recognition in noise are carried out to validate the success of the fitting. The guideline for hearing-aid provision in Germany specifies the minimum improvement to be achieved, but not the spatial measurement condition of speech and noise signals. To estimate the influence of the spatial conditions, speech recognition was examined in its dependence on different noise directions and the respective improvement in signal-to-noise ratio (SNR) when using a typical directional microphone in hearing aids. Therefore, a virtual acoustic environment was created using the “Toolbox for Acoustic Scene Creation and Rendering” (TASCAR). In combination with Head-Related Transfer Functions and the Master Hearing Aid (MHA), a listening situation, as realistic as possible, was simulated via headphones. The measurements were performed by young participants with normal hearing. The MHA included only a directional microphone implementation. The noise was presented from the directions 0° , 90° , 180° , the direction $\pm 45^\circ$ as specified in DIN EN ISO 8253-3, $\pm 135^\circ$, and from all directions simultaneously (diffuse). The speech signal was always presented from the frontal direction. The Oldenburg sentence test (OLSA) and the Freiburg monosyllabic speech test (FBE) were used. For OLSA, speech recognition thresholds for scores of 50% (SRT_{50}) were measured for each condition (six noise directions, each with and without MHA). For FBE, speech recognition was determined as a percentage score at different fixed SNR for each condition (five noise directions, without $\pm 45^\circ$). For OLSA, the SNR improvement due to the directional microphone was also calculated. The results showed that, regardless of the use of the directional microphone, the noise direction had an influence on speech recognition. The perceptual improvements in speech recognition were consistent with the directional SNR improvements measured by the directional microphone system. Based on these results with young participants without hearing impairment, further studies with participants with hearing impairment should follow to discuss the missing standardization of speech and noise direction in the guideline for hearing-aid provision in Germany.

Keywords: German guidelines for hearing-aid provision, noise direction, Freiburg monosyllabic speech test, Oldenburg sentence test, toolbox for acoustic scene creation and rendering, master hearing aid, directional microphone

Zusammenfassung

Im Rahmen der Hörgeräteversorgung werden zur Erfolgskontrolle Messungen des Sprachverstehens im Störgeräusch durchgeführt. In der Hilfsmittel-Richtlinie ist die minimal zu erreichende Verbesserung, aber nicht die räumliche Messanordnung der Sprach- und Störgeräuschsignale vorgegeben. Um den Einfluss der räumlichen Anordnung abschätzen zu können, wurde die Abhängigkeit des Sprachverstehens

Maximilian Kerner¹
Alexandra Winkler¹
Inga Holube¹

¹ Institut für Hörtechnik und
Audiologie, Jade Hochschule
und Exzellenzcluster
„Hearing4All“, Oldenburg,
Deutschland

von verschiedenen Störgeräuschrichtungen und die jeweilige Verbesserung des Signal-Rausch-Abstands (SNR) durch ein typischerweise in Hörgeräten verwendetes Richtmikrofon untersucht. Hierfür wurde eine virtuelle akustische Umgebung mit der „Toolbox for Acoustic Scene Creation and Rendering“ (TASCAR) erstellt. In der Kombination mit Außenohr-Übertragungsfunktionen und dem Master Hearing Aid (MHA) wurde eine möglichst realitätsnahe Hörsituation über Kopfhörer simuliert. Die Messungen wurden mit jungen Probanden ohne Hörbeeinträchtigung durchgeführt, so dass das MHA für die Messungen nur eine Richtmikrofonimplementierung beinhaltete. Das Störgeräusch wurde aus den in der Praxis häufig verwendeten Richtungen 0° , 90° , 180° , aus der in DIN EN ISO 8253-3 spezifizierten Richtung $\pm 45^\circ$, aus $\pm 135^\circ$ und aus allen Richtungen gleichzeitig (diffus) präsentiert. Als Sprachtests wurden der Oldenburger Satztest (OLSA) und der Freiburger Einsilbertest (FBE) verwendet, wobei das Sprachsignal immer frontal dargeboten wurde. Für den OLSA wurde für jede Kondition (sechs Störgeräuschrichtungen jeweils mit und ohne Richtmikrofonsystem) die Schwelle ermittelt, bei der die Probanden ein Sprachverstehen von 50% erreichten (SRT_{50}). Beim FBE wurde für jede Kondition (fünf Störgeräuschrichtungen da ohne $\pm 45^\circ$) das prozentuale Sprachverstehen bei einem festen SNR ermittelt. Für den OLSA wurde außerdem die SNR-Verbesserung durch das Richtmikrofonsystem berechnet. Die Ergebnisse zeigen sowohl mit als auch ohne Richtmikrofonsystem einen Einfluss der Störgeräuschrichtung auf das Sprachverstehen. Die perzeptiven Verbesserungen im Sprachverstehen stimmten mit den richtungsabhängigen gemessenen SNR-Verbesserungen durch das Richtmikrofonsystem überein. Aufgrund dieser Ergebnisse mit jungen Probanden ohne Hörbeeinträchtigung sollten weitere Studien mit Probanden mit Hörbeeinträchtigung folgen, um die fehlende einheitliche Angabe der Sprach- und Störgeräuschrichtung in der Hilfsmittel-Richtlinie zu diskutieren.

Schlüsselwörter: Hilfsmittel-Richtlinie, Störgeräuschrichtung, Freiburger Einsilbertest, Oldenburger Satztest, Toolbox for Acoustic Scene Creation and Rendering, Master Hearing Aid, Richtmikrofon

Einleitung

Die Hilfsmittel-Richtlinie [1] legt in Deutschland die Messbedingungen für die Erfolgskontrolle einer Hörhilferversorgung fest. Diese schreibt neben einer Mindestverbesserung des Sprachverstehens mit Hörgeräten in Ruhe ebenso eine Mindestverbesserung im Störschall vor. Zwei der Sprachtests, die hierfür genutzt werden können, sind der Freiburger Einsilbertest (FBE) nach Hahlbrock [2] und der Oldenburger Satztest (OLSA) nach Wagener et al. [3], [4], [5]. Mit der fehlenden Angabe des zu verwendenden Störgeräusches für die Messung mit dem FBE setzten sich Winkler und Holube [6] auseinander. Sie untersuchten den Einfluss von unterschiedlichen Störgeräuschen auf das Sprachverstehen von Einsilbern. Die Autoren empfahlen, die Hilfsmittel-Richtlinie [1] bezüglich des Störgeräusches genauer zu formulieren oder mindestens die Angabe des verwendeten Störgeräusches zu fordern. Die Hilfsmittel-Richtlinie [1] enthält darüber hinaus keine Angabe über die räumliche Messanordnung der Sprach- und Störgeräuschsignale.

Bronkhorst und Plomp [7] zeigten bereits die Effekte von sprachsimulierenden Störgeräuschen auf das binaurale Sprachverstehen in unterschiedlichen räumlichen Konditionen. Das Sprachsignal kam immer frontal von vorn (0°) und das Störgeräusch variierte in den Positionen und in der Anzahl der Störgeräuschquellen. Die Stimuli bestanden aus richtungsabhängigen Aufnahmen mit dem Knowles Electronics Manikin for Acoustic Research (KEMAR) in einem reflexionsarmen Raum und wurden den Normalhörenden (NH) und den Probanden mit Hörbeeinträchtigung (SH) über Kopfhörer dargeboten. Die Studie ermittelte Veränderungen in der Schwelle für 50%iges Sprachverstehen (*engl.*: speech recognition threshold, SRT_{50}) von im Mittel 8,0 dB für NH und 6,5 dB für SH, wenn sich die Richtung des Störgeräusches bei der Verwendung von einem Maskierer von der frontalen Darbietung unterschied.

Dies war nach Bronkhorst und Plomp [7] im binauralen „Release from Masking“ begründet; d.h. die interauralen Unterschiede der Sprache und der Störgeräusche waren verschieden und reduzierten damit die Maskierungswirkung. Die Veränderungen im Sprachverstehen durch verschiedene räumliche Richtungen reduzierten sich auf bis zu 1 dB bei Verwendung von mehreren Störgeräuschquellen.

Beutelmann und Brand [8] ermittelten mit dem OLSA SRT_{50} -Werte für verschiedene räumliche Stör-Nutzschallsituationen in drei unterschiedlichen Räumen (reflexionsarmer Raum, Büro und Cafeteria). Sie verglichen diese mit Modellergebnissen zur Sprachverständlichkeit. Ihr Modell beruhte auf dem „Equalization and Cancellation“- (EC)-Modell nach Durlach [9] und dem Speech Intelligibility Index (SII) nach ANSI S.3.5 [10]. Wie bei Bronkhorst und Plomp [7] wurden unterschiedliche räumliche Situationen simuliert, d.h. die Stimuli wurden mit Hilfe von Außenohr-Übertragungsfunktionen (*engl.*: Head Related Transfer Function, HRTF) für verschiedene Störgeräuschrichtungen und die genannten Räume über Kopfhörer

dargeboten. Während bei Bronkhorst und Plomp [7] eine Störgeräuschquelle bei 90° positioniert wurden, verwendeten Beutelmann und Brand [8] die Richtungen 0° , $+45^\circ$, -45° , 80° , -100° , 125° , -140° und 180° . Der OLSA wurde immer von 0° präsentiert. Neben der Bestätigung, dass ihr Modell individuelle SRT_{50} -Werte in Abhängigkeit vom Hörverlust für alle drei Räume vorhersagen konnte, zeigten die Ergebnisse einen deutlichen Einfluss der Störgeräuschrichtung auf den SRT_{50} . Das Maximum des „Release from Masking“ ergab sich mit ca. 12 dB für die Störgeräuschrichtung -100° und überstieg damit den von Bronkhorst und Plomp [7] beobachteten Effekt von 8 dB bei 90° . Der Einfluss der Störgeräuschrichtung auf das Sprachverstehen konnte somit bereits in der Literatur [7], [8] belegt werden. Keine dieser Publikationen verglich jedoch den Einfluss der Störgeräuschrichtung auf die Messergebnisse ohne und mit Hörgeräten, die vermutlich vor allem durch die verwendeten Richtmikrofonensysteme beeinflusst werden.

Der Nutzen von Richtmikrofonensystemen in Hörgeräten wurde in der Literatur bereits mehrfach dokumentiert. Valente et al. [11], Amlani [12] sowie Ricketts und Drittbener [13] zeigten z.B. die Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses (SNR) mit einer fixen Richtcharakteristik gegenüber konventionellen, omnidirektionalen Mikrofonen. Ricketts und Henry [14] berichteten von einer zusätzlichen Verbesserung des SNR mit einem adaptiven Richtmikrofon. Richtmikrofonensysteme zielen auf die Erhaltung eines Zielsignals, in der Regel Sprache, bei gleichzeitiger Unterdrückung von Störgeräuschen ab. Hierbei wird sich zunutze gemacht, dass Sprach- und Störgeräuschquellen meist aus unterschiedlichen räumlichen Richtungen stammen und somit der SNR erhöht wird. Mit adaptiven Richtmikrofonensystemen sind Hörsysteme in der Lage, die bestmögliche Richtcharakteristik für unterschiedliche räumliche Situationen auszuwählen. Somit ist auch davon auszugehen, dass Richtmikrofone einen großen Einfluss auf das Verstehen von Sprache im Störgeräusch aus verschiedenen Richtungen haben.

Diese Studie setzte sich daher das Ziel, den Einfluss verschiedener Störgeräuschrichtungen auf das Sprachverstehen ohne und mit Richtmikrofonensystem näher zu untersuchen. Um zunächst die Einflüsse von Hörbeeinträchtigungen und verschiedenen Implementierungen von Richtmikrofonensystemen in Hörgeräten auszuschließen, erfolgte die Untersuchung mit normalhörenden Probanden und einer Implementierung eines Richtmikrofonensystems im Master Hearing Aid (MHA).

Methoden

Probanden

An den Messungen nahmen zehn otologisch normale Probanden (5 w, 5 m) im Alter von 18 bis 25 Jahren (Median: 22 Jahre) teil. Die Normalhörigkeit war nach den Vorgaben der DIN EN ISO 8253-3 [15] mit einem maximal zu-

gelassenen Hörverlust von 10 dB HL und bei höchstens zwei Frequenzen maximal 15 dB HL gegeben. Die tonaudiometrischen Hörschwellen wurden mit dem Audiometer Siemens Unity 3 und dem Kopfhörer Sennheiser HDA 300 ermittelt. Alle Probanden erfüllten neben der Normalhörigkeit auch die weiteren Einschlusskriterien (keine Kenntnisse des FBE, keine Anzeichen oder Symptome einer Ohrenkrankheit und keine Aussetzung von übermäßigem Lärm in den vergangenen 24 Stunden). Weiterhin zeigten sie im Montreal-Cognitive-Assessment nach Nasreddine et al. [16] keine kognitiven Einschränkungen. Für die Teilnahme an der Studie erhielten alle Probanden eine Aufwandsentschädigung in Höhe von 10 € pro Stunde. Die Studie wurde von der Kommission für Forschungsfolgenabschätzung und Ethik der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg (Drs. 34/2017) genehmigt.

Forschungsplattform

Die Signaldarbietungen erfolgten mit der Forschungsplattform (siehe Abbildung 1), welche die Toolbox for Acoustic Scene Creation and Rendering (TASCAR) und das MHA beinhaltet. Mit TASCAR wurden virtuelle akustische Umgebungen simuliert. Für die möglichst realitätsnahe Simulation von verschiedenen Richtungen wurde die HRTF-Datenbank von Kayser et al. [17] verwendet. Die Datenbank beinhaltet richtungsabhängige HRTF-Aufnahmen mit einem Kunstkopf sowie richtungsabhängige HRTF-Aufnahmen mit einem Hinter-dem-Ohr-Geräte-Gehäuse für die versorgte Konfiguration. Die virtuellen akustischen Umgebungen enthielten keinen Einfluss der Raumakustik und die HRTF-Aufnahmen stammten aus einem reflexionsarmen Raum. Alle verwendeten Signale wurden jeweils mit der entsprechend richtungsabhängigen HRTF gefaltet. Die Ausgangssignale wurden für die Darbietung mit dem Kopfhörer Sennheiser HDA 200 frequenzspezifisch entzerrt. Hierfür wurde innerhalb der virtuellen akustischen Umgebung ein abgespieltes pegelkonstantes Kalibriersignal (Sinus-Sweep) mit einem omnidirektionalen Mikrofon an der Probandenposition aufgenommen und über den Kopfhörer ausgegeben. Die Kalibrierung erfolgte so, dass der Ausgangsschalldruckpegel des HDA 200, gemessen am Ohrsimulator nach IEC 60318-1 (Artificial Ear Type 4153, Brüel & Kjær, Naerum, Dänemark), über den gesamten Frequenzbereich konstant war. Bei der Kalibrierung des absoluten Pegels wurde unter Verwendung des OLnoise mit dem Ohrsimulator (GRAS RA0039 Ear Simulator, G.R.A.S. Sound & Vibration, Holte, Dänemark) auf beiden Kopfhörerseiten ein Schalldruckpegel von 80 dB SPL eingestellt, welcher dem Pegel am omnidirektionalen Mikrofon an der Probandenposition in der virtuellen akustischen Umgebung entsprach. Insgesamt muss zur verwendeten Entzerrung und Kalibrierung angemerkt werden, dass der Frequenzgang bei der Wiedergabe über den Kopfhörer HDA 200 nicht komplett dem des Freifelds entsprochen hat. Dies liegt zum einen daran, dass keine kopfhörerspezifischen Korrekturwerte (wie z.B. G_f - G_c entsprechend Tab. C.1 in ISO 389-8 [18]) berücksichtigt wurden. Bei der versorgten Konfiguration kommt zusätzlich

noch hinzu, dass die HRTFs der Hörgerätemikrofone auf das Freifeld und nicht auf den Schalldruckpegel vor dem Trommelfell bezogen wurden.

Da die Untersuchung mit normalhörenden Probanden durchgeführt wurde, beinhaltete das MHA lediglich ein adaptives Richtmikrofonsystem (Adaptive Directional Microphone, ADM nach [19]). Die Wahl des ADM stellt einen Kompromiss dar zwischen einer statischen Richtcharakteristik, die für alle räumlichen Konfigurationen das gleiche Polardiagramm verwendet, und modernen variablen (binauralen) Richtcharakteristiken, die neben der Störgeräusrichtung noch weitere Informationen zur Optimierung heranziehen (z.B. Umgebungspegel, Art der Signalquellen). Mit dem ADM wird angenommen, dass sich der Zielsprecher in der frontalen Hemisphäre befindet, während störende Hintergrundgeräusche in der hinteren Hemisphäre auftreten. Das Polardiagramm wird entsprechend der Störgeräusrichtung adaptiv modifiziert und ist im Wesentlichen unabhängig von der Frequenz. Ein ADM arbeitet mit einem Paar von omnidirektionalen Mikrofonen, die durch einen kleinen Abstand getrennt sind, und wandelt dieses zweikanalige Eingangssignal mit Hilfe von entsprechenden Verzögerungen und Gewichtung in ein einkanaliges Ausgangssignal. Bei der beidseitigen Versorgung mit dem MHA in dieser Untersuchung wurden zwei unabhängige, bilaterale ADMs realisiert.

Störgeräusrichtungen

Alle Richtungsangaben liegen in der Horizontalebene eines kopfbezogenen Koordinatensystems. Die Auswahl der Störgeräusrichtungen fiel auf sechs unterschiedliche Messkonditionen: 0° , $\pm 45^\circ$, 90° , $\pm 135^\circ$, 180° und diffus (siehe Abbildung 2). Neben den gerichteten Störschallquellen sollte das diffuse Störgeräusch aus allen acht Lautsprechern im Abstand von 45° eine möglichst realitätsnahe Hörsituation simulieren. Die Störgeräusrichtungen 0° , 90° und 180° wurden ausgewählt, weil sie vermutlich in der Praxis am häufigsten verwendet werden. Die Kondition $\pm 45^\circ$ berücksichtigt die Spezifikation in DIN EN ISO 8253-3 [15]. Aufgrund der Funktionsweise des verwendeten Richtmikrofonsystems (ADM) wurde eine größere Wirkung in der hinteren Hemisphäre erwartet. Deshalb wurde die Richtung $\pm 135^\circ$ hinzugefügt. Bei der Darbietung aus den zwei Störgeräusrichtungen $\pm 45^\circ$ und $\pm 135^\circ$ wurde jeweils eines der beiden Signale zeitlich verschoben abgespielt, um diese zu dekorrelieren.

Sprachtests

Das Sprachverstehen wurde mit dem FBE und dem OLSA ermittelt. Die Darbietung der beiden Sprachtests wurde mittels der Software Oldenburg Measurement Applications (OMA; Release 2.0.1.0, Forschungsversion, HörTech gGmbH Oldenburg) umgesetzt. In der TASCAR-Szene war die OMA mit einer der virtuellen Schallquellen verknüpft, welche frontal zum Empfänger ausgerichtet wurde. Sie

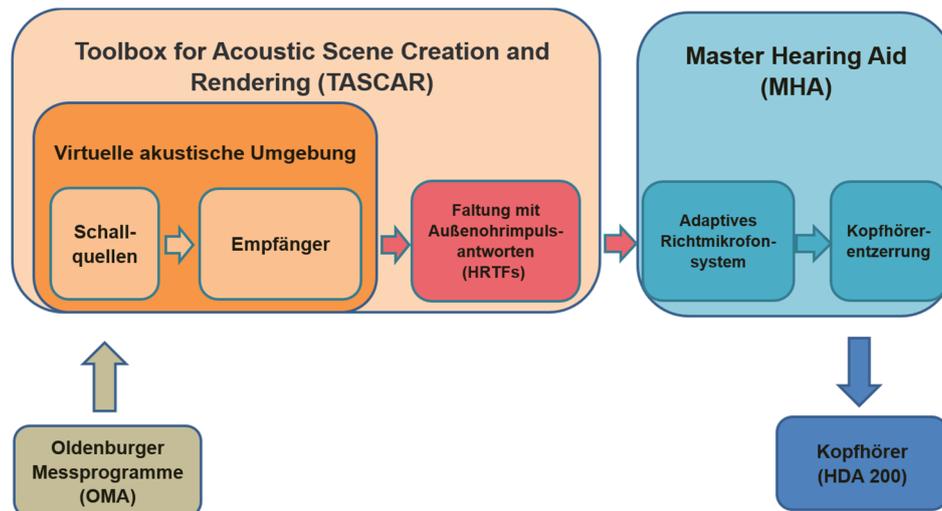


Abbildung 1: Aufbau der Forschungsplattform

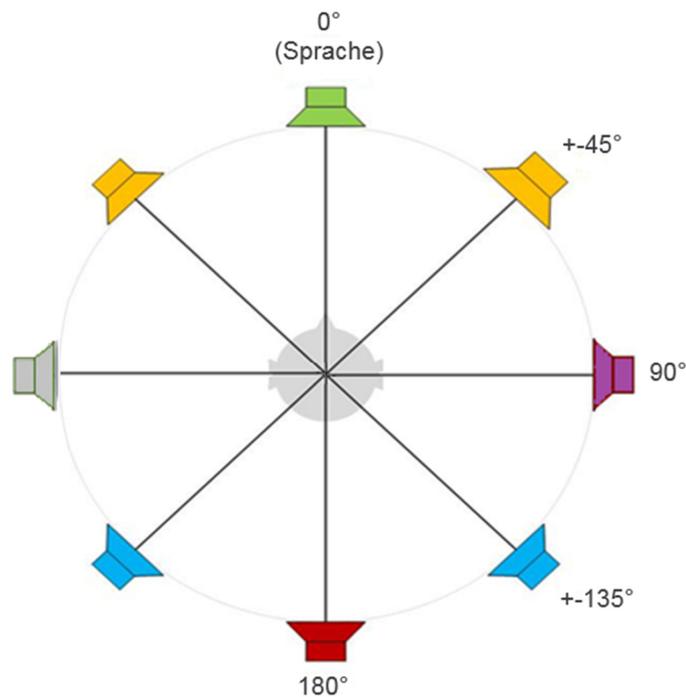


Abbildung 2: Sechs verschiedene Störgeräuschrichtungen. 0° (grün), ±45° (gelb), 90° (lila), ±135° (blau), 180° (rot) und diffus (alle acht Lautsprecher)

wurde nur für die Präsentation des Sprachsignals verwendet.

Beim FBE wurde das prozentuale Sprachverstehen für einen festen SNR von -5 dB bestimmt. Dieser SNR wurde gewählt, da bei dem in der Hilfsmittel-Richtlinie [1] festgelegten SNR von $+5$ dB für die NH bereits in der Konfiguration *ohne ADM* ein Sprachverstehen bei oder in der Nähe von 100% zu erwarten gewesen wäre. Aufgrund von Deckeneffekten wären vermutlich keine oder nur geringe Veränderungen zur Konfiguration *mit ADM* messbar gewesen. Bei Verwendung von -5 dB SNR wurde die Vermeidung von Boden- oder Deckeneffekten vermutet. Um die Messgenauigkeit für den FBE zu erhöhen, wurden, wie von Hoppe [20] und Holube et al. [21] empfohlen, für jede Messkondition zwei Listen pro Proband

verwendet. Da jede der 20 Testlisten nur einmal verwendet werden konnte, wurde beim FBE auf die Störgeräuschrichtung $\pm 45^\circ$ verzichtet.

Mit dem OLSA wurde adaptiv der SRT_{50} für jede Störgeräuschrichtung durch eine Anpassung des Sprachpegels, in Abhängigkeit von der Anzahl der korrekt wiederholten Wörter, ermittelt. Mit jedem Probanden wurde vor der Datenaufnahme eine Übungsphase (Training) durchgeführt, um einen Trainingseffekt auszuschließen [5]. Für das Training wurden zwei Listen mit jeweils 30 Sätzen verwendet, eine bei festem SNR von 0 dB und eine mit adaptiver Pegelanpassung der Sprache zur Ermittlung des SRT_{50} . Anschließend wurden bei einem Start-SNR von -5 dB für jede Messkondition Listen mit 20 Sätzen verwendet.

Die Reihenfolge der Messkonditionen (mit welchem Sprachtest begonnen wurde, *mit* und *ohne* ADM, Störgeräuschrichtungen) wurde randomisiert. Wobei aber nicht zwischen den Sprachtests und der Verwendung des ADM gewechselt wurde. Ebenso wurden die verwendeten Listen bei jedem Probanden für beide Sprachtests randomisiert und keine Liste wurde innerhalb eines Probanden doppelt genutzt. Die Aufgabe der Probanden war es, die dargebotenen Wörter (FBE) bzw. Sätze (OLSA) zu wiederholen. Die Probanden saßen für die Messungen in einer Hörkabine. Die Antworten der Probanden wurden über ein Mikrofon-Lautsprecher-System nach außen zum Untersucher übertragen. Der Untersucher saß außerhalb der Messkabine und vermerkte auf der grafischen Oberfläche der OMA, welche Wörter verstanden wurden.

Störgeräusche

Die Störgeräusche wurden nicht über die OMA, sondern direkt mit dem Audioplayer von TASCAR abgespielt, bei dem eine entsprechende Audiodatei hinterlegt wurde. Für den FBE wurde das Rauschen des Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique (CCITT-Rauschen [22]) und für den OLSA ein sprachsimulierendes Rauschen (das sogenannte OLnoise nach Wagener et al. [3]) als Störgeräusch verwendet. Das diffuse Störgeräusch war in beiden Sprachtests eine Aufnahme der Cafeteria der Carl von Ossietzky Universität Campus Wechloy in Oldenburg [23]. Die diffuse Messbedingung unterscheidet sich sowohl bezüglich der räumlichen Anordnung als auch des Störgeräuschs von den anderen Konditionen. Sie wurde ergänzt, um eine möglichst realitätsnahe Situation zu simulieren. Eine weitere Messbedingung mit diffuser Störgeräuschpräsentation unter Verwendung des CCITT-Rauschens war aufgrund der begrenzten Testlistenanzahl im FBE und der zur Verfügung stehenden Messzeit nicht möglich.

Der Störgeräuschpegel der einzelnen Schallquellen wurde so eingestellt, dass in jeder Messkondition am omnidirektionalen Kalibriermikrofon (ohne Berücksichtigung von HRTFs oder dem MHA), welches sich an der Position der Kopfmittelpunkt des Probanden befand, ein Pegel von 65 dB SPL erreicht wurde. Damit wich das OLnoise von dem in der Hilfsmittelrichtlinie [1] spezifizierten Pegel von 45 dB SPL ab. Das Störgeräusch wurde für jede Liste und für jeden Sprachtest kontinuierlich dargeboten.

Objektive Messungen der SNR-Veränderungen

Um die technischen SNR-Unterschiede aufgrund der unterschiedlichen Störgeräuschrichtungen bestimmen zu können, wurden für den OLSA objektive Messungen der SNR-Veränderung durchgeführt. Aufgrund des adaptiven Verhaltens des ADM war es notwendig, Sprache und Störgeräusch für die objektiven Messungen in den jeweiligen räumlichen Konditionen vergleichbar zu den Probandenmessungen als gemischtes Testsignal zu verwenden. Da außerdem in den Probandenmessungen die Pausen

zwischen jedem Satz beim OLSA individuell abhängig von der Antwortzeit des jeweiligen Probanden und der Eingabezeit des Untersuchers war, wurden die objektiven Messungen unabhängig von den subjektiven Messungen durchgeführt. Für die Störgeräuschsignale wurden dieselben Audiosignale wie in der TASCAR-Szene verwendet. Für das Sprachsignal wurde ein Audiosignal genutzt, welches das komplette Sprachmaterial des OLSA (alle 900 Sätze ohne Pausen zwischen den Sätzen) enthielt. Die SNR-Veränderungen wurden mit Hilfe der Methode von Hagerman und Olofsson [24], die in die Forschungsplattform integriert wurde, bestimmt. Für diese Methode wurden zwei Messungen, bei denen die Sprache ($u(t)$) und das Störgeräusch ($v(t)$) gleichzeitig dargeboten wurden, durchgeführt. Bei der zweiten Messung wurde jedoch die Phase des Störgeräuschs invertiert. Die beiden Eingangssignale $a_{in}(t)$ und $b_{in}(t)$ setzen sich, wie in Formel 1 und Formel 2 angegeben, folgendermaßen zusammen [24]:

$$\text{Formel 1: } a_{in}(t) = u(t) + v(t)$$

$$\text{Formel 2: } b_{in}(t) = u(t) - v(t)$$

Diese beiden Eingangssignale besitzen denselben SNR und wurden jeweils ohne zeitliche Verzögerung mit einer identischen Version des MHA (je eine Instanz) innerhalb der Forschungsplattform verknüpft. Das MHA ist ein zeitabhängiges System. Die Ausgangssignale der beiden MHA-Instanzen $a_{out}(t)$ und $b_{out}(t)$, können mit

$$\text{Formel 3: } a_{out}(t) = u'(t) + v'(t) + e_1(t) \text{ und}$$

$$\text{Formel 4: } b_{out}(t) = u'(t) - v'(t) + e_2(t) \text{ beschrieben werden.}$$

Hierbei sind $e_1(t)$ und $e_2(t)$ mögliche Fehlersignale, die z.B. durch internes Rauschen oder Verzerrungen verursacht werden. Durch Addition und Subtraktion der beiden Ausgangssignale ergeben sich die Signale $c(t)$ und $d(t)$ in

$$\text{Formel 5:}$$

$$c(t) = a_{out}(t) + b_{out}(t) = 2u'(t) + e_1(t) + e_2(t) \text{ und}$$

$$\text{Formel 6:}$$

$$d(t) = a_{out}(t) - b_{out}(t) = 2v'(t) + e_1(t) - e_2(t).$$

Um die Signale mit korrekter Amplitude zu erhalten, wurden $c(t)$ und $d(t)$ mit dem Faktor 0,5 multipliziert. Durch die Separierung der Signale konnte der jeweilig vorliegende SNR für verschiedene Konditionen ermittelt und somit auf die SNR-Verbesserungen durch den ADM (Konfiguration mit ADM) geschlossen werden. Die Methode nach Hagerman und Olofsson [24] beruht darauf, dass eine lineare Abhängigkeit zwischen dem Eingangs- und Ausgangssignal vorliegt. Aufgrund der Funktionsweise des ADM nach Elko und Pong [19] und der Kopfhörerentzerrung wurde davon ausgegangen, dass die Fehlersignale vernachlässigbar klein waren. Die beiden Signale (Sprache und Störgeräusch) können durch diese Methode

nach der Verarbeitung durch das MHA nahezu optimal voneinander getrennt und der SNR berechnet werden. Durch Anhören der getrennten Ausgangssignale wurde die erfolgreiche Anwendung der Methode nach Hagerman und Olofsson [24] bestätigt.

Da davon ausgegangen wird, dass nicht jeder Frequenzbereich gleich viel zum Sprachverstehen im Störgeräusch beiträgt, wurden die objektiven frequenzabhängigen SNR-Veränderungen nach ANSI S3.5 [10] für Sätze in 18 Terzbändern gewichtet aufsummiert. Andere Gewichtungsfunktionen führten zu ähnlichen Ergebnissen, werden jedoch nicht weiter betrachtet. Für die Ergebnisdarstellung wurde die Ohrseite mit dem besseren SNR ausgewählt, um den durch die Probanden nutzbaren Vorteil nachzubilden. Die objektiven Messungen der SNR-Veränderungen wurden nicht nur für die in der Probandenmessung verwendeten Störgeräuschrichtungen bestimmt, sondern zusätzlich für eine weitere unsymmetrische und eine symmetrische Störgeräuschrichtung. Für eine einzelne virtuelle Störgeräuschquelle wurden die Richtungen 0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° und 315° sowie für zwei virtuelle Störgeräuschquellen die Richtungen $\pm 45^\circ$, $\pm 90^\circ$ und $\pm 135^\circ$ verwendet.

Statistische Analyse

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS von IBM (Version 26). Das Signifikanzniveau betrug für die gesamte Auswertung $\alpha=0,05$. Die Ergebnisse von 21 der 22 Messkonditionen waren nach Prüfung mit dem Shapiro-Wilk-Test normalverteilt. Somit erfolgte die Auswertung mit einer zweifaktoriellen ANOVA mit den Faktoren Störgeräuschrichtung und ADM mit Messwiederholung. Post hoc wurden t-Tests für abhängige Stichproben mit Bonferronikorrektur durchgeführt. Die individuellen Ergebnisse werden als Boxplots dargestellt und zeigen den Median (rot), den Interquartilsabstand (Boxlänge), die Antennen bzw. Whisker (maximal zum 1,5-fachen des Interquartilsabstands) und die Ausreißer (+).

Ergebnisse

Im Folgenden wird auf den Einfluss der Störgeräuschrichtung auf das Sprachverstehen innerhalb der Konditionen *mit* und *ohne* ADM und anschließend auf die Änderung des Sprachverstehens durch den ADM für den FBE und den OLSA eingegangen.

Einfluss von Störgeräuschrichtung und ADM beim FBE

In Abbildung 3 sind die Ergebnisse für das prozentuale Sprachverstehen der beiden Konfigurationen *ohne* ADM und *mit* ADM in Abhängigkeit von der Störgeräuschrichtung für den FBE dargestellt. Alle gemessenen Werte des Sprachverstehens lagen im Bereich von 7,5% bis 92,5%. Die zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung ergab einen signifikanten Einfluss der Störgeräuschrichtung

($F(4,36)=255,19$, $p<0,001$) und des ADM ($F(1,9)=550,58$, $p<0,001$). Die Interaktion zwischen Störgeräusch und Verwendung des ADM ($F(4,36)=120,14$, $p<0,001$) hat ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf das Sprachverstehen. In der Konfiguration *ohne* ADM (Abbildung 3, grün) unterscheidet sich, bis auf 180° zu diffus, das Sprachverstehen signifikant voneinander (siehe Tabelle 1 oberes Dreieck, grün). Das geringste Sprachverstehen wird für die Störgeräuschrichtung 0° (von vorn) und das höchste Sprachverstehen für die Störgeräuschrichtung 90° (von der Seite) erreicht. In der Konfiguration *mit* ADM (Abbildung 3, beige) unterscheidet sich das Sprachverstehen bei 0° und diffus signifikant von den anderen drei Richtungen (siehe Tabelle 1 unteres Dreieck, beige). Bei diesen drei Störgeräuschrichtungen wird ein ähnliches Sprachverstehen von 83,75 bis 87,5% erreicht.

Das erreichte Sprachverstehen jeder einzelnen Störgeräuschrichtung, außer für 0° , unterscheidet sich zwischen den beiden Konfigurationen *ohne* und *mit* ADM signifikant voneinander ($p<0,001$). Die größte Verbesserung im Sprachverstehen durch das ADM wird für die Störgeräuschrichtung 180° erreicht.

Einfluss von Störgeräuschrichtung und ADM beim OLSA

Analog zu Abbildung 3 zeigt Abbildung 4 die SRT_{50} -Werte in dB SNR für den OLSA für die beiden Konfigurationen *ohne* ADM und *mit* ADM in Abhängigkeit von der Störgeräuschrichtung. Die zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung ergab einen signifikanten Einfluss der Störgeräuschrichtung ($F(5,45)=1780,18$, $p<0,001$) und des ADM ($F(1,9)=2301,12$, $p<0,001$). Die Interaktion zwischen Störgeräusch und Verwendung des ADM ($F(5,45)=565,55$, $p<0,001$) hat ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf das Sprachverstehen. Tabelle 2 enthält die p -Werte der t-Tests für abhängige Stichproben für die Kondition *ohne* ADM (oberes Dreieck, grün) und *mit* ADM (unteres Dreieck, beige). In der Konfiguration *ohne* ADM (Abbildung 4, grün) unterscheiden sich fast alle Störgeräuschrichtungen signifikant voneinander. Nur die Richtung $\pm 45^\circ$ zeigt keine signifikante Abweichung von 180° und von diffus. Der höchste SRT_{50} wird für die Störgeräuschrichtung 0° (von vorn) und der niedrigste SRT_{50} für die Störgeräuschrichtung 90° (von der Seite) erreicht. In der Konfiguration *mit* ADM (Abbildung 3, beige) unterscheidet sich der SRT_{50} bei 0° , $\pm 45^\circ$ und diffus signifikant von den anderen drei Richtungen (siehe Tabelle 1 unteres Dreieck). Bei diesen drei Störgeräuschrichtungen wird ein vergleichbarer SRT_{50} erreicht. Die Ergebnisse des OLSA entsprechen damit den Ergebnissen im FBE.

Ebenfalls in Analogie zum FBE unterscheidet sich der SRT_{50} jeder einzelnen Störgeräuschrichtung, außer für 0° , zwischen den beiden Konfigurationen *ohne* und *mit* ADM signifikant voneinander ($p<0,001$) und die größte Verbesserung im Sprachverstehen durch das ADM wird für die Störgeräuschrichtung 180° erreicht.

Tabelle 1: p -Werte der t -Tests für abhängige Stichproben für den FBE *ohne* (oberes Dreieck, grün) und *mit* (unteres Dreieck, beige) ADM

Störgeräuschrichtung	0°	90°	±135°	180°	diffus
0°		<0,001*	<0,001*	0,006*	<0,001*
90°	<0,001*		<0,001*	<0,001*	<0,001*
±135°	<0,001*	1,00		<0,001*	<0,001*
180°	<0,001*	1,00	1,00		1,00
diffus	<0,001*	0,001*	<0,001*	0,001*	

Signifikante p -Werte sind mit einem Stern * gekennzeichnet. Die p -Werte sind bereits nach Bonferroni korrigiert.

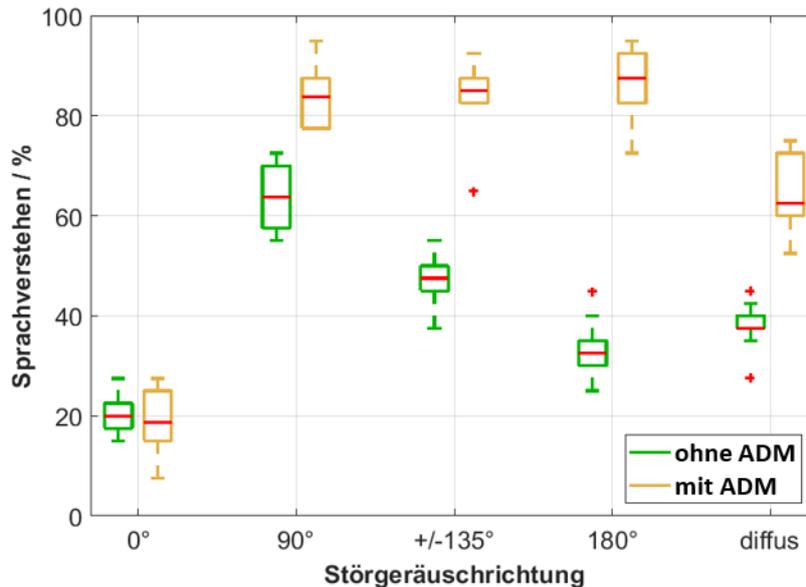


Abbildung 3: Sprachverstehen in % mit dem Freiburger Einsilbertest der beiden Konfigurationen *ohne ADM* (grün) und *mit ADM* (beige) für die Störgeräuschrichtungen 0°, 90°, ±135°, 180° und diffus

Tabelle 2: p -Werte der t -Tests für abhängige Stichproben für den OLSA *ohne* (oberes Dreieck, grün) und *mit* (unteres Dreieck, beige) ADM

Störgeräuschrichtung	0°	±45°	90°	±135°	180°	diffus
0°		0,004*	<0,001*	<0,001*	<0,001*	<0,001*
±45°	<0,001*		<0,001*	<0,001*	1,00	1,00
90°	<0,001*	<0,001*		<0,001*	<0,001*	<0,001*
±135°	<0,001*	<0,001*	1,00		<0,001*	0,001*
180°	<0,001*	<0,001*	1,00	1,00		0,007*
diffus	<0,001*	<0,001*	<0,001*	<0,001*	<0,001*	

Signifikante p -Werte sind mit einem Stern * gekennzeichnet. Die p -Werte sind bereits nach Bonferroni korrigiert.

Zusammenhang von objektiven SNR-Veränderungen und Sprachverstehen

Abbildung 5 zeigt die SRT_{50} -Werte der Probanden und den objektiven SNR nach Hagerman und Olofsson [24] für den OLSA bei verschiedenen Störgeräuschrichtungen für die Konfiguration *ohne ADM* (links) und für die Konfiguration *mit ADM* (rechts). Gegenüber der 0°-Richtung sinkt der SRT_{50} der Probanden und der objektive SNR in beiden Konfigurationen für jede andere Störgeräuschrichtung. Lediglich für die Störgeräuschrichtung ±45° in der

Konfiguration *ohne ADM* erhöht sich der objektive SNR geringfügig. Für alle Störgeräuschrichtungen außer 0° unterscheidet sich der SRT_{50} der Probanden und der entsprechende objektive SNR um bis zu 4,5 dB für die Störgeräuschrichtung 90° in der Konfiguration *mit ADM*. Abbildung 6 stellt die Verbesserung im OLSA beim Vergleich der Konfigurationen *mit ADM* und *ohne ADM* für den SRT_{50} und den objektiven SNR-Werten dar. Die Verbesserungen der individuellen SRT_{50} -Werte der Probanden und der entsprechenden objektiven SNR zeigen eine hohe Übereinstimmung. Lediglich bei den Störgeräuschrichtun-

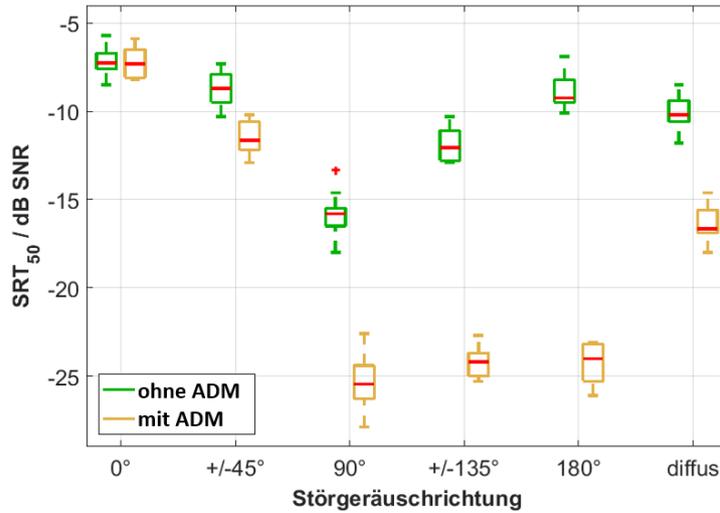


Abbildung 4: SRT_{50} in dB SNR mit dem Oldenburger Satztest der beiden Konfigurationen *ohne ADM* (grün) und *mit ADM* (beige) für die Störgeräuschrichtungen 0° , $\pm 45^\circ$, 90° , $\pm 135^\circ$, 180° und diffus

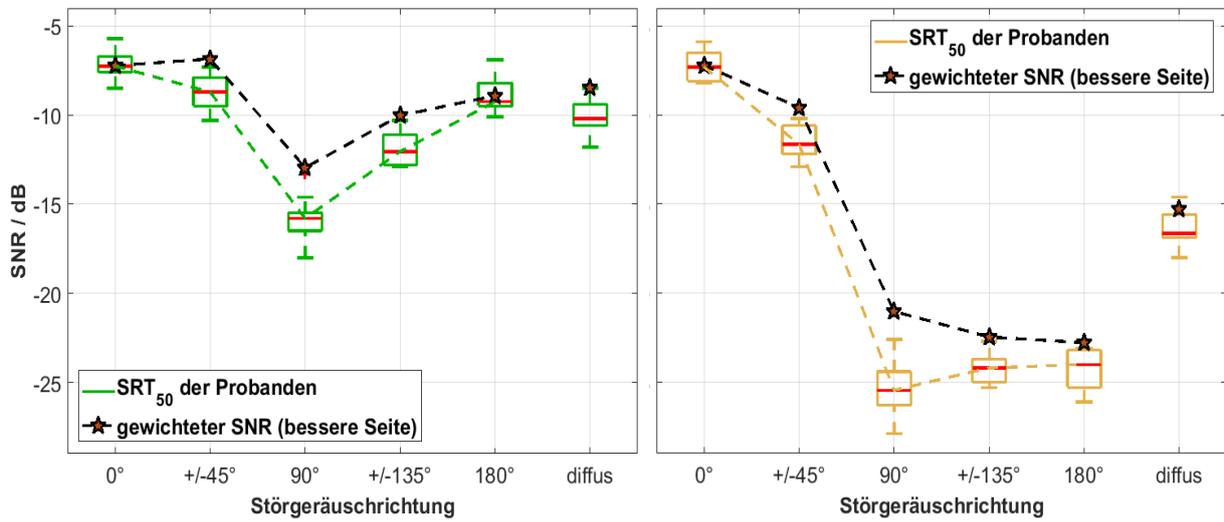


Abbildung 5: SRT_{50} der Probanden und objektive SNR mit dem Oldenburger Satztest bei verschiedenen Störgeräuschrichtungen in der Konfiguration *ohne ADM* (links) und *mit ADM* (rechts)

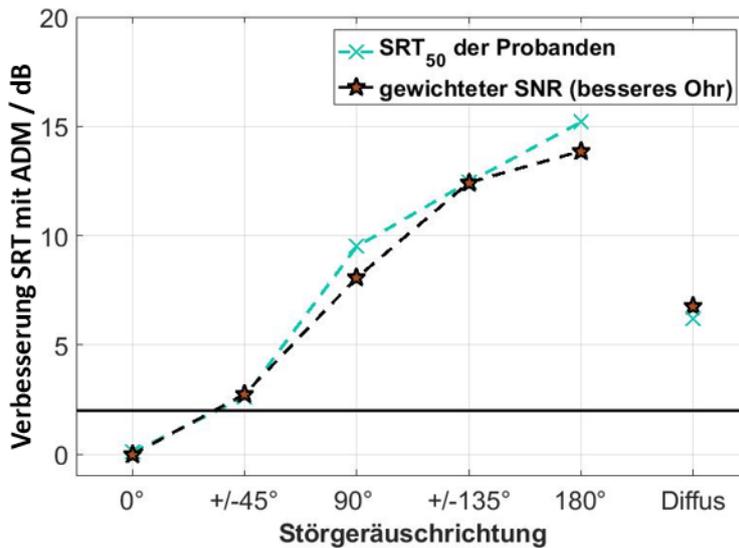


Abbildung 6: Verbesserung des SRT_{50} der Probanden und der objektiven SNR für die Konfiguration *mit ADM* im Vergleich zu *ohne ADM* bei verschiedenen Störgeräuschrichtungen für den OLSA; zusätzlich ist die geforderte Mindestverbesserung der Hilfsmittel-Richtlinie mit der 2-dB-Linie (schwarz, durchgezogen) eingezeichnet.

gen 90° und 180° sind Abweichungen von ca. 1,4 dB und 1,3 dB beobachtbar.

Objektive SNR-Veränderungen für verschiedene Störgeräusrichtungen

Abbildung 7 zeigt die objektiven SNR-Veränderungen zwischen den beiden Konfigurationen *ohne ADM* und *mit ADM* für verschiedene Störgeräusrichtungen. Auf der linken Seite sind die Berechnungsergebnisse mit einer Störgeräusquelle dargestellt. Die SNR-Veränderungen der Störgeräusrichtungen 45° und 315° betragen ca. -1 dB. Für die Störgeräusrichtungen 90° und 270° liegen die SNR-Veränderungen bei ca. 8 dB und für die Störgeräusrichtungen 135° , 180° und 225° bei ca. 14 dB. Auf der rechten Seite in Abbildung 7 sind die Messergebnisse mit zwei Störgeräusch-Lautsprechern dargestellt. Die SNR-Veränderungen liegen bei ca. 3 dB für die Störgeräusrichtung $\pm 45^\circ$, ca. 10 dB für die Störgeräusrichtung $\pm 90^\circ$ und bei ca. 12 dB für die Störgeräusrichtung $\pm 135^\circ$.

Diskussion

Im Folgenden werden die Einflüsse von Störgeräusrichtung und ADM auf die Messergebnisse in den Sprachtests sowie die objektiven SNR-Berechnungen diskutiert. Dabei sollte beachtet werden, dass die gemessenen Minimal- und Maximalwerte im Sprachverstehen des FBE in Abbildung 3 keine Boden- oder Deckeneffekte erkennen lassen. Dies deutet darauf hin, dass der feste SNR von -5 dB für die NH passend gewählt war. Damit führten die beiden Sprachtests zu qualitativ vergleichbaren Ergebnissen. Bei höheren oder geringeren dargebotenen SNR im FBE wäre zu erwarten, dass Unterschiede im Sprachverstehen für manche Störgeräusrichtungen geringer ausfallen würden. Die Schwierigkeit der Wahl des SNR insbesondere bei vorliegendem Hörverlust tritt beim OLSA nicht auf, da die adaptive Steuerung für alle Messungen zu einem Sprachverstehen von 50% führt.

Einfluss der Störgeräusrichtung

Für die Konfiguration *ohne ADM* liegt der Median für die Störgeräusrichtung von 0° bei $-7,3$ dB SNR. Dieser Wert stimmt mit den für diese Richtung ermittelten Daten von Wagener et al. [5] überein. Auch Beutelmann und Brand [8] geben einen vergleichbaren SRT_{50} für eine simulierte akustische Umgebung an. Der SRT_{50} verbessert sich, wenn das Störgeräusch aus einer anderen Richtung als 0° präsentiert wird.

In der Konfiguration *ohne ADM* wurden zwischen fast allen Störgeräusrichtungen signifikante Unterschiede ermittelt. In dieser Studie lag der SRT_{50} bei 180° um 2 dB niedriger als bei 0° , wobei Beutelmann und Brand [8] für diese Störgeräusrichtung einen um 1 dB niedrigeren SRT_{50} als für 0° angeben. Die Verbesserung des SRT_{50} zwischen 0° und 90° mit ca. 9 dB ist mit 8 dB bei

Bronkhorst und Plomp [7] für den niederländischen Satztest von Plomp und Mimpen und über Kopfhörer präsentierte KEMAR-Aufnahmen in einem reflexionsarmen Raum vergleichbar. Die Ergebnisse dieser Studie sind auch mit denen von Beutelmann und Brand [8] bei $+80^\circ$ (ca. 10 dB) vergleichbar. Der Differenz von 3 dB bei einer Störgeräusrichtung von -100° (ca. 12 dB Verbesserung bei [8]) ist da hingegen deutlicher. Dieser Unterschied ist vermutlich auf die Abweichung der Messbedingung bei Beutelmann und Brand [8] von der 90° -Richtung zurückzuführen. Die Sonderstellung der 90° -Richtung mit geringerem „spatial release from masking“ wurde bei Verwendung von HRTFs und Kopfhörerpräsentationen auch in anderen Untersuchungen beobachtet (siehe z.B. Holube [25]). Die Verwendung von zwei symmetrischen Störgeräusrichtungen resultiert bei Bronkhorst und Plomp [7] in einer Differenz im SRT_{50} von 2,2 dB zwischen 0° und $\pm 90^\circ$. Dieser Wert liegt zwischen den Differenzen für 0° und $\pm 45^\circ$ (1,5 dB) sowie $\pm 135^\circ$ (4,9 dB) dieser Studie.

Insgesamt konnten also die Literaturwerte mit der Forschungsplattform nachgebildet werden. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass ein reflexionsarmer Raum simuliert und die Messungen mit NH durchgeführt wurden. Welchen Einfluss ein realer Anpassungsraum beim Hörakustiker oder in der Klinik, oder die Messung mit SH auf die Ergebnisse hat, kann mit dem verwendeten Ansatz nicht geklärt werden.

Einfluss des ADM

Die beiden Sprachtests FBE und OLSA zeigen keine signifikanten Unterschiede im Sprachverstehen zwischen den Konfigurationen *ohne ADM* und *mit ADM* für die Störgeräusrichtung 0° . Der ADM nutzt die Annahme, dass sich das Nutzsignal immer frontal in der vorderen Hemisphäre und das Störsignal in der hinteren Hemisphäre befindet und passt seine Richtcharakteristik entsprechend an. Wenn das Nutzsignal und das Störsignal beide aus der frontalen Richtung kommen, erfolgte keine Abschwächung. Wenn jedoch nur der Nutzsprecher von vorn, das Störgeräusch jedoch aus einer anderen Richtung präsentiert wird, dann wird zwar nicht das Sprachsignal, aber das Störgeräusch je nach Richtcharakteristik durch den ADM abgeschwächt und der SNR verbessert sich.

In der Konfiguration *mit ADM* konnten, wie auch in der Konfiguration *ohne ADM*, signifikante Unterschiede im Sprachverstehen zwischen den Störgeräusrichtungen beobachtet werden. Die Störgeräusrichtungen 90° , $\pm 135^\circ$ und 180° unterschieden sich jedoch weder beim FBE noch beim OLSA in der Konfiguration *mit ADM* signifikant voneinander. Das Richtmikrofon scheint die Unterschiede im Sprachverstehen, welche in der Konfiguration *ohne ADM* zwischen den Störgeräusrichtungen der hinteren Hemisphäre vorlagen, aufzuheben. Sowohl für den FBE als auch für den OLSA wurden unterschiedlich große Verbesserungen durch das ADM für die verschiedenen Störgeräusrichtungen nachgewiesen. Die größte

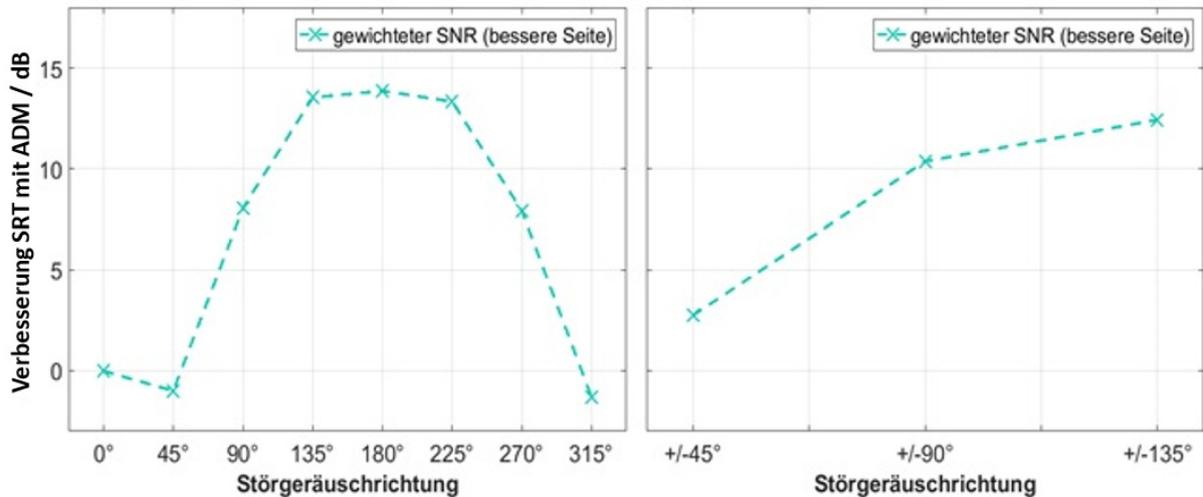


Abbildung 7: Objektive SNR-Verbesserungen für unterschiedliche Störgeräuschrichtungen bei Verwendung einer Störgeräuschrquelle (links) und von zwei Störgeräuschrquellen (rechts)

Verbesserung wurde für die Richtung von hinten (180°) beobachtet.

Vergleich mit objektiven SNR-Veränderungen

Die mit Probanden ermittelten Veränderungen im Sprachverstehen für verschiedene Störgeräuschrichtungen und *mit ADM* wurden mit objektiv berechneten SNR-Veränderungen mit der Methode nach Hagerman und Olofsson verglichen. Die objektiven Berechnungen des SNR für das bessere Ohr können die Effekte qualitativ nachbilden. Die Änderungen des SNR sind damit der Hauptgrund für die signifikanten Unterschiede zwischen den Konfigurationen *ohne ADM* und *mit ADM* für die verschiedenen Störgeräuschrichtungen.

Die gemessenen SRT_{50} werden mit der objektiven Berechnungsmethode jedoch nur annähernd erreicht (siehe Abbildung 5). Das von den Probanden genutzte „spatial release from masking“ ([26], [7]), d.h. der verringerte Maskierungseffekt durch räumliche Trennung von Sprache und Störgeräusch, kann durch die objektive SNR-Verbesserung nicht vollständig nachgebildet werden. Der Grund für die Differenz wird darin vermutet, dass für die objektive SNR-Verbesserung das bessere Ohr ausgewählt wurde, von den Probanden jedoch zusätzlich die Verarbeitung im binauralen auditorischen System ausgenutzt werden konnte. Die binauralen Vorteile wurden z.B. bereits im EC-Modell von Durlach [9] nachgebildet. Durch die beiden Mechanismen „Equalization“ (Angleichung) und „Cancellation“ (Auslöschung) bleibt das Sprachsignal erhalten, das Störgeräusch wird jedoch bestmöglich ausgelöscht. Hierbei wird von unterschiedlichen interauralen Differenzen in Amplitude und Phase für Sprache und Störgeräusch ausgegangen.

Für die Störgeräuschrichtung 90° tritt der Effekt des „spatial release from masking“ am stärksten auf und der Unterschied zwischen SRT_{50} und objektiver SNR-Verbesserung ist am größten. Dies liegt vermutlich darin begrün-

det, dass die interauralen Unterschiede für Sprache und Störgeräusch in dieser Situation am stärksten ausgeprägt sind. Bei 180° verschwinden dagegen die interauralen Unterschiede bis auf kleinere Unterschiede in den Hörgerätemikrofonen der verwendeten HRTFs, so dass der SRT_{50} annähernd mit dem objektiven SNR nachgebildet werden konnte. Bei den symmetrischen Darbietungen $\pm 45^\circ$ und $\pm 135^\circ$ und beim diffusen Störgeräusch liegt kein interauraler Pegelunterschied, sondern nur eine interaurale Dekorrelation der Störgeräusche vor. Hierdurch könnten die Probanden vermutlich einen Vorteil aus der binauralen Verarbeitung ziehen, der mit der objektiven SNR-Verbesserung nicht nachgebildet werden kann. Dieser Vorteil ist jedoch geringer als bei der 90° -Richtung. In der diffusen Störschall-Konfiguration könnten die Probanden jedoch auch einen Vorteil aus der Verwendung der Cafeteria-Aufnahme gezogen haben. Diese weist zum einen eine andere spektrale Zusammensetzung und zum anderen mehr Fluktuationen als das OLnoise auf. Ein verbessertes Sprachverstehen im fluktuierenden Störgeräusch gegenüber einem stationären Störgeräusch zeigten beispielsweise auch Festen und Plomp [27], wobei die Fluktuationen in der Cafeteria-Aufnahme jedoch wesentlich geringer sind als diejenigen der Störgeräusche bei Festen und Plomp [27]. Eine quantitativ genauere Modellierung der SRT_{50} als mit der objektiven SNR-Verbesserung nach Hagerman und Olofsson wäre mit einem Modell zu erwarten, dass die binaurale Verarbeitung mit einbezieht, also z.B. dem Binaural Speech Intelligibility Modell (BSIM) von Beutemann und Brand [8]. Dies lag jedoch nicht im Fokus dieser Studie.

Bei der Betrachtung der Verbesserungen durch die Konfiguration *mit ADM* gegenüber der Konfiguration *ohne ADM* in Abbildung 6 kann gefolgert werden, dass die objektive Verbesserung des SNR für jede Störgeräuschrichtung die Verbesserung im Sprachverstehen nachbilden kann. Wie groß die jeweilige Verbesserung durch den ADM ist, ist jedoch von der Störgeräuschrichtung abhängig. In dieser Studie waren die Verbesserungen für die Störgeräuschrichtungen $\pm 135^\circ$ und 180° am größten.

Die schwarze durchgezogene 2-dB-Linie zeigt die in der Hilfsmittel-Richtlinie [1] vorgeschriebene Mindestverbesserung durch Hörgeräte mit dem OLSA. Diese Mindestverbesserung wurde für alle ausgewählten Störgeräuschrichtungen, außer für 0° allein schon durch die Verwendung eines Richtmikrofonsystems erreicht. Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass in der Praxis bei Messungen mit Menschen mit Hörbeeinträchtigung nicht nur die SNR-Verbesserung durch Richtmikrofonsysteme in Hörgeräten, sondern auch die Verbesserung der Hörbarkeit durch eine hörverlustabhängige Verstärkung eine entscheidende Rolle spielt. Dieser Effekt kann insbesondere bei Messungen nach Hilfsmittelrichtlinie mit dem OLSA durch den geringeren Störgeräuschpegel von 45 dB SPL im Vergleich zu dieser Untersuchung (65 dB SPL) nicht vernachlässigt werden.

Objektive SNR-Veränderungen für verschiedene Störgeräuschrichtungen

In Abbildung 7 sind nur die richtungsabhängigen SNR-Veränderungen zwischen den beiden Konfigurationen *ohne ADM* und *mit ADM* mit einer und mit zwei Störgeräuschquellen dargestellt. Diese Ergebnisse verdeutlichen noch einmal den Einfluss unterschiedlicher Störgeräuschrichtungen auf die SNR-Veränderungen durch den ADM. Je nach Störgeräuschrichtung sind die Veränderungen gegenüber der 0°-Richtung unterschiedlich groß. Moderne Hörgeräte sind in der Lage, die Situation, in der sich der Hörgeräteträger gerade befindet, zu klassifizieren (siehe z.B. [28]). Basierend auf der klassifizierten Situation werden die Einstellungen von Richtmikrofonsystemen oder Störgeräuschunterdrückungen in Hörgeräten angepasst. Auch bei der Erfolgskontrolle der Hörgeräteversorgung und deren Messung im Störgeräusch klassifizieren die Hörgeräte die Situation und werden mit hoher Wahrscheinlichkeit auch das Richtmikrofonsystem aktivieren, um den SNR zu erhöhen. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass die in der Hilfsmittel-Richtlinie [1] vorgeschriebenen Messungen ohne und mit Hörgeräten im Störgeräusch durch die Positionierung des oder der Störgeräusch-Lautsprecher beeinflusst wird. Eine erfolgreiche Hörgeräteversorgung kann somit beispielsweise durch Messungen mit der Störgeräuschrichtung 45° oder auch mit der Störgeräuschrichtung 135° durchgeführt werden, was aber zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen führt. In dieser Studie wäre der Unterschied der beiden SNR-Verbesserungen durch die Verwendung des ADM-Algorithmus ca. 12,5 dB. Natürlich muss berücksichtigt werden, dass in dieser Studie nur NH teilnahmen und das Hörgerät lediglich aus einem ADM-Algorithmus bestand. Daher kann nicht direkt auf die Verstehensleistung von SH mit einer vollständigen Hörgeräteversorgung geschlossen werden. Jedoch kann auch bei SH davon ausgegangen werden, dass der vorliegende SNR und seine Verbesserung ein entscheidender Faktor für das Sprachverstehen ist.

Fazit

Aufgrund der Ergebnisse kann diese Studie als erster Schritt angesehen werden, die fehlende explizite Angabe der Messanordnung des Sprach- und Störgeräuschsignals in der Hilfsmittel-Richtlinie [1] zu hinterfragen. Eine Festzulegung oder zumindest die Dokumentation der verwendeten Richtung bzw. Richtungen könnte sinnvoll sein. Da die Regelversorgung in der Praxis binaural ist, wird für diese außerdem eine symmetrische Messkondition als sinnvoll erachtet. Für das Sprachsignal sollte die Richtung 0° festgelegt werden. Bei dieser Richtung können mögliche „better ear listening“ Effekte nahezu ausgeschlossen werden. Außerdem repräsentiert dies eine sehr wahrscheinliche Richtung des Nutzsignals im Alltag, weil in vielen Gesprächssituationen der Kommunikationspartner direkt angeschaut wird. Die Störgeräuschrichtung sollte möglichst alltagsnah sein und damit eine hohe ökologische Validität vorweisen können. Ein diffuses Störgeräusch wäre daher am Naheliegendsten. Die Umsetzung eines diffusen Störgeräusches beim Hörakustiker würde sich jedoch vermutlich als sehr schwierig und praktisch nicht durchsetzbar erweisen. Um ein diffus ähnliches Störgeräusch in einem Anpassungsraum zu generieren, müsste dieser zum einen groß genug sein und zum anderen müssten viele Lautsprecher aus unterschiedlichen Richtungen verwendet werden. Diese Arbeit sollte als Denkanstoß dienen, ob die Störgeräuschrichtung $\pm 45^\circ$ empfohlen werden sollte. Sie wäre symmetrisch, so dass interaurale Differenzen reduziert sind. Weiterhin wäre der Einfluss des Richtmikrofonsystems nicht so groß wie für die anderen Störgeräuschrichtungen. Bei einer erfolgreichen Hörgeräteanpassung sollten die Kriterien der Hörgeräteüberprüfung, wie in der Hilfsmittel-Richtlinie [1] beschrieben, trotzdem zu erfüllen sein.

Anmerkungen

Interessenkonflikte

Die Autoren erklären, dass sie keine Interessenkonflikte im Zusammenhang mit diesem Artikel haben.

Funding

Diese Studie wurde gefördert aus dem Projekt VIBHear mit Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) und Mitteln des Landes Niedersachsen.

Danksagung

Vielen Dank allen Probanden für die Teilnahme an der Studie. Des Weiteren möchten wir uns bei Dr. Dirk Oetting und Dr. Mats Exter von der HörTech gGmbH sowie bei Dr. Giso Grimm von der Carl von Ossietzky Universität in Oldenburg für die technische Unterstützung bedanken. Die Korrektur der englischsprachigen Textanteile erfolgte durch <http://www.stels-ol.de/>.

Literatur

1. Gemeinsamer Bundesausschuss. Hilfsmittel-Richtlinie: Bekanntmachung eines Beschlusses des Gemeinsamen Bundesausschusses über die Neufassung der Hilfsmittel-Richtlinie. Bundesanzeiger. 2020 [Stand: 02.12.2019]. Verfügbar unter: https://www.g-ba.de/downloads/62-492-2042/HilfsM-RL_2019-11-22_iK_2020-02-15.pdf
2. Hahlbrock KH. Über Sprachaudiometrie und neue Wörterteste [Speech audiometry and new word-tests]. Arch Ohren Nasen Kehlkopfheilkd. 1953;162(5):394-431.
3. Wagener K, Kühnel V, Kollmeier B. Entwicklung und Evaluation eines Satztests für die deutsche Sprache I: Design des Oldenburger Satztests. Z Audiol. 1999;38(1):4-15.
4. Wagener K, Brand T, Kollmeier B. Entwicklung und Evaluation eines Satztests für die deutsche Sprache Teil II: Optimierung des Oldenburger Satztests. Z Audiol. 1999;38(2):44-56.
5. Wagener K, Brand T, Kollmeier B. Entwicklung und Evaluation eines Satztests für die deutsche Sprache Teil III: Evaluation des Oldenburger Satztests. Z Audiol. 1999;38(3):86-95.
6. Winkler A, Holube I. Einfluss des Störgeräusches auf das Sprachverstehen von Einsilbern. Z Audiol. 2018;57(4):138-47. DOI: 10.4126/FRL01-006412917
7. Bronkhorst AW, Plomp R. Effect of multiple speechlike maskers on binaural speech recognition in normal and impaired hearing. J Acoust Soc Am. 1992 Dec;92(6):3132-9. DOI: 10.1121/1.404209
8. Beutelmann R, Brand T. Prediction of speech intelligibility in spatial noise and reverberation for normal-hearing and hearing-impaired listeners. J Acoust Soc Am. 2006 Jul;120(1):331-42. DOI: 10.1121/1.2202888
9. Durlach NI. Equalization and cancellation theory of binaural masking-level differences. J Acoust Soc Am. 1963;35(8):1206-18. DOI: 10.1121/1.1918675
10. ANSI. Methods for the calculation of the speech intelligibility index: American National Standard S3.5. 1997.
11. Valente M, Fabry DA, Potts LG. Recognition of speech in noise with hearing aids using dual microphones. J Am Acad Audiol. 1995 Nov;6(6):440-9.
12. Amlani AM. Efficacy of directional microphone hearing aids: a meta-analytic perspective. J Am Acad Audiol. 2001 Apr;12(4):202-14.
13. Ricketts TA, Dittberner AB. Directional amplification for improved signal-to-noise ratio: Strategies, measurements, and limitations. In: Valente M, editor. Hearing Aids: Standards, Options and Limitations. 2nd ed. New York: Thieme Medical Publishers; 2002. p. 274-346.
14. Ricketts T, Henry P. Evaluation of an adaptive, directional-microphone hearing aid. Int J Audiol. 2002 Mar;41(2):100-12. DOI: 10.3109/14992020209090400
15. Deutsches Institut für Normung. DIN EN ISO 8253-3 Akustik – Audiometrische Prüfverfahren – Teil 3: Sprachaudiometrie. Berlin: Beuth Verlag; 2012.
16. Nasreddine ZS, Phillips NA, Bédirian V, Charbonneau S, Whitehead V, Collin I, Cummings JL, Chertkow H. The Montreal Cognitive Assessment, MoCA: a brief screening tool for mild cognitive impairment. J Am Geriatr Soc. 2005 Apr;53(4):695-9. DOI: 10.1111/j.1532-5415.2005.53221.x
17. Kayser H, Ewert SD, Anemüller J, Rohdenburg T, Hohmann V, Kollmeier B. Database of multichannel in-ear and behind-the-ear head-related and binaural room impulse responses. EURASIP J Adv Signal Process. 2009; 2009:6. DOI: 10.1155/2009/298605
18. Deutsches Institut für Normung. DIN EN ISO 389-8 Akustik – Standard-Bezugspegel für die Kalibrierung audiometrischer Geräte – Teil 8: Äquivalente Bezugs-Schwellenschalldruckpegel für reine Töne und circumaurale Kopfhörer. Berlin; Beuth Verlag; 2004.
19. Elko GW, Pong ATN. A simple adaptive first-order differential microphone: Proceedings 1995 Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics. New York: IEEE; 1995. p. 169-72. DOI: 10.1109/ASPAA.1995.482983
20. Hoppe U. Hörgeräteerfolgskontrolle mit dem Freiburger Einsilbertest [Evaluation of hearing aid rehabilitation using the Freiburg Monosyllabic Test]. HNO. 2016 Aug;64(8):589-94. DOI: 10.1007/s00106-016-0178-y
21. Holube I, Winkler A, Nolte-Holube R. Modellierung der Reliabilität des Freiburger Einsilbertests in Ruhe mit der verallgemeinerten Binomialverteilung. Z Audiol. 2018; 57(1): 6-17.
22. ITU. ITU Recommendation G.227 – Conventional telephone signal. Geneva: ITU; 1993 [Stand: 2020 Jan 13]. Available from: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.227-198811-l/en>
23. Grimm G, Ewert S, Hohmann V. Evaluation of spatial audio reproduction schemes for application in hearing aid research. Acta Acust United Acust. 2015; 101(4): 842-54. DOI: 10.3813/AAA.918878
24. Hagerman B, Olofsson Å. A method to measure the effect of noise reduction algorithms using simultaneous speech and noise. Acta Acust United Acust. 2004; 90(2): 356-61.
25. Holube I. Experimente und Modellvorstellungen zur Psychoakustik und zum Sprachverstehen von Normal- und Schwerhörigen [Dissertation]. Göttingen: Georg-August-Universität; 1993.
26. Dirks DD, Wilson RH. The effect of spatially separated sound sources on speech intelligibility. J Speech Hear Res. 1969 Mar;12(1):5-38. DOI: 10.1044/jshr.1201.05
27. Festen JM, Plomp R. Effects of fluctuating noise and interfering speech on the speech-reception threshold for impaired and normal hearing. J Acoust Soc Am. 1990 Oct;88(4):1725-36. DOI: 10.1121/1.400247
28. Xiang J, McKinney MF, Fitz K, Zhang T. Evaluation of sound classification algorithms for hearing aid applications. In: IEEE International conference on acoustics, speech and signal processing; 2010; Dallas, Texas.

Korrespondenzadresse:

Maximilian Kerner

Jade Hochschule, Institut für Hörtechnik und Audiologie,
Ofener Str. 16/19, 26121 Oldenburg, Deutschland
maximilian.kerner@alum.uni-oldenburg.de

Bitte zitieren als

Kerner M, Winkler A, Holube I. Untersuchung des Einflusses der Störgeräuschrichtung auf das Sprachverstehen mit Richtmikrofonsystem. GMS Z Audiol (Audiol Acoust). 2021;3:Doc05. DOI: 10.3205/zaud000017, URN: urn:nbn:de:0183-zaud0000175

Artikel online frei zugänglich unter

<https://www.egms.de/en/journals/zaud/2021-3/zaud000017.shtml>

Veröffentlicht: 30.06.2021

Copyright

©2021 Kerner et al. Dieser Artikel ist ein Open-Access-Artikel und steht unter den Lizenzbedingungen der Creative Commons Attribution 4.0 License (Namensnennung). Lizenz-Angaben siehe <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.