

Zur Verringerung der Sprachverständlichkeit

durch Mund-Nasen-Schutz-Maßnahmen gegen COVID-19-Infektionen unter praxisnahen raumakustischen Bedingungen

Klaus-Hendrik Lorenz-Kierakiewicz

Die für diese Untersuchung durchgeführten Messungen ergaben, dass durch die Verwendung von Mund-Nasen-Schutz-Maßnahmen (MNS) unter Praxisbedingungen Verringerungen der Sprachverständlichkeit resultieren, die im Nahbereich akzeptabel ausfallen können, zumindest in Räumen mit ausreichend Absorption, deren Nachhallpegel und Nachhallzeit nicht zu hoch liegen. In größeren Abständen jedoch und insbesondere in Räumen mit einem zu hohen Nachhallpegel, verursacht durch zu wenig Absorption für eine ausreichende Sprachverständlichkeit, erschweren die Eigenschaften der MNS-Maßnahmen die sprachliche Kommunikation zusätzlich. Insbesondere verringert die Kombination von Masken mit weiteren Maßnahmen wie Schirmen oder Visieren (Reihenschaltung) die Sprachverständlichkeit, wobei die Verringerung umso stärker ausfällt, je geringer die Sprachverständlichkeit aufgrund der raumakustischen Verhältnisse auch ohne MNS-Maßnahmen bereits ist.

Die einzelnen MNS-Maßnahmen und Kombinationen davon zeigen charakteristische Einfügedämpfungen des Direktschalls und je nach Maßnahme ausgeprägte, charakteristische Dämpfungsspektren und stellen in Bezug auf die Sprachverständlichkeit einen zusätzlichen Malus im physikalischen Übertragungsweg an der Sendeseite dar.

Besonders nachteilig für größere Abstände unter widrigen raumakustischen Bedingungen ist der Einsatz eines Visiers zusätzlich zu Masken, da es hochfrequente Nutzenergie in das Nachhallfeld umleitet. So werden nicht nur potenziell infektiöse Tröpfchen, sondern auch hochfrequente Direktschallanteile effektiv blockiert.

Das Ausmaß der Verringerung der Sprachverständlichkeit durch MNS-Maßnahmen liegt dabei in der Größenordnung wie Nicht-Muttersprachlichkeit [5].

Einführung

Derzeit sieht sich die Menschheit der Pandemie der SARS-CoV-2 Coronavirus-Krankheit-2019 (COVID-19) ausgesetzt. Als inzwischen allgegenwärtige Maßnahme ist ein Tragen von Mund-Nasen-Schutz-

Reduction of Speech Intelligibility by Mouth and Nose Protection Masks

The measurements performed for this examination reveal, that the use of mouth and nose masks and measures in practical circumstances results in reductions of speech intelligibility. These reductions can be acceptable in near field distances at least in rooms with enough absorption, where reverberation time and level are not too high.

However, in larger distances between speaker and receiver and especially in rooms with a reverberation level too high caused by an insufficient absorption to achieve adequate speech intelligibility, the properties of mouth and nose masks and measures reduce the communication further. Especially serial combinations of masks with shields or screens diminish the speech intelligibility even more, whereby the reduction is all the higher the lower the speech intelligibility is due to the room acoustical conditions even without additional masks or measures.

The mouth and nose masks and measures and combinations exhibit characteristic insertion attenuations to the direct sound and dependent on the measure characteristic attenuation spectra, and regarding speech intelligibility act as additional malus in the physical transmission path near the source.

Detrimental at larger distances between speaker and receiver within adverse room-acoustical conditions is the use of face shields additional to protection masks especially, because it redirects high-frequency useful direct energy into the reverberation field blocking not only the potential infective aerosols and droplets, but also the high-frequency direct sound components effectively.

The extent of the reduction of the speech intelligibility by mouth and nose masks and measures is comparable to the reduction of intelligibility in a foreign language, see e.g. [5].

Maßnahmen zur Reduktion der Verbreitung des Erregers über deren Hauptübertragungsweg – die respiratorische Abgabe und Aufnahme virushaltiger Flüssigkeitspartikel (Tröpfchen bzw. Aerosole), die beim Atmen, Sprechen, Singen, Husten und Niesen

entstehen – häufig verpflichtend, z. B. in Schulen, Geschäften und dem öffentlichen Personennahverkehr. Die zu verwendenden Mund-Nasen-Schutz-Maßnahmen sind dabei von mannigfaltiger Form und Ausführung (Einweg-Alltagsmasken, Baumwollmasken, FFP2-Masken mit und ohne Filter etc.). Eine Reihe davon wurde in die nachfolgend beschriebene Untersuchung einbezogen. Auf eine nähere Betrachtung von Schalls jedweder Art wurde dabei jedoch verzichtet. Verwandte Maßnahmen sind Visiere / Face Shields und transparente Scheiben (Screens), wie sie von der Anbringung an Kassen, Schaltern und Verkaufstresen bekannt sind, sowie die Verwendung von mehr als einer Schutzmaßnahme zugleich nach Art einer Reihenschaltung, z. B. von Einwegmasken und Scheiben, oder Visieren mit Baumwoll-Masken. Man könnte sagen, Mund-Nase-Schutz-Maßnahmen sind vor beinahe aller Munde, und den jüngsten Entwicklungen zufolge wird sich daran wohl so schnell auch nicht viel ändern. Verbunden mit der Verwendung solcher MNS-Maßnahmen ist eine auch für Laien deutlich hör- und wahrnehmbare Verringerung der Sprachverständlichkeit, welche bislang in Vor-Pandemiezeiten unter Laborbedingungen für medizinische Masken, z. B. aus dem OP-Gebrauch betrachtet wurden [1, 2]. Die alltägliche Erfahrung zeigt, dass diese merkliche Verringerung der Sprachverständlichkeit z. T. recht erhebliche Ausmaße annehmen kann, wenn solche Maßnahmen in alltäglichen Umgebungen eingesetzt werden. Das mag neben anderen Ursachen mit ein Grund dafür sein, dass trotz eines dann höheren Infektionsrisikos insbesondere Mund-Nase-Schutzmasken auch wieder abgesetzt werden, um die gewohnte und gewünschte Verständlichkeit wieder herzustellen (was aus infektionsmedizinischer Sicht natürlich nicht zu empfehlen ist).

Ziel der in diesem Beitrag vorzustellenden Untersuchung ist es, Aussagen zum Ausmaß der Verschlechterung der messbaren Indikatoren der Sprachverständlichkeit durch Mund-Nase-Schutzmaßnahmen treffen zu können.

Abb. 1: Ansicht von Messlautsprecher und Einwegmaske samt Scheibe im Zweipersonenbüro



Zur Untersuchung des Verlusts der Sprachverständlichkeit durch die betrachteten Mund-Nasen-Schutz-Maßnahmen in alltäglich genutzten Räumen unterschiedlicher Größe und Nachhallzeit wurden messtechnisch die Effekte von verschiedenen Schutzmaßnahmen in verschiedenen Räumen, Entfernungen und Kombinationen auf die Werte der Indikatoren der Sprachverständlichkeit Speech Transmission Index (STI) nach DIN EN IEC 60268-16 [3] und Articulation Loss of Consonants (AL_{cons}) [4]) erfasst. Dabei erwies sich, dass die Mund-Nase-Schutz-Maßnahmen nach Art einer frequenzabhängigen Einfügedämpfung mit Auswirkungen auf die Richtcharakteristik direkt in den physikalischen Übertragungsweg von Sprachschall auf dem akustischen Übertragungsweg zwischen Sender (Mund des Sprechers) und Hörer eingebracht werden und diesen zu Ungunsten der Sprachverständlichkeit beeinflussen.

Durchführung der Messungen der Indikatoren der Sprachverständlichkeit

Zur messtechnischen Untersuchung der Indikatoren der Sprachverständlichkeit wurden Impulsantworten des Messaufbaus in festen Abständen und Kombinationen aus vier verschiedenen Mund-Nase-Schutz-Masken (siehe Abb. 1, 3, 4, 6), eines Schutzvisiers („Face Shield“, Abb. 5) und einer Schutzscheibe („Screen“, eine handelsübliche, transparente Scheibe mit den Abmessungen 500x500x2 mm, siehe Abb. 1, 3, 4) in den fünf unterschiedlichen Räumen insgesamt sechs Zuständen gemessen und daraus die Messgrößen STI und AL_{cons} aus den gemessenen Impulsantworten im Messsystem bestimmt.

Um die Mund-Nase-Schutz-Maßnahmen realitätsnah zum Einsatz und – wie in der Realität auch mit mehr oder weniger gutem Sitz – anbringen zu können, wurde ein Messlautsprecher in einen Kunstkopf eingepasst (Abb. 2). In jeder Messsituation wurde zunächst der Zustand nur mit Messlautsprecher ohne Schutzmaßnahmen als Referenzwert erfasst.

Abb. 2: Ansicht des Messlautsprechers im Besprechungsraum, 4 m Abstand



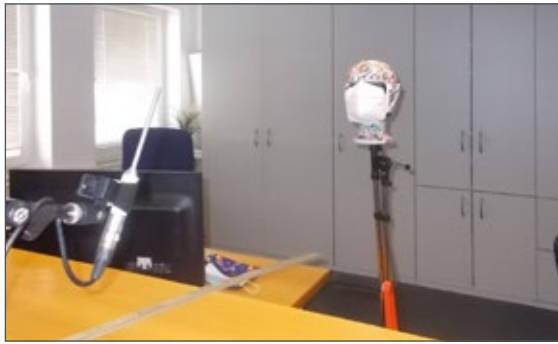


Abb. 3: Ansicht von Messlautsprecher im Kunstkopf mit FFP2-Einwegmaske „KN95“ am Empfang, 1 m Abstand

Für jeden der fünf betrachteten Räume

- Zweipersonenbüro
- Besprechungsraum
- Empfang
- Treppenhaus (wie vorgefunden und in modifizierter Situation)
- Kirche als Stellvertreter für hallige Räume wie z. B. größere Bau- und Supermärkte

und jede der maximal vier Entfernungen (1 m, 2 m, je nach Raum auch 4 m und 8 m) wurden verschiedene Kombinationen von Schutzmaßnahmen auf ebensolche Weise messtechnisch erfasst. Die Wahl der Masken bzw. der Schutzmaßnahmen, sowie der Kombinationen davon erfolgte auf Grund der Nutzung des Raumes und der damit verbundenen Art und dem Umfang der Schutzmaßnahmen, wie sie auch in der Praxis vorkommen können und je nach Umgebung alltäglich sind.

Zur Messung der Indikatoren der Sprachverständlichkeit wurden die mit einem Tiefpassfilter auf das Sprachspektrum vorgefilterten Messsignale (Maximalfolge vom Grad 16, $F_s = 36 \text{ kHz}$) des Messsystems MLSSA 10 WI Rev9 verwendet. Diese wurden auf einen breitbandigen und in Bezug auf seine Richtcharakteristik einem Kopf ähnlichen Messlautsprecher gegeben (3 Zoll-Chassis AuraSound NS3-193-8A1 in geschlossenem Lautsprechergehäuse aus Aluminium mit den Abmessungen von ca. $102 \text{ mm} \times 102 \text{ mm} \times 115 \text{ mm}$).

Abb. 5: Ansicht von Messlautsprecher mit Baumwollmaske und Visier in Treppenhaus, 2 m Abstand



Abb. 4: Ansicht von Messlautsprecher mit Baumwollmaske samt Trennscheibe in der Kirche

Der sonst üblicherweise für Messungen des Indikators für Sprachverständlichkeit STIPA verwendete Lautsprecher NTI Talkbox wäre mit einer Projektionsfläche von ca. $15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$ zu groß gewesen, um von üblichen Mund-Nase-Masken ausreichend bedeckt werden zu können. Von dem Messlautsprecher in 1,5 m Höhe über Fußbodenoberkante (FOK) wurden mit einem Schalldruckpegel von 60 dB(A) in 1 m Abstand (keine erhobene Stimmstärke) die Testsignale abgestrahlt. In einer Höhe über FOK von 1,2 m (für sitzende Position) bzw. 1,5 m (für stehende Position) wurden die durch Maßnahmen und Raum modifizierten Signale von einem 1/4-Zoll Klasse-1 Messmikrofon (Esper K4 mit Messkapsel Sennheiser KE4-211-2, phantomgespeist und vorverstärkt mit $+30 \text{ dB}$ über ein Audio Interface AI 110 von Stage Accompany) registriert. Die Empfangspositionen befanden sich linear in Hauptabstrahlrichtung des Lautsprechers (0°) in 1 und 2 m Abstand, im Treppenhaus und Besprechungsraum auch in 4 m Entfernung, so-

Abb. 6: Ansicht von Kopf mit FFP2-Einwegmaske mit Filter im modifizierten Treppenhaus, 1 m Abstand



wie in der Kirche auch in 4 und 8 m Abstand vom Sender (Abbildung 7).

Untersuchte Prüflinge: MNS-Maßnahmen

Folgende Mund-Nasen-Schutz-Maßnahmen und Kombinationen davon wurden auf ihre die Sprachverständlichkeit verringernde Wirkung gegenüber der Referenz (in den Kopf eingelassener Messlautsprecher ohne zusätzliche Maßnahmen) untersucht, siehe Tabelle 1 und Abbildungen 1 bis 6.

Beschreibung der betrachteten Messräume

Es wurde in fünf unterschiedlichen Räumen in insgesamt sechs Zuständen gemessen, welche im Folgenden beschrieben werden (siehe Tabelle 2). Als worst-case-Szenario wurde ein Kirchenraum als Beispiel für große hallige Räume, wie Bau- oder Supermärkte, betrachtet. Die Grundrisse der verwendeten Räume sind Abbildungen 7 und 8 zu entnehmen, Ansichten den Abbildungen 1 bis 6. Die frequenzabhängigen Nachhallzeiten der Messsituationen der betrachteten Räume und Raumzustände sind Abbildung 9 zu entnehmen, die bei den Messungen vorherrschenden Hintergrundschallpegel Abbildung 10.

Kirche und Treppenhaus bestehen im Wesentlichen aus Massivbauteilen mit Fensteranteil; Zweipersonen-Büro, Besprechungsraum und Empfangsbereich aus tapezierten Massivwänden mit Lochfassade und einer Abhangdecke mit dem bewerteten Schallabsorptionsgrad von ca. $\alpha_w \sim 0,65$, sowie nutzungsüblichem Holzwerkstoffmobiliär; im Büroraum kommt noch ein Teppichboden aus Nadelfilz hinzu.

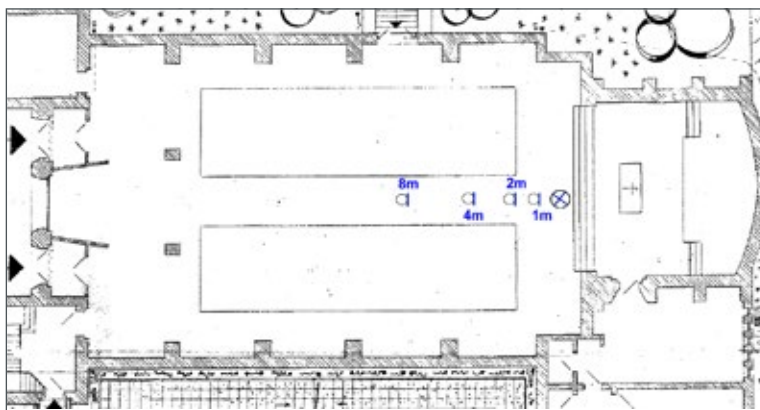


Abb. 7: Grundriss der Kirche St. Antonius in Düsseldorf-Hassels mit Messpositionen 1 bis 8 m

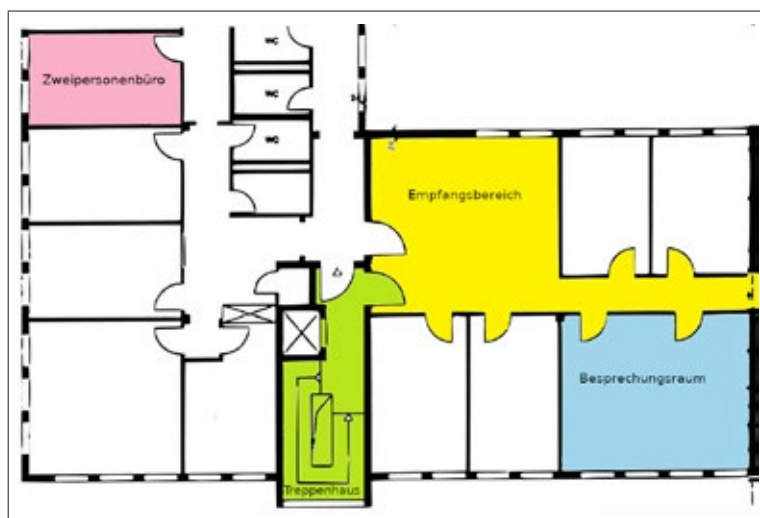


Abb. 8: Grundrisse der Messräume Büro, Besprechungsraum, Empfang und Treppenhaus

Tab. 1: Untersuchte Prüflinge: MNS-Maßnahmen und Kombinationen davon

Nr.	Prüfling	Typ	Beschreibung	siehe Abbildung
1	Einweg-Maske	Disposable Face Mask	soft skin	1
2	Baumwoll-Maske	Heimvertrieb Bonn-Oberkassel	11 cm x 22 cm, dreilagig	4
3	FFP2-Maske	Wisent BAU 4840 V FFP2 NR D	mit Filter	6
4	FFP2-Einwegmaske	KN95 FFP2 NR	Aufdruck „KN 95“	3
5	Transparente Scheibe	OttoWolff OWOCOR(R)	0,5 m x 0,5 m x 2 mm	1, 4
6	Face Shield / Schutzvisier	Distributor Conrad Electronic SE	32g, Antibeschlag-Schutz	5
7	Einwegmaske+Scheibe	1. + 5.		
8	Einwegmaske +Visier	1. + 6.		
9	Baumwollmaske + Scheibe	2. + 3.		4
10	Baumwollmaske + Visier	1. + 6.		5

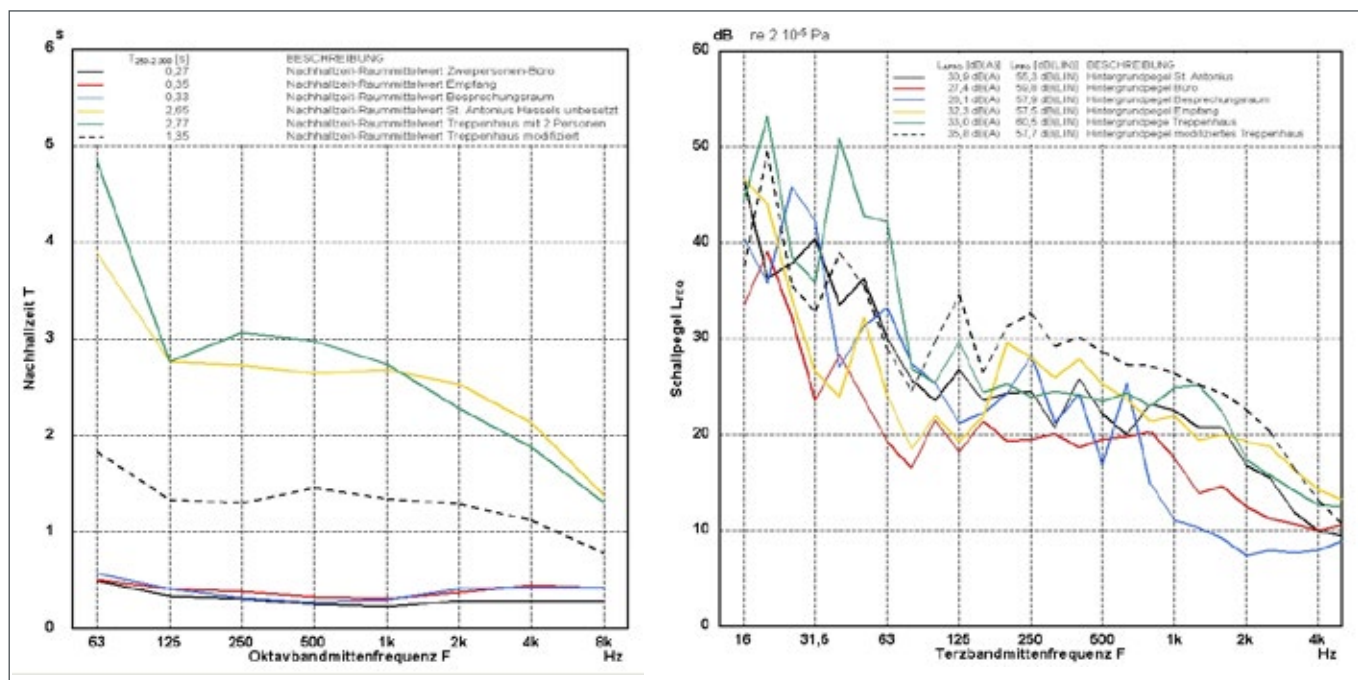


Abb. 9 und 10: Nachhallzeit-Raummittelwerte der untersuchten Räume / Zustände in Oktavbändern und Hintergrundpegelspektren der untersuchten Räume / Zustände in Terzbändern.

Der Besprechungsraum verfügt über drei Breitband-Absorbermodule ($0,6\text{ m} \times 0,6\text{ m} \times 0,14\text{ m}$) aus Mineralwolle, bespannt mit einem akustisch durchlässigen Bespannstoff, und Laminatboden sowie vollflächigen Untertischabsorbern aus Schaumstoff der Dicke 30 mm. Das Treppenhaus, im vorgefundenen Zustand sehr hallig mit hohen Werten von Nachhallzeit und Stärkemaß, wurde im Nachgang der ersten Messungen durch den Einsatz von acht mobilen Breitbandabsorbermodulen aus bespannter Mineralwolle der Abmessungen $0,6\text{ m} \times 0,6\text{ m} \times 0,14\text{ m}$ (drei Stück) und $0,8\text{ m} \times 0,8\text{ m} \times 0,14\text{ m}$ (fünf Stück) temporär raumakustisch behandelt (siehe Abbildung 6), indem diese Breitbandabsorber radial in den Raumkanten auf dem Boden positioniert wurden. Somit konnten dem Raum $8,5\text{ m}^2$ Absorberfläche temporär für erneute

Messungen hinzugefügt und damit die Absorptionsmenge darin (inkl. 2 Personen) nahezu verdoppelt werden, um einen in Bezug auf die Nachhallzeit und den Nachhallpegel deutlich weniger halligen Raumzustand zusätzlich erfassen zu können (siehe Tabelle 1). Bekanntlich sind die ersten Quadratmeter Absorptionsfläche die effektivsten ($T_{\text{diff}} \sim 1/A$). (Nebenbemerkung: Ein vergleichbarer Effekt kann erreicht werden, wenn in einem Treppenhaus mit ansonsten reflektierender Ausstattung die Untersichten der Podeste gut absorbierend ausgestattet werden, um dem Raum ökonomisch ein Mindestmaß an Absorberfläche zu verleihen). Der in Tabelle 2 aufgeführte Wert des theoretischen Stärkemaßes G_{theo} wurde hier simplifizierend zur Orientierung aus der modifizierten Diffusfeldtheorie nach Kuttruf und Barron bestimmt.

Tab. 2: Messtechnisch betrachtete Räume und deren Daten

Raum	Länge L [m]	Breite B [m]	Höhe H [m]	Volumen V [m ³]	Störpegel L_{AFEQ} [dB(A)]	Nachhallzeit $T_{30\text{Mid}}$ [s]	G_{theo} [dB]	Abbildung
Zweipersonen-Büro	5,1	3,2	2,5	40	27	0,26	+23	1
Besprechungsraum	6,4	4,9	2,5	78	28	0,33	+21	2
Empfangsbereich	6,4	5,9	2,5	95	32	0,34	+21	3
St. Antonius Hassels	35,0	16,5	10,6	5.300	31	2,65	+12	4
Treppenhaus	4,8	3,0	9,6	140	33	2,77	+28	5
Treppenhaus, modif.	4,8	3,0	9,6	140	36	1,35	+25	6

In der Kirche wurde in anderweitigen Messungen ein Stärkemaß G_{10m} (1 kHz) von +10,7 dB messtechnisch im hier auch vorliegenden unbesetzten Zustand ermittelt. Für die anderen Räume liegt der für die Ermittlung des Stärkemaßes maßgebliche Abstand 10 m von der Quelle entfernt außerhalb der Räume, weshalb die Angabe informativen und illustrativen Charakter bezüglich der Stärke der vorliegenden Nachhallfelder hat.

Messergebnisse

Für die einzelnen MN-Schutz-Maßnahmen und Kombinationen davon ergaben sich dabei in den verschiedenen Räumen bzw. raumakustischen Bedingungen charakteristische Reduktionen der Sprachverständlichkeit und damit einhergehend Verringerungen des STI-Wertes und Erhöhungen des AL_{cons} . Im Folgenden sind in den Abbildungen 11 bis 16 die Messergebnisse des STI und AL_{cons} mit den

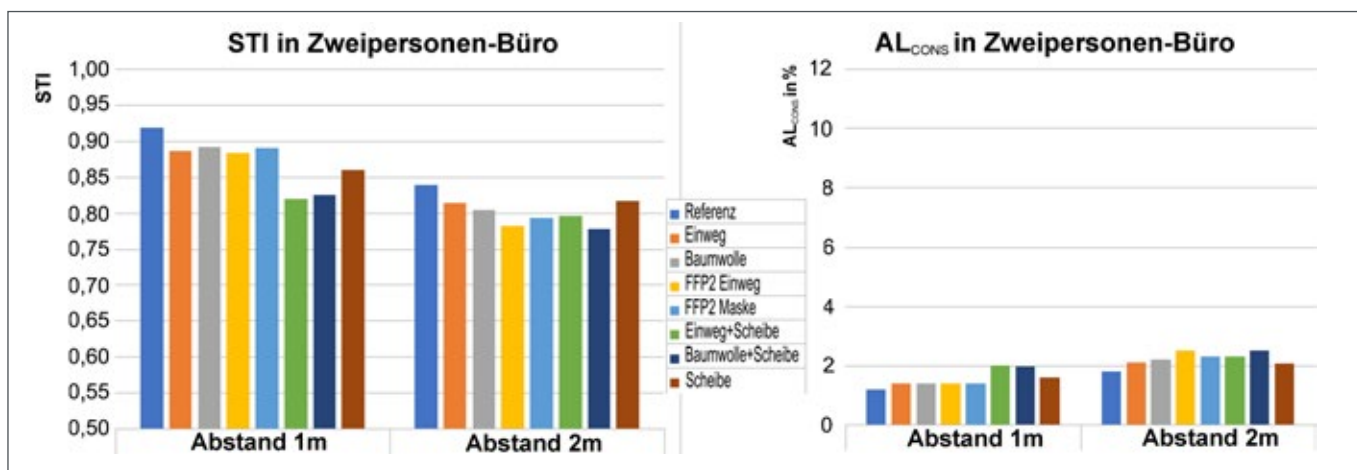


Abb. 11: Messwerte Indikatoren der Sprachverständlichkeit STI, AL_{cons} im Zweipersonenbüro

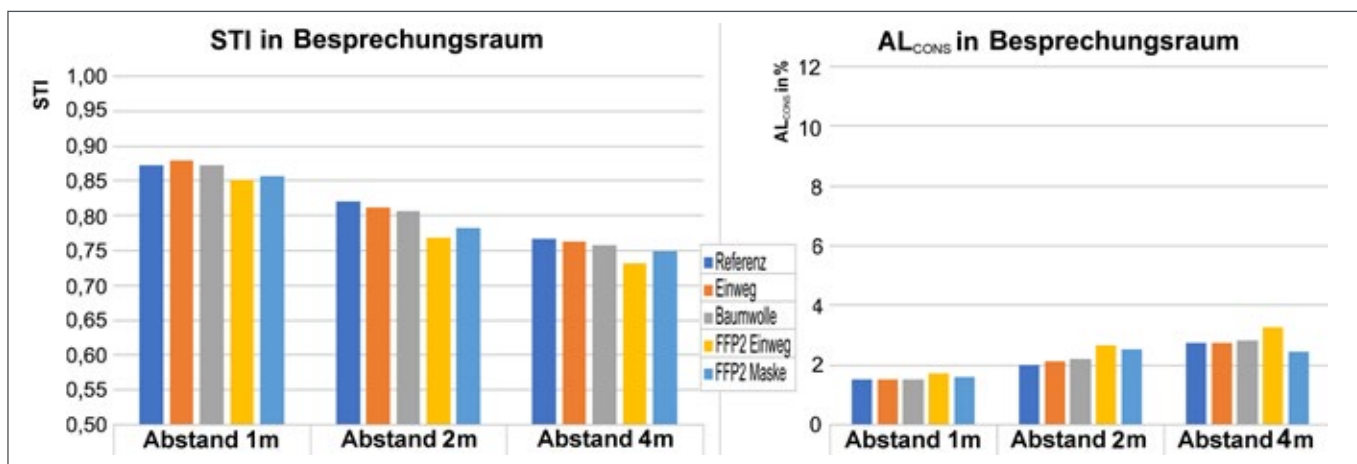


Abb. 12: Messwerte Indikatoren der Sprachverständlichkeit STI, AL_{cons} im Besprechungsraum

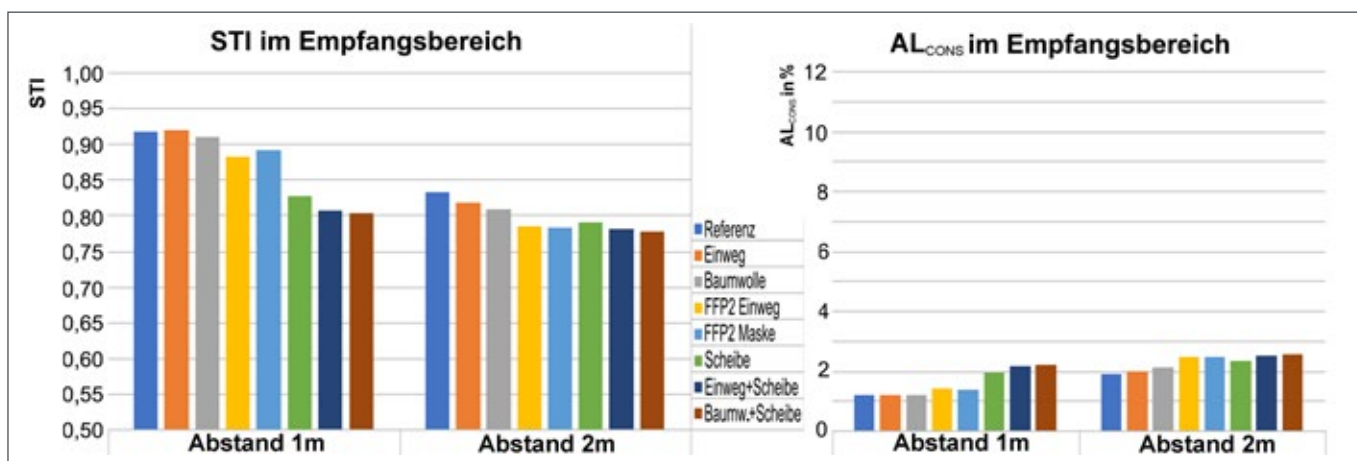
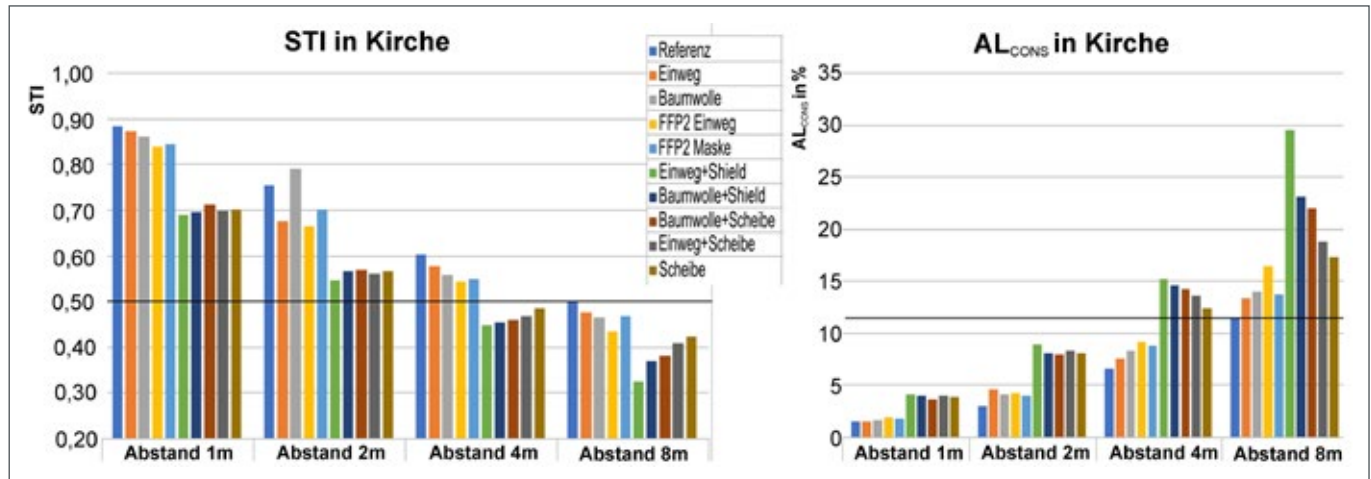
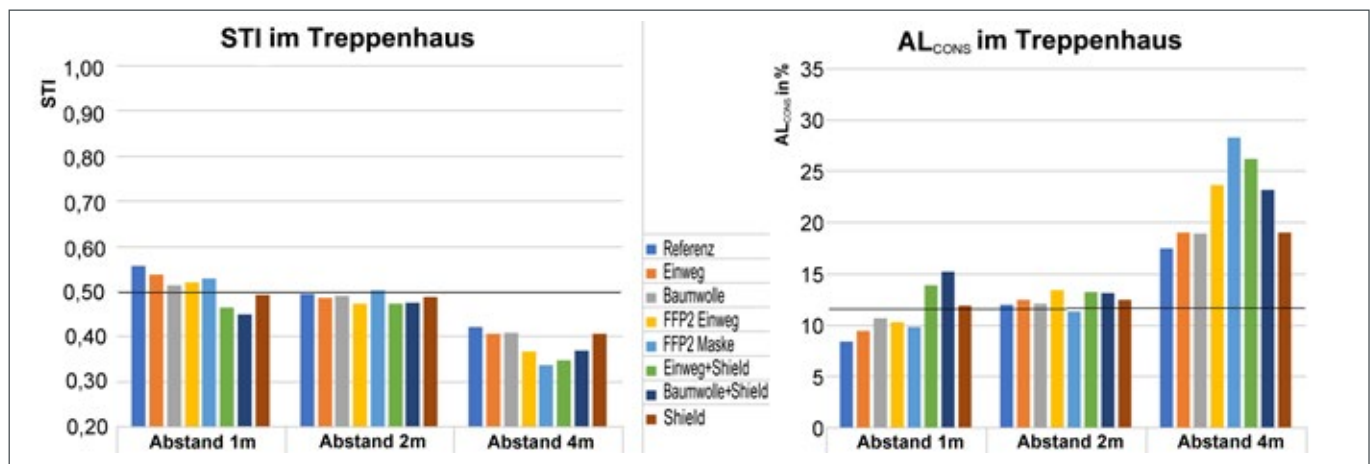
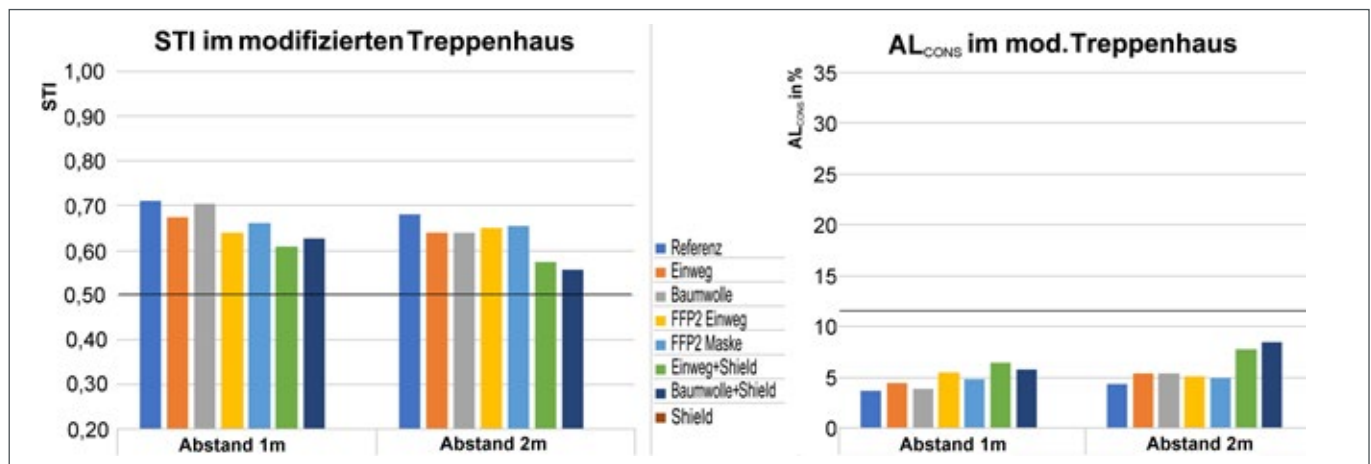


Abb. 13: Messwerte Indikatoren der Sprachverständlichkeit STI, AL_{cons} im Empfangsbereich

Abb. 14: Messwerte Indikatoren der Sprachverständlichkeit STI, AL_{CONS} in der Kirche St. AntoniusAbb. 15: Messwerte Indikatoren der Sprachverständlichkeit STI, AL_{CONS} im TreppenhausAbb. 16: Messwerte Indikatoren der Sprachverständlichkeit STI, AL_{CONS} im modifizierten Treppenhaus

untersuchten MNS-Maßnahmen in den betrachteten Räumen bzw. Raumzustände in Balkendiagrammen dargestellt.

Die Ergebnisse lassen sich zusammenfassen wie folgt:

- Die Einweg- und die Baumwollmaske verringern die Sprachverständlichkeit am geringsten – dies entspricht auch der alltäglichen Wahrnehmung;
- die FFP2-Masken verringern die Sprachverständlichkeit stärker, da dichter / mit Filter;

- die Maßnahmen Visier und Scheibe blockieren den Direktschall z. T. signifikant;
- in Kombination ergeben sich deutlich stärkere Verringerungen der Sprachverständlichkeit;
- je schlechter die raumakustischen Bedingungen für die Sprachverständlichkeit sind (geringes Direktschall-Nachhallverhältnis), desto stärker verringern alle betrachteten Maßnahmen die Sprachverständlichkeit, insbesondere die Maß-

nahmenkombinationen;

- sind die raumakustischen Bedingungen günstig für Sprachverständlichkeit (geringe Nachhallzeiten, also ausreichend Absorption im Raum), ist die Verringerung der Sprachverständlichkeit durch die MNS-Maßnahmen in einem akzeptablen Bereich für normalhörende Muttersprachler.

Je nach räumlichen Bedingungen und Abstand kann so bei einem physikalischen Übertragungsweg, welcher in Bezug auf die Sprachverständlichkeit als noch ausreichend verständlich zu bewerten ist, durch MNS-Maßnahmen und insbesondere Maßnahmenkombinationen eintreten, dass eine Bewertung als ausreichend sprachverständlich ($STI > 0,45$ bzw. $ALcons < 15\%$) nicht mehr möglich ist. Solche Übertragungswege sind dann nicht mehr ausreichend verständlich, was dazu führen mag, dass intuitiv Kompensationsmaßnahmen in solchen Situationen ergriffen werden können, wie z.B. eine Verringerung des Abstands oder gar ein Abnehmen der MNS, wenn das Gegenüber darauf hinweist, dass man nicht verstanden wird - beides ist natürlich aus infektionstechnischer Sicht keine gute Idee.

Das Ausmaß der Verringerung der Sprachverständlichkeit durch MNS-Maßnahmen liegt dabei in der Größenordnung wie Nicht-Muttersprachlichkeit [5]. Wenn diese oder Schwerhörigkeit noch hinzukommen, kann durch die Verwendung der MNS-Maßnahmen die Sprachverständlichkeit je nach raumakustischen Bedingungen stark beeinträchtigt werden. Mit einer Kombination von MNS-Maßnahmen dürften insbesondere inklusive Nutzungen

bezüglich der Sprachverständlichkeit problematisch werden, zumal eine Verwendung von Masken auch das Lippenlesen unmöglich macht.

Zur akustischen Wirkung der MNS

Zur Analyse der Ursachen der Verringerung der Sprachverständlichkeit durch die MNS-Maßnahmen wurden die in 1 m vom Lautsprecher durchgeführten Impulsantwortmessungen aus dem Raum mit dem geringsten Nachhallpegel (dem Kirchenraum) auf ihren Einfluss auf Übertragungspegel und -frequenzgang untersucht, und zwar sowohl in Bezug auf die Pegelreduktion als Einfügedämpfung des Gesamt- und des Maximal(=direkt)pegels der Impulsantworten. Dazu wurden die Gesamtpegel der Raumimpulsantworten im kalibrierten Maximalfolgensystem ermittelt, sowie die Abnahme der Pegel der Direktschallanteile (siehe Tabelle 3). Die Direktschallanteile wurden außerdem frequenzabhängig in einer 512-Punkte-FFT untersucht und die resultierenden geglätteten Direktschallspektren in Abbildung 17 überlagert dargestellt.

Die akustische Wirkung der MNS auf den Übertragungsweg besteht also im Wesentlichen aus einer gewissen, maßnahmenspezifischen Pegelverringern (Einfügedämpfung) und einer für die Maßnahmen bzw. -kombination charakteristischen Wirkung als Tiefpassfilter mit je nach Maßnahme ausgeprägter Höhenreduktion (siehe Abbildung 17). Ferner ist von einer starken Beeinflussung der Richtcharakteristik auszugehen, die hier aber nicht näher im Detail betrachtet wurde, auch wenn die Veränderung der Richtcharakteristik mit Maske und Visier sicher

Tab. 3: Einfügedämpfung der MNS-Maßnahmen und -kombinationen, Einzahlwerte [dB]

Maßnahme / Maßnahmenkombination	Gesamtpegel L_F in 1 m [dB(LIN)]	Pegelabnahme ΔL gesamt [dB(LIN)]	Pegelabnahme ΔL Direktschall [dB(LIN)]
keine Maßnahme	64,8 (=60 dB(A))	Referenz	Referenz
Baumwollmaske	63,4	-1,4	-1,0
Einwegmaske	63,2	-1,6	-0,7
FFP2-Maske KN95	62,2	-2,6	-2,5
FFP2-Maske mit Filter	62,4	-2,4	-2,7
Transparente Scheibe	62,6	-2,2	-1,8
Einwegmaske + Scheibe	63,0	-1,8	-2,4
Baumwollmaske + Scheibe	62,3	-2,5	-2,6
Einwegmaske + Visier	63,0	-1,8	-1,4
Baumwollmaske + Visier	63,2	-1,6	-2,0

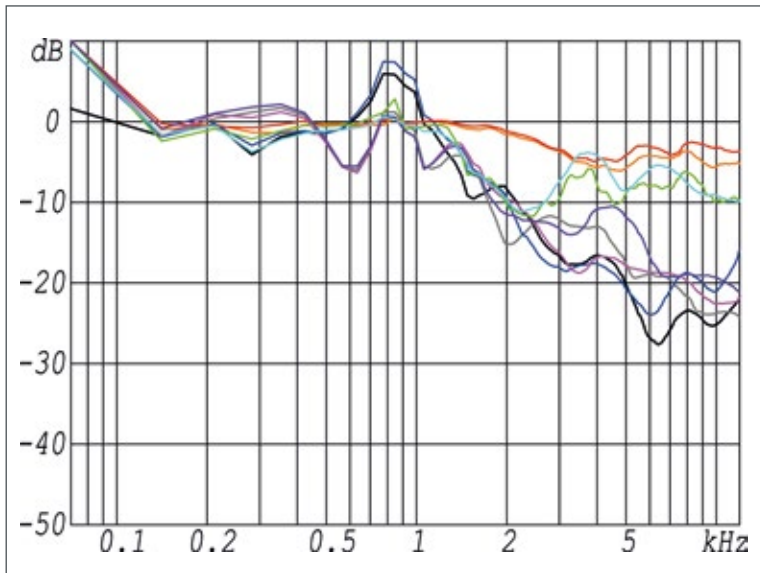


Abb. 17: Einfügedämpfungsspektren der Maßnahmen und Kombinationen; 0-dB-Linie: Referenz, alle in 1 m Abstand, 512-Punkte-FFT, geglättet; rot: Einwegmaske; orange: Baumwollmaske; cyan: FFP2-Maske mit Filter; grün: FFP2-Maske KN95; violett: Scheibe alleine; grau: Baumwollmaske + Scheibe; pink: Einwegmaske + Scheibe; blau: Einwegmaske + Visier; schwarz: Baumwollmaske + Visier.

hochinteressant wäre, da sie zu einer Verringerung des Direktschalls und einer Erhöhung des Diffusschalls führt, und zwar bei der Scheibe und insbesondere dem Visier:

In beiden Fällen werden sicherlich hochfrequente Anteile auch an harten Kanten gebeugt, aber ein größerer Teil der Direktenergie eben auch blockiert bzw. unter Erhöhung des Diffusschalls umgeleitet. Eine Auswirkung ist eine in den halligen zwei Raumbeispielen deutliche Beeinflussung der Werte des Parameters Deutlichkeitsmaß C_{50} , welche unter raumakustisch widrigen Bedingungen, wie der Kirche oder dem unmodifizierten Treppenhaus, in Abhängigkeit der verwendeten MNS-Maßnahme durchaus um mehrere dB zusätzlich abnehmen.

Diese Eigenschaften der MNS-Maßnahmen führen also konform einer informationstheoretischen Beschreibung der Sprachverständlichkeit zu einem zusätzlichen reduzierenden multiplikativen Faktor der Wahrscheinlichkeit der korrekten Erkennung des Gesprochenen, siehe z. B. [4].

Ausblick: Möglichkeiten für Kompensationsmaßnahmenprinzipien

Wir werden wohl noch länger mit diesem Virus und auch mit den hier untersuchten und vergleichbaren MNS-Maßnahmen leben müssen, und somit auch mit Auswirkungen dieser Maßnahmen auf die Sprachverständlichkeit. Daher sei es an dieser Stelle erlaubt, auf mögliche Prinzipien für Kompensationsmaßnahmen hinzuweisen: Generell empfiehlt

es sich, bei der Verwendung von MNS-Maßnahmen langsamer und deutlicher zu sprechen und bewusster zu artikulieren – also den Part an der sprachlichen Informationsübertragung nach Möglichkeit zu verbessern, den man als Verwender von MNS-Maßnahmen selbst unter Kontrolle hat, inklusive einer spektral veränderten Sprechweise: mehr Energie für die hohen Frequenzen zugunsten der Konsonanten als bedeutungsunterscheidende Einheiten der lautsprachlichen Kommunikation. Einfach lauter zu sprechen, hilft mitnichten, den Pegelverlust durch die Einfügedämpfung zu kompensieren. Bei Maßnahmen, welche die Richtcharakteristik verändern, also insbesondere bei der Kombination von Schutzmasken und Visieren, kann lautes Sprechen insbesondere auch den Nachhallpegel erhöhen, was für die Sprachverständlichkeit kontraproduktiv ist. Da Lippenlesen durch Masken unmöglich gemacht wird und auch die Mimik stark beeinträchtigt wirkt, kann es ggf. situativ helfen, die Kommunikation durch Gesten zu unterstützen.

Zu hallige, für Sprache ungünstige Räume sollten und können mit ausreichend Absorption verständlicher gemacht werden – wie das Beispiel des hier durch wenige m² hinzugefügte Absorber modifizierten Treppenhauses zeigt, können gerade in Räumen mit sehr wenig Absorption durch geeignete raumakustische Maßnahmen wesentliche Verbesserungen der raumakustischen Randbedingungen erreicht werden, welche dafür sorgen können, dass die zusätzlichen Einbußen der Sprachverständlichkeit durch die MNS-Maßnahmen die resultierende Gesamtsprachverständlichkeit nicht inakzeptabel verschlechtern.

Bei der raumakustischen Planung von Räumen, in denen bekannterweise MNS-Maßnahmen verwendet werden, und der Anspruch einer ausreichenden Sprachverständlichkeit besteht, können bei der raumakustischen Planung von Maßnahmen strengere Anforderungen als Richtschnur dienen, als in normalen Situationen ohne diese Maßnahmen angesetzt würden, z. B. bei Räumen der Nutzungsklasse „A“ der DIN 18041:2016 [6] die Nutzungskategorien A3 bzw. A4 anstelle von A2 / A3.

Für Schwerhörige könnten auch mehr kleine lokale Induktionsanlagen z. B. an Schaltern in halligen Räumen mit widrigen raumakustischen Bedingungen realisiert werden.

Auch Beschallungsanlagen können Möglichkeiten der Kompensation darstellen, wenn sie auf den jeweiligen Raum und seine akustischen Eigenschaften sowie die zu versorgenden Wirkungsflächen gut angepasst geplant und realisiert werden.

Bei der Verwendung von Schutzscheiben sollten die harten Kanten nicht absorbierend ausgeführt wer-

den, um höheren Spektralanteilen die Möglichkeit zu lassen, an den Beugungskanten als neue Wellenfronten zur anderen Seite gebeugt abgestrahlt werden zu können.

Nicht zu empfehlen ist, für eine geringere Verschlechterung der Sprachverständlichkeit durchlässigere Masken zu verwenden oder auf die Verwendung von Mund-Nase-Schutz-Maßnahmen zu verzichten. Auch Abstandsverringerungen wären für den eigentlichen Zweck der MNS-Maßnahmen als Schutz vor Infektionen kontraproduktiv.

Vielleicht gelingt es ja findigen Produktentwicklern, Maßnahmen zu entwickeln, bei denen die Infektionswege sicher blockiert werden, die sprachliche Informationsübertragung jedoch nicht derart behindert wird wie mit einigen der hier untersuchten Maßnahmen. Dem Aspekt einer Begrenzung der Verringerung der Sprachverständlichkeit durch MNS-Maßnahmen sollte jedoch bei der Entwicklung neuer Produkte mehr Rechnung getragen werden.

Danksagung

Dank für die Unterstützung bei der Erstellung der diesem Beitrag zugrundeliegenden Untersuchungen gilt der Kath. Kirchengemeinde St. Antonius und Elisabeth in Düsseldorf-Hassels, den Herren Kevin

Behrens und Chris Erkal für die tatkräftige und engagierte Hilfe bei der Durchführung und Auswertung der Messungen und der Peutz Consult GmbH für das zur Verfügung Stellen von Räumlichkeiten und Messequipment.

Literatur

- [1] Radonovich, L. J. Jr.; Yanke, R.; Cheng, J.; Bender, B.: Diminished Speech Intelligibility Associated with Certain Types of Respirators Worn by Healthcare Workers. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, pp. 63-70, Taylor & Francis, London, Januar 2010.
- [2] Almiero, A. J.; Symons, D.; Morgan, J. W. III.; Shaffer, R. E.: Speech Intelligibility Assessment of Protective Facemasks and Air-Purifying Respirators. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, pp. 960-968, Taylor & Francis, London, Dezember 2016.
- [3] DIN EN 60268-16: 2012-05: Elektroakustische Geräte – Teil 16: Objektive Bewertung der Sprachverständlichkeit durch den Sprachübertragungsindex (IEC 60268-16:2011). Deutsche Fassung EN 60268-16:2011, Berlin, Beuth Verlag, 2012.
- [4] Peutz, V. M. A.; Kok, B.: Speech Intelligibility. 75th AES Convention Preprint 2089, pp. 1-19, Paris, März 1984.
- [5] Lorenz-Kierakiewicz, K.-H.: Werteänderungen von Indikatoren der Sprachverständlichkeit in nicht-muttersprachlichem Kontext. In: Fortschritte der Akustik – DAGA 2016, 42. Jahrestagung für Akustik, Aachen, S. 313-316.
- [6] DIN 18041: 2016-03: Hörsamkeit in Räumen – Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung. Berlin, Beuth Verlag, 2016. ■



Klaus-Hendrik Lorenz-Kierakiewicz
Peutz Consult GmbH,
Düsseldorf



Make better spaces with the complete software solution for room acoustics

Elegant and user friendly interface

Fast and reliable simulations and measurements

Available as: **B** Basics, **I** Industrial, **A** Auditorium & **C** Combined

Start your free trial at
www.odeon.dk

