

Dominik Börner, Cleopatra Christina Moshona, André Fiebig, Annika Thormann

Bewertung der Sprachverständlichkeit von Atemschutzmasken unter Berücksichtigung ihrer morphologisch-materiellen Eigenschaften

Open Access via institutional repository of Technische Universität Berlin

Document type

Conference paper | Published version

(i. e. publisher-created published version, that has been (peer-) reviewed and copyedited; also known as: Version of Record (VOR), Final Published Version)

This version is available at

<https://doi.org/10.14279/depositonce-15553>

Citation details

Börner, D.; Moshona, C. C.; Fiebig, A.; & Thormann, A. (2022): Bewertung der Sprachverständlichkeit von Atemschutzmasken unter Berücksichtigung ihrer morphologisch-materiellen Eigenschaften. In: AIA-DAGA 2022 : proceedings of the International Conference on Acoustics. Berlin: Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V. pp. 1342-1345.

Terms of use

This work is protected by copyright and/or related rights. You are free to use this work in any way permitted by the copyright and related rights legislation that applies to your usage. For other uses, you must obtain permission from the rights-holder(s).

Bewertung der Sprachverständlichkeit von Atemschutzmasken unter Berücksichtigung ihrer morphologisch-materiellen Eigenschaften

Dominik Börner¹, Cleopatra Christina Moshona², André Fiebig² und Annika Thormann³

¹ TU Berlin, Fachgebiet Audiokommunikation, E-Mail: d.boerner@campus.tu-berlin.de

² TU Berlin, Fachgebiet Technische Akustik

³ Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen

Einleitung

Die COVID-19 Pandemie schafft neue Herausforderungen im alltäglichen Leben der Bevölkerung, der medizinischen Produktentwicklung und der Gesundheitsforschung. Neben der Forschung nach Behandlungsmöglichkeiten von infizierten Patienten gilt es hinreichende Präventionsmöglichkeiten zu finden und stetig zu verbessern.

Schutzmaßnahmen wie Abstand halten, Hygieneregeln beachten und eine Alltagsmaske tragen (AHA-Regeln) können das Infektionsrisiko an Covid-19 zu erkranken, senken. [1] Auch wenn letzter Punkt der AHA-Regeln als unentbehrlicher Schutzmechanismus gegen Virusinfektionen gilt, können Atemschutzmasken die Sprachverständlichkeit senken, wodurch die Übermittlung wichtiger Informationen gestört und der Informationsgehalt der gesprochenen Information gemindert wird. Ein allgemeingültiges Verfahren für die Bewertung der Sprachverständlichkeit von Atemschutzmasken gibt es bis zu diesem Zeitpunkt noch nicht. Somit liegen eine Verwendung und Anpassung von Methoden aus dem Bereich der Raumakustik nahe.

Besonders der Einfluss der materialwissenschaftlichen Betrachtungsebene auf die Sprachverständlichkeit von Atemschutzmasken gilt als weitestgehend unerforscht. Demnach sollen in der hier vorgestellten Forschungsarbeit ausgewählte Maskentypen in ihren morphologischen Eigenschaften der Vliesbestandteile untersucht und deren Einfluss auf die Sprachverständlichkeit geprüft werden. Zusätzlich werden anhand ausgewählter raumakustischer Parameter weitere potentielle Einflussgrößen untersucht. Die entstehenden Korrelationen zwischen Maskentypen, Raumeigenschaften und Sprachverständlichkeit werden abschließend empirisch ausgewertet. Mit den Ergebnissen lassen sich Empfehlungen für die Weiterentwicklung von neuen Atemschutzmasken aufstellen, sowie Anhaltspunkte für weitere Forschungsvorhaben zu einem verwandten Thema, wie z.B. der Progression von Messständen für Atemschutzmasken geben.

Mit dem Projekt „Next Generation Schutztextilien“ (NGST) hat sich das Fraunhofer IMWS zum Ziel gesetzt, neue Atemschutzmasken zu entwickeln, welche in ihrer Filterwirkung, Sprachverständlichkeit und ihrem Tragekomfort einen idealen Kompromiss finden. Diese Entwicklung erfolgt unter anderem auf Grundlage von Untersuchungen der morphologisch-materiellen

Eigenschaften als auch der Bewertungen der Sprachverständlichkeit von gängigen Atemschutzmasken

Material und Methode

Die Betrachtung der erstellten Methode ist in die vier folgenden Kategorien zu unterteilen. Dabei wird das Vorgehen näher erläutert.

Atemschutzmasken

Atemschutzmasken dienen unter anderem der Prävention von Tropfen- oder Aerosolinfektionen, welche durch die respiratorische Aufnahme von Viruspartikeln ausgelöst werden können. Im Falle des Severe Acute Respiratory Syndrome Corona Virus (SARS-Cov-2) gilt es die 0,06 µm bis 0,14 µm großen Coronaviren vor dem Eindringen bzw. dem Ausschleudern durch Atmen, Sprechen, Singen, Niesen und Husten zu hindern. [2] Das Virus bindet sich beim Ausstoßen mit Tröpfchen oder anderen Partikeln der Luft. Durch Atmen und Sprechen emittierte Aerosolpartikel sind im Durchschnitt 1 µm groß und werden mit Zunahme der Atemfrequenz und Lautstärke größer. [3] Die Dimensionierung der Partikelgrößen zeigt die besonderen Anforderungen, welche an die Materialeigenschaften der Atemschutzmasken gestellt sind.

Für die folgenden Experimente wurden 14 Atemschutzmasken der Typen Mund-Nasen-Bedeckung (MNB), Mund-Nasen-Schutz (MNS), Filtering Face Piece (FFP) (mit und ohne Ventil) und Fraunhofer-Masken als Untersuchungsgegenstände ausgewählt, davon zehn für eine erweiterte Materialanalyse. Die Masken sind durch ihre unterschiedliche Layeranzahl sowie -typen in ihren Materialeigenschaften wesentlich bestimmt. Der Maskenkörper einer FFP-Maske, MNS als auch einer MNB besteht aus einer Kombination verschiedener Vliesstoffe. Ein Spunbond-Vlies dient als Innen- und Außenschicht des Maskenkörpers und bewirkt mit seinen hydrophoben und antibakteriellen Eigenschaften den Schutz vor großen Tropfen und Partikeln. [4] Die Innenschicht des Maskenkörpers besteht meist aus einem Melblown-Vlies, welches durch seine einstellbare Poren- & Kapillarstruktur die wesentliche Schutz- und Barrierewirkung der Maske vor Bakterien und Viren bestimmt. Die unterschiedliche morphologische Struktur der beiden Vlies-Typen ist in Abbildung 1 anhand einer Rasterelektronenmikroskopie zu erkennen.

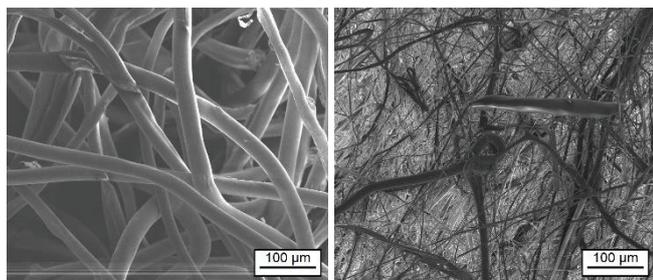


Abbildung 1: Rasterelektronenmikroskopie des Spunbond-Vlieses (links) und Meltblown-Vlieses (rechts) einer FFP-Maskenprobe mit 500-facher Vergrößerung.

Materialwissenschaftliche Untersuchung

Zur morphologisch-materiellen Untersuchung der Atemschutzmasken sind Materialparameter zu definieren, welche in Vermutung stehen die Sprachverständlichkeit beeinflussen zu können. Es ist zu erwarten, dass die Materialdicke des Gesamtsystems wesentlicher Einflussfaktor auf Sprachverständlichkeit ist. Die Gesamtdicke des Maskenkörpers beinhaltet wiederum die Zusammensetzung einzelner Vliestypen und deren Eigenschaften zur Porosität und Faserstruktur. Demnach werden Materialparameter wie Flächenanteil der offenen Poren, Form und Struktur der Poren und Faserdurchmesser der Atemschutzmaske durch die Auswertung von Licht- und Rasterelektronenmikroskopie-Bildern durch die Software „Olympus CELL[^]F“ ermittelt. Ein Beispiel für die Trennung von Poren und Fasermatrix durch das Programm ist in Abbildung 2 zu sehen. Die Gesamtschichtdicke hingegen wird analog mit Hilfe einer Bügelschraube gemessen.

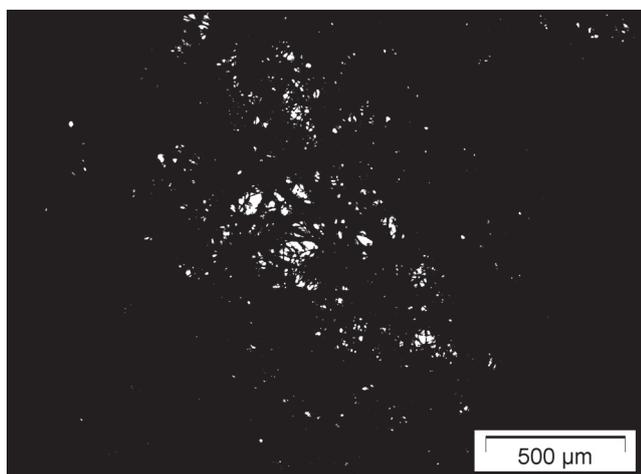


Abbildung 2: Binarisierte Lichtmikroskopie (fünffache Vergrößerung; Durchlicht) eines Meltblown-Vlieses zur Ermittlung seiner morphologischen Eigenschaften mittels der Software „Olympus CELL[^]F“

Sprachverständlichkeitsmessung

Wenn über Sprachverständlichkeit gesprochen wird, ist im Allgemeinen der „Prozent[-satz] verstandener Sprachitems“ [5] gemeint, welcher vom Empfänger der gesprochenen Nachricht wahrgenommen wird. Zur Untersuchung von Sprachverständlichkeit gibt es verschiedene Bewertungsmaße, welche sich in der Praxis bewährt haben. Für die vorliegende Forschungsarbeit ist ein Maß zur Bewertung der Sprachverständlichkeit besonders relevant, welches sich in der Praxis der technischen sowie räumlichen Akustik bewährt hat - der Speech Transmission Index (STI). Der STI hat einen Wertebereich von 0 bis 1, wobei höhere Werte eine bessere Sprachverständlichkeit indizieren. In bisherigen Studien zum STI konnte ermittelt werden, dass die Diskriminationsschwelle, der sogenannte Just Noticeable Difference (JND), bei 0.03 liegt. [6] Mit einer Adaption der direkten STI Messmethode wurde ein Messaufbau realisiert, welcher zum Teil in Abbildung 3 zu sehen ist und die Sprachverständlichkeitsmessung von Atemschutzmasken ortsunabhängig gewährleistet und kontrolliert. Die Konstruktion beinhaltet einen Kunstkopf, welcher die Form eines menschlichen Kopfes imitiert und die Masken trägt. Von der Mundöffnung bis zum dahinter liegenden Holzgehäuse befindet sich ein Schallkanal. Im Gehäuse lässt sich eine TalkBox von NTi Audio integrieren, welche das notwendige STIPA Signal wiedergeben kann. Mit Hilfe des Schallpegelmessers XL2 in Kombination mit dem Messmikrofon M4261 von NTi Audio können wiedergegebene Signale in beliebiger Distanz aufgenommen werden. Die Messungen werden pro Maske dreimal wiederholt und anschließend der Mittelwert gebildet. Die Messumgebungen werden im Punkt Raumakustische Rahmenbedingungen näher erläutert.



Abbildung 3: Konstruktion eines 3D gedruckten Kunstkopfes mit Flanschverbindung an einem Holzgehäuse für die TalkBox im Reflexionsarmen Raum (RaR) der TU Berlin

Raumakustische Rahmenbedingungen

Die Nachhallzeit und die Distanz zwischen Sender- und Empfangsposition haben sich in der Versuchsvorbereitung als wesentliche raumakustische Einflussfaktoren auf die Sprachverständlichkeit herausgestellt. Wie durch die Formel (1) von Eyring zu erkennen, ist die Nachhallzeit eines Raumes maßgeblich durch dessen Volumen und absorbierende Begrenzungsflächen bestimmt. [7] Somit werden Räume für die Sprachverständlichkeitsmessung ausgewählt, welche eine möglichst hohe Diversität genannter Parameter besitzen.

$$T = 0,163 \frac{V}{- \ln(1 - \bar{\alpha}) S_{ges} + 4mV} \quad [s] \quad (1)$$

Für das Experiment wurden die Räume aus Tabelle 1 auf Grund ihrer diversen Eigenschaften ausgewählt und die Nachhallzeit RT60 ermittelt. Abschließend wurde nach DIN 18041 die Hörsamkeit des Seminarraumes IMWS sowie des Besprechungsraumes IMWS ermittelt, um Aussagen zur Vergleichbarkeit mit Räumen ähnlicher Eigenschaften und Nutzungsarten zu gewährleisten. Dabei ist die Hörsamkeit als „Eignung eines Raumes für bestimmte Schalldarbietungen“ [8] zu verstehen.

Tabelle 1: Übersicht der genutzten Messumgebungen

Räume	Parameter		
	Volumen	Absorption	Standort
Seminarraum	218 m ³	niedrig	IMWS
Besprechungsraum	66 m ³	mittel	IMWS
RaR	830 m ³ (1755 m ³ Gesamtzustand)	stark	TU Berlin

Ergebnisse und Diskussion

Ein Auszug aus der Materialanalyse ist die Gesamtschichtdicke des Maskenkörpers, welche an fünf unterschiedlichen Stellen der Maske mittels Bügelschraube gemessen wurde. Die Ergebnisse sind in Abbildung 4 nach Maskentyp farblich sortiert. Bei der Betrachtung wird deutlich, dass mit Änderung des Maskentyps sich auch die Gesamtschichtdicke ändert. Auffällig ist, dass die Standardabweichung mit zunehmender Gesamtschichtdicke ansteigt. Die MNB und die MNS besitzen ungefähr 50 % der Gesamtschichtdicke der FFP-Masken ohne Ventil. Die FFP-Masken mit Ventil weisen zueinander einen Unterschied von ca. 500 µm auf, was die Dicke einer MNB oder MNS beschreibt.

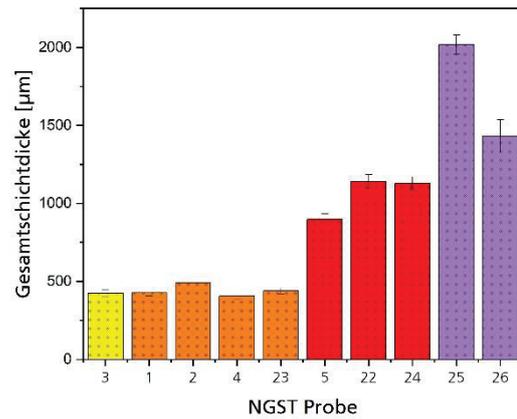


Abbildung 4: Gesamtschichtdicken (Schichtdicke aller Layer einer Maske) gemessen für kommerzielle NGST-Proben (gelb = MNB, orange = MNS, rot = FFP, lila = FFP + Ventil)

Die STI-Messungen aller Masken in den in Tabelle 1 beschriebenen Räumen konnten messtechnisch ermittelt und visuell aufbereitet werden. So sind bspw. in Abbildung 5 alle STI-Messwerte der untersuchten Atemschutzmasken im Seminarraum IMWS mit einer Sender- Empfangsposition von 2 m zu sehen. Das STI-Maximum von 0,65 ist wie zu erwarten beim verwendeten Referenzsignal ohne Maske ermittelt worden. Das STI-Minimum erzielt die FFP-Ventil-Maske NGST 25 mit einem STI-Wert von 0,53. Selbst im Vergleich zum Referenzsignal mit Kunstkopf, welches bereits messtechnische Verzerrungen beinhaltet, zeigen sich eine Überschreitung des JND von 0.03 und somit hörbare Sprachverständlichkeitsunterschiede durch einige der untersuchten Atemschutzmasken.

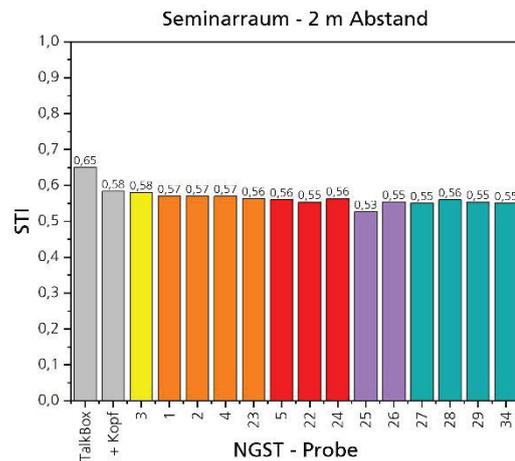


Abbildung 5: STI-Messwerte im Seminarraum IMWS - 2 m Abstand gemessen für alle NGST-Proben (gelb = MNB, orange = MNS, rot = FFP, lila = FFP + Ventil, türkis = Fraunhofer Design) und Referenzsignale (grau)

Die von den Layertypen individuell ausgehende Gewichtung auf die Sprachverständlichkeit lässt sich in Abbildung 6 erkennen. Zu sehen ist das Ergebnis mehrerer STI-Messungen, in denen einzelne Layer der Masken-Probe

NGST 29 entfernt wurden. Während nach der Entfernung eines äußeren Layers ein Anstieg des STI um 0,01 gemessen wurde, konnte bei der vollständigen Entfernung des mittleren Meltblown-Layers ein Δ STI von 0,03 ermittelt werden, was als eben hörbarer Unterschied gilt. Dieses Ergebnis zeigt die Relevanz einer genauen Schichtenkonfiguration.

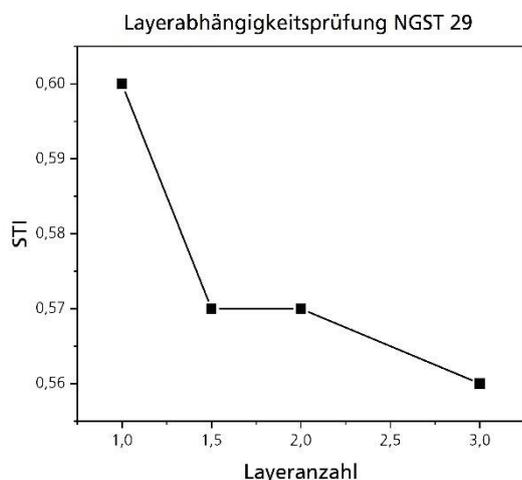


Abbildung 6: STI in Abhängigkeit zur Layeranzahl des Maskenkörpers der Probe NGST 29 im Seminarraum IMWS und 2 m Abstand

Abschließend konnte ein Ranking, (siehe Tabelle 2) erstellt werden, welches die untersuchten Atemschutzmasken nach ihren technisch ermittelten STI-Werten auflistet. Diese Ergebnisse konnten zusätzlich in einem Hörversuch am IMWS validiert werden. Dabei wurden 12 Versuchspersonen unterschiedlichen Geschlechtes mit einem durchschnittlichen Alter von 40 Jahren nach ihrem Empfinden der Deutlichkeit in einem Paarvergleich und ihrem Empfinden der Höranstrengung für einen Mean-Opinion-Score befragt. Die zu bewerteten Hörbeispiele wurden aus einem zehnhundertjährigen Sprach-Sample, welches im RaR durch verschiedene Masken manipuliert wurde, gewonnen.

Tabelle 2: Übersicht der genutzten Messumgebungen

Rang	Probename	Maskentyp	STI	Layeranzahl	Schichtung
1.	NGST-3	MNB	0,58	3	Sp, Sp, Sp
2.	NGST-1	MNS	0,57	3	Sp, Mb, Sp
	NGST-2	MNS	0,57	3	Sp, Mb, Sp
	NGST-4	MNS	0,57	3	Sp, Mb, Sp
3.	NGST-23	MNS	0,56	3	Sp, Mb, Sp
	NGST-5	FFP	0,56	4	Sp, Mb, Sp, Sp
	NGST-24	FFP	0,56	4	Sp, Mb, Sp, Sp
4.	NGST-22	FFP	0,55	5	Sp, Mb, Mb, Sp, Sp
	NGST-26	FFP + Ventil	0,55	4	Sp, Mb, Sp, Sp
5.	NGST-25	FFP + Ventil	0,53	4	Sp, Sp, Mb, Sp

Ausblick und Anmerkungen

Die entwickelte Methode wurde erfolgreich umgesetzt und validiert. Dabei wurden hörbare Unterschiede zwischen Maskentypen festgestellt und der zugehörige Materialeinfluss belegt. Für die weitere medizinische Produktentwicklung ist zu empfehlen, sich auf die Layer-eigenschaften der verarbeiteten Vliesstoffe zu konzentrieren, um einen Sweet Spot zwischen Schalldurchlass und Virenrückhalt zu finden. Für die interdisziplinäre Forschung an diesen höchst-relevanten Themen sollte ein normiertes Maß zur Sprachverständlichkeitsmessung von Atemschutzmasken entwickelt werden, welches die Reproduzierbarkeit der Methode garantiert. Abschließend sei anzustreben, das Sprach-Frequenzspektrum von Frauen in die STI via STIPA Methode zu integrieren.

Literatur

- [1] Bundesministerium für Gesundheit (Hrsg.). (2021). Zusammen gegen Corona: Wie wir uns vor dem Coronavirus schützen können. URL: <https://www.zusammengegencorona.de/downloads/?filter=alldownloads>
- [2] Jin, Y.-H. et al. (2020). A rapid advice guideline for the diagnosis and treatment of 2019 novel coronavirus (2019-nCoV) infected pneumonia (standard version). *Military Medical Research*, 7(1). URL: <https://doi.org/10.1186/s40779-020-0233-6>
- [3] Asadi, S., Wexler, A. S., Cappa, C. D., Barreda, S., Bouvier, N. M. & Ristenpart, W. D. (2019). Aerosol emission and superemission during human speech increase with voice loudness. *Scientific reports*, 9(1). URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-38808-z>
- [4] Fraunhofer IPT/WZL, der RWTH Aachen. (2020, 8. Juni). LIFE BELT, FFP-MASKEN – FALTMASKEN: Leitfaden zur effizienten und bedarfsgerechten Prozesskettengestaltung zulassungsfähiger Schutzausrüstung
- [5] Lazarus, H. (2007). Akustische Grundlagen sprachlicher Kommunikation [Online-ausg.]. Springer. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-540-49986-2>
- [6] Bradley, J. S., Reich, R. & Norcross, S. G. (1999). A just noticeable difference in C 50 for speech. *Applied Acoustics*, 58(2), 99–108. URL: [https://doi.org/10.1016/S0003-682X\(98\)00075-9](https://doi.org/10.1016/S0003-682X(98)00075-9)
- [7] Eyring, C. F. (1930). Reverberation Time in “Dead” Rooms. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 1(2A), 168. URL: <https://doi.org/10.1121/1.1901884>
- [8] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2009). DIN 1320: Akustik - Begriffe (DIN 1320).