

Wirkung der temporal-spektralen Struktur von Sound Masking Signalen auf die kognitive Leistung und Lästigkeit

Tobias Renz¹

¹ *Institut für Akustik und Bauphysik, Universität Stuttgart, 70569 Stuttgart Deutschland, Email: tobias.renz@lbp.uni-stuttgart.de*

Einleitung

Beschäftigte in Mehrpersonenbüros empfinden die akustischen Umgebungsbedingungen und Privatheit häufig als ungenügend. Insbesondere Gespräche und Telefonate der Kollegen werden hierbei als störend aufgeführt [1]. Eine Reihe von Untersuchungen hat gezeigt, dass Hintergrundgeräusche, im Besonderen Sprachschalle, die kognitive Leistungsfähigkeit vermindern (z.B. [2]).

Durch konventionelle Maßnahmen, wie das Anbringen von akustisch wirksamen Flächen und Schallschirmen sowie entsprechende organisatorische Maßnahmen, lässt sich das Störpotenzial von Hintergrundsprache in Mehrpersonenbüros zumeist nur unzureichend minimieren. Gezieltes Einbringen von natürlichen oder künstlichen Geräuschen über ein Sound Masking System kann temporal-spektral schwankende Störgeräusche und deren Sprachverständlichkeit bei niedrigen Signal-Rausch-Abständen (signal-to-noise ratio, SNR) reduzieren. Leistungsmindernde Schalle können in Teilen in dem kontrollierten Geräuschteppich verdeckt werden, der selbst keine Störwirkung auf die kognitive Leistung hat. Sound Masking ist in deutschen Büroumgebungen jedoch wenig verbreitet, da das Einbringen von Geräuschen häufig kontrovers diskutiert und als unangenehm empfunden wird.

Im Rahmen eines Laborexperiments wurde die Wirkung unterschiedlicher Signalarten hinsichtlich des Stör- und Belästigungspotenzials bei Hintergrundsprache untersucht. Dazu wurden die kognitive Leistung und das subjektive Empfinden unter zwölf entsprechend variierten Schallbedingungen in einer Standardaufgabe geprüft. Die Schallbedingungen wurden auf SNR zwischen -3 und -12 dB(A) angepasst, da in diesem Bereich die größte Abhängigkeit zwischen SNR und kognitiver Leistung erwartet wurde. Zwei stationäre Rauschsignale, zum einen ein an das Langzeitspektrum des Sprechers angepasstes Signal und zum anderen ein Signal mit einem um 5 dB pro Oktave fallenden Frequenzspektrum, wurden hinsichtlich ihrer Wirkung verglichen, wobei ein Vorteil des an den Sprecher angepassten Signals erwartet wurde. Zusätzlich wurden Schalle mit einem sprachähnlichen Maskiersignal, das durch Zeitumkehr des Sprachsignals erzeugt wurde, untersucht. Bei der Generierung des Maskiersignals wurde das Sprachsignal in 200 ms Segmente unterteilt, diese zeitlich invertiert und die invertierten Segmente ohne Verzögerung aneinandergereiht. Im Vergleich zu stationären Signalen senken derartige Signale bei höheren SNR die Sprachverständlichkeit von überlagerten Sprachschallen (z.B. [3]).

Experiment

Methode

24 Probanden nahmen an dem Experiment teil (20-29 Jahre, Md=24 Jahre). Alle Teilnehmer waren deutsche Muttersprachler und erhielten eine Aufwandsentschädigung. Vier Probanden bearbeiteten gleichzeitig an Computern im HiPIE-Labor am Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) eine Aufgabe zur Messung der Arbeitsgedächtnisleistung (serial recall): Die Ziffern 1 bis 9 wurden in zufälliger Reihenfolge nacheinander dargeboten (700 ms Anzeige mit einer darauffolgenden Pause von 300 ms). Nach einem kurzen Retentionsintervall von 8 s waren die Ziffern in der präsentierten Reihenfolge auf dem Bildschirm auf einem 3x3 Feld auszuwählen. Die Aufgaben waren zwölfmal je Schallbedingung zu bearbeiten. Jede Ziffer, die nicht genau an der präsentierten Position wiedergegeben wurde, wurde als Fehler gewertet. Das subjektive Empfinden wurde mittels eines Fragebogens nach jeder Schallbedingung abgefragt. Die wahrgenommene Lästigkeit wurde hierbei auf einer verbalen Fünf-Punkte-Skala (überhaupt nicht, etwas, mittelmäßig, stark, äußerst) und einer numerische Elf-Punkte-Skala (0-10) gemäß ISO/TS 15666:2003 abgefragt. Die Fragen wurden an die kurze Expositionszeit in einem Innenraum angepasst (Wenn Sie an die letzten Minuten denken, wie stark haben Sie sich durch die akustischen Umgebungsbedingungen insgesamt gestört oder belästigt gefühlt?; Wenn Sie nun an die letzten Minuten denken, welche Zahl zwischen Null und Zehn gibt am besten an, wie stark Sie sich durch die akustischen Umgebungsbedingungen gestört oder belästigt fühlten?).

Das präsentierte Sprachmaterial waren trockene Aufnahmen des HSM Satztests [4], die im Freifeldraum am Fraunhofer IBP aufgenommen wurden. Insgesamt wurden zwölf Schallbedingungen getestet, welche über Kopfhörer wiedergegeben wurden. Alle Bedingungen beinhalteten reflexionsfreie Schalle ohne Nachhall. In zehn Bedingungen wurde dem Sprachsignal ein Maskiersignal überlagert (vgl. Tab. 1). Die beiden anderen Bedingungen dienten als Kontrollbedingungen und beinhalteten kein Signal bzw. das reine Sprachsignal. Alle Maskiersignale wurden auf 45 dB(A) kalibriert, wobei das Sprachsignal zwischen 33 und 42 dB(A) wiedergegeben wurde. Veitch et al. [5] und Bradley [6] empfehlen Sound Masking Anlagen auf einen Schalldruckpegel von 45 dB(A) am Arbeitsplatz einzustellen, da höhere Pegel zu erschwelter Kommunikation und hoher Lästigkeit führen können. Der aus dem Sprach- und Maskiersignal resultierende Summenpegel lag bei allen Bedingungen

zwischen 45 und 46 dB(A). Das unmaskierte Sprachsignal wurde bei 42 dB(A) dargeboten. Die Spektren der Signale (äquivalente Dauerschallpegel in Oktavbändern) sind in Abb. 1 dargestellt.

Tabelle 1: Übersicht über Bezeichnung, Maskierschall, SNR (in dB(A)), STI und Schwankungsstärke F der getesteten Bedingungen (Hinweis: Der STI ist eigentlich nicht definiert für nichtstationäre Hintergrundsignale, wurde für HSM10-HSM12 jedoch trotzdem ermittelt).

Bez.	Maskierer	SNR	STI	F
HSM1	ohne (Ruhe)	–	0	0
HSM2	ohne (Sprache)	∞	1.0	0.37
HSM3	-5 dB/Oktave	-3	0.42	0.012
HSM4	-5 dB/Oktave	-6	0.33	0.0069
HSM5	-5 dB/Oktave	-9	0.24	0.0040
HSM6	-5 dB/Oktave	-12	0.16	0.0028
HSM7	HSM-Rauschen	-6	0.30	0.0068
HSM8	HSM-Rauschen	-9	0.20	0.0041
HSM9	HSM-Rauschen	-12	0.10	0.0031
HSM10	time-reversed	-6	(0.30)	0.32
HSM11	time-reversed	-9	(0.20)	0.33
HSM12	time-reversed	-12	(0.10)	0.34

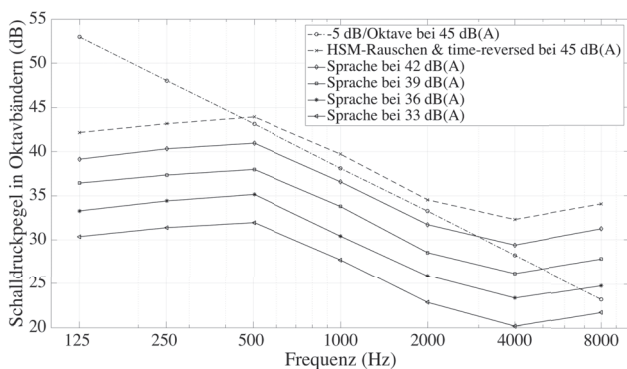


Abbildung 1: Spektren der Sprach- und Maskiersignale.

Ergebnisse

Die mittleren Fehlerraten unter den zwölf variierten Schallbedingungen sind in Abb. 2 abgebildet. Eine Varianzanalyse bestätigte einen signifikanten Effekt der Schallbedingung auf die Arbeitsgedächtnisleistung ($F(11,253) = 4.40$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.16$). Für die abhängigen Stichproben wurden t-Tests unter Berücksichtigung der Benjamini-Hochberg α -Fehler Korrektur durchgeführt, wobei gegen die beiden Kontrollbedingungen Ruhe und unmaskierte Sprache getestet wurde. Die Fehlerraten unter den Schallbedingungen, welche durch stationäres Rauschen mit -5 dB pro Oktave maskiert wurden, waren niedriger als bei unmaskierter Sprache bei einem SNR von -6 dB(A) ($p < 0.05$), -9 dB(A) ($p < 0.01$) und -12 dB(A) ($p < 0.001$). Auch bei Maskierung durch das an das Sprachspektrum angepasste Rauschen fiel die Fehlerrate niedriger aus als unter unmaskierter Sprache bei -6 dB(A) SNR ($p < 0.01$), -9 dB(A)

SNR ($p < 0.01$) und -12 dB(A) SNR ($p < 0.001$). Bei Maskierung durch das zeitumgekehrte Signal wurden weniger Fehler als unter unmaskierter Sprache gemacht bei einem SNR von -6 dB(A) ($p < 0.05$) und -9 dB(A) ($p < 0.05$). Wie erwartet, wurden signifikant mehr Fehler unter unmaskierten Sprachschall gemacht im Vergleich zu Ruhe ($p < 0.001$). Die Fehlerraten unter dem Sprachsignal, welches durch das zeitumgekehrte Sprachsignal maskiert wurde, waren sowohl bei einem SNR von -6 dB(A) ($p < 0.05$), als auch bei -9 dB(A) ($p < 0.05$), als auch bei -12 dB(A) ($p < 0.01$) höher als in der Schallbedingung ohne Signal (Ruhe). Außerdem wurden unter den Schallbedingungen mit dem um 5 dB pro Oktave fallenden Rauschen bei -3 dB(A) SNR ($p < 0.01$) und bei -6 dB(A) SNR ($p < 0.05$) signifikant mehr Fehler als bei Ruhe gemacht.

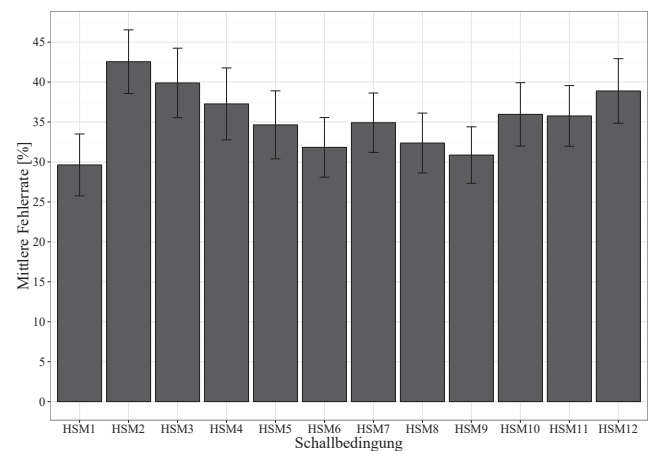


Abbildung 2: Arbeitsgedächtnisleistung unter den getesteten Schallbedingungen (mittlere Fehlerraten mit Standardfehlern; $n = 24$).

Die mittleren Lästigkeitsurteile je Schallbedingung wurden ausgewertet, wie in Abb. 3 dargestellt. Drei Probanden hatten aufgrund von Verbindungsproblemen einen Fragebogen nicht komplett ausgefüllt und wurden deshalb bei der Auswertung nicht berücksichtigt. Die mittlere Wahrnehmung auf der Fünf- und Elf-Punkte-Skala unterschied sich nur sehr gering ($r_{xy} = 0.99$). Deshalb wurden die Untersuchungen auf die abgegebenen Beurteilungen auf der Fünf-Punkte-Skala beschränkt. Eine Varianzanalyse zeigte einen signifikanten Effekt der Schallbedingung auf die Lästigkeit ($F(11,220) = 29.2$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.59$). Nachfolgende t-tests mit Benjamini-Hochberg α -Fehler Korrektur zeigten, dass alle Schallbedingungen als signifikant lästiger empfunden wurden als die ruhige Kontrollbedingung ($p < 0.001$). Paarweise Vergleiche gegenüber Sprache belegen, dass das durch stationäres Rauschen mit -5 dB pro Oktave maskierte Sprachsignal als weniger lästig empfunden wurde bei einem SNR von -3 dB(A) ($p < 0.05$), -6 dB(A) ($p < 0.001$), -9 dB(A) ($p < 0.001$) und -12 dB(A) ($p < 0.001$). Auch die Sprachsignale, die durch das an das Sprachspektrum angepasste Rauschen maskiert wurden, wurden bei -6 dB(A) SNR ($p < 0.05$), -9 dB(A) SNR ($p < 0.01$) und -12 dB(A) SNR ($p < 0.001$) als weniger lästig wahrgenommen als unmaskierte Sprache.

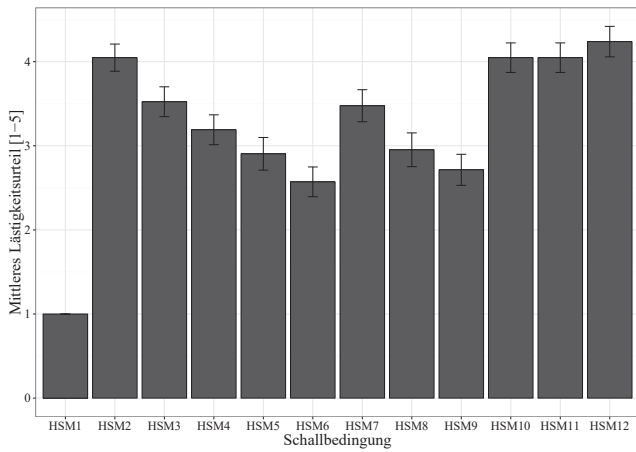


Abbildung 3: Lästigkeitsurteile unter den getesteten Schallbedingungen auf einer verbalen Fünf-Punkte-Skala (mittlere Lästigkeit mit Standardfehlern; $n = 21$).

Diskussion

In dem durchgeführten Experiment wurden signifikante Leistungssteigerungen gegenüber unmaskierter Sprache bei einem SNR von -6 dB(A) und niedriger festgestellt. Das Experiment diente zur Untersuchung der Wirkung der temporal-spektralen Struktur von Sound Masking Signalen auf die kognitive Leistung und Lästigkeit unter Anwesenheit von Hintergrundsprache. Es zeigte sich, dass ein an das Spektrum des Sprachsignals angepasstes stationäres Rauschen gegenüber einem Rauschen mit einem um 5 dB pro Oktave fallenden Spektrum einen Vorteil von ca. 3 dB(A) in der Maskierwirkung in Bezug auf die Arbeitsgedächtnisleistung aufweist, was sich zum Teil auch in den niedrigeren STI-Werten widerspiegelt. Im Gegensatz zu Rauschsignalen senkt das durch Zeitumkehr des Sprachsignals generierte Maskiersignal zwar bereits bei -6 dB(A) SNR die Sprachverständlichkeit deutlich (vgl. [3]), führte aber bei -6 dB(A) zu ähnlichen mittleren Fehlerraten wie die stationären Signale. Da das Überlagern von Sprachschallen mit dieser Art von Signalen jedoch kaum die temporal-spektrale Variabilität bzw. Schwankungsstärke der Schalle reduziert, führt eine weitere Absenkung des SNR zu keinen weiteren Verbesserungen in der kognitiven Leistung.

Die wahrgenommene Lästigkeit der Hintergrundschalle mit stationären Maskiersignalen konnte bereits bei einem SNR von -3 dB(A) gegenüber dem unmaskierten Sprachsignal reduziert werden. Im Gegensatz zur kognitiven Leistung unterscheidet sich die empfundene Lästigkeit zwischen den Schallbedingungen mit den beiden stationären Maskiersignalen bei gleichen SNR kaum. Die Sprachschalle, denen das durch Zeitumkehr des Sprachsignals erzeugte Maskiersignal überlagert wurde, wurden nicht als weniger lästig empfunden als unmaskierte Sprache, da das Maskiersignal selbst als lästig wahrgenommen wird.

Die vorliegende Studie weist nach, dass die leistungsbeeinträchtigende Wirkung von Hintergrundsprache durch das gezielte Einbringen eines an das Sprachspektrum angepassten, stationären Rauschens effizient gesteigert wer-

den kann. Die Durchführung der Studie erfolgte in enger Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IBP. Durch die zusätzliche Berücksichtigung räumlicher Gegebenheiten sollen in Zukunft praxisnahe Ergebnisse zu der Wirkung von Sound Masking Systemen gewonnen werden. Erst die optimale Kombination aus schallabsorbierenden und schallschirmenden Maßnahmen mit dem Einsatz eines Sound Masking Systems verspricht es, den Einfluss störender Hintergrundsprachschalle in kleinen- bis mittelgroßen Mehrpersonenbüros zu reduzieren.

Literatur

- [1] Sundstrom, E., Town, J. P., Rice, R. W., Osborn, D. P., Brill, M.: Office noise, satisfaction, and performance. *Environment and Behavior* 26(2) (1994), 195-222.
- [2] Schlittmeier, S. J. & Liebl, A.: The effects of intelligible irrelevant background speech in offices – cognitive disturbance, annoyance, and solutions. *Facilities* 33(1/2) (2015), 61-75.
- [3] Jiang, B., Liebl, A., Leistner, P., Yang, J.: Sound masking performance of time-reversed masker processed from the target speech. *Acta Acustica united with Acustica* 98 (2012), 135-141.
- [4] Hochmair-Desoyer, I., Schulz, E., Moser, L., Schmidt, M.: The HSM sentence test as a tool for evaluating the speech understanding in noise of cochlear implant users. *The American Journal of Otology* 18(6) (1997), 83.
- [5] Veitch, J. A., Bradley, J. S., Legault, L. M., Norcross, S. G., Svec, J. M.: Masking speech in open-plan offices with simulated ventilation noise: Noise level and spectral composition effects on acoustic satisfaction. *Institute for Research in Construction* (2002), internal report IRC-IR-846.
- [6] Bradley, J. S.: The Acoustical design of conventional open plan offices. *Canadian Acoustics* 31(2) (2003), 23-31.