

Evaluation des Effekts binauraler
Maskierung von Sprache über
Active-Noise-Cancelling-Kopfhörer auf
Arbeitsgedächtnisleistung und subjektive
Wahrnehmung im Büroarbeitskontext

Bachelorarbeit

Dorina Kohler

Matrikelnummer: 3917970

Prüfer: Ph.D Florian Wickelmaier

Forschungsmethoden und Mathematische Psychologie

Eberhard Karls Universität Tübingen

In Zusammenarbeit mit M.Eng. Benjamin Mueller

Fraunhofer Institut für Bauphysik

Selbstständigkeitserklärung:

Hiermit erkläre ich, dass ich diese schriftliche Abschlussarbeit selbständig verfasst habe, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel und Quellen benutzt habe und alle wörtlich oder sinngemäß aus anderen Werken übernommenen Aussagen als solche gekennzeichnet habe.

27. Oktober 2019, Tübingen

Abstract

Schallmaskierung gilt heutzutage als eine Notwendigkeit in Großraumbüros, um die akustisch problematische Situation zu bewältigen. Die vorliegende Studie begutachtete einige neuartige und konventionelle Methoden der Schallmaskierung. Untersucht wurde insbesondere der Effekt von Active-Noise-Cancelling über Kopfhörer, Maskierungspegeln und der adaptiven Verteilung der Maskierung auf die Kopfhörer. Die kognitive Leistungsfähigkeit, gemessen mit einer Serial-Recall-Aufgabe, und verschiedene subjektive Maße bildeten die abhängigen Variablen. Es konnte kein Einfluss auf die kognitive Leistungsfähigkeit, die empfundene Konzentrationsfähigkeit, Umgebungslautheit und subjektive Leistungsfähigkeit gefunden werden. Active-Noise-Cancelling erhöhte die empfundene Lästigkeit des Störgeräusches. Adaptiv maskierte Bedingungen senkten die empfundene Lästigkeit und empfundene Sprecherlautheit und verbesserten die Bewertung der akustischen Umgebung. Ein erhöhter Maskierungspegel verschlechterte die Bewertung der akustischen Umgebung und senkte die empfundene Sprecherlautheit.

Keywords: Active-Noise-Cancelling-Kopfhörer, Schallmaskierung, Irrelevant-Speech-Effekt, Großraumbüro, binaurale Maskierung

Nowadays, sound masking is considered a necessity in open-plan offices in order to cope with the problematic acoustic situation. The considered study examined several methods of sound masking. In particular, the effect of active noise cancelling, masking levels and the adaptive distribution of masking were investigated. The dependent variables were cognitive performance, measured with a serial recall task, and various subjective measures. No influence on cognitive performance, perceived concentration, environmental loudness and subjective performance was found. Active noise cancelling increased the perceived annoyance of background noise. Adaptively masked conditions reduced the perceived annoyance and speaker loudness and improved the evaluation of the acoustic environment. An increased masking level diminished this evaluation and reduced the perceived speaker loudness.

Keywords: Active noise cancelling headphones, sound masking, irrelevant speech effect, open plan office, binaural masking

Inhaltsverzeichnis

Einführung	5
Raummaskierung	7
Maskierungsgeräusche	8
Active-Noise-Cancelling	9
Der Irrelevant-Speech-Effekt	11
Das Mehrkomponentenmodell des Arbeitsgedächtnisses	11
Das Object-Oriented-Episodic-Record-Modell	13
Eigenschaften des Irrelevant-Speech-Effekts	14
Herleitung verwendeter Methoden	15
Vorstudien	16
Vorliegende Studie	17
Methoden	19
Stichprobe	19
Apparatur und Stimuli	20
Versuchsdesign	21
Ablauf	23
Ergebnisse	23
Kognitive Leistung	23
Subjektive Maße	25
Diskussion	28
Subjektive Maße	29
Kognitive Leistungsfähigkeit	31
Vergleich zur Literatur	31
Wirtschaftliche Bewertung	33
Ausblick	34
Anhang	38

Seit Jahrzehnten steigt der Anteil der Beschäftigten im Bürosektor an (Schneider, Windel & Zwingmann, 2002). Gleichzeitig steigen auch die Immobilienpreise in Städten. Die daraus entstandenen Folgen ließen sich unmittelbar beobachten: Einzelbüros wurden zur Seltenheit, wichen einem Bürokonzept, welches eine Vielzahl von Arbeitskräften auf geringer Fläche platziert, dem Großraumbüro. Verkauft wird die Idee noch heute mit vielversprechenden Argumenten. Mehr Mitarbeiter auf engerem Raum bedeute eine Senkung der Mietkosten. Arbeitnehmer könnten sich im offeneren Umfeld flexibler bewegen. Zusätzlich werde die Kommunikation innerhalb von Arbeitsgruppen erleichtert. Doch mit der zunehmenden Verbreitung von Großraumbüros häufte sich auch die Zahl an Forschungsberichten, welche vor den möglichen Nachteilen und Folgen warnten. Zunächst konnte keine Steigerung der Kommunikation verzeichnet werden (Haapakangas, Helenius, Keskinen & Hongisto, 2008). Das Ausbleiben dieser Vorhersage war jedoch nicht der bedeutendste Aspekt, welcher über die Zeit aufgedeckt wurde.

Die Liste negativer Folgen beinhaltet eine verminderte Zufriedenheit der Mitarbeiter mit ihrer Arbeit (De Croon, Sluiter, Kuijer & Frings-Dresen, 2005), der Arbeitsumgebung (Haapakangas et al., 2008) und der akustischen Umgebung. In diesem Zusammenhang wurden auch Konzentrationsprobleme festgestellt (Kaarlela-Tuomaala, Helenius, Keskinen & Hongisto, 2009). Durch sie erhöht sich insgesamt die Zeit, die während der Arbeit verschwendet wird (Haapakangas et al., 2008). Außerdem berichteten Mitarbeiter in Großraumbüros öfter über Müdigkeit, Kopfschmerzen und reichten häufiger Beschwerde ein (Danielsson & Bodin, 2009; Pejtersen, Allermann, Kristensen & Poulsen, 2006). Ein subjektives Gefühl fehlender Privatheit konnte von Kaarlela-Tuomaala et al. (2009) gefunden werden. Ihre Messungen in beiden Büroarten lagen im Vergleich zu früheren Feldstudien (Navai & Veitch, 2003) im oberen Grenzbereich. Eine mehrere Stunden andauernde Exposition gegenüber Hintergrundgeräuschen führt laut Evans und Johnson (2000) zu Motivationsverlust und einem erhöhten Adrenalin Spiegel, allgemein ein Zeichen von erhöhtem Stress und langfristig ein Faktor zur Erhöhung des Risikos für Herzerkrankungen. Es war dementsprechend nicht unerwartet, dass Lärm bei Mitarbeiterbefragungen in Großraumbüros als der störendste Umweltfaktor beschrieben wurde, vor Temperatur, Licht, Luftfeuchtigkeit und Anderen (Haapakangas et al., 2008; Kaarlela-Tuomaala et al., 2009). Ein weniger offensichtliches Ergebnis dieser Befragungen war die Platzierung von Sprache als störendste Lärmquelle noch vor dem Klingeln von Telefonen oder Bauarbeiten. Sprache wurde außerdem in Großraumbüros als deutlich störender empfunden als in Einzelbüros.

Die aufgeführten Quellen weisen eindeutig darauf hin, dass Großraumbüros viele Nachteile für den individuellen Arbeitnehmer mit sich bringen und damit auch die Effektivität eines Unternehmens beeinträchtigen. Nichtsdestotrotz nimmt ihre Verbreitung nicht ab. Vor diesem Hintergrund ergibt es Sinn nach den Maßnahmen zu fragen, die gegen diese Effekte ergriffen werden können oder bereits ergriffen wurden.

Arbeitnehmer verwenden bereits deutlich mehr Bewältigungsstrategien, um die neue Belastung in Großraumbüros zu erdulden (Haapakangas et al., 2008). Diese Maßnahmen beinhalten laut Kaarlela-Tuomaala et al. (2009) sowohl wünschenswertes Verhalten, wie eine erhöhte Anstrengung oder bewusste Lärmvermeidung, jedoch ebenso nachteilige Effekte wie langsames Arbeiten, Überstunden oder häufigeres Verlassen des Arbeitsplatzes. Eine naheliegende und ebenfalls spontan verwendete Bewältigungsmaßnahme ist das Hören von Musik über Kopfhörer, um so den Bürolärm auszublenden (Kaarlela-Tuomaala et al., 2009). Auch seitens der Arbeitgeber wurden Maßnahmen ergriffen, um die Situation in Großraumbüros zu verbessern. Die Planung neuer Büros beinhaltet heutzutage idealerweise ein raumakustisches Design. Es wird versucht durch die Absorption ansonsten reflektierter Schallwellen - etwa durch Decken oder Bodenbeläge - , die Blockierung der Verbreitung von Schall - etwa durch Schallschirme - und die Maskierung von Hintergrundgeräuschen, verbesserte akustische Bedingungen zu erzeugen (Bradley & Wang, 2004; Virjonen, Keränen & Hongisto, 2009). Es wäre unmöglich, eine akzeptable akustische Situation allein mit einem dieser drei Methoden zu gestalten (Bradley, 2003; Virjonen, Keränen, Helenius, Hakala & Hongisto, 2007). Ein optimales Zusammenspiel vieler raumakustischer Maßnahmen ist notwendig, um dem hoch gesetzten Anspruch von Untersuchungen wie etwa Hongisto (2005) gerecht zu werden. Für die vorliegende Studie ist vor allem die aktive Schallmaskierung von Bedeutung. Die Maskierung des Störgeräusches wurde manipuliert, während Absorption und Blockierung des Raums gleich blieben.

Daher wird in den folgenden Kapitel aktive Raummaskierung näher betrachtet. Anschließend wird der Irrelevant-Speech-Effekt als Repräsentation des negativen Effekts von Sprachgeräuschen mit seinen theoretischen Grundlagen vorgestellt bevor die Methoden und Hypothesen der vorliegenden Studie hergeleitet und ihre Ergebnisse berichtet und diskutiert werden.

Raummaskierung

Aktive Schallmaskierung beschreibt künstlichen, bedeutungslosen und gleichmäßigen Schall, dessen Präsentation ungewollte und störende Geräusche überdecken soll. Meist wird für die praktische Umsetzung ein Netz aus Lautsprechern gleichmäßig im Arbeitsraum verteilt, hauptsächlich in die Unterdecke eingebaut (zum Beispiel Haapakangas et al. 2011; Hongisto, Varjo, Oliva, Haapakangas und Benway 2017). Die gleichmäßige Verteilung versteckt in der Unterdecke soll eine Lokalisierung der Lautsprecher verhindern, Aufmerksamkeit von der Maskierung abwenden und so die Akzeptanz des Maskierungssystems erhöhen.

In heutigen Großraumbüros liegt der allgemeine Schalldruckpegel meist zwischen 45 und 55dB(A). Er nahm in den letzten Jahrzehnten stetig ab (Navai & Veitch, 2003; Virjonen et al., 2009). Navai und Veitch (2003) sowie Veitch, Bradley, Legault, Norcross und Svec (2002) fanden, dass akustische Umgebungen ab 45dB(A) weitgehend als zu laut oder unangenehm beschrieben werden. Dies stimmt mit der theoretischen Evaluation raumakustischer Faktoren von Haapakangas et al. (2011) überein, die für ein akzeptables Gefühl an Privatheit einen Schalldruckpegel von weniger als 45dB(A) empfehlen. Dementsprechend sollte auch aktive Raummaskierung dieses Level nicht übersteigen, da sie sonst selbst als Störgeräusch wahrgenommen werden kann. Maskierungen mit einem Schalldruckpegel unter 40dB(A) gelten jedoch als ineffektiv und werden nicht empfohlen (Bradley, 2003). Folglich werden meist Pegel von 40 bis 45dB(A) verwendet (Bradley, 2003; Haapakangas et al., 2011; Navai & Veitch, 2003). Aufgrund der logarithmischen Art der Dezibel-Skala wird der Gesamtschalldruckpegel durch eine Addition von einer Schallmaskierung von circa 45dB(A) zu den vorhandenen Hintergrundgeräuschen nur um wenige Dezibel erhöht (Haapakangas et al., 2011).

Das Ziel der aktiven Schallmaskierung ist nicht, den allgemeinen Schalldruckpegel zu senken. Stattdessen wird oft die Messgröße des Sound-Noise-Ratio verwendet, um die Effektivität von Schallmaskierung zu schätzen. Dabei führt ein geringerer Sound-Noise-Ratio zu besseren Leistungen. Idealerweise sollte er negative Werte annehmen (Ellermeier & Hellbrück, 1998). Dieses Ziel ist aufgrund der hohen Hintergrundpegel in Großraumbüros jedoch unrealistisch. Der Sound-Noise-Ratio ersetzt keineswegs psychologische Forschung auf dem Gebiet der Raumakustik, ermöglicht jedoch die Evaluation weitläufiger Messungen mit einer Vielzahl von Variablen, wie bei Bradley und Wang (2004), ohne den Aufwand und die Kosten der Erhebung mit ausreichender Anzahl an Probanden zu tragen. Derartige Studien bieten eine ef-

fektive Exploration möglicher Einflussfaktoren auf akustischer Ebene, lassen jedoch ohne weiterführende Studien keine direkten Aussagen auf kognitive Leistung oder subjektive Bewertungen zu.

Maskierungsgeräusche

Ebenso relevant wie die Lautstärke ist die Art des Maskierungsgeräusch. Diesbezüglich zeigt rosanes Rauschen eine vielversprechende Verbesserung kognitiver Leistung, wird jedoch gleichzeitig subjektiv von Probanden abgelehnt (Schlittmeier & Hellbrück, 2009). Um dem entgegenzuwirken, verwendeten Veitch et al. (2002) rosanes Rauschen mit einer Verringerung des Schalldruckpegels um 5dB(A) pro Oktave zwischen 63 und 4000 Hz statt den für rosanes Rauschen gewöhnlichen 3dB(A) pro Oktave. Dieses Rauschen erschien Teilnehmern angenehmer und sollte aufgrund seiner Ähnlichkeit zum menschlichen Sprachspektrum ideal als Maskierung geeignet sein. Seitdem hat sich dieses Rauschen als Maskierung für Sprache in der Forschung etabliert (zum Beispiel Haka et al. 2009; Hongisto 2005; Venetjoki, Kaarlela-Tuomaala, Keskinen und Hongisto 2006). Gleichzeitig expandierte die Forschung auch zu anderen möglichen Geräuschquellen. Musik zeigte als Maskierungsgeräusch wenig Erfolg (Haapakangas et al., 2011; Schlittmeier & Hellbrück, 2009). Natürliche Maskierungsgeräusche sollten die bisher niedrige Akzeptanz für Maskierungssysteme seitens der Mitarbeiter heben. Haapakangas et al. (2011) untersuchten mehrere Geräusche als Maskierung, darunter auch Musik, Rauschen und Belüftung und Quellwasser. Das Quellwasser zeigte den größten Einfluss auf die kognitive Leistung, wurde jedoch in subjektiven Befragungen nicht der Stillebedingung oder der mit rosanem Rauschen maskierten Sprachbedingung vorgezogen.

Ein weiterer Ansatz zur Erhöhung der Akzeptanz von Maskierungssystemen ist die Individualisierung der Maskierung. Chanaud (2007) stellte zu diesem Zweck zwei Systeme vor. Zum einen ein zeitangepasstes System, bei dem eine vorher programmierte Veränderung des Schalldruckpegels über den Tag erfolgte und so die Belastung seitens des Systems zu ruhigeren Zeiten minimierte. Zum anderen ein adaptives System, welches den Schalldruckpegel der Maskierung eigenständig und abhängig von der akustischen Situation regelte. Schlittmeier und Hellbrück (2009) gingen noch einen Schritt weiter in dieser Individualisierung und empfahlen lokale Maskierungssysteme für einzelne Arbeitskräfte. Der Nachteil solcher lokalen Systeme ist offensichtlich. Wenn die Arbeitsgeräusche am benachbarten Arbeitsplatz ein Störgeräusch darstellen, so ist dieser störende Effekt natürlich auch für die Maskie-

rungsgeräusche am benachbarten Arbeitsplatz möglich, vor allem bei Arbeitskräften, die einen geringeren Schalldruckpegel für die Maskierung bevorzugen. Trotzdem ist der Grundgedanke einer Akzeptanz- und Motivationssteigerung durch individuelle Kontrolle förderlich. Betrachtet man die akustische Umgebung in einem Großraumbüro als potenzielle Stresssituation, so lassen sich die Ergebnisse von Cohen (1980) darauf anwenden. Er evaluierte die bisherige Forschung zu Nacheffekten von unvorhersehbaren und unkontrollierbaren Stresssituationen, unter anderem der Exposition zufällig auftretender Schalle. Dabei zeigte sich der Leistungseinbruch nach kontrollierbaren Stresssituationen eindeutig geringer als bei unkontrollierbaren, auch wenn die Kontrolle nur subjektiv wahrgenommen wurde. Cohen (1980) spricht in diesem Zusammenhang auch eine Vielzahl möglicher Erklärungen an. Die alarmierendste davon scheint die der erlernten Hilflosigkeit zu sein. Diese stelle sich nach längerer Exposition gegenüber unkontrollierbaren Stresssituationen ein und ziehe einen dauerhaften Motivationseinbruch nach sich. Eine weniger besorgniserregende Erklärung ist die Entwicklung von Bewältigungsstrategien. Cohen nennt die Entwicklung eines sogenannten „tune out“ als mögliche Strategie, bei der nach längerer Zeit jegliche auditiven Signale ausgeblendet werden. Dies widerspricht direkt dem beworbenen Vorteil von Großraumbüros - einer gesteigerten Kommunikation. In der Praxis werden aber auch andere Bewältigungsstrategien beobachtet, wie ein erhöhter allgemeiner Einsatz, Überstunden, kurzzeitige Unterbrechung der Arbeit oder das Verwenden von Kopfhörern (Kaarlela-Tuomaala et al., 2009). Vor allem Kopfhörer stellen bei richtiger Anwendung eine große Chance im Bereich der individuellen Maskierung dar. Sie bieten eine individuell kontrollierbare Alternative zur Maskierung über Lautsprecher und werden augenscheinlich teilweise bereits verwendet. Des Weiteren bieten die vergleichsweise kleinen Klangräume einer Kopfhörermuschel eine ideale Möglichkeit zum Einsatz neuer Technologien wie Active-Noise-Cancelling.

Active-Noise-Cancelling

Antischall oder Active-Noise-Cancelling (im Folgenden ANC) bezeichnet einen Schall, der mit dem Ziel erzeugt wird, einen natürlich vorkommenden Schall aufzuheben. Dafür macht er sich das theoretische Phänomen der destruktiven Interferenz zu Nutze. Überlagert man zwei Schallwellen übereinander ergibt sich eine neue Welle, deren maximalen Amplitude sich aus den Amplituden der Originalwellen ergibt. Die Phase der neuen Welle errechnet sich aus dem Mittel der Phasen der Originalwellen. Destruktive Interferenz stellt in diesem Zusammenhang den Sonderfall dar,

dass die Originalwellen gegensätzliche Phasen besitzen - also eine halbe Wellenlänge versetzt sind - und sich somit gegenseitig aufheben. Dieses Konzept funktioniert theoretisch perfekt - es entsteht Stille. Es muss jedoch bedacht werden, dass ANC in der Praxis mit Geräuschen, anstatt reinen Tönen arbeitet und eine leichte Verzögerung durch Aufnahme, Signalverarbeitung und Abspielen entsteht (Nelson & Elliott, 1991). Aus diesem Grund wird oft auch von Active-Noise-Reduction gesprochen, obwohl Active-Noise-Cancelling immer noch der dominierende Begriff ist. In der Praxis liefert ANC bessere Ergebnisse mit tiefen Frequenzen, wirklich effektiv ist es im Bereich unter 500Hz, was die Anwendung auf Sprachgeräusche zu einer Herausforderung macht. Deren Frequenzbereich liegt generell zwischen 300 und 5.000Hz. Andererseits komplementiert ANC bei der Anwendung mit Kopfhörern ideal den passiven Maskierungseffekt der Ohrmuscheln, welcher bei höheren Frequenzen effektiver ist (Leitch & Tokhi, 1987). Eine weitere Schwierigkeit stellt die hohe Variabilität und generelle Unvorhersehbarkeit von Sprachgeräuschen dar. Die bis heute größten Anwendungsbereiche von ANC sind Maskierung von monotonen und tieffrequenten Störgeräuschen etwa beim Start eines Flugzeuges oder während einer Autofahrt (Leitch & Tokhi, 1987). Mehr Variabilität bedeutet, dass stärkere und schnellere Anpassungen für eine effektive Maskierung notwendig sind. Das Gebiet des ANC ist vergleichsweise jung, da Geräte zur digitalen Tonverarbeitung lange Zeit fehlten oder nicht die Rechenleistung besaßen, in Echtzeit ANC zu produzieren. Es steht zur Frage, ob heutige kommerziell erhältliche Geräte Sprachgeräusche schnell genug verarbeiten können, um eine effektive Maskierung zu generieren.

In der Literatur drängt dieser Fokus auf Effektivität die Frage an den Rand der Forschung, ob Arbeitnehmer im Büro über längere Zeit hinweg Kopfhörer tragen würden. Wie bereits erwähnt berichteten Kaarlela-Tuomaala et al. (2009) das Hören von Musik über Kopfhörer als spontane Bewältigungsstrategien in Großraumbüros. Einzelne Arbeitnehmer verwenden also bereits Kopfhörer mit einer Art von Maskierung, auch wenn Musik als Maskierungsgeräusch wenig effektiv oder sogar störend ist (Haapakangas et al., 2011). In ihrer Studie berichten Haapakangas et al. (2011) von einem vergleichbaren Leistungsabfall bei der Präsentation von Musik mit Gesang beim Bearbeiten verschiedener kognitiver Aufgaben als bei der Präsentation von Sprache. Schlittmeier und Hellbrück (2009) fanden einen spezifischeren negativen Einfluss von Staccato-Musik, welcher dem von Sprache ähnelt, während Legato-Musik keinen störenden Einfluss zeigte, jedoch auch nicht als Maskierung für Sprache geeignet war. In diesem Punkt zeigte nur kontinuierliches Rauschen, wie es konventionell zur Schallmaskierung verwendet wird, eine Wirkung. Dieser Unter-

schied zwischen Staccato- und Legato-Musik spricht für die sogenannte Changing-State-Hypothese, welche versucht, den einzigartigen Effekt von Sprache auf das Arbeitsgedächtnis zu erklären. Um die Hypothese vollständig zu erläutern, muss jedoch zunächst der Effekt, auf dem sie aufbaut, eingeführt werden.

Der Irrelevant-Speech-Effekt

Der Irrelevant-Speech-Effekt (im Folgenden ISE) bezeichnet den negativen Einfluss von irrelevantem, sprachähnlichem Schall auf die Leistung des Reihenfolgedächtnisses.

Diese Beschreibung ist jedoch nur die starke Vereinfachung eines Effekts, welcher über die Zeit bei der Präsentation von unbekanntem Sprachen (Colle, 1980; Colle & Welsh, 1976), rückwärts abgespielter Muttersprache (Jones, Miles & Page, 1990) und sinnlosen Silben (Salamé & Baddeley, 1982) festgestellt wurde. Gleichzeitig erzeugt nicht jedes Hintergrundgeräusch diesen negativen Effekt. Weder die Präsentation von weißem Rauschen (Jones et al., 1990; Salamé & Baddeley, 1982) noch einzelner wiederholter Wörter oder Silben (Jones, Madden & Miles, 1992) erzeugt den ISE. Es stellen sich folgende Fragen: Was ist der entscheidende Faktor, der die Gedächtnisleistung beeinflusst? Welche Eigenschaften muss der Störschall aufweisen um den ISE hervorzurufen?

Insbesondere zwei Erklärungsansätze haben sich hervorgehoben: die Beeinträchtigung der phonologischen Schleife im Zusammenhang des „Mehrkomponentenmodells des Arbeitsgedächtnisses“ und die Changing-State-Hypothese aus dem „Object-Oriented-Modell“. Beide werden im Folgenden skizziert.

Das Mehrkomponentenmodell des Arbeitsgedächtnisses

Zuerst benannt wurde der ISE von Salamé und Baddeley (1982), die ihn als Evidenz für Baddeley und Hitchs Mehrkomponentenmodell des Arbeitsgedächtnisses heranzogen (Baddeley & Hitch, 1974). Er wurde jedoch schon vor dieser Benennung mehrfach untersucht (Colle, 1980; Colle & Welsh, 1976). Baddeley und Hitchs Modell besteht in der aktuellen Version aus vier Komponenten. Die zentrale Exekutive soll Aufmerksamkeit verteilen und als Kontrollsystem fungieren. Der visuell-räumliche Notizblock verarbeitet visuell-räumliche Information durch Imagery (innere Visualisierung) und erhält diese aufrecht. Der episodische Puffer ist ein multidimensionaler Speicher, welcher den Zugang zum Langzeitgedächtnis ermöglicht. Die letzte Komponente stellt die phonologische Schleife dar. Diese ist laut

Baddeley verantwortlich für den ISE. Die phonologische Schleife ist ein Speicher sprachlicher Information, deren Aufrechterhaltung stark von einem Prozess, den Baddeley und Hitch als Rehearsal beschreiben, abhängt. Gedächtnisinhalte können durch inneres, artikulatorisches Wiederholen (Rehearsal) aufrecht erhalten werden. Dabei wird auditive Information direkt in den phonologischen Speicher aufgenommen, während visuelle Information erst innerlich artikuliert (phonologisch codiert) werden muss. Die Aufrechterhaltung der Information in der phonologischen Schleife kann durch interferierende sprachliche Information gestört werden, was den ISE auslöst. Das Rehearsal der Information, die erinnert werden soll, wird durch die irrelevante Sprache gestört, da beide Inhalte Zugang zur phonologischen Schleife haben. Das Mehrkomponentenmodell grenzt dabei ein, dass es sich um Sprachinformation handeln muss, da nur diese Zugang zur phonologischen Schleife besitzt. Dies ist konform damit, dass der ISE nur bei sprachähnlichen Reizen auftritt. Ein Phänomen, welches durch Baddeley und Hitches Mehrkomponentenmodell jedoch nicht erklärt werden kann, ist der Changing-State-Effekt, welcher im Zuge des ISEs auftritt.

Jones et al. (1992) postulierten, dass Sprache in Bezug auf den ISE keine einzigartige Position einnimmt und die bisherigen Vergleiche zu weißem oder rosanem Rauschen ungenügend waren. Ob der ISE auftritt, hängt laut Jones et al. (1992) nicht vom Inhalt oder der semantischen Ähnlichkeit zum Material ab, das erinnert werden soll, sondern von den akustischen Eigenschaften des Störschalls. Eine besondere Rolle nimmt dabei dessen Veränderung über die Zeit und seine Vorhersehbarkeit ein. In einer Reihe von Untersuchungen versuchten sie diese Annahmen, welche sie die Changing-State-Hypothese nannten, zu bestätigen und die akustischen Eigenschaften zu spezifizieren. Es stellte sich heraus, dass ein reiner Wechsel der Amplitude nicht genügte (Jones et al., 1992), sondern eine Veränderung der Tonhöhe über die Zeit gepaart mit einem diskontinuierlichen Reizstrom notwendig war (Jones & Macken, 1993). Wurden diese Bedingungen erfüllt, zeigte sich der Irrelevant-Speech-Effekt beziehungsweise Irrelevant-Sound-Effekt ebenso mit Beschallung von Tönen statt Sprache, wenn auch in leicht verringertem Ausmaß (LeCompte, Neely & Wilson, 1997). Die entscheidenden Eigenschaften von Sprache sind demnach ihre spontan auftretenden Veränderungen in der Tonhöhe und ihre natürlich wahrgenommene Diskontinuirlichkeit. Das Rehearsal der Reize in der phonologischen Schleife wird laut Baddeley und Hitch (1974) ausschließlich durch sprachähnliche Geräusche ausgelöst, unabhängig von der Periodik des Schalls. Der Befund, dass auch nicht-sprachliche Schalle eine ähnliche Störwirkung hervorrufen, führte zur Entwicklung eines alternativen Arbeitsgedächtnismodells, welches im folgenden Kapitel vorge-

stellt wird.

Das Object-Oriented-Episodic-Record-Modell

Ein Arbeitsgedächtnismodell, welches zumindest im Hinblick auf den Changing-State-Effekt eine vollständigere Erklärung des ISEs bietet, ist das Object-Oriented-Episodic-Record-Modell von Jones und Macken (1993). Dennoch gibt es auch Phänomene, welche dieses Modell nicht integrieren kann (LeCompte, 1996). Es stellt ein konnektionistisches Modell mit zentralistischem Ansatz dar. Das bedeutet, dass der Fokus auf die Verbindungen zwischen den Gedächtnisinhalten gelegt und keine modulare Aufteilung vorgenommen wird, wie beim Mehrkomponentenmodell. Jones und Macken (1993) verwendeten hierbei eine Schultafelanalogie, bei der distinkte Objekte unabhängig von ihrer modalen Quelle auf einer episodischen Oberfläche platziert werden (Abbildung 1).

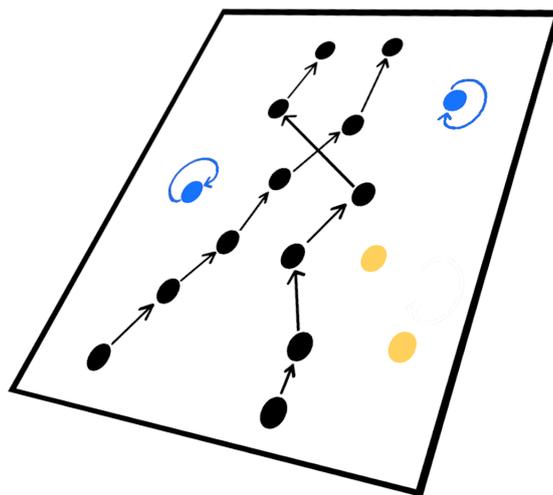


Abbildung 1. Schematische Darstellung der Elemente auf der episodischen Oberfläche im Object-Oriented-Episodic-Record-Modell. Die schwarzen gerichtete Ketten repräsentieren Changing-State-Material, blaue Elemente sich wiederholende Reize und gelbe Elemente einzelne Reize (beides Steady-State-Material).

Aufbauend auf der Changing-State-Hypothese unterscheidet das Modell zwischen zwei Reizarten. Reize oder Ereignisse im Wechselzustand (Changing-State-Material) werden in Form eines Gedankenstroms oder einer episodischen Aufzeichnung kodiert. Dafür wird jedes Element mit einem Verweis auf das nächste versehen bis zum letzten Element, welches keinen Verweis enthält. So entsteht eine gerichtete Kette auf der Tafel, der besagte Gedankenstrom, anstatt unabhängiger Objekte.

Für Reize im stationären Zustand (Steady-State-Material) werden keine derartigen Verknüpfungen erstellt. Auch werden wiederholende Elemente nicht als mehrere Objekte auf der Tafel dargestellt. Die Abwesenheit einer Veränderung beseitigt die Notwendigkeit multipler Repräsentationen. Dementsprechend entsteht für sie kein Gedankenstrom, auch wenn der Reiz sich wiederholt, also fortlaufend Input generiert wird. Ist die stationäre Art des Reizes einmal erkannt, genügt eine Repräsentation mit Selbstverweis, um den Input zu verarbeiten. Ein Äquivalent zum Rehearsal in der phonologischen Schleife stellt hier das Nachverfolgen des episodischen Verlaufs der Gedankenströme dar. Dabei wird den Verweisen vom ersten bis zum letzten Element des betreffenden Stroms gefolgt. Dieses episodische Nachverfolgen eines Stroms ist notwendig, um die schlüssige Form des Verlaufs aufrecht zu erhalten, welche über die Zeit zerfällt. Es kann gestört werden, wenn ein weiterer Gedankenstrom vorhanden ist, welcher selbst aus Reizen im Wechselzustand besteht. Dabei ist die Stärke der Störung von der inneren Stimmigkeit des relevanten Stroms und der Anzahl der Elemente im irrelevanten Strom abhängig. Beim ISE liegt eine solche Störung vor. Eine Ordnungskomponente, in Form der Verweise zwischen den Elementen, wird beschädigt, was zu Fehlern beim Abruf der relevanten Reizfolge führt.

Eigenschaften des Irrelevant-Speech-Effekts

Die wesentliche Rolle, welche der ISE in der Erforschung des Arbeitsgedächtnisses eingenommen hat, brachte eine umfassende Exploration vielerlei Eigenschaften des Effekts mit sich. Dieses vergleichsweise umfangreiche Wissen über den Effekt macht ihn zu einer guten Wahl, um die Beeinträchtigung von Störgeräuschen auf kognitive Leistung zu untersuchen. Es lässt sich genau bestimmen, durch welche Aufgaben, unter welchen Umständen und mit welchen Materialien der Effekt hervorgerufen wird. Des Weiteren eignet er sich ideal für die Anwendung im Bürokontext aufgrund seines Fokus auf Sprache und sprachähnliche Geräusche. Sprachgeräusche wurden als störendster akustischer Faktor im Büro beschrieben (Haapakangas et al., 2008; Kaarlela-Tuomaala et al., 2009). Der Nachteil der Untersuchung eines derart spezifischen Effekts ist die fehlende Generalisierbarkeit. Aufgaben, die verschiedene Fähigkeiten oder Gedächtnisteile ansprechen, reagieren nicht zwangsweise einheitlich auf Manipulationen, in diesem Fall die Sprachgeräusche (Jahncke, Hongisto & Virjonen, 2013). Abgesehen davon ist es schwierig, Bürotätigkeiten realistisch abzubilden. Der Begriff „Bürotätigkeit“ ist so vage, dass die Erstellung einer umfassenden Liste unmöglich ist. Und selbst mit einer derartigen Liste müsste eine anwendungs-

orientierte Evaluation von Effekten immer in Abhängigkeit von den für das betreffende Büro relevanten Aufgaben getroffen werden. Die Relevanz der Ergebnisse für den Arbeitsalltag in einem Großraumbüro hängt dabei auch von den jeweiligen Anforderungen ab, die an die Mitarbeiter gestellt werden. Für die vorliegende Studie wurde bewusst ein spezifischer Effekt des Reihenfolgedächtnisses mit bekannten Eigenschaften als Repräsentation kognitiver Leistung gewählt. Im Folgenden werden für die vorliegende Studie relevante Eigenschaften des ISEs zusammengestellt und darauf aufbauende methodische Entscheidungen begründet.

Herleitung verwendeter Methoden

Colle (1980) zeigte in einer Reihe von Experimenten, dass der ISE über eine Spanne von mindestens 30dB(A) konstant blieb. Erst bei einem Schalldruckpegel von 20dB(A) zeigte sich keine erhöhte Fehlerrate durch die eingespielte Sprachspur. Der im vorliegenden Versuch verwendete Sprachpegel von 55.9 dB(A) ist also laut Colle (1980) angemessen, um den ISE zu erzeugen. Die Sprachspur wurde als Repräsentation eines Telefonats beziehungsweise Gesprächs in einem Büroumfeld gewählt.

Die vorliegende Studie stellt ein Within-Subject-Design mit 13 Bedingungen dar. Obwohl sich in früheren Studien keine Habituation des ISE über die Zeit zeigte (Jones, Macken & Mosdell, 1997), wurde durch die Anordnung der Bedingungen nach der lateinischen Quadrat Methode möglichen Reihenfolgeeffekten vorgebeugt.

Der ISE wird klassischerweise mithilfe einer Serial-Recall-Aufgabe mit Messwiederholung erfasst (zum Beispiel Jones et al. 1992; Salamé und Baddeley 1982). Dies ist dem limitierten Einfluss des ISE zuzuschreiben. Jones und Macken (1993) fanden ihn nicht bei der Missing-Item-Aufgabe, in der Probanden ein fehlendes Objekt in einer unvollständigen Liste finden müssen, welche zuvor vollständig präsentiert wurde. Die Autoren bauten ihr Object-Oriented-Episodic-Record-Modell auf der Annahme auf, dass der ISE auf Aufgaben begrenzt ist, welche einen Rehearsal vorgegebener Elemente in der vorgegebenen Reihenfolge erfordert. Dem entsprechen die Befunde von Neath, Guérard, Jalbert, Bireta und Surprenant (2009) und Farley, Neath, Allbritton und Surprenant (2007), die den Effekt jeweils auf die Aufgaben statistisches Lernen mit nonverbalem Material und sequentielles Lernen erweiterten. Die Annahme ist jedoch nicht unumstritten. Es existieren widersprüchliche Befunde bezüglich der Verwendbarkeit der Free-Recall-Aufgabe (LeCompte, 1994; Salamé & Baddeley, 1982) sowie der Missing-Item-Aufgabe (Jones & Macken, 1993; LeCompte, 1996). Beide Aufgaben erfordern keinen Rehearsal der Elemente in der vorgegebenen Rei-

henfolge wodurch ein auftretender ISE hier gegen Jones und Mackens Annahme zum Arbeitsgedächtnis spricht. Aufgrund dieser Unklarheit gegenüber manchen Aufgabenformen verwendet die vorliegende Studie eine klassische Serial-Recall-Aufgabe mit erprobtem Material (Zahlen von eins bis neun).

Aus praktischen Gründen wurde im folgenden Experiment sowohl die Sprecherstimme, als auch die Maskierung in der Lern-, Rehearsal- und Recall-Phase der Serial-Recall-Aufgabe präsentiert. Dies sollte den ISE nicht negativ beeinflussen. Bereits Miles, Jones und Madden (1991) zeigten, dass es gleichbedeutend ist, ob das Störgeräusch während der Rehearsal- oder Lernphase präsentiert wurde, eine ausschließliche Präsentation in der Recall-Phase jedoch einen verringerten Effekt zur Folge hat.

Vorstudien

Die vorliegende Studie ist direkt auf die Studien von Müller, Liebl und Martin (2019) sowie Renz, Leistner und Liebl (2018) aufgebaut.

Müller et al. (2019) untersuchten die Wirkung von ANC-Kopfhörern auf die kognitive Leistungsfähigkeit und das subjektive Empfinden. Sie ließen Versuchspersonen eine Serial-Recall-Aufgabe zur Erfassung kognitiver Leistungsfähigkeit unter verschiedenen Schallbedingungen bearbeiten und anschließend eine Reihe subjektiver Fragen beantworten. Die Probanden wurden gebeten, Einschätzungen zur empfundenen Lästigkeit des Sprechers, zum Konzentrationsvermögen, zur Sprecherlautheit, zum Abstand zum Sprecher, zur Langzeitstörung sowie zur subjektiven Leistungsfähigkeit abzugeben. Neben der Ruhebedingung gab es drei Bedingungen, in welchen den Probanden im Labor Aufnahmen eines männlichen Sprechers vorgespielt wurden, der Sätze aus dem Oldenburger Satztest in einem Großraumbüro vorlas. Dabei trugen die Versuchspersonen entweder keine Kopfhörer oder Kopfhörer mit aus-/angeschaltetem ANC. Die Autoren der Studie fanden keinen Einfluss der ANC-Kopfhörer auf die kognitive Leistungsfähigkeit. In den subjektiven Maßen ergaben sich vereinzelt Effekte, jedoch nur zwischen den Bedingungen ohne und mit Kopfhörer, nicht zwischen den Bedingungen mit und ohne ANC, was vermutlich durch die schalldämpfenden Eigenschaften der Kopfhörer zu erklären ist. Die einzige Ausnahme bildete der geschätzte Abstand zum Sprecher: Er wurde signifikant weiter entfernt eingeschätzt, wenn die ANC-Kopfhörer angeschaltet waren.

Renz et al. (2018) untersuchten in einem ähnlichen Rahmen den Einfluss räumlicher Trennung des Störgeräusches von der Maskierung. Auch sie verwendeten eine

Serial-Recall-Aufgabe zur Erfassung kognitiver Leistung und einen Fragebogen zur Erhebung der empfundenen Lästigkeit des Sprechers. Die als Störgeräusch verwendeten Sprachspuren wurden zusammen mit der Maskierung im Vorfeld aufgenommen. Das aufnehmende Mikrofon wurde repräsentativ für einen Arbeitnehmer in ein Großraumbüro oder Freifeld platziert. Durch zwei Lautsprecher wurde jeweils eine Sprecherspür und Maskierungsgeräusche wiedergegeben, um den Bürokontext zu simulieren. Dabei variierten jeweils die Positionen der Lautsprecher für Sprecher und Maskierung im Vergleich zum aufzeichnenden Mikrofon. Es ergaben sich Bedingungen, in denen sich beide Lautsprecher links vom Mikrofon befanden und Bedingungen, in denen sie getrennt waren (Sprecher links, Maskierung hinten oder umgekehrt). Die Aufnahmen wurden den Probanden im Experiment über Kopfhörer präsentiert. Die Ergebnisse sprachen nicht eindeutig für oder gegen den Einfluss räumlicher Trennung von Maskierung und Störgeräusch. Im Hinblick auf die kognitive Leistung ergaben sich zwei Fälle, bei denen getrennte Positionen zu einer Leistungsverbesserung führten. Jedoch betraf dies im Freifeld den Vergleich zwischen beiden Lautsprechern hinter dem Mikrofon und der Bedingung Sprecher hinten, Maskierung links, während es sich im Großraumbüro anders herum verhielt. Hier führte nur die Platzierung der Maskierung hinten, Sprecher links zu einer Leistungsverbesserung. Innerhalb der Umgebungsbedingungen wurde der Vergleich zur jeweils umgekehrten Anordnung der Lautsprecher nicht signifikant. Es ist fraglich, ob von einem konsistenten Effekt räumlicher Trennung von Maskierung und Störgeräusch ausgegangen werden kann und ob die Raumbedingung ein interagierender oder eher ein störender Faktor in diesem Versuch darstellte.

Vorliegende Studie

Während Müller et al. (2019) den Einfluss von ANC-Kopfhörern unabhängig von der Maskierung untersuchten und Renz et al. (2018) sich auf räumliche Trennung beschränkten, versucht die vorliegende Studie mehrere Faktoren umfassend zu evaluieren. Untersucht wurde die Kombination von Kopfhörermaskierungen mehrerer Schalldruckpegel mit oder ohne ANC und mit oder ohne Maskierung, die sich adaptiv an die Richtung des Störgeräusches anpasste. Da die hier eingeführte adaptive Maskierung über Kopfhörer ein neues Konzept darstellt, wurden zunächst optimale Bedingungen für ihren Effekt geschaffen. Aus diesem Grund wurde der störende Sprachschall in einem -90° Winkel zum Blickwinkel der Versuchsperson abgespielt. Geht man davon aus, dass die Probanden während des Versuchs ihre Blickrichtung

nicht drastisch veränderten - eine realistische Annahme, da die Aufgabe darin bestand, eine Zahlenreihe auf einem Bildschirm in Blickrichtung zu betrachten - so wurde bei adaptiver Maskierung zu einem Großteil der Zeit die maximale Differenz zwischen den Kopfhörerarmuscheln (10dB(A)) präsentiert. Die Maskierung in der linken Kopfhörerarmuschel war demnach 10dB(A) intensiver als in der rechten Muschel. Es sollte ebenso erwähnt werden, dass die Störschallquelle in diesem Versuch stationär auf der -90° Position blieb. Natürlich ist es in tatsächlichen Großraumbüros möglich, mehrere, sich bewegende Schallquellen vorzufinden. Nichtsdestotrotz wurde die Platzierung im Versuch für plausibel gehalten, man denke beispielsweise an ein Telefongespräch am benachbarten Arbeitsplatz. Unabhängig von einer realistischen Repräsentation von Störgeräuschen beeinflusst die Platzierung des Störgeräusches nicht den ISE, wie Colle (1980) durch einen Vergleich von binaural und monoaural präsentierten Geräuschen heraus fand. Zusätzlich wurden fünf Bedingungen, angelehnt an das Design von Müller et al. (2019), untersucht: Stille, Sprecher, Sprecher mit Maskierung über Lautsprecher, Sprecher mit Maskierung und aufgesetzten ANC-Kopfhörern und die selbe Bedingung mit angeschaltetem ANC.

Erhoben wurden die kognitive Leistungsfähigkeit durch eine Serial-Recall-Aufgabe und mehrere subjektive Maße, namentlich empfundene Lästigkeit, empfundene Konzentrationsfähigkeit, empfundene Sprecherlautheit, empfundene Umgebungslautheit, subjektive Bewertung der akustischen Umgebung und subjektive Leistungsfähigkeit, übernommen aus Müller et al. (2019). Die Erhebung der subjektiven Maße sollte das Problem der Akzeptanz von Maskierungssystemen aufgreifen. Auch in einer praxisorientierten Studie wie der vorliegenden sollte sich nicht auf die kognitive Leistung fixiert werden. Ihre Beeinträchtigung repräsentiert die durch den ISE verloren gegangene Arbeit und somit einen direkten Umsatzverlust für eine Firma. Doch wie Veitch et al. (2002) fanden, hängt die Akzeptanz von Maskierungssystemen nicht nur von deren akustischer Effektivität oder dem Einfluss auf die Leistungsfähigkeit ab. Demnach kann sie nicht aus der kognitiven Leistungsfähigkeit abgeleitet werden und muss separat erhoben werden. Die Frage, nach welchen Kriterien ein System implementiert wird und wie dabei Akzeptanz gegen Arbeitsleistung gewichtet werden soll, muss fallspezifisch entschieden werden. Das Ziel dieser Studie ist nicht, eine universelle Antwort zum Einsatz von ANC-Kopfhörern in der Raumakustik zu finden. Vielmehr liefert die Einbindung der subjektiven Maße wichtige Informationen für derartige Entscheidungen.

Erwartungsgemäß sollte die Ruhebedingung in allen abhängigen Variablen für jede Versuchsperson die beste Bedingung darstellen. Dies bedeutet für die kogni-

tive Leistungsfähigkeit die niedrigste relative Fehlerhäufigkeit. Bedingt durch den ISE sollte die Bedingung, in der nur die Sprachspur präsentiert wurde (Sprecherbedingung), den größten Leistungsabfall in der Serial-Recall-Aufgabe hervorrufen. Von der Sprecherbedingung ausgehend sollte sowohl die zusätzliche Präsentation einer Maskierung als auch das ANC die Leistung verbessern. Wenn man zur Sprecherbedingung also sukzessive Lautsprechermaskierung, Kopfhörer und schließlich ANC zufügt, sollte die Leistung wieder stetig steigen. Bei den Bedingungen mit Kopfhörermaskierung sollte der Faktor Maskierungslautstärke bei der Ausprägung mit höherem Schalldruckpegel bessere Leistung der Versuchspersonen erzielen. Das Anschalten des ANCs sollte die die kognitive Leistung verbessern, genauso wie die adaptive Anpassung der Maskierung gegenüber der statischen.

Zusätzlich wurde untersucht, ob die Verwendung von ANC effektiv genug ist, um eine Verringerung des Maskierungspegel um 10dB(A) zu erlauben, ohne einen Einbruch in der kognitiven Leistung zu verursachen. Eine Maskierung um den Schalldruckpegel von 45dB(A) gilt zwar als Obergrenze, führt aber trotzdem oft zu Beschwerden oder geringer Akzeptanz. Daher wäre eine solche Verringerung förderlich für die weitere Verbreitung von Maskierungssystemen.

Ein eher unerwünschter, aber durchaus möglicher Nebeneffekt der ANC-Kopfhörer könnte bei ihrem Einsatz mit Lautsprechermaskierung auftreten. ANC-Algorithmen sind nicht darauf ausgelegt, Störgeräusche zu trennen. Der Algorithmus unterscheidet nicht zwischen der störenden Sprache und der Maskierung. Er generiert demnach ANC für beide und könnte so die Maskierung, also das Rauschen, maskieren. In diesem Fall sollten die kognitive Leistung bei angeschaltetem ANC und Lautsprechermaskierung im Vergleich mit derselben Bedingung ohne ANC abfallen. Diese Hypothese ist vor allem interessant, da ANC effektiver bei niedrigeren Frequenzen arbeitet und die verwendete Maskierung mit steigender Frequenz einen geringeren Schalldruckpegel besitzt.

Methoden

Stichprobe

Eine Poweranalyse ergab eine benötigte Versuchspersonenanzahl von 57. Simuliert wurde dabei der Vergleich zwischen den Bedingungen sieben und acht (Tabelle 1), also „statische Kopfhörermaskierung mit 35dB(A) und ANC“ und „statische Kopfhörermaskierung mit 45dB(A) ohne ANC“ als Repräsentation des förderlichen

Effekts von ANC. Der verwendete minimal relevante Effekt ergab sich aus dem Anspruch, dass die Anschaffung von ANC-Kopfhörern im Vergleich zu einem konventionellen Maskierungssystem für ein Büro mit zehn Angestellten nach einem Jahr lohnenswert sein sollte. Es wurden die Anschaffungskosten der verwendeten Kopfhörer gegen ein konventionelles System verglichen und die entstehenden Mehrkosten der Kopfhörer als Richtwert genutzt, wie viel die Leistungsverbesserung der zehn Mitarbeiter über ein Jahr erbringen muss. Hierfür wurde ein Rechenprogramm des Fraunhofer Instituts für Bauphysik verwendet, welches die Einsparung durch Leistungsoptimierung eines Büros aus einer Vielzahl von Variablen schätzt, unter anderem Anzahl der Beschäftigten, Berufsgruppe und Ausmaß der Leistungssteigerung. Diese Hochrechnung ergab eine geschätzte nötige Leistungsverbesserung von zehn Prozent, welche für die Poweranalyse als minimal relevanter Effekt verwendet wurde. Dies entspricht insgesamt 10.8 weniger Fehlern bei zwölf Durchgängen der Serial-Recall-Aufgabe mit jeweils neun möglichen Fehlern. Gefordert wurde eine Power von 90%.

Insgesamt nahmen 57 Personen an dem Versuch teil. 31 Teilnehmer waren weiblich, 26 männlich. Der jüngste Teilnehmer war 19, der älteste 56 Jahre alt, das Durchschnittsalter betrug 28 Jahre ($M = 27.53$, $SD = 7.79$). Die Teilnahme wurde mit 20€ vergütet.

Apparatur und Stimuli

Zur Repräsentation störender Sprache wurde eine nachhallfreie Aufnahme des Oldenburger Satztests herangezogen, der von einer weiblichen Sprecherin gesprochen wurde. Die Sprecherstimme wurde mit 55.9 dB(A) eingespielt. Als konventionelle Maskierung wurde rosanes Rauschen mit einer Verringerung des Schalldruckpegels um 5dB(A) pro Oktave und einem A-bewerteten energieäquivalenten Dauerschallpegel (L_{Aeq}) von 45 dB(A) über die selbe Schallquelle als das Störgeräusch eingespielt (Abbildung 6). Die Maskierung über den Kopfhörer war ebenso rosanes Rauschen, welches auf der niedrigeren Einstellung mit 35 dB(A) und auf der hohen Einstellung mit 45 dB(A) präsentiert wurde. Die Sprecherstimme wurde aus einem Lautsprecher in 3.3 m Abstand links von der Versuchsperson abgespielt, mit einem Winkel von -90° zu ihrem Blickwinkel, während die Maskierung über Lautsprecher gleichmäßig im Raum verteilt war und die Maskierungen über den Kopfhörer aus beiden Ohrmuscheln abgespielt wurde. Verwendet wurden Sennheiser MB 660 UC MS Kopfhörer und deren interner ANC-Algorithmus. Das Experiment wurde im

High-Performance-Indoor-Environment-Labor (HiPIE-Labor) des Fraunhofer Instituts für Bauphysik, Standort Stuttgart-Vaihingen, durchgeführt. Das Labor hat die Maße 3.3m x 3.3m und besitzt eine Nachhallzeit von 0.39s. Während der Testungen bestand eine konstante Temperatur von 23°C und ein Sound-Noise-Ratio von 0.94 in den Bedingungen mit 45dB(A) Maskierung und 1.98 in Bedingungen mit 35dB(A). Die Serial-Recall-Aufgabe wurde mit Hilfe der Software PsyScope X Experiment Control System (Version B57) durchgeführt. Die subjektive Befragung fand mittels des webbasierten Programms LimeSurvey außerhalb des Experimentalprogramms im Browser statt. Die einzelnen Items wurden aus Müller et al. (2019) übernommen und stammen ursprünglich aus der ISO/TS 15666, beziehungsweise der DIN ISO 16832 Richtlinie. In der subjektiven Befragung wurde die Versuchsperson gebeten, eine Einschätzung ihrer subjektiven Leistungsfähigkeit beim Lösen der Zahlenmerkaufgabe auf einer Skala von 0% bis 100% zu geben. Ebenso wurden eine empfundene Einschätzung der Lästigkeit des Sprechers (5 = „äußerst“, 4 = „stark“, 3 = „mittelmäßig“, 2 = „etwas“, 1 = „überhaupt nicht“) sowie des empfundenen Konzentrationsvermögens während der Aufgabenbearbeitung, der Sprecherlautheit und der Lautstärke der akustischen Situation (jeweils: 5 = „außerordentlich“, 4 = „ziemlich“, 3 = „mittelmäßig“, 2 = „kaum“, 1 = „gar nicht“) abgefragt. Des Weiteren wurde eine subjektive Bewertung der akustischen Umgebung während der letzten Bedingung (5 = „sehr gut“, 4 = „gut“, 3 = „weder gut noch schlecht“, 2 = „schlecht“, 1 = „sehr schlecht“) abgegeben. Alle statistischen Berechnungen wurden mit der Statistiksoftware R (Version 3.5.2) durchgeführt.

Versuchsdesign

Das Design des vorliegenden Versuches war durchgehend ein Within-Subject-Design, in dem jeder Proband seine eigene Kontrollbedingung produzierte, und teilt sich in zwei Teile auf: Der erste Teil besteht aus einem 2x2x2-Design mit den Einflussfaktoren Adaptivität (mit den Ausprägungen adaptiv und statisch), ANC und Maskierungslautstärke (mit den Ausprägungen 35dB(A) und 45dB(A)). Es beinhaltet die Versuchsbedingungen sechs bis dreizehn (Tabelle 1).

Während dieser Bedingungen trugen die Versuchspersonen die ANC-Kopfhörer, jedoch nicht immer mit eingeschaltetem Antischall, siehe Faktor ANC. Die Stufe adaptiv des Faktors Adaptivität betraf die Verteilung der Maskierung auf die beiden

Ohrmuscheln des Kopfhörers. In der adaptiven Einstellung wurde die Maskierung so verteilt, dass die Maskierung auf der Seite des Störgeräusches 10dB(A) intensiver abgespielt wurde. Auf der entgegengesetzten Seite war die Maskierung 10dB(A) leiser, sodass der Mittelungsschall mit dem Schallpegel in den statischen Bedingungen übereinstimmt. In diesen ist der Schallpegel auf beiden Ohrmuscheln konstant 35dB(A) beziehungsweise 45dB(A), je nach Ausprägung des Faktors Maskierungslautstärke. Der zweite Teil umfasste die Versuchsbedingungen zwei bis fünf (Tabelle 1) als Faktorstufen und stellte so ein eindimensionales Design dar.

Die abhängige Variable stellte die Differenz der relativen Fehlerhäufigkeit einer Bedingung zur Ruhebedingung der selben Person dar. Eine Eingabe wurde als korrekt gewertet, wenn eine Zahl von der Versuchsperson an der selben Stelle in der Zahlenreihe wiedergegeben wurde, an der sie in der Lernphase präsentiert wurde. Dementsprechend wurde jede von der originalen Reihenfolge abweichende Eingabe als Fehler gewertet. Da die Zahlen von eins bis neun erinnert werden sollten, konnten pro Durchgang maximal neun Fehler gewertet werden.

Tabelle 1

Übersicht der erhobenen Versuchsbedingungen

Nummer	Sprecher	Maskierung	Maskierungslautstärke	Kopfhörer
1	aus			
2	an			
3	an	konventionell	45dB(A)	
4	an	konventionell	45dB(A)	ANC off
5	an	konventionell	45dB(A)	ANC on
6	an	statisch	35dB(A)	ANC off
7	an	statisch	35dB(A)	ANC on
8	an	statisch	45dB(A)	ANC off
9	an	statisch	45dB(A)	ANC on
10	an	adaptiv	35dB(A) Mittelungspegel	ANC off
11	an	adaptiv	35dB(A) Mittelungspegel	ANC on
12	an	adaptiv	45dB(A) Mittelungspegel	ANC off
13	an	adaptiv	45dB(A) Mittelungspegel	ANC on

Ablauf

Jeder Versuchsperson wurden in einer Einzeltestung die selben Bedingungen, jedoch in unterschiedlicher Reihenfolge präsentiert. Die Instruktion zum Serial-Recall erfolgte über Text im Versuchsprogramm, ebenso die Anweisungen der subjektiven Befragung. Zu Beginn wurde jede Versuchsperson vom Versuchsleiter instruiert, dass sie eine Gedächtnisaufgabe und subjektive Befragung unter verschiedenen Schallbedingungen absolvieren würde und dass die Sprecherstimme, welche die meisten Bedingungen begleite, irrelevant für die Aufgabe sei. Es wurde darauf hingewiesen, dass der Inhalt der Sprecherspur nicht abgefragt werde.

Die Gedächtnisleistung wurde mit einer Serial-Recall-Aufgabe erfasst. Den Probanden wurden die Zahlen von eins bis neun in randomisierter Reihenfolge auf einem PC-Bildschirm visuell präsentiert. Die Präsentationsdauer betrug dabei für jede Zahl 700ms, mit einem 500ms Intervall zwischen den Zahlen. Nach einem sieben-sekündigen Retentionsintervall sollte die Zahlenfolge wiedergegeben werden. Dafür wurde ein Nummernblock dargeboten, bei dem die Zahlen verschwanden, sobald sie angeklickt wurden. Die Eingabe erfolgte über die Maus. Es gab keine zeitliche Begrenzung für den Abschluss der Aufgabe, jedoch wurde die Versuchsperson nach fünf Sekunden über einen Text unterhalb des Nummernblocks aufgefordert, ihre Eingabe zu beenden.

Eine Bedingung bestand aus 12 Sequenzen der Serial-Recall-Aufgabe, gefolgt von einem Online-Fragebogen, mit dem die subjektiven Maße erhoben wurden (Abbildung 2). Vor der ersten Bedingung absolvierte jeder Proband einen Übungsblock mit acht Sequenzen und ohne subjektive Befragung. Der Versuch dauerte maximal 90 Minuten. Die Schallbedingungen wurden manuell vom Versuchsleiter eingestellt, gestartet und spielten über die gesamte Länge inklusive der Retentionszeit und der subjektiven Befragung. Die Reihenfolge der einzelnen Bedingungen wurde über die Methode des lateinischen Quadrats bestimmt.

Ergebnisse

Kognitive Leistung

Untersucht wurde in einem varianzanalytischen 2x2x2-Modell zunächst durch einen Vergleich der Bedingungen sechs bis dreizehn (Tabelle 1) der Einfluss der Faktoren Maskierungspegel, Adaptivität und ANC bei Schallmaskierung über Kopf-

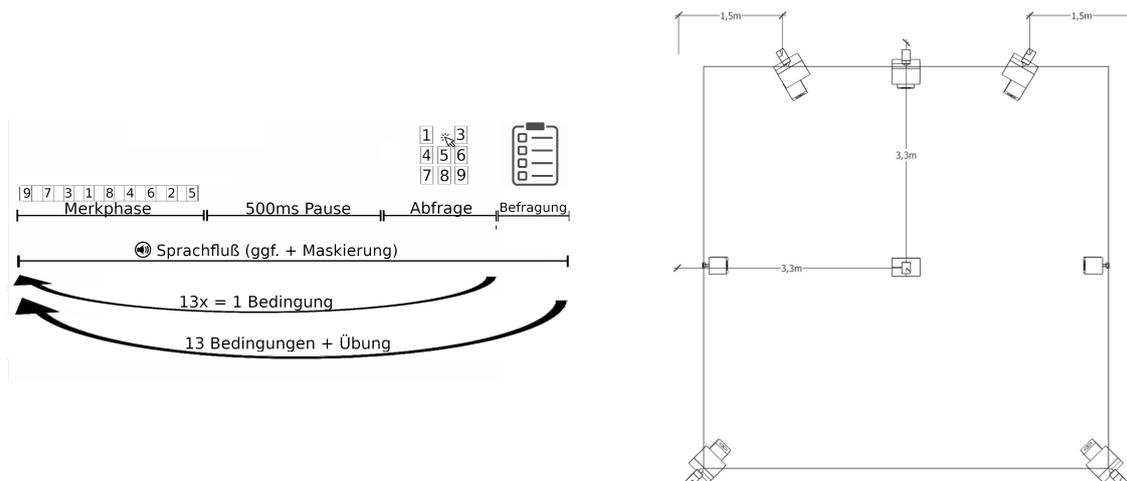


Abbildung 2. Schematische Darstellung des Versuchsablaufs und des HIPIE-Labors mit eingezeichneten Lautsprechern und Probandenplatzierung.

hörer. Anschließend wurden in einem einfaktoriellen varianzanalytischen Modell die Bedingungen zwei bis fünf verglichen (Tabelle 1), in denen die Schallmaskierung über Lautsprecher wiedergegeben wurde. Für die Auswertung des großen varianzanalytischen 2x2x2-Modells und für den Vergleich der Bedingungen sieben und acht wurde ein Bonferroni-korrigiertes α -Level von .0125 verwendet, für alle anderen Tests ein korrigiertes Level von .025.

Es konnte nicht bestätigt werden, dass die kognitive Leistungsfähigkeit in der Serial-Recall-Aufgabe bei Maskierung über die Kopfhörer durchgehend vom gewählten Maskierungspegel in den Kopfhörern ($F(1, 396) = 3.94, p = .048$), der Adaptivität der Maskierung ($F(1, 396) = 1.039, p = .31$) oder dem ANC der Kopfhörer ($F(1, 396) = 0.13, p = .73$) beeinflusst wird (Abbildung 3).

Abbildung 4 stellt die kognitiven Leistungsdifferenzen der Bedingungen zwei bis fünf im Vergleich zur Ruhebedingung dar. Es konnte nicht belegt werden, dass eine Maskierung von 45dB(A), das Tragen von Kopfhörern oder ANC den störenden Einfluss von Sprache mindern konnte ($F(3, 168) = 0.75, p = .52$).

Des Weiteren wurden zwei geplante Vergleiche zwischen einzelnen Bedingungen durchgeführt. Der Vergleich der Bedingungen vier und fünf (Tabelle 1) konnte nicht bestätigen, dass die Addition von ANC bei bereits vorhandener Maskierung die kognitive Leistungsfähigkeit wieder senkt ($t(56) = 0.82, p = .42, 95\% \text{ KI} = [-0.021, 0.032]$).

In einem Vergleich der Bedingungen sieben und acht (Tabelle 1) konnte nicht nachgewiesen werden, dass die Verringerung von Maskierungslautstärke (von 45-

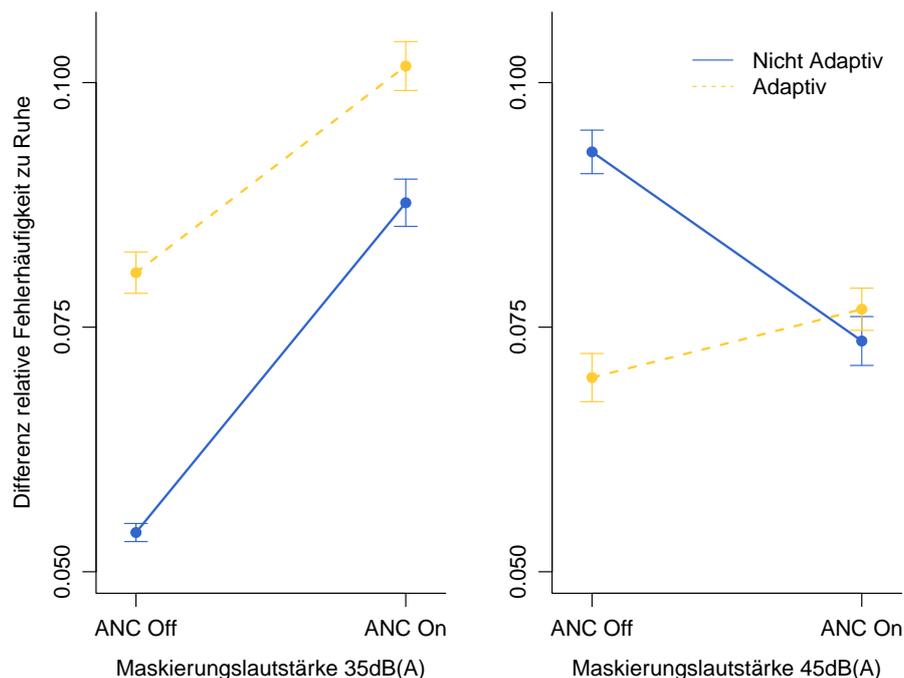


Abbildung 3. Differenz der relativen Fehlerhäufigkeiten zur Ruhebedingung in Abhängigkeit von den Faktoren Active-Noise-Cancelling, Lautstärke und Adaptivität der Maskierung.

dB(A) zu 35dB(A)) bei gleichzeitiger Addition von ANC einen Einbruch der kognitiven Leistungsfähigkeit bewirkte ($t(56) = 0.40$, $p = .70$, 95% KI = [-0.024, 0.056]).

Subjektive Maße

Die vollständigen Ergebnisse der sechs erhobenen subjektiven Maße empfundene Lästigkeit, empfundene Konzentrationsfähigkeit, empfundene Sprecherlautheit, empfundene Umgebungslautheit, subjektive Bewertung der akustischen Umgebung und subjektive Leistungsfähigkeit sind in Tabelle 2 dargestellt. Im Folgenden werden diese inhaltlich zusammengefasst. Da für diese Maße keine spezifischen Hypothesen bestanden, handelt es sich hierbei um explorative Analysen.

Bezüglich der über Lautsprechermaskierung untersuchten Faktor fand bei jedem der erhobenen subjektiven Maße eine Verbesserung der Bewertungen von der zweiten zur fünften Bedingung statt. Jedoch wurde nur bei den Maßen empfundene Lästigkeit, empfundene Konzentrationsfähigkeit, empfundene Sprecherlautheit und subjektive Leistungsfähigkeit die zweite Bedingung (Sprecherbedingung) am negativsten und die fünfte Bedingung (Sprecher, Maskierung, Kopfhörer und ANC) am

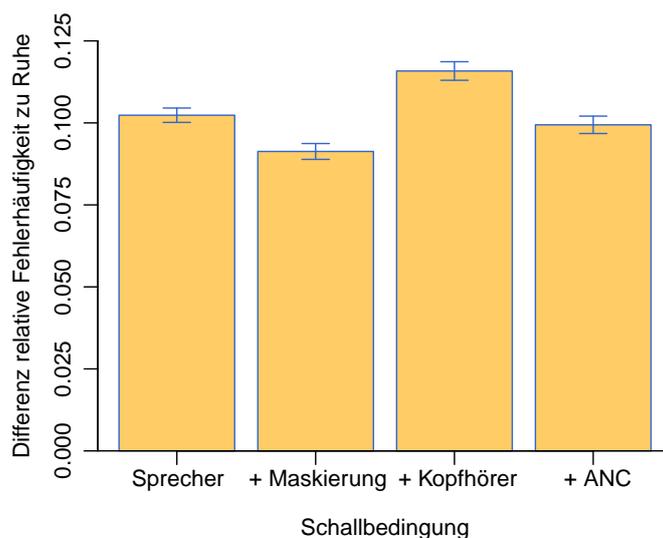


Abbildung 4. Mittelwerte der Differenz relativer Fehlerhäufigkeit zur Ruhebedingung für Bedingungen Sprecher, Sprecher mit Maskierung, Sprecher mit Maskierung und Kopfhörern und Sprecher mit Maskierung, Kopfhörern und ANC.

positivsten bewertet (Abbildung 5). Es kann demnach nur hier davon ausgegangen werden, dass eine klare Verbesserung zwischen diesen Bedingungen statt fand. Bei der subjektiven Bewertung der akustischen Umgebung war die zweite Bedingungen die negativste, jedoch wurde die dritte Bedingung positiver bewertet als die anderen. Aufgrund des verwendeten Overall-Tests kann nicht geschlussfolgert werden, ob die deskriptive Verbesserung in der subjektiven Bewertung der akustischen Umgebung von Bedingung zwei zu Bedingung fünf signifikant ist. Dasselbe gilt für die empfundene Umgebungslautheit, bei der die dritte Bedingung die positivste und die vierte Bedingung die negativste Bewertung erhielt.

Keiner der über Kopfhörer-maskierung untersuchten Faktoren wirkte sich signifikant auf eines der subjektiven Maße empfundene Konzentrationsfähigkeit, empfundene Umgebungslautheit oder subjektive Leistungsfähigkeit aus. Das ANC zeigte eine Verschlechterung der Bewertung der empfundenen Lästigkeit des Sprechers ($d = 0.25$), während adaptive Maskierung hier bessere Bewertungen verzeichnete ($d = -0.48$). Adaptive Maskierung zeigte außerdem verbesserte Bewertungen der akustischen Umgebung ($d = 0.25$) und eine Verringerung der subjektiven Sprecherlautheit ($d = -0.34$). Die selbe Wirkung auf die Bewertung der subjektiven Umgebung ($d = 0.077$) und der subjektiven Sprecherlautheit ($d = -0.11$) gilt in geringerem Maße auch für die Maskierungslautstärke bei Kopfhörer-maskierung.

Tabelle 2

Übersicht der Ergebnisse subjektiver Daten.

Testinhalt	F-Statistik	(df1, df2)	p-Werte
Empfundene Lästigkeit			
Faktor Maskierungspegel bei Kopfhörer­maskierung	1.36	(1, 396)	.24
Faktor Adaptivität bei Kopfhörer­maskierung	13.01	(1, 396)	.001
Faktor Active-Noise-Cancelling bei Kopfhörer­maskierung	21.84	(1, 396)	.001
Vergleich der Bedingungen konventioneller Maskierung	23.39	(3, 168)	.001
Empfundene Konzentrationsfähigkeit			
Faktor Maskierungspegel bei Kopfhörer­maskierung	1.065	(1, 396)	.30
Faktor Adaptivität bei Kopfhörer­maskierung	3.99	(1, 396)	.52
Faktor Active-Noise-Cancelling bei Kopfhörer­maskierung	6.00	(1, 396)	.047
Vergleich der Bedingungen konventioneller Maskierung	3.86	(3, 168)	.015
Empfundene Sprecherlautheit			
Faktor Maskierungspegel bei Kopfhörer­maskierung	1.79	(1, 396)	.18
Faktor Adaptivität bei Kopfhörer­maskierung	25.22	(1, 396)	.001
Faktor Active-Noise-Cancelling bei Kopfhörer­maskierung	16.69	(1, 396)	.001
Vergleich der Bedingungen konventioneller Maskierung	17.81	(3, 168)	.001
Empfundene Umgebungslautheit			
Faktor Maskierungspegel bei Kopfhörer­maskierung	3.07	(1, 396)	.081
Faktor Adaptivität bei Kopfhörer­maskierung	2.37	(1, 396)	.12
Faktor Active-Noise-Cancelling bei Kopfhörer­maskierung	4.50	(1, 396)	.035
Vergleich der Bedingungen konventioneller Maskierung	9.60	(3, 168)	.001
Subjektive Bewertung der akustischen Umgebung			
Faktor Maskierungspegel bei Kopfhörer­maskierung	0.65	(1, 396)	.42
Faktor Adaptivität bei Kopfhörer­maskierung	7.50	(1, 396)	.0064
Faktor Active-Noise-Cancelling bei Kopfhörer­maskierung	11.44	(1, 396)	.001
Vergleich der Bedingungen konventioneller Maskierung	9.42	(3, 168)	.001
Subjektive Leistungsfähigkeit			
Faktor Maskierungspegel bei Kopfhörer­maskierung	0.65	(1, 396)	.42
Faktor Adaptivität bei Kopfhörer­maskierung	0.40	(1, 396)	.53
Faktor Active-Noise-Cancelling bei Kopfhörer­maskierung	0.73	(1, 396)	.39
Vergleich der Bedingungen konventioneller Maskierung	4.56	(3, 168)	.001

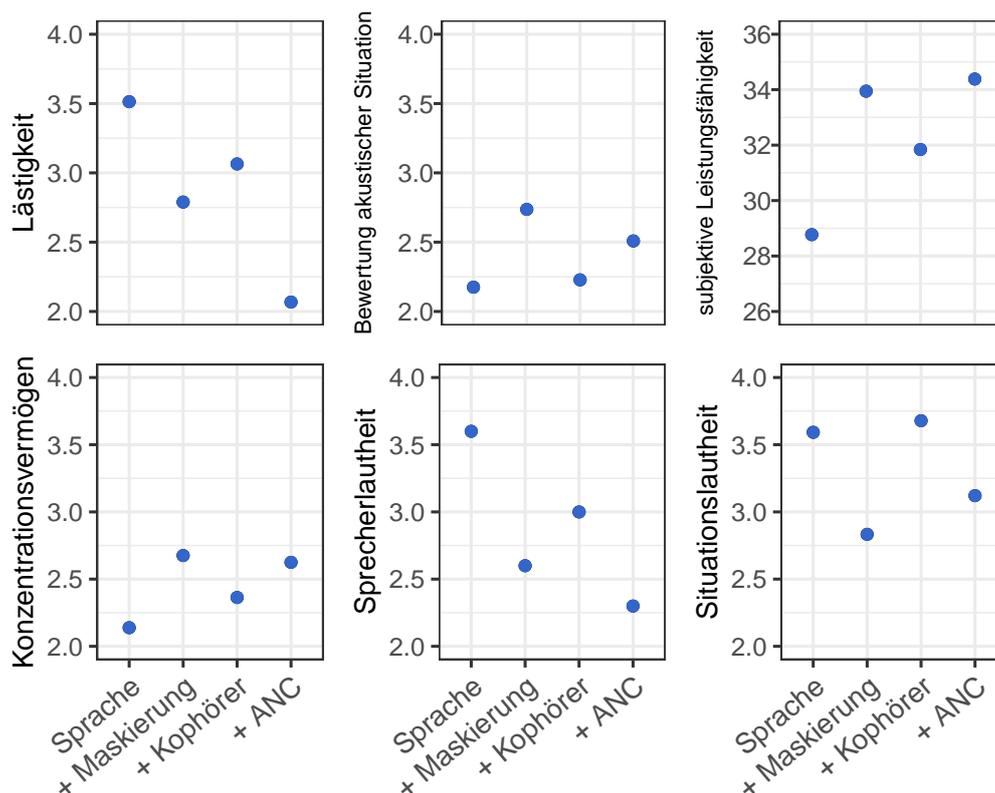


Abbildung 5. Mittlere Bewertungen der subjektiven Maße in den Bedingungen Sprecher, Sprecher mit Maskierung, Sprecher mit Maskierung und Kopfhörern und Sprecher mit Maskierung, Kopfhörern und ANC.

Diskussion

Keine der angewandten Maskierungsmaßnahmen hatte einen Einfluss auf die Differenz der relativen Fehlerhäufigkeit im Serial-Recall und damit die kognitive Leistungsfähigkeit. Auch der geplante Einzelvergleich zwischen den Bedingungen sieben und acht zeigte keinen Leistungseinbruch. Jedoch ist unklar ob dies an dem Einfluss des ANC oder am fehlenden Einfluss von Maskierungslautstärke liegt. Weder der Faktor ANC noch Lautstärke zeigten einen Einfluss auf die kognitive Leistungsfähigkeit. Es ist demnach bei Verringerung der Lautstärke auch ohne Addition des ANC kein Einbruch zu erwarten. Das Fehlen eines Leistungsabfall bei Addition von ANC, welches auch keinen Einfluss zeigte, ist demnach unerheblich.

Im Gegensatz dazu zeigte sich bei den meisten subjektiven Maßen eine wünschenswerte Verbesserung in den Bedingungen mit Lautsprechermaskierung von der reinen Sprecherbedingung zur voll maskierten Bedingung mit ANC und Rauschen. Nur empfundene Umgebungslautheit und die subjektive Bewertung der Umgebung

wichen von diesem Muster ab. Allerdings sind die Ergebnisse der explorativen Analyse der subjektiven Maße in den Bedingungen mit Kopfhörer- und Lautsprecher- maskierung weniger einfach zusammen zu fassen. Im Folgenden werden mögliche Implikationen auffallender Ergebnisse diskutiert und weiterführende Fragestellungen vorgeschlagen, beginnend mit den Skalen, welche durch keinen der drei Faktoren beeinflusst wurden.

Subjektive Maße

Weder empfundenes Konzentrationsvermögen, noch empfundene Umgebungslautheit noch subjektive Leistungsfähigkeit zeigten veränderte Bewertungen. Dies hat mehrere mögliche Gründe auf verschiedenen Ebenen. Zunächst besteht die Möglichkeit, dass die vorhandenen Effektgrößen zu klein sind, um sie mit der verwendeten Probandenanzahl zu finden. Die durchgeführte Power-Analyse zur Bestimmung der Versuchspersonenanzahl fokussierte sich auf einen Einzelvergleich auf Grundlage der kognitiven Daten. Es ist durchaus möglich, dass die jeweiligen Effektgrößen der subjektiven Maße aufgrund fehlender Power schlichtweg nicht gefunden wurden. Eine Poweranalyse wie sie für die kognitiven Daten durchgeführt wurde, erfordert jedoch eine Schätzung, wie groß diese Effekte sein sollten, um als relevant zu gelten. Zunächst wäre dazu die Beurteilung des Werts von subjektiven Maßen benötigt. Dieser Aspekt wird später weiter diskutiert.

Alternativ könnten die verwendeten Items die relevanten Maße nicht akkurat abbilden. Diese Grundproblematik der psychologischen Messung ist in diesem Fall schwer zu überprüfen. Für die verwendeten Items sind keine Validitätswerte bekannt. Sie müssten erst durch eine separate Studie bestimmt werden, um diese Möglichkeit auszuschließen. Dabei stellt sich jedoch zumindest in Bezug auf die externe Validität die Frage nach einem externen Merkmal, welches die Maße abbildet. Da etwa die Beziehung empfundener zu objektiver Konzentration noch nicht ausreichend erforscht ist, um die objektive Konzentrationsfähigkeit als externes Merkmal zu verwenden, ist eine solche Bestimmung der Validität nicht nur aufwendig, sondern auch inhaltlich problematisch. Es kann demnach aktuell nicht ausgeschlossen werden, dass die verwendeten Items die relevanten Maße fehlerhaft abbilden.

Zuletzt besteht die Möglichkeit, dass die drei subjektiven Maße schlichtweg nicht von den hier untersuchten Faktoren beeinflusst werden. Gegen diese Möglichkeit sprechen die Ergebnisse der Bedingungen mit Lautsprecher- und Kopfhörer- maskierung. Deren signifikante Haupteffekte und Mittelwertstendenzen suggerieren für alle drei Maße, dass diese sich von Maskierung und ANC verbessern lassen. Dies ist ebenso ersichtlich

in den Ergebnissen von Müller et al. (2019), welche zumindest für die empfundene Konzentrationsfähigkeit eine Beeinflussung fanden. Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass diese Ergebnisse nicht die exakt selben Bedingungen verwendeten wie in der vorliegenden Studie. Diese beinhaltete keine reine Sprachbedingung und testete verschiedene Faktoren einzeln, statt ANC und Lautsprechermaskierung gemeinsam zu testen. Des Weiteren beinhalteten diese signifikanten Ergebnisse nicht mehrere Schalldruckpegel der Maskierung und keinen Faktor Adaptivität. Es kann somit nicht ausgeschlossen werden, dass die drei Faktoren die subjektiven Maße empfundene Konzentrationsfähigkeit, empfundene Umgebungslautheit und subjektive Leistungsfähigkeit nicht beeinflussen.

Die empfundenen Lästigkeit betreffend fand sich kein Einfluss des Maskierungspegels. Dies ist unerwartet, da ein gesteigerter Schalldruckpegel der Maskierung bei früheren Studien Beschwerden hervorrief (Veitch et al., 2002). Doch auch die Effektgröße des Faktors Maskierungslautstärke auf die Bewertung der akustischen Umgebung ist, obwohl signifikant, derart gering ($d = 0.077$), dass sie im praktischen Kontext als irrelevant bezeichnet werden kann. Die Frage besteht, warum diese beiden Maße, welche am stärksten die Valenz der Situation repräsentieren, nicht vom Maskierungspegel beeinflusst wurden.

Im Gegensatz zum Maskierungspegel zeigte der Faktor ANC einen Einfluss auf die empfundene Lästigkeit und nur auf diese. Darüber hinaus ist die Richtung des Effekts umgekehrt zu erwarten wäre. Angenommen, dass es sich hierbei nicht um einen Type-S-Fehler handelt, dessen Wahrscheinlichkeit nicht kontrolliert wurde, scheint die Verwendung von Antischall die Lästigkeit der Sprachspur zu erhöhen anstatt diese zu verringern. Ein möglicher Grund hierfür könnte die unvollkommene und ungleichmäßige Maskierung der Sprache sein. ANC-Algorithmen arbeiten effektiver im tiefen Frequenzbereich unter 500Hz, was für einen großen Bereich des menschlichen Sprachspektrums (300 bis 5000Hz) eine suboptimale Maskierung bedeutet. Als Resultat nahmen Probanden die Sprachspur immer noch wahr, doch eventuell nicht das komplette Spektrum. Aufgrund des anhaltenden Wahrnehmens der hochfrequenten Sprachanteile konnte die empfundene Sprecherlautheit nicht verringert werden. Desweiteren ist diese Verzerrung der Sprache ungewohnt für Menschen, was zu einer unangenehmen oder lästigen Wahrnehmung führen könnte. Es sollte jedoch erwähnt werden, dass nach dieser Hypothese auch die subjektive Bewertung der akustischen Situation in der selben Weise beeinflusst sein sollte. Dies war nicht der Fall.

Die subjektive Bewertung wurde nur durch den Faktor Adaptivität beeinflusst, da in den adaptiven Bedingungen die Maskierung nicht unnötigerweise gleicherma-

ßen auf dem dem Schall zu- und abgewendeten Ohr präsentiert wurde. Die Maskierung trat dort stärker auf, wo sie benötigt wurde, also auf dem Ohr, welches dem Schall zugewandt war. Fehlende Notwendigkeit wurde in früheren Studien als Grund für fehlende Akzeptanz von Maskierungssystemen genannt (Veitch et al., 2002).

Kognitive Leistungsfähigkeit

Bei der Betrachtung der Modelle zur kognitiven Leistungsfähigkeit stellt sich die Frage, warum kein signifikanter Einfluss jeglicher Art gefunden werden konnte. Zunächst muss erwähnt werden, dass dieses allgemeine Muster in der Literatur häufig vorkommt, in dem subjektive Daten signifikante Ergebnisse produzieren und kognitive nicht (zum Beispiel Haapakangas et al. 2011; Schlittmeier und Hellbrück 2009; Venetjoki et al. 2006). Das Bestehen dieses Phänomens bietet jedoch keine Erklärung dafür an, warum es auftritt. Darüber hinaus repräsentiert dieses Muster offensichtlich nicht den gesamten Forschungsstand. Wenn dem so wäre, gäbe es keine Diskussion, ob Schallmaskierung kognitive Leistungsfähigkeit beeinflusst. Wieso scheiterte die vorliegende Manipulationen daran, die Ergebnisse der Serial-Recall-Aufgabe zu beeinflussen, wenn frühere Studien hier erfolgreich waren?

Vergleich zur Literatur

Schlittmeier, Hellbrück, Thaden und Vorländer (2008) standen vor derselben Diskrepanz zwischen subjektiven und kognitiven Daten und zogen einen motivationsbasierten Erklärungsansatz heran. Demnach resultiere die Störung während der Ausführung einer Arbeit in einem Motivationszuwachs, die Aufgabe trotzdem bestmöglich zu lösen. Daraus resultiert eine höhere Motivation in störenderen Bedingungen und damit eine geringere Leistungsdifferenz zwischen den Bedingungen. Das Ergebnis sind künstlich reduzierte Effektgrößen. Diese Ausführung ist leicht nachvollziehbar, lässt sich jedoch schwer überprüfen. Da die Sprachspur sowohl den Leistungsabfall durch den ISE als auch die Motivationssteigerung verursache, können die beiden Effekte nicht getrennt voneinander untersucht werden.

Ein Unterschied unserer Studie zu vielen anderen ist der Schalldruckpegel der störenden Sprachspur. Im vorliegenden Experiment wurde dieser gewählt nach dem von Navai und Veitch (2003) berichteten, gewöhnlichen Pegeln in Großraumbüros, um einen möglichst realistischen Wert zu verwenden. Ein Blick in die Literatur suggeriert aber, dass das Kriterium Realitätsnähe beim Erstellen von Bedingungen nicht immer herangezogen wurde. So lassen sich Beispiele finden, bei denen der

Sprachpegel unrealistisch niedrig war (zum Beispiel Haapakangas, Hongisto, Hyönä, Kokko und Keränen 2014; Haka et al. 2009; Keus van de Poll et al. 2015) oder unrealistisch hoch angesetzt wurde (zum Beispiel Buchner 1996; Colle und Welsh 1976; Hongisto 2005) oder schlicht nicht im Bericht vorkam (zum Beispiel Jones et al. 1997; LeCompte 1996; Neath et al. 2009). Obwohl der Sprachpegel allein keinen Einfluss auf den ISE hat (Colle, 1980), kann er in Kombination mit Maskierung die Ergebnisse stark beeinflussen. Der Sound-Noise-Ratio der akustischen Umgebung wird dadurch verändert. Einen ähnlichen Effekt auf dem Sound-Noise-Ratio kann durch das Präsentieren unpraktikabel hoher Maskierungspegel erzeugt werden (zum Beispiel Haka et al. 2009; Jahncke, Björkeholm, Marsh, Odelius und Sörqvist 2016; Jahncke et al. 2013). Obwohl der Sound-Noise-Ratio in der vorliegenden Studie mit 0.94 beziehungsweise 1.98 im gemäßigten Bereich liegt, betrachtet der Ratio als Kriterium nur eine Mittelung über das gesamte hörbare Spektrum. Der Sound-Noise-Ratio nimmt für die im Experiment verwendete weibliche Sprecherstimme und die verwendete Maskierung negative Werte im tieffrequenten und positive Werte im mittel- bis hochfrequenten Spektrum an. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 6 dargestellt. Es zeigt sich außerdem, dass die von Müller et al. (2019) verwendete männliche Sprecherstimme nicht nur einen leicht erhöhten Gesamtschalldruckpegel besaß (56.5 dB(A) statt 55.9 dB(A)), sondern auch ein leicht verschobenes Spektrum. Männliche Stimmen besitzen natürlicherweise einen höheren Schalldruckpegel im tieffrequenten Bereich im Gegensatz zu Frauen, welche einen größeren Schwerpunkt in höheren Frequenzen aufweisen. Daraus ergibt sich ein möglicher Mangel der vorliegenden Studie. Zwar gilt das verwendete rosane Rauschen als zuverlässige Maskierung von Sprache, jedoch wurde sein Einfluss auf geschlechtsspezifische Sprecher bisher nicht untersucht. Der Schalldruckpegel des rosanen Rauschens nimmt pro Oktave um 5dB(A) ab. Daher ist anzunehmen, dass tiefe Frequenzen und damit männliche Stimmen besser maskiert werden, da die Form der Geräuschspektren besser übereinstimmt und somit das Sound-Noise-Ratio über verschiedene Frequenzen hinweg konstanter bleibt. Diese Annahme stellt die Wahl der Maskierung oder der Sprachspur in der vorliegenden Studie in Frage. Der Effekt von Schallmaskierung konnte eventuell nicht repliziert werden, weil das Maskierungsrauschen nicht korrekt auf die Sprecherstimme abgestimmt war. Die Annahme muss in weiterführender Forschung zunächst bestätigt werden, da in bisherigen Studien der Sound-Noise-Ratio lediglich als Einzelwert angegeben wurde. Es wäre in zukünftigen Studien sinnvoll, den Sound-Noise-Ratio als Spektrum über den hörbaren Frequenzbereich zu berichten.

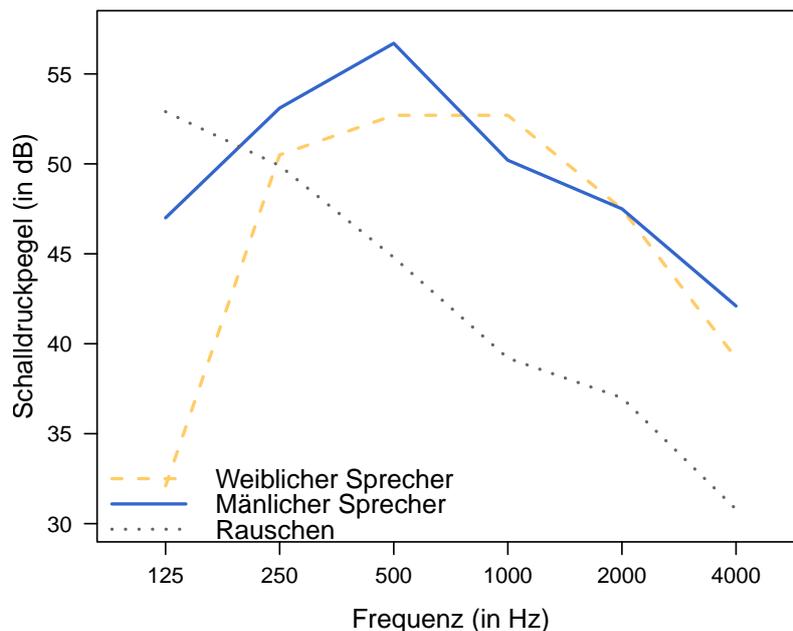


Abbildung 6. Schalldruckpegelspektrum einer männlichen und weiblichen Sprecherstimme für den Oldenburger Satztest sowie der verwendeten Maskierung (rosanes Rauschen).

Wirtschaftliche Bewertung

Zuletzt besteht die Möglichkeit, dass der in der Poweranalyse geforderte Effekt einer 10-prozentigen Leistungssteigerung zu optimistisch war. Somit könnten wir einen vorhandenen, aber kleineren Effekt nicht finden. Die ANC-Kopfhörer bewirken nach den Forderungen keine Umsatzsteigerung, die ihre Anschaffung aus wirtschaftlicher Sicht nach unserer Schätzung rechtfertigen würde. Diese Forderung stellt jedoch objektiv nicht zwingend die einzig richtige Wertschätzung der Kopfhörer dar. Firmen könnten eine geringere Umsatzsteigerung durchaus als ausreichend befinden oder subjektive Maße in die Rechnung mit aufnehmen. In diesem Sinne soll hier die Frage diskutiert werden, ob schon eine verringerte empfundenen Lästigkeit oder verbesserte Bewertung der akustischen Situation seitens der Mitarbeiter die Anschaffung von ANC-Kopfhörern rechtfertigen kann. Um diese Frage zu beantworten, müsste zunächst definiert werden, wie viel solche subjektiven Maße über einen definierten Zeitraum wert sind. Ist eine erhöhte Mitarbeiterzufriedenheit alleine wertvoll für eine Firma und wenn ja, wie viel? Diese Frage ist aufgrund des heutigen Forschungsstands in der Messung und Quantifizierung subjektiver Maße nicht zu beantworten. Außerdem ist diese Frage wohl nicht nur betriebs-, sondern auch bürospezifisch. Zuletzt muss erwähnt werden, dass nur wenige Langzeitstudien zum

Thema Schallmaskierung im Bürokontext existieren. Die Ergebnisse eines fünf- oder dreißigminütigen, beziehungsweise vierstündigen Leistungstests auf die Leistung eines Arbeitstages oder -jahres hochzurechnen, ist an sich eine nicht unumstrittene Praxis. Das selbe auf subjektive Maße anzuwenden, ist höchst spekulativ. Selbst wenn subjektive Maße perfekt repräsentiert werden könnten, was nicht der Fall ist, sind diese Maße wesentlich anfälliger für Veränderungen über die Zeit als ein relativ stabiles Maß wie kognitive Leistungsfähigkeit. Die für eine solche Hochrechnung angenommene Zeitstabilität müsste zunächst in Langzeitstudien belegt werden, welche aus mehreren Gründen selten sind. Nicht nur sind sie wesentlich kostspieliger, es muss auch eine Firma gefunden werden, die ein derartiges Experiment unterstützt. Ein Forschungsteam für mehrere Monate ein Maskierungssystem einrichten zu lassen und dieses nach ihren Maßstäben zu verwenden, könnte durchaus den Jahresumsatz eines Unternehmens beeinflussen.

Ausblick

Obwohl die Ergebnisse dieser Studie uneindeutig waren, bieten ANC-Kopfhörer dennoch eine innovative Intention zur individuellen Schallmaskierung in Großraumbüros. Um diese Möglichkeit effektiv nutzen zu können, wäre jedoch eine spezifischere Ausrichtung auf Sprachgeräusche, insbesondere dem höheren Frequenzbereich, nötig. Wie weit und in welche Richtung die Entwicklung von ANC-Algorithmen zukünftig gehen wird, ist dabei ausschlaggebend. Für den Moment kann durch den Vergleich zwischen den Bedingungen vier und fünf nicht angenommen werden, dass ANC den Effekt vorhandener, konventioneller Maskierung wieder beseitigt. Einzelne Arbeitnehmer können ANC-Kopfhörer in einem Großraumbüro mit installiertem Maskierungssystem spontan verwenden, um der akustischen Belastung vermeintlich entgegen zu wirken. Dies scheint in Anbetracht der Ergebnisse unbedenklich.

Die vorangegangene Diskussion zeigt außerdem, dass ein Vergleich von Ergebnissen schwer fällt. Es besteht kein Konsens über Art und Schalldruckpegel der Sprach- oder Maskierungsgeräusche, wodurch der direkte Vergleich gleicher Bedingungen erschwert wird. Zudem fehlen in vielen Studien wichtige Informationen, wodurch ein solcher Vergleich weiter behindert wird. Für das effektive Voranschreiten der psychologischen Forschung zur Schallmaskierung benötigt es hier eine größere Einheitlichkeit oder zumindest ausreichende Informationen über die verwendeten Variablen.

Literatur

- Baddeley, A. D. & Hitch, G. (1974). Working memory. In G. H. Bower (Hrsg.), (Bd. 8, S. 47 - 89). Academic Press.
- Bradley. (2003). The acoustical design of conventional open plan offices. *Canadian Acoustics*, 31 (2), 23–31.
- Bradley & Wang, C. (2004). *Measurements of sound propagation between mock-up workstations*. Institute for Research in Construction, National Research Council Canada.
- Buchner, A. (1996). On the irrelevance of semantic information for the irrelevant speech effect. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology: Section A*, 49 (3), 765–779.
- Chanaud, R. C. (2007). Progress in sound masking. *Acoustics Today*, 3 (4), 21–26.
- Cohen, S. (1980). Aftereffects of stress on human performance and social behavior: a review of research and theory. *Psychological bulletin*, 88 (1), 82.
- Colle, H. A. (1980). Auditory encoding in visual short-term recall: Effects of noise intensity and spatial location. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 19 (6), 722–735.
- Colle, H. A. & Welsh, A. (1976). Acoustic masking in primary memory. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 15 (1), 17–31.
- Danielsson, C. B. & Bodin, L. (2009). Difference in satisfaction with office. *Journal of Architectural and Planning Research*, 26 (3), 241.
- De Croon, E., Sluiter, J., Kuijter, P. P. & Frings-Dresen, M. (2005). The effect of office concepts on worker health and performance: a systematic review of the literature. *Ergonomics*, 48 (2), 119–134.
- Ellermeier, W. & Hellbrück, J. (1998). Is level irrelevant irrelevant speech"? effects of loudness, signal-to-noise ratio, and binaural unmasking. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24 (5), 1406.
- Evans, G. W. & Johnson, D. (2000). Stress and open-office noise. *Journal of applied psychology*, 85 (5), 779.
- Farley, L. A., Neath, I., Allbritton, D. W. & Surprenant, A. M. (2007). Irrelevant speech effects and sequence learning. *Memory & Cognition*, 35 (1), 156–165.
- Haapakangas, A., Helenius, R., Keskinen, E. & Hongisto, V. (2008). Perceived acoustic environment, work performance and well-being—survey results from Finnish offices. In *9th international congress on noise as a public health problem (icben)* (Bd. 18).
- Haapakangas, A., Hongisto, V., Hyönä, J., Kokko, J. & Keränen, J. (2014). Effects of unattended speech on performance and subjective distraction: The role of acoustic design in open-plan offices. *Applied Acoustics*, 86, 1–16.
- Haapakangas, A., Kankkunen, E., Hongisto, V., Virjonen, P., Oliva, D. & Keskinen, E. (2011). Effects of five speech masking sounds on performance and acoustic satisfaction. implications for open-plan offices. *Acta Acustica united with Acustica*, 97 (4), 641–655.
- Haka, M., Haapakangas, A., Keränen, J., Hakala, J., Keskinen, E. & Hongisto, V. (2009). Performance effects and subjective disturbance of speech in acoustically different office types—a laboratory experiment. *Indoor air*, 19 (6), 454–467.
- Hongisto, V. (2005). A model predicting the effect of unwanted speech of varying intelligibility on work performance'. *Submitted in Indoor Air*.

- Hongisto, V., Varjo, J., Oliva, D., Haapakangas, A. & Benway, E. (2017). Perception of water-based masking sounds—long-term experiment in an open-plan office. *Frontiers in psychology*, 8, 1177.
- Jahncke, H., Björkeholm, P., Marsh, J. E., Odelius, J. & Sörqvist, P. (2016). Office noise: Can headphones and masking sound attenuate distraction by background speech? *Work*, 55 (3), 505–513.
- Jahncke, H., Hongisto, V. & Virjonen, P. (2013). Cognitive performance during irrelevant speech: Effects of speech intelligibility and office-task characteristics. *Applied Acoustics*, 74 (3), 307–316.
- Jones, D. M. & Macken, W. J. (1993). Irrelevant tones produce an irrelevant speech effect: Implications for phonological coding in working memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 19 (2), 369.
- Jones, D. M., Macken, W. J. & Mosdell, N. A. (1997). The role of habituation in the disruption of recall performance by irrelevant sound. *British Journal of Psychology*, 88 (4), 549–564.
- Jones, D. M., Madden, C. & Miles, C. (1992). Privileged access by irrelevant speech to short-term memory: The role of changing state. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 44 (4), 645–669.
- Jones, D. M., Miles, C. & Page, J. (1990). Disruption of proofreading by irrelevant speech: Effects of attention, arousal or memory? *Applied Cognitive Psychology*, 4 (2), 89–108.
- Kaarlela-Tuomaala, A., Helenius, R., Keskinen, E. & Hongisto, V. (2009). Effects of acoustic environment on work in private office rooms and open-plan offices—longitudinal study during relocation. *Ergonomics*, 52 (11), 1423–1444.
- Keus van de Poll, M., Carlsson, J., Marsh, J. E., Ljung, R., Odelius, J., Schlittmeier, S. J., ... Sörqvist, P. (2015). Unmasking the effects of masking on performance: The potential of multiple-voice masking in the office environment. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 138 (2), 807–816.
- LeCompte, D. C. (1994). Extending the irrelevant speech effect beyond serial recall. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 20 (6), 1396.
- LeCompte, D. C. (1996). Irrelevant speech, serial rehearsal, and temporal distinctiveness: A new approach to the irrelevant speech effect. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22 (5), 1154.
- LeCompte, D. C., Neely, C. B. & Wilson, J. R. (1997). Irrelevant speech and irrelevant tones: The relative importance of speech to the irrelevant speech effect. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 23 (2), 472.
- Leitch, R. & Tokhi, M. (1987). Active noise control systems. *IEE Proceedings A (Physical Science, Measurement and Instrumentation, Management and Education, Reviews)*, 134 (6), 525–546.
- Miles, C., Jones, D. M. & Madden, C. A. (1991). Locus of the irrelevant speech effect in short-term memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 17 (3), 578.
- Müller, B. J., Liebl, A. & Martin, N. (2019). Influence of active-noise-cancelling headphones on cognitive performance and employee satisfaction in open space offices.
- Navai, M. & Veitch, J. A. (2003). *Acoustic satisfaction in open-plan offices: review and recommen-*

dations. Citeseer.

- Neath, I., Guérard, K., Jalbert, A., Bireta, T. J. & Surprenant, A. M. (2009). Short article: Irrelevant speech effects and statistical learning. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *62* (8), 1551–1559.
- Nelson, P. A. & Elliott, S. J. (1991). *Active control of sound*. Academic press.
- Pejtersen, J., Allermann, L., Kristensen, T. & Poulsen, O. (2006). Indoor climate, psychosocial work environment and symptoms in open-plan offices. *Indoor air*, *16* (5), 392–401.
- Renz, T., Leistner, P. & Liebl, A. (2018). The effect of spatial separation of sound masking and distracting speech sounds on working memory performance and annoyance. *Acta Acustica united with Acustica*, *104* (4), 611–622.
- Salamé, P. & Baddeley, A. (1982). Disruption of short-term memory by unattended speech: Implications for the structure of working memory. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, *21* (2), 150–164.
- Schlittmeier, S. J. & Hellbrück, J. (2009). Background music as noise abatement in open-plan offices: A laboratory study on performance effects and subjective preferences. *Applied Cognitive Psychology: The Official Journal of the Society for Applied Research in Memory and Cognition*, *23* (5), 684–697.
- Schlittmeier, S. J., Hellbrück, J., Thaden, R. & Vorländer, M. (2008). The impact of background speech varying in intelligibility: Effects on cognitive performance and perceived disturbance. *Ergonomics*, *51* (5), 719–736.
- Schneider, W., Windel, A. & Zwingmann, B. (2002). Die zukunft der büroarbeit. *Bewerten, Vernetzen, Gestalten*. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Online verfügbar unter www.erfolgsfaktor-buero.de/downloads/inqazukunftderbueroarbeit.pdf, zuletzt geprüft am, *22*, 2013.
- Veitch, J. A., Bradley, Legault, L. M., Norcross, S. & Svec, J. M. (2002). Masking speech in open-plan offices with simulated ventilation noise: noise level and spectral composition effects on acoustic satisfaction. *Institute for Research in Construction, Internal Report IRC-IR-846*.
- Venetjoki, N., Kaarlela-Tuomaala, A., Keskinen, E. & Hongisto, V. (2006). The effect of speech and speech intelligibility on task performance. *Ergonomics*, *49* (11), 1068–1091.
- Virjonen, P., Keränen, J., Helenius, R., Hakala, J. & Hongisto, O. (2007). Speech privacy between neighboring workstations in an open office—a laboratory study. *Acta Acustica united with Acustica*, *93* (5), 771–782.
- Virjonen, P., Keränen, J. & Hongisto, V. (2009). Determination of acoustical conditions in open-plan offices: proposal for new measurement method and target values. *Acta Acustica united with Acustica*, *95* (2), 279–290.

Anhang

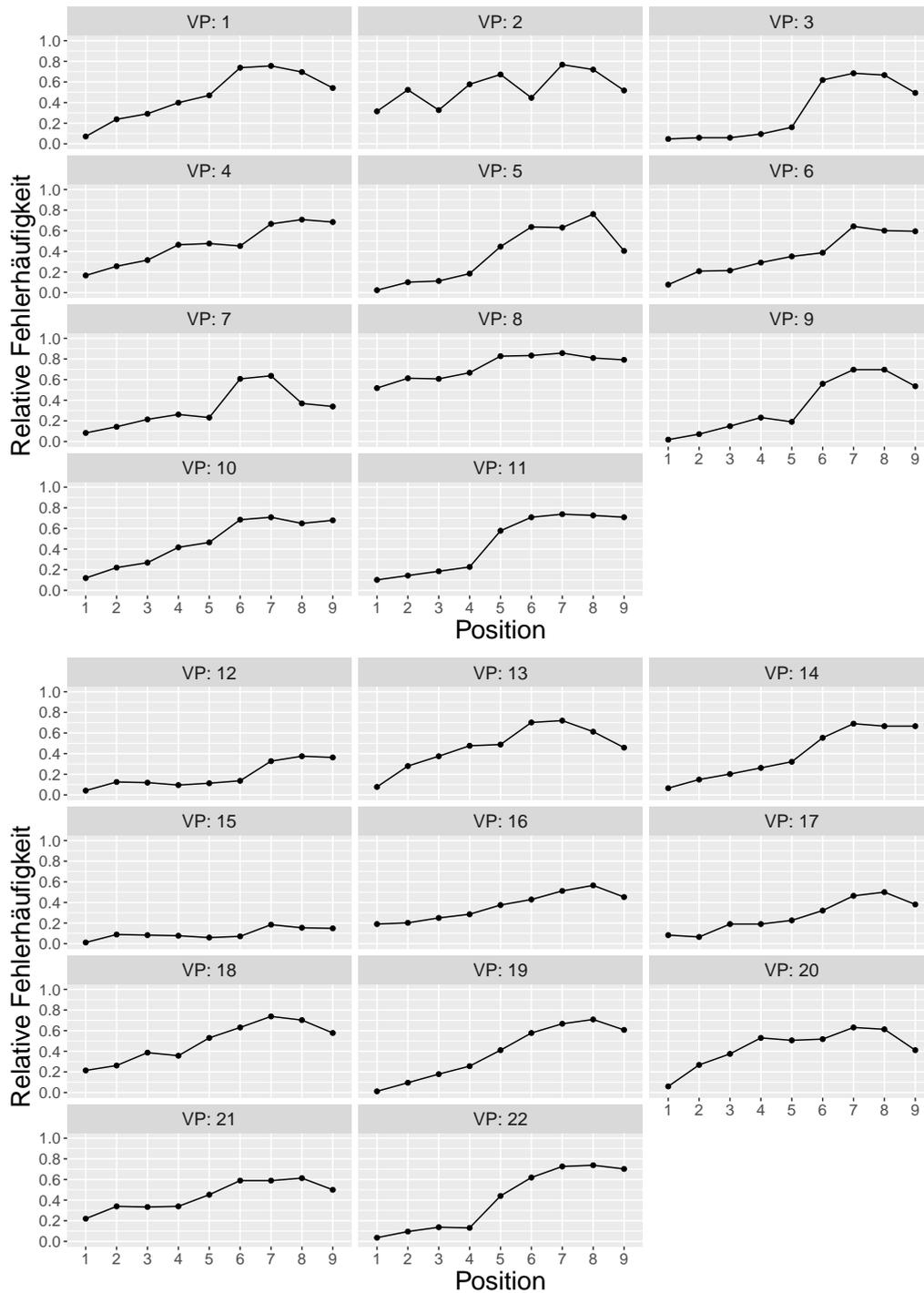


Abbildung 7. Mittlere relative Fehlerhäufigkeit pro Person in Abhängigkeit der Position in der präsentierten Zahlenreihe.

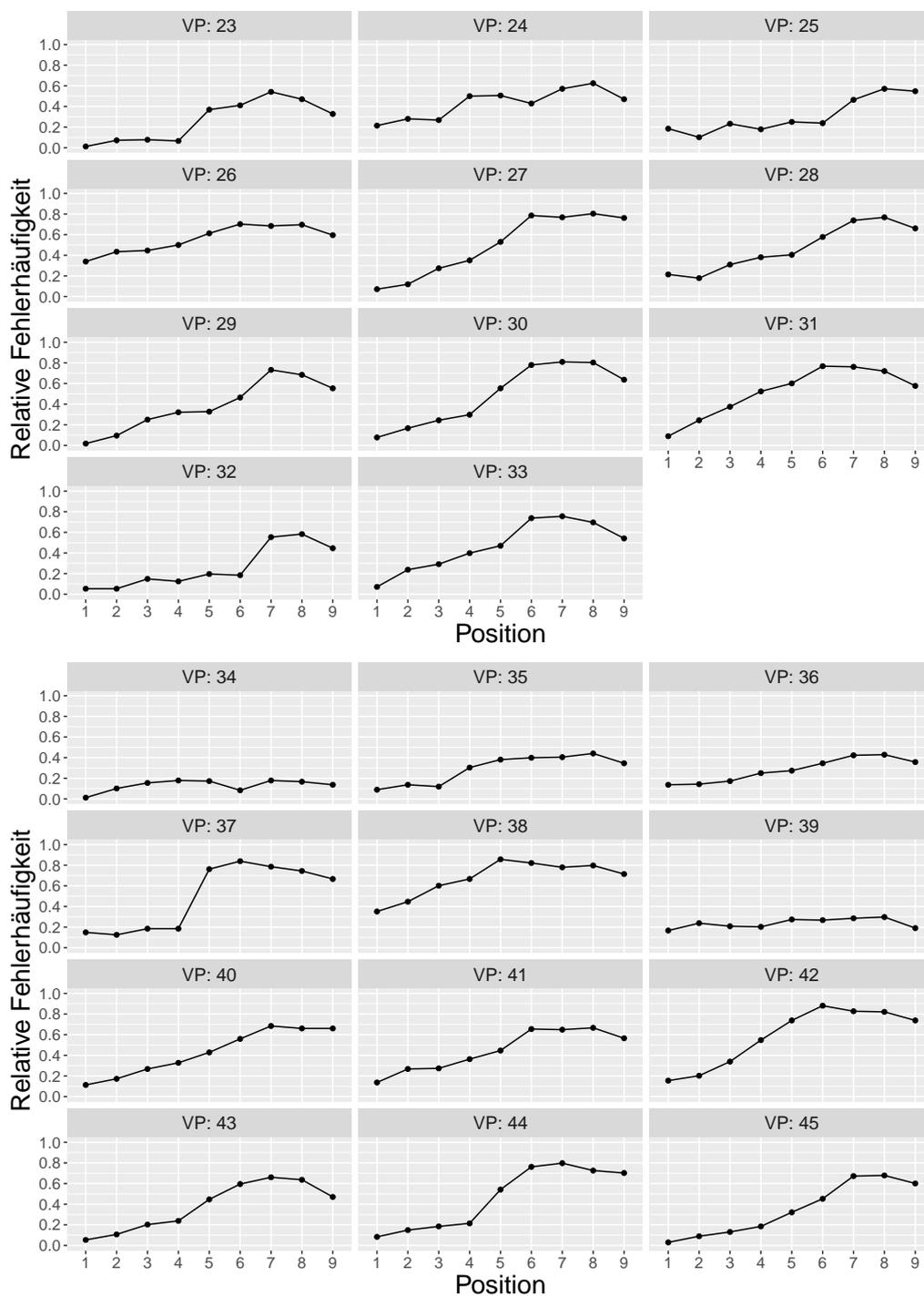


Abbildung 6. Mittlere relative Fehlerhäufigkeit pro Person in Abhängigkeit der Position in der präsentierten Zahlenreihe.

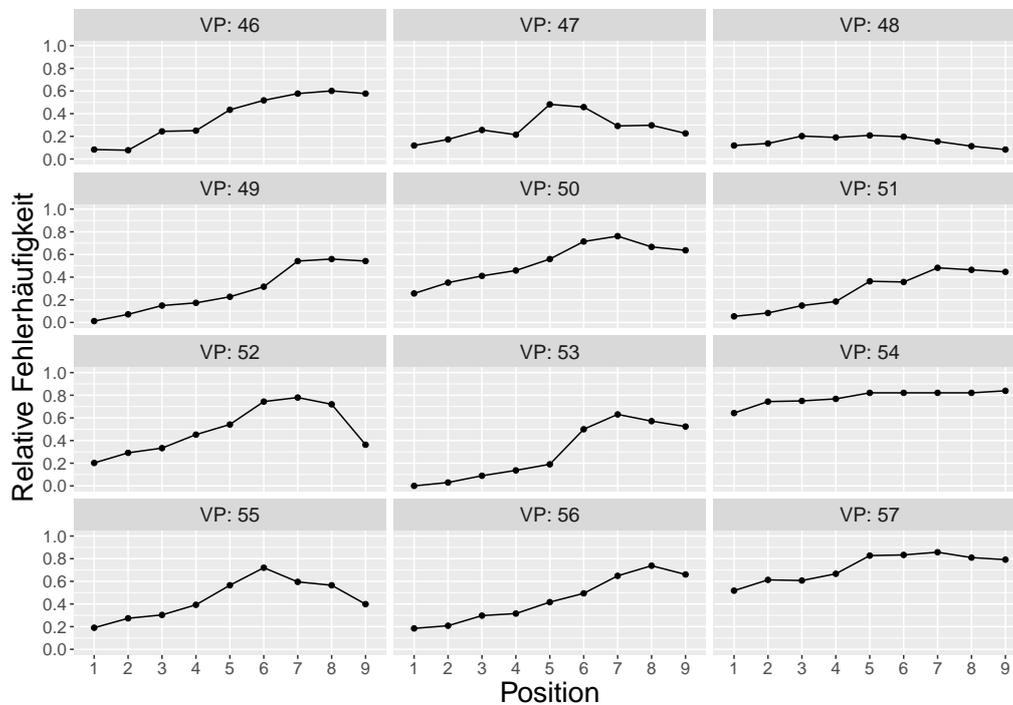


Abbildung 6. Mittlere relative Fehlerhäufigkeit pro Person in Abhängigkeit der Position in der präsentierten Zahlenreihe.