

Evaluation von individueller Hörunterstützung im Telefon für Normal- und Schwerhörende

Jan Rennies¹, Tobias Bruns¹, Andreas Volgenandt¹, René Asendorf¹, Yusuf Durukan², Dirk Oetting¹

¹ Fraunhofer IDMT, Hör-, Sprach- und Audiotechnologie, 26129 Oldenburg,

E-Mail: jan.rennies@idmt.fraunhofer.de

² snom technology AG, 13509 Berlin

Einleitung

Ca. 13 Mio. Menschen in Deutschland sind schwerhörig, wobei der Anteil mit dem Alter ansteigt. So sind in der Bevölkerungsgruppe 50 und 65 Jahren im Berufsalter bis zu 25% schwerhörig (z.B. [1]). Aus verschiedenen Gründen, u.a., Stigmatisierung, nutzen weniger als 25% der Betroffenen medizinische Hörgeräte - und selbst für Hörgerätenutzer gehört Telefonie zu den Top-3-Problemen [2], vor allem weil die Ankopplung an Hörgeräte häufig Probleme bereitet.

Doch nicht nur Menschen mit Hörminderungen haben in schwierigen Hörumgebungen Probleme beim Telefonieren. In [3] stellte sich heraus, dass ca. 40% von normalhörenden ContactCenter-Mitarbeitern aufgrund der typischen Hörumgebung (Großraumbüro, viele parallel telefonierende Kollegen) auffällig in einem Hörscreening-Test.

Zusätzlich zu Störgeräuschen schränkt auch die reduzierte und zudem stark schwankende Sprachqualität den Sprachkomfort und die Verständlichkeit ein. In der Regel finden Telefongespräche bei reduzierter Bandbreite (300-3400 Hz) statt und weisen je nach Verbindung und aufgrund von schwer prognostizierbaren Systemschwankungen beispielsweise deutliche Pegelschwankungen und gravierende unterschiedliche spektrale Eigenschaften auf.

Frühere Studien verfolgten daher den Ansatz Algorithmen zu individualisierbaren Hörunterstützung direkt in Telefonsysteme zu integrieren. Hierfür wurden unter anderen Nutzerschnittstellen entwickelt, mithilfe derer die Nutzer die Algorithmen schnell und effizient an ihre eigenen Bedürfnisse und Präferenzen anpassen können. Evaluationen mit Nutzern zeigten, dass verschiedene Gruppen von normal- und schwerhörenden Probanden von der Technologie profitieren können [4,5,6], wobei die Evaluationen bisher auf Laboruntersuchungen bzw. MockUp-Systeme beschränkt waren. Ziel dieser Studie war es eine vollständig in ein hochwertiges Bürotelefon integrierte Hörunterstützung inkl. Nutzerintegrationskonzept mit normal- und schwerhörenden Probanden in Ruhe und in lautem Bürogeräusch zu evaluieren.

Methode

Aufbau

Die Kontrolle des Experiments erfolgte in auf einem PC unter Matlab. Die generierten Stimuli wurden an eine RME-Soundkarte gegeben und per LoopBack in ein Softphone eingespeist. Das Softphone stellte eine VoIP-Verbindung zum Teleggerät der Firma snom her, auf dem das eingehende Audiosignal verarbeitet wurde. Am Telefon konnten die Probanden die Parameter der Hörunterstützung selbst

anpassen. Der nichtlineare und signaladaptive Algorithmus führt im Allgemeinen zu einem deutlich homogeneren Klangbild, indem er eingehende Telefonsprache durch mehrkanalige Dynamikkompensation in Richtung eines individuell wählbaren Zielspektrums modifiziert. Der Nutzer wählt dabei aus einer Kombination von Presets zu Lautstärke und Frequenzgewichtung aus (Details zum Algorithmus der Hörunterstützung und Nutzerschnittstelle siehe [6]). In dieser Studie erfolgte die Audiowiedergabe nicht über den Hörer des Telefons, sondern über HD650 Kopfhörer, um für alle Probanden dieselben Wiedergabebedingungen sicherzustellen und Unterschiede durch Ankoppelung ans Ohr zu verhindern.

Stimuli

Also Zielsprache dienten Abfolgen von Ziffer-Tripeln („5-8-3“ – „4-7-4“ – ...), die durch reale Anrufe unterschiedlicher Sprecher auf einem digitalen Anrufbeantworter gewonnen wurden. Die Anrufe von insgesamt 15 Sprechern umfassten unterschiedliche Verbindungen (mobil, Festnetz, DECT) und Sprachmodi (handgehalten, Freisprechen) und wiesen große Unterschiede sowohl in Pegel (bis zu 18 dB) und spektralem Gehalt auf (z.B. bis zu 30 dB Unterschied in der Terzbandenergie bei 2 kHz). Entsprechend schwankten die unverarbeiteten Signale deutlich in ihrer Lautstärke und ihrer Klangfarbe. Von jedem Sprecher wurden 15 Ziffern-Tripel sowohl in unverarbeiteter als auch mit individuellen Algorithmeinstellungen verarbeiteter Form dargeboten. Die Lautstärkeeinstellungen am Telefon wurden individuell anhand eines gut ausgesteuerten Sprechers eingestellt. Während des Experiments bestand für die Probanden keine Nachregelmöglichkeit. Die Stimuli wurden in Ruhe (nur unverarbeitet) sowie in einem lauten Büroumgebungsgeräusch mit einem Schalldruckpegel von 70 dB (A) wiedergegeben.

Probanden

Fünfzehn Probanden (6 weibl.) nahmen am Experiment teil, alle waren erfahrene Telefonnutzer im Berufsalltag. Die meisten Probanden waren zwischen 49 und 67 Jahre alt (Ø58.9). Sieben Probanden hatten normales Gehör, sechs Probanden hatten eine leichte und zwei Probanden eine mittelgradige Schwerhörigkeit. Die Audiogramme aller schwerhörenden Probanden wiesen einen Hochtonabfall auf. Während des Experiments trugen die Probanden keine Hörgeräte.

Prozedur

Zunächst stellten sich die Probanden die individuell bevorzugten Klangparameter der Hörunterstützung anhand

eines Testsignals im Störgeräusch ein. Diese Parameter wurden anschließend für den Rest des Experiments festgehalten. Anschließend erfolgte die Wiedergabe der Zielsprecher in den unterschiedlichen Messkonditionen in zufälliger Reihenfolge. Nach jedem dargebotenen Tripel tippten die Probanden die verstandenen Ziffern auf einem Ziffernrad ein und bestätigten ihre Eingabe, bevor das nächste Tripel wiedergegeben wurde. Der Anteil der korrekt verstandenen Tripel diente als Maß für Sprachverständlichkeit. Nach der Wiedergabe aller 15 Tripel eines Sprechers bewerteten die Probanden die zusätzlich Höranstrengung der Kondition (Sprecher, Verarbeitung ein/aus, Ruhe/Bürolärm) auf einer 13-stufigen Skala von mühelos (1) bis extrem anstrengend (13), sowie anschließend die Sprachqualität auf einer 5-stufigen Skala von mangelhaft (1) bis ausgezeichnet (5).

Ergebnisse

Wie in früheren Studien zu individueller Hörunterstützung zeigten die Probanden auch hier große Variabilität hinsichtlich der bevorzugten Klangeinstellungen. Wie Abb. 1 verdeutlicht, zeigten sich die Probanden zwar hinsichtlich der Lautstärkeinstellungen relativ homogen und wählten Presets höherer Lautstärke aus. In Bezug auf die spektrale Gewichtung jedoch unterschieden sich die individuellen Präferenzen sehr und es wurde fast der vollständige Parameterbereich von Tiefen- bis Höhenbetonung von einzelnen Probanden gewählt. Es zeigte sich dabei kein erkennbarer Zusammenhang mit dem individuellen Audiogramm, wie die Kreise in Abb. 1 illustrieren. Der blaue bzw. grüne Kreis markiert die Auswahl eines Probanden mit starkem Hochtonhörverlust bzw. normalem Gehör. Der Hochtonhörverlust führte also nicht zu einer Auswahl der Betonung hoher Frequenzanteile.

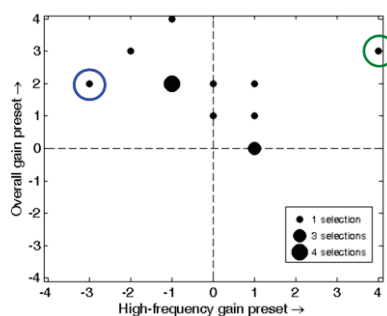


Abbildung 1: Von den individuellen Probanden bevorzugte Presetkombinationen. Der blaue bzw. grüne Kreis markiert die Auswahl eines Probanden mit starkem Hochtonhörverlust bzw. normalem Gehör.

Abbildung 2 zeigt die Daten zur gemessenen Sprachverständlichkeit für die normalhörenden (oben) und schwerhörenden Probanden (unten). Für jeden Probanden ist der Mittelwert über alle 15 Sprecher angegeben, Fehlerbalken repräsentieren Standardabweichungen. Balkenfarben kodieren die drei Messkonditionen. Es zeigte sich, dass Sprachverstehen in Ruhe (blau) für alle normalhörenden Probanden und auch die meisten

schwerhörenden Probanden nahezu perfekt war. Ein schwerhörender Proband (SH001a) stellte eine Ausnahme dar und verstand im Mittel nur ca. 56% der Tripel korrekt.

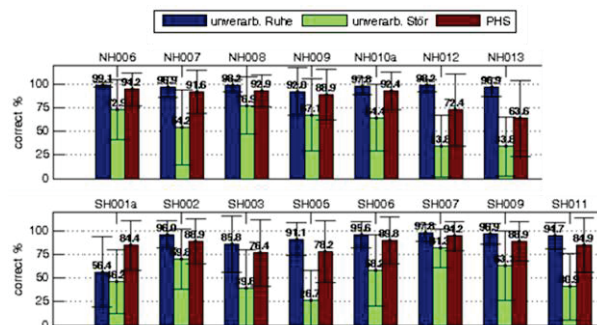


Abbildung 2: Mittlere Sprachverständlichkeit über alle Sprecher für die normalhörenden (oben) und schwerhörenden Probanden (unten).

Im lauten Bürostörgeräusch zeigte sich eine deutliche Reduktion der Verständlichkeit der unverarbeiteten Telefonsprache (grün) für alle Probanden, die teilweise >60% betrug. Durch aktivierte Hörunterstützung im Störgeräusch (rot) profitierten alle Probanden erheblich. Im Mittel stieg die Verständlichkeit um mehr als 30% im Vergleich zur unverarbeiteten Sprache, wobei die größten individuellen Vorteile für die Probanden auftraten, die im Störgeräusch die größten Probleme hatten.

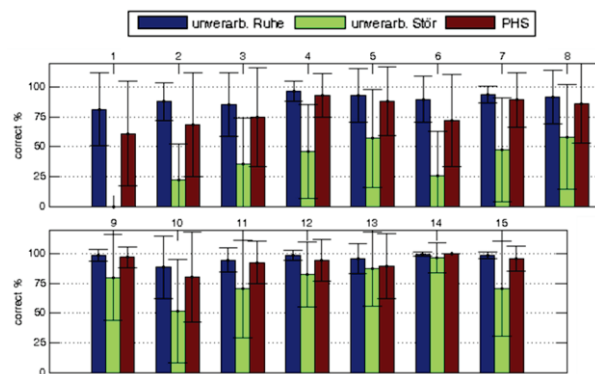


Abbildung 3: Mittlere Sprachverständlichkeit über alle Probanden für die 15 unterschiedlichen Sprecher.

Abbildung 3 präsentiert die Sprachverständlichkeitsdaten als Mittelwerte über alle 15 Probanden für die unterschiedlichen Sprecher. Fehlerbalken repräsentieren interindividuelle Standardabweichungen. Diese Darstellung belegt, dass auch in Ruhe keine mittlere Verständlichkeit nahe 100% für alle Sprecher erreicht wurde (blau). Für fast alle Sprecher zeigte sich ein deutlicher Einbruch der Verständlichkeit im Störgeräusch (grün). Eine Ausnahme bildet Sprecher 14, bei dem auch im Störgeräusch ohne Sprachverständlichkeit im Mittel fast perfekte Sprachverständlichkeit erreicht wurde. Mit verarbeiteter Telefonsprache zeigte sich besonders bei den Sprechern ein besonderer Gewinn, in denen die

Verständlichkeit unverarbeiteter Sprache im Störgeräusch gering war.

Abbildung 4 zeigt die Ergebnisse der Höranstrengungsbewertung in Analogie zu Abb. 2. Im Allgemeinen zeigten die Daten einen zur Sprachverständlichkeit komplementären Verlauf, d.h. Probanden bzw. Konditionen mit geringer Verständlichkeit wissen eine hohe Höranstrengung und umgekehrt. Die Normalhörenden bewerteten die Höranstrengung für Sprache in Ruhe im Mittel mit mühelos bzw. geringgradig anstrengend, während Schwerhörnde zu höheren Bewertungen tendierten (im Mittel zwischen Skalenwerten 5 und 6). Proband SH001a fiel auch hier auf und bewertete bereits Telefonsprache in Ruhe als sehr anstrengend. Im Störgeräusch (grün) erhöhte sich die mittlere Höranstrengung für alle Probanden erheblich. Auch normalhörende Probanden bewerteten hier die Höranstrengung einiger Sprecher mit der höchsten Kategorie (extrem anstrengend). Die Hörunterstützung (rot) führte für alle Probanden zu einer deutlichen Reduktion der Höranstrengung um zwischen ca. 2 und 7 Kategorien.

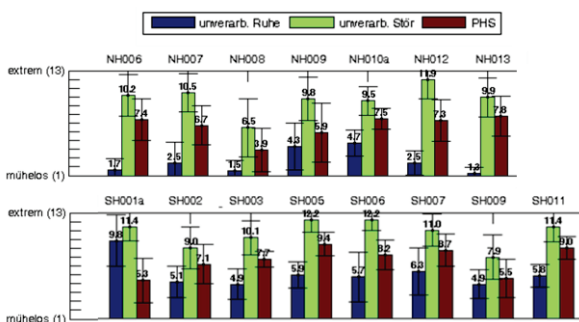


Abbildung 4: Mittlere Höranstrengung über alle Sprecher für die normalhörenden (oben) und schwerhörenden Probanden (unten).

Abbildung 5 zeigt die Ergebnisse der Sprachqualität in Analogie zu Abb. 4. Insgesamt zeigte sich, dass die Hörbarkeit die Bewertungen stark beeinflusste, da Probanden unverarbeitete Sprache im Störgeräusch (grün) deutlich schlechter bewerteten als in Ruhe (blau). Die verarbeitete Sprache (rot) im Störgeräusch erhielt eine um ca. eine Kategorie verbesserte Bewertung der Sprachqualität als die unverarbeitete Spracheleicht, und eine durchschnittlich 0,5 Skalenwerte schlechtere Bewertung als unverarbeitete Sprache in Ruhe.

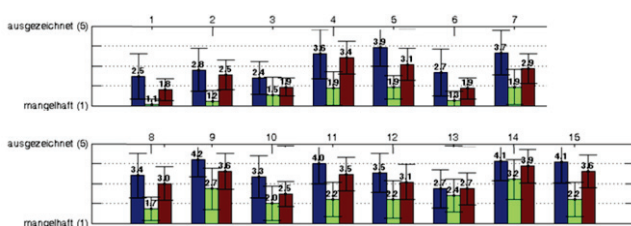


Abbildung 5: Mittlere Sprachqualität über alle Sprecher für die normalhörenden (oben) und schwerhörenden Probanden (unten).

Fazit und Diskussion

Telefonsprache schwankt extrem in Signalqualität, Aussteuerung und spektralem Gehalt. Derzeitige Telefongeräte bieten jenseits der Lautstärkeinstellung in der Regel keine Algorithmik, die diese Schwankungen wirksam ausgleicht oder individuelle Bedürfnisse berücksichtigt. Die Daten dieser Studie zeigen, dass dies dazu führt, dass bei schlechter Eingangsqualität oder lauten Umgebungsgeräuschen ein manuelles Nachregeln zwingend notwendig ist, da ansonsten die Verständlichkeit drastische eingeschränkt bzw. Höranstrengung inakzeptabel hoch werden kann. Dies zeigte sich in dieser Studie besonders deutlich bei Nutzern mit Schwerhörigkeit, die nur bei guter Signalqualität und ohne Umgebungsgeräusche ähnlich gute Ergebnisse erzielten wie Normalhörende.

Die in früheren Studien [4-6] entwickelte und im Labor evaluierte Hörunterstützung zielt auf das Herstellen eines individuellen, homogeneren Klangbildes ab und führt zu deutlichen Verbesserungen der Verständlichkeit und Höranstrengung. Der hier untersuchte Algorithmus ist vollständig in ein Telefonendgerät integriert und steht somit grundsätzlich als Produktfeature zur Verfügung.

In Übereinstimmung mit den früheren Studien zeigten sich auch hier große interindividuelle Unterschiede hinsichtlich der von einzelnen Probanden präferierten Algorithmenparametern. Es zeigt sich kein Zusammenhang mit den Audiogrammen, d.h., Probanden mit ähnlichen Audiogrammen wählten teilweise sehr unterschiedliche Einstellungen. Ebenso „widersprachen“ die selbstgewählten Einstellungen den typischen präskriptiven Ansätzen zur Hörunterstützung. So wählten auch in dieser Studie einige Probanden mit Hochtonhörverlust eine Betonung tiefer Frequenzen, so dass Hörschwellen-basierte Verstärkungsregeln für Telefonsprache nicht zielführend scheinen. Das entwickelte Konzept zur Selbstanpassung, bei dem die Probanden die Algorithmenparameter gänzlich ohne Messung (oder Kenntnis) ihres Audiogramms wählen, ist ein vielversprechender Ansatz, der nicht nur große Gewinne hinsichtlich Sprachverständlichkeit und Höranstrengung in schwierigen Hörsituationen (laute Umgebungsgeräusche und/oder Schwerhörigkeit) bietet. Zusätzlich stellt der Ansatz eine vollständig nicht-stigmatisierende Lösung dar, was für eine weitreichende Nutzer- und Marktakzeptanz große Vorteile bietet.

Aus technischer Sicht widmen sich aktuelle Forschungsarbeiten der weiteren Verbesserung der Sprachqualität. Die Qualitätsbewertungen dieser Studie zeigten für einige Sprecher eine reduzierte Qualität, insbesondere wenn deutliche Störgeräusche im Originalsignal auftraten. Diese Störgeräusche werden teilweise durch die hier untersuchte Hörunterstützung aufgrund ihrer hohen Dynamikkompression angehoben, was die Qualität mindern kann. Eine in Pilotstudien untersuchte Verknüpfung der Hörunterstützung mit Verfahren zur Störgeräuschreduktion zeigt, dass dadurch eine weitere Verbesserung der Klangqualität erreicht werden kann.

Danksagung

Diese Studie wurde gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF (Verbundprojekt „IndiFon“, FK 16SV7194).

Literatur

- [1] Sohn, W. (2001), "Schwerhörigkeit in Deutschland, Repräsentative Hörscreening-Untersuchung bei 2000 Probanden in 11 Allgemeinpraxen." Zusammenfassende Ergebnisse wurden unter diesem Titel veröffentlicht in: *Z. Allg. Med.* 2001; 77; 143-147, Hippokrates-Verlag, Stuttgart.
- [2] S. Hougaard & S. Ruf (2011), "EuroTrak I: A Consumer Survey About Hearing Aids," *Hear. Rev.*, vol. 18, no. 2, pp. 12–28.
- [3] Meis, M., Glende, S. Wellmann, J. Rennies, J., & Goetze, S. (2015). „Bedarfsanalyse und Evaluation kognitiver und hörbasierter Assistenz-technologien für ältere Arbeitnehmer in Call- und Service-Centern,“ 8. AAL-Kongress 2015, April 2015, Frankfurt/Main.
- [4] Oetting, D., Rennies, J. & Appell, J. E. (2014). Hearing supportive algorithm with self-adjustment user interface integrated in the telephone network. In: *World Telecommunications Congress 2014*, 1-5.
- [5] Ciba, S., Volgenandt, A, Bruns, T., Asendorf, R., Oetting, D., Rennies, J. (2014): Evaluation of interfaces for the self-fitting of personalized communication systems by hearing-impaired users. *Fortschritte der Akustik, DAGA 2014*, 68-69.
- [6] Ciba, S., Baumgartner, H., Bruns, T. & Rennies, J. (2015), „Individualisierung von Hörunterstützung während eines Telefonats – Experimentelle Untersuchung der kognitiven Belastung und Nutzerakzeptanz“, *Fortschritte der Akustik, DAGA 2015*, 1177-1180.