

Intelligent Focus: Nutzervorlieben, direktionale Vorteile und Effizienz der DNN-basierten Störgeräuschunterdrückung

Charlotte T. Jespersen, MA; Lena Dieu, MSc; Thipiha Rubachandran, MSc

Zusammenfassung

Mit Hörsystem ReSound Vivia™ stellt GN eine DNN-basierte Störgeräuschreduzierung vor, den Intelligent Noise Tracker. Im Zusammenspiel mit einem verbesserten binauralen 4-Mikrofon-Beamformer ermöglicht das den Intelligent Focus, eine neue Standardeinstellung für das Programm „Hören im Lärm“ in Premium-Hörsystemen. Nachfolgender Artikel fasst Ergebnisse dreier Studien zusammen, in denen verschiedene Aspekte des Intelligent Noise Trackers und des Intelligent Focus betrachtet wurden. So wurden die Vorlieben der Nutzer im Vergleich mit der bisherigen Funktion Front Focus evaluiert, ebenso der direktionale Vorteil des verbesserten Beamforming sowie die Effizienz des DNN in Relation zu einer anderen Premiummarke mit DNN-basierter Störgeräuschunterdrückung.

In lauten Umgebungen zu hören und zu verstehen, ist für schwerhörige Menschen auch mit Hörsystemen eine Herausforderung. Der Ansatz von ReSound, um das Hören auch in diesen Situationen wirkungsvoll zu unterstützen, basiert auf der Philosophie des Organic Hearing: Angestrebt wird, natürliche Abläufe des Hörens nachzubilden; der Hörsystemnutzer soll möglichst die natürlichen Strategien nutzen, um in jeder Umgebung das zu hören, was er hören will.

Ein Beispiel für diesen Ansatz ist das Automatikprogramm „360 All-Around“. Hier werden Technologien ausgehend von der akustischen Umgebung so eingesetzt, dass das entsprechende natürliche menschliche Verhalten beim Hören unterstützt wird. Eine besonders wichtige Technologie ist hier die Direktionalität: In den für die Sprache wichtigen mittleren Frequenzen wird ein starkes binaurales 4-Mikrofon-Beamforming genutzt; zudem werden in den hohen Frequenzen eine feste 2-Mikrofon-Direktionalität sowie in den tiefen Frequenzen Omnidirektionalität genutzt. Der Ansatz ermöglicht eine deutliche Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses (SNR)^{1,2}; zugleich bleiben die binauralen Hinweise erhalten, ebenso wird die Klangqualität unabhängig von der aktivierten Richtcharakteristik in „360 All-Around“ ohne Übergänge sichergestellt. Der Algorithmus, der die Richtcharakteristik steuert, folgt einfachen Regeln und gewährleistet glatte Übergänge.

Eine weitere wichtige Technologie für erfolgreiches Hören im Lärm ist die Verwendung einer Störgeräuschunterdrückung für jedes einzelne Mikrofon, wie es beim Noise

Tracker II der Fall ist. Dieser gehört sowohl zum Automatikprogramm „360 All-Around“ als auch zum Programm „Hören im Lärm“, das der Nutzer in schwierigen Hörsituationen selbst aktivieren kann. Die Störgeräuschunterdrückung für das einzelne Mikrofon zielt darauf ab, Sprache und Geräusche, die sich vermischen, zu trennen. Anders als eine Direktionalität hängt sie nicht davon ab, dass Nutz- und konkurrierender Störschall räumlich getrennt voneinander auftreten. Die Störgeräuschunterdrückung für das einzelne Mikrofon basiert darauf, die Verstärkung lediglich im Spektrum des Störgeräuschs zu reduzieren und so die Sprachverständlichkeit zu erhalten.

Mit dem Noise Tracker II gelingt dies ziemlich gut, da hier davon ausgegangen wird, dass sich eine Geräuschkulisse nicht so schnell ändert wie die Sprache. Anhand eines Modells von gesprochener Sprache erkennt der Noise Tracker II das Sprachspektrum. Und er geht davon aus, dass es sich bei jenem Spektrum, das in den Sprachpausen auftritt, um das zu reduzierende Störgeräusch handelt. Die Reduzierung der Verstärkung durch den Noise Tracker II benötigt komplexere Berechnungen als die Wahl des optimalen Hörmodus oder die Aktivierung der Direktionalität, zugleich muss sie sehr schnell erfolgen.

Hintergrundgeräusche sind im wirklichen Leben oft dynamisch. Lautstärke und Frequenzen können schnell variieren: Klapperndes Geschirr, ein bellender Hund, Gelächter... - eine Vielzahl an Geräuschen kann den Hörsystemträger stören. Daraus folgt, dass die Annahme einer stabilen Geräuschkulisse, von der man bei Störgeräuschunterdrückungssystemen wie Noise Tracker II

ausgeht, in vielen Situationen nicht zutrifft. Hier besteht das Risiko, dass Sprache in ihrer Qualität beeinträchtigt oder gar unhörbar wird. Daher wurde überlegt, inwieweit Deep Learning, eine Form von Künstlicher Intelligenz (KI) bessere Möglichkeiten für die Berechnung bietet: Könnte die Störgeräuschreduzierung am einzelnen Mikrofon durch die KI besser mit der Dynamik von Sprache und Hintergrundgeräusch Schritt halten? Um das herauszufinden, wurde ein Deep Neural Network (DNN) anhand einer großen Zahl an Proben aus Sprache und Geräuschen trainiert. Das DNN wurde befähigt, Sprache und Geräusche zu erkennen, sie voneinander zu trennen, und die Reduzierung der Verstärkung so zu berechnen, dass sie sich nur auf die Geräusche auswirkt. Das so entstandene System für die Störgeräuschreduzierung am jeweiligen Mikrofon ist der Intelligent Noise Tracker. Er zielt darauf, die Klangqualität zu erhalten und zugleich den Hörkomfort zu erhöhen³.

Implementierung in das Programm „Hören im Lärm“

In seiner Premium-Technologie bietet GN das manuell anwählbare Programm „Hören im Lärm“ mit Intelligent Focus. Der Intelligent Focus kombiniert den Intelligent Noise Tracker mit einem optimierten binauralen 4-Mikrofon-Beamformer. Dieser erweitert die Direktionale Mikrofonübertragung im Tieftonbereich auf 250 Hz, um einen maximalen Vorteil beim SNR zu erreichen. Grundlage für diese Entscheidung war eine frühere Untersuchung zur Auswirkung der Einstellung für den Direktionalitätsmix. (Diese Einstellung legt fest, an welchem Punkt der Übergang von der direktionalen Verarbeitung zur omnidirektionalen Verarbeitung in den tiefen Frequenzen erfolgt.) Die Untersuchung zeigte, dass der direktionale Vorteil bei geschlossenen Hörsystemversorgungen zunimmt, wenn man die Direktionalität auf tiefere Frequenzbereiche ausdehnt.⁴ Ausgehend von den Ergebnissen lässt sich der SNR so um 1 bis 2 dB verbessern. Darüber hinaus könnte ein minimaler zusätzlicher Vorteil erreicht werden, wenn man – ausgehend vom früheren 4-Mikrofon-Beamformer Front Focus – die Parameter für das Beamforming geringfügig optimiert.

Die neue Funktion Intelligent Focus basiert auf der Verbindung von neuem binauralen 4-Mikrofon-Beamformer und der Störgeräuschunterdrückung mittels DNN. Diese Funktion wurde aktuell in einem microRIE-Hörsystem vorgestellt. Weitere Modelle verfügen ebenfalls über den optimierten 4-Mikrofon-Beamformer; sie nutzen jedoch die bekannte Störgeräuschunterdrückung je Mikrofon mittels Noise Tracker II. Diese Funktion wird Clear Focus genannt. Tabelle 1 gibt einen Überblick darüber, wie Intelligent Focus, Clear Focus und der bisherige Front Focus die Richtcharakteristik sowie die 1-Mikrofon-Störgeräuschunterdrückung verwenden.

Tabelle 1

	Störgeräuschunterdrückung	Direktionaler Nutzen
Intelligent Focus	Intelligent Noise Tracker	Binaurales Beamforming 250 bis 5 000 Hz
Clear Focus	Noise Tracker II	Binaurales Beamforming 250 bis 5 000 Hz
Front Focus	Noise Tracker II	Binaurales Beamforming 550* bis 5 000 Hz

*für das microRIE-Modell; die genaue Frequenz hängt von der Bauform des Hörsystems ab

Welche Vorteile die DNN-basierte Störgeräuschunterdrückung und der verbesserte binaurale 4-Mikrofon-Beamformer den Hörsystemträgern bieten könnten, wurde in drei Studien untersucht. Betrachtet wurden dabei die Vorlieben in der Klangqualität, die Spracherkennung im Störgeräusch für den Fall, dass sowohl Sprache als auch Störgeräusch unmittelbar vor dem Nutzer auftreten, sowie die Effizienz der DNN-basierten Spracherkennung im Störgeräusch, wenn die Sprache von wechselnden Orten kommt.

Studie 1: Vorlieben in der Klangqualität

Probanden

An der Untersuchung nahmen 20 Probanden mit beidseitigem leichten bis moderaten sensorineuralen Hörverlust teil (13 Männer und 7 Frauen). Das durchschnittliche Alter lag bei 78 Jahren (1. Quartil: 73 Jahre, 3. Quartil: 80 Jahre). Alle waren erfahrene Hörsystemträger; derzeit nutzten alle hochwertige RIE-Hörsysteme (Receiver-in-the-Ear). Im Durchschnitt trugen die Probanden seit 14 Jahren Hörsysteme (1. Quartil: 7 Jahre, 3. Quartil: 20 Jahre).

Anpassung der Hörsysteme

Für die Untersuchung wurde ein Paar Akku-RIE-Hörsysteme ReSound Vivia (V1960S-DRWC) genutzt. Alle Hörsysteme wurden mit einer Verstärkung angepasst, die dem N3 Audiogramm⁵ für erfahrene Hörsystemträger entsprach. Um eine optimale Signalverarbeitung der Systeme sicherzustellen, wurden die proprietäre Anpassformel Audiogram+ sowie Power Domes verwendet. Die Hörsysteme wurden mit vier Programmen angepasst. Ein Programm war „Hören im Lärm“. Die anderen drei Programme waren Duplikate von „Hören im Lärm“, die sich jedoch wie folgt unterschieden: Zwei der vier Programme verfügten über den Intelligent Focus (Tabelle 1); und sie verfügten jeweils über eine andere Stufe des Intelligent Noise Tracker („stark“ bzw. „sehr stark“). Die beiden anderen Programme „Hören im Lärm“ nutzten die bisherige Funktion Front Focus; und sie nutzten jeweils eine andere Stufe des Noise Tracker II („moderat“ und „sehr stark“).

Testbedingungen, Ausstattung und Aufbau

Für die Untersuchung von Vorlieben bei der Klangqualität nutzten ReSound und andere Anbieter oft Aufnahmen mittels Akustikpuppe. Die Probanden bewerteten die Aufnahmen mit Kopfhörern und anhand des SenseLabOnline-Testsystems von FORCE Technology.^{6,7} Dieses Testsystem bietet Doppelblindheit und schließt zahlreiche weitere Fehlerquellen aus. Die Vorlieben der Probanden bei der Klangqualität wurden in der Untersuchung durch folgende Vergleiche ermittelt:

- Intelligent Focus („stark“) versus Front Focus („moderat“)
- Intelligent Focus („sehr stark“) versus Front Focus („moderat“)
- Intelligent Focus („sehr stark“) versus Front Focus („sehr stark“)

Die Reihenfolge der Vergleichstests war für alle Probanden gleich. Bei jedem der Tests hörten die Probanden mehrere akustische Szenarien. Einen Überblick über die

verwendeten Szenarien bietet Tabelle 2. Das Szenario „Küche“ war für den Test in einer wirklichen Küche aufgenommen worden; alle anderen Szenarien stammten aus der ETSI-Sounddatenbank, einer öffentlichen Datenbank mit Aufnahmen realistischer Hintergrundgeräusche.⁸ Die Szenarien wurden mit weiblichen und männlichen Sprechern aus Dantale II und HINT kombiniert.

Alle Aufzeichnungen waren binaurale Aufnahmen aus einer Umgebung mit validem SNR, die die Simulation von Gesprächen aus dem wirklichen Leben ermöglichen. Alltägliche Gespräche erfolgen meist bei positivem SNR, weil die Sprecher die Kraft ihrer Stimme sowie den Abstand zum Zuhörer anpassen, sobald es laut wird.⁹⁻¹² Typischerweise vermeiden Hörsystemträger Gesprächssituationen mit negativem SNR; im wirklichen Leben sind solche Situationen auch für Menschen ohne Hörverlust untypisch.¹¹⁻¹⁴ Untersucht man Vorlieben bei der Klangqualität, so empfiehlt sich die Verwendung sehr verständlicher Hörproben, damit die Probanden sie auch aufmerksam verfolgen.¹⁴ Da wir Systeme zur Störgeräuschreduzierung testen, musste Störgeräusch vorhanden sein; der SNR musste jedoch so hoch sein, dass die Probanden die Sprache zumeist gut verstehen können. Liegt der SNR unter 0 dB, wird der Proband den Test wahrscheinlich schon abbrechen, ehe er sich zu seinen Vorlieben äußern kann.

Tabelle 2: beim Test verwendete akustische Szenarien und SNRs

Hintergrundgeräusch	SPL(A)	SPL	SNR(A)
Kantine	66 dB	70 dB	4 dB
Straßenverkehr	70 dB	74 dB	4 dB
Ablenkende Stimme	65 dB	68 dB	3 dB
Café	70 dB	75 dB	5 dB
Auto	65 dB	70 dB	5 dB
Küche	68 dB	73 dB	5 dB

Die sechs Klangszenerarien wurden in Verbindung mit Sprache bei den in Tabelle 2 aufgeführten SNR(A)s aufgenommen. Hierfür wurde ein Kopf- und Rumpfsimulator (HATS) vom Typ 4128 von Brüel & Kjær genutzt. Die Aufnahmen erfolgten für jede der akustischen Szenarien sowie für jedes der vier Hörsystem-Programme. Dabei saßen die Testhörsysteme auf den Ohrsimulatoren des HATS; alle Aufnahmen erfolgten binaural.

Vor jeder Aufnahme der beim Test verwendeten Clips wurde das Tonmaterial mindestens 60 Sekunden lang abgespielt. Die adaptiven Algorithmen der Hörsysteme hatten somit ausreichend Zeit, um sich an das jeweilige Szenario anzupassen. Die Probanden hörten die Aufnahmen über einen Kopfhörer DT-990 Pro von Beyerdynamic. Um einen Einfluss der Gehörgänge des HATS sowie von Frequenzresonanzen beim Kopfhörer auszuschließen,

wurden die Stimuli ausgeglichen. Alle Probanden wurden gebeten, die Wiedergabepegel so einzustellen, dass der dänische Sprecher in angenehmer Lautstärke zu hören ist.

Ergebnisse und Diskussion

Intelligent Focus „stark“ versus Front Focus „moderat“

Abbildung 1 zeigt die Präferenzen beim Intelligent Focus mit „starker“ Störgeräuschreduzierung durch den Intelligent Noise Tracker gegenüber den Präferenzen für den Front Focus mit „moderater“ Störgeräuschreduzierung durch den Noise Tracker II. Dargestellt sind jene fünf Szenarien, für die eine signifikante Vorliebe feststellbar war (mittels binomiale Signifikanztest). Es handelte sich um die Szenarien „Café“ ($p < 0,05$), „Auto“ ($p < 0,001$), „Kantine“ ($p < 0,01$), „Ablenkende Stimme“ ($p < 0,001$) und „Straßenverkehr“ ($p < 0,05$). Für das Szenario „Küche“ waren keine signifikanten Unterschiede feststellbar ($p = 0,12$).

Das Programm „Hören im Lärm“ mit Intelligent Focus wurde in 87 von 100 Tests dem Programm „Hören im Lärm“ mit Front Focus vorgezogen. Letzteres wurde also nur in 13 Testläufen bevorzugt.

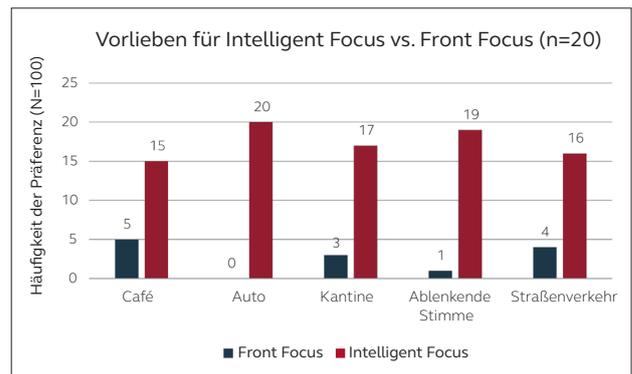


Abbildung 1: Vorlieben für Intelligent Focus im Vergleich zu Front Focus für 20 Probanden mit leichtem bis moderatem Hörverlust für jene fünf akustischen Szenarien, für die signifikante Präferenzen nachweisbar waren.

Intelligent Focus „sehr stark“ versus Front Focus „moderat“

Welche Präferenzen es beim Vergleich des Intelligent Focus mit „sehr starker“ Störgeräuschreduzierung durch den Intelligent Noise Tracker mit dem Front Focus mit „moderater“ Störgeräuschreduzierung mittels Noise Tracker II gab, ist in Abbildung 2 dargestellt. Die statistische Signifikanz wurde auch hier mittels Signifikanztest ermittelt; diesmal war sie für alle sechs Szenarien feststellbar: „Café“ ($p < 0,001$), „Auto“ ($p < 0,001$), „Küche“ ($p < 0,01$), „Kantine“ ($p < 0,05$), „Ablenkende Stimme“ ($p < 0,001$) und „Straßenverkehr“ ($p < 0,01$). Insgesamt wurde der Intelligent Focus mit Intelligent Noise Tracker zu 89% der bisherigen Störgeräuschreduzierung vorgezogen.

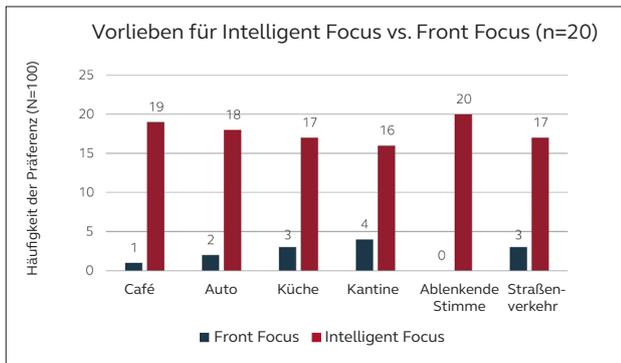


Abbildung 2: Vorlieben für Intelligent Focus im Vergleich zu Front Focus für 20 Probanden mit leichtem bis moderatem Hörverlust für alle sechs akustischen Szenarien. Für jedes Szenario war eine signifikante Präferenz nachweisbar.

Intelligent Focus „sehr stark“ versus Front Focus „sehr stark“

Abbildung 3 zeigt die Vorlieben für den Intelligent Focus im Vergleich zum Front Focus, jeweils mit „sehr starker“ Störgeräuschreduzierung im Programm „Hören im Lärm“. Hier ließ sich – gleichfalls mittels Signifikanztest – für vier Szenarien eine signifikante Präferenz nachweisen: „Café“ ($p < 0,001$), „Auto“ ($p < 0,05$), „Kantine“ ($p < 0,001$) und „Ablenkende Stimme“ ($p < 0,001$). Für die anderen beiden Szenarien gab es keine signifikanten Unterschiede.

Insgesamt wurde in 71 Fällen der Intelligent Focus dem Front Focus vorgezogen, lediglich in 9 Fällen wurde der Front Focus präferiert. Der Intelligent Focus mit Intelligent Noise Tracker wurde somit zu 89% gegenüber der bisherigen Störgeräuschreduzierung bevorzugt.

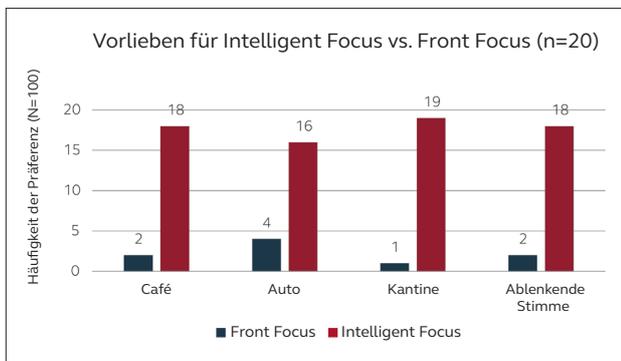


Abbildung 3: Vorlieben für Intelligent Focus im Vergleich zu Front Focus für 20 Probanden mit leichtem bis moderatem Hörverlust für jene fünf akustischen Szenarien, für die signifikante Präferenzen nachweisbar waren.

Studie 2: Spracherkennung im Störgeräusch

Probanden, Hörsysteme, Anpassung und Testbedingungen

18 der 20 Probanden, die an den Tests zur Klangqualität teilgenommen hatten, nahmen auch an dieser zweiten Studie zur Erkennung von Sprache im Störgeräusch teil. Für den Test wurden ReSound Vivia RIE-Hörsysteme genutzt. Diese wurden mit Power Domes ausgestattet und

binaural angepasst, um die Vorteile durch den binauralen 4-Mikrofon-Beamformer und durch die Störgeräuschreduzierung zu optimieren. Alle Systeme wurden gemäß den jeweiligen Hörverlusten und den Gewohnheiten der Probanden eingestellt; Basis war die proprietäre Anpassformel Audiogram+. Folgende Programme wurden angepasst:

- Programm 1: „Hören im Lärm“ mit dem bisherigen Front Focus
- Programm 2: „Hören im Lärm“ mit dem Clear Focus
- Programm 3: „Hören im Lärm“ mit omnidirektionaler Verarbeitung anstatt des 4-Mikrofon-Beamformings

Darüber hinaus wurden Premium-RIE-Hörsysteme einer anderen führenden Herstellermarke getestet. Diese wurden gleichfalls mit Power Domes ausgestattet, um die Vorteile des binauralen 4-Mikrofon-Beamformers und der Störgeräuschreduzierung zu optimieren. Die Systeme wurden gemäß den jeweiligen Hörverlusten und den Gewohnheiten der Probanden sowie auf Basis der Herstellervorgaben für eine Standardanpassung eingestellt. Die Systeme wurden mit einem speziellen Programm für das Hören im Lärm mit 4-Mikrofon-Beamforming ausgestattet; zudem erhielten sie eine Kopie dieses Programms, bei der anstelle des 4-Mikrofon-Beamformings eine omnidirektionale Verarbeitung genutzt wurde.

Testmaterial

Die Probanden absolvierten einen Test zum Sprachverstehen im Störgeräusch, eine leicht abgewandelte Version des Dantale-II-Tests.¹⁵ Der Test, der aus 5-Wort-Sätzen besteht, wurde mit sprachförmigem Hintergrundgeräusch von 65 dB SPL präsentiert. Für jeden Testlauf wurden 30 Sätze vorgegeben. Die Lautstärke der Sprache wurde derart eingestellt, dass eine Sprachverständlichkeitsschwelle (SRT) von 50% korrekt verstandener Worte erreicht wurde. Durch diese Einstellung ergab sich ein bestimmter dB SNR-Wert; eine bessere Leistung entsprach einem niedrigeren dB SNR-Wert. Die getesteten Hörsysteme verfügen über adaptive Funktionen, die auf das Erkennen von Sprache und Geräuschen in der Umgebung zielen. Um sicherzustellen, dass diese Funktionen während des Tests aktiviert sind, wurde das Testgeräusch des Dantale II jeweils 60 Sekunden vor Beginn des Tests gestartet. Der Test fand unter Idealbedingungen statt, um die möglichen Vorteile der Richtfunktio-

Testaufbau

Die Probanden saßen in einer Akustikkabine. Die Sprache wurde ihnen in einem Winkel von 0 Grad präsentiert, das sprachförmige Hintergrundgeräusch in einem Winkel von 75 Grad von rechts. Die Positionierung des Störgeräusches vor dem Hörsystemträger zielte darauf, den Richtfunktio-

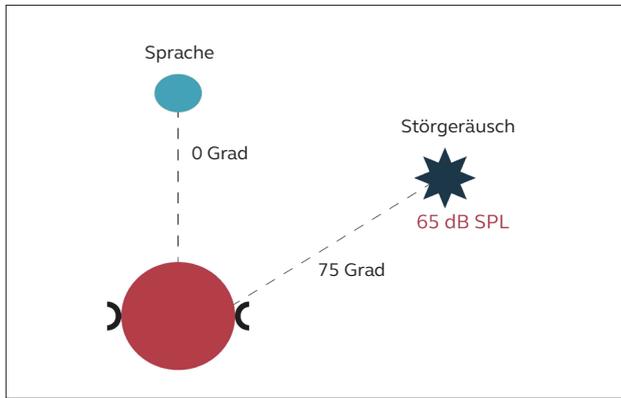


Abbildung 4: Aufbau des Tests zur Messung der SRTs mit adaptiven SNRs bei einem Sprecher von vorn und bei Verwendung des omnidirektionalen Modus, des Front Focus und des Clear Focus.

Um die Schwierigkeit zu erhöhen und Deckeneffekte zu vermeiden wurde das Testmaterial des Dantale II von 550 bis 4.000 Hz bandpassgefiltert. Durchgeführt wurde diese Filterung in Adobe Audition mit dem FFT-Filter-Plugin, wobei der Filter so steil wie möglich hoch- und runtergefahren wurde.

Ergebnisse und Diskussion

Innerhalb der Probandengruppe gab es zwischen Clear Focus und Front Focus keine signifikanten Unterschiede. Dies war nicht überraschend, da anzunehmen war, dass der zusätzliche Nutzen des Clear Focus bei einem Test mit bandpassgefilterter Sprache und Störgeräusch nicht zum Tragen kommt. Der wichtigste Unterschied zwischen Clear Focus und bisherigem Front Focus ist die Richtwirkung im unteren Frequenzbereich. Dennoch schnitten 61% der Probanden (11 von 18) beim Erkennen von Sprache im Störgeräusch mit dem Clear Focus besser ab als mit dem Front Focus. Dies könnte sich auf kleine Optimierungen beim Beamforming zurückführen lassen, die bei einzelnen Nutzern, wenn nicht sogar im Durchschnitt, zum Tragen kommen.

Im Vergleich zum omnidirektionalen Modus boten sowohl der Clear Focus als auch das 4-Mikrofon-Beamforming der anderen Premium-Marke im Schnitt einen signifikanten Vorteil (Tabelle 3). Verglichen mit der anderen Marke war der directionale Nutzen des Clear Focus signifikant besser ($p < .01$), wie Abbildung 5 zeigt. Zudem zeigt eine Studie von 2004 einen ähnlichen directionalen Vorteil beim Vergleich mit einem früheren Produkt derselben Marke (Tabelle 3). Sowohl Clear Focus als auch Front Focus boten einen größeren directionalen Vorteil als das binaurale 4-Mikrofon-Beamforming der anderen Hersteller-marke. Zudem erkannten 83% der Probanden (15 von 18) die Sprache im Störgeräusch mit Clear Focus besser als mit dem 4-Mikrofon-Beamforming der anderen Premiummarke.

Tabelle 3

	ReSound Vivia Clear Focus	ReSound Nexia Front Focus	Marke A 4-Mikrofon-Beamforming (Hörsystem von 2025)	Marke A 4-Mikrofon-Beamforming (Hörsystem von 2024)*
Direktionaler Nutzen	7,6 dB ($p < 0,001$)	7,6 dB ($p < 0,001$)	4,9 dB ($p < 0,001$)	4 dB ($p < 0,001$)

*Jespersen et al. 2024

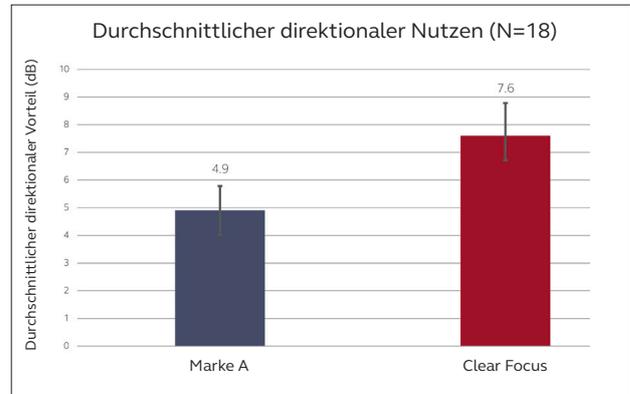


Abbildung 5: Durchschnittlicher directionaler Nutzen, den die Probanden mit dem Clear Focus von ReSound sowie mit dem binauralen 4-Mikrofon-Beamforming einer anderen Premiummarke hatten. Die Fehlerbalken zeigen 95% Wahrscheinlichkeit.

Studie 3: Effizienz der DNN-basierten Spracherkennung im Störgeräusch

Teilnehmer

14 der 20 Probanden, die an den Tests zur Klangqualität teilgenommen hatten, nahmen auch an dieser dritten Studie zur Spracherkennung im Störgeräusch teil. Dabei entsprach der Test mehr als die üblichen Tests zum Sprachverstehen im Störgeräusch alltäglichen Hörsituationen: Es gab mehrere Sprecher, die miteinander konkurrierten; der Ziel-Sprecher wurde zufällig vor oder hinter dem Hörsystemträger präsentiert. Dies macht die Aufgabe recht schwierig. Zudem kann mit dem Test auch erfasst werden, inwieweit der Nutzer auch Zugang zu Schallinformationen hat, die außerhalb seiner Sichtachse liegen, die ihn jedoch interessieren könnten.

Hörsysteme, Anpassung und Testbedingungen

Erneut wurden ReSound Vivia RIE-Hörsysteme verwendet. Diese wurden wieder mit Power Domes ausgestattet und binaural angepasst, um die Vorteile durch den binauralen 4-Mikrofon-Beamformer und durch die Störgeräuschreduzierung zu optimieren. Auf Basis der proprietären Anpassformel Audiogram+ erfolgte die Anpassung der Systeme an den jeweiligen individuellen Hörverlust und die Gewohnheiten der Probanden. Die Hörsysteme erhielten folgende Programme:

- Programm 1: „Hören im Lärm“ mit Intelligent Focus
- Programm 2: „Hören im Lärm“ mit Clear Focus

Weiterhin wurde das Premium-RIE-Hörsystem einer anderen führenden Herstellermarke angepasst. Auch hier erfolgte die Anpassung binaural und mit Power Domes, um die Vorteile der Direktionalität sowie der Störgeräuschreduzierung zu optimieren. Auch diese Systeme wurden an den individuellen Hörverlust und an die Gewohnheiten der Probanden angepasst; hier auf Basis der Herstellervorgaben für eine Standardanpassung. Die Hörsysteme erhielten folgende Programme:

- Programm 1: spezielles Programm für das Hören im Lärm mit Direktionalität und DNN-basierter Störgeräuschunterdrückung
- Programm 1: spezielles Programm für das Hören im Lärm mit Direktionalität und ohne Störgeräuschunterdrückung

Testmaterial

Die Probanden absolvierten einen adaptiven Sprachverständnistest (DAT-Test).¹⁶ Mit diesem Test wird der SNR an der Sprachempfindlichkeitsschwelle (SRT) ermittelt. Sowohl Zielsignal als auch Störgeräusch sind hier einzelne Sprecher. Im Vergleich zu Tests mit sprachförmigem Rauschen bzw. Gebrabbel besteht somit eine besondere Herausforderung: Die Zielsätze werden sowohl physikalisch als auch mit konkurrierendem Inhalt maskiert. Die Sätze des Zielsprechers wurden mit 65 dB SPL wiedergegeben; der konkurrierende Sprecher wurde adaptiv in 2-dB-Schritten variiert, beginnend bei 55 dB SPL. Wie in Abbildung 6 dargestellt, wurden vier verschiedene Testbedingungen genutzt, bei denen die Zielsätze entweder aus den vorderen oder aus den hinteren Lautsprechern kamen. Die Reihenfolge der Testbedingungen für die einzelnen Probanden wurde ausgeglichen gestaltet. Die maskierenden Sprecher wurden immer mit den verbleibenden zwei Lautsprechern wiedergegeben.

Die getesteten Programme des ReSound Systems und des anderen Marken-Hörsystems verfügen über adaptive Funktionen, die auf das Erkennen von Sprache und Geräuschen in der Umgebung abzielen. Deshalb wurde angestrebt, dass diese Funktionen auch aktiviert sind. Zusätzlich zum DAT-Test wurde sprachförmiges Rauschen aus dem Dantale-II-Test¹⁶ mit einem Pegel von 45 dB SPL abgespielt – aus Lautsprechern, die sich direkt links, direkt hinter und direkt rechts vom Probanden befanden. Darüber hinaus wurde das ISTS-Signal während des gesamten Testlaufs mit einem Schalldruckpegel von 65 dB SPL aus dem vorderen Lautsprecher wiedergegeben und nur während der Wiedergabe der Ziel- und der Maskersätze unterbrochen. Um alle adaptiven Einstellungen der Hörsysteme zu aktivieren, wurden das ISTS-Signal und das Dantale-II-Testgeräusch bei jeder Testbedingung 30 Sekunden vor dem ersten Test gestartet.

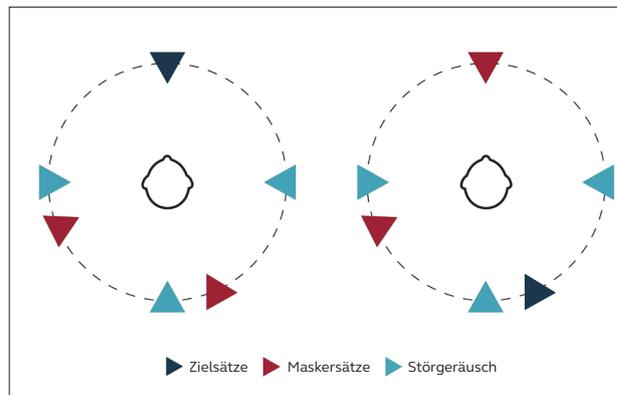


Abbildung 6: Beim DAT-Test wurden die Zielsätze entweder von vorne oder von hinten präsentiert. Gleichzeitig erfolgte eine Maskierung durch einen einzelnen Sprecher, und zwar von der Seite sowie entweder von vorn oder von hinten. Zusätzlich wurde im hinteren Halbfeld ein schwaches, sprachförmiges Störgeräusch präsentiert.

Die Probanden durchliefen die beiden Testaufbauten für jede der vier Testbedingungen. Die Reihenfolge der Testbedingungen wurde randomisiert. Vor Beginn des eigentlichen Tests absolvierte jeder Proband drei Trainingsläufe.

Ergebnisse und Diskussion

Im Schnitt lag der SNR-Nutzen durch den Intelligent Focus bei -5,4 dB. Der SNR-Nutzen, den das andere Marken-Hörsystem im Programm für das Hören im Lärm mit Direktionalität und DNN-basierter Störgeräuschreduzierung bot, lag im Schnitt bei -2,7 dB. Mit Blick auf die gesamte Probandengruppe war der Vorteil des Intelligent Focus nicht signifikant; doch 9 von 14 Probanden (64%) erzielten mit ihm bessere Ergebnisse.

Ein Anliegen des Tests war es, die Wirkung der DNN-basierten Störgeräuschunterdrückung zu ermitteln. Dafür wurde der DAT-Test wegen seines hohen Schwierigkeitsgrades ausgewählt: Zielsprache und Maskierung kommen sowohl von vorn als auch von hinten, bei beiden handelt es sich um Sprache. Es gilt die Annahme, dass breitbandiges 4-Mikrofon-Beamforming die Hörbarkeit verringern kann, wenn die Zielsprache hinter dem Hörsystemträger auftritt.¹⁷ Doch inwieweit führt die DNN-basierte Störgeräuschunterdrückung hier zu einer Verbesserung oder zu einer Verschlechterung? Indem man den gleichen Test ohne die DNN-basierte Störgeräuschunterdrückung durchführt, kann man deren Effekt isoliert ermitteln. Beim ReSound Hörsystem wurde hierfür alternativ zum Intelligent Noise Tracker (mit DNN-basierter Störgeräuschunterdrückung) der herkömmliche Noise Tracker II genutzt; beim Hörsystem der anderen Marke wurde die DNN-basierte Störgeräuschunterdrückung ein- bzw. ausgeschaltet. Diese Verfahrensweise schließt nicht ganz aus, dass der Nutzen des ReSound Hörsystems im Vergleich zu dem der anderen Marke geringer erscheint, als er tatsächlich ist. Für den Vorteil bei der Zielsprache von vorn und von hinten wurde ein durchschnittlicher Wert ermittelt.

Der durchschnittliche Vorteil des Intelligent Noise Tracker gegenüber dem Noise Tracker II betrug 0,6 dB. Der Vorteil der DNN-basierten Störgeräuschunterdrückung des anderen Hörsystems lag bei 1,1 dB. Die Differenz zwischen beiden Werten ist so gering, dass der Vorteil beider Systeme als gleichwertig angesehen werden kann.

Wie Schumacher & Groth³ darlegen, wurde der DNN-Chip der ReSound Vivia Hörsysteme so gestaltet, dass eine optimale Balance zwischen Funktionalität, Größe des Chips und Stromverbrauch erreicht wird. Indem man den Nutzen der DNN-basierten Störgeräuschunterdrückung beider Systeme ins Verhältnis zur angegebenen Größe ihres DNN setzt, lässt sich auch die Effizienz des einen gegenüber dem anderen quantifizieren. Dieser Wert lässt sich aus dem Verhältnis von Nutzen pro Knotenpunkt des jeweiligen DNN berechnen. Da beim Vergleich beider DNN-basierten Störgeräuschunterdrückungen kein signifikanter Unterschied im Nutzen nachgewiesen werden konnte, entspricht deren Effizienz einfach der Größenrelation beider DNNs. Das ReSound DNN hat 17-mal weniger Knotenpunkte als das DNN des anderen Hörsystems. Daraus folgt, dass das ReSound DNN 17-mal effizienter ist bzw. jeder Knotenpunkt 17-mal besser arbeitet als beim anderen Hörsystem. Die Vorteile, die sich daraus für den Hörsystemträger ergeben, sind zum einen eine kleinere Bauform, zum anderen ein geringerer Energieverbrauch.

Über die Autoren

Charlotte T. Jespersen, M.A. ist Direktorin der globalen Audiologie-Entwicklungsabteilung der GN Hearing Gruppe und leitet für diese Projekte zur Entwicklung neuer Hörlösungen. Neben ihrer Tätigkeit bei GN war sie als Lehrbeauftragte an der Universität Kopenhagen, der Universität Süddänemark und der Universität Göteborg tätig. Sie hat einen Bachelor of Science in Sprach- und Hörwissenschaften der Universität Kopenhagen und legte ihren Master of Audiology (Candidatus Magisterii) an derselben Universität ab. Bevor sie zu GN wechselte, arbeitete sie als klinische Audiologin im dänischen Gesundheitssystem.

Lena Dieu, MSc ist Mitarbeiterin des globalen Audiologie-Entwicklungsteams der GN-Gruppe. Sie ist spezialisiert auf Tests von innovativen Ansätzen zur Verbesserung von Hörlösungen. Ihr Interesse gilt sowohl moderner Technologie und deren Auswirkungen auf die Hörversorgung

Fazit

In drei Studien sollten verschiedene Aspekte der Funktion Intelligent Focus beleuchtet werden. Folgendes zeigen die Untersuchungen:

- Bei einer breiten Auswahl an Hintergrundgeräuschen zeigen die Nutzer eine starke Präferenz für den Intelligent Focus gegenüber dem herkömmlichen Front Focus.
- Wurden beim Test bandpassgefilterte Sprache sowie Störgeräusche im vorderen Halbfeld präsentiert, so erreichten die meisten Probanden mit der neuen Technologie eine bessere Leistung. In jedem Fall entsprach die direktionale Leistung des verbesserten binauralen 4-Mikrofon-Beamformers der des vorhergehenden Hörsystems.
- Der direktionale Vorteil des verbesserten binauralen 4-Mikrofon-Beamformers ist signifikant größer als der des binauralen 4-Mikrofon-Beamformers im Hörsystem einer anderen Premium-Marke.
- Das DNN von ReSound ist 17-mal effizienter als das DNN des Hörsystems einer anderen Premium-Marke.

als auch den Erfahrungen der Nutzer. Sie hat einen Master-Abschluss in Technischer Audiologie der Universität Süddänemark. Zudem engagiert sie sich für die Weiterentwicklung der Audiologie, ebenso für Ausbildung und berufliche Weiterbildung.

Thipiha Rubachandran, MSc ist Mitarbeiterin des globalen Audiologie-Entwicklungsteams der GN-Gruppe. Sie ist auf die Prüfung von Hörsystemen und Hörsystemzubehör spezialisiert. Vor ihrem Wechsel zu GN arbeitete sie als klinische Audiologin. Schwerpunkte ihrer Arbeit sind die Verbesserung der Lebensqualität hörgeschädigter Menschen; hier verbindet sie ihr Wissen aus der Hörsystemtechnologie mit ihren Erfahrungen aus der klinischen Audiologie. Sie hat einen Bachelor-Abschluss für Audiologie sowie einen Master-Abschluss in Technischer Audiologie der Universität Süddänemark.

Literatur

1. Jespersen CT, Groth, J. Enhanced directional strategy with new binaural beamformer leads to vastly improved speech recognition in noise. ReSound white paper. 2022.
2. Jespersen CT, Kirkwood BC, Reimers S, Groth J. Industry best speech recognition when both speech and noise are in front. ReSound white paper. 2024.
3. Schumacher J, Groth J. Intelligent Focus: How deep learning augments human intelligence. ReSound white paper. 2025.
4. Møller K, Jespersen C. The effect of bandsplit directionality on speech recognition and noise perception. *Hearing Review*. 2013. Jun;20(5):17-24.
5. Bisgaard N, Vlaming MS, Dahlquist M. Standard audiograms for the IEC 60118-15 measurement procedure. *Trends Amplif*. 2010;14:113-120.
6. Legarth SV, Simonsen CS, Dyrland O, Bramsloew L, Jespersen C. Establishing and qualifying a hearing impaired expert listening panel. Poster presentation at: IHCON; 2012; Lake Tahoe, Calif.
7. Jespersen CT. Independent study identifies a method for evaluating hearing instrument sound quality. *Hearing Review*. 2014;21(03):36-40.
8. Directory Listing /stq/Open/EG 202 396-1 Back-ground noise database/Binaural_Signals (etsi.org)
9. Bottalico P, Passione II, Graetzer S, Hunter EJ. Evaluation of the starting point of the Lombard effect. *Acta Acustica United With Acustica*. 2017 Jan 1;103(1):169-72.
10. Smeds, Karolina; Wolters, F; and Rung, M. Estimation of signal-to-noise ratios in realistic sound scenarios. *Journal of the American Academy of Audiology* 26.02 (2015): 183-196
11. Wagener, KC; Hansen, M; and Ludvigsen, C. Recording and classification of the acoustic environment of hearing aid users. *Journal of the American Academy of Audiology* 19.04 (2008): 348-370.
12. Weisser, A and Jörg Buchholz, JM. Conversational speech levels and signal-to-noise ratios in realistic acoustic conditions. *The Journal of the Acoustical Society of America* 145.1 (2019): 349-360.
13. Wu, YH. et al. Characteristics of real-world signal to noise ratios and speech listening situations of older adults with mild to moderate hearing loss. *Ear & Hearing* 39.2 (2018): 293-304.
14. Brons I, Houben R, Dreschler WA. Effects of Noise Reduction on Speech Intelligibility, Perceived Listening Effort, and Personal Preference in Hearing-Impaired Listeners. *Trends in Hearing*. 2014;18.
15. Wagener K, Jøsvassen JL, Ardenkjær R. (2003) Design, optimization, and evaluation of a Danish sentence test in noise. *International Journal of Audiology*, 42: 10-17.
16. Neher T. A Danish open-set speech corpus for competing-speech studies. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2014; 135(1):407-420
17. Groth J, Kirkwood B, Cui T, Hougaard O, Dieu L. Empowering hearing aid users with directional technology designed for the real world. ReSound white paper. 2023.

Deutschland

GN Hearing GmbH
An der Kleimannbrücke 75
48157 Münster
info-de@gnhearing.com
gnhearing.com

Österreich

GN Hearing Austria GmbH
Modecenterstraße 22/Top D48-D52
1030 Wien
info-at@gnhearing.com
gnhearing.com

Schweiz

GN Hearing Switzerland AG
Seestrasse 353
8038 Zürich
info-ch@gnhearing.com
gnhearing.com