



Bild: Albert Hulm

KI im Ohr

Intelligente Hörhilfen der Zukunft

Forscher arbeiten am smarten Knopf im Ohr, der unser Gehör schützt und gleichzeitig Gespräche in lauter Umgebung erleichtert. Er soll uns künftig vernetzen, telefonieren lassen, auf Sprachbefehle reagieren und bei beunruhigenden Geräuschen warnen.

Von Arne Grävemeyer

Produktion in der Zukunft: Zwei Werker in einer lauten Maschinenhalle tragen den vorgeschriebenen Gehörschutz. Trotzdem unterhalten sich die beiden mühelos, direkt an einer dröhnenden Maschine. Die intelligenten Hearables in ihren Ohren verstopfen nicht einfach ihre Gehörgänge – tatsächlich verstopfen sie diese überhaupt nicht vollständig, sondern vermitteln akustisch den Eindruck, frei zu hören. Vor allem lassen sie Gesprochenes durch und halten nur den Maschinenlärm vom Trommelfell fern.

Plötzlich tritt an der Maschine eine Fehlfunktion ein und sie gibt einen Alarm-

ton von sich. Das lässt die beiden Mitarbeiter sofort aufhorchen, denn auf dieses Alarmsignal haben ihre Hearables mit einer Warnmeldung reagiert. Während der eine nun über Sprachbefehle den Fehlerstatus der Maschine abfragt und sie in eine Reparaturposition dirigiert, eröffnet der andere bereits eine Konferenz mit dem Produktionsleiter, der am anderen Ende der Halle in seinem Büro sitzt. In beiden Fällen dienen die Hearables als Headsets, die Verbindungen werden über das lokale WLAN eingerichtet.

Eine dritte Vision der nahen Zukunft: Ein Werker steckt Teile zusammen und

spricht Teilebestellungen laut aus. Sein Hearable leitet die Bestellung direkt weiter ans Warenwirtschaftssystem. Gleichzeitig bemerken Softwarealgorithmen auf dem Hearable, dass eine der Steckverbindungen nicht eingerastet ist. Es hat nicht richtig „Klick“ gemacht. Eine Sprachnachricht informiert den Werker, dass er da noch einmal kontrollieren muss.

Gehör schützen und nutzen

Bereits seit über einem Jahr koordiniert Dr. Jan Rennies-Hochmuth als Gruppenleiter für Persönliche Hörsysteme am Fraunhofer-Institut für Digitale Medientechnologie (IDMT) in Oldenburg die Forschungen an intelligentem Gehörschutz. Der ursprüngliche Gedanke: Vielerorts, etwa in Produktionsbetrieben oder beim Straßenbau müssen Mitarbeiter ohnehin Gehörschutz tragen. Gleichzeitig ist das Ohr als Trageort eine hochinteressante Position für eine Kommunikationsschnittstelle. Inzwischen zeichnen sich zahlreiche Möglichkeiten der intelligenten Funktionsintegration ab: Quellentrennungsalgorithmen unterscheiden Lärm von Sprache, die das Hearable selektiv weiterleitet. Der Okklusionseffekt, also das unangenehme Gefühl verstopfter Ohren, lässt sich vermeiden. Mit Mikrofonen, Lautsprechern und Intelligenz ausgestattet, übernimmt der Gehörschutz Funktionen ähnlich wie ein Hörgerät und kann sogar individuelle Hörbeeinträchtigungen ausgleichen. Eine aktive Störgeräuschreduktion (Active Noise Cancellation, ANC) verringert die Lärmbelastung zusätzlich.

Zugleich kann der Gehörschutz als Headset dienen und Kollegen miteinander vernetzen. Weiter gedacht wird damit auch die Sprachsteuerung von Maschinen und Geräten einfacher. Eine zusätzliche Funktion der Mikrofone am Mitarbeiterohr könnte es sein, Maschinen und Prozesse akustisch zu überwachen und bei verdächtigen Geräuschen den Mitarbeiter zu informieren. Nicht zuletzt lässt sich der intelligente Knopf im Ohr um Sensorfunktionen ergänzen, um beispielsweise Vitalfunktionen kontinuierlich zu überwachen; Puls, Körpertemperatur, selbst die Messung der Hirnströme (Elektroenzephalogramm, EEG) ist hinter dem Ohr oder sogar direkt im Gehörgang möglich.

Kein Lärm, kein Pfropfen im Ohr

An der Universität Oldenburg, Abteilung für Medizinische Physik und Akustik, ist in den vergangenen Jahren der Prototyp

eines akustisch transparenten Hörsystems entstanden. Dieses verschließt zwar den Gehörgang weitgehend, es soll aber zunächst einmal das störende Gefühl eines verstopften Ohres und unnatürlicher Klänge vermeiden. Im Grundmodus soll das sogenannte Transparent Earpiece nicht zu hören sein, der subjektive Eindruck ist der eines offenen Ohres, während gleichzeitig Lärmereignisse oder gar Knallgeräusche nicht zum Trommelfell durchdringen.

Eingebettet in ein Ohrpassstück finden sich im Transparent Earpiece drei Außenmikrofone, zwei nach innen gerichtete Lautsprecher, die den Schall von außen gefiltert wiedergeben, und überraschenderweise auch ein Innenmikrofon. Optional gibt es eine Belüftungsbohrung, die für ein angenehmes Tragegefühl wesentlich ist. Produziert wird der Prototyp als Forschungsplattform von der Firma InEar in Dieburg.

„Die beiden Lautsprecher können unterschiedliche Frequenzbereiche abdecken“, sagt Professor Dr. Birger Kollmeier. Zudem lassen sich die Lautsprecher so ansteuern, dass sie verstärkende oder ab-

schwächende Interferenzen mit dem Direkt-schall aus der Belüftungsbohrung ausgleichen. Das Transparent Earpiece berechnet also aus seinen Eingangssignalen, wieviel Lärm durch die Belüftung eindringt, und eliminiert diesen in Echtzeit. Im Extremfall dienen die Lautsprecher dazu, dem Träger durch den Einsatz von Gegenschall (ANC) Ruhe zu verschaffen.

Das innere Mikrofon dient der Schallaufnahme möglichst dicht am Trommelfell. Damit können die Forscher das Schallergebnis kontrollieren und die Lautsprecherausgabe optimieren.

Headset tief im Gehörgang

Das Innenmikrofon im Gehörgang eröffnet noch eine zweite Möglichkeit: Geschützt vor dem Umgebungslärm kann es die Stimme des Trägers sehr gut aufzeichnen. Gerade in einer lauten Umgebung ist der Signal-Rausch-Abstand, also das Verhältnis zwischen eigener Sprache und Umgebungslärm, für ein Mikrofon selbst direkt vor dem Mund oft schon zu gering. Im Gehörgang sind die Bedingungen für die Sprachaufnahme wesentlich besser. Allerdings: „Die Stimme klingt im Ohrkanal

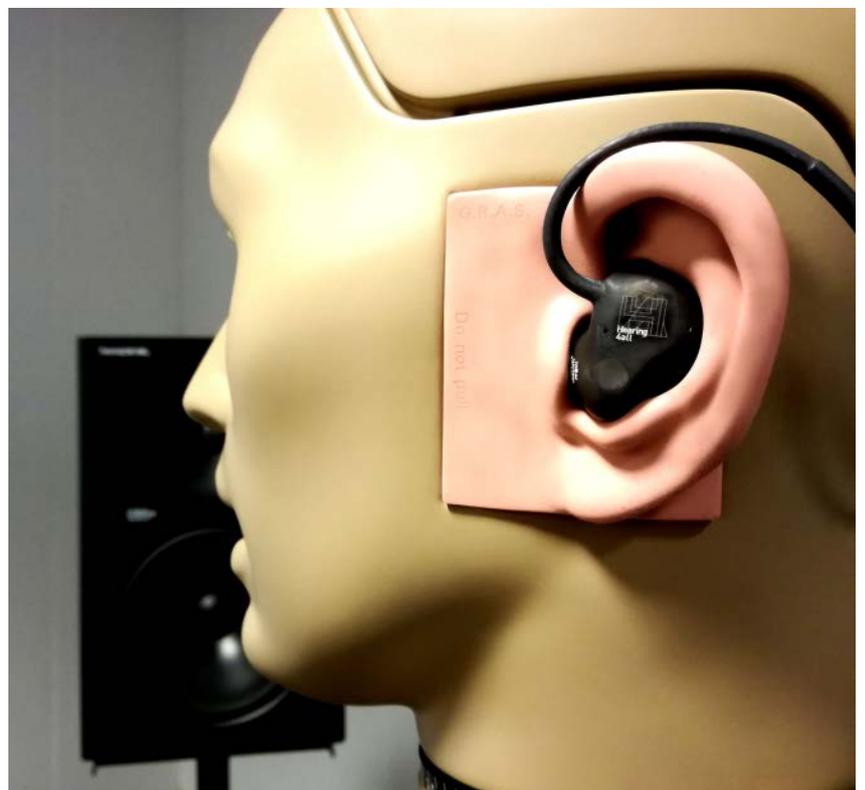


Bild: Fraunhofer IDMT

Das Transparent Earpiece im Labortest: Mit der richtigen Software unterscheidet es störenden Lärm von erwünschtem Schall und leitet nur diesen weiter. Der Träger soll sogar erkennen, aus welcher Richtung durchgeleitete Geräusche kommen.

durch die Überlagerung von Knochen-schall und Direktschall anders, als es die Zuhörer von außen gewöhnt sind“, weiß Kollmeier. Für Telefonate basteln die Forscher daher an elektronischen Filtern, die diese Sprachaufnahmen so aufbereiten, dass sie natürlich klingen. Für andere Anwendungen ist die Spracherkennung mit der Akustik aus dem Gehörgang gut möglich.

Die Fraunhofer-Forscher um Rennies-Hochmuth setzen für ihre Projekte ebenfalls auf das Transparent Earpiece. Beispielsweise arbeiten sie daran, natürliche Gespräche trotz Gehörschutz und Umgebungslärm zu ermöglichen. Die dazu erforderlichen Quellentrennungsalgorithmen entstehen durch maschinelles Lernen und unterscheiden bereits ziemlich verlässlich Sprache und damit potenziell gewünschten Schall von Lärm, vor dem der Träger sich schützen will. Ein weiteres Projektziel: Der Träger soll die Richtung erkennen, aus der er angesprochen wird. Die drei Außenmikrofone an jedem Transparent Earpiece ermöglichen es, Schallquellen nach ihrer Richtung zu unterscheiden.

Rennies-Hochmuth nennt ein Beispiel: Bei einem Zulieferer für Windkraftanlagen halten jeden Tag fünf bis sechs Mitarbeiter in der lauten Produktionshalle ein Meeting ab, vor dem großen Bildschirm an einer zentralen Maschine. Die Lautstärke ist gerade so hoch, dass Gehörschutz noch nicht verpflichtend ist, also

trägt auch keiner welchen. Trotzdem können sich die Kollegen nur schreiend verständigen. Der Forscher, der dieses Meeting beobachtete, staunte nicht schlecht: Jeden Tag geht das so etwa eine Dreiviertelstunde lang. Ein intelligenter Gehörschutz könnte derartige Kommunikation ganz sicher verbessern.

Noch besser wäre es, für Besprechungen unter erschwerten Bedingungen einen Gehörschutz mit Headset-Funktion einzusetzen, vernetzt beispielsweise über Bluetooth oder WLAN. Ein Mitarbeiter könnte dann um die Maschine herumgehen und sich immer noch mit den Kollegen unterhalten. Es könnte sich sogar ein Kollege von unterwegs telefonisch hinzuschalten.

Ereignisse automatisch erkannt

Im Labor unterscheiden Hearables nicht nur Sprache von Lärm. Mit der passenden Software können sie auch unterschiedliche Ereignisse erkennen und entsprechende Hinweise geben. „Dazu trainieren wir dem Hearable über maschinelle Lernverfahren oder andere Methoden der künstlichen Intelligenz an, was ein Ereignis hinsichtlich seiner akustischen Eigenschaften ausmacht“, berichtet Danilo Hollosi, Leiter des Bereichs Akustische Ereignisdetektion am Fraunhofer IDMT. Bei einem Ereignis kann es sich um einen Warnton handeln, eine zu hohe Motordrehzahl oder eben das Geräusch beim Einrasten einer Steckverbindung.

Die Detektion muss am Ende nicht auf ein Ereignis beschränkt sein. Die Softwaremodelle lassen sich durchaus kombinieren. In dem Fall könnte ein Gehörschutz beispielsweise einen Warnton erkennen, ebenso einen bestimmten Maschinenschaden, und bei der Montage mitzählen, ob es oft genug richtig „Klick“ gemacht hat. Die Meldung an den Träger des Hearables kann in Form einer Sprachnachricht erfolgen, es wäre aber sogar eine taktile Rückmeldung am Ohr vorstellbar, etwa durch Vibrieren.

Gemeinsam mit Industriepartnern arbeitet Hollosi Team derzeit an verschiedenen Systemen, die Klicks akustisch analysieren, zum Beispiel beim Anstecken von Zierleisten an Stoßstangen, beim Anbringen von Zierelementen im Fahrzeuginnenraum oder beim Zusammenstecken von Elektronikbauteilen. Als Faustregel gilt: Was ein Mensch wahrnehmen kann, ist mit großer Wahrscheinlichkeit auch maschinell detektierbar. Hollosi zufolge ist die Technik heute in der Lage, Störgeräusche und Hintergrundlärm ebenso gut herauszufiltern wie ein Mensch. Je nach Störgeräusch kommen dabei unterschiedliche Algorithmen zum Einsatz. Moderne KI-Verfahren führen die Signalverbesserung eigenständig durch, indem sie selbst die passenden Algorithmen auswählen. Richtungsfilterung hilft, nur die eigenen Klickgeräusche zu beachten und nicht diejenigen aus benachbarten Produktionslinien.



Bild: InEar

Das Transparent Earpiece ist ein Prototyp für die Forschung, der seine Energie noch übers Kabel bezieht. Links und rechts vom „Hearing 4all“-Logo sind zwei Außenmikrofone zu erkennen, ein weiteres versteckt sich darunter in der Belüftungsbohrung.



Bild: Cosinuss

In-Ear-Sensoren wie das Cosinuss One messen schon heute Puls und Körpertemperatur. Diese Funktionen könnte intelligenter Gehörschutz künftig übernehmen.

Ein wesentliches Merkmal der Lösung der IDMT-Forscher ist, dass ihre Software direkt auf dem Hearable läuft. „Keinerlei Rohaudiodaten verlassen das Analyse-system, sondern nur Meldungen darüber, was, wann und wo detektiert worden ist“, sagt Hollosi. Der Datenverkehr lässt sich so einschränken. Das System reagiert schneller und ist nicht unbedingt netzwerkabhängig.

Spracherkennung trotz Lärm

Schließlich forschen die Oldenburger auch daran, Spracherkennung einzubinden. Immerhin erlaubt es der intelligente Gehörschutz, selbst in lärmenden Produktionshallen die Stimme des Trägers ziemlich ungestört aufzunehmen, wenn auch ungewohnt verzerrt. Daran lassen sich Spracherkennungsalgorithmen anpassen. Somit könnte ein Werker beispielsweise Sprachbefehle an eine Maschine senden.

Oder er könnte einfach und direkt mit einem zentralen Produktionssystem sprechen, beispielsweise um prozessbezogene Teile zu bestellen. Betrieblich vorgeschriebene Dokumentationsaufgaben könnte er freihändig per Spracheingabe erledigen. In beiden Fällen müsste der Werker sich also nicht extra von seinem Platz wegbegeben und die Handschuhe ausziehen, um an einem Touchdisplay eine Eingabemaske auszufüllen.

Vitaldaten

Die Liste der denkbaren Zusatzfunktionen für einen intelligenten Gehörschutz ist nicht abgeschlossen. Ein Lärmdosimeter ließe sich integrieren, um speziell in sehr lauten Umgebungen zu warnen, wenn der Krach droht, dem Gehör trotz Schallschutz dauerhaft zu schaden und Grenzwerte zu überschreiten.

Darüber hinaus ist am Ohr ein weitergehendes Gesundheitsmonitoring vorstellbar. Die Münchner Firma Cosinuss vertreibt bereits heute Hearables mit In-Ear-Sensoren, Software und Streaming-Einheit. Diese messen beispielsweise die Körperkerntemperatur, den Puls, die Sauerstoffsättigung des Blutes und die Atemfrequenz. Mit diesen Daten könnte ein System Alarm schlagen, wenn ein Mitarbeiter an einem abgelegenen Arbeitsort, etwa auf einer Ölplattform, Probleme hat. Heute dienen diese Hearables dazu, Patienten zu überwachen, oder sie zeichnen die Körperfunktionen von Sportlern auf.

Für mobile Hirnstrommessungen ist bereits 2015 an der Uni Oldenburg das

Forscher versuchen mit einem In-Ear-Prototyp von Cosinuss künftig Hirnströme im Ohr zu messen.



Bild: Fraunhofer IDMT

mittlerweile kommerziell erhältliche Ohr-EEG-System cEEGrid entwickelt worden [1]. Die gedruckten EEG-Elektroden mit flexiblen Leiterbahnen lassen sich rund um die Ohrmuschel anbringen und können Hirnströme in Alltagssituationen aufzeichnen. Eine Gruppe um Dr. Insa Wolf, Leiterin für Mobile Neurotechnologien am Fraunhofer IDMT, arbeitet aktuell an einer Weiterentwicklung dieser Sensorstreifen. Im Forschungsprojekt MOND (mobiles smartes Neurosensorysystem zur Detektion epileptischer Anfälle) wollen die Forscher Menschen mit Epilepsie im Alltag beobachten, um Anfälle zu detektieren, die Dosierung von Medikamenten zu verbessern und möglicherweise sogar Frühwarnsysteme für epileptische Anfälle zu entwickeln.

Gemeinsam mit Cosinuss als Partner probieren die Forscher auch Hearables mit EEG-Sensoren direkt im Ohrkanal aus. Auch das ist heute möglich. Ob diese Systeme aber im Dauereinsatz die Genauigkeit der außen angelegten mobilen EEG-Elektroden erreichen, ist fraglich, wie Wolf betont. Zudem zeigt das Beispiel EEG, wie sich Sensoren am Hearable gegenseitig stören können, denn gerade Hirnstrommessungen sind empfindlich gegenüber elektromagnetischer Einstrahlung durch andere Gerätekomponenten.

Die dauerhafte Beobachtung der Hirnströme könnte in Zukunft auch im Schlaflabor neue Erkenntnisse liefern. Ebenso offenbaren diese Parameter die kognitive Belastung und den Stress eines Mitarbeiters. Insbesondere in sicherheitskritischen Bereichen wie etwa bei Fluglotsen, Piloten oder Maschinenführern könnten aufgrund von EEGs Warnungen

erfolgen, sobald die Aufmerksamkeit sinkt.

Täglicher Begleiter

„In ein paar Jahren wird es Standard sein, dass man einen Knopf im Ohr hat, der sich intelligent vernetzt, der uns navigiert, an Termine erinnert und über den wir kommunizieren“, zeigt sich Rennies-Hochmut überzeugt. Das Thema Gehörschutz ist heute noch bei vielen Menschen verpönt; ähnlich wie Hörgeräte, die man eher versteckt trägt. Aber mit akustisch transparenten Systemen, die sich nicht so anfühlen, als ob ein Fremdkörper das Ohr verstopft, kann sich das ändern. Bereits in naher Zukunft erwartet der Forscher die Entwicklung marktfähiger Hearables, die vor Lärm schützen und zugleich entspannte Gespräche ermöglichen.

Erste Anwendungen der Szenenanalyse, beispielsweise die automatisierte Bewertung von Klickgeräuschen in Produktionsprozessen, könnten bereits in zwei Jahren zum Einsatz kommen. Ebenfalls in zwei Jahren seien Projekte möglich, die Sprachsteuerung an Maschinen in lauten Maschinenhallen nutzen, einfach über Hearables, die die Stimme im Gehörgang aufnehmen. Von da aus wäre es dann nur noch ein kleiner Schritt, bis sich Produktionsmitarbeiter über Sprachbefehle direkt an die Unternehmenssoftware wenden und von dort Hinweise auf ihren Knopf im Ohr erhalten. (agr@ct.de) **ct**

Literatur

- [1] Arne Grävemeyer, Fit für die Cocktailparty, Wie Hörgeräte mit EEG-Sensoren erkennen, wem man zuhören will, c't 13/2020, S. 138

Weitere Infos: [ct.de/y2j3](https://www.ct.de/y2j3)