

munDO

Nachhaltigkeit



Klimagerecht planen

Hochwasser, Hitzewellen, Hurrikane –
Wir müssen uns der Natur anpassen

Seite 20

Visionär führen

Wie Führungskräfte ihr Team besser
motivieren können

Seite 26

Energieeffizient fertigen

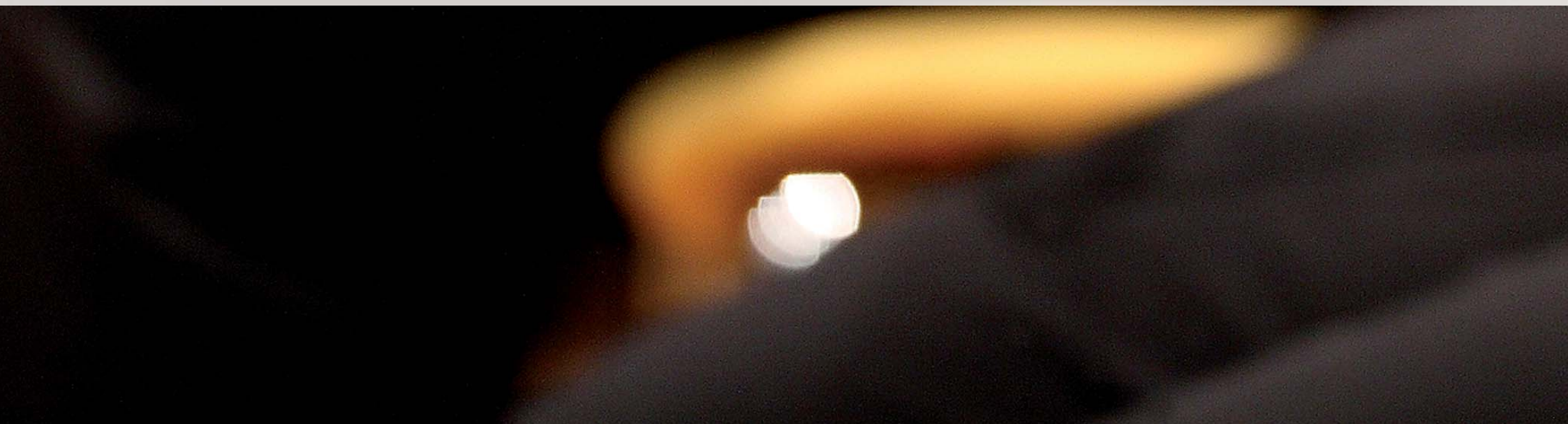
Leichtes Material und clevere Konzepte
können den CO₂-Ausstoß reduzieren

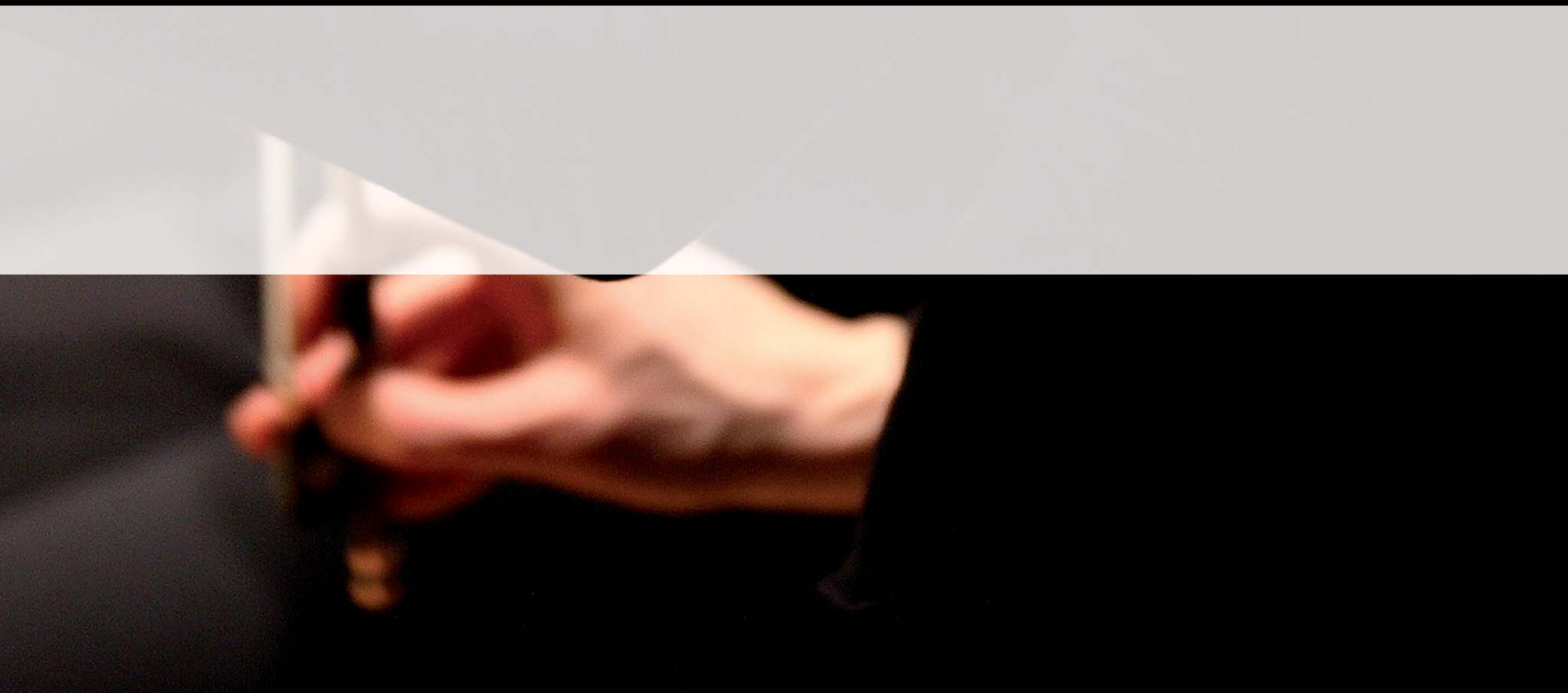
Seite 32



Musik in den Ohren

Im Sonderforschungsbereich 823 wollen Statistiker Hörgeräte konzerttauglich machen





Info

Im Zentrum des SFB 823 *Statistik nichtlinearer dynamischer Prozesse* (Sprecher: Prof. Dr. Walter Krämer) stehen Vorgänge in Wirtschaft und Technik, die von vielen komplexen Einflüssen abhängen, welche sich mit der Zeit verändern – wie Börsenkurse, Signalverarbeitung in Hörgeräten oder das Verhalten von Werkstoffen bei der Bearbeitung. Das Ziel der SFB-Wissenschaftler ist es, diese komplexen Einflüsse und Abhängigkeiten besser modellieren und damit vorhersagen und kontrollieren zu können. Beteiligt sind Forscher aus den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, der Mathematik, der Elektro- und Informationstechnik, dem Maschinenbau, der Physik und der Statistik. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft fördert die Kooperation mindestens bis 2013 mit rund 7,6 Millionen Euro.



Zur Person

Prof. Dr. Claus Weihs, Jahrgang 1953, studierte von 1971 bis 1978 Mathematik in Bonn. Im Anschluss daran war er Wissenschaftlicher Angestellter am Institut für Gesellschafts- und Wirtschaftswissenschaften der Universität Bonn. Nach seiner Promotion 1985 in Mathematik arbeitete er für neun Jahre als Statistik-Berater in der Firma *Ciba-Geigy* in Basel, Schweiz, wo er später auch die leitende Funktion seiner Abteilung einnahm. Seit 1995 leitet er den Lehrstuhl Computergestützte Statistik an der Fakultät Statistik an der TU Dortmund. Seit 2009 ist er Dekan der Fakultät Statistik.

Im Saal herrscht gespannte Stille. Der Dirigent betritt das Podest, hebt den Taktstock, und das Konzert beginnt – ein schwammiges, diffuses Dröhnen und Scheppern. So unbefriedigend empfinden viele Hörgeräteträger einen Konzertbesuch, denn während moderne Hörgeräte Sprachsignale immer besser verstärken und hervorheben, scheitern sie an Musik. Viele Hörbeeinträchtigte leiden beim Musikhören noch immer unter einem undeutlichen Klangerlebnis. Wissenschaftler der TU Dortmund wollen hier Abhilfe leisten.

Hörgeräte scheitern noch immer an Musik

»Schätzungen zufolge sind 15 Millionen Menschen in Deutschland schwerhörig«, sagt Prof. Claus Weihs, »doch der Bereich Musik wurde bei der Hörgeräteentwicklung bis jetzt nur stiefmütterlich behandelt.« Der Statistiker erforscht mit seinen Mitarbeitern daher im Sonderforschungsbereich 823 (*Statistik nichtlinearer dynamischer Systeme*), wie sich auch Musik durch Hörgeräte klar und deutlich darstellen lässt. Statistik und Hörgeräte – das klingt nach einer ungewöhnlichen Verbindung. Doch moderne Hörgeräte sind mehr als bloße Verstärker; mit mathematisch-statistischen Verfahren filtern sie Klänge und verstärken geschickt die wesentlichen Audioinformationen. Im Projekt *Statistische Modellierung zeitlich und spektral hochaufgelöster Audiodaten in Hörgeräten* untersuchen das Team um Claus Weihs und Kommunikationsakustiker der Ruhr-Universität Bochum, wie sich Klänge und Ohrschädigungen statistisch modellieren lassen; sie wollen die essentiellen Eigenarten eines Klangs und die wesentlichen Einschränkungen eines geschädigten Ohrs ermitteln, um schließlich gut klingende, konzerttaugliche Hörgeräte zu programmieren.

Die Wissenschaftler konzentrieren sich in erster Linie auf Innenohrschä-

digungen. Ein Klang, eine Druckwelle in der Luft, lässt die Basilarmembran im Innenohr vibrieren, je nach Höhe des Tons an unterschiedlichen Stellen. Die sogenannten inneren Haarsinneszellen erkennen die Vibrationen und geben sie in Form elektrischer Signale an das Gehirn weiter – der Klang wird gehört, selbst dann, wenn eine dieser Haarsinneszellen beschädigt ist, denn Menschen besitzen viele Tausend von ihnen. Fallen jedoch mehrere der Zellen aus, können die Betroffenen bestimmte Töne erst ab einer höheren Lautstärke wahrnehmen. Um das auszugleichen, muss ein Hörgerät diese Bereiche im Klangspektrum verstärken. Doch sie einfach konstant lauter zu regeln, reicht nicht aus, denn entweder würden dann lautere Töne zu sehr verstärkt, oder laute und leise Töne könnten nicht unterschieden werden. Stattdessen muss die Lautstärke an das verringerte Dy-

namikvermögen angepasst werden. »Es hilft hörgeschädigten Menschen in der Regel nicht, wenn man krampfhaft lauter spricht«, sagt Statistiker Weihs, »sondern eher, wenn man sich auf eine deutliche Aussprache konzentriert«.

Einfach nur den Ton verstärken reicht nicht

Allerdings reicht so eine teilweise Verstärkung für die meisten hörgeschädigten Personen nicht aus, denn oft sind neben inneren Haarzellen auch äußere Haarzellen geschädigt. Diese machen es möglich, Schallsignale zu trennen, indem bestimmte Tonhöhen verstärkt und andere abgeschwächt werden. »Nur so können wir beispielsweise jemanden auf einer lauten Party noch verstehen«, erläutert Weihs. Der

Ausfall äußerer Haarzellen führt dazu, dass die Betroffenen zwar mit Hilfe eines gut eingestellten Hörgerätes einfache Audiosignale wie einen allein stehenden Ton oder einen einzelnen Redner fast genauso gut wahrnehmen können wie Normalhörende, aber Probleme bekommen, sobald das Signal komplexer wird. Und ein Orchesterkonzert ist just so ein komplexes Signal – eine vielfältige Mischung verschiedener Instrumente, Lautstärken und Lautstärkenänderungen.

Der Plan der Statistiker ist, zuerst das Eingangssignal zu vereinfachen, sodass es für den Hörgeschädigten leichter zu verarbeiten ist, und zwar so, dass es seine musikalischen Eigenschaften behält. Das heißt, dass einzelne Instrumente unverfälscht klingen und herausgehört werden können. Dann wollen sie das vereinfachte Signal entsprechend

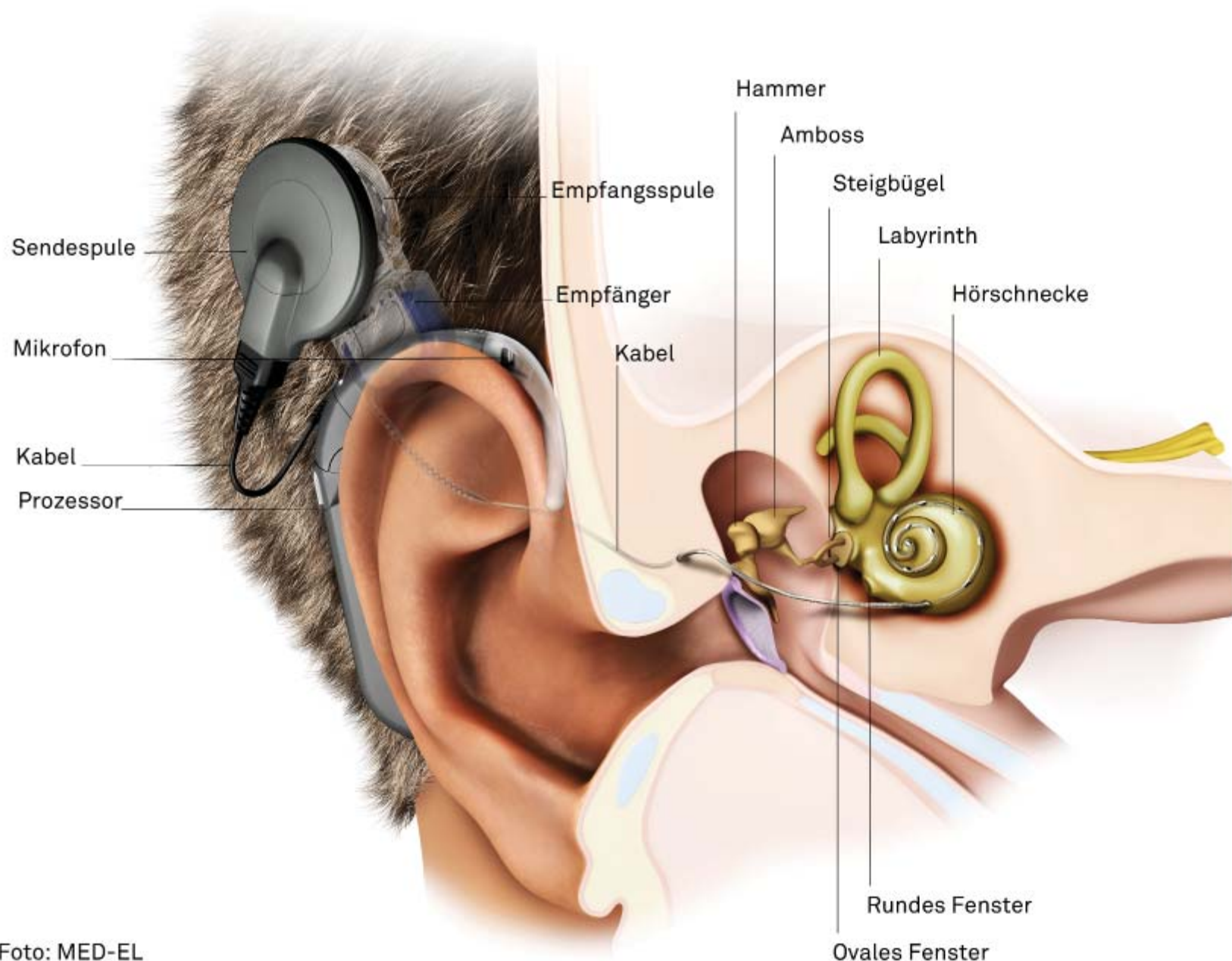
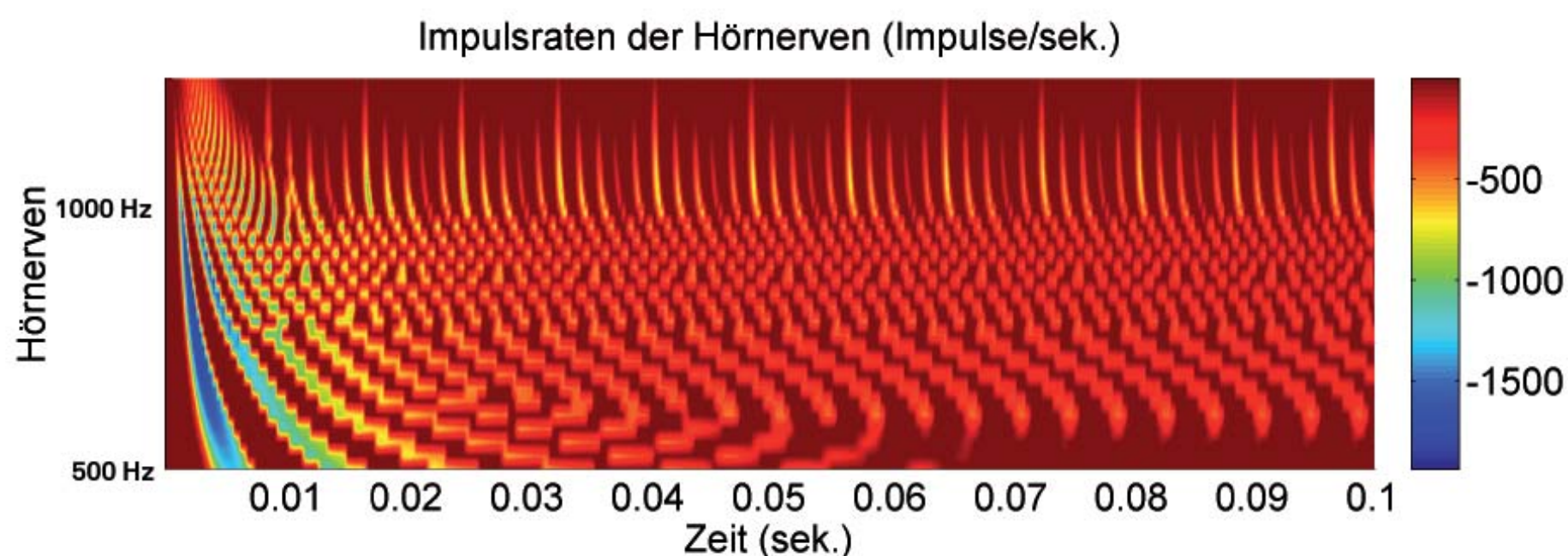


Foto: MED-EL

Hörgeräte machen das Leben verständlicher. Im Bild: Schematischer Aufbau eines sogenannten Cochlea-Implantats.



Gesundes Ohr: Alle Haarzellen im Innenohr arbeiten normal. Sie geben das gesamte Spektrum der gehörten Signale wieder.

der Hörschädigung verstärken und schließlich mit Computerexperimenten und einer Musikdatenbank überprüfen, ob sie erfolgreich waren. Das heißt, sie testen, ob das Signal noch gut klingt.

Schon der erste Schritt ist nicht leicht. Moderne Hörgeräte reduzieren zwar bereits das Eingangssignal, indem sie es in Sprache und Hintergrundgeräusche zerlegen und nur den Sprachanteil verstärken, während sie die Störungen dämpfen. »Doch ein solches Komplexitätsreduktionsverfahren existiert für Musik bislang noch nicht«, sagt Weihs. Bei Musik ist auch nicht ohne Weiteres klar, auf welche Klanganteile verzichtet werden kann. »Dieses Problem umgehen wir, indem wir nicht überlegen, was herausfallen soll, sondern festlegen, was im Klangsignal erhalten bleiben soll – das sind die musikalischen Attribute wie Tonhöhe, Lautstärke, Rhythmus und Klangfarbe.«

Erst den Klang vereinfachen,
dann individuell anpassen

Die Signalreduzierung wird im Wesentlichen von Projektpartner Prof. Rainer Martin in Bochum mithilfe zweier Verfahren erreicht, der sogenannten

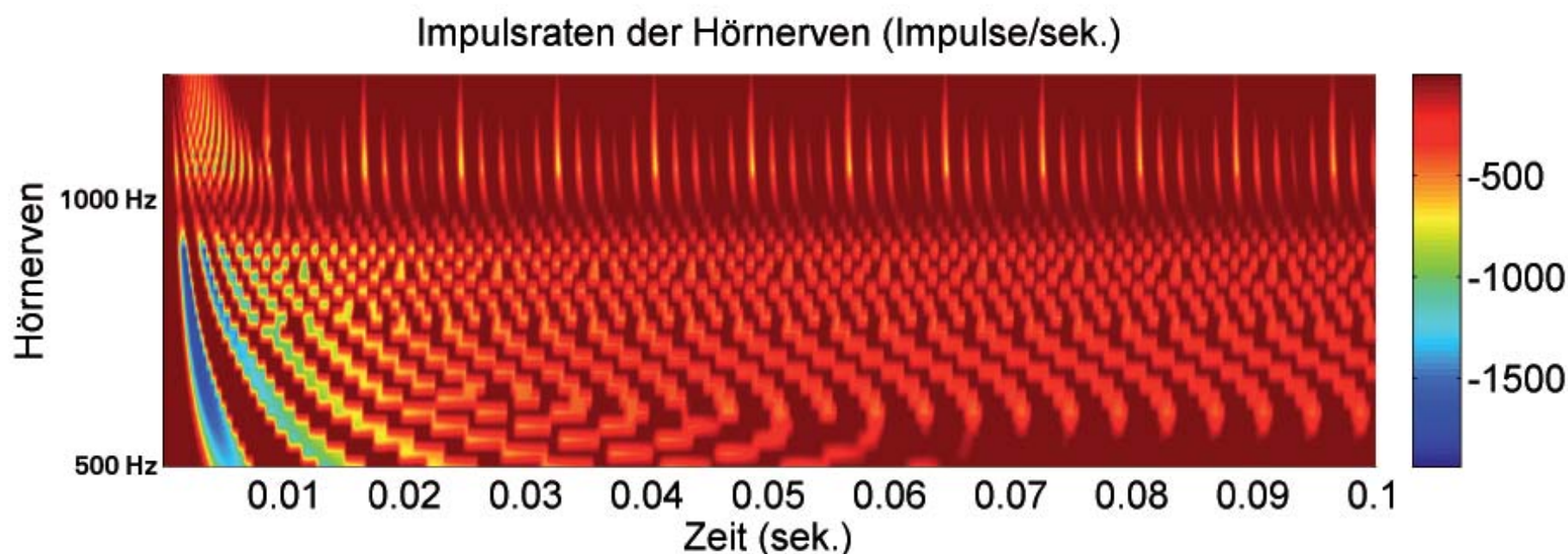
Constant-Q-Transformation und einer Hauptkomponentenanalyse. Die Constant-Q-Transformation teilt das Audiosignal in kleine Zeitintervalle auf und bestimmt für jedes dieser Intervalle, welche Tonhöhen wie stark auftreten. Die Hauptkomponentenanalyse identifiziert in dieser Darstellung dann die wichtigsten Informationen und lässt unwichtigere wegfallen.

Der darauf folgende Schritt ist womöglich der einfachste Teil des Vorhabens, denn es gibt bereits Verfahren zur dynamischen Verstärkung, mit denen das reduzierte Musiksignal an eine Hörschädigung angepasst werden kann. Außerdem arbeiten die Projektpartner an der Ruhr-Universität Bochum an neuen intelligenten Algorithmen, die das Hören in schwierigen akustischen Umgebungen verbessern.

Der kritischste Punkt ist vielmehr die Frage, wann das Ergebnis „gut“ genannt werden kann. Denn Hörgerätträgern ist nicht damit geholfen, ein Signal gut wahrzunehmen, das mit dem ursprünglichen Konzert nicht mehr viel zu tun hat – das Verfahren ist nur dann brauchbar, wenn es die musikalischen Eigenschaften erhält. Natürlich könnte man Hörgeschädigten und Normalhörenden das modifizierte Signal vorspielen und

durch Fragen überprüfen, wie weit die jeweiligen Höreindrücke auseinander liegen. Doch Musikgenuss lässt sich nicht so leicht statistisch erfragen wie Sprachverständlichkeit – hier muss beispielsweise nur gezählt werden, wie viele Wörter eine Testperson richtig verstanden hat. Außerdem bräuchte man für eine aussagekräftige Untersuchung eine große Menge von Menschen, die exakt unter den gleichen Hörschädigungen leiden. Wegen dieser Schwierigkeiten greifen die Forscher auf Computer zurück: Am Rechner simulieren sie das menschliche Ohr, beginnend vom Trommelfell bis hin zu den Hörnervimpulsen im Innenohr, und berechnen, wie es einen Klang in elektrische Signale umwandelt.

Zum Test spielen Weihs und seine Mitarbeiter dem virtuellen Ohr – mit und ohne Hörschädigung – Kammermusik vor. »Viele Hörgeschädigte haben gerade mit der Wahrnehmung klassischer Musik Probleme«, erklärt der Statistiker Weihs, »außerdem ist Kammermusik übersichtlich – es gibt nicht zu viele Instrumente und Klangfarben.« Das Signal, das das Ohr-Programm mit Hörschädigung ausgibt, vergleichen sie anschließend mit dem, das das Ohr-Programm im Normalmodus berechnet, und zwar während verschiedener Verar-



Geschädigtes Ohr: Hörnerven, die auf 1000-Hz-Töne am besten reagieren, feuern nur noch schwach, Töne dieser Frequenz werden kaum noch wahrgenommen.

beitungsschritte im Ohr. So können sie nachverfolgen, welche Informationen des Signals für den musikalischen Hörgenuss wichtig sind, um letzten Endes die Datenreduktion so einzustellen, dass sich die beiden Signale möglichst ähnlich sind.

Beim Qualitätscheck
helfen virtuelle Ohren

Mathematisch ist hier noch einiges zu tun, denn es ist nicht klar, wann man zwei Signale überhaupt „ähnlich“ nennen kann. In den nächsten Monaten wollen die Statistiker also ein geeignetes Abstandsmaß entwickeln, eine mathematische Vorschrift, die zwei Signale vergleicht und eine Bewertung ausgibt, wie sehr sie sich ähneln. »Hierzu würden wir gerne Erkenntnisse der Hirnforschung verwenden«, sagt Prof. Claus Weihs. »Wie Hörnervenimpulse im Gehirn weiterverarbeitet werden, ist allerdings noch nicht so weit verstanden wie die Signalverarbeitung im Ohr, deshalb müssen wir hier von Unsicherheiten ausgehen.«

Doch auch die cleverste statistische Analyse kann nur herausfinden, ob sich zwei Signale in bestimmten tech-

nischen Aspekten ähneln – nicht, ob sie auch angenehm klingen. Deshalb wollen die Wissenschaftler zusätzlich doch noch ihre eigenen Ohren zur Bewertung nutzen. Über das Computer-Ohr mit Hörschädigung wandeln sie ein Musikstück in elektrische Nervensignale um und lassen diese dann rückwärts durch das virtuelle gesunde Ohr laufen. Heraus kommt ein Audiosignal, das sich so anhört, wie es der Schwerhörige wahrnimmt.

Das menschliche Ohr ist jedoch so komplex aufgebaut, dass sich gleich mehrere Schritte des Modells rechnerisch nicht umkehren lassen. Und wenn das Klangsignal erst einmal auf das Wesentliche reduziert ist, um im Hörgerät verstärkt zu werden, kann man den ursprünglichen Klang ebenfalls nicht gänzlich wieder herstellen. Es zu reduzieren heißt ja gerade, Informationen herauszustreichen. Wenn Claus Weihs und seine Mitarbeiter also hören und messen wollen, wie sehr sich das modifizierte Signal von dem Originalklang des Musikstücks unterscheidet, brauchen sie Statistik: Aus den reduzierten und umgewandelten Daten versuchen sie, die ursprünglichen Tonhöhen, Lautstärken und Klangfarben zu schätzen und anzunähern – so ähnlich wie sich aus unregelmäßigen Börsendaten ein

Trend herauslesen lässt oder man aus einer umfangreichen Messreihe den Wert einer Naturkonstanten bestimmen kann.

Über 100.000 Töne hat das Computer-Ohr bereits statistisch verarbeitet. »Auf einem herkömmlichen Computer hätte das über einen Monat gedauert«, sagt Claus Weihs, »doch auf dem Großrechner *LiDO* haben wir die Berechnungen innerhalb einer Nacht abschließen können.«

Bis 2013 wollen Weihs und sein Team die Statistik für neue Hörgeräte liefern. Wenn alles klappt, können Forscher dann Audiosignale zuverlässiger miteinander vergleichen. Und Musik lässt sich dann klanglich so reduzieren, dass sie sich in Hörgeräten leicht verarbeiten lässt, aber immer noch gut klingt. Dann sollen die Trägerinnen und Träger von Hörgeräten nicht mehr nur Gesprächen lauschen, sondern auch Konzerte genießen können.

Aeneas Rooch