

Flexibel und druckempfindlich

Sensoren für die Insertionsüberwachung in der Cochlea

Das Einsetzen eines Cochlea-Implantats in die Hörschnecke ist eine komplizierte Operation, die nicht immer ohne Schädigung des empfindlichen Gewebes einhergeht.

Forschungsarbeiten am Institut für Mikroproduktionstechnik (IMPT) konzentrieren sich deswegen auf die Entwicklung einer Sensorik im Implantat, die dem Chirurgen während des Eingriffs helfen soll, Verletzungen zu vermeiden.

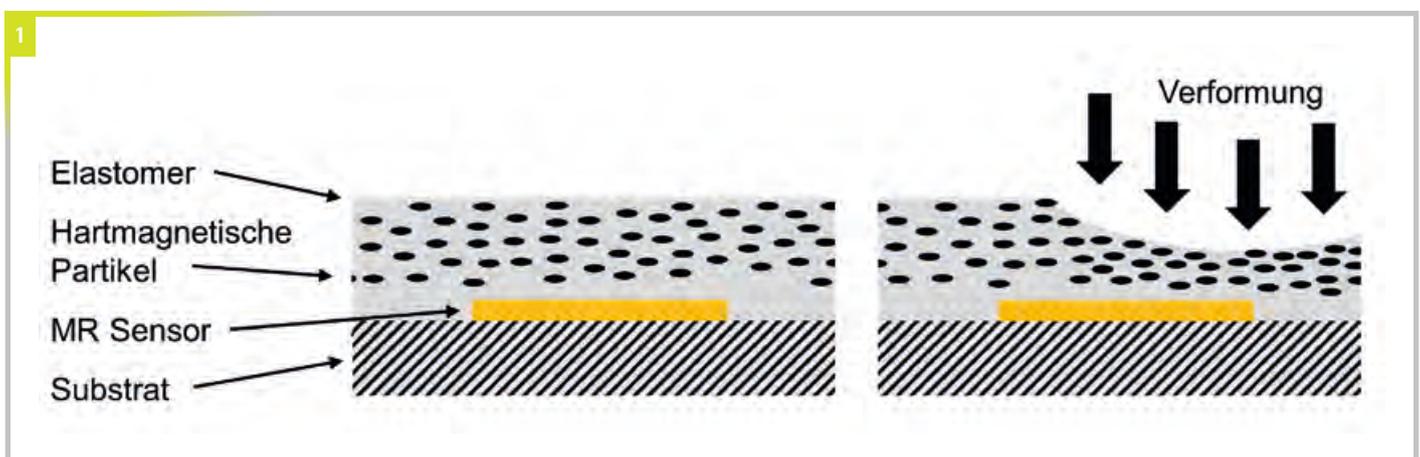
Beschäftigt man sich näher damit, welche Mechanismen greifen müssen, damit Mensch und Tier Schallwellen in der Luft als Töne wahrnehmen können, stellt man fest, dass das Hören eine komplizierte Sache ist. Der Hörapparat besteht aus mehreren Teilen: die Hörmuschel, der Gehörgang, das Trommelfell, das Mittelohr mit den Gehörknöchelchen, das Innenohr mit der Cochlea, auch Hörschnecke genannt, und der Hörnerv. Jeder Teil übernimmt eine andere Rolle bei der Umwandlung von Schallwellen in Nervensignale, die das Gehirn verarbeiten kann, zum Beispiel die Schallweiterleitung von der Hörmuschel zum Trommelfell, die Umwandlung der Schallwellen in mechanische Schwingungen an den Gehörknöchelchen und die Einkopplung der Schwingungen in die Cochlea. Dort werden die Schwingungen von Härchen aufgenommen, die an Nerven-

zellen Impulse auslösen, die wiederum über den Hörnerv zum Gehirn gelangen. So ist es nicht verwunderlich, dass eine Fehlfunktion in der Kette ein fehlendes Hörempfinden auslösen kann. Liegt der Fehler in der Cochlea und sind die Nervenzellen intakt, können Cochlea-Implantate künstliche Reize auslösen, um wenigstens einen Bruchteil des Hörens zu ermöglichen. Vor allem bei Kleinkindern ist das Einsetzen dieser Implantate erfolgversprechend, weswegen es extrem wichtig ist, jegliche weitere Schädigung während des Einsetzens zu vermeiden. Um dabei zu helfen, ist es ein Ziel, die Implantate mit Sensorik auszustatten, um dem Operateur Hilfestellung während des Eingriffs zu geben. Zusätzlich zu den Möglichkeiten, die Position und Krümmung des Implantats mit Hilfe von Impedanz und Transmission zu bestimmen, wird daran geforscht, flexible

Drucksensoren in das Implantat zu integrieren.

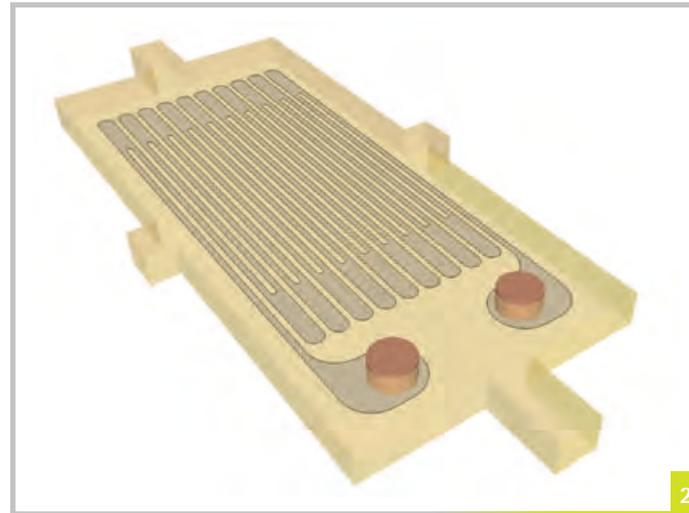
Speziell für die Messung von Drücken, die während der Insertion von Cochlea-Implantaten bei dem Kontakt zwischen Implantat und Gewebe entstehen (Kontaktdrücke), untersucht das IMPT ein Sensor-konzept, das auf Magnetismus basiert. Kernelement des Sensors stellt eine sehr dünne metallische Schicht aus einer Legierung von Nickel und Eisen dar. Diese Schicht ist für gewöhnlich 100 nm dick; ein menschliches Haar ist dagegen im Durchschnitt etwa 70 µm dick, fast eintausend Mal dicker. Wenn die Legierung so dünn vorliegt, weist sie einen sogenannten AMR Effekt auf (anisotroper magneto-resistiver Effekt). Im Wesentlichen bedeutet dies, dass sich der elektrische Widerstand innerhalb der Schicht in Abhängigkeit von dem Umgebungsmagnetfeld ändert. Gibt man

Abbildung 1
Schema des Sensorkonzepts
Grafik: Maren Prediger, M.Sc.



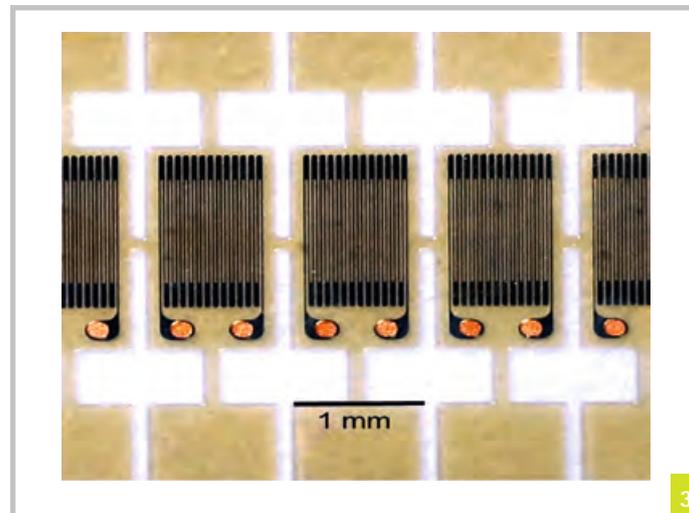
dieser Schicht zusätzlich eine gewisse Form (zum Beispiel ein Mäander, eine Form mit mehreren Windungen, zu vergleichen mit den Windungen eines schlängelnden Flusses), kann man den AMR Effekt verstärken und betonen. Im vorgestellten Sensorkonzept macht man sich den magneto-resistiven Effekt zu Nutze, indem man die Sensorschicht in Kombination mit einem elastischen Material verwendet, das mit magnetischen Partikeln gefüllt ist. So wird dem elastischen Material (auch Elastomer genannt) eine magnetische Eigenschaft verliehen, im konkreten Fall ein Magnetfeld, das vom Elastomer ausgeht. Wird das Elastomer verformt, nimmt es den Druck auf, wodurch sich die Lage der Partikel ändert und somit das Magnetfeld. Die Veränderung kann von der Sensorschicht registriert werden, sodass man indirekt auf die ausgeübte Kraft schließen kann (und über die Fläche auf den Druck). So entsteht ein zweiseitiges Sensorkonzept, dessen Komponenten getrennt voneinander entwickelt und untersucht werden können, um das Gesamtsystem schlussendlich an die Anwendungsanforderungen anzupassen.

Zunächst wurde das Konzept in ersten Versuchen mit einer Sensorschicht auf starrem Glas und einer elastischen Schicht aus dem Elastomer Polydimethylsiloxan (PDMS) getestet und die Ergebnisse sind vielversprechend. Auf das Elastomer wurde eine definierte Kraft ausgeübt und der Widerstand des Sensors gemessen. Dabei zeigte sich, dass mit einem Anstieg der Kraft eine proportionale Veränderung des Widerstandes registriert werden konnte, die sich nahezu linear verhält. Ein lineares Verhalten ist für Sensoren ideal, da man einfach auf die einwirkende Kraft zurückschließen kann. Zusätzlich wurden die Widerstände



2

Abbildung 2
Schema des flexiblen Sensors mit Durchkontaktierung
Grafik: Christian Wittek, B.Sc.



3

Abbildung 3
Flexible Sensoren mit Durchkontaktierung im Array
Foto: Christian Wittek, B.Sc.

von nebeneinanderliegenden Sensoren auf einem Array gemessen, wenn eine definierte Kraft auf den Elastomer ausgeübt wurde. Dabei zeigten Sensoren, die weiter von der Position des Kräfteintrages entfernt waren, eine schwächere Widerstandsänderung. So kann mit der Stärke der Widerstandsänderung auf die räumliche Lage der Druckstelle geschlossen werden. Diese Versuche verdeutlichen, dass das Sensorkonzept ein vielversprechender Ansatz ist. Jedoch wurde das Konzept in diesen Versuchen mit starren Basismaterialien erprobt (Substrat aus Glas). Das übergeordnete Ziel ist es, das System für die biomedizinische Anwendung so flexibel wie möglich

zu gestalten. Am IMPT wurden bisher erfolgreich AMR Sensorschichten auf den starren Substraten Silizium und Glas hergestellt. Nun wurde ein Prozess entwickelt, um die Sensorschicht auf einem flexiblen Substrat, wie zum Beispiel Polyimid zu ermöglichen. Dieses Material ist im Vergleich zu den Silizium- und Glassubstraten wesentlich dünner (etwa sechs Mikrometer im Vergleich zu etwas mehr als einem halben Millimeter bei Glas und Silizium) und zudem auch biokompatibel. Der Prozess hat darüber hinaus den Vorteil, dass die Kontaktierung zum Auslesen des Sensorsignals nicht mehr in derselben Ebene mit der Sensorschicht liegt. Mittels



4

Abbildung 4
 Schema des glasbasierten
 Sensors mit Durchkontaktierung
 und partikelgefülltem Elastomer
 Grafik: Maximilian Aue, B.Sc.



Maren Prediger, M. Sc.

Jahrgang 1991, ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Mikroproduktionstechnik. Ihre Arbeitsschwerpunkte sind dünnfilmtechnische Prozessentwicklung für AMR Sensoren. Kontakt: prediger@impt.uni-hannover.de



Dr.-Ing. Marc Christopher Wurz

Jahrgang 1974, ist Oberingenieur am Institut für Mikroproduktionstechnik. Seine Arbeitsschwerpunkte liegen in den Bereichen magnetischer Sensoren und Aktoren, neue Technologien für die Systemintegration in Kombination mit neuen Fertigungstechnologien für die Mikrosystemtechnik. Kontakt: wurz@impt.uni-hannover.de

spezieller Techniken wurden Durchkontaktierungen durch das flexible Material hergestellt. So kann der notwendige Platz für die elektrischen Verbindungen im Implantat reduziert werden. In Anlehnung an diesen Prozess wurde in Zusammenarbeit mit der Firma LPKF außerdem ein vergleichbarer Prozess für das Substratmaterial Glas entwickelt, um auch dort eine Durchkontaktierung zu verwirklichen. Je dünner das Glassubstrat, desto flexibler ist es, so dass sich die momentanen Arbeiten damit beschäftigen, die Sensorleistungen in Abhängigkeit des Substratmaterials zu evaluieren. Letztendlich kann zwischen starren und flexiblen Substraten gewählt werden, was dem Gesamtkonzept eine enorme Flexibilität hinsichtlich der Anwendungsbreite und Anpassungsfähigkeit verleiht.

Zusätzlich zu den empirischen Entwicklungen und Erkenntnissen ist es auch wichtig, das Verhalten des Elastomers und der Partikel genau zu kennen und vorhersagen zu können. Speziell die mechanischen und magnetischen Eigenschaften müssen hierbei beachtet und in einem Modell beschrieben werden, da sich das Elastomer idealerweise komplett reversibel verhalten muss, um ein replizierbares Sensorsystem zu gewähren. Mithilfe des Modells kann man die Wechselwirkung zwischen dem Elastomer und der Sensorschicht abschätzen und mit den Ergebnissen aus realen Versuchen vergleichen. Dies soll es ermöglichen, bei der Herstellung auf *Trial and Error* zu verzichten und mit wenig technischem und materiellem Aufwand zu einer für die Anwendung ausgelegten Komponente zu gelangen. Diese Arbeiten sind einerseits Teil eines Projektes, das in einem großen Sonderforschungsbereich der Leibniz Universität Hannover und der Medizinischen Hochschule Hannover beantragt wird, und andererseits Inhalt eines Projekts, das vom Institut selbst angestrebt wird. Im Großen und Ganzen soll es mithilfe des im Cochlea-Implantat integrierten magnetischen Sensorkonzeptes nicht nur möglich sein, die Druckausbildung während des Einsetzens zu überwachen. Idealerweise kann es auch dazu genutzt werden, postoperativ Schwankungen des Flüssigkeitsdrucks innerhalb der Cochlea wahrzunehmen. So würde der Sensor auch zu einer diagnostischen Einheit, die vor weiteren Schäden am Gehör durch zu hohen Flüssigkeitsdruck warnen kann.