

# Mechatronischer Tastsinn

## WIE PIEZOELEKTRISCHE TAKTILE SENSOREN DIAGNOSEN OPTIMIEREN

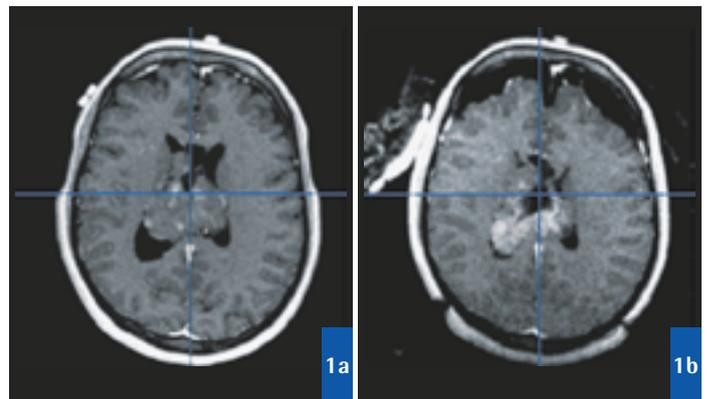
Mit Hilfe moderner Endoskope, die miniaturisierte Kamerasysteme enthalten, kann der Operateur bei minimal invasiven Eingriffen einen visuellen Eindruck vom Ort der Operation gewinnen. Er kann unter Nutzung der Technik sozusagen mit seinem Auge in den Körper des Patienten eindringen. Eine entsprechende Sensorik für den Tastsinn ist bis heute nicht verfügbar. Diese wäre aber von hohem Nutzen, denn in vielen Fällen stellen Tasteindrücke von Körpergewebe wichtige Informationen dar.



### Gewebedifferenzierung bei der Tumorentfernung

Bei der Behandlung von Hirntumoren ist oft ein chirurgischer Eingriff mit dem Ziel der vollständigen Entfernung des Tumors die erste Wahl der Therapie. Diese so genannte chirurgische Resektion stellt jedoch einen schwierigen Eingriff dar: Zum einen müssen gesunde Hirnareale erhalten bleiben, weil bei einer übermäßigen Entfernung von gesundem Gehirngewebe irreparable Schädigungen auftreten können; zum anderen sollte das Tumorgewebe vollständig entfernt werden, da ansonsten ein erneuter Wachstumsschub eintreten kann und unter Umständen eine Nachbehandlung erforderlich wird.

Hirntumore können präoperativ mittels Computertomographie (CT) oder Kernspintomographie beziehungsweise Magnetresonanztomographie (MRT) lokalisiert werden. Nach dem Öffnen des Schädels für den operativen Eingriff kommt es jedoch zu Verschiebungen der Gehirnmasse (»brain shift«, Abbildung 1), so dass Fehler in der Lokalisation auftreten. Während der Operation muss der Chirurg deshalb auch anhand anderer Informationen zwischen tumorösem und gesundem Gewebe differenzieren. Dies geschieht überwiegend auf visueller oder taktiler Basis. Gerade bei niedriggradigen Tumoren ist



wegen des niedrigen Gewebekontrastes und der schwer zu unterscheidenden Gewebekonsistenz ein feines Fingerspitzengefühl gefordert. [1]

Ähnliche Fragestellungen finden sich auch in der Gastroenterologie. Die Entfernung von gutartigen Tumoren in der Speiseröhre kann durch Ausschälen des Tumors erfolgen, so dass der gesunde Rest der Speiseröhre erhalten bleiben kann. Auch hier ist eine Charakterisierung des Gewebes erforderlich. In der Gastroenterologie erfolgt die Untersuchung von außen überwiegend mittels Sonographie, einem auf Ultraschall basierenden, bildgebenden Verfahren. Dieses Verfahren funktioniert jedoch erst ab einer gewissen Tumorgroße zuverlässig. Bei der Untersuchung im Inneren des Körpers mittels Endoskopie können derzeit nur visuelle Eindrücke des zu untersuchenden

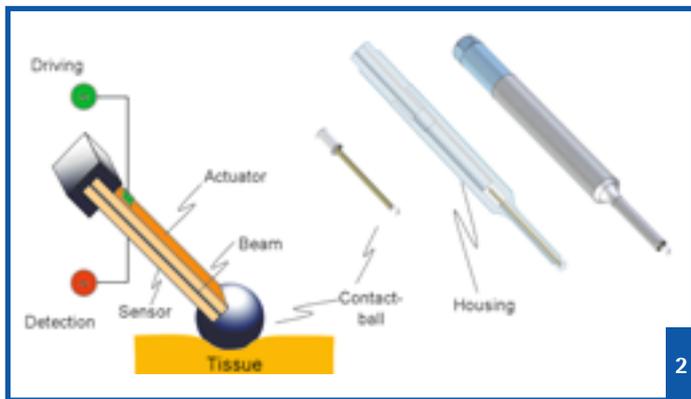
Gewebes vermittelt werden. Mit einem taktilen Sensor zur qualitativen und quantitativen Bestimmung der mechanischen Gewbeeigenschaften könnte die Funktionalität eines Endoskops erweitert und somit die Diagnose verbessert werden.

### Piezoelektrische taktile Sensoren

Das Kernelement dieser »Tast-Sensoren«, taktile Sensoren genannt, bildet ein piezoelektrischer Transducer, das heißt ein elektro-mechanischer Energiewandler. Piezoelektrische Materialien (siehe Infokasten) werden in vielen Bereichen eingesetzt und sind in großer Vielfalt verfügbar. Nachfolgend werden zwei der am Institut für Dynamik und Schwingungen untersuchten Varianten eines Sensors zur Gewebedifferenzierung beschrieben.

Der erste piezoelektrische taktile Sensor nutzt das so genannte Prinzip des Self-Sensing, bei dem sowohl Spannung als auch Strom der Ansteuerung von Funktionswerkstoffen wie der hier verwendeten Piezokeramik gemessen und unter Verwendung eines mathematischen Modells ausgewertet werden. Basis hierfür ist die Kopplung zwischen elektrischen und mechanischen Feldgrößen. Zur Beschreibung elektrome-

chanischer Energiewandler werden dabei Ersatzmodelle verwendet, wie sie am Institut für Dynamik und Schwingungen seit vielen Jahren entwickelt und erfolgreich eingesetzt werden. Bei der Signalauswertung konnte auf Vorarbeiten im Bereich der Online-Überwachung in der Halbleiterfertigung zurückgegriffen werden [2]. Bei dieser Variante wird nur die elektrische Ansteuerung eines piezoelektrischen Aktor-Elementes gemessen und modellbasiert ausgewertet.



chanischer Energiewandler werden dabei Ersatzmodelle verwendet, wie sie am Institut für Dynamik und Schwingungen seit vielen Jahren entwickelt und erfolgreich eingesetzt werden. Bei der Signalauswertung konnte auf Vorarbeiten im Bereich der Online-Überwachung in der Halbleiterfertigung zurückgegriffen werden [2]. Bei dieser Variante wird nur die elektrische Ansteuerung eines piezoelektrischen Aktor-Elementes gemessen und modellbasiert ausgewertet.

In einer zweiten Variante wird eine piezoelektrische Schicht eines Bimorph-Elementes (Abbildung 2) als Aktor genutzt und zur Anregung von Schwingungen eingesetzt; die zweite Schicht agiert als Sensor zur Schwingungserfassung [3]. Die Bimorphstruktur stellt eine räumlich-funktionale Integration sensorischer und aktorischer Elemente dar. Die

gangsspannung des Sensorelementes von der mechanischen Kontaktimpedanz abhängt.

Unter Annahme eines viskoelastischen Modells nach Voigt und Kelvin, bestehend aus einer Parallelschaltung eines Feder- und Dämpfungsele-

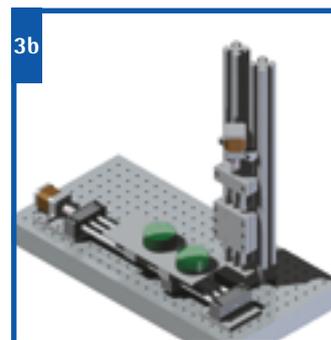


ments, kann die mechanische Impedanz des Gewebes lokal durch die Ersatzparameter Steifigkeit, Dämpfung und Masse beschrieben werden. Die Steifigkeit und die Dämpfung variieren dabei in Abhängigkeit der spezifischen Gewebeeigenschaften. Die Erfassung der Frequenz, Phase und Amplitude erfordert eine hochempfindliche Messelectronik. Hierfür wurden am Institut für Dynamik und Schwingungen entsprechende Systeme in Digitaltechnik entwickelt [5].

### Experimentelle Ergebnisse

Mit dem Aufbau eines 2-Achsen-Lineartisches wurde ein vollautomatischer Messplatz für die taktile Vermessung von unterschiedlichen Gewebeproben geschaffen (Abbildung 3). Ausgestattet mit einem Kraftsensor lässt sich der Bimorph mit definierter Aufsetzkraft auf die Probe positionieren [6].

Zunächst wurden aus Gelatinepulver Gewebephantome mit unterschiedlicher Konzentration hergestellt, um die taktilen Eigenschaften von organischem Gewebe für grundlegende Messreihen nachzubilden (Abbildung 4). Der taktile Bimorphsensor war in der Lage, minimale Unterschiede in der Gelatinekonzentration der Phantome, die für den menschlichen Tastsinn nicht zu unterscheiden sind, mit sehr hoher Genauigkeit zu erkennen. Selbst minimale Unterschiede in der Gelatine-



Abbildungen 1 (gegenüber) CT-Aufnahme des Gehirns vor (links) und nach (rechts) dem Öffnen der Schädeldecke  
Quelle: R. Stroop: Taktile Sensorik in der intraoperativen Robotik. Masterarbeit, FernUniversität in Hagen, Juni 2007.

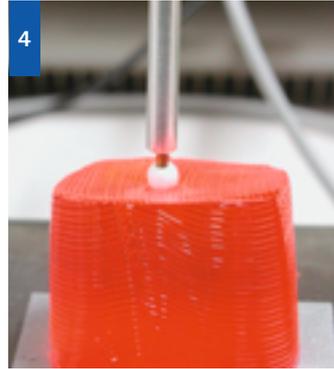
### Drei Wissenschaftler

des Instituts für Dynamik und Schwingungen beschreiben die Entwicklung eines piezoelektrischen Aktor-Sensor-Systems, mit dessen Hilfe es möglich ist, Gewebeeigenschaften zu charakterisieren.

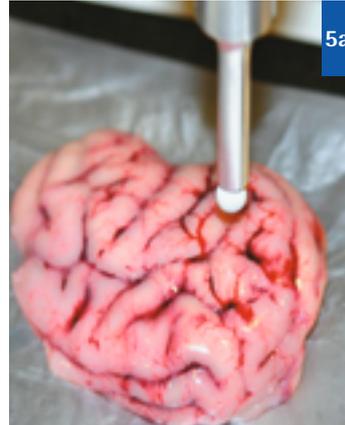
Abbildung 2 (oben) Struktur und Konzept des piezoelektrischen Bimorphsensors  
Quelle: Institut für Dynamik und Schwingungen, Leibniz Universität Hannover

Abbildungen 3 Vollautomatisierter Versuchsaufbau zur Identifikation der taktilen Eigenschaften von unterschiedlichen Gewebeproben  
Quelle: Institut für Dynamik und Schwingungen, Leibniz Universität Hannover

Abbildung 4  
Aufsetzen des taktilen Sensors auf einer Gelatineprobe  
Quelle: Institut für Dynamik und Schwingungen, Leibniz Universität Hannover



Abbildungen 5 (rechts)  
Aufsetzen des taktilen Sensors auf Gehirnproben  
Quelle: Institut für Dynamik und Schwingungen, Leibniz Universität Hannover



konzentration von wenigen Prozent konnten zuverlässig festgestellt werden.

Mit Hilfe des Sensors war es ebenfalls möglich, verschiedene Gewebearten vom Tier eindeutig voneinander zu

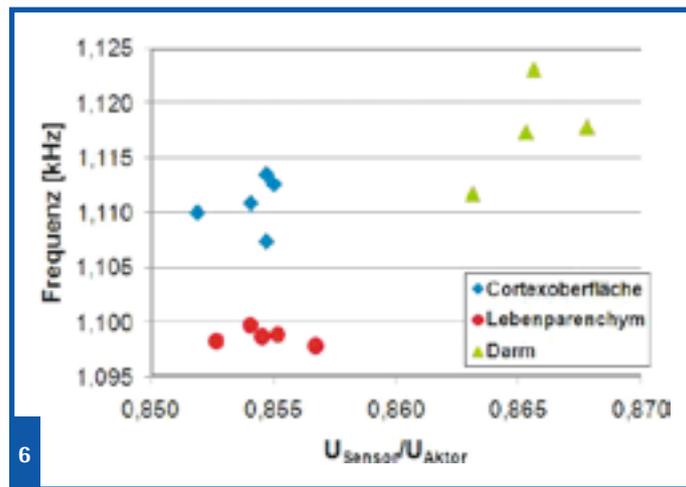
und Gehirn) umfangreiche Messungen durchgeführt. Aus der Bestimmung von Steifigkeits- und Dämpfungsparametern konnte eine zuverlässige und reproduzierbare Charak-

werden. Die einzelnen Gewebearten bilden dabei geschlossene Cluster (Abbildung 6).

**Weiterführende Arbeiten**

Der piezoelektrische taktiler Sensor ist ein vielversprechender Ansatz zur Gewebedifferenzierung in der Medizintechnik, der zum Beispiel dem Neurochirurgen wichtige Informationen zur Gewebedifferenzierung liefern kann. Die bisherigen Ergebnisse legen den Grundstein für weitere Entwicklungen. Beispielsweise bietet die Integration eines miniaturisierten taktilen Sensors die Möglichkeit, die Funktionalität von medizinischen Geräten, wie etwa Endoskope oder Skalpelle, zu erweitern. Ein erster Prototyp hierfür ist ein Ultraschallskalpell (Abbildung 7), das in der Lage ist, während des Schneidens das Gewebe zu erkennen.

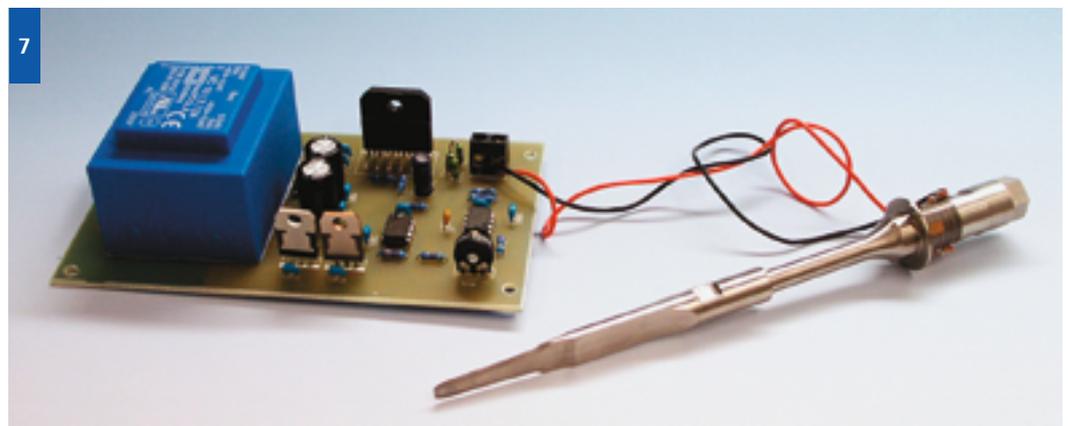
Abbildung 6  
Clusterung der unterschiedlichen Gewebearten  
Quelle: Institut für Dynamik und Schwingungen, Leibniz Universität Hannover



unterscheiden. Dazu wurden an verschiedenen Organstrukturen (unter anderem an Leber

terisierung unterschiedlicher Hirnareale wie der grauen und weißen Substanz erzielt

Abbildung 7  
Prototyp eines piezoelektrischen Ultraschallskalpells mit Leistungselektronik  
Quelle: Institut für Dynamik und Schwingungen, Leibniz Universität Hannover





**Literatur**

- [1] Stroop, R.; Uribe, D. O.; Martinez, M. O.; Brökelmann, M.; Hensel, T.; Wallaschek, J.: Tactile Tissue Characterisation by Piezoelectric Systems. *Journal of Electroceramics*, 2008, 20 (3–4), S. 237–241.
- [2] Brökelmann, M.: Entwicklung einer Methodik zur Online-Qualitätsüberwachung des Ultraschall-Drahtbondprozesses mittels integrierter Mikrosensorik. Dissertation – Universität Paderborn, 2008.
- [3] Hensel, T.; Stroop, R.; Oliva Uribe, D.; Wallaschek, J.: Resonant vibrating sensors for tactile tissue differentiation. *Journal of Sound and Vibration*, vol. 308, Issues 3–5, pp 441–446, 2007.
- [4] Oliva Uribe, D.; Stroop, R.; Hensel, T.; Wallaschek, J.: Development of a bio-medical tissue differentiation system using piezoelectric actuators. *Frequency Control Symposium, 2008 IEEE International*, vol., no., pp. 91–94, 19–21 May 2008.
- [5] Oliva Uribe, D.; Stroop, R.; Hensel, T.: Control Electronics for a Tissue Sensing Piezoelectric Bimorph. *Proceedings of the 4th International Workshop on Piezoelectric Materials and Applications in Actuators*, Nanjing, China, 2007.
- [6] Uribe, D. O.; Stroop, R.; Wallaschek, J.: Piezoelectric self-sensing system for tactile intraoperative brain tumor delineation in neurosurgery. *Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC 2009, Annual International Conference of the IEEE*, pp.737–740, USA, 2009.

**Prof. Dr.-Ing. habil. Jörg Wallaschek**

Jahrgang 1960, leitet seit 2007 das Institut für Dynamik und Schwingungen der Fakultät für Maschinenbau an der Leibniz Universität Hannover. Seine Forschungsschwerpunkte sind Piezo- und Ultraschalltechnik, Kontaktmechanik und Reibung sowie Schwingungen mechanischer Systeme. Er ist Vorstand des Mechatronik Zentrums Hannover und gewähltes Mitglied im Fachbeirat Schwingungstechnik und Aktive Systeme des DIN/VDI-NALS. Kontakt: [wallaschek@ids.uni-hannover.de](mailto:wallaschek@ids.uni-hannover.de)

**M.Sc. David Oliva Uribe**

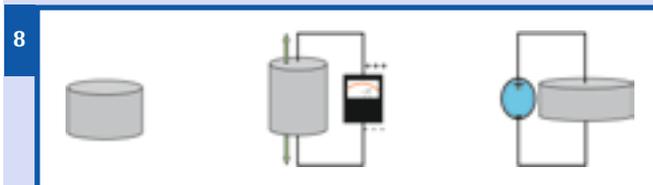
Jahrgang 1975, ist seit 2007 als Gruppenleiter der Arbeitsgruppe Medizintechnik und Mechatronik am Institut für Dynamik und Schwingungen an der Leibniz Universität Hannover tätig. Sein Promotionsthema ist die Entwicklung eines piezoelektrischen taktilen Sensors zur Gewebedifferenzierung. Kontakt: [uribe@ids.uni-hannover.de](mailto:uribe@ids.uni-hannover.de)

**Dr.-Ing. Florian Schiedeck**

Jahrgang 1977, ist seit 2007 als wissenschaftlicher Mitarbeiter des Instituts für Dynamik und Schwingungen an der Leibniz Universität Hannover tätig. Sein Forschungsschwerpunkt sind Funktionswerkstoffe, insbesondere Formgedächtnislegierungen. Kontakt: [schiedeck@ids.uni-hannover.de](mailto:schiedeck@ids.uni-hannover.de)

**Piezoelektrizität**

Die Erzeugung einer elektrischen Spannung infolge einer einprägten Verformung beziehungsweise die Verformung des Materials bei Anlegen eines elektrischen Feldes werden als direkter oder inverser piezoelektrischer Effekt bezeichnet. Dieser Effekt tritt bei nichtleitenden Materialien mit elektrischem Dipol wie Kristallen, Keramiken und Polymeren auf. Der Piezoeffekt ist reversibel und kann sowohl für Sensoren als auch Aktoren gleichermaßen genutzt werden.



Piezoelektrisches Material

Direkter piezoelektrischer Effekt

Inverser piezoelektrischer Effekt

Abbildung 8  
Darstellung des direkten und inversen piezoelektrischen Effekts  
Quelle: Institut für Dynamik und Schwingungen, Leibniz Universität Hannover