



## Peristaltisch getriebene Sonde mit haptischem Sensorarray für die minimal- invasive Wirbelsäulenchirurgie

### 1 Einleitung

Die Nachwuchsgruppe entwickelt eine sich wurmartig fortbewegende Sonde, die für Operationen in natürlichen Körperhöhlen (z.B. Epiduralraum im Wirbelkanal) eingesetzt werden kann. Die Sonde verlegt einen Arbeitskanal für kommerziell erhältliche endoskopische Werkzeuge. Die eigentliche Operation wird dann durch den Arbeitskanal und die im Inneren hohle Sonde hindurch durchgeführt.

### 2 Entwicklungen und Ergebnisse

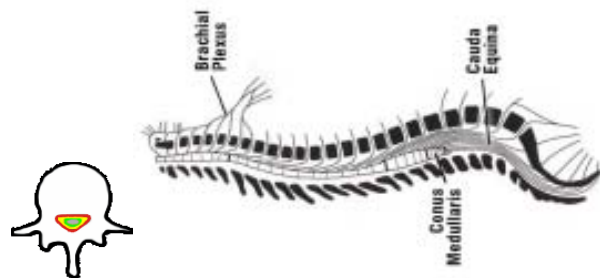
Für die Entwicklung der Sonde ist die Bearbeitung folgender Teilprojekte nötig. Der Wirbelkanal definiert mit seinen Abmessungen und Eigenschaften die Randbedingungen für die Lokomotion. Aus den Materialtests und FEM Simulationen folgt der Aufbau und das Design der Sonde. Eine Anlage zur Herstellung der Sonde und deren Ansteuerung wird entwickelt. Außerdem soll die Sonde über ein haptisches Sensorfeld dem Chirurgen einen Eindruck von dem Zustand des Operationsgebietes vermitteln.

#### 2.1 Wirbelkanal

Die Sonde soll sich im Epiduralraum, d.h. im dem Fettgewebe, das sich zwischen der Dura und den Wirbelkörpern befindet bewegen. Deshalb ist es zum einen wichtig den zur Verfügung stehenden Raum im Wirbelkanal zu kennen. Zum anderen interessiert, wie viel Kraft die Sonde für die Lokomotion und das Hinterherziehen des Schlauches aufbringen muss.

#### 2.2 MRT Daten Mensch

In der Literatur gibt es bisher nur Arbeiten, die sich mit den Abmessungen der Wirbelkörper von Hals- bis Lendenwirbelsäule und den Abmessungen der Dura im Bereich des Rückenmarkes (Hals- bis Brustwirbelsäule) beschäftigen. Arbeiten zu der Größe des Epiduralraumes und der Lage des Duraschlauches im Epiduralraum gibt es bisher nicht. Deshalb wurden jetzt von insgesamt 49 Patienten in Bad Berka MRT Aufnahmen im Bereich Kreuzbein und Lendenwirbelsäule vermessen. Neben den in Abb. 1 gezeigten Maßen wurde auch der ventrale und dorsale Anteil des Epiduralraumes bestimmt.



#### 2.3 Messungen am Schwein

Die Messungen der Kraft, die benötigt wird, um das Fettgewebe zu durchdringen, können nur am Tier durchgeführt werden. Durch weitere Verbesserungen am Messaufbau wurde die Genauigkeit der Messungen erhöht und die benötigten Kräfte werden jetzt auf 0.5-1 N abgeschätzt.

#### 2.4 Lokomotionsform

Wie bereits in den Vorjahren beschrieben soll eine peristaltische Bewegung, d.h. eine periodische Beschaltung von hintereinander geschalteten identischen Segmenten verwendet werden.

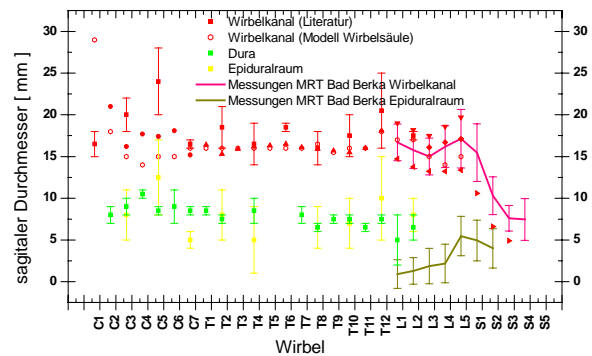


Abb. 1: Oben links ist ein Querschnitt eines Wirbelkörpers mit farblicher Kennzeichnung der inneren Umrandung des Wirbelkörpers (rot), des Epiduralraumes (gelb) und der Dura (grün) gezeigt. Oben rechts ist ein schematischer Längsschnitt der Wirbelsäule dargestellt. Unten sind Literaturdaten und eigene Messdaten der Abmessungen der Wirbelkörper, der Dura und des Epiduralraumes dargestellt.

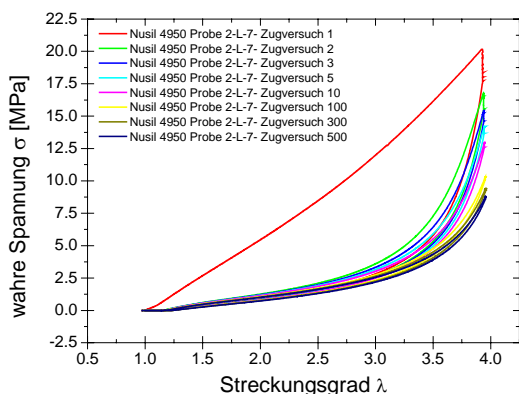


Abb. 2: Dehnungs- Spannungs- Kurven einer 500-mal uniaxial gezogenen Silikon Probe.

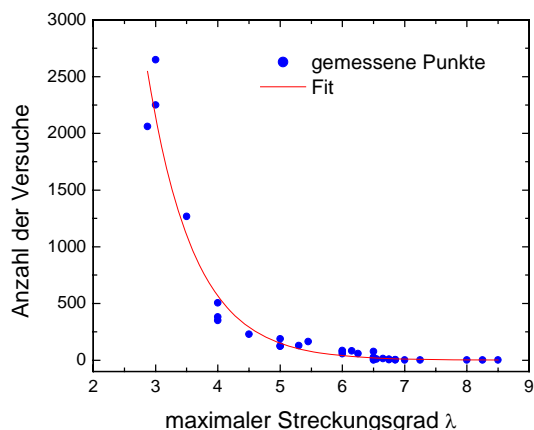


Abb. 3: Zusammenhang zwischen der Anzahl der Belastungszyklen, die möglich sind, bevor eine Probe reißt, und dem Streckungsgrad für uniaxialen Zug.

## 2.5 Sonden Design

Für die Sonde wird Silikonkautschuk verwendet, der bei jedem Befüllzyklus in den Segmenten große Dehnungen erfährt. Deshalb werden Materialtest durchgeführt, um das Verhalten des Materials nach vielen Tausend Belastungszyklen abschätzen zu können. Die Materialtests liefern dann auch das Materialgesetz, das als Eingangsgröße für die FEM Optimierung der Segmente benötigt wird.

### 2.5.1 Materialeigenschaft des Silikon

Von Gummi ist bekannt, dass sich das Materialverhalten während fortlaufender Belastung stetig verändert. Zu Silikon gibt es in der Literatur relativ wenige Arbeiten. Deshalb wurde das Langzeitverhalten in uniaxialen Zugversuchen untersucht. Abb. 2 zeigt exemplarisch die Dehnungs- Spannungs- Kurve einer bis auf die 4-fache Ausgangslänge gezogener Probe. Die Kennlinie verändert sich permanent bei fortlaufender Belastung. Des weiteren wurde getestet wie viele Belastungszyklen eine Probe, die wiederholt bis zu einem Streckungsgrad gezogen wird, vor dem Zerreißen durchlaufen kann (Abb. 3).

### 2.5.2 Simulation der Segmentverformung mit der Finite Elemente Methode (FEM)

Die Kennlinie des Materials ändert sich - wie oben dargestellt – fortlaufend. D.h. eigentlich müsste die Verformung des Segmentes bei fortlaufenden Lastzyklen simuliert werden. Da dies aus Rechenzeitgründen nicht möglich ist, wurden die FEM Simulationen mit der Kennlinie von 2fach gezogenen Proben durchgeführt. Aufbauend auf den Ergebnissen von 2003 wurden noch konvexe und konkave Kissenformen getestet und das Verhalten der Verformung während des Wandkontaktes simuliert. Es wurde ein Design gefunden, dass in Kanälen zwischen 5 und 8 mm zu Vorschub führt und gleichzeitig den inneren Kanal für das Operationswerkzeug offen lässt.

## 2.6 Silikon- Prototyping- Anlage

Für die Herstellung der Sonde wird ein Lithographieverfahren verwendet. Auf einen Substratstab werden sukzessive Photolackschicht, Silikonschicht, Photolackschicht und wieder eine Silikonschicht aufgebracht. Die zweite Photolackschicht wird mit einem Laser strukturiert, so dass befüllbare Kissen und Zuleitungsbeereiche zurückbleiben. Abb. 4 zeigt die Dicke der entstandenen Schichten für 4 Sonden. Die Homogenität der Silikonschichten muss noch stark verbessert werden. Es wurden erste Testsonden mit einem Kissen und einer Zuleitung in der Anlage hergestellt (Abb. 5).

## 2.7 Ansteuerung der Sonde

Die 2003 entwickelte Ansteuerung wurde vollständig aufgebaut und funktioniert zufriedenstellend, so dass eine Ansteuerung einer Sonde mit 18. Kanälen möglich ist.

## 2.8 Haptik

Der Messaufbau der mechanischen Impedanzmessung für die Haptik wurde nochmals grundlegend überarbeitet, um reproduzierbare Messungen an nichtlinearem Material zu ermöglichen.

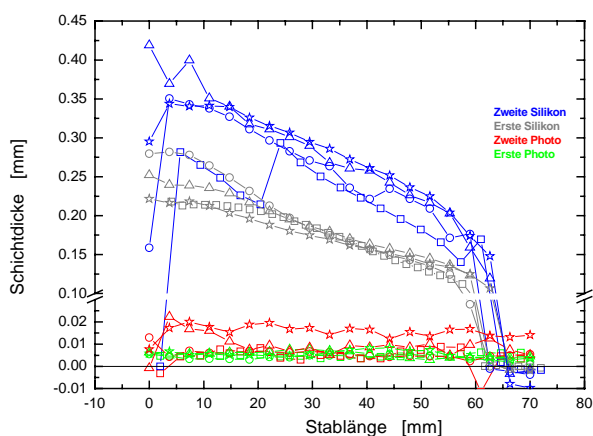


Abb. 4: Dicke der Silikon- und Photolackschichten von 4 Sonden.

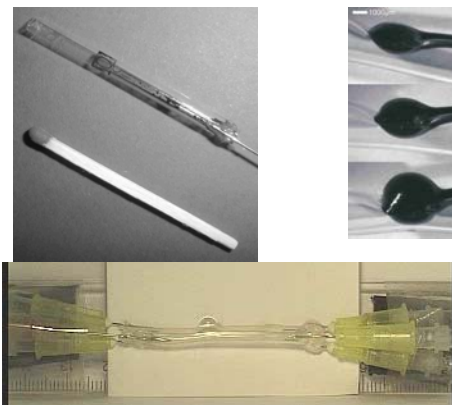


Abb. 5: Erste Testsonden bestehend aus einem Kissen und einer Zuleitung, die in der Silikonanlage hergestellt wurden. Oben links: Größenvergleich. Oben rechts: Mit Tinte befülltes Kissen. Unten: Kissen, das über die Ansteuerung befüllt wird.

## 3 Zusammenfassung

### 3.1 Entwicklung der peristaltischen Sonde

Die Untersuchungen der Lokomotionsform, die FEM Simulationen zum Sondendesign und die Entwicklung der Ansteuerung sind weitgehend abgeschlossen. Durch erste Testsonden konnte der prinzipielle Funktionsnachweis der Anlage zur Herstellung der Sonde erbracht werden.

### 3.2 Bemerkungen zur personellen Situation

Zum 31.3.04 ist Roman Preuss, der die Silikonanlage maßgeblich entwickelt hat ausgeschieden. Aufgrund der schwierigen Bewerbersituation konnte die Stelle erst nach 2 Ausschreibungen zum 1.8.04 wiederbesetzt werden. Dadurch und durch die Einarbeitungsphase des Nachfolgers kam es zu erheblichen Verzögerungen bei der Entwicklung des Herstellungsprozesses der Sonde.

Zum 31.12.04 sind auch Johannes Dietrich und Lisa Heermann aus der Nachwuchsgruppe ausgeschieden. So dass für 2005 auch bei der Weiterentwicklung der Haptik und bei den Untersuchungen zu den Abmessungen des Wirbelkanals mit Verzögerungen zu rechnen ist.

## 4 Veröffentlichungen

### 4.1 Publikationen

Dietrich, J.; Meier, P.; Oberthür, S., Preuß R.; Voges, D.; Zimmermann, K.; Development of a peristaltically actuated device for the minimal invasive surgery with a haptic sensor array. In Micro- and Nanostructures of Biological Systems, Halle, Shaker-Verlag, 2004, ISBN 3-8322-2655-9, pp. 66-89.

### 4.2 Vorträge

Manar El-Chammas, J. Dietrich, E. Gerlach, K. Zimmermann, Optimising the trajectories of various modular robot configurations by employing Genetic Algorithms, 49. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium Technische Universität Ilmenau, 27.-30. September 2004 Ilmenau, 2004.

Preuß R., Oberthür S., Dietrich J., Heermann L., Meier P; Peristaltisch angetriebene Sonde mit haptischem Sensorarray für die minimal-invasive Wirbelsäulenchirurgie, Symposium "Wirbelsäulenchirurgie – Neue Möglichkeiten – bewährte Verfahren – Langzeitergebnisse", 18.-20.03.2004, Bad Berka., 2004.

Petra Meier, Technologische Realisierung eines künstlichen Wurms für die Wirbelsäulen-Chirurgie, Zentrum für Mikro- und Nanotechnologien, 21.07.2004 Ilmenau, 2004

Petra Meier, Development of a Silicone Rubber Worm for Minimal Invasive Surgery, 11th Workshop on The Finite Element Method in Biomedical Engineering, Biomechanics and Related Fields, Germany July 14th -15th 2004 Ulm, 2004.

P. Meier, R. Preuß, S. Oberthür, Development of an artificial worm for minimal invasive surgery, 38. DGBMT Jahrestagung, 22.-24. September 2004, Ilmenau, 2004.

K. Abaza, P. Meier, S. Oberthür, R. Preuß, I. Zeidis, K. Zimmermann, Biomimetische Bewegungssysteme basierend auf undulatorischer Lokomotion – Entwicklung eines künstlichen Wurmes für die Wirbelsäulenchirurgie, Bionik: Innovationimpulse aus der Natur, 29. - 30. Oktober 2004, Bremen, 2004.