

A. Richter<sup>1</sup>, W. Krause<sup>1</sup>, J. Lienig<sup>1</sup>, K.-F. Arndt<sup>2</sup>

## Polymernetzwerke als Aktor-Sensor-Systeme für die Automatisierung biomedizinischer Geräte

Polymer Networks as Actuator and Sensor Systems to be Used for Automation of Biomedical Devices

<sup>1</sup> Institut für Feinwerktechnik und Elektronik-Design  
<sup>2</sup> Institut für Physikalische Chemie und Elektrochemie  
 Technische Universität Dresden

Schlüsselwörter: Biomedizinische Geräte, Produktautomatisierung, Aktor-Sensor-Systeme, Polymernetzwerke, smarte Hydrogele

Key words: biomedical devices, automation, actuator and sensor systems, polymer networks, smart hydrogels

Polymernetzwerke sind Kunststoffe, bei denen die einzelnen Moleküle durch physikalische und chemische Verbindungsstellen zu einem dreidimensionalen Netzwerk verknüpft sind. In Gegenwart eines günstigen Lösungsmittels wird ein solches Netzwerk nicht wie ein unvernetztes Polymer aufgelöst, sondern quillt unter Lösungsmittelaufnahme. Man bezeichnet das gequollene Netzwerk dann auch als Gel bzw. bei Wasseraufnahme als Hydrogel, dessen Volumenzunahme das 100fache und mehr des Ausgangsvolumens betragen kann. Da die Gele bei einer Expansion bzw. Kontraktion zum Teil erhebliche Kräfte entwickeln, sind sie in der Lage, mechanische Arbeit zu verrichten. Das volumenbezogene Arbeitsvermögen kann dabei das eines Elektromagneten um das Zehnfache übersteigen. Auf Grund ihres sehr einfachen Aufbaus, der guten Miniaturisierbarkeit und vor allem der Fähigkeit, eigenständige Aktor-Sensor-Funktionen auch für bisher ungelöste Steuer- und Regelprobleme zu realisieren, eröffnen diese Netzwerke neue Lösungen unter anderem im Bereich der biomedizinischen Gerätetechnik.

Polymer networks are based on molecules which are covalently or physically connected in a three-dimensional network. In presence of an appropriate solvent these networks swell by solvent absorption to form gels. These gels, which are called hydrogels in case of water absorption, are able to change their volume by more than a hundred-fold. During the swelling or shrinking process the hydrogels perform a mechanical work. Their volume standardized working capacity can be ten-times larger than that of an electromagnet. Due to their simple design, miniaturisation properties, and their ability to realize many automatic sensor and actuator functions, smart hydrogels offer new solutions in biomedical technology.

### 1 Einleitung

Smarte Hydrogele verfügen auf Grund ihrer vielfältigen integrierten Aktor-Sensor-Funktionen über ein großes Innovationspotential. Ihre breite technische Anwendung steht aber noch aus. Um diese zu erreichen, war es erforderlich, die besonderen physikalischen und stofflichen Eigenschaften dieser neuen Werkstoffe zu erkunden. Aufbauend auf der Analyse aktueller Forschungstrends sowie einer Untersuchung der aktorischen, sensorischen und mechanischen Eigenschaften spezieller Hydrogele gelang es, daraus abgeleitet grundlegende Richtlinien für deren Einsatz zu erarbeiten [1]. Am Beispiel ausgewähl-

ter biomedizinischer Baugruppen und Geräte werden die Möglichkeiten automatischer Funktionen gegenüber energetischen und stofflichen Prozessgrößen sowie der hervorragenden Miniaturisierbarkeit aufgezeigt.

### 2 Langzeitfördernde Medikamentenpumpe

Eine solche Pumpe (Bild 1) arbeitet hilfensenergiefrei und selbsttätig. Sie wurde insbesondere zur Langzeitförderung geringer Volumina entwickelt, z. B. für die Insulinversorgung von an Diabetes erkrankten Patienten, und stellt einen preiswerten Ersatz für aufwändige elektronische Injektions-Medikamentier-Systeme dar. Durch Ausnutzen bestimmter Effekte der Quellkinetik sowie einfache konstruktive Maßnahmen sind bestimmte Pumpenparameter einstellbar. Bei kontinuierlichem Betrieb lassen sich z. B. Startzeit und Förderrate festlegen, pulsatilem Betrieb ermöglicht zusätzlich das Abarbeiten vordefinierter Förderprogramme. Die Abgabekennlinie ist dabei durch eine entsprechende Übertragungsfunktion der Pumpe aus der Aktor-Grundfunktion realisierbar. Die Serienproduktion ist angelaufen.

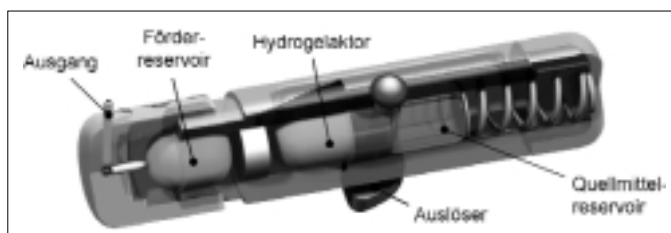


Bild 1. Langzeitfördernde Medikamentenpumpe mit Hydrogelantrieb und einstellbarer Abgabecharakteristik

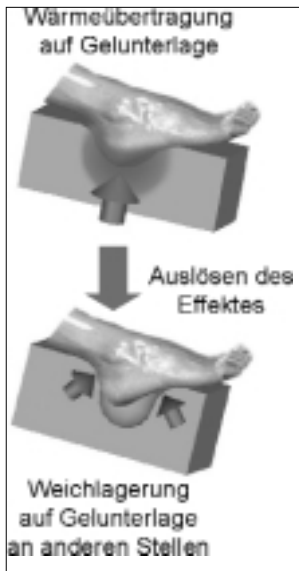


Bild 2. Unterlage zur Dekubitus-Prophylaxe und -Therapie auf Basis temperatursensitiver Hydrogele  
a) Funktionsweise; b) Prototyp einer Unterlage

### 3 Dekubitus-Bett

Zum Vermeiden eines Dekubitus bzw. des Wundliegens immobiler Patienten werden besondere Unterlagen benötigt, welche gewährleisten, dass die Blutzufuhr an den Auflagestellen des menschlichen Körpers immer oder zumindest in bestimmten Zeitabständen gewährleistet ist. Derzeitige prophylaktisch und therapeutisch wirksame Dekubitussysteme lagern die betroffenen Patienten elektronisch gesteuert um, sind aber sehr aufwendig und teuer. Eine zunächst im Labormaßstab neu entwickelte Unterlage nutzt die durch die Körpertemperatur induzierte Selbstoszillation einer Füllung aus temperatursensitivem Hydrogel aus (Bild 2). An den Auflagestellen kommt es zur Übertragung der Körpertemperatur an die Unterlage. Dadurch wird dort in regelmäßigen Abständen eine Volumenreduktion des Gels ausgelöst, die Stelle druckentlastet und die Durchblutung gefördert. Dies verkürzt die prophylaktisch notwendigen Pflegezeiten wegen der längeren Verweildauer des Patienten auf den gleichen Auflagestellen.

### 4 Taktiles Gel-Display

Taktile Displays wurden ursprünglich zur Kommunikation von sehbehinderten Menschen mit elektronischen Medien konzipiert. Ein physikalisch-auditiver Informationsaustausch ist aber auch besonders für Teleoperationen sowie zur Wechselwirkung mit virtuellen Welten wichtig. Nur durch ein taktiles Feedback kann beispielsweise ein Chirurg sein oft entscheidendes Fingerspitzengefühl auch am Bildschirm einsetzen. Taktile Displays wurden jedoch bisher mangels geeigneter Aktoren nicht in der geforderten Auflösung realisiert. Durch die Anordnung von als taktile Bildpixel dienenden Hydrogelaktoren in einem Array gelang es, die Grundlage für planar aufgebaute taktile Displays mit einer bislang unerreichten Auflösung zu erarbeiten (Bild 3). Es liegen Labormuster vor. Bei ihnen wird jeder Bildpunkt einzeln durch eine thermisch-elek-

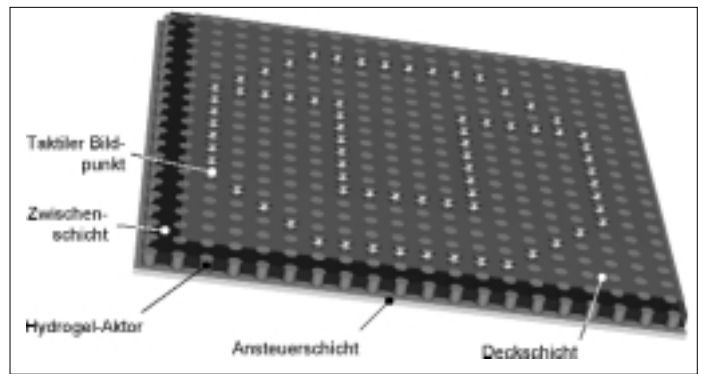


Bild 3. Gel-Display auf Basis eines Hydrogelaktors-Arrays

trische Schnittstelle gesteuert. Bei Beheizen liegt die Information „nicht fühlbar“, im nichtaktivierten Zustand die Information „fühlbar“ vor. Die Ausführung in Dickschichttechnologie genügt zum Darstellen grober Grafiken für Sehbehinderte. Dünnschichttechnologie ermöglicht geeignete Texturdarstellungen, insbesondere für Teleoperationen.

### 5 Mikroventil

Konventionelle, bisher verfügbare Mikroventile weisen unvermeidbare Leckflüsse auf, sind partikelintolerant und besitzen Grenzen bezüglich einer weitergehenden Verkleinerung. Im Rahmen der Entwicklung hochgradig miniaturisierbarer fluidischer Schaltelemente wurde deshalb ein elektrisch steuerbares Mikroventil mit direkt im Strömungskanal angeordneten Hydrogelaktoren mit Abmessungen von  $(100 \times 100 \times 50) \mu\text{m}^3$  aufgebaut und er-

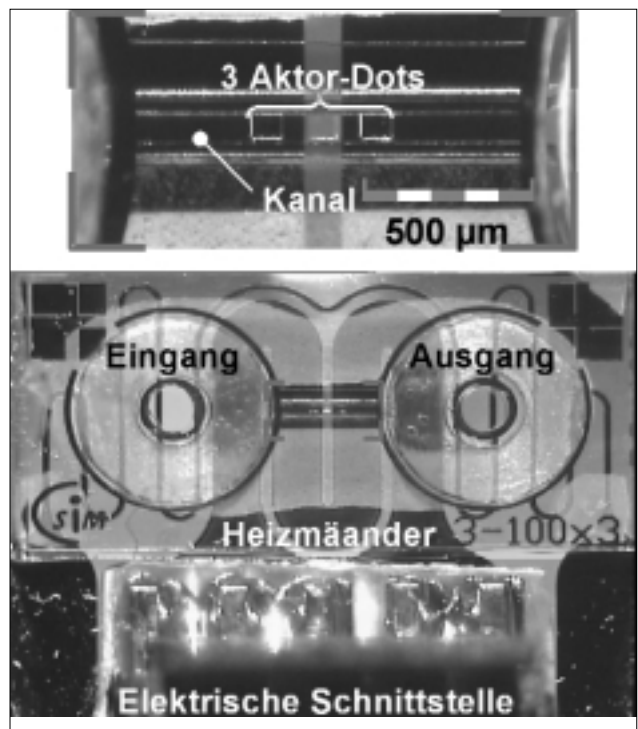


Bild 4. Elektrisch steuerbares Mikroventil

probt (Bild 4), dessen Kleinserienfertigung angelaufen ist. Es ist etwa 100 mal kleiner als die bislang bekannten. Die Steuerung der Aktoren erfolgt durch eine thermisch-elektrische Schnittstelle und bewirkt das Öffnen oder Schließen des durchströmbaren Querschnitts. Das Anwendungsfeld erstreckt sich auf Micro Total Analysis Systems ( $\mu$ TAS) bzw. Labs on a chip. Der Einsatz ist als Einzelventil (Shutt-off-Funktionen, mit sensitiven Hydrogelen kontinuierliche oder automatische Kontrolle kritischer Größen und Konstanthalten des Levels einer abhängigen Größe in definierten Grenzen), Bi- oder Multi-ventil (entsprechende logische Verknüpfungen ergeben Mixer, Sortierer und Komparatoren) sowie in Form aktiver Funktionselemente, wie z. B. Dispenser, Pumpen und Klemmen möglich. Die Serienproduktion ist angelaufen.

### Danksagung

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft danken wir für die Finanzierung des diesen Arbeiten zugrunde liegenden Projekts. Es ist eingeordnet in den Sonderfor-

schungsbereich (SFB) 287 „Reaktive Polymere in nicht-homogenen Systemen, in Schmelzen und an Grenzflächen“.

### Literatur

- [1] Richter, A.: Quellfähige Polymernetzwerke als Aktor-Sensor-Systeme für die Fluidtechnik. Diss. TU Dresden 2002.

Dr.-Ing. Andreas Richter  
Institut für Feinwerktechnik und Elektronik-Design  
Technische Universität Dresden  
01062 Dresden  
Tel. 0351/463 32025  
andreas.richter@ifte.de  
www.ifte.de