

# Klein, flexibel und individuell adressierbar

## ELEKTROGESPONNENE NANOFASERN ALS ENERGIEWANDLER

**Elektrogesponnene Nanofasern bieten viele Optionen für zukünftige Anwendungen in den Bereichen der Medizin und Sensorik. Gemeinsam forschen Wissenschaftler vom Institut für Anorganische Chemie, vom Institut für Mikroproduktionstechnik sowie von der Hochschule Hannover daran, diese mit bestimmten Eigenschaften versehenen Nanofasern herzustellen und zu nutzen.**

### Einführung

Wandlung von Energie ist seit jeher ein Schlüsselfaktor in technischen Innovationen und daher ein stark beforschtes Gebiet. Allerdings ist der Bereich der Energiekonversion auf der Nanoskala technisch noch weitestgehend unbearbeitet. Besonders kleine Energiewandler sind schaltbare, molekulare Eisenkomplexe, die ein riesiges Anwendungspotenzial durch eine Vielzahl von möglichen Input- und Output-Energieformen eröffnen. Ein Schaltvorgang kann zum Beispiel durch Temperatur- oder Lichteinfluss induziert werden und einen Wechsel vom nicht magnetischen in den magnetischen Zustand eines Eisenkomplexes verursachen, welches in der Computersprache den binären Bausteinen Null und Eins entspricht [1]. Infolge der Schalt- oder Wandlungsvorgänge auf molekularer Ebene kann in Zeiten steigender Nachfrage nach immer kleineren Strukturen, beispielsweise aus der Halbleitertechnik und den daraus resultierenden Fortschritten in der Mikro- und Nanotechnologie, ein neues Forschungsgebiet erschlossen werden. Elektrogesponnene mikro- und nanoskalige Polymerfasern bieten sich besonders als Trägermaterialien für diese aktiven Moleküle an. Ihr außerordentliches Eigenschaftsprofil zeigt neben einer hohen spezifischen Oberfläche,



che, welche die Energiedichte für die Anwendung optimiert, die Leitfähigkeit für optische oder elektrische Signale. Die transportierten Signale können direkt zum Anregen und/oder Auslesen der ein- oder eingebrachten Moleküle fungieren. Damit wird Energiekonversion auf molekularer Ebene technisch umsetzbar – und das mit einem Signalleiter, der

klein, flexibel und mit dessen Hilfe eine Gruppe von Molekülen individuell adressierbar ist. Anwendung kann diese vielversprechende Technologiesymbiose beispielsweise in der Medizin finden, wo sogenannte selbstregulierende Drug-Delivery-Systeme eingeschlossene Wirkstoffe durch ein Input-Signal freigeben könnten.

Abbildung 1  
Polymerfasern dienen als Lichtwellenleiter und gelten damit in der Kurzstrecken-Datenübertragung als echte Alternative zu Glasfasern.

### Was sind Polymere?

Der Begriff Polymer stammt aus dem griechischen und setzt sich aus den Worten poly (viel) und méros (Teil) zusammen. In der Chemie sind Polymere langkettige Moleküle, die sich aus immer gleichen Baueinheiten zusammensetzen, wie beispielsweise die menschliche DNS. Zu den klassischen technischen Polymerprodukten gehören unter anderem Kunststoffflaschen, die aus Polyethylen (PE) oder Polyethylenterephthalat (PET) bestehen oder das Polyvinylchlorid (PVC), welches als Fußbodenbelag, in Fensterprofilen oder für Schallplatten verwendet wird [2]. Polymerfasern finden ihren Einsatz in der Datenübertragung als Lichtwellenleiter (polymeric optical fiber – POF) (Abbildung 1). Insbesondere in der Kurzstrecken-Datenübertragung gelten diese als Alternative zu Glasfasern – den zurzeit bedeutsamsten Lichtwellenleiter. Erreicht der Durchmesser von Polymerfasern weniger als 500 Nanometer (nm), werden sie als Nanofasern bezeichnet.

### Ein Verfahren zur Herstellung von Nanofasern: das Electrospinning

Die Herstellung solcher Nanofasern erfolgt über den Prozess des Electrospinnings. Dabei befindet sich das Polymer in einer Lösung und wird mit konstanter Geschwindigkeit durch eine Spritze mit Kanüle geleitet. An der Kanüle ist eine Hochspannungsquelle angeschlossen, wodurch ein elektrisches Feld zwischen der Spritze und dem Kollektor erzeugt werden kann. Das Polymer kann dadurch elektrisch aufgeladen und von der entgegengesetzten Ladung am Kollektor angezogen werden. Durch den kontinuierlichen Strom aus Polymerlösung, der aus der Spritze austritt, ent-

steht am Ende der Kanüle ein Tropfen. Die Wechselwirkungen der Polymermoleküle untereinander sind entscheidend für die Ausbildung einer Faser. Sind die Wechselwirkungen zu schwach, bildet sich keine Faser und das Polymer landet verteilt als Spray auf dem Kollektor. Bei stärkeren Wechselwirkungen entsteht eine Faser, die einige Kilometer lang werden kann. Eine erweiterte Variante des Electrospinnings ist das Ko-

Gapspinning verwendet, indem der Kollektor aus zwei geerdeten Metallplatten mit einem Abstand von wenigen Zentimetern besteht. Eine weitere Option ist die Verwendung eines rotierenden Kollektors, der die Fasern aufwickelt (Abbildung 2).

Die mit Electrospinning hergestellten Fasern können in ihrem Durchmesser von einigen hundert Nanometern bis zu einigen Mikrometern variieren

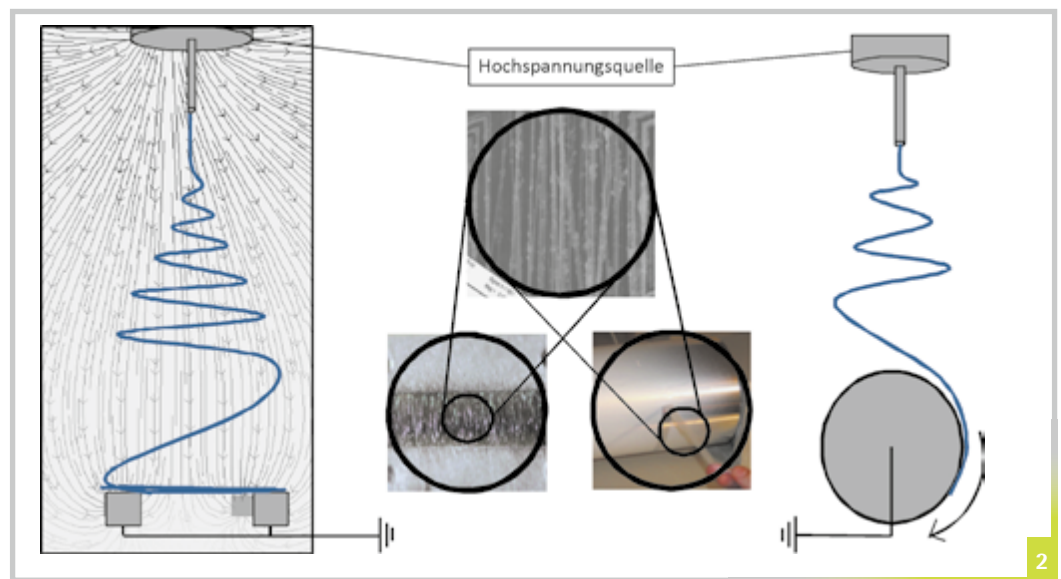


Abbildung 2  
Prozess des Electrospinnings mit statischem (links) und rotierendem Kollektor (rechts).

axialspinning, indem unterschiedliche Polymere in einer Kern/Schale-Struktur versponnen werden. Dazu befindet sich eine Kanüle im Zentrum der anderen und das dort austretende Polymer bildet später den Strukturkern, während das äußere die Schale bildet. Vorteil dieses Verfahrens ist die Verknüpfung unterschiedlicher Eigenschaften einzelner Polymere.

Eine Möglichkeit, Einfluss auf die Faserorientierung beim Electrospinning zu nehmen, ist die Variation des Kollektors. Bei einem statischen Kollektor »legen« sich die Fasern ohne Orientierung auf der Oberfläche ab und bilden ein Vlies. Für eine gerichtete Orientierung der Fasern wird das

(Abbildung 3A) und somit etwa zwei Größenordnungen kleiner als ein menschliches Haar sein (Abbildung 3B). Es ist sowohl möglich, Partikel in die Fäden einzubringen, als auch poröse Fasern mit einer sehr großen Oberfläche herzustellen (Abbildung 3C). Damit wird die im Vergleich zu makroskopischen Fasern erstaunlich große Oberfläche für viele Anwendungsfelder noch interessanter.

### Anwendungsgebiete für Nanofasern

Funktionalisierte elektrospinnene Nanofasern mit integrierten schaltbaren Molekülen eröffnen neue vielversprechende Applikationen.

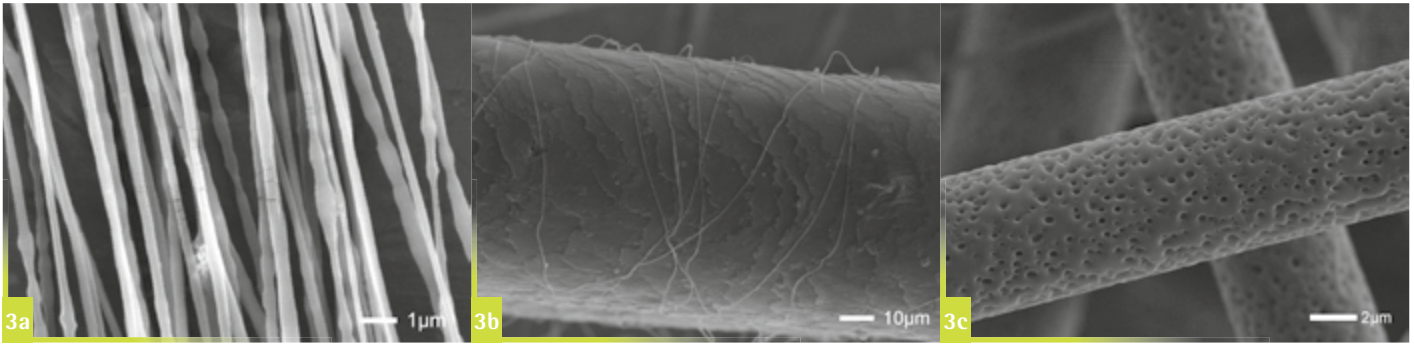


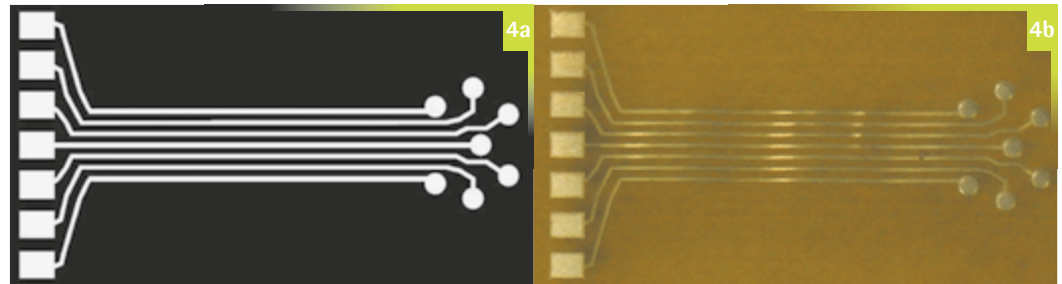
Abbildung 3  
 A. Orientierte Nanofasern mit einem Durchmesser von weniger als 500 nm. B. Nanofasern auf einem menschlichen Haar (40 – 120 µm). C. Poröse Nanofasern haben eine sehr große spezifische Oberfläche.

Darunter befinden sich beispielsweise selbstregulierende Drug-Delivery-Systeme, die unter anderem durch Temperaturänderungen oder Veränderungen im chemischen Umfeld gesteuert werden können. Die Entwicklung neuer Arzneimittel ist teuer und zeitaufwendig,

Ein weiteres großes Anwendungsfeld ist der Bereich der Sensorik, in der die integrierten Moleküle in den Fasern durch Licht-, Druck- oder Temperatureinflüsse geschaltet werden können und somit ein Inputsignal in ein optisches oder magnetisches Outputsignal konvertieren. Da ein sol-

gezielt ablegen zu können. Das gerichtete Ablegen der gesponnen Nanofasern ermöglicht eine Überprüfung der Funktionalität, die durch das integrierte Molekül erzielt wird. Am Institut für Mikroproduktionstechnik (IMPT) werden seit längerem Polyimidfolien verwendet, um Elektrodenstruk-

Abbildung 4  
 A. Geometrie auf der Photomaske (Verwendung mit Positivresist); B. Nass-chemisch geätztes Leiterbild.



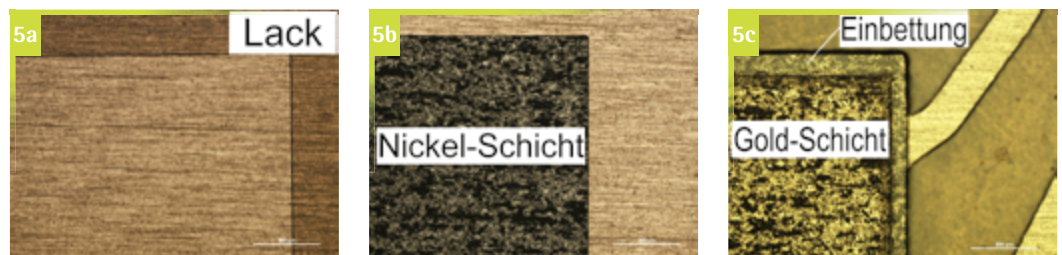
weshalb die Optimierung der Wirksamkeit sicherer und bereits erforschter Medikamente Gegenstand heutiger Forschungsaktivitäten ist. Dabei wird das Freisetzen von Wirkstoffen mit einer kontrollierbaren, langsamen und gezielten Freisetzungsrate angestrebt [3]. Über unterschiedliche Redoxpotenziale erscheint eine solche Freisetzung bestimmter Moleküle mit Hilfe von funktionalisierten Nanofasern möglich.

cher Vorgang reversibel ist, kann dieser beliebig oft wiederholt werden. Vorteil solcher sensorischer Systeme ist deren sehr sensibles Ansprechverhalten und somit können diese beispielsweise Anwendung in haptischen Displays finden.

Damit die modifizierten Nanofasern erprobt und angewendet werden können, wird ein mikrotechnischer Aufbau benötigt, der es erlaubt, mittels Electrospinning die Fasern

turen herzustellen. Bei diesem Verfahren wird die Kupferkaskierung auf der Polyimidfolie mit einem photosensitiven Lack versehen. Durch eine Belichtungsmaske können anschließend die Geometrien in den Lack übertragen werden. Als Belichtungsquelle dient hierbei eine UV-Quelle, die paralleles Licht aussendet. In Abbildung 4A ist die Geometrie auf der Photomaske dargestellt. Die schwarzen Bereiche sind dabei auf der Maske

Abbildung 5  
 A. Form mittels Positivresist; B. galvanisch abgeschiedene Nickel-Schicht; C. abgeschiedene Gold-Schicht auf Kontaktstelle.





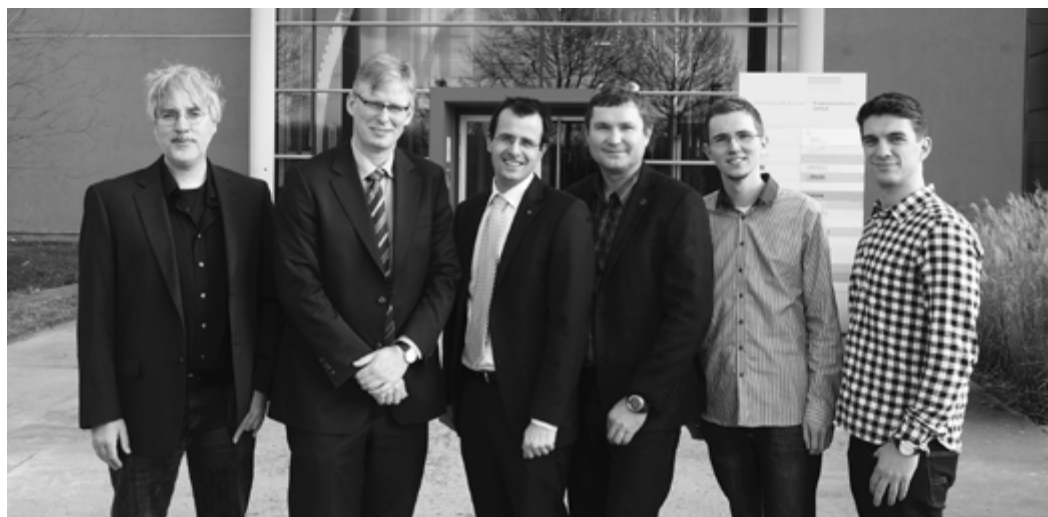
transparent, wodurch dieser Bereich belichtet wird. Bei der Verwendung von positiven Lacken entstehen somit an diesen Stellen Freiräume, die entweder galvanisch beschichtet oder alternativ einem Ätzangriff ausgesetzt werden können.

In dem hier gezeigten Fall wurde die Maske zur Abdeckung der Leiterzüge und Kontaktflächen verwendet. Damit wurde das kupferkaschierte Polyimid strukturiert und das nicht erforderliche Kupfer durch einen nasschemischen Ätzprozess entfernt. Die entstandene Struktur ist in Abbildung 4B gezeigt.

Für die zuverlässige Kontaktierung eines solchen Systems ist das Aufbringen von Nickel- und Goldschichten auf den späteren Kontaktstellen erforderlich. Dies dient der Sicherstellung der Anbindungsmöglichkeit. Dabei wirkt die Goldschicht als Anti-Oxidationsschicht, damit das System auch nach einer längeren Lagerung noch elektrisch kontaktiert werden kann. Die Form, die mittels Positivlack hergestellt wurde, sowie die galvanische Abscheidung der Nickel-Schicht sind in Abbildung 5 dargestellt. In einem letzten Schritt erfolgen das Aufbringen der Gold-Schicht und die Einbettung der Elektroden mit Polyimid (Abbildung 5C).

### Fazit und Ausblick

Durch Electrospinning ist es möglich, Nanofasern mit bestimmten Eigenschaften herzustellen und dabei gezielt auf Oberflächengröße zu nehmen und die Integration von magnetischen Molekülen zu beeinflussen. Funktionalisierte, elektrogenespinnene Nanofasern bieten damit viele Optionen für zukünftige Anwendungen in den Bereichen der Medizin und Sensorik. Durch



#### Prof. Dr. Ralf Sindelar

Jahrgang 1963, lehrt seit 2007 an der Hochschule Hannover an der Fakultät für Maschinenbau und Bioverfahrenstechnik und ist Fachgebietsleiter Werkstoffkunde. Seine Forschungsschwerpunkte sind biokompatible Materialien und Electrospinning. Kontakt: [ralf.sindelar@hs-hannover.de](mailto:ralf.sindelar@hs-hannover.de)

#### Prof. Dr.-Ing. Lutz Rissing

Jahrgang 1966, ist seit 2010 Leiter des Instituts für Mikroproduktionstechnik der Leibniz Universität Hannover. Seine Forschungsschwerpunkte sind angesiedelt im Bereich innovativer Produktionstechniken zur Fertigung von Mikrosystemen. Kontakt: [rissing@impt.uni-hannover.de](mailto:rissing@impt.uni-hannover.de)

#### Dr.-Ing. Marc Christopher Wurz

Jahrgang 1974, ist seit 2005 Oberingenieur am Institut für Mikroproduktionstechnik der Leibniz Universität Hannover. Die Forschungsthemen umfassen die magnetischen Datenspeicherung, energieautarke Systeme und Systemintegration durch innovative Verbindungstechniken. Kontakt: [wurz@impt.uni-hannover.de](mailto:wurz@impt.uni-hannover.de)

#### Prof. Dr. Franz Renz

Jahrgang 1968, lehrt seit 2008 am Institut für Anorganische Chemie der Leibniz Universität Hannover. Mitglied der NASA MER Mission. Seine Forschungsschwerpunkte sind Koordinationschemie, multistabile Zustandsänderungen und die Mößbauer-Spektroskopie. Kontakt: [franz.renz@acd.uni-hannover.de](mailto:franz.renz@acd.uni-hannover.de)

#### M. Sc. Bastian Dreyer

Jahrgang 1988, promoviert seit 2013 am Institut für Anorganische Chemie der Leibniz Universität Hannover. Seine Forschungsschwerpunkte sind piezoelektrische Materialien für Dentalimplantate und Electrospinning. Kontakt: [bastian.dreyer@acd.uni-hannover.de](mailto:bastian.dreyer@acd.uni-hannover.de)

#### M. Sc. Christoph Krüger

Jahrgang 1987, promoviert seit 2012 am Institut für Anorganische Chemie der Leibniz Universität Hannover. Seine Forschungsschwerpunkte sind mononukleare Eisenkoordinationsverbindungen mit schaltbaren magnetischen Eigenschaften. Kontakt: [christoph.krueger@acd.uni-hannover.de](mailto:christoph.krueger@acd.uni-hannover.de)

den Einsatz von Mikroproduktionstechnik lassen sich die Fasern geordnet auf Kontakten ablegen und später kontaktieren. In Zusammenarbeit mit dem Zentrum für Festkörper und neue Materialien (ZFM), der Hochschule Hannover (HSH) und dem Institut für Mikroproduktionstechnik (IMPT) werden solche Anwendungen zukünftig weiter verfolgt.

### Literatur

- [1] F. Renz, M. Klein, S. Jung, P. Homenya, R. Saadat, D. Nariaki, Unimagazin 2011, 1/2, 24–27.
- [2] A. Göthlich, S. Koltzenburg, G. Schornick, Chem. Unserer Zeit 2005, 39, 262–273.
- [3] A. Grobe, C. Schneider, M. Rekić, V. Schetula, Nanomedizin – Chancen und Risiken 2008.