

## Smart Interfaces – Ein Exzellenz-Cluster an der TU Darmstadt

- 4** ► Die Forschung des Clusters befasst sich mit Grenzflächen, bei denen Fluide mit einer festen Wand wechselwirken. Wie diese Grenzflächen „intelligent“ gemacht werden, wird am Center of Smart Interfaces untersucht.

Von Cameron Tropea

## Grenzflächen auf molekularer Ebene

- 8** ► Molekulardynamik-Simulationen tragen zu einem besseren Verständnis der molekularen Vorgänge und der Vorhersage der Struktur und Dynamik an Grenzflächen bei.

Von Nico van der Vegt und Florian Müller-Plathe

## Nanofasern – was schnelle Computer und Krebsmedizin verbindet

- 14** ► Die Technologie des Elektrosplennens erlaubt die Herstellung ultradünner Fasern, welche ein äußerst vielseitiges Basismaterial zur Entwicklung funktionaler Oberflächen bieten.

Von Alexander L. Yarin, Tatiana Gambaryan-Roisma und Clarissa Steffes



## Funktionale Oberflächen – mikroskopische Tausendsassas

- 18** ► Die Relevanz funktionaler Oberflächen im Bereich der Fertigung ist enorm. Ihre Wirkung zu Gunsten von Prozessoptimierungen, aber auch bereits ihre Erzeugung beschäftigt das Center of Smart Interfaces an der TU Darmstadt.

Von Eberhard Abele, Benjamin Fröhlich, Peter Groche und Cécile Müller

## Smart Interfaces – Superhydrophobe Oberflächen

- 24** ► Durch superhydrophobe Beschichtung perlt Wasser von Oberflächen ab und nimmt den darauf abgelagerten Schmutz mit. Dieses besondere Kontakt- und Strömungsverhalten eröffnet Beschichtungen mit revolutionären Eigenschaften.

Von Ilia Roisman, Andreas Lembach, Doris Vollmer und Hans-Jürgen Butt

## Wasser– Energiequelle der Zukunft?

- 28** ► Die Erzeugung von Wasserstoff durch direkte photoelektrochemische Umwandlung von Sonnenlicht stellt einen eleganten Weg dar Sonnenenergie zu speichern. Die Optimierung solcher Systeme wird zur Zeit intensiv untersucht.

Von Bernhard Kaiser, Benoit Gobaut und Wolfram Jaegermann



## Wärmeübertragung – Vom Frühstücksei zur Chipkühlung

- 34** ► Blasensieden ist eine effiziente Form der Wärmeübertragung – vom Haushalt bis zur Raumfahrt, vom Mikrochip bis zum Kraftwerk. Grundlagen hierzu werden am Fachgebiet TTD erforscht.

Von Peter Stephan, Steffen Hardt, Christian Kunkelmann, Nils Schweizer und Axel Sielaff

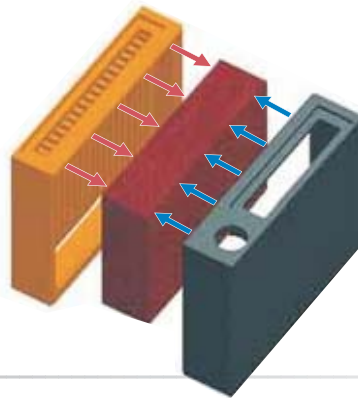
---

42

### Akku leer – bald nicht mehr?!

Die Entwicklung einer umweltfreundlichen und leistungsfähigen Alternative zur Batterie.

Von Thomas Kania, Boris Schilder, Peter Stephan, Steffen Hardt und Andreas Dreizler



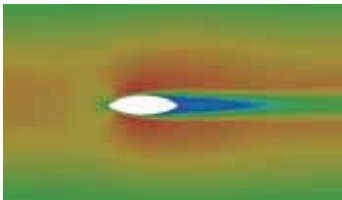
---

### Laserspektroskopie zur Untersuchung von Grenzschichten

48

Für ein besseres Verständnis von Austauschprozessen zwischen Gasen und umgebenden Wänden werden laserspektroskopische Messmethoden genutzt. Licht dient somit als störungsfreies hochpräzises Messwerkzeug.

Von Andreas Dreizler und Jan Brübach



54

### Mathematik macht Interfaces smarter

Im Fachbereich Mathematik der TU Darmstadt wird intensiv an Modellen aus dem Bereich der Strömungsmechanik geforscht. Der Artikel stellt einige der Aktivitäten vor, die mit dem Center of Smart Interfaces verknüpft sind.

Von Dieter Bothe, Reinhard Farwig, Matthias Hieber und Stefan Ulbrich

---

### Turbulenzen unter Kontrolle bringen

58

Wirbel, die in turbulenten Strömungen auftreten, führen zu signifikanten Energieverlusten. Durch gezielte Kontrolle der Turbulenzen können Energieersparnisse erzielt werden.

Von Bettina Frohnafel und Jovan Jovanović

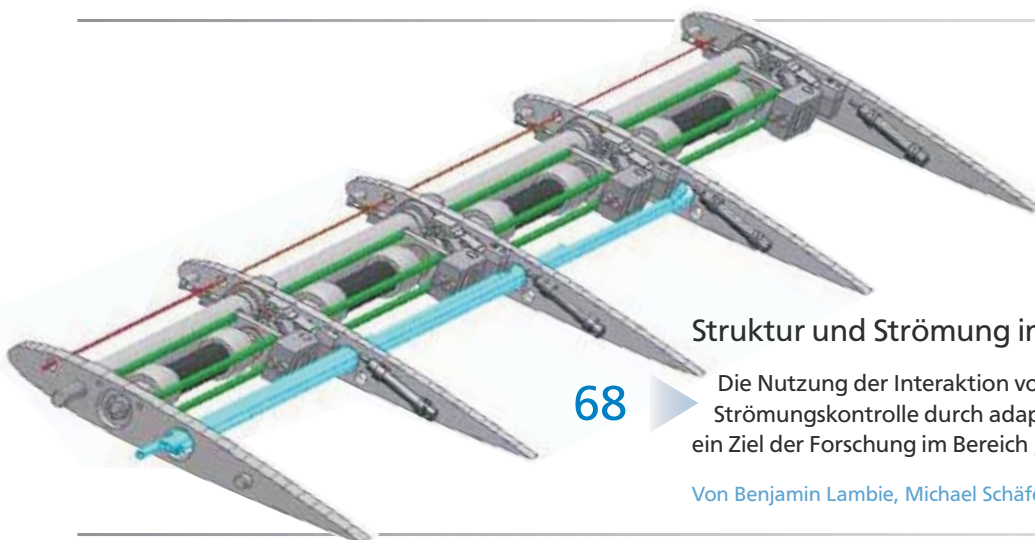
---

### Plasma zur Strömungskontrolle

64

Zur Beeinflussung von Strömungen werden am CSI, Drag and Circulation Control, „hochspannende“ Plasma-Aktuatoren verwendet und deren Einfluss auf Widerstand und Auftrieb untersucht.

Von Sven Grundmann, Alexander Duchmann, Katrin Barckmann und Armin Kurz



68

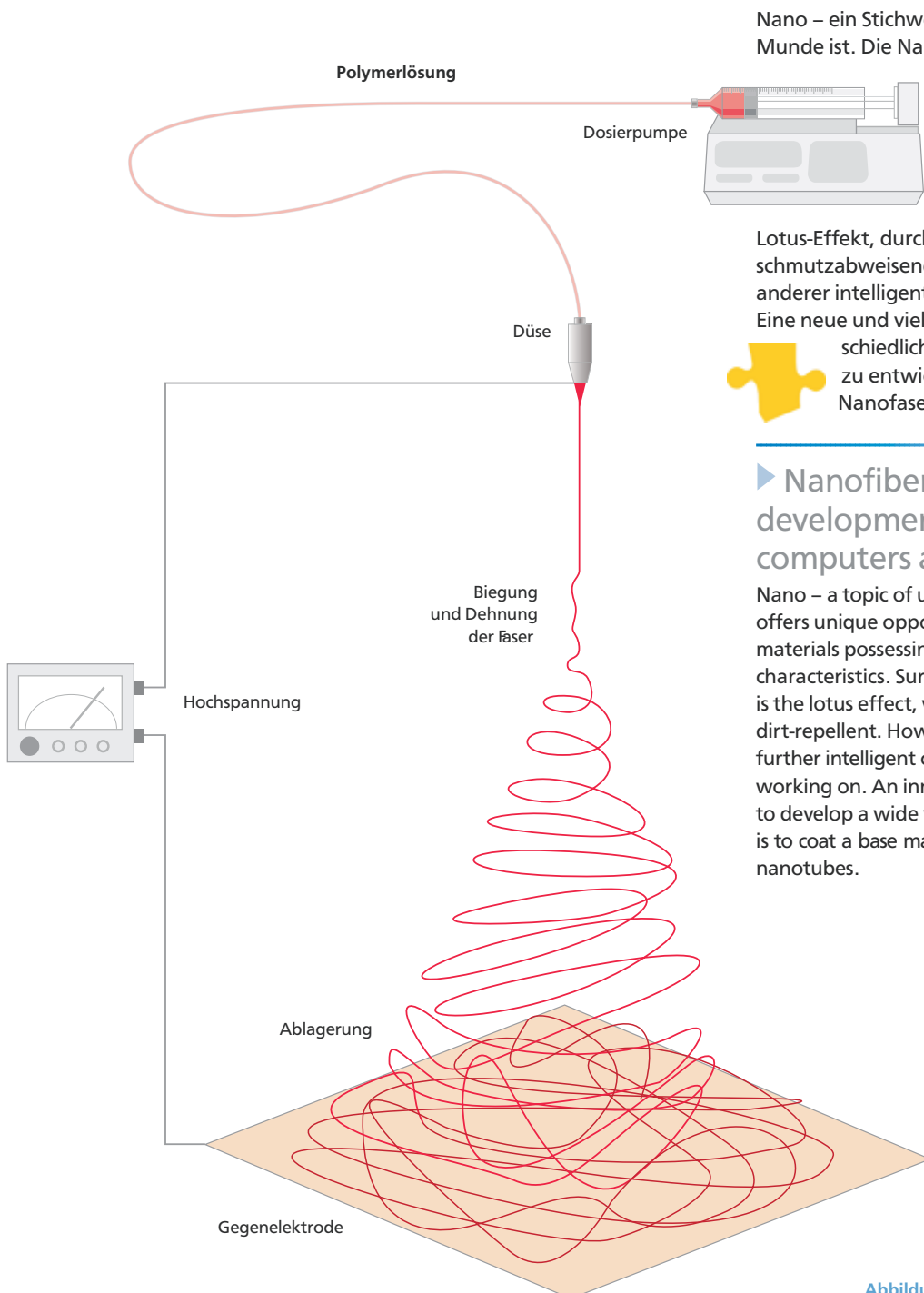
### Struktur und Strömung im Wechselspiel

Die Nutzung der Interaktion von Struktur und Strömung zur Strömungskontrolle durch adaptive Steifigkeitsänderungen ist ein Ziel der Forschung im Bereich „Drag and Circulation Control“.

Von Benjamin Lambie, Michael Schäfer, Thilo Bein und Holger Hanselka

---

# Nanofasern – was schnelle Computer und Krebsmedizin verbindet



Nano – ein Stichwort, das heutzutage in aller Munde ist. Die Nanotechnologie bietet einmalige

Möglichkeiten, Materialien mit ganz besonderen Oberflächen zu entwickeln und diesen vorteilhafte Eigenschaften zu verleihen. Das bekannteste Beispiel ist sicherlich der

Lotus-Effekt, durch welchen eine Oberfläche schmutzabweisend wird. Aber auch eine Vielzahl anderer intelligenter Fähigkeiten ist denkbar.

Eine neue und viel versprechende Methode, unterschiedlichste Oberflächeneigenschaften zu entwickeln, ist die Beschichtung mit Nanofasern und Karbon-Nanoröhrchen.



## ► Nanofibers: relating the development of faster computers and cancer treatment

Nano – a topic of universal interest. Nanotechnology offers unique opportunities to develop new materials possessing outstanding surface characteristics. Surely, the best-known example is the lotus effect, which makes a surface dirt-repellent. However, there is a multitude of further intelligent characteristics researchers are working on. An innovative and promising method to develop a wide variety of such surface properties is to coat a base material with nanofibers or carbon nanotubes.

**Abbildung 1**  
Das Prinzip des Elektrospinsens.

### Nano

Die Vorsilbe nano leitet sich vom griechischen Wort für „Zwerg“ ab. In Mathematik und Technik bedeutet sie „ein milliardstel“. Die Nanotechnologie beschäftigt sich mit Objekten, die einige Nanometer groß sind, also etwas mehr als 0,000 000 001m.

**Alexander L. Yarin / Tatiana Gambaryan-Roisman / Clarissa Steffes** • Nanofasern sind sehr feine Fäden aus Kunststoffen. In ihren Eigenschaften sind sie wahre Multitalente. Sie können nicht nur Flüssigkeiten aufsaugen und wieder abgeben, sondern auch für eine gute Kühlung der mit ihnen beschichteten Oberflächen sorgen. Diese unterschiedlichen Fähigkeiten machen sie zu einem interessanten Material, welches in den verschiedensten Anwendungsbereichen eingesetzt werden kann, beispielsweise in der Computerindustrie oder in der Bekämpfung von Krebs.

### Elektrospinnen

Hergestellt werden Nanofasern wie auch Karbon-Nanoröhrchen durch Elektrospinnen (siehe Abbildung 1). Das Basismaterial ist eine Lösung von Kunststoffen, in der Fachsprache auch Polymere genannt. Diese Polymerlösung wird dosiert einer Düse zugeführt. Zwischen der Düse und dem zu beschichtenden Gegenstand wird eine Hochspannung angelegt, so dass durch das elektrische Feld ein dünner Faden aus der Düse heraus- und zur Gegenseite hingezogen wird. Auf dem Weg beginnt der Faden sich zu verwirbeln, zunächst spiralförmig und später immer chaotischer. Dadurch wird er weit gedehnt und somit immer dünner, weniger als ein tausendstel Millimeter dünn. Schließlich lagern sich die Fasern völlig ungeordnet auf dem zu beschichtenden Gegenstand ab und bilden mit der Zeit eine Matte, welche umso dicker wird, je länger der Prozess andauert. Durch die Ablagerung der Fasern übereinander wird aber auch viel Luft in den Zwischenräumen eingeschlossen. Tatsächlich bestehen die Matten nur zu 10 Prozent aus Polymer und zu 90 Prozent aus Luft.

Durch die Verwendung von speziellen, ringförmigen Düsen können auch zwei verschiedene Polymerlösungen zusammen versponnen werden. Beim so genannten Ko-Elektrospinnen bildet eine Polymerart den Kern der Faser, während die andere wie eine Hülle um den Kern herumliegt. Durch spezielle Verfahren kann der Kern entfernt werden, so dass nur noch die Hülle als extrem dünnes, aber langes Röhrchen zurückbleibt. Mithilfe des Elektrospinnens können somit praktisch beliebige Bauteile mit Nanofasermatten beschichtet werden.

### Schnellere Computer

Die Weiterentwicklung und Beschleunigung vieler elektronischer Komponenten wird im Moment dadurch gebremst, dass die Wärme, die diese Komponenten im Betrieb verursachen, nicht schnell genug abgeführt werden kann. Damit die Geräte nicht zu heiß werden, müssen folglich bessere Kühlstrategien gefunden werden. Eine besonders vielversprechende Strategie ist die Sprühkühlung, also das Besprühen der zu kühlenden Oberfläche mit Wasser, welches dabei verdampft. Im Idealfall verdampft jeder einzelne Tropfen möglichst schnell nach dem Auftreffen auf der Oberfläche. In der Praxis treten aber einige unerwünschte Effekte auf, so kann der Tropfen beispielsweise wie ein Gummiball von der Oberfläche zurückhüpfen. Dabei berührt er die Oberfläche nur kurz und kann sie demnach kaum kühlen. Bei einem weiteren Effekt, dem Leidenfrost-Effekt, berührt der Tropfen zwar zunächst die Oberfläche und verdampft dabei an der Unterseite, infolgedessen bildet sich aber eine Schicht aus Wasserdampf zwischen dem Tropfen und der Oberfläche. Im allgemeinen steigt dieser Wasserdampf allerdings nicht auf, so dass der Tropfen auf einem Kissen aus Wasserdampf schwimmt, welches wie eine Isolierung wirkt und ihn nicht an die Oberfläche heranlässt.

#### • Micro/Nanoscale Fluid Transport Laboratory

University of Illinois at Chicago  
Prof. A. Yarin,  
Tel.: 001-312 996 3472  
ayarin@uic.edu  
[www.uic.edu/labs/MNFTL/](http://www.uic.edu/labs/MNFTL/)

#### • Fachgebiet für Technische Thermodynamik

Priv.-Doz. Dr.-Ing. habil. Tatiana Gambaryan-Roisman,  
Tel.: 06151/16-70361  
gtatiana@ttd.tu-darmstadt.de  
[www.ttd.tu-darmstadt.de/](http://www.ttd.tu-darmstadt.de/)

#### • Center of Smart Interfaces

Dipl.-Ing. Clarissa Steffes,  
Tel.: 06151/16-6606  
steffes@csi.tu-darmstadt.de  
[www.csi.tu-darmstadt.de/](http://www.csi.tu-darmstadt.de/)

Mit einer Beschichtung aus Nanofasern lassen sich diese unerwünschten Effekte allerdings nahezu völlig vermeiden. Ein auftreffender Tropfen wird sofort von der Matte eingezogen, so dass er nicht mehr abprallen kann. Aus demselben Grund kann sich auch keine Wasserdampfschicht zwischen der Oberfläche und einem Tropfen bilden. Das Wasser hat immer guten Kontakt zum zu kühlenden Bauteil und verdampft auf diese Weise sehr viel schneller. Darüber hinaus bewirken die Fasern sogar eine enorme Steigerung der Kühleffizienz. In all den Zwischenräumen, in welchen vorher Luft eingeschlossen war, wird nun Wasser hineingezogen. Ähnlich wie in einem Blatt Löschpapier wird die

Feuchtigkeit eines einzelnen Tropfens dabei weit nach außen transportiert. Mit einem einzigen Tropfen kann so eine bemerkenswert große Fläche gekühlt werden, was wiederum ein Grund dafür ist, dass ein Tropfen sehr viel schneller und effektiver verdampft. Mit einer Nanofaser-Beschichtung ist die Kühlleistung somit nicht nur höher, sondern sie wirkt auch über einen größeren Bereich als bei einem Bauteil ohne Beschichtung.

### Krebsmedizin

Neben ihren Eigenschaften, die Kühlung, also den Wärmetransport, zu verbessern, können Nanofasern auch zum Massentransport genutzt werden. Massentransport heißt hier, kleine Flüssigkeitsmengen von einem Ort zu einem anderen zu bewegen und erst dort kontrolliert wieder freizugeben. Genau diese Eigenschaft ist bei der Verabreichung von Krebsmedikamenten gefragt. Solche Medikamente sind sehr aggressiv, sie zerstören jegliche Zellen, auf die sie treffen, egal ob krank oder gesund. Daher ist man natürlich bestrebt, diese Medikamente nur auf krankes Gewebe zu applizieren, ohne auf dem Weg dorthin zu vielen anderen Zellen zu schaden.

### Große Wirkung von kleinsten Strukturen

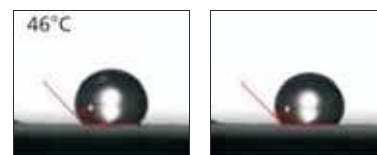
In der Nanotechnologie spielen oft winzige Änderungen in den chemischen Verbindungen eine Rolle. Diese Änderungen können z.B. durch Variation der Temperatur oder des pH-Werts, der ein Maß für die Säurehaltigkeit einer Flüssigkeit darstellt, hervorgerufen werden. Nach außen hin kann dies wiederum eine völlige Wandlung der erfahrbaren Eigenschaften bewirken. So nimmt eine PNIPAM-Nanofasermatte bei Raumtemperatur einen Wassertropfen innerhalb von ca. 50 Sekunden auf. Bei etwa 32°C ändert sich ihr Verhalten schlagartig. Wird die Matte beispielsweise auf 46°C erhitzt, sitzt der Tropfen auch nach 3 Minuten noch fast unverändert auf der Oberfläche (Abbildung 2).

Abbildung 2

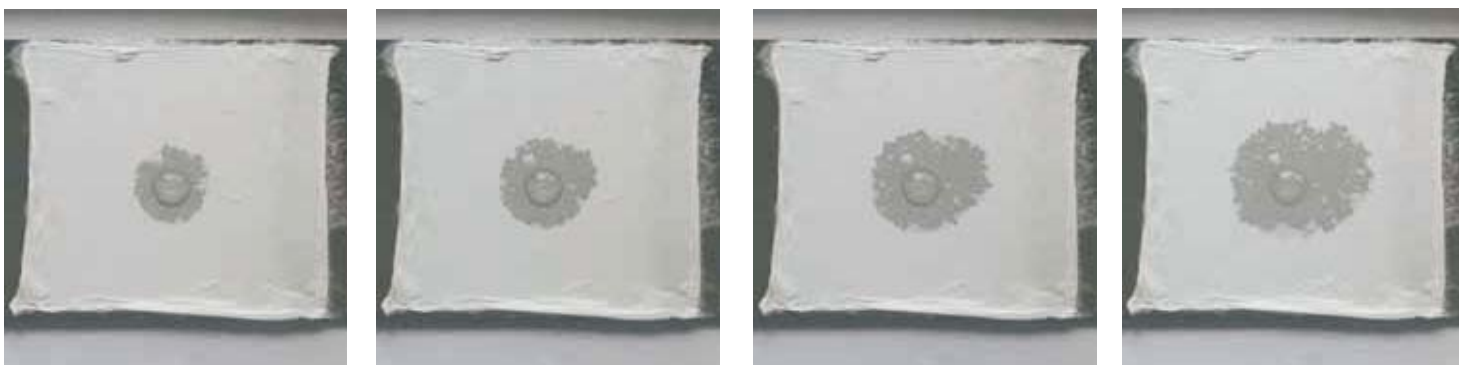
Änderung der Eigenschaften einer PNIPAM-Nanofasermatte.



Zeitspanne: 20°C: 50 Sekunden.



46°C: 3 Minuten

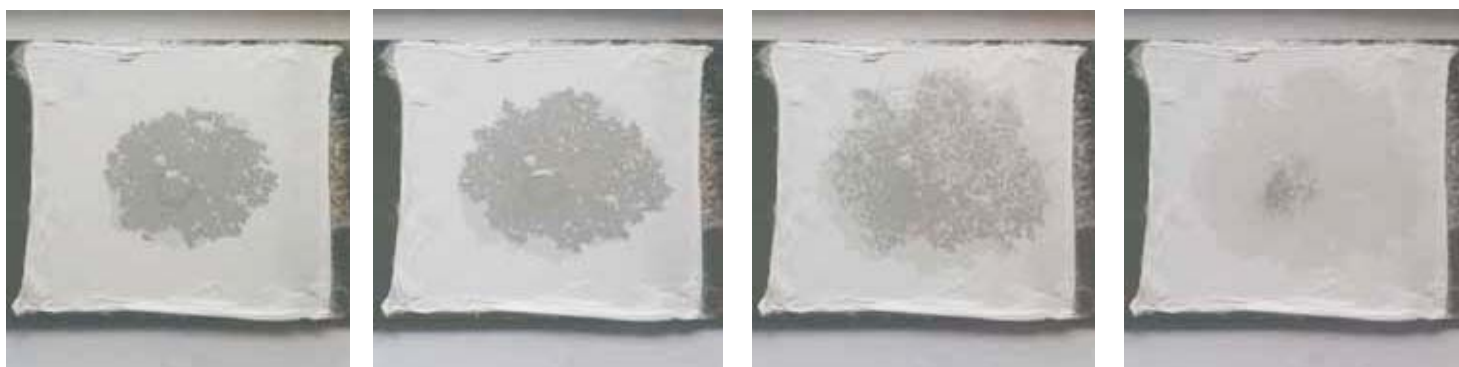


Hierfür bieten Nanofasermatten eine exzellente Grundlage. In ihren vielen Hohlräumen können sie genügend flüssige Medikamente aufnehmen und diese auch innerhalb des Körpers unter Verschluss halten, so dass keine unnötige Zerstörung von gesundem Gewebe auftritt. Für die kontrollierte Abgabe des Medikamentes an der geforderten Stelle kann auf einen Trick zurückgegriffen werden. Werden beim Elektrospleinprozess bestimmte Polymere, wie z.B. das so genannte PNIPAM zugegeben, so werden der Faseratte besondere Eigenschaften verliehen. Unterhalb eines gewissen Temperaturpunktes verhält sich die Matte hydrophil, zu Deutsch Wasser liebend. Sie saugt folglich jegliche Flüssigkeit innerhalb von kurzer Zeit auf. Oberhalb dieser Temperatur kehrt sich ihr Verhalten ins hydrophobe, also Wasser hassende, um. Es wird nun keine Flüssigkeit mehr aufgenommen bzw. bereits aufgenommene Flüssigkeit wird aus der Matte ausgestoßen. Genau dies würde auch bei Tumoren geschehen. Krankes Gewebe unterscheidet sich von gesundem unter anderem durch eine erhöhte Temperatur. Auf diese Weise würden die Medikamente tatsächlich nur dorthin gelangen, wo sie ihre Wirkung entfalten sollen.

Eine Weiterentwicklung dieses Ansatzes ist das Befüllen von Karbon-Nanoröhrchen mit Medikamenten. Anschließend werden diese an den Enden mit einem PNIPAM-haltigen Stoff verschlossen. In den Röhrchen ist die Medizin noch besser verpackt und wird nach dem gleichen Prinzip wie dem der Faser-matten wieder freigegeben.

Obwohl aus denselben Stoffen mit demselben Verfahren hergestellt, können Nanofasermatten somit in völlig unterschiedlichen Bereichen eingesetzt werden. Sie sind vielseitige Verwandlungskünstler und bieten ein großes Potential zur Weiterentwicklung. Eine solche Vielfalt der Anwendungsbereiche ist ein typisches Beispiel für die Nanotechnologie und damit sicherlich auch ein Grund, warum ihre Bedeutung für viele Leute sehr viel schwerer zu fassen ist als z.B. die der Automobiltechnologie. Zu optimierende Oberflächen finden sich überall im Alltag, weshalb wir solchen Technologien sicherlich noch oft, wahrscheinlich meistens unbewusst, begegnen werden.

**Abbildung 3**  
Ein einzelner Wassertropfen wird von einer Nanofaser-beschichtung aufgesogen und verdampft innerhalb kurzer Zeit.



**Alexander L. Yarin** ist Professor an der University of Illinois at Chicago und Fellow am Center of Smart Interfaces in Darmstadt. Elektrosplein ist seit vielen Jahren Bestandteil seiner Forschungen.



**Tatiana Gambaryan-Roisman** leitet eine Emmy-Noether-Forschungsgruppe, welche am Fachgebiet Thermodynamik des Fachbereichs Maschinenbau angesiedelt ist, und ist als Principle Investigator am CSI beteiligt.



**Clarissa Steffes** ist Doktorandin am Center of Smart Interfaces und beschäftigt sich mit Wärmetransport und Strömungen durch poröse Medien.