



Zellulose hat ein grosses Potenzial. Empa-Forscher Dr. Tanja Zimmermann und Dr. Gustav Nyström zeigen aus Zellulose hergestellte Materialien.

Zellulose als Wundermittel der Natur

In jedem Baum und in jeder Pflanze steckt Zellulose. Diese ist nicht nur verantwortlich, dass schlanke Bäume aufrecht stehen können, denn in diesem Baustein steckt noch viel mehr. Angedacht sind umweltfreundliche Verpackungen, Papierbatterien, ölabsorbierende Schäume, 3D-gedruckte Materialien für biomedizinische Anwendungen sowie in der Medizin eingesetzte elektrisch leitende Sensoren, bei welchen das Trägermaterial aus Zellulose besteht. In der Zelluloseforschung gehört die Empa Dübendorf weltweit zu den führenden Arbeitsgruppen. Dr. Tanja Zimmermann, Departementsleiterin «Functional Materials» und Dr. Gustav Nyström, Abteilungsleiter «Cellulose & Wood Materials», geben einen Einblick in die aktuelle Forschung.

Von Martin Binkert

Seit einigen Jahren ist beim Werkstoff Holz ein richtiges Revival auszumachen. Denn nicht nur bei Innenausbauten, auch bei Wohngebäuden wird Holz vermehrt eingesetzt.

Doch die Forschung geht noch viel weiter. Verschiedene Forschungsinstitute rund um den Globus nehmen sich der Zellulose an, dem Grundbaustein aller pflanzlichen Fasern. Dr. Tanja Zimmermann und Dr. Gustav Nyström von der Empa Dübendorf bringen deren Potenzial auf den Punkt. Sie sprechen unumwunden vom «Wundermittel der Natur».

Herr Nyström, Sie sind an der Basis der Forschung. Was kann man von dieser erwarten?

Gustav Nyström: Zellulose ist ein fantastisches Material mit vielen möglichen Anwendungen. Da Zellulose ein natürliches Produkt ist, ist es auch nachhaltig. Wir sehen Möglichkeiten in verschiedenen Bereichen, zum Beispiel als Verpackungsmaterialien, als hochporöse Materialien, als feste Materialien, als 3D gedruckte Materialien, als Verstärkungsmaterial und als Ersatzmaterial polymerer Materialien, die vielleicht nicht so nachhaltig sind. Die Anwendungen sind also ziemlich breit.

Sie zählen viele Anwendungsgebiete auf. Doch an was denken Sie ganz konkret?

Gustav Nyström: Für den 3D-Druck zum Beispiel eignet sich Zellulose als wichtiger Bestandteil der Druckertinten und verleiht dem ausgedruckten Material besondere Funktionen, z.B. ausgezeichnete Festigkeitseigenschaften. Bei der Tinte hilft die Zellulose, die gewünschte Viskosität zu erzeugen und macht diese damit erst druckbar. Weiche und wässrige Systeme (Wassergele) sowie poröse oder hochfeste Strukturen können gedruckt werden und können z.B. in biomedizinischen Bereichen zum Einsatz kommen.

Zudem lässt sich Zellulose sehr gut mit anderen Materialien verbinden. Dies ist sehr interessant, denn Zellulosefasern sind sehr steif und haben gute mechanische Eigenschaften. Diese lassen sich mit anderen Eigenschaften kombinieren, wie zum Beispiel mit elektrischer Leitfähigkeit, Energielagerung und Sensorik.

Paper based electronics können offenbar in der Biomedizin eingesetzt werden. Faltbare Handys oder Biobatterien sind weitere Möglichkeiten. Wie sehen Sie dies genau, Herr Nyström?

Gustav Nyström: Ja, dies sind verschiedene Möglichkeiten. Wichtig ist, dass die Entwicklung möglichst grün und am besten komplett biologisch abbaubar ist. Wir möchten sehen, wie weit wir in dieser Hinsicht mit unseren Materialien kommen. Es können z.B. auch Kombinationen mit anderen biologisch abbaubaren oder die Umwelt nicht schädigenden Materialien sein. Hier möchten wir wissen, wie gut diese im Vergleich mit herkömmlichen Materialien sind. Wir möchten die elektronischen Materialien so entwickeln, dass sie mit herkömmlichen Recyclingmethoden abbaubar sind. Sollten diese weggeworfen werden, dürfen sie keine schädigende Wirkung auf die Natur haben.

«Zellulose kann als Komponent/Bauteil für Sensoren in der Medizin eingesetzt werden.»

Gustav Nyström

Bei faltbaren Handys spricht man von High-performance-Systemen, die eine grosse Leistung erzeugen. Unsere Systeme sind jedoch eher Low-power-Systeme. Wir denken an einfache Sensoren. Vielleicht kann man Sensoren entwickeln, mit denen man den Inhalt der Verpackungen kontrollieren und ihren Weg verfolgen kann. Da braucht man nicht so viel Power, aber ein Produkt, das vollkom-

men grün ist. Hier sprechen wir von Millionen und Milliarden von Verpackungen.

Das tönt sehr faszinierend. Wie lange geht es, bis man von der Forschung bis zu einem Produkt kommt?

Gustav Nyström: Ich denke von Seiten der Forschung können wir solche Produkte stark pushen. So gibt es schon Sensoren, die Verpackungen verfolgen. Doch diese sind nicht grün. Durch unsere Forschung möchten wir andere Wege aufzeigen.

Frau Zimmermann, Sie hatten das Stichwort «ölabSORBierende Zelluloseschäume» gegeben.

«Zellulose kann das über 100-fache ihres Gewichtes an Öl aufnehmen.»

Tanja Zimmermann

Tanja Zimmermann: Ja, richtig. Dies war ein Nebenprodukt aus einem Projekt, wo die Doktorandin etwas anders als sonst machte. Dabei stellte man fest, dass aus der Zellulose Strukturen entstanden, die eine hohe Porosität von über 99 Prozent aufwiesen und dass man diese so modifizieren kann, dass sie nur Öl und kein Wasser mehr aufnehmen. Normalerweise würde Zellulose Öl und Wasser aufnehmen.

Wir stellten damals fest, dass diese Zellulose das 50-fache ihres Eigengewichtes an Öl aufsaugen kann. Man erreichte gar, dass die Zelluloseschäume das 100-fache und sogar noch mehr ihres Gewichtes an Öl oder

organischen Lösemitteln aufnehmen kann. Dies ist ein sehr interessantes Projekt, auch für die Industrie.

Zellulose ist also ein richtiges Wundermittel ...

Tanja Zimmermann: Das ist so! Deshalb brennen wir beide auch so für dieses Material, weil man mit der Zellulose wirklich extrem viel abdecken und machen kann! Zellulose ist ein tolles Material. Man hat die ganze Alkoholchemie für ihre Oberflächenfunktionalisierung zur Verfügung, z.B. um die Polarität einzustellen und die Zellulose noch wasserliebender oder wasserabweisend zu machen. Man kann die Viskosität von z.B. Klebstoff- oder Anstrichsystemen beeinflussen und mit fast 2 Prozent im Wasser hat man bereits ein festes Wassergel, weil die Oberfläche so gross ist und sich Netzwerkstrukturen der feinen Zellulosefibrillen bilden.

«Für den 3D-Druck eignet sich Zellulose als Tinte und als Druckmaterial.»

Gustav Nyström

Die Zellulose hat sehr hohe Festigkeitseigenschaften. Beim Baum, beim Holz, ist diese sehr gross. Nur dank der Eigenschaften der Zellulose kann ein schlanker Baum 30 Meter hoch werden und fällt nicht um beim ersten Windstoss. Je kleiner man diese Struktur aufschliesst, wie in unserem Fall bis hin zur mikrofibrillierten Zellulose oder den Zellulosekristallen, bekommt man noch bessere mechanische Eigenschaften.

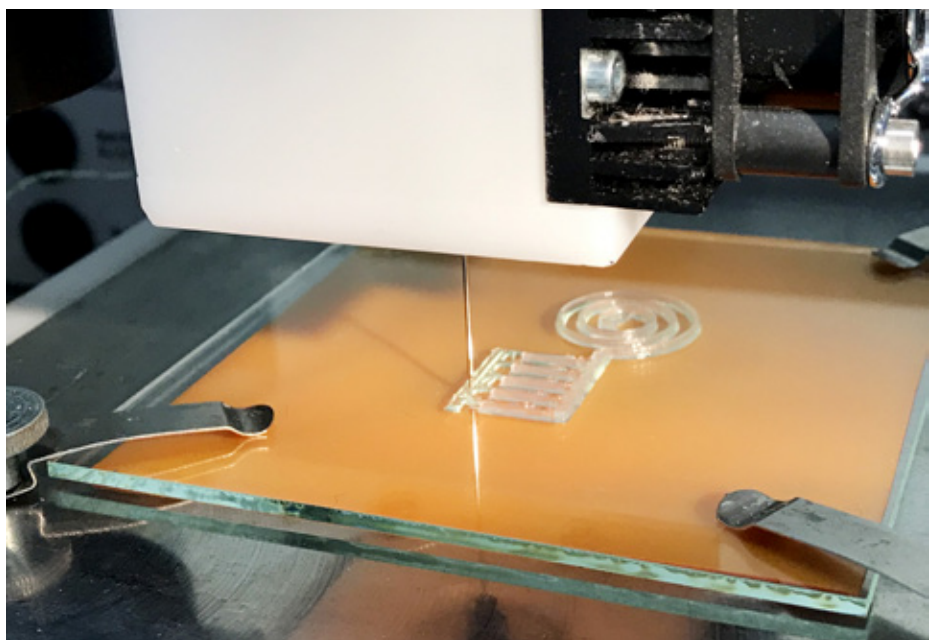
Kraft aus der Zellulose

Die Zellulose ist der Hauptbestandteil pflanzlicher Zellwände und damit die häufigste organische Verbindung.

Zellulose ist das am häufigsten vorkommende Biomolekül. Sie ist unverzweigt und besteht aus mehreren hunderten bis zehntausenden Glucose- bzw. Zellobiose-Einheiten.

Diese hochmolekularen Celluloseketten lagern sich zu höheren Strukturen zusammen, die als reissfeste Fasern in Pflanzen häufig statische Funktionen haben.

Zellulose wurde im Jahr 1838 von dem französischen Chemiker Anselme Payen entdeckt. 1870 wurde Cellulose dazu genutzt, um Zelluloid (Träger für Filme) herzustellen. 1992 wurde Zellulose zum ersten Mal chemisch synthetisiert.



Dieses Bild zeigt einen flexiblen, bioabbaubaren Sensor aus Nanocellulose, der vom 3D-Bioprinter ausgedruckt wird. Der Sensor kann beispielsweise auf der Haut Salzkonzentrationen von medizinisch wichtigen Mineralstoffen bestimmen.

Foto: Empa



Empa Forscher Gilberto Siqueira arbeitet mit Nanozellulose-Sensoren.

In Zug wird ein 80 Meter hoher reiner Holzbau geplant. Kann hier die Zelluloseforschung etwas beitragen?

Tanja Zimmermann: Ich glaube nicht, dass die Zelluloseforschung in den Holzbau gehen sollte. Hier könnte man auch mit dem Preis nicht mithalten. Doch beim Holzhausbau haben wir ein ganz anderes Thema. Hier müssen wir schauen, dass wir die Fassaden gut hinkriegen. Denn die Fassaden sind das Aushängeschild jedes Gebäudes nach aussen. Die Architekten wissen nicht immer, wie sie am besten mit Holzfassaden umgehen. Wir forschen sehr stark an einem transparenten Holzschutz, der das Holz in seinem natürlichen Zustand belässt und dafür sorgt, dass dieses nicht grau wird. Bisher werden bei Holzhochhäusern daher häufig andere Lösungen als Holz für die Fassadengestaltung gewählt.

Zellulose und Plastik

Zellulose birgt verschiedene Eigenschaften in sich, um Plastik oder einen Teil des Plastiks zu ersetzen. Selbst die vielen Säcklein, in die tagtäglich Lebensmittel abgefüllt werden, könnten mit Zellulosesäcklein ersetzt werden, sagte Zelluloseforscher Gustav Nyström. Doch dies ist auch eine Frage des Marktes und des Blickwinkels. Denn beim Einsatz von Zellulose gelte es den ganzen Kreislauf des Produktes im Auge zu behalten.

Gustav Nyström: Nanozellulose ist hier ein Hochleistungsmaterial, kostet und muss daher mit anderen Hochleistungsmaterialien verglichen werden, vielleicht mit Graphen-Materialien, die auch viel Geld kosten, aber nicht von der Natur kommen.

«Zellulosekristalle haben sehr gute mechanische Eigenschaften».

Tanja Zimmermann

Was für Möglichkeiten gibt es bei biomedizinischen Anwendungen?

Wir glauben, dass 3D-gedruckte Strukturen aus Zellulose in der Biomedizin angewendet werden können. Wir sind z.B. daran Produkte zu entwickeln, die beim Menschen als «Gerüst» dienen, in die das Gewebe hineinwachsen kann. Es muss noch besser verstanden werden, inwiefern dieses Gewebe mit dem Körper biokompatibel ist und inwiefern Zellen darauf wachsen können.

Wie sieht es weltweit mit der Zellulose-Forschung aus?

Tanja Zimmermann: Unser Verbund mit anderen Forschungsinstituten weltweit und vor allem in Europa ist sehr gut. 2002 und 2003 hatten wir unsere ersten Projekte. 2004 war ich auf einer Konferenz in den USA in San Diego. Damals waren wir etwa 50 For-

schnerinnen und Forscher, die mit der Nanozellulose schon geforscht haben. Zurzeit werden riesige Konferenzen zur Zellulose durchgeführt und es gibt immer mehr Gruppen, die an Zellulose und anderen Biopolymeren forschen.

Wohin dies führen kann, zeigt folgendes Beispiel: Vor Kurzem habe ich von einem befreundeten japanischen Professor einen YouTube-Film erhalten, das das erste Nanozellulose-Auto zeigt. Die Motorhaube ist 100 % aus Nanozellulose, andere Teile beinhalten 10–20 Gewichtsprozent Zellulose. Dank der Verwendung von Zellulose wurde das Auto um ca. 15 % Prozent leichter.

Bezüglich Forschung sind aus meiner Sicht die Forschungsinstitute in Europa weltweit führend. Von der Umsetzung und der Kommerzialisierung her dürfte dies jedoch Japan sein. Interessant ist auch die japanische Strategie. Japaner gründeten landesweit verschiedene Firmen für die Nanozelluloseherstellung, die jeweils ein Material mit ganz spezifischen Eigenschaften vermarkten und sich so gegenseitig nicht konkurrenzieren. Neue Entwicklungen kommen in Japan schneller auf den Markt als bei uns, vielleicht auch weil dort in bestimmten Bereichen mehr von oben herab gesteuert wird als bei uns. Dabei möchte ich aber nicht, dass der Eindruck entsteht, unsere Forschung in der Schweiz sollte zentral gesteuert werden. Forschungsfreiheit ist bei uns ein sehr hohes Gut.

Den Staub abgeschüttelt

Frau Zimmermann, wie lässt sich die Zelluloseforschung mit Ihrer Holzforschung verbinden?

Tanja Zimmermann: Im Jahr 2011 habe ich die damalige Abteilung «Angewandte Holzforschung» übernommen – heute heisst sie «Cellulose and Wood Materials». Damals ging es auch ein bisschen darum, das Verstaubte aus der Holzforschung herauszuholen. Obwohl die Forschung gar nicht verstaubt war, hatte diese ein bisschen ein altmodisches Image noch nach dem Motto «die werden wohl Holzbalken prüfen. Was kann man denn hier überhaupt noch erforschen, da gibt es doch eigentlich nichts mehr zu erforschen?».

Bei der Direktion musste ich ein Konzept vorstellen. Dabei stellte ich neue Funktionen in den Mittelpunkt. Wie können wir Holz Eigenschaften verleihen, für das es von der Natur her gesehen nicht geeignet ist, wie zum Beispiel Holz schwer entflammbar machen, eine Forschung, die später Prof. Burgert mit seinem ETH/Empa-Team vorantrieb. Weiter überlegten wir uns ein neues Forschungsgebiet weiter zu verfolgen. Wie kann man Komponenten aus Holz für technische Anwendungen benützen?

Dafür eignet sich Zellulose sehr gut. Es ist das am häufigsten vorkommende Biopolymer der Welt und ist in rauen Mengen verfügbar. Auch aus Abfallstoffen, z.B. aus landwirtschaftlichen Abfällen und aus Altpapier, können wir mikrofibrillierte Zellulose herstellen.

Dabei haben wir sehr rasch festgestellt, dass man an diese Zellulose enorm viele Funktionen anhängen kann. Damit kann man eigentlich alle Forschungsschwerpunkte der Empa abdecken. Wir haben eine ganz Bandbreite verschiedener Materialien entwickelt, von ölabweisenden Zelluloseschwämmen über den Ersatz von Aluminium in Verbundverpackungen mit einem Zellulosebetonpapier bis zur Verstärkung von Klebstoffsystemen oder Anstrichsystemen, wo man besser die UV absorbierenden oder reflektierenden Komponenten verteilen kann und vieles mehr.

Das fing dann an mit dem 3D-Druck, was nun von Herrn Nyström stark weitergeführt wird. Ganz neu sind die «paper based electronics». Hier bin ich froh, dass dies ein Physiker weiterführen kann, denn diesen Background habe ich nicht.

Unsere Experten



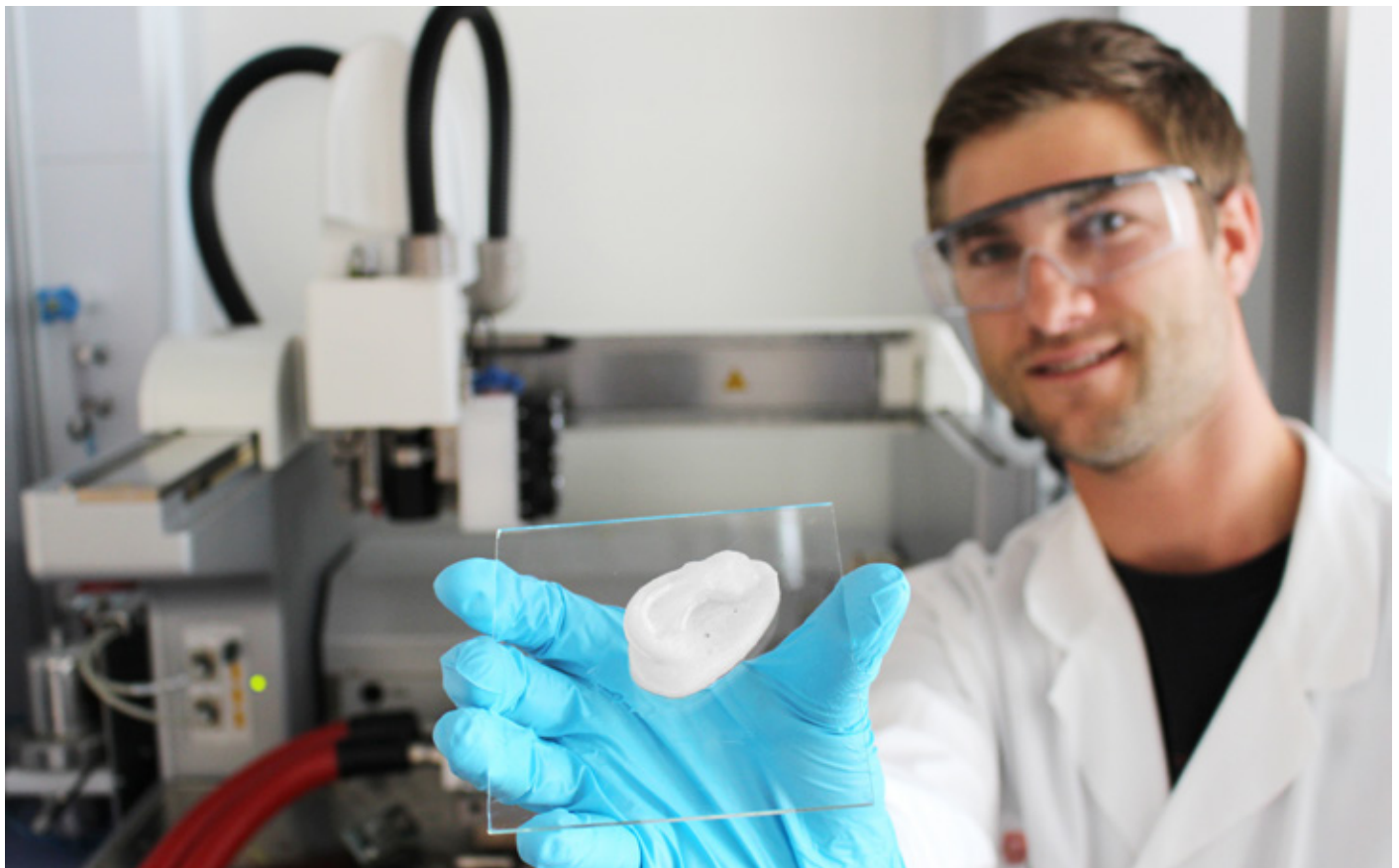
Dr. Tanja Zimmermann

Mitglied Direktion Empa, Departementsleiterin «Functional Materials», Leiterin des Forschungsschwerpunkts «Sustainable Built Environment» (gemeinsam mit Giovanni Terrasi). Lehraufträge: ETH Zürich, «Holzphysik (Neue Materialien – Nanozellulose)» für Bauingenieure.



Gustav Nyström

Leiter der Empa-Abteilung «Cellulose & Wood Materials», Dozent an der ETH Zürich.



Empa Forscher Michael Hausmann zeigt ein Ohr aus Nanozellulose. Hier werden Nanozellulose-Implantate entwickelt, die als abbaubare Gerüste für Zellen eingesetzt werden können, etwa als Knorpelersatz.

Foto: Empa