



Fachhochschule Nordwestschweiz
Hochschule für Life Sciences

**Hochschule
für Life Sciences FHNW**



Die Hochschule für Life Sciences FHNW	02
Medizin und Technologie	05
Umwelt und Ressourcen	19
Gesundheit und Daten	25
Kurzmeldungen	34
Ausgewählte Kooperationen	38
Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW	40
Ansprechpartner	41

Im Gespräch: Falko Schlottig

Die Hochschule für Life Sciences FHNW (HLS) hat 2018 den neuen Campus in Muttenz bezogen. Für Falko Schlottig, Direktor der HLS, ist der gemeinsame Campus ein Erfolg. Sowohl für die Forschenden als auch für die Industriepartnerschaften. Der neue Campus fördert die interdisziplinäre Zusammenarbeit und legt den Grundstein für fachübergreifende Forschungsprojekte. Für die Zukunft ist die HLS vorbereitet.

«Es ist unser Ziel, dass die HLS erste Ansprechpartnerin für Firmen im Life Sciences-Bereich ist.»

Falko Schlottig

Was hat sich mit der Eröffnung des Campus Muttenz verändert?

Die Hochschule wächst aus zwei ehemaligen Standorten zusammen. Wir können dadurch unser Wissen, unsere Erfahrung, unsere Ideen besser austauschen und die Infrastruktur gemeinsam nutzen. Sowohl für die Ausbildung als auch für die Forschung. So starten wir 2019 mit neuen Inhalten, neuen Fachrichtungen und einer neuen Struktur in der Bachelor-Ausbildung. Auf der Master-Stufe führen die Hochschule für Wirtschaft FHNW und die HLS neu einen gemeinsamen Master in Medizin- und Wirtschaftsinformatik ein.

Können Synergieeffekte genutzt werden?

Innerhalb der HLS gibt es sehr viele Synergien. Im neuen Campus über alle Hochschulen betrachtet wird uns der kulturelle Prozess auch länger begleiten. Wir haben bereits in der Lehre engere Zusammenarbeiten mit der Pädagogischen Hochschule FHNW und der Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik FHNW.

Ist durch den Campus eine intensivere Zusammenarbeit mit der Industrie entstanden?

Ja, das sehen wir deutlich. Fast im Wochentakt dürfen wir Veranstaltungen mit oder von der Industrie im neuen Campus durchführen. Diese kombinieren wir oft mit Führungen durch unsere Labore und Technologiezentren. Wir versuchen damit den Boden zu bereiten, dass sich die Unternehmen gerade dort mit uns und untereinander noch besser vernetzen.

Was ist besonders interessant für die Industrie?

Einerseits die Zusammenarbeit basierend auf der disziplinären Kompetenz und Erfahrung über Fachgrenzen hinweg. Beispielsweise haben wir uns räumlich so eingerichtet, dass alle Labore miteinander verbunden sind. Das verbessert die Kommunikation und kommt den Projekten zugute. Andererseits haben wir ein neues Prozess- und Technologiezentrum im Haus, eine grosse separate Fläche über drei Etagen. Dort können wir annähernd alle Wertschöpfungsprozesse der Life Sciences-Industrie im Entwicklungs- und Produktionsbereich abbilden.

Also von der Idee bis zum verpackten Produkt?

Genau. Ein schon heute typisches Projekt für unsere Hochschule wäre die Fragestellung: «Könnt ihr uns bei der Formulierung, Herstellung und Verpackung eines Medikaments unterstützen?» Dies können wir sowohl fachspezifisch als auch aus «einer Hand» anbieten.

Was ist das aktuelle Ziel der Forschung an der HLS?

Der Fokus liegt darin, einen Mehrwert und Lösungen für und mit der Industrie zu erarbeiten. Das schliesst klar ein, dass wir eigene innovative Ansätze entschlossen verfolgen und sie bis zum Technologietransfer oder zur Gründung von Start-ups vorantreiben. Im Life Sciences-Bereich in der Nordwestschweiz sind über 700 Firmen forschend und produzierend tätig, wir arbeiten bereits mit über 100 von ihnen zusammen. Es ist unser Ziel, dass die HLS erste Ansprechpartnerin für diese Firmen ist, wenn sie für Lösungen zu ihren Fragestellungen Unterstützung suchen.

Haben sich die HLS-Forschungsthemen in den letzten zwei bis drei Jahren geändert?

Ja. Wir schauen, in welche Richtung sich die Industrie entwickelt, und bauen entsprechende Kompetenzen aus oder neu auf.

Welche Fragestellungen werden die HLS-Forschenden in den nächsten Jahren angehen?

Wir werden uns auch weiterhin im Life Sciences-Bereich in seiner ganzen Breite engagieren. Ein aktuelles Beispiel sind Fragestellungen rund um Data Science: Was ist und wird Realität und was ist ein rein akademischer Hype? Was heisst Data Science für Entwicklungs- und Produktionsprozesse in der Life Sciences-Industrie? Lässt sich Machine Learning in der Entwicklung von biotechnologisch gesteuerten



Prozessen einsetzen? Was heisst Data Science im Bereich personalisierte Medizin wirklich? Wie erfolgt die Implementierung, wie sehen Geschäftsmodelle im hochregulierten Pharma- und Medizintechnikumfeld aus? Wie funktioniert die Spitalorganisation der Zukunft? Wie funktionieren die Schnittstellen zwischen dem klassischen, chemisch-pharmazeutischen, medizintechnischen, bioanalytischen Handwerk und der Informatik? Welche Persönlichkeiten bringen diese Entwicklungen vorwärts? Was braucht es dazu in unserer Ausbildung? Wie führt man all dies so zusammen, dass am Ende wirklich ein Mehrwert entsteht?

Mit der Kompetenz, der Erfahrung, der Interdisziplinarität und den kurzen Wegen an unserer Hochschule sind wir gut aufgestellt. Wir haben viele der dafür notwendigen Fachbereiche im Haus und viele spannende Aufgaben vor uns.

Medizin und Technologie

In der Gesundheitsvorsorge und Behandlung von Krankheiten geschehen derzeit tiefgreifende Veränderungen. Innovative Messtechniken, mobile Sensoren, hochpräzise Analysegeräte und dreidimensionale Drucktechniken sorgen für eine Transformation im Gesundheitswesen. Medizin kann massgeschneidert werden, und auch Patientinnen und Patienten übernehmen mehr Kontrolle über ihre Behandlung. Deshalb entwickeln Forschende an der HLS praxisnahe Lösungen für das digitale Zeitalter. Mit modernen Pharmatechnologien unterstützen sie die Entwicklung neuartiger Medikamente und Anwendungsformen.

Roboterhilfe im Labor

Bevor aus einem medizinischen Wirkstoff ein fertiges Medikament wird, braucht es viele Experimente. Man muss die optimale Kombination an Stabilisatoren und anderen Zusatzstoffen finden und testen, ob ein Medikament immer gleichermaßen gut wirkt. Dieser Prozess lässt sich mit einer Roboterplattform der HLS erleichtern. Sie ermöglicht verlässliche Studien für besonders empfindliche Biomoleküle. Ein neu entwickeltes Software-Tool kombiniert übersichtlich die Ergebnisse der einzelnen Experimente und beschleunigt damit die Suche nach der optimalen Medikamentenzusammensetzung.

Medikamente bestehen nicht nur aus Wirkstoffen. Verschiedene Zusatzstoffe in Tabletten und anderen Arzneiformen sorgen dafür, dass die medizinisch wirksamen Komponenten stabil bleiben und am richtigen Ort im Körper in der vorgesehenen Dosis freigesetzt werden. Je nach Medikament unterscheiden sich diese Stoffe. Um herauszufinden, welche Form der Zubereitung – Pharmazeuten sprechen von Formulierung – für den gewünschten Medikamenteneffekt am besten geeignet ist, sind teilweise Tausende von Tests nötig. «Es genügt nicht, verschiedene Kombinationen aus Zusatzstoffen herzustellen», erklärt Oliver Germershaus vom Institut für Pharma Technology der HLS. «Wir müssen diese Formulierungskandidaten auch chemisch analysieren und auf ihre Haltbarkeit testen, also über längere Zeiträume einlagern und hinterher prüfen. Viele dieser Schritte werden noch manuell gemacht. Dieser Prozess ist fehleranfällig und dauert lange, insbesondere für biologische Wirkstoffe.» Um die Herstellung verschiedener Formulierungen sowie die Vorbereitung von Proben zu automatisieren, haben die HLS-Forschenden in einem von der

FHNW-Stiftung geförderten Wissenschaftsprojekt gemeinsam mit der Firma Hamilton Bonaduz AG eine kommerzielle Roboterplattform weiterentwickelt.

Glas statt Kunststoff

Die besondere Herausforderung des Projekts waren die biologischen Wirkstoffe selbst: Biomoleküle bauen sich mit der Zeit ab. Sie sind im Vergleich zu gewöhnlichen Wirkstoffen weniger stabil und sehr empfindlich, wenn sie zum Beispiel mit Luft in Kontakt kommen. «Herkömmliche Laborroboter arbeiten mit Kunststoffgefässen», sagt Germershaus. «Diese sind aber nicht vollkommen gasdicht. Werden Proben für Haltbarkeitsstudien eingelagert, kann Luft eindringen und das Testergebnis verfälschen. Ausserdem können sich aus dem Kunststoff manche Zusatzstoffe lösen und so die Wirkungseigenschaften des Medikaments beeinflussen.» Die Forschenden der HLS haben den Roboter nun so umgebaut, dass er anstelle von Kunststoff- mit Glasgefässen arbeitet. Diese reagieren nicht mit dem Medikament, sind luftdicht und lassen sich vollständig versiegeln. Das gewährleistet verlässlichere Testergebnisse.



Als Testsystem diente dem Forschungsteam ein monoklonaler Antikörper, also ein künstlich hergestelltes Biomolekül. Sechs verschiedene Zusatzstoffe wie Stabilisatoren und Puffer zur Säureregulation in unterschiedlichen Konzentrationen kamen für die Formulierung infrage, insgesamt 324 verschiedene Kombinationsmöglichkeiten, die der Laborroboter hergestellt hat. «Der Roboter hat mehrere Vorteile», sagt Germershaus. «Er ist etwa einhalbmal so schnell wie der Mensch und kann die verschiedenen Formulierungen sehr zuverlässig produzieren. Er macht genau das, wofür man ihn programmiert hat. Darüber hinaus ist der Roboter mit einer Reinlufthaube ausgestattet. Diese filtert die Luft, befreit sie von Partikeln und Mikroorganismen und ermöglicht es dem Roboter, die Formulierungen unter sterilen Bedingungen herzustellen.»

IT trifft auf Pharmatechnologie

Einen grossen Teil der Arbeit verrichtete das Forschungsteam am Computer. Wegen der vielen möglichen Formulierungen der Testsubstanzen war diese Programmierung sehr aufwendig und nur in Zusammenarbeit mit den Forschenden des Instituts für Medizintechnik und Medizininformatik der HLS möglich. Zuerst mussten sie den Roboter an-

passen und seine neuen Aufgaben klar definieren. Für jeden einzelnen Schritt, so etwa: Geh mit der Pipettenspitze an diesen Ort, nimm einen Milliliter der Wirkstofflösung auf, geh dann an den anderen Ort, und mische nochmals durch.

Trotz der weitgehenden Automatisierung des Prozesses kann der Laborroboter den Menschen nicht vollständig ersetzen, findet Germershaus: «Der Mensch schaut das Experiment mit all seinen Sinnen an. Unser Roboter arbeitet systematisch, aber nicht immer materialsparend. Einem Menschen fällt das sofort auf, während ein automatischer Mechanismus nur Aspekte kontrolliert, für die er vorprogrammiert wurde.»

Auch die chemische Analytik baut auf die Kombination aus menschlicher Expertise und der systematischen Effizienz der IT. «Mittels statistischer Versuchsplanung konnten wir die 324 vom Roboter hergestellten Formulierungen in der Analyse auf 40 reduzieren und haben trotzdem noch eine ideale Kombination gefunden», so Germershaus. Dafür hat sein Team die 40 Formulierungskandidaten bei jeweils zwei unterschiedlichen Temperaturen eingelagert und zu je vier verschiedenen Zeitpunkten auf ihre Wirksamkeit analysiert. So waren es immer noch 320 verschiedene Proben, die die Forschenden mit unterschiedlichen Analyseverfahren untersucht haben. Dazu haben sie ein eigenes Software-Tool entwickelt, das die Versuchsergebnisse übersichtlich visuell darstellt.

Für die Zukunft sehen die Forschenden noch Potenzial zur weiteren Automatisierung. So könnten etwa die Probennahme und Analytik wie auch die Interpretation der Analyseergebnisse durch den Roboter und seine Algorithmen übernommen werden. Bis zur vollständigen Automatisierung des gesamten Formulierungsprozesses dürfte aber noch einige Zeit vergehen.

Methoden

- Automatisiertes Liquid Handling zur Herstellung von Formulierungskandidaten
- Stabilitätsstudien entsprechend ICH Q1
- Physikalisch-chemische Analytik biologischer Wirkstoffe
- Peptid-Mapping
- Aseptische Herstellung
- Datenbanken
- Visualisierung komplexer analytischer Daten

Infrastruktur

- Grössenausschlusschromatografie
- Ionenaustauschchromatografie
- Durchflussmikroskopie
- Liquid-Handling-Plattform
- SDS-Polyacrylamidgelelektrophorese
- Flüssigkeitschromatografie mit Tandem-Massenspektrometrie (LC-MS/MS)

Förderung

- Stiftung FHNW

Zusammenarbeit

- Hamilton Bonaduz AG
- Institut für Medizintechnik und Medizininformatik (HLS FHNW)
- Institut für Chemie und Bioanalytik (HLS FHNW)

Strahlenschutz durch Robotik

Minimalinvasive operative Eingriffe wie Gewebeentnahmen an inneren Organen oder die Behandlung von Tumoren werden oft unter radiologischer Bildkontrolle durchgeführt. Das führt zur Strahlenbelastung der Kranken sowie des medizinischen Personals. Forschende der HLS entwickeln deshalb in einem trinationalen Projekt einen Antriebsmotor, mit dem stattdessen ein Robotersystem die Punktionsnadeln präzise im Körper platziert. Der Motor basiert nicht nur auf einem innovativen Funktionsprinzip, sondern trägt auch zur Weiterentwicklung dreidimensionaler Druckverfahren für Titanlegierungen bei.

«Mit einem Roboter mit Kraft-Rückkopplung werden die Fachleute für interventionelle Radiologie das Gefühl haben, die Nadel selbst zu führen, aber ohne der Röntgenstrahlung ausgesetzt zu sein.»

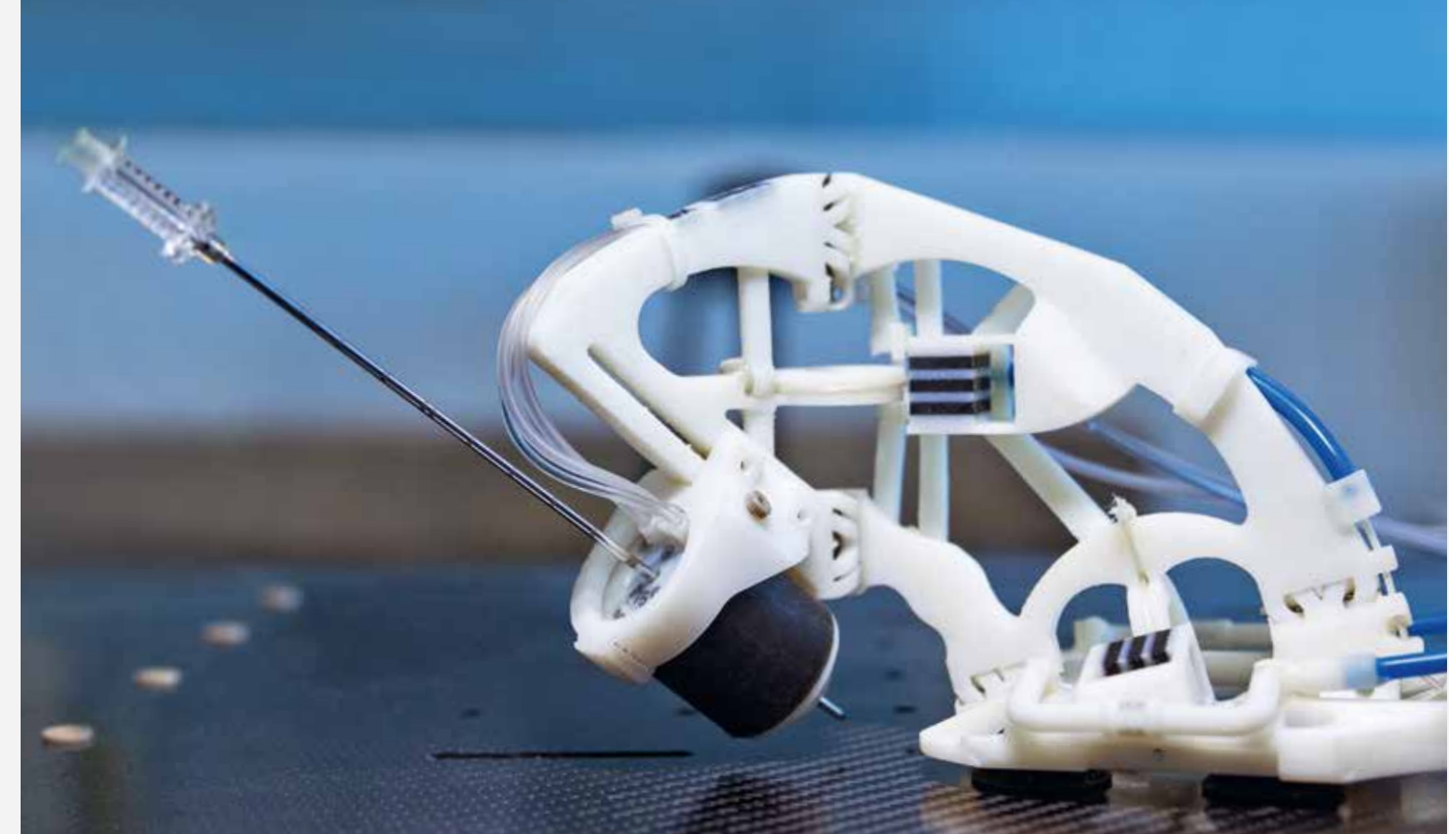
Michael de Wild

Im Labor des Instituts für Medizintechnik und Medizininformatik (IM²) reiht sich ein 3D-Drucker an den anderen. Schicht für Schicht formen sie Metall- oder Keramikimplantate, die heilende Knochen stützen. In einer internationalen Forschungskollaboration übertragen Michael de Wild und sein Team nun ihre Expertise im 3D-Druck auf die Robotik. «Wir entwickeln ein Roboter-Unterstützungssystem, das bei radiologisch-chirurgischen Eingriffen helfen kann», sagt der Forscher und nennt ein Beispiel: «Wenn Ärztinnen und Ärzte Gewebeproben entnehmen, müssen sie die Biopsie-Nadeln millimetergenau in das zu untersuchende Organ oder Gewebe einführen.» Unter Bildkontrolle wie etwa im Computer-Tomografen (CT) sehen sie dann, wo sich die Nadel befindet, und können deren Position, wenn nötig, korrigieren. «Mit dem geplanten Robotersystem lässt sich die Nadel fernsteuern und am Monitor beobachten, während die Patientin oder der

Patient im CT liegt», erklärt de Wild. «Das verbessert nicht nur die Präzision von Gewebeentnahmen, sondern eignet sich auch für die interventionelle Radiologie zur Behandlung von Tumoren oder zur lokalen Behandlung mit Medikamenten, zum Beispiel für die Schmerztherapie unter Bildsteuerung.»

Komplexes Design aus dem 3D-Drucker

An dem Projekt namens SPIRITS (Smart Printed Interactive Robots for Interventional Therapy and Surgery) sind die HLS sowie Firmen, Kliniken und Hochschulen aus der Schweiz, Deutschland, Frankreich und Österreich beteiligt. Das Team an der HLS konstruiert den Motor, welcher die Nadel im Körper vorwärtsbewegen soll. Um diesen Aktuator auch im Operationssaal sicher bedienen zu können, wird er durch Druckluft angetrieben. «Das Besondere ist die Funktionsweise der Antriebsstruktur», erklärt de Wild. «Die Biopsienadel ist in der Mitte einer zylinderförmigen Gitterstruktur montiert und von vier bis fünf Kanälen umgeben. Im Gegensatz zu einem gewöhnlichen Material dehnt sich diese Gitterstruktur quer zur Zugrichtung aus. Wenn wir



also im Zylinder den Druck von innen her erhöhen, dehnt sich die Struktur in der Längsachse aus und treibt die Nadel voran.» Dies erreichen die HLS-Forschenden durch die besondere Geometrie im Gitter, die im Fachjargon «auxetisch» genannt wird. «Wir bauen den Druck innerhalb des Zylinders mit vier bis fünf kleinen Ballons auf, mit denen beispielsweise in der Herzchirurgie Stents auf ihre endgültige Grösse aufgeweitet werden, um Blutgefässe offen zu halten», so de Wild. «Weil sich die auxetische Struktur aber nur um Bruchteile von Millimetern verlängert, muss der Prozess mehrmals pro Sekunde wiederholt werden. So bewegt sich die Nadel mit einem Klemmsystem ähnlich wie eine Spanneraupe in sehr kleinen Schritten vorwärts.»

Für herkömmliche Fertigungsverfahren ist diese Geometrie zu komplex und zu fragil – für ein dreidimensionales Druckverfahren dagegen nicht. Das IM² an der HLS ist eines von wenigen Instituten weltweit, das so feine metallische Strukturen wie in dem Antriebszylinder mittels 3D-Druck herstellen kann. Als Material für den Zylinder verwenden die Forschenden Titanpulver, das sie zunächst in einer dünnen Schicht auf eine Druckplattform auftragen. Dann verschmelzen sie die Stellen, welche später die Struktur bilden. «Wir verwenden dafür einen Faserlaser, der eine Fläche von rund 100 Mikrometer Durchmesser mit bis zu 200 Watt aufschmilzt», sagt der Forscher.

Schlüsselfaktor Temperaturmanagement

Solche Energiedichten setzen besondere Massnahmen im Design voraus. De Wild erklärt: «Wenn die Schicht unter oder neben dem Zielbereich des Lasers nicht verschmolzen ist, wirkt der Zwischenraum zwischen den Pulverkörnern wie ein Isolator. Das Titan wird dann zu heiss, sodass es durch den auftreffenden Laserstrahl sogar verdampfen kann oder im hergestellten Objekt Spannungen oder Deformationen auftreten. Damit die eingebrachte Wärme gut abfliessen kann, wird das Bauteil mittels Stützstreben auf der Druckplattform verankert. Wir ergänzen daher das finale Design auch gezielt mit Stützstrukturen, die dem Konstrukt während des 3D-Drucks nicht nur mechanische Stabilität geben, sondern eben auch die Hitze ableiten.»

Vor dem Fertigungsprozess haben die Forschenden umfassende Berechnungen für die lokale Anpassung der Laserenergie gemacht. Dabei haben sie das Material und die Form des Werkstücks berücksichtigt. Diese sogenannte «heat calculation» simuliert für jeden der Tausenden Punkte im Design, wie gut die Wärme aufgrund der bereits bestehenden Geometrie und Stützstruktur abfliessen kann, und berechnet, mit welcher Energie und wie lange der Laser an jedem Punkt auftreffen soll. Anhand dieses erweiterten Bau- und Prozessplans fertigt der 3D-Drucker dann über einen Zeitraum von mehreren Stunden aus Tausenden Schichten ein wenige Zentimeter grosses Werkstück.

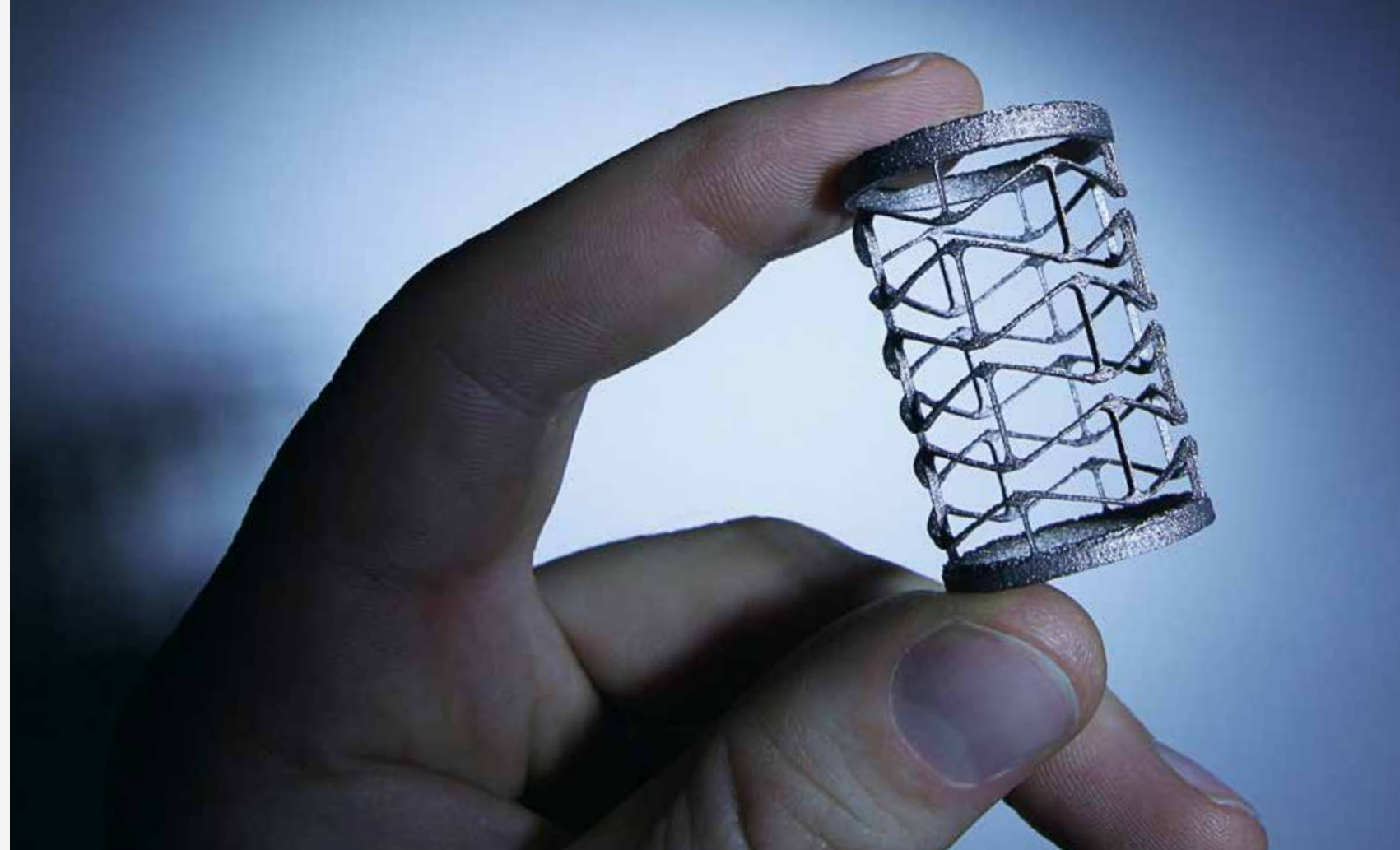
Der letzte Schliff von Hand

Trotz dieser hochmodernen 3D-Drucktechnologie ist die finale Bearbeitung der Werkstücke derzeit noch Handarbeit. Die Forschenden lösen das Werkstück zuerst von der Druckplattform und entfernen die zierlichen Stützstrukturen. Dabei braucht es Fingerspitzengefühl, um das filigrane Werkstück nicht zu verletzen. Dann glätten sie die Oberfläche

mit verschiedenen Techniken wie etwa Elektropolieren, mechanischem Polieren, chemischem Ätzen oder Sandstrahlen.

Abschliessend unterziehen die Forschenden ihre Werkstücke verschiedenen Tests. In statischen mechanischen Tests ziehen sie die Struktur auseinander und messen, wie stark und wie elastisch sie ist. In dynamischen Tests untersuchen sie die Materialermüdung nach Tausenden bis Millionen von Lastwechseln.

Die Verbesserungen aufgrund dieser Ergebnisse fliessen in den Prototyp des chirurgischen



Roboters ein. Dieser soll nach Abschluss des Projekts 2020 durch medizintechnische Firmen im Dreiländereck weiterentwickelt und zur Marktreife gebracht werden. Auch ein Spin-off ist für de Wild eine Option. Er und sein Team untersuchen bereits neue Materialien. So arbeiten sie mit der Nickel-Titan-Legierung Nitinol als Alternative zu reinem Titan, denn die Formgedächtnislegierung Nitinol ist bis zu fünfmal elastischer. Die ersten auxetischen Strukturen aus Nitinol sind bereits gedruckt.

Methoden

- Computer Aided Design (CAD)
- Freiformflächenmodellierung
- Material- und Prozessentwicklung für metallischen 3D-Druck
- Mechanische, chemische und elektrochemische Oberflächenbehandlung

Infrastruktur

- 3D-Drucktechnologien: Selective Laser Melting für Metalle, insbesondere Titanlegierungen
- Metallografielabor (REM & EDX inkl. in-situ mechanische Prüfung und Ion-Milling-System zur Probenpräparation, μ CT, konfokale Mikroskopie, Röntgendiffraktometer)
- Mechanisches Testlabor (statische Zugprüfmaschine inkl. Klimakammer und Videoextensometer, dynamische Festigkeitsmessung inkl. Tracking, einachsiger Torsionstestaufbau, Optical 3D-Scanner, Tribologie)
- Dynamische Scanning-Kalorimetrie

Förderung

- Kantone Basel-Stadt, Basel-Landschaft und Aargau
- Schweizerische Eidgenossenschaft
- Baur SA Sauges
- Länder Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz
- Region Grand Est
- Europäischer Fonds für regionale Entwicklung (EFRE)
- Programm INTERREG Oberrhein des EFRE

Zusammenarbeit

- Kantonsspital Baselland
- Sensoptic SA
- École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL)
- Hochschule Furtwangen, DE
- Universität Heidelberg, DE
- Universität Mainz, DE
- HelpTech GmbH, DE
- iSYS Medizintechnik GmbH, AT
- INSA Strassburg, FR
- Alsace Biovalley, FR
- Axilum Robotics, FR
- SAES Getters S.p.A, IT

Zähneputzen ohne Seife

Enzymbasierte Zahnpasta kommt mit weniger starken chemischen Wirkstoffen aus als herkömmliche Zahnpasten und erlaubt dadurch eine sanftere Mundhygiene. Die komplexe Wirkungsweise der in ihr enthaltenen Enzyme knüpft an einen körpereigenen Schutzmechanismus an. Enzyme sind jedoch empfindlicher, halten weniger lang und können dadurch die Haltbarkeit der Zahnpasta verkürzen. Forschende am Institut für Chemie und Bioanalytik haben die Zusammensetzung einer Enzymzahnpasta so weit optimiert, dass ihr Industriepartner ein wirksames, chemisch stabiles und damit haltbares Produkt auf den Markt bringen konnte.

Wer die Inhaltsliste mancher Zahnpastatube liest, kommt sich vor wie in einem Chemielabor. Da stehen bekannte Namen wie Fluorid und Menthol, antibakterielle Wirkstoffe wie Triclosan, Konservierungsstoffe, Farbstoffe und eine Substanz namens Natriumlaurylsulfat, kurz SLS. Dieses SLS ist chemisch betrachtet ein Waschmittel, es sorgt beim Zähneputzen für eine gute Schaumbildung und zerstört Bakterien. Doch SLS ist in Verruf geraten. Es soll die Mundschleimhaut reizen und Aphthen verursachen. Deshalb suchen einige Hersteller von Zahnpflegemitteln nach Alternativen, so auch die Schweizer Firma Curaden. In Zusammenarbeit mit der HLS entstanden verschiedene Zahnpasten, deren Wirkung auf Enzymen basiert.

Der Molekularbiologe Michel-Angelo Sciotti vom Institut für Chemie und Bioanalytik hat die enzymatischen Zahnpasten mitentwickelt und in Versuchen getestet. «Das Enzymsystem ist

deutlich komplexer als der chemische Wirkmechanismus in herkömmlichen Zahnpasten», beschreibt Sciotti die Herausforderung. «Enzyme sind Teil eines biologischen Systems. Sie sind je nach Umgebungsbedingungen unterschiedlich stabil und ihre Aktivität beim Zähneputzen hängt von verschiedenen Faktoren ab.» Dazu gehören die natürlicherweise in der Mundhöhle lebenden Bakterien, die Dauer des Putzens, wie schnell man den Mund wieder ausspült und wie lange die Tube geöffnet war. Das alles macht Enzyme schwer berechenbar, wenn man sie in Produkten zur Mundhygiene einsetzen will.

Trotzdem hat die Enzymzahnpasta einen grossen Vorteil. Sie aktiviert Wirkstoffe, die bereits in unserem Mund vorhanden sind – entweder, weil sie durch Zellen der Mundschleimhaut gebildet werden oder durch den Speichel –, und produziert zusätzliche, welche die Wirkung verstärken. Zudem schützt sie das mikrobiologische Gleichgewicht im Mund. Sciotti: «In der Mundhöhle gibt es 700 verschiedene Bakterienspezies. Unsere Ernährung und unser Lebensstil machen einige zum Problem, weil sie irgendwann Karies oder Parodontose verursachen



können. Deren übermässiges Wachstum müssen wir eindämmen.» Dabei hilft die enzymatische Zahnpasta. Denn im Gegensatz zu gewöhnlicher Zahnpasta, die wie eine Seife wirkt und alle Mikroorganismen zersetzt, reinigt sie sanfter und sorgt dafür, dass die eigenen, schützenden Bakterien im Mund erhalten bleiben. Trotzdem ist die Wirksamkeit der Zahnpasta ausreichend stark.

Für die Entwicklung der enzymatischen Zahnpasta testete das Forschungsteam die beiden Enzyme Glucoseoxidase und Lactoperoxidase. Diese greifen die Bakterien zwar nicht selbst an, bilden aber beim Putzen die Wirkstoffe Wasserstoffperoxid

und Hypothiocyanit. Hypothiocyanit wird von der Lactoperoxidase aus Thiocyanat gebildet, welches im Speichel vorhanden ist. Sciotti zufolge greift es vor allem Keime an, die von der Umwelt in die Mundhöhle gelangen. Im Laufe der Evolution und mit der Umstellung der Ernährung haben sich aber auch Bakterien gebildet, die im Körper leben und Karies und Parodontose auslösen. Gegen diese braucht der Mensch ein anderes Mittel, zum Beispiel das antibakteriell wirkende Wasserstoffperoxid. Das wird in geringen Mengen bereits von Zellen der Mundschleimhaut gebildet. Beim Zähneputzen mit der Enzymzahnpasta entsteht es aus Zucker

«Unsere Mundflora besteht aus 700 verschiedenen Bakterienspezies. Es gibt keine guten und bösen. Es gibt nur die falsche Mundhygiene. Mit unserer Forschung tun wir etwas dagegen.»

Michel-Angelo Sciotti

und Sauerstoff unter Mithilfe der Glucoseoxidase. «Nach demselben Prinzip verleihen auch Bienen dem Honig seine antibakterielle Wirkung», sagt Sciotti.

Wasserstoffperoxid und Hypothiocyanit sind zwar effektive Wirkstoffe gegen Karieserreger, jedoch sehr instabil. Sie können also nicht einfach der Zahnpasta zugemischt werden, sondern müssen direkt in der Mundhöhle frisch produziert werden. Das erschwert die Einstellung des enzymatischen Systems in der Zahnpasta. Die darin enthaltenen Enzyme müssen die Bildung von Wasserstoffperoxid und Hypothiocyanit beim Zähneputzen schnell genug aktivieren, weil man in der Regel nur ein paar Minuten putzt und dann den Mund spült. Damit verschwinden die Wirkstoffe wieder. Um dieses Problem zu lösen, haben Sciotti und sein Team die Rezeptur der Zahnpasta mehrfach verändert.

Die Ergebnisse bargen zunächst eine Überraschung, erzählt Sciotti: «Früher dachten wir, dass die Enzyme nicht stabil sind. Dann haben wir gesehen, dass das System nicht dicht war: Während des Mischvorganges entstand Wasserstoffperoxid, und dieses zersetzt die Enzyme in der Tube selbst. Um das zu verhindern, mussten wir unter anderem Antioxidantien so genau beimengen, dass die Produktion des Wasserstoffperoxids erst durch Bürsten ausgelöst wird, dann aber ohne Verzögerung.»

Eigens für dieses Projekt entwickelten die Forschenden ein Testverfahren für eine vorklinische Studie. Im Labor haben sie Bakterienkulturen für zehn Minuten der Zahnpasta beigemischt. Anschliessend haben sie die Bakterienkulturen über Nacht auf einen Nährboden gegeben und gezählt, wie viele Bakterien den Kontakt mit der Zahnpasta überlebt hatten. In ihren Tests entdeckten Sciotti und sein Team eine Besonderheit am Zusammenspiel zwischen den beiden Enzymen. «Die Zahnpasta, die sowohl Glucoseoxidase als auch Lactoperoxidase enthielt, hatte gar keine Wirkung gegen den



Karieserreger *Streptococcus mutans*», erzählt Sciotti. «Es scheint, dass das gesamte produzierte Wasserstoffperoxid für die Bildung von Hypothiocyanit verbraucht wurde.» Stark wirksam gegen den karieserregenden Keim war stattdessen eine ausschliesslich glucoseoxidasehaltige Zahnpasta. Bei deren Anwendung wird zwar, durch unsere eigene Lactoperoxidase aus dem Speichel, auch eine gewisse Menge an Hypothiocyanit produziert. Es

bleibt aber ein Überschuss an nicht umgewandeltem Wasserstoffperoxid bestehen, das einen starken antibakteriellen Effekt gegenüber *Streptococcus mutans* zeigte. Somit kombiniert diese Ein-Enzym-Rezeptur im Endeffekt die Wirkung von Hypothiocyanit und Wasserstoffperoxid. Indem Sciotti auf die Zugabe von Lactoperoxidase verzichtete, konnten auch die Herstellungskosten für die Zahnpasta gesenkt und ihre Stabilität erhöht werden.

Neben laufenden Langzeitstudien arbeitet der Forscher zusammen mit Curaden bereits an weiteren neuen Produkten für die Mundhygiene.

Methoden

- Enzymsysteme, Enzymkinetik
- Stabilitäts- und Stressstudien
- Enzymimmobilisierung
- Orale Mikrobiologie, *Streptococcus mutans*
- Mikrokultur-basierte antibakterielle Assays
- Short exposure antibakterielle Assays
- Präklinische und klinische Studien
- Zahnpastaformulierung

Infrastruktur

- Plate reader Spektrofotometer
- Mikrobiologielabor Sicherheitsstufe 2
- Glovebox-Workstation

Förderung

- Innosuisse

Zusammenarbeit

- Curaden AG
- Zentrum für Zahnmedizin des Universitätsspitals Zürich

Wasserfilter für Notfälle

Sauberes Trinkwasser ist Luxus. In vielen Regionen der Welt ist das Wasser verschmutzt und voller unerwünschter Bakterien. Besonders akut ist das Problem bei humanitären Notfällen, wie etwa in Flüchtlingslagern. Hier muss eine einfache und kurzfristige Lösung her: der Haushaltsfilter. Obwohl es davon viele verschiedene auf dem Markt gibt, ist ihre Qualität sehr unterschiedlich. Forschende der HLS haben deshalb in drei Katastrophengebieten Filter getestet und gemeinsam mit der lokalen Bevölkerung Vorschläge für Produktverbesserungen gemacht.

Trockenheit, Überflutungen oder militärische Zerstörungen: Sie alle können Grund dafür sein, dass Menschen keinen Zugang zu einem funktionierenden, sauberen Wassersystem haben. Dies führt häufig zu humanitären Notfällen, die Hilfswerke zu mildern versuchen. Doch oftmals fehlen Zeit und Geld, um schnell ganze Wasserleitungssysteme zu installieren. Eine Alternative für die kurzfristige Versorgung mit sauberem Wasser sind Haushaltsfilter. Diese kommen bereits seit vielen Jahren zum Einsatz – doch mit unterschiedlichem Erfolg. Maryna Peter vom Institut für Entrepreneurship und ihr Team haben deshalb im Auftrag des Humanitarian Innovation Fund untersucht, welche Filter für die Anwendung in humanitären Notfällen am besten geeignet sind.

In dem Gemeinschaftsprojekt mit der Caritas Schweiz, der Eawag und der italienischen Hilfsor-

ganisation Cesvi haben die Forschenden eine vorgegebene Auswahl von fünf handelsüblichen Haushaltsfiltern getestet. Sie wollten wissen, wie gut sich die Filter zusammenbauen lassen, wie einfach ihre Handhabung ist, wie robust sie sind und ob sie das Wasser zuverlässig von Keimen befreien.

«Zuerst haben wir die Filter hier an der HLS im Labor untersucht», erklärt die Umweltingenieurin Peter. «Später wurden sie an Familien verteilt, die in Flüchtlingscamps in Somalia oder in ländlichen Gebieten in Kenia und dem Westjordanland leben. Die Familien wohnen dort in kleinen Haushalten, oft gemeinsam mit ihren Tieren. Es sind Gebiete, wo das Grundwasser einen hohen Salzgehalt hat oder wo aus politischen Gründen keine Brunnen gebaut werden können. Man versucht zwar, Regenwasser aufzufangen und zu speichern, doch dessen Wasserqualität ist nicht gut. Haushaltsfilter könnten da helfen.»

Haushaltsfilter bestehen in der Regel aus zwei Eimern. Im oberen steckt ein Filter, der das Wasser von Bakterien und anderen Mikroorganismen reinigt, der andere fängt das saubere Wasser



auf. So eine Filteranlage ist klein und praktisch. Sie lässt sich einfach zu Hause auf einen Tisch stellen. Peter und ihr Team testeten verschiedene Modelle von Keramikfiltern und Membranfiltern. Sie funktionieren beide nach dem gleichen Prinzip und besitzen kleine Poren, welche Bakterien auffangen, wenn das Wasser durchfließt. Keramikfilter gehen jedoch leichter kaputt und müssen von Hand gereinigt werden, wohingegen Membranfilter nicht mit der Hand angefasst werden sollten und Rückspülmechanismen haben.

Die Forschenden haben drei Filter aus Keramik und zwei Membranfilter getestet – in Kenia und dem Westjordanland jeweils 150 Filter, in Somalia 120. Teilnehmen durfte jede Familie, die wollte. Der Filtertyp wurde nach dem Zufallsprinzip zugeordnet. Eine Besonderheit der Studie war, dass jeder Haushalt nach den ersten vier Monaten einen zweiten Filter testen durfte. Peter erklärt: «Viele Bedürftige in Entwicklungsländern trauen sich nicht, etwas zu kritisieren. Sie haben beispielsweise Angst, dass sie dann keine humanitäre Hilfe mehr bekommen, oder sind aufgrund ihrer Kultur sehr zurückhaltend mit Kritik. Indem sie zwei Filter ausprobieren konnten, fiel es ihnen leichter, die Vor- und Nachteile zu vergleichen und Kritik zu üben. Das hat sehr gut funktioniert.»

Die technische Leistung der Filter – ihre tatsächliche mikrobiologische Reinigungswirkung – untersuchten die Forschenden an kostengünstig aufgebauten Teststationen vor Ort. Dabei zeigte sich, dass die Filter im Labor besser funktionierten als im praktischen Einsatz. Die Wasserqualität wurde zwar auch dort stark verbessert, jedoch weniger als von den Herstellern erwartet. Für die

Anwendung in Krisenregionen haben die Forschenden gemeinsam mit der Eawag einen Integritätstest entwickelt, mit dem Hilfsorganisationen unter einfachen Bedingungen künftig selbst testen können, ob die Filter richtig arbeiten.

Neben der Leistungsfähigkeit der Filter interessierte die Forschenden, ob die teilnehmenden Personen einen Filter selbstständig installieren konnten und ihn regelmässig benutzten. Dafür haben sie mit den Familien mehrere Videodokumentationen sowie Interviews durchgeführt und ihnen Gelegenheit gegeben, sich einen Tag lang über Erfahrungen und Verbesserungsvorschläge für die Filter auszutauschen. Von den untersuchten Produkten wurde einer der Keramikfilter am besten bewertet. Die Gespräche zeigten, dass die Filter technisch zwar alle sehr gut funktionieren, es aber von der Designseite her noch Potenzial gibt. Im Rahmen von drei Co-Design-Workshops haben die Forschenden deshalb gemeinsam mit den Nutzerinnen und Nutzern Ideen entwickelt, wie man die Filter verbessern kann. Das geht schon mit einfachen Mitteln, wie zum Beispiel Deckeln, damit keine Insekten in das Wasser gelangen, oder mit härteren Schläuchen zum Schutz vor Ratten.

«Nur durch die Feldtests vor Ort haben wir gesehen, welche Produkte akzeptiert werden und geeignet sind», sagt Peter. «Als Forschungsinstitut können wir die Hilfsorganisationen dabei unterstützen, Geld in Produkte zu investieren, die gut und zuverlässig in bestimmten Situationen funktionieren.» Die Erkenntnisse aus dem multinationalen Projekt verdeutlichen, wie wichtig Haushaltsfilter, ihre Weiterentwicklung sowie praktikable Testmethoden für Menschen in Krisengebieten sind.

Methoden

- Durchflusszytometrie
- Kostengünstige und einfache Feldmethoden für die Wasserqualitätsanalyse mittels mikrobieller Plattierungsmethoden (Nissui Compact Dry), Trübungs-, Sauerstoff- und Leitfähigkeitsanalyse
- Automatisierte Überwachung von Wasserverbrauch und Durchfluss mittels Solinst Dataloggers
- Mobiltelefonbasierte Datenerfassungsvorfahren und Fragebogen
- Methoden des humanzentrierten Designs (z.B. Co-Design-Workshop)

Infrastruktur

- Neu eingerichtete, kostengünstige Feldlabore zur Bestimmung der Filterintegrität, Rekontamination und Wiederverkeimung durch Plattierungsvorfahren für Enterococci, Escherichia coli und Gesamtkoliforme

Förderung

- Humanitarian Innovation Fund

Zusammenarbeit

- Caritas Schweiz
- Eawag
- Cesvi, IT
- Italienische Agentur für Entwicklungszusammenarbeit (AICS)
- Palästinensische Polytechnische Universität
- Jomo Kenyatta Universität für Landwirtschaft und Technologie, KE
- Elrha (Humanitarian Innovation Fund), UK

Umwelt und Ressourcen

In der Schweiz ist der schonende Umgang mit natürlichen Ressourcen aufgrund der Rohstoffarmut von grösster Wichtigkeit. Dazu zählt auch die nachhaltige Nutzung von Umwelt und Natur. In einem Schwerpunktbereich der HLS entwickeln die Forschenden daher umweltfreundliche Produktionstechnologien sowie Methoden zur Reinigung, Aufbereitung und Regeneration von Abfallprodukten. Gleichzeitig analysieren sie durch Chemikalien verursachte Auswirkungen auf Mikroorganismen und deren Folgen für Mensch und Umwelt.

Membranen nach Mass

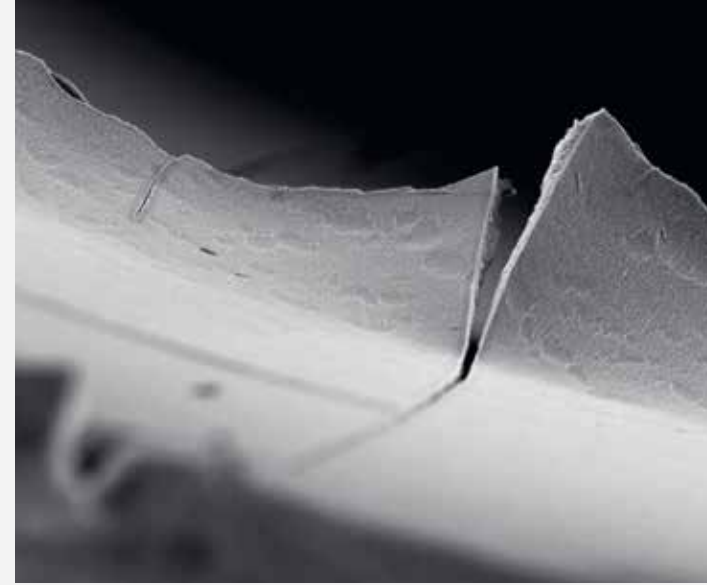
Wirtschaftlichkeit und Umweltschutz werden oft als Zielkonflikt wahrgenommen. Dabei zeigen Forschungsergebnisse, dass sich beide Faktoren verbinden lassen, wenn man knappe Ressourcen effizient einsetzt oder Rohstoffe zurückgewinnt. Im Fall des Elements Phosphor sind Forschende der HLS bereits auf dem richtigen Weg – mithilfe einer mehrschichtigen Membran, die sich je nach Bedarf masschneidern lässt. Damit haben sie in Laborversuchen bereits 90 Prozent Phosphor aus sauren Abfalllösungen recycelt. Die neue Technologie soll zur Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm zum Einsatz kommen.

Als ressourcenarmes Land ist die Schweiz abhängig von Rohstoffimporten. Diese Abhängigkeit lässt sich verringern, indem man Rohstoffe aus Abfallprodukten zurückgewinnt. Ein solches Abfallprodukt ist Klärschlamm. Dieser entsteht bei der Aufbereitung von Wasser in der Kläranlage und enthält neben Phosphor auch reichlich Metalle und Schwermetalle. Da Phosphor durch seinen Einsatz in Düngemitteln eine grosse wirtschaftliche Bedeutung hat, ist die Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm ab 2026 in der Schweiz Pflicht. Doch viele der bisherigen Recycling-Technologien sind aufwendig oder wirtschaftlich wenig effizient. Die Ingenieurin Kirsten Remmen vom Institut für Ecopreneurship der HLS hat nun eine Methode entwickelt, mit der sich Phosphor mittels Nanofiltration über eine schichtweise modifizierte Membran zurückgewinnen lässt, und hat so bestehende Prozesse verbessert.

Nanofiltration ist ein erprobtes Verfahren, das bereits in der Pharma- und Lebensmittelindustrie

eingesetzt wird. Im Gegensatz zur Mikro- und Ultrafiltration, bei der die Porengrösse darüber entscheidet, welche Partikel die Membran passieren können, funktioniert Nanofiltration über die Ladung der Ionen. «Membranen für die Nanofiltration sind selber geladen. Dadurch unterscheiden sie zwischen mehrwertig und einwertig geladenen Ionen», sagt Remmen. «Einwertig geladene Ionen können die Membran passieren, mehrwertige Ionen werden hingegen zurückgehalten.»

«Bevor aber der Klärschlamm zur Rückgewinnung des Phosphors überhaupt der Nanofiltration zugeführt werden kann, durchläuft er einen mehrstufigen Prozess. Dabei werden unter anderem Metalle, Schwermetalle und Phosphor mittels Säure herausgelöst», erklärt die Forscherin. Anschliessend werden die einzelnen Bestandteile mit einem weiteren Verfahren ganz voneinander getrennt. Für diese Abtrennung gibt es verschiedene Technologien. «In der Schweiz liegt der Fokus auf der sogenannten Flüssig/Flüssig-Extraktion. Man könnte aber ebenfalls eine Nanofiltration als finale Reinigungsstufe einsetzen, um die Qualität des Produkts weiter



zu verbessern», führt Remmen aus. Doch handelsübliche Nanofiltrationsmembranen sind zur Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm erst wenig effizient.

Mithilfe der Nanofiltration sollen Metalle zurückgehalten werden und nur der wichtige Phosphor die Membran passieren. Dafür haben Remmen und ihr Team die Eigenschaften der Nanofiltrationsmembran

Schicht für Schicht (Engl.: layer-by-layer, kurz LbL) verändert, insbesondere die Ladung der Membran. «Anders als bei einer herkömmlichen, negativ geladenen Nanofiltrationsmembran kann man eine LbL-Membran auch mit einer positiven Ladung versehen und damit die Ladungsstärke beeinflussen», erklärt die Ingenieurin. Je positiver die Ladung der LbL-Membran ist, desto mehr Metalle hält sie zurück.

Die Forschenden beschichteten eine Hohlfasermembran mit entgegengesetzt geladenen Polyelektrolyten, also Polymeren, die eine Ladung tragen. Von diesen gibt es welche mit positiver und mit negativer Ladung. Abwechslungsweise trägt man eine Plus- und eine Minusschicht auf, beide zusammen bilden einen sogenannten Bi-Layer. «Mit der Wahl der Art und Anzahl meiner Bi-Layer kann ich die Eigenschaft der Membran verändern und damit auch ihre Filtereigenschaften beeinflussen», führt Remmen aus. Der grosse Vorteil dieser Membran ist, dass sie viele Parameter besitzt, die sich einzeln einstellen und spezifisch auf eine Anwendung anpassen lassen, so etwa die Konzentration der Lösung oder die verwendeten Polyelektrolyte.

Remmen und ihr Team haben im Labor getestet, wie gut die LbL-Membran für die Rückgewinnung

von Phosphor geeignet ist. Ihr Versuch an einer sauren Modelllösung zeigte, dass die Membran 90 Prozent Phosphor passieren lässt, der anschliessend für Düngemittel weiter aufbereitet werden kann. Die unerwünschten Metalle in der Lösung wurden von der Membran zurückgehalten. Die Forscherin freut sich über den Erfolg: «Es gibt auf dem Markt noch keine wirklich befriedigende Lösung. Die LbL-Membran hat ein grosses Potenzial, saure Abfallströme zu reinigen und Rohstoffe zurückzugewinnen. Phosphor ist nur einer davon.»

Noch ein weiterer Vorteil spricht für den künftigen Einsatz von LbL-Membranen: ihre Durchflussrate. Diese war bei Remmens Versuchen zur Phosphorrückgewinnung 16 Mal höher als bei einer herkömmlichen Nanofiltrationsmembran. Das macht sie auch für die Wirtschaft interessant. Da herkömmliche Membranen der sauren, viskosen und osmotischen Flüssigkeit aus dem Klärschlamm einen hohen Widerstand entgegensetzen, benötigt man entweder eine Anlage, welche die Flüssigkeit mit hohem Druck durch die Membran presst, oder sehr viel Zeit. Mit der LbL-Membran reichen schon kleinere Anlagen für die Rückgewinnung, sodass die Investitionskosten sinken. Hohe Investitionskosten sind einer der Gründe, weshalb Rückgewinnung aus sauren Abfallprodukten kaum verbreitet ist. Zurzeit ist es noch wirtschaftlicher, die anfallende Säure zu neutralisieren und im Anschluss zu entsorgen.

Remmen ist von der Technologie der massgeschneiderten LbL-Membran überzeugt und entwickelt mit dem Unternehmen Pentair einen Prototyp dafür. Mit ihrem Team arbeitet sie daran, die LbL-Membran nun industrietauglich zu machen.

Methoden

- Nanofiltration
- Layer-by-Layer Modifikation

Infrastruktur

- Optische Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES)
- Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS)
- Rasterelektronenmikroskop (REM)

Förderung

- Schweizerischer Nationalfonds
- Innosuisse
- EU H2020

Zusammenarbeit

- RWTH Aachen, DE
- Technische Universität Delft, NL
- Pentair plc, UK
- Sandvik AB, SE
- Schwedisches Umweltforschungsinstitut (IVL)

«Die Layer-by-Layer Membran hat ein grosses Potenzial, Abfallströme zu reinigen und Rohstoffe zurückzugewinnen.»

Kirsten Remmen

500 Grad Hitze und Kalium

Bei der Reinigung von Abwässern fällt Klärschlamm an. Neben Biomasse und Schadstoffen enthält er auch gefällten Phosphor. Dieser wichtige Stoff für Düngemittel muss per Gesetz ab 2026 zurückgewonnen werden. Das soll die Schweiz unabhängiger von Phosphorimporten machen. In einem Prozess zur direkten Verarbeitung von Klärschlamm zu Dünger setzen HLS-Forschende auf Pyrolyse. Das thermische Verfahren unter Sauerstoffausschluss produziert Dünger von hoher Qualität, lässt sich gut in bestehende Kläranlagen integrieren und geht in Kürze in die Pilotphase.

Es gibt mehrere Gründe, weshalb Schweizer Landwirte Klärschlamm nicht auf ihre Felder aufbringen dürfen. Er ist mit schwer abbaubaren Chemikalien, Arzneimittelresten und giftigen Schwermetallen belastet, die versickern und für Lebensräume in Gewässern so zur Gefahr werden. Deshalb gilt die thermische Verwertung des Klärschlammes heute als Standard – er wird verbrannt. Der Nachteil des Verfahrens ist, dass der enthaltene Phosphor dabei verloren geht, der als Dünger grosse landwirtschaftliche Bedeutung hat.

Die Umwelttechnologiegruppe vom Institut für Ecopreneurship der HLS hat in Zusammenarbeit mit Industrie und Wissenschaft eine Technologie entwickelt, die den Klärschlamm tauglich für die landwirtschaftliche Nutzung macht. «Der Schwerpunkt des Projekts liegt auf der Integration des Verfahrens als Systembaustein in die bestehende Klärschlammverarbeitung. Damit

soll eine möglichst breite Anwendbarkeit erreicht werden», sagt der Leiter der Gruppe, Thomas Wintgens. Die am Projekt beteiligten Firmen und Forschungseinrichtungen haben praktische Erfahrungen, welche die gesamte Wertschöpfungskette von der Kläranlage bis zum Düngemiteleinsetz in der Landwirtschaft abdecken.

Hohe Temperaturen vernichten organische Schadstoffe

Der Kern des innovativen Verfahrens ist die sogenannte Pyrolyse. Wie die Verbrennung ist die Pyrolyse in der Chemie eine Methode zum Aufbrechen organischer Verbindungen unter hohen Temperaturen. Doch es gibt einen wichtigen Unterschied, wie der Projektleiter Anders Nätörp erklärt: «Bei der Verbrennung wird viel Sauerstoff zugesetzt, damit sich der Kohlenstoff vollständig zu CO₂ umwandelt. Bei der Pyrolyse hingegen geben wir wenig Sauerstoff zu, um andere thermische Umsetzungsprodukte zu erhalten. Wir sprechen dabei von einem reduktiven Prozess.» Das neue Verfahren sieht auch eine Verbrennungsstufe vor, die selbst die letzten



organischen Bestandteile vollständig umsetzt. Die Betriebstemperaturen jenseits von 500 Grad Celsius zerstören nicht nur sämtliche organischen Schadstoffe, sondern verdampfen auch Schwermetalle, die aus der Abluft des Verfahrens isoliert werden können.

Der Forschungsverbund konnte mit dieser Technologie schon Erfahrungen im Bereich industrieller und kommunaler Abfälle sammeln. Obwohl Vorstudien gezeigt haben, dass sich das Konzept gut zur Behandlung von getrocknetem Klärschlamm eignet, hatten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler eine andere Herausforderung zu meistern: Pflanzen konnten den Phosphor aus der Pyrolyseasche nicht so gut aufnehmen. «Bei der Pyrolyse entstehen unterschiedliche mineralische Verbindungen von Phosphor. Manche davon sind so stabil, dass sie nicht einmal die Zitronensäure auflösen kann, die von den Wurzeln einiger Pflanzen abgesondert wird», sagt Nätörp.

Kalium macht Pyrolyse-Schlamm zum Dünger

Erfolg hatten die Forschenden, indem sie zur Pyrolyse Kaliumverbindungen hinzugaben. Das Metall sorgt für die Entstehung anderer mineralischer Verbindungen, die für die Pflanzen besser verfügbar sind. «Mit dem Dünger aus der Pyrolyse erzielen wir in Topfversuchen eine agronomische Effizienz von 90 Prozent», berichtet Nätörp. «Die Pflanzen wuchsen also mit dem neuen Dünger fast genauso gut, wie Pflanzen, welche die gleiche Menge künstlich hergestellten Phosphordünger erhielten.»

Das Verfahren hat der Forschungsverbund patentieren lassen und auch schon einen Namen für den Dünger gefunden: Pyrophos.

Bevor der pyrolysierte Klärschlamm seinen Weg als Dünger in den Handel findet, muss er in einem letzten Verfahrensschritt für den effektiven Einsatz in der Landwirtschaft aufbereitet werden. Das betrifft sowohl die genaue Zusammensetzung des Düngers als auch dessen äussere Form. Dünger als Streugut hat standardisierte Granulatgrößen und enthält je nach Feldfrucht unterschiedliche Bestandteile, vor allem Kalium, Stickstoff und Phosphor. Indem sich der Forschungsverbund für Kalium als Zusatzreagenz in der Pyrolyse entschieden hat, deckt der Pyrophos-Dünger zwei der drei wichtigsten Elemente des Nährstoffbedarfs von Pflanzen ab. Wenn zusätzlich noch Stickstoff gebraucht wird, kann dieser einfach dem Pyrophos-Dünger beigemischt werden.

Kreislaufwirtschaft auf der Kläranlage

Die Kläranlage des Abwasserverbands Altenrhein dient den Forschenden als Testgelände für das Pyrophos-Verfahren: Dort werden Klärschlamm und Lebensmittelabfälle von 300 000 Einwohnern vergärt und anschliessend getrocknet. Die Kläranlage beliefert die benachbarte Zementindustrie mit Trockenschlamm als Brennstoff – wobei Phosphor in Zement eingebunden wird und verloren geht. Die Pyrophos-Projektgruppe prüft nun, ob diese Kläranlage als erste Anlage für das neue Verfahren geeignet ist. «Bisher haben wir im Kilomassstab produziert», sagt Wintgens, «jetzt skalieren wir auf den Tonnenmassstab. Damit wollen wir zeigen, dass unser Verfahren nicht nur den Phosphor rückgewinnen kann, sondern auch wirtschaftlich ist, und dies bei deutlich kleineren Ausbaugrößen verglichen mit konventioneller Klärschlammverwertung.»

Methoden

- Kalzinierung
- Nasschemie (Königswasser- und andere Aufschlüsse)

Infrastruktur

- Röntgenpulverdiffraktometrie (XRD)
- Optische Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES)
- Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS)

Förderung

- Innosuisse

Zusammenarbeit

- Abwasserverband Altenrhein
- CTU Clean Technology Universe AG
- Landor fenaco Genossenschaft
- Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL)

«Der Schwerpunkt des Projekts liegt auf der Integration des Verfahrens als Systembaustein in die bestehende Klärschlammverarbeitung. Damit soll eine möglichst breite Anwendbarkeit erreicht werden.»

Thomas Wintgens

Gesundheit und Daten

Der moderne Rohstoff unserer Gesellschaft ist Information. Analog zu klassischen Rohstoffen muss diese erst gewonnen und verarbeitet werden, damit sie sinnvoll genutzt werden kann. Mit den richtigen Algorithmen und Suchstrategien sowie einer massgeschneiderten Datenaufbereitung lassen sich Charakteristiken von Arbeitsabläufen, individuelles Verhalten und Zusammenhänge sichtbar machen. Die HLS will mit ihrem Schwerpunkt im Bereich der Informationstechnologien und -verarbeitung dazu beitragen, dass die Gesellschaft die grösser werdende Datenflut sinnvoll bündelt und nutzt.

Massgeschneiderte Versorgung

Forschende der HLS haben gemeinsam mit Schweizer Firmen ein Verfahren entwickelt, um Nährstoffe im Blut schnell und einfach zu messen – ganz ohne Arztbesuch. Für die zu Hause einfach durchführbare Blutentnahme genügen wenige Mikroliter Blut, um 20 verschiedene Stoffe zu analysieren. Die Ergebnisse gelangen per App auf das Handy und helfen somit, Nährstoffdefizite zu erkennen und gegenzusteuern. Die am Projekt beteiligten Firmen wenden das Verfahren bereits erfolgreich an und haben dafür im Bereich der technischen Infrastruktur aufgestockt sowie Arbeitsplätze geschaffen.

Personalisierte Medizin liegt im Trend. Ihre Grundlage sind Daten aus Blutproben und Stuhlanalysen, von Fitnesstrackern und Patientenfragebögen. Ihr Ziel: massgeschneiderte individuelle medizinische Behandlung statt standardisierter Therapie nach Lehrbuch. Die Philosophie dahinter: Jeder Mensch ist ein Individuum mit unterschiedlichen Gewohnheiten, einem eigenen genetischen Datensatz und ganz verschiedenen Mikroorganismen – dem Mikrobiom –, die ihn besiedeln. Diese Unterschiede beeinflussen nicht nur, ob Personen bestimmte Krankheiten bekommen können, sondern auch, wie der Körper Vitamine, Spurenelemente und andere Nährstoffe verarbeitet. Dementsprechend sind allgemeingültige Empfehlungen, beispielsweise zu Nahrungsergänzungsmitteln, nur unspezifisch und nicht auf die einzelne Person zugeschnitten. Das könnte sich bald ändern: Forschende der HLS haben in einer Industriepartnerschaft mit den

Schweizer Firmen Baze Labs AG und Swiss Analysis AG eine Methode entwickelt, mit der Vitamine, Aminosäuren, Spurenelemente und Omega-3-Fettsäuren in einem einzigen Blutstropfen gemessen werden.

Mit diesem Verfahren können sich Personen die nötige Menge Blut unkompliziert zu Hause selbst entnehmen, um sie dann zur Analyse zu schicken – und dies, sooft sie wollen. Dafür erhalten die Nutzenden per Post einen Kit zur schmerzfreien Blutabnahme. Diese Blutprobe schicken sie an das Labor und erhalten wenige Tage später per App eine Analyse und die Empfehlung, welche Nährstoffe sie ergänzen sollten. «Vitamine und Spurenelemente spielen bei der Vorbeugung von Krankheiten und für einen gesunden Lebensstil eine wichtige Rolle», erklärt Götz Schlotterbeck vom Institut für Chemie und Bioanalytik der HLS. «Viele Menschen haben das Bedürfnis, diese Parameter für ihren Körper regelmässig zu kontrollieren.»

Schlotterbeck und sein Team haben die Schweizer Firmen bei der Entwicklung der Analyse-methode und Programmierung der Analysegeräte



unterstützt. Die grösste Herausforderung für die Forschenden war die geringe Menge an Blut, welche für die Analyse zur Verfügung stand. «Wir arbeiten nicht mit einigen Millilitern wie bei herkömmlichen Blutentnahmen, sondern mit wenigen Mikrolitern», sagt Schlotterbeck. «Aus dieser kleinen Menge –

ein Mikroliter entspricht 0.001 Millilitern – eine robuste und valide Analytik abzuleiten, ist auch mit modernen Systemen nicht einfach.»

Schlotterbeck und sein Team forschten zunächst an einer Lösung im Bereich Trockenblut. Dabei sollte die Kundschaft, genau wie bei einer Blutzuckermessung, einen kleinen Stich in den Finger machen, anschliessend einen Tropfen Blut mit einer Karte auffangen und diese dann zurückschicken. Diese Methode funktionierte jedoch nicht so schmerzfrei wie gewünscht.

Da sich das Partnerunternehmen Baze zuerst auf den nordamerikanischen Markt konzentrierte, ergab sich die Möglichkeit für eine andere Art der Blutabnahme: mithilfe eines in den USA zugelassenen Geräts von der Grösse einer kleinen Computermouse. «Das Gerät saugt über Mikronadeln absolut schmerzfrei sehr geringe Blutmengen aus dem Oberarm. Die Kundinnen und Kunden senden den kleinen Apparat mit der flüssigen Blutprobe zurück an den amerikanischen Standort von Baze, wo die Proben für den Transport haltbar gemacht und dann in die Schweiz geschickt werden», sagt der Forscher. Hier sorgt das Unternehmen Swiss Analysis mit den von Schlotterbecks Team entwickelten Methoden für die Bestimmung der 20 Nährstoffe. Drei verschiedene Analyseverfahren kommen dabei zum Einsatz.

«Entscheidend war herauszufinden, welche Substanzen sich aufgrund ihrer physikochemischen Eigenschaften gut in Kombination analysieren lassen», erinnert sich der Forscher. Denn das grosse Ziel war Kosteneffizienz. Die Methoden sollten nicht nur robust und valide sein, sondern auch schnell. «Geschwindigkeit ist ein Schlüsselfaktor in der analytischen Chemie», betont Schlotterbeck. Je mehr man kombinieren kann, desto kürzer dauert die Gesamtanalyse. Das ist ein wichtiger finanzieller Aspekt, denn alle Nährstoffe wie bisher einzeln zu bestimmen, ist teuer und wenig realistisch für die regelmässige Anwendung im Rahmen der privaten Gesundheitsvorsorge.

Die vollständige Analyse von acht Vitaminen, sechs Spurenelementen, vier Aminosäuren und zwei Omega-Fettsäuren dauert jetzt weniger als einen Tag. Dann gehen die Auswertungen der Ergebnisse über eine App, die vom Institut für Wirtschaftsinformatik FHNW mitentwickelt wurde, zurück an die Kundschaft – zusammen mit Empfehlungen für geeignete Nahrungsergänzungsmittel.

Obwohl das Angebot bislang noch nicht in der Schweiz verfügbar ist, hat das von Innosuisse geförderte Projekt bereits einen positiven Effekt auf die Schweizer Wirtschaft. Um den Bedürfnissen der Konsumentinnen und Konsumenten entsprechen zu können, haben beide am Projekt beteiligte Firmen nicht nur in ihre technische Infrastruktur investiert, sondern auch zusätzliche Arbeitsplätze geschaffen. Die Methoden, welche an der HLS entwickelt und getestet wurden, gelangten direkt zu Baze und Swiss Analysis. Derzeit entwickeln die Forschenden mit einer weiteren Schweizer Firma bereits die nächste Methode – um auch noch Proteine zu analysieren.

Methoden

- Individualisierte Bestimmung der Mikronährstoffversorgung
- Fitness- und Ernährungsmarker in Blutproben
- Minimalinvasive Blutanalyse mit Mikroprobenmengen
- Multiple Reaction Monitoring (MRM)-Methoden

Infrastruktur

- Hochleistungsflüssigkeitschromatografie gekoppelt mit Triple-Quadrupol-Massenspektrometer (LC-MS/MS multiplex)
- Gaschromatografie mit Single-Quadrupol-Massenspektrometer (GC-MS)
- Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS)

Förderung

- Innosuisse

Zusammenarbeit

- Baze Labs AG
- Swiss Analysis AG
- Biognosys AG

«Die grosse Herausforderung war, mit einer kleinen Blutmenge eine robuste Analytik aufzubauen, die schnell, valide und kostengünstig ist.»

Götz Schlotterbeck

Reha durch virtuelles Bäumchen

In der Schweiz erleiden etwa 16 000 Menschen pro Jahr einen Schlaganfall. Viele von ihnen können ihren Arm oder ihr Bein nicht mehr richtig bewegen und brauchen schon für kleine Verbesserungen sehr lange. Das kann entmutigen. Um den Betroffenen zu helfen, haben Forschende der HLS in einem Kooperationsprojekt eine App mit Bewegungstracker entwickelt. Diese unterstützt insbesondere die Rehabilitation der Arme. Das raffinierte Belohnungssystem der App motiviert Patientinnen und Patienten und hilft ihnen bei gezielten Übungsaufgaben.

Viele Menschen verlieren nach einem Schlaganfall die Selbstständigkeit. Oft können sie weder laufen, noch etwas greifen oder die Gabel zum Mund führen. Grund dafür ist eine halbseitige Lähmung, auch Hemiparese genannt. Diese ist besonders im Armbereich sehr ausgeprägt. Ein Team um Denise Baumann vom Institut für Medizintechnik und Medizininformatik der HLS hat deshalb gemeinsam mit Partnerinnen und Partnern aus Wirtschaft und Forschung einen Weg gesucht, um den Kranken bei der Wiedererlangung ihrer Hand- und Armfunktion zu helfen.

In dem von Innosuisse geförderten Projekt namens ISEAR (Integriertes System zur Ermutigung für die Arm-Rehabilitation) ist ein spezielles Fitnessarmband mit dazugehöriger Handy-App der Schlüssel zum Erfolg. Die Medizintechnik-Ingenieurin Baumann erklärt: «In der ersten Rehabilitationsphase bemerken die Kranken, dass ihre körperlichen Fähigkeiten nicht spontan zurückkehren. In einer späteren, chronischen Phase werden einige

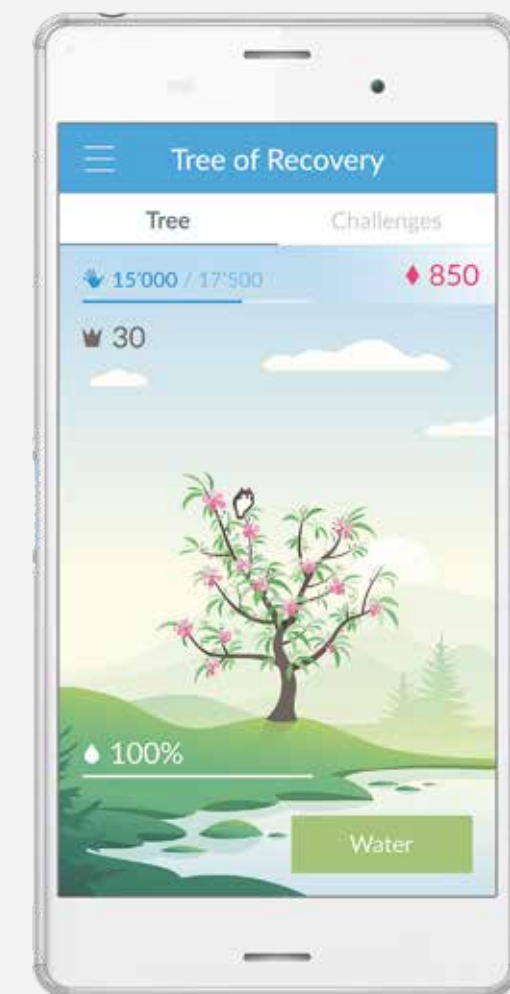
Fähigkeiten sogar noch schlechter, da der beeinträchtigte Körperteil nicht mehr benutzt wird. Genau da setzen wir an.»

Die Patientinnen und Patienten sollen dazu ermuntert werden, ihren Arm zu bewegen. Denn bereits unkoordinierte Bewegungen helfen, dass neue Nervenzellverbindungen geschaffen werden, um verlorene Funktionen zu übernehmen. Fachleute nennen diese Anpassungsfähigkeit des Gehirns Neuroplastizität. Dieser Effekt verstärkt sich durch wiederholte und kontrollierte Bewegungen. Nach einem Schlaganfall haben Betroffene deshalb schon in der Klinik eine intensive Physiotherapie und bekommen für zu Hause ein Übungsprogramm. «Damit das Training auch zu Hause erfolgreich ist, sind zwei Faktoren wichtig: die eigene Motivation und die Intensität», sagt Baumann.

Schon Gesunde wissen, welch positiven Effekt ein Schrittzähler am Handgelenk haben kann. Auf demselben Prinzip beruht auch der Tracker für die Armrehabilitation, der von der Firma yband therapy AG entwickelt wurde. Er verfügt, wie ein Schrittzähler, über Beschleunigungs- und Lagesensoren.

«In der Rehabilitation von Schlaganfällen sind Motivation und Intensität entscheidend. Genau da setzen wir an.»

Denise Baumann



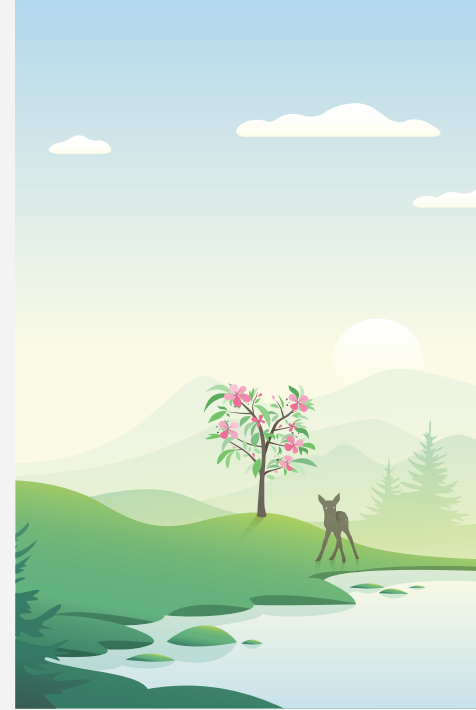
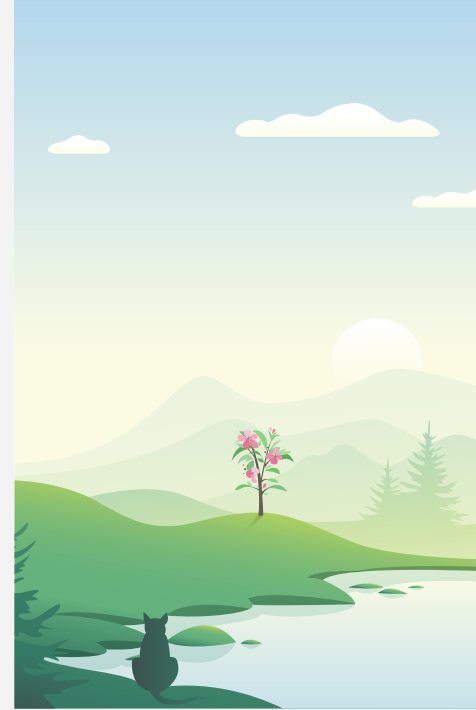
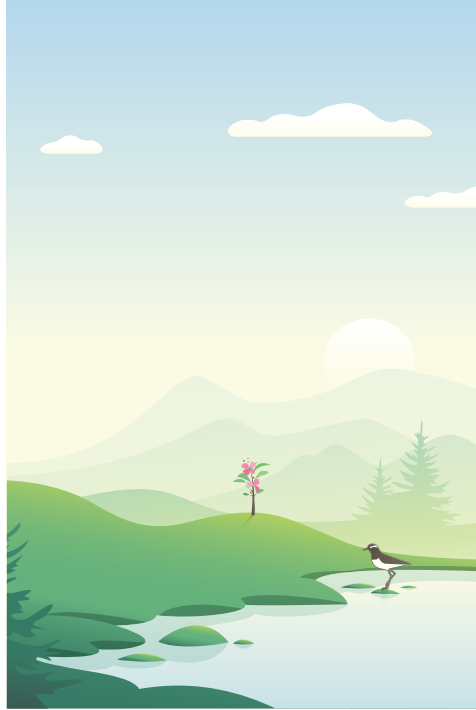
Aus deren Daten kann er durch einen an der HLS entwickelten Algorithmus die Schrittzahl berechnen. Das Kooperationssteam an der ETH Zürich entwickelte zusätzlich den Algorithmus zur Erkennung der Armaktivität. Beide Algorithmen sind im Mikrocontroller des Armbands hinterlegt. Die registrierten Parameter werden lokal im Armband gespeichert und mit der zugehörigen App «ArysmE» via Bluetooth synchronisiert und ausgewertet.

Baumann und ihr Team an der HLS haben diese App für iOS und Android programmiert.

«Die grösste Herausforderung lag darin, dass die Bewegungen korrekt erkannt und quantifiziert werden», berichtet Baumann, «also welche Signale oder Signalfolgen überhaupt als echte Bewegung zählen, welches Bewegungsmuster sie bilden und wie oft sie sich wiederholen. Diese Daten bilden die Grundlage für das Belohnungssystem.»

Das virtuelle Belohnungssystem heisst «Tree of Recovery», was etwa so viel bedeutet wie «Baum der Genesung», und entstammt einer Idee von zwei Bachelorstudenten der Zürcher Hochschule der Künste (ZHdK). Der Tree of Recovery ist als Bäumchen in der App sichtbar und wächst nur, wenn jemand aktiv war. Sobald vordefinierte Tagesziele erreicht oder Übungen korrekt ausgeführt wurden, verteilt das System als Belohnung virtuelle «Abzeichen». Diese kann man in virtuelles Giesswasser umwandeln, um seinen Tree of Recovery zu giessen und den Fortschritt in der Genesung zu sehen.

Am Anfang zeigt die App nur ein paar grüne Hügel und ein Bächlein. Der Recovery Tree beginnt als Keimling, der immer grösser wird und schliesslich den ganzen Bildschirm ausfüllt, wenn er regelmässig «Wasser» bekommt. Mit der Zeit «wachsen» auch Blätter und Blüten und es stossen Tiere zur Szenerie. Vernachlässigt jemand sein Training, behält der Baum zwar seine bisherige Grösse, trocknet aber aus. Durch das visuelle Feedback sollen die Patientinnen und Patienten motiviert werden, weiter an der Verbesserung ihrer Motorik und den individuellen Tageszielen zu arbeiten. Ein geeignetes Tagesziel errechnet der Tracker aus der durchschnittlichen Armaktivität. Zudem gibt es weitere Aufgaben, die man erfüllen muss, um Wasser für den Baum zu bekommen. «Drei Minuten intensive Armaktivität pro Tag ist eine solche Aufgabe», sagt Baumann. Der Tracker erkennt die Ausprägung der



«Die Zusammenarbeit mit der Industrie und anderen Hochschulen in diesem Projekt war herausfordernd und bereichernd.»

Denise Baumann

Bewegungen und stuft sie so als intensiv oder weniger intensiv ein.

Ausserdem lassen sich auch bereits gespeicherte Übungen trainieren. Dazu gehört etwa, dass man nach einem Gegenstand greift oder ihn zielgerichtet zum Mund führt. Eine Fachperson für Physiotherapie zeigt zunächst, wie die Übung geht, und die Patientin oder der Patient ahmt sie nach, bis sie möglichst ideal ist. Die Übung wird als Aufnahme im Tracker gespeichert und dient so als Bewegungsvorlage. Die App stellt die aufgezeichnete Vorlage später den täglichen Übungen gegenüber und vergleicht die Bewegungsmuster. Ist eine Übung korrekt, gibt es dafür eine virtuelle Belohnung, die den Recovery Tree wachsen lässt. Zudem können Fachpersonen für Physiotherapie über die professionelle App «Arys pro» die Daten zur Armbeziehung vergleichen und so den individuellen Fortschritt besser einschätzen. Um die Betroffenen zusätzlich zum Training zu motivieren, wurde eine Reminder-Funktion in das Armband eingebaut, die mittels Vibration an die Übungen erinnert.

Diese und andere Funktionen werden derzeit in einer klinischen Studie mit Patientinnen und Patienten am Universitätsspital Zürich untersucht. Die Forschenden interessiert, ob die Betroffenen mit der App und dem Armband gut zurechtkommen und ihre Armfunktion wiedererlangen und ob in der App noch Funktionen fehlen. Mit ihrer Arbeit hoffen sie, möglichst vielen Patientinnen und Patienten den Weg zurück in die Selbstständigkeit zu erleichtern.

Methoden

- Analyse und Prozessieren von Inertial-Messsignalen
- Messsignalbasierte Aktivitäts- und Bewegungscharakterisierung
- Dynamic Time Warping
- Applikationsentwicklung für mobile Geräte

Infrastruktur

- Inertial-Messsensoren
- Software-Werkzeuge zur hardware-nahen Softwareentwicklung
- Software-Werkzeuge zur Signal- und Datenverarbeitung
- Software-Entwicklungsumgebung mit Versionsverwaltungssystem und automatisierten Tests

Förderung

- Innosuisse

Zusammenarbeit

- yband therapy AG
- ETH Zürich
- Zürcher Hochschule der Künste ZHdK
- Universitätsspital Zürich

Mit Daten gegen das Zittern

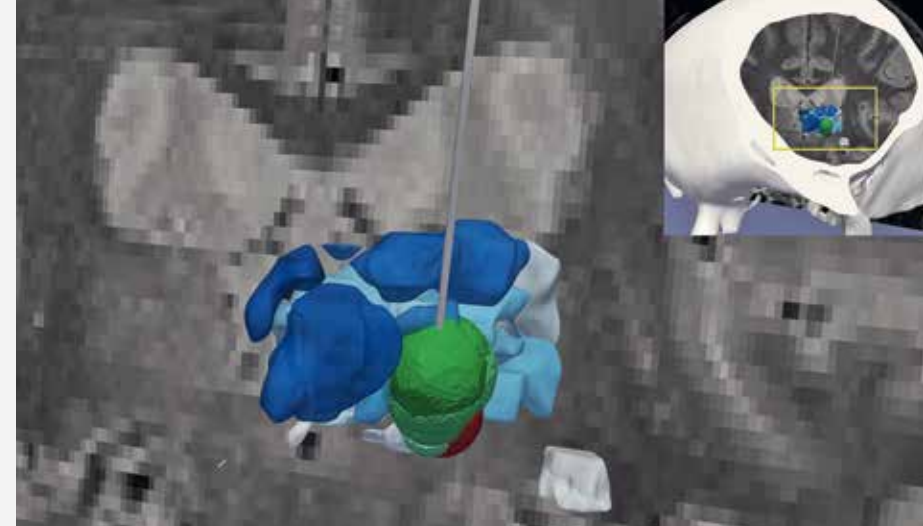
Forschende der HLS haben eine Methode entwickelt, um die Tiefenhirnstimulation bei der Parkinson-Krankheit noch präziser und damit wirkungsvoller zu machen. Die Tiefenhirnstimulation, bei der den Betroffenen eine Elektrode ins Gehirn implantiert wird, ist eine Behandlung gegen die typischen Symptome Zittern und Steifigkeit. Die Positionierung der Elektrode im Gehirn bestimmt, wie stark sich die Symptome verbessern. Mit der datengestützten, bildgebenden Methode der HLS soll sich der optimale Stimulationsort zuverlässiger identifizieren und der Eingriff besser planen lassen.

Parkinsonbetroffene leiden an unkontrollierbaren Bewegungsstörungen wie Zittern der Extremitäten und Muskelsteifigkeit. Ihre Ursache sind absterbende Nervenzellen in einem Gebiet im Mittelhirn, das die Motorik steuert: den Basalganglien. Bislang gibt es noch kein Heilmittel gegen die Krankheit. Eine Behandlungsmethode, welche die Symptome von Parkinson lindern kann, ist die Tiefenhirnstimulation. Sie funktioniert ähnlich wie eine Herzschrittmacher-Therapie und ersetzt die fehlerhafte Funktion der geschädigten Zellen. Das geschieht durch elektrische Impulse, die von einer Elektrode auf ein wenige Millimeter grosses Gebiet im Gehirn übertragen werden. Die Schwierigkeit dabei ist, die Elektrode genau an der richtigen Stelle im Gehirn zu implantieren. Bildgebende Verfahren wie die Magnetresonanztomografie (MRT) und die Computertomografie (CT) helfen zwar schon heute bei der Lokalisierung dieser Hirnregion, aber wo genau stimuliert werden muss, zeigen die Bilder nicht. Simone Hemm-Ode vom Institut für Medizintechnik und Medizininformatik (IM²) der HLS und ihr Team haben mit den «Improvement Maps» eine Methode

entwickelt, um während der Tiefenhirnstimulation die Veränderung der Krankheitssymptome zu messen und die gewonnenen Daten auf CT- und MRT-Bildern zu visualisieren.

«Mithilfe der Improvement Maps kann man schon im Operationssaal die Stellen im Gehirn identifizieren, an denen elektrische Stimulation die grösstmögliche Verbesserung auslöst», erklärt die Forscherin. «Man findet aber auch die Hirnareale, in denen eine Stimulation Nebenwirkungen verursacht, zum Beispiel Sprechstörungen.»

Weltweit wurden schon etwa 200 000 Menschen mit der Tiefenhirnstimulation therapiert, einige davon auch in der Schweiz. Bei dem dafür nötigen Eingriff wird ein kleines Loch in die Schädeldecke gebohrt und eine stecknadelgrosse Testelektrode bis zu den Basalganglien im Hirninneren geschoben. Dort beginnt die Messung der Neuronenaktivitäten – das sind elektrische Signale, die von den Nervenzellen ausgehen und die für jede Hirnregion typisch sind. Sie erleichtern beim Eingriff die Orientierung im Gehirn. An der richtigen Stelle angekommen, werden die betroffenen Bereiche mit



verschiedenen, sehr schwachen Stromstärken stimuliert. Die operierte Person ist während des ganzen Eingriffs wach, da bei einer Vollnarkose die therapeutischen Effekte nicht beobachtet werden können. Verbesserungen durch die Stimulation sind teilweise sofort sichtbar, so Hemm-Ode: «Beispielsweise zittert die Hand der Betroffenen im Ruhezustand. Wenn die Stimulation beginnt, nimmt es ab, und optimalerweise wird das Zittern durch die schwachen Stromreize schliesslich ganz unterdrückt.»

Bisher haben Ärztinnen und Ärzte die Informationen über die Stimulation während des Eingriffs im Operationssaal von Hand notiert: die Lokalisation der Elektrode im Gehirn, wie tief sie im Gewebe liegt, die Stromstärke, mit der die Hirnregion stimuliert wird, ihr jeweiliger Effekt auf die Krankheitssymptome und die Nebenwirkungen. Die Improvement Map macht all diese Informationen digital auf Einzelbildern sichtbar, Schicht für Schicht: In verschiedenen Blautönen sieht man die Hirnstrukturen wie zum Beispiel die Basalganglien. Diese Information stammt von vorgängig angefertigten MRT-Bildern. Darin sind verschiedene Felder auf einer Farbskala in Rot und in Grün zu sehen. Je dunkler das Grün, umso grösser war die Verbesserung der Symptome, zum Beispiel des Zitterns. Rot hingegen zeigt, wo Nebenwirkungen aufgetreten sind. Beide Bereiche können sich überlappen. Die

klärt Ashesh Shah, Postdoktorand am IM². Je kleiner das zu stimulierende Areal im Gehirn ist, desto weniger treten Nebenwirkungen auf. Hinzu kommt: Auch der benötigte elektrische Strom und damit der Stromverbrauch in der Batterie des Stimulators ist dann geringer. Diese Batterie befindet sich wie bei einem Herzschrittmacher unter der Haut und ist über ein dünnes Kabel mit der Elektrode verbunden. Je länger sie hält, desto besser, denn im Falle eines nötigen Batteriewechsels muss sich der Patient oder die Patientin einer erneuten, wenn auch kleinen, Operation unterziehen.

Die Forschenden der HLS haben die Improvement Maps gemeinsam mit einem Team der schwedischen Universität Linköping und der französischen Universitätsklinik Clermont-Ferrand entwickelt. Dafür haben sie bereits Daten von Kranken mit Zittern oder Parkinson genutzt, die im Rahmen einer klinischen Studie erfasst wurden. Anhand dieser Daten erstellten sie nach der Operation dreidimensionale Simulationsmodelle, die für die einzelnen Patientinnen und Patienten den Ort im Gehirn zeigen, dessen Stimulation die grösste Verbesserung bewirkt. Als nächsten Schritt will das Team diese Visualisierung in Echtzeit während der Operation verfügbar machen.

Information, wie stark ausgeprägt das Zittern oder die Steifigkeit ist, liefern Beschleunigungssensoren, die während der Untersuchung am Arm befestigt sind.

«Mit all diesen Informationen wollen wir den bestmöglichen Punkt finden, der für eine dauerhafte elektrische Stimulation geeignet ist», er-

Methoden

- Intraoperative quantitative Tremor- und Steifheitsmessungen
- Beschleunigungssensor-Datenaufnahme und -analyse
- Chirurgische Planung
- Patientenspezifische Gehirnmodelle der Thalamus-Region
- Patientenspezifische elektrische Feldsimulationen
- 3D-Datenanalyse
- Patientenspezifische Datenvisualisierung, 2D und 3D

Infrastruktur

- Beschleunigungssensoren
- Plattform zur Evaluation von klinischen Symptomen
- 3D-gedruckte Sensorgehäuse
- Datenerfassungssoftware
- Stereotaxierahmen
- Röntgensysteme
- Brainlab «iPlan» chirurgische Planungssoftware und Export-Tool
- Matlab zur Datenanalyse
- Paraview zur Datenvisualisierung

Förderung

- Schweizerischer Nationalfonds
- SATW Germaine de Staël

Zusammenarbeit

- Universitätsspital Basel
- Inselspital Bern
- Universitätsspital Clermont-Ferrand, FR
- Universität Linköping, SE

Kurzmeldungen

K. o. für K.-o.-Tropfen

Der Missbrauch von Buttersäure-Derivaten im Schweizer Nachtleben nimmt zu: Gammahydroxybutyrat (GHB) und Gamma-butyrolacton (GBL) wirken in niedrigen Dosen euphorisierend und tragen in der Clubszene klingende Namen wie Fantasy, Liquid Ecstasy oder Blue Nitro. Das grösste Problem dieser Stoffe ist aber nicht der Eigenkonsum: «Diese Substanzen sind vor allem gefährlich, weil sie als K.-o.-Tropfen in Getränke gemischt werden. Sie führen zuerst zu Schwindel und Übelkeit und lösen nach weniger als einer halben Stunde ein Koma aus», berichtet der HLS-Biochemiker Eric Kübler. Nach dem Aufwachen können sich die Opfer meistens an gar nichts mehr erinnern. Als Mittel zur Vorbeugung entwickelt Kübler mit seiner Forschungsgruppe und Fachleuten aus der Industrie einen Schnelltest, der innerhalb von Sekunden anzeigt, ob ein Getränk mit den gefährlichen Substanzen versetzt ist.

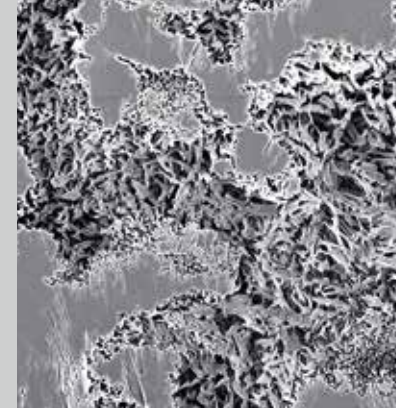
Die chemischen Details für den Nachweis waren dem Forschungsteam bereits aus einem Vorgängerprojekt bekannt. «Wir hatten herausgefunden, dass ein enzymatischer Test am besten geeignet ist», so Kübler. Der Technologietransfer von der Klinik an die Bar setzt voraus, dass der Test praktikabel, eindeutig und kostengünstig ist. Das Resultat ist ein unscheinbarer Filterpapierstreifen auf einem Kunststoffträger. Das Know-how verbirgt sich zunächst unsichtbar im Filterpapier, das mit dem chemischen Testsystem imprägniert ist. Enthält ein Getränk die Buttersäure-Derivate GHB oder GBL, verfärbt sich der Teststreifen innerhalb von Sekunden in ein dunkles Violett. Somit können Barbesucherinnen und Barbesucher ihr Getränk einfach selbst überprüfen.

Das chemische Testsystem besteht aus fünf Substanzen. Drei davon, die Enzyme, werden momentan noch im Labormassstab hergestellt, für grössere Mengen ist geplant, die Einrichtung im neuen Verfahrenstechnik-



zentrum der HLS zu nutzen. Kübler: «Dort können wir genug Enzyme herstellen – selbst wenn das Produkt die Marktreife erreicht und im industriellen Massstab produziert wird.» Die hauseigene Produktion hält nicht nur die Kosten gering, sondern war auch für die Entwicklung wichtig, wie der Biochemiker erklärt: «Die Hintergrundreaktionen, die von süssen oder sauren Zutaten in Mischgetränken und vor allem vom Alkohol ausgelöst werden und ebenfalls zu einer Violettfärbung des Teststreifens führen, waren eine Herausforderung. Zudem müssen die Enzyme schnell genug wirken und dürfen kein falsch positives Signal

anzeigen. Daher haben wir verschiedene Varianten der Enzyme getestet, die wir alle zuerst herstellen mussten.» Derzeit überprüfen die Forschenden die Haltbarkeit der ersten industriell produzierten Charge. Bald schon sollen die «dip&read»-Teststreifen wie Gehörschutz gratis an Bars und in Clubs zur Verfügung stehen.



Milchsäureherstellung auf sanfte Weise

Milchsäure konserviert Lebensmittel und ist die Grundlage für einen nachhaltigen und biologisch abbaubaren Kunststoff. Sie wird mehrheitlich durch ein biotechnologisches Verfahren gewonnen, bei dem immer noch Chemikalien zum Einsatz kommen, die später wieder aufwendig entfernt werden müssen. Forschende der HLS haben dazu eine Alternative entwickelt: Sie isolieren und reinigen die Milchsäure mit einem Membranverfahren direkt, nachhaltig und ohne zusätzliche Chemikalien.



Tabletten: Eiskalt, staubtrocken und blitzschnell

Forschende des Instituts für Pharma Technology der HLS haben in Zusammenarbeit mit der Firma Rohrer AG aus Möhlin ein neues Herstellungsverfahren für Tabletten entwickelt, die sich innerhalb von wenigen Sekunden im Mund auflösen – ganz ohne zusätzliche Flüssigkeit. Dies ist nicht nur praktisch, sondern macht die Medikamenteneinnahme auch für Menschen einfacher, die Probleme mit dem Schlucken haben. Dass sich die Tablette so schnell auflösen kann, liegt an ihrer Herstellung: Sie wird gefriergetrocknet und hat eine sehr poröse Struktur. Dadurch kann das im Speichel enthaltene Wasser sofort eindringen, die Tablette auflösen und ihre Wirkstoffe freisetzen.

In dem von Innosuisse geförderten Projekt haben die Forschenden eine Anlage entwickelt, in der Tabletten

ihre Form erst in der Verpackung annehmen: Eine Maschine füllt die kleinen Einbuchtungen des Tablettenblisters zuerst mit einem Feststoffgemisch und dann mit einer Flüssigkeit aus Wirkstoffen und Hilfsstoffen. Dafür hat die Firma Rohrer einen Prototyp im Labormassstab gebaut. Die feuchte Masse wird mit flüssigem Stickstoff gekühlt, bevor eine Vakuumpumpe dem tiefgefrorenen Gemisch das Wasser entzieht. Das Eis darf dabei keinesfalls schmelzen, sondern muss direkt in den gasförmigen Zustand übergehen. Sonst verklumpen die Tabletten und können sich nicht mehr so schnell auflösen. Mittels systematischer Kontrolle von Mischungsverhältnissen, Temperatur und Stärke des Vakuums ist es den Forschenden gelungen, dass sich die Tabletten unbeschadet aus der Packung entnehmen lassen und sich innerhalb von maximal zehn Sekunden im Mund auflösen, ohne ein

unangenehmes Gefühl hervorzurufen. Gegenüber gewöhnlichen Gefriertrocknungsverfahren, die oft einen ganzen Tag oder länger beanspruchen, haben die Forschenden den Trocknungsprozess auf wenige Stunden reduziert. Sie haben das patentierte Verfahren bereits für Wirkstoffe wie Insulin, Ibuprofen oder Vitamin C getestet.

Inspiziert vom Blut der Kamele

Medizinische Diagnostik und Behandlungen mit Antikörpern sind zielgerichtet und haben sich als Alternative neben herkömmlichen Medikamenten etabliert. Forschende vom Institut für Chemie und Bioanalytik haben jetzt eine neue Klasse von Antikörpern – «Sybody» genannt – getestet, die Kamelen entstammt. Sie wurden im Forschungslabor von Markus Seeger an der Universität Zürich entwickelt. Diese Fragmente sind nur ein Zehntel so gross wie herkömmliche Antikörper und haben eine Reihe von Vorteilen, die sie zu Kandidaten für die immunologische Diagnostik oder die Behandlung von Krankheiten machen.

Antikörper sind Proteine, mit denen sich der Organismus gegen Fremdstoffe wie etwa Bakterien wehrt. Das Funktionsprinzip dahinter ist einfach: Auf der Oberfläche von Bakterien und anderen Fremdstoffen befinden sich Moleküle – die Antigene –, die eine charakteristische Form haben. Das Immunsystem bildet gegen diese Strukturen gezielt Antikörper, die genau auf diese Form passen und nur daran andocken. Diese Selektivität macht Antikörper für die Medizin so interessant, zudem verursachen



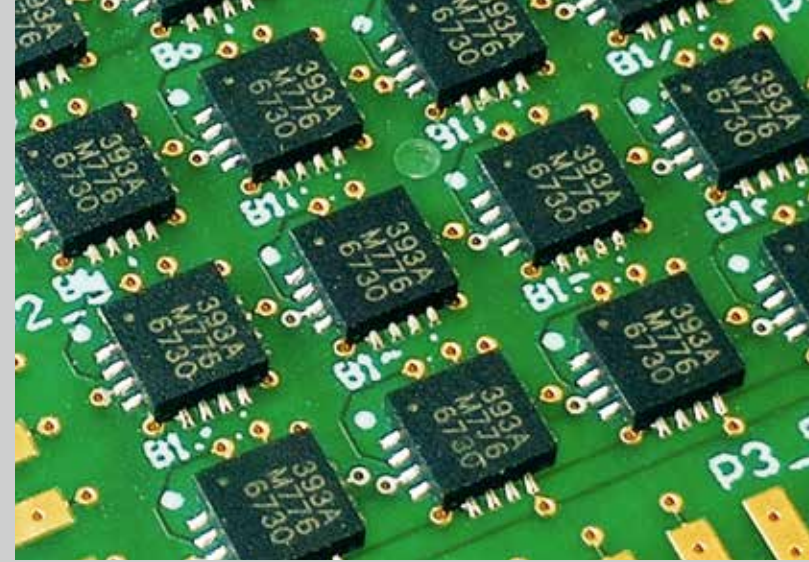
sie wenig Nebenwirkungen. Sie werden beispielsweise schon zur Behandlung von Rheuma, Krebs und Multipler Sklerose sowie als Impfstoff gegen Infektionskrankheiten verwendet. Gekoppelt an ein Radionuklid, machen sie Tumorzellen oder Entzündungen sichtbar.

Antikörper haben eine charakteristische ypsilonartige Form, wobei das Ypsilon aus mehreren kleinen Fragmenten besteht, den sogenannten Domänen. Entscheidend für die hohe Selektivität der Antikörper, mit der sie nur an bestimmte Antigene andocken, ist

das äusserste Stück der zwei kurzen Arme des Ypsilons. «Eigentlich genügt für die Bindung an die jeweiligen Oberflächenstrukturen nur dieser kleine, genau passende Teil der Antikörper», erklärt Daniel Gyax, Biochemiker an der HLS. «Dieses Protein würde für die Wirkung ausreichen.»

Gyax und sein Team haben die von Seegers Forschungsgruppe veränderten Antikörperfragmente der Kamele mit biophysikalischen Methoden charakterisiert. Insbesondere haben die Forschenden untersucht, wie schnell diese Sybodies Antigene binden und

wann sich die Bindung wieder auflöst. Sie haben die Sybodies gewählt, weil deren wirksames Fragment nur aus einer Polypeptidkette besteht und es sich daher einfach und schnell künstlich in Bakterien herstellen lässt. Aufgrund ihrer Grösse haben die kleinen Sybodies noch weitere Vorteile: So gelangen sie schneller ins Gewebe und werden schneller verstoffwechselt.



Gewusst wo – auch im MRT

In modernen Magnetresonanztomografen (MRT) besteht ein statisches Magnetfeld, das 60 000-mal stärker ist als das der Erde. Kleine Abweichungen dieses Felds machen das MRT zu einem bildgebenden Verfahren. Mit diesen sogenannten «Magnetfeldgradienten» lassen sich Resonanzsignale messen und orten. Das ermöglicht es, die Beschaffenheit von Strukturen im menschlichen Körper zu bestimmen.

Forschende am Institut für Medizintechnik und Medizinformatik haben eine Methode entwickelt, um diese Magnetfeldgradienten mithilfe von neun Magnetfeldsensoren präzise zu vermessen. Das Ergebnis ist eine dreidimensionale Karte, welche die Stärke und Ausrichtung der Gradienten im Inneren der MRT-Röhre darstellt. In Echtzeit

und für jeden einzelnen gemessenen Punkt. Dieses Verfahren erweitert den Anwendungsbereich des MRTs. Da die Magnetfeldsensoren nur einige Mikrometer klein sind, lassen sie sich in EKG-Elektroden oder in chirurgischen Werkzeugen anbringen, um deren Position in der Röhre in Echtzeit zu verfolgen. Das Konzept eignet sich auch zur Charakterisierung der Gradienten-Qualität: Das System arbeitet schnell genug, um die millisekundenkurzen Felder zu erfassen, was bei der Qualitätskontrolle und Charakterisierung neuer Magnet-Designs helfen kann.



Neue Quellen für Scandium

Rare Dinge sind wertvoll. Das gilt auch für Scandium. Das Element gehört zu den Seltenen Erden und wird zum Beispiel in Brennstoffzellen eingesetzt. Als Legierung mit Aluminium erhöht es die Festigkeit von Flugzeugbauteilen. Scandium kommt nur als Begleitelement in Erzen vor, die in aussereuropäischen Minen gefördert werden – oder in Abfällen aus der chemischen Industrie. Diese sind in Europa vorhanden. Im Rahmen des EU-Projektes SCALE untersuchen Forschende der HLS, wie man das seltene Element mittels Membranfiltration aus Abfallströmen herausziehen kann. Eine effiziente Technologie der Rückgewinnung kann zur unabhängigen Versorgung Europas mit Scandium beitragen und damit wichtige Wirtschaftszweige sichern.

Ausgewählte Kooperationen

Kooperationen National

Abwasserverband Altenrhein, AICOS Technologies AG, Aigys AG, AO Foundation, Atesos medical AG, Bazè Labs AG, BEE Medic GmbH, BG Ingénieurs Conseils SA, BiognoSYS AG, bNovate Technologies SA, Bruag Fire Protection AG, Bundesamt für Umwelt (BAFU), BÜHLMANN Laboratories AG, Bundesamt für Gesundheit (BAG), BWT AQUA AG, Caritas Schweiz, CIS Pharma AG, Creabeton Matériaux AG, Credentis AG, CSEM Centre Suisse d'Électronique et de Microtechnique SA - Recherche et Développement, CTU Clean Technology Universe AG, Curaden AG, Edelweiss Connect GmbH, Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung & Gewässerschutz (Eawag), Eidgenössisches Departement für auswärtige Angelegenheiten (EDA), Eidgenössisches Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport (VBS), Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa), École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH Zürich), Fachhochschule Westschweiz (HES-SO), Felix Platter-Spital, Ferrum AG, Fondation du Centre Suisse de Toxicologie Humaine Appliquée - SCAHT, Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL),

Hamilton Bonaduz AG, HeiQ Materials Ltd, Hochschule für Technik Rapperswil, Hochschule Luzern, INOFEA AG, Inselspital Bern, InSphero AG, Jakob Härdi AG, Kanton Basel-Land, Kantonsspital Baselland, Landor fenaco Genossenschaft, Lonza AG, MagnebotiX AG, Memo Therapeutics AG, MemO3 GmbH, Mems AG, MMI Schweiz AG, Novartis Forschungstiftung, Novartis Pharma AG, Omya International AG, Orchid Orthopedics Switzerland, Orvinum AG, Paul Scherrer Institut, regenHU SA, Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana (SUPSI), Sensile Medical AG, Sensoptic SA, SKAN AG, SOFIES SA, Swiss Analysis AG, Syngenta Crop Protection AG, Terre des hommes, Thommen Medical AG, Universität Basel, Universitäts-Kinderspital beider Basel, Universitäts-spital Basel, Universität Zürich, Universitätsspital Zürich, vanBaerle AG, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW)

Kooperationen International

Abwasserverband Braunschweig, ADASA Sistemas S.A.U., Alma Mater Studiorum-Università di Bologna, APEVA SE, AquaMinerals B.V., Avecom, Benkei SAS, Biopolus Intezet Nonprofit, Biopox AS, Catalan Water Agency, Center for Physical Sciences and Technology Vilnius, Centre Technique Industriel de la Plasturgie et des Composites, Cesvi Fondazione, Chemitec, Covestro Deutschland AG, Cranfield University, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Dimos Athinaion, Etaireia Ydreyses Kai Apochetefseos Proteyoysis, European Science Communication Institute, Fondazione Istituto Italiano di Tecnologia, Georg Thieme Verlag KG, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Help Tech GmbH, Hochschule Furtwangen, IEG Technologie GmbH, Institute of Communication and Computer Systems, IPStar B.V., iSYS Medizintechnik GmbH, Italienische Agentur für Entwicklungszusammenarbeit (AICS), Jomo Kenyatta Universität für Landwirtschaft und Technologie, Kauno technologijos universitetas, Kompetenzzentrum Wasser Berlin Gemeinnützige GmbH, KWR WATER B.V., METfilter, National Technical University of Athens,

Norner Research AS, Organic Waste Systems N.V., Oxford PV, Palästinensische Polytechnische Universität, Pentair plc, Plastics Recyclers Europe, Poten Environmental Engineering (Beijing) Co. Ltd, Provincie Zuid-Holland, Qualicaps Europe S.A.U., Region of Gotland, RWTH Aachen, S.C. Apa Nova Bucuresti, Sandvik AB, Schwedisches Umweltforschungsinstitut (IVL), Severn Trent Water Ltd, Sigma Clermont, Solenne BV, Strane Innovation SAS, STTP Emballage, Technische und Wirtschaftswissenschaftliche Universität Budapest, Technische Universität Delft, Terre des hommes Lausanne, Tetra Pak Packaging Solutions AB, Universitat de Valencia, Universität Duisburg-Essen, Universität Heidelberg, Universität Linköping, Universität Mainz, Universitätsspital Clermont-Ferrand, University of Bath, University of Exeter, University of Oxford, Water Supply and Sanitation Technology Platform, Waterschap De Dommel, Ytl Property Holdings (UK) Ltd

Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW

Die Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW ist eine regional verankerte Bildungs- und Forschungsinstitution. Sie hat sich als eine der führenden und innovationsstärksten Fachhochschulen der Schweiz etabliert.

Die FHNW umfasst neun Hochschulen mit den Fachbereichen Angewandte Psychologie, Architektur, Bau und Geomatik, Gestaltung und Kunst, Life Sciences, Musik, Lehren- und Lehrerbildung, Soziale Arbeit, Technik und Wirtschaft. Die Campus der FHNW sind an Standorten in den vier Trägerkantonen Aargau, Basel-Landschaft, Basel-Stadt und Solothurn angesiedelt.

Rund 12 500 Studierende sind an der FHNW immatrikuliert. Rund 800 Dozierende vermitteln in 29 Bachelor- und 17 Master-Studiengängen sowie in zahlreichen Weiterbildungsangeboten praxisnahes und marktorientiertes Wissen.

Die Absolventinnen und Absolventen der FHNW sind gesuchte Fachkräfte.

Neben der Ausbildung hat die anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung an der Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW hohe Priorität. Gemeinsam mit nationalen und internationalen Partnern aus Industrie, Wirtschaft, Kultur, Verwaltung und Institutionen setzt die FHNW Forschungsprojekte um und wirkt an europäischen Forschungsprogrammen mit. Die FHNW fördert den Wissens- und Technologietransfer zu Unternehmen und Institutionen. 2018 umfasste die anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung 1251 Forschungsprojekte sowie 371 Dienstleistungsprojekte.

Ansprechpartner



Hochschule für Life Sciences
Prof. Dr. Falko Schlottig
Direktor
Hofackerstrasse 30
CH-4132 Muttenz
+41 61 228 55 71
info.lifesciences@fhnw.ch



**Institut für Medizintechnik
und Medizininformatik**
Prof. Dr. Erik Schkommodau
Institutsleiter
+41 61 228 54 19
erik.schkommodau@fhnw.ch



**Institut für Chemie
und Bioanalytik**
Prof. Dr. Sebastian Wendeborn
Institutsleiter
+41 61 228 55 45
sebastian.wendeborn@fhnw.ch



**Institut für
Pharma Technology**
Prof. Dr. Georgios Imanidis
Institutsleiter
+41 61 228 56 36
georgios.imanidis@fhnw.ch



**Institut für
Ecopreneurship**
Prof. Dr. Philippe Corvini
Institutsleiter
+41 61 228 54 85
philippe.corvini@fhnw.ch



Erfahren Sie mehr über die Hochschule für Life Sciences FHNW auf www.fhnw.ch/hls oder auf unseren Social Media-Kanälen:



Impressum

Herausgeberin

Hochschule für Life Sciences FHNW

Konzept und Projektleitung

Sabine Goldhahn

Redaktion, Text und Korrektorat

Goldhahn GmbH, Baden

Grafisches Konzept und Gestaltung

Dienstleistungsplattform

Institut Visuelle Kommunikation

Hochschule für Gestaltung und Kunst FHNW

Bildnachweis

Uwe Pieles (Titelseite, S. 4/5, S. 18/19, S. 24/25)

Sabine Goldhahn (S. 3)

Oliver Germershaus (S. 7)

Photothèque ICube (S. 9)

Felix Schuler (S. 10/11)

©[gradt]/Adobe Stock (S. 13)

©[GooD_WiN]/Adobe Stock (S. 14/15)

Luca Ledermann (S. 16/17)

Theodor Bühler und Kirsten Remmen (S. 20/21)

Sarah Symanczik (S. 22/23)

©[F16-ISO100]/Adobe Stock (S. 26/27)

yband therapy AG (S. 29 und 30)

Ashesh Shah (S. 33)

©[S-Motive]/Adobe Stock (S. 34)

Theodor Bühler (S. 35 links),

©[Piccolo]/Adobe Stock (S. 35 rechts)

©[Hunta]/Adobe Stock (S. 36)

Sven Altermatt (S. 37 links)

Sebastian Hedwig (S. 37 rechts)

Jürg Isler (S. 41)

Druck

Sprüngli Druck AG, Villmergen

Auflage

500

Erste Ausgabe, September 2019

Die Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW
setzt sich aus folgenden Hochschulen zusammen:

- Hochschule für Angewandte Psychologie FHNW
- Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik FHNW
- Hochschule für Gestaltung und Kunst FHNW
- **Hochschule für Life Sciences FHNW**
- Musikhochschulen FHNW
- Pädagogische Hochschule FHNW
- Hochschule für Soziale Arbeit FHNW
- Hochschule für Technik FHNW
- Hochschule für Wirtschaft FHNW

Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW
Hochschule für Life Sciences
Hofackerstrasse 30
CH-4132 Muttenz

T +41 61 228 55 77
info.lifesciences@fhnw.ch
www.fhnw.ch/lifesciences