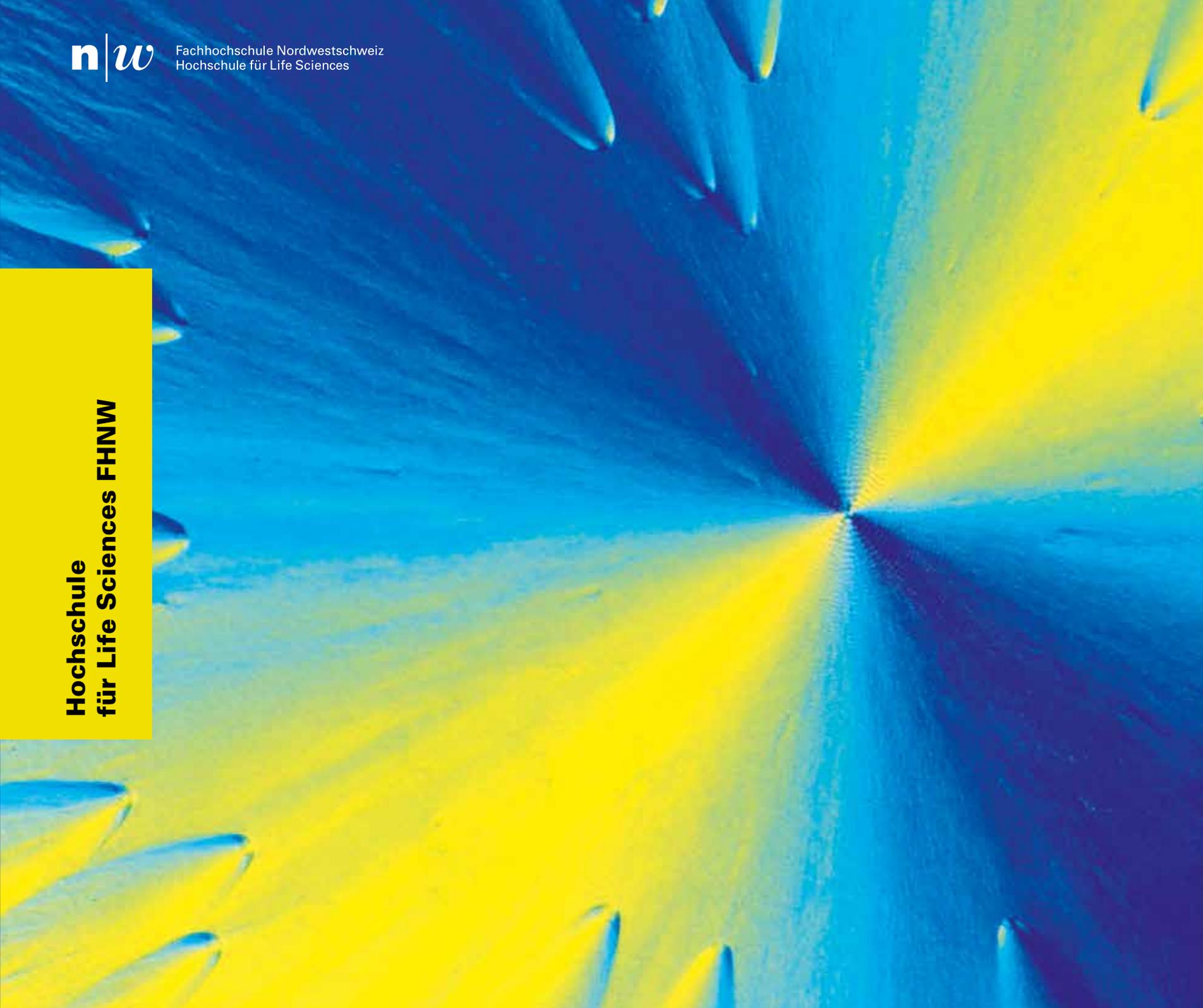




Fachhochschule Nordwestschweiz
Hochschule für Life Sciences

**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

Durch die Corona-Pandemie musste sich der neue FHNW Campus Muttenz schon im dritten Jahr nach seiner Einweihung unter ganz besonderen Bedingungen beweisen. Falko Schlottig, Direktor der Hochschule für Life Sciences FHNW (HLS FHNW), zieht eine positive Bilanz. Der Campus ist mit seiner modernen und flexiblen Infrastruktur nicht nur für die Zukunft bereit, sondern auch genau richtig für die Gegenwart.

«Dass wir bisher so gut durch die Corona-Zeit gekommen sind und sich unsere Hochschule gut weiterentwickelt hat, ist der grossartigen Leistung unserer Mitarbeitenden und der guten Zusammenarbeit mit unseren Studierenden zu verdanken.»

Falko Schlottig

Herr Schlottig, ein wichtiges Ziel bei der Entwicklung des neuen Campus war es, mehr Zusammenarbeit zu ermöglichen. Hat sich das heute – 3 Jahre nach der Einweihung – so entwickelt, wie Sie sich das damals vorgestellt hatten?

Verschiedene Plattformen ziehen sich bereits durch die gesamte Hochschule. Manche davon sind formalisiert, wie etwa bei Digital Life Sciences, andere entstanden und entstehen rein aus der informellen Zusammenarbeit über verschiedene Institute hinweg, wie beispielsweise bei Biofabrication oder 3R. Wir sind also auf einem sehr guten Weg, aber wir haben noch ein ganzes Stück Strecke vor uns.

Welchen Einfluss haben solche fachübergreifenden Projekte auf die Hochschule und in welche Richtung soll es gehen?

Wir konnten neue Schwerpunkte setzen und das Profil der Hochschule schärfen. So arbeiten wir zum Beispiel intensiv am Thema Digitalisierung

der Life Sciences. Es beginnt bei der Life Sciences-spezifischen Informatik basierend auf unseren natur- und ingenieurwissenschaftlichen Kompetenzen und geht über Optimierungs- und Modellierungslösungen bis hin zu Diagnostik-, Analytik-, Medizininformatik-, Nachhaltigkeits-, Prozess- und Automatisierungsthemen. Im Mittelpunkt steht auch hier die Arbeit an Problemlösungen für Fragen aus der Praxis. Dank solcher Schnittstellen sehen wir, wo wir uns als Hochschule weiter stärken müssen. Viele Diskussionen, sowohl intern als auch mit den Kolleginnen und Kollegen in der Industrie, helfen dabei.

Wie kommt der Campus bei den Studierenden und Forschenden an?

Er hat die Sichtbarkeit und Attraktivität der Hochschule und ihres Leistungsangebots in den Bereichen Ausbildungen, Weiterbildung und Forschung deutlich erhöht. Die meisten unserer Mitarbeitenden und Studierenden sind extrem zufrieden mit dem Campus – gerade was die Laborinfrastruktur betrifft.

Welche Bedeutung kommt dem neuen Process Technology Center (PTC) zu?

Das PTC ist einzigartig für eine Hochschule. Wir können dort vom Versuchsaufbau bis zum grossen Massstab die ganze Produktionskette abbilden. Das begeistert die Studierenden, egal ob sie Antikörper herstellen, Bier brauen oder Tabletten pressen. Sie lernen dabei die technologisch relevanten Prozesse – und das eben nicht nur in einem Kleinelabor, sondern in einem Massstab, mit welchem man sehr nah an der Praxis ist. Auch für die Industrie und andere Forschungsinstitutionen ist das PTC ein Alleinstellungsmerkmal unserer Hochschule. Die Zusammenarbeit ist hier wesentlich intensiver geworden.

Welche Neuerungen sind für die Ausbildung und Weiterbildung an der Hochschule geplant?

Wir haben einen neuen Masterstudiengang entwickelt: Medical Informatics. Diese Kombination aus Medizininformatik und Wirtschaftsinformatik war aus den Startlöchern heraus sehr erfolgreich. Gleichzeitig entwickeln und aktualisieren wir die bestehenden Angebote in den Bachelor-, Master- und Weiterbildungsprogrammen ständig weiter. Mit unserem Fachbeirat und unseren Industriepartnern diskutieren wir intensiv, welche Kompetenzen es für die Zukunft braucht, und nehmen diese in die Aus- und Weiterbildung auf.

Stichwort Corona-Pandemie: Bietet so ein Campus wie Muttenz da Vorteile?

So viele moderne Labore in so grosser Nähe zu haben, hilft uns enorm, diese schwierige Zeit zu meistern. Indem wir die Forschung in zwei Schichten organisiert haben, konnten wir trotz der Einschränkungen ohne Stillstände weiterarbeiten. Es liessen sich auch alle Praktika der Studierenden durchführen. Dafür haben wir ebenfalls im Schichtmodell gear-



beitet oder die Praktika in-house verschoben. Indem unsere Studierenden gemeinsam an Praktika teilnahmen, sind sie miteinander wenigstens ein bisschen in persönlichen Kontakt gekommen.

Was waren in dieser Zeit die wichtigsten Ziele der Hochschule?

Die Ausbildung qualitativ und inhaltlich so vollständig wie möglich anzubieten, die Gesundheit unserer Studierenden und Mitarbeitenden zu gewährleisten und einen Beitrag für die Gesellschaft zu leisten. Dass wir bisher so gut durch die Corona-Zeit gekommen sind und sich unsere Hochschule gut weiterentwickelt hat, ist der grossartigen Leistung unserer Mitarbeitenden und der guten Zusammenarbeit mit unseren Studierenden zu verdanken. Wir versuchen auch während der Pandemie für unsere Studierenden alles zu ermöglichen, was im Rahmen der Umstände machbar ist. Das geht nur mithilfe der unkonventionellen Ideen, des Engagements, des Herzbluts und des Einsatzes unserer Mitarbeitenden.

Medizin und Technologie

In der Gesundheitsvorsorge und der 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 FHNW praxisnahe Lösungen für das digitale Zeitalter. Mit modernen Pharmatechnologien unterstützen sie die Entwicklung neuartiger Medikamente und Anwendungsformen.

Komplexe Leiden entschlüsseln

Viele Krankheiten können trotz jahrzehntelanger Forschung noch immer nicht erfolgreich behandelt werden. Oft versteht die Wissenschaft ihre Ursachen zu wenig. Das betrifft insbesondere Krankheiten, bei denen verschiedene Faktoren zusammenwirken, wie etwa chronische Lebererkrankungen oder Alzheimer. Auch die Diagnose dieser Leiden erfolgt häufig erst spät. Forschende an der HLS FHNW modellieren diese Krankheiten nun mit ausgeklügelten Zellkultursystemen, um die Mechanismen dahinter besser nachzuvollziehen. So leisten sie auch einen Beitrag zur Reduktion von Tierversuchen.

Krankheiten entstehen nicht immer durch eine einzige Ursache, wie etwa die Cholera durch das Bakterium *Vibrio cholerae*. Oft entwickeln sie sich durch das Zusammenspiel verschiedener Faktoren, zum Beispiel durch eine genetische Veranlagung, einen ungesunden Lebensstil und Umwelteinflüsse. Da eine klare kausale Zuordnung häufig nicht gelingt, nennt man sie komplexe Krankheiten. Sie sind oft schwer zu diagnostizieren und zu behandeln. Die Zellbiologin Laura Suter-Dick vom Institut für Chemie und Bioanalytik der HLS FHNW hat sich der Erforschung dieser Krankheiten auf zellulärer Ebene verschrieben: «Eine erfolgreiche Therapie gelingt erst, wenn man die molekularen Mechanismen versteht, die einer komplexen Krankheit zugrunde liegen. Es können verschiedene Faktoren sein, die

dabei zusammenwirken und den Anstoss zur Krankheitsentstehung geben – oder sie lösen jeder für sich alleine ähnliche zelluläre Vorgänge aus, die dann die Krankheit triggern.»

Um solche Prozesse zu untersuchen, arbeiten Forschende wie Suter-Dick mit Miniaturvarianten echter Organe, sogenannten 3D-Modellen oder Organoiden. Diese Modelle enthalten organspezifische Zelltypen, die in ihrer Funktion und räumlichen Anordnung ein echtes Organ gut nachahmen. Aber auch Krankheiten lassen sich in den Modellen simulieren. So entwickelt Suter-Dick in ihrem Labor der Zellbiologie und In-vitro-Toxikologie an der HLS FHNW raffinierte, dreidimensionale Zellkultursysteme, mit denen sie beispielsweise chronisch erkranktes Lebergewebe oder Alzheimer nachbildet. Die Forscherin und ihr Team möchten damit Marker für eine frühzeitige Diagnose und Behandlungsmöglichkeiten finden. Nicht zuletzt sollen präventive Massnahmen gesucht werden, um die Krankheitsentstehung ganz zu verhindern. «Je früher man eine Krankheit erkennt, desto effektiver kann man sie behandeln», so Suter-Dick.

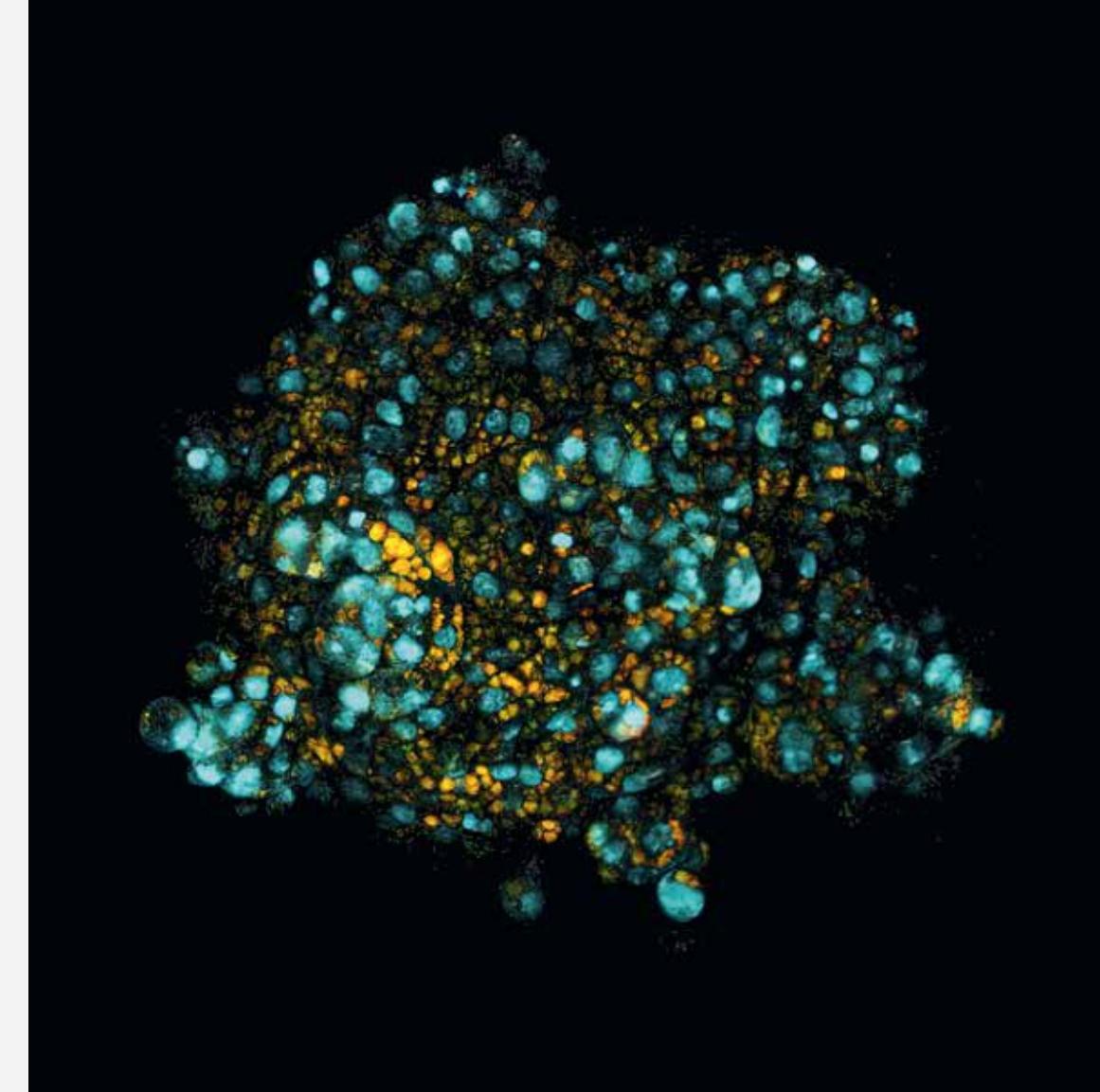
Von der Zelle zum Modell

Die Wissenschaftlerin richtet ihre Forschung nach den 3R-Prinzipien aus. Diese drei «R» – «replace»,

«reduce» und «refine» – bezeichnen eine Leitlinie, die den verantwortungsvollen Umgang mit Versuchstieren sowie die Verminderung und den Ersatz von Tierexperimenten zum Ziel hat. «Oft braucht es kein Tiermodell», erklärt Suter-Dick. «Wenn wir im Labor die physiologische Architektur eines Gewebes nachbauen, schaffen wir es damit auch, seine physiologische Funktion abzubilden.» Dementsprechend baut die Forscherin ihre Zellsysteme so auf, dass sie dem Gewebe ähneln, das sie nachahmen sollen. Dazu gehört, dass die Modelle nicht bloss aus einem Zelltyp bestehen. Denn richtige Organe brauchen für ihre Funktionsfähigkeit verschiedene Zelltypen, in denen unterschiedliche Prozesse ablaufen. Diese müssen unter den passenden Bedingungen gezüchtet werden. Bereits hier beginnt die Nachahmung der untersuchten Krankheit: Wenn die Forscherin eine bestimmte Krankheit simulieren will, werden die Zellen schon während des Wachstums den krankheitsauslösenden Faktoren ausgesetzt.

Beispiel Leberleiden

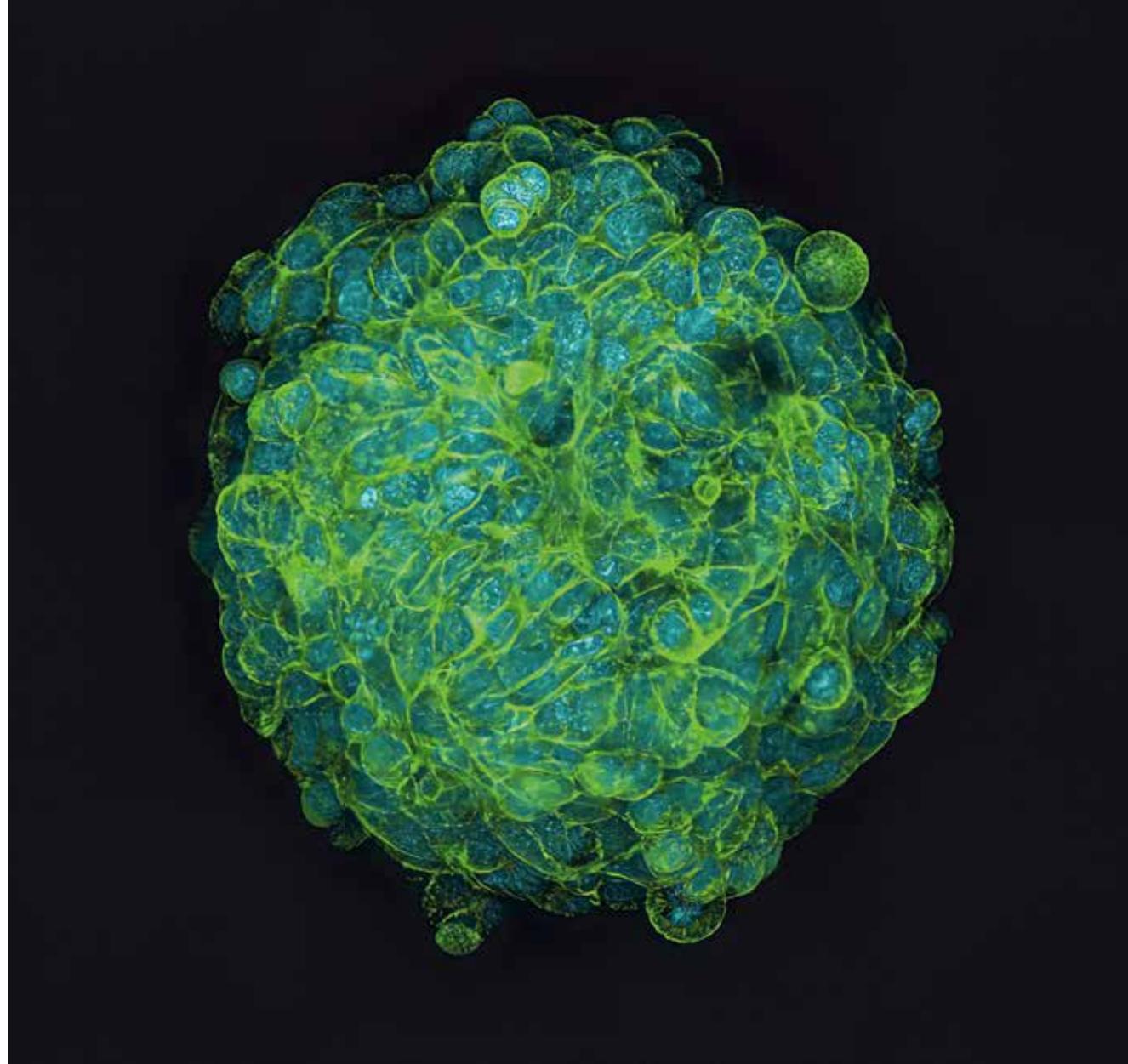
Ein Beispiel für ein Krankheitsmodell, mit dem die Gruppe von Suter-Dick langjährige Erfahrung besitzt, ist die Leberfibrose. Bei diesem Umbauprozess in der Leber werden aufgrund eines chronischen Krankheitsgeschehens durch krankhaft aktivierte Zellen Kollagenfasern abgelagert, sodass das Lebergewebe nach und nach durch Bindegewebe ersetzt wird und das Organ vernarbt. Die Ursachen dafür sind vielfältig. Sie umfassen etwa chronische Entzündungen aufgrund von Virusinfektionen wie der Hepatitis C, aber auch manche Medikamente oder Toxine, die über längere Zeit die Leber belasten. Zum Beispiel kann anhaltend hoher Alkoholkonsum eine Fettleber verursachen, die ebenfalls Fibrosen begünstigt. Fettlebern entstehen jedoch auch aus anderen Gründen; Fachleute sprechen



dann von der Non-Alcoholic Fatty Liver Disease (NAFLD). Diese Fettlebererkrankung ohne Alkoholeinfluss ist in westlichen Ländern die häufigste Leberkrankheit. Sie kann durch eine unerkannte Stoffwechselerkrankung bedingt sein oder durch eine ungesunde Lebensweise. So findet man sie am häufigsten bei Übergewicht und Adipositas, worunter zunehmend auch Kinder leiden. Wenn Betroffene infolge einer Fettleber oder anderen Ursache eine

«In unseren Modellen können wir menschlichen Zellen dabei zuschauen, wie sie die Eigenheiten einer Leberfibrose oder der Alzheimer-Krankheit entwickeln.»

Laura Suter-Dick



Leberfibrose entwickeln, kann daraus eine Leberzirrhose werden: Die Leber verliert ihre Funktionsfähigkeit und muss oft durch ein Transplantat ersetzt werden. Leberzirrhosen führen zudem nicht selten zu Leberzellkrebs.

Leberfibrosen in der Kulturschale

Suter-Dick verwendet für ihre Leber-Zellkulturen drei Typen menschlicher Zellen: Nebst Hepatozyten – den Hauptzellen in der Leber – auch Kupffer-Zellen, die für die lokale Immunantwort verantwortlich sind, und Stern-Zellen. Letztere bilden die Kollagen-

fasern in der vernarbenden Leber und spielen deshalb bei der Entstehung von Fibrosen und Zirrhosen eine entscheidende Rolle. An ihren Lebermodellen in der Kulturschale untersucht Suter-Dick, wie die Leberfibrose entsteht und welche molekularen Signale sie anzeigen. «Nach längerer Behandlung mit Gallensäuren und anderen Stimuli haben unsere Modelle eindeutig Zeichen der Entwicklung einer Fibrose gezeigt», berichtet die Wissenschaftlerin. «Die Zellen im Modell haben dabei auch spezifische Marker der Leberschädigung, sogenannte mikroRNAs freigesetzt. Das ist deshalb interessant, weil erhöhte mikroRNAs, vor allem die mikroRNA-122, auch in Tierversuchen und bei Menschen mit Leberschädigung im Blut detektierbar sind.» Somit stellen die mikroRNAs Kandidaten für Biomarker dar, die nicht nur in vitro, sondern auch in der Klinik relevant sein könnten. Mit ihnen würde sich die Diagnostik von Krankheiten verbessern und damit wiederum der Beginn von Therapien.

Die Forscherin hat an ihren Modellen mit der neuen Technologie der Einzelzellsequenzierung auch gemessen, welche Abschnitte des Erbguts in den einzelnen Zellen gelesen und umgesetzt werden. So konnte sie vergleichen, welche Stoffwechselprozesse in der gesunden und der fibrotischen Leberzellkultur besonders aktiv sind. Sie beobachtete auch, wie sich Zellpopulationen im Laufe der Krankheit verändern. So können spezifische Ansätze für die Behandlung der Leberfibrose gefunden werden.

Alzheimer auf der Spur

Solche neuen Ansätze sind auch für Alzheimer dringend gefragt. Die neurodegenerative Krankheit führt zum Zelltod von Neuronen im Gehirn. Bis jetzt ist jedoch ungeklärt, was für Mechanismen den Krankheitsprozess verursachen. Eine vererbare Form der Alzheimer-Krankheit konnte jedoch

mit bestimmten genetischen Mutationen in Verbindung gebracht werden. Das Team um Suter-Dick hat Vorläufer-Zellen von Neuronen genetisch so modifiziert, dass sie charakteristische Eigenschaften der Alzheimer-Demenz aufweisen. In der Zellkultur konnten die Forschenden diese Zellen dann in verschiedene Zelltypen differenzieren: So entstanden reife Neuronen und Astrozyten, zwei der wichtigsten Zelltypen im Gehirn. Dabei entwickelten sich «gesunde» Vorläufer-Zellen zu gesunden Neuronen und «kranke» Vorläufer zu kranken Neuronen. «Natürlich kann sich die Alzheimer-Krankheit in der Zellkultur nicht mit Gedächtnisstörungen und anderen kognitiven Beeinträchtigungen zeigen», erklärt Suter-Dick. «Aber wir sehen dieselben biochemischen Veränderungen, die auch im Gehirn von Alzheimer-Betroffenen stattfinden: die Bildung von Beta-Amyloid-Plaques und die Veränderung und Ansammlung des Tau-Proteins.» Die Krankheitsentwicklung im Modell braucht etwa sechs bis zehn Wochen. Das ist für einen Prozess in Zellkultur relativ lange. Doch dieser langsame Verlauf entspricht gut dem chronisch fortschreitenden Charakter der Krankheit im Menschen.

In der Kulturschale können die kranken und die gesunden Neuronen nun miteinander verglichen werden. Diese neu entwickelte Vorgehensweise soll in einem Folgeprojekt dazu genutzt werden, die grundlegenden Mechanismen der Alzheimer-Krankheit und entsprechende therapeutische Ansätze weiter zu untersuchen. Die 3D-Zellkultursysteme helfen dabei nicht nur, den Einsatz von Tierversuchen zu verringern. Sie ermöglichen es, Krankheitsprozesse an menschlichen Zellen zu modellieren und dabei die Entstehung und Behandlung von Krankheiten noch besser zu untersuchen.

Methoden und Infrastruktur

- Allgemeine Zellkulturmethoden
- 3D-Zellkulturmodelle und mikrofluidische Systeme (MPS: mikrophysiologische Systeme)
- Enzymatische, biochemische und Immundetektionsmethoden (zur Bestimmung der Protein-Expression)
- Durchflusszytometrie und Zellsortierung (FACS)
- Bildgebung, inkl. konfokale Mikroskopie
- Molekularbiologische Methoden, inkl. Einzelzellsequenzierung

Förderung

- Stiftung Schweizerisches Zentrum für Angewandte Human-toxikologie – SCAHT
- Innosuisse
- F. Hoffmann-La Roche AG
- BRIDGE Programm, Schweizerischer Nationalfonds und Innosuisse

Zusammenarbeit

- InSphero AG
- CSEM Schweizerisches Zentrum für Elektronik und Mikrotechnik AG
- Haute École Arc, HES-SO

Sensor-Socke statt Gipsabdruck

Damit eine orthopädische Schiene gut sitzt, ist ein präzises Modell essenziell. Statt dieses mühsam mittels Gipsabdruck herzustellen, kann man in Zukunft ein messendes Textil verwenden. Dafür haben Forschende der HLS FHNW eine Prototyp-Socke entwickelt, die Fussstellungen millimetergenau in 3D erfasst. Dies ermöglichen kleine Sensoren, die in die Socke eingebaut sind und Magnetfeldwerte messen. Für die Anwendung wird nur ein schwaches Magnetfeld über der Behandlungsliege benötigt. Dann kann die Form eines Fusses, der die Socke trägt, innert weniger Sekunden aufgezeichnet werden.

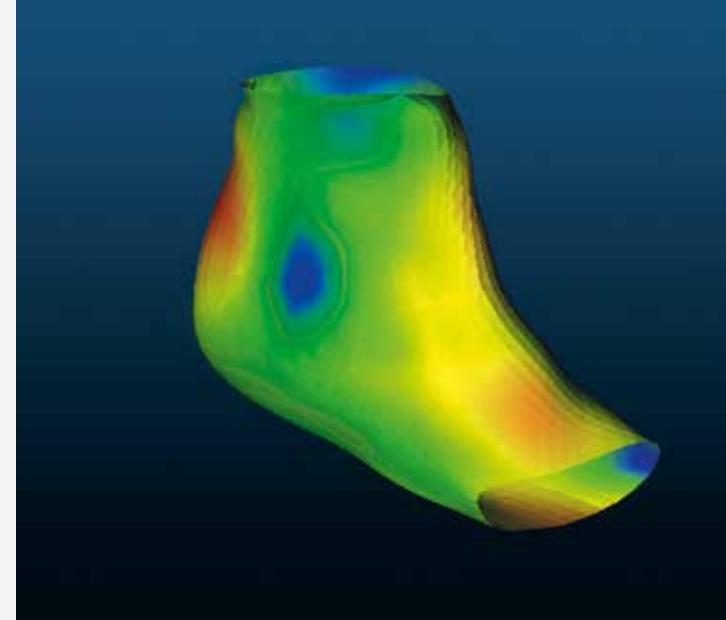
«Unser Mess-Textil liefert auf Knopfdruck dieselben Daten wie ein Gipsabdruck. Und da sie genauer sind, lassen sich damit bessere Orthesen fertigen.»

Joris Pascal

Orthopädische Schienen korrigieren Gelenkfehlstellungen, entlasten bei Schmerzen oder stabilisieren. Ihre Herstellung ist ein manueller Geschicklichkeits-Parcours: Die Fachperson für Orthopädietechnik muss den Fuss der Patientin oder des Patienten, etwa einen Spitzfuss, exakt in die richtige Lage bringen. Nur wenn es ihr gelingt, diese Position digital aufzuzeichnen, kann sie eine passgenaue Schiene herstellen. Dafür hält sie mit einer Hand den Fuss in der gewünschten Position, während ihre andere Hand ihn mit einer Gipsbinde umwickelt. Sie lässt den Gips trocknen, schneidet die harte Hülle auf und kann nun mit einem optischen 3D-Scanner die innere Form des Gipsabdrucks erfassen. So erhält sie das Computer-Modell, auf dessen Grundlage sie eine patientenspezifische Korrekturschiene – die Orthese – herstellt. Dieses aufwendige Prozedere verkürzen Forschende der HLS FHNW auf einen simplen Knopfdruck. Dafür arbeiten sie an einer elektronisch verknüpften Socke, die in Sekundenschnelle Fusslagen aufzeichnen

kann. Patientinnen und Patienten bräuchten die Socke bloss anzuziehen. Sobald ihr Fuss richtig positioniert ist, kann eine Fachperson via Fusspedal oder Sprachbefehl die Messung auslösen. Nichts würde nass oder schmutzig, die Fachperson hätte beide Hände frei und zum Schluss ein präzises Modell für die Orthese.

«Die Idee solch einer intelligenten Socke zur Orthesenherstellung hatte der Orthopädiemeister Thomas Ruepp schon anfangs der 90er-Jahre, und gemeinsam mit meinem FHNW-Kollegen Ralf Schumacher haben wir die Möglichkeit, Sensoren in Textil zu integrieren, dann patentieren lassen», erzählt Joris Pascal vom Institut für Medizintechnik und Medizininformatik der HLS FHNW. Doch erst jetzt wird sie dank eines interdisziplinären Projekts realisiert. Elektroingenieure der HLS FHNW haben gemeinsam mit dem Gesundheitstechnologie-Start-up Bellwald Tec erfolgreich eine Prototyp-Socke entwickelt. Sie ermöglicht es, Fussstellungen innert weniger Sekunden auf zwei bis drei Millimeter genau zu vermessen. Die Grundlage dafür bilden über hundert kleine Magnetfeld-Sensoren, die in



die Socke eingearbeitet sind. Wenn die Socke am Fuss in ein geeignetes Magnetfeld eingebracht wird, liefern die Sensoren an eine elektronische Kontrolleinheit Messwerte, anhand derer die Position jedes Sensors eindeutig berechnet wird. Aus der entstandenen Punktwolke lässt sich dann mit einer Software die Fussform als digitales 3D-Modell rekonstruieren. Dieses kann schliesslich wie bei der herkömmlichen Orthesenherstellung dreidimensional gedruckt werden, um eine Schiene daran anzupassen. Es kann auch direkt als Vorlage für eine am Computer konstruierte Schiene dienen. «Wir wollten eine Lösung, die nahtlos dem gewohnten Arbeitsablauf der Fachpersonen für Orthopädietechnik folgt», sagt Pascal. Von dem intelligenten Textil versprechen sich Pascal und sein Team nicht nur einen für alle Beteiligten erleichterten Schienenherstellungsprozess, sondern auch einen grösseren Therapieerfolg. Denn «eine Schiene, die gut sitzt, wird auch zuverlässiger getragen», so der Forscher.

Die Sensor-Socke ist dem Forscher zufolge genauer als ein Gipsmodell. Denn bei Gips reichen in der Trocknungsphase schon kleine Fussbewegungen, um die Gipsform zu verändern; zudem kann die Genauigkeit des Gipsabdrucks durch das Aufschneiden und Öffnen beim Abnehmen beeinträchtigt werden.

Deshalb müssen noch oft zwei oder drei verschiedene Schienenversionen hergestellt werden, bis es keine Druckstellen mehr gibt. Die Krankenkasse zahlt für Orthesen jedoch einen Pauschalbetrag. «Manche Betroffene verzichten aus Kostengründen auf eine zweite Version und tragen ihre unbequeme Schiene nur selten», sagt Pascal. «Die Folge kann eine bleibende Fehlstellung sein, die womöglich zu Gehbeeinträchtigungen und Arbeitsunfähigkeit führt.» Wird hingegen ein Spitzfuss oder eine andere Gelenkfehlstellung bei einem Kind früh genug korrigiert, kann es als Erwachsener besser gehen. Gute Orthesen helfen daher der Lebensqualität und sind auch wirtschaftlich attraktiv.

Für ihren Prototyp haben die Forschenden eine ausgeklügelte Elektronik entwickelt, in der alle Sensorchips auf einer einzigen flexiblen Leiterplatte angeordnet sind. So konnten sie ein Gewirr aus Dutzenden Einzelleitungen vermeiden. Dank eines speziellen Kommunikationsprotokolls kommunizieren alle Sensoren gleichzeitig auf die gleiche Leitung. Die Leiterplatte lässt sich spiralförmig wickeln und so in die Socke einflechten. Das schwache Magnetfeld, dessen Betrag und Richtung die Sensoren messen, wird mit kleinen stromdurchflossenen Spulen erzeugt, die einige Zentimeter unter dem Fuss angebracht sind. In einer Praxis könnten die Spulen künftig beispielsweise unter der Behandlungsliege positioniert werden.

Für ihren praktischen Einsatz muss die intelligente Socke noch robuster werden, damit sie zermalmt und ausgezogen und gewaschen werden kann. Dies ist das Folgeprojekt des Teams. «Mit dem Fuss haben wir einen Körperteil mit relativ komplexer Form gewählt», sagt Pascal. «Wenn die Socke reif ist für die Praxis, könnten wir das System auch für andere Orthesen und Anwendungen übernehmen.» Zum Beispiel für die Herstellung von Korsetts oder für eine intelligente Mütze, die Kopfformen scannt.

Methoden und Infrastruktur

- Computer Aided Design (CAD)
- Sensoren- und Elektronik-Entwicklung
- Hardwarenahe Software-Entwicklung
- Algorithmen-Entwicklung für Magnetisches Tracking
- 3D-Kartierung und Modellierung von Magnetfeldern
- Modellierung von anatomischen Formen
- Elektroniklabor
- Kalibrierte Helmholtz-Spule
- 3D-Scanner, Digitalisiergerät
- 3D-Drucker

Förderung

- Bellwald Tec GmbH

Zusammenarbeit

- Bellwald Tec GmbH
- Basler Orthopädie René Ruepp AG

Ein Herzmodell zum Falten

Für manche Medikamententests wäre das Modell eines Herzes ideal – vorausgesetzt, es ahmt den Herzschlag nach und liefert aussagekräftige Resultate. Ein Forschungsteam unter Beteiligung der HLS FHNW hat nun ein künstliches Miniatur-Herz entwickelt, das dem sehr nahekommt. Seine Basis ist ein quadratförmiges Papiergerüst, das so mit einer fischgrätenartigen faltstruktur versehen ist, dass es gestaucht und gestreckt werden kann. Wenn es mit Herzzellen beschichtet wird, zieht sich das Origami-Gerüst auf Spannungsreize hin zusammen und dehnt sich wieder aus – wie ein echter Herzmuskel.

Wenn Forschende die Wirkung oder Nebenwirkungen eines Medikaments im Labor prüfen möchten, brauchen sie geeignete Modelle. Zum Beispiel ein Modell für das Herz – das Organ mit dem ausdauerndsten Muskel im menschlichen Körper. Herzmuskelzellen lassen sich zwar bereits als kleine Zellansammlungen – sogenannte Organoide – züchten, und auch die Tests von pharmakologischen Substanzen gelingen daran, doch für ein funktionierendes Herzmodell reicht das noch nicht. Denn der Herzmuskel ist ein Hohlmuskel, der vier Herzkammern umschliesst und sich zusammenzieht und wieder ausdehnt. Um dieses komplexe Organ besser abzubilden, hat eine Forschungsgruppe der HLS FHNW und der Universität Basel ein miniaturisiertes Herzmodell entwickelt, das auch schlagen kann.

In dem vom Swiss Nanoscience Institute geförderten Nano-Argovia-Projekt KOKORO druckt das Team dünne Schichten von lebenden Herzzellen mittels Bioprinting auf Zellulosepapier. Das Papier wird dabei vorgängig so gefaltet, dass es gestaucht und gestreckt werden kann wie eine Ziehharmonika,

aber in zwei Dimensionen. Wenn die zuvor aufgedruckten Zellen richtig anwachsen und sich entwickeln, kann sich das «Origami-Herzgewebe» also wie ein Herzmuskel zusammenziehen und wieder ausdehnen.

3D-Druck mit Zellen

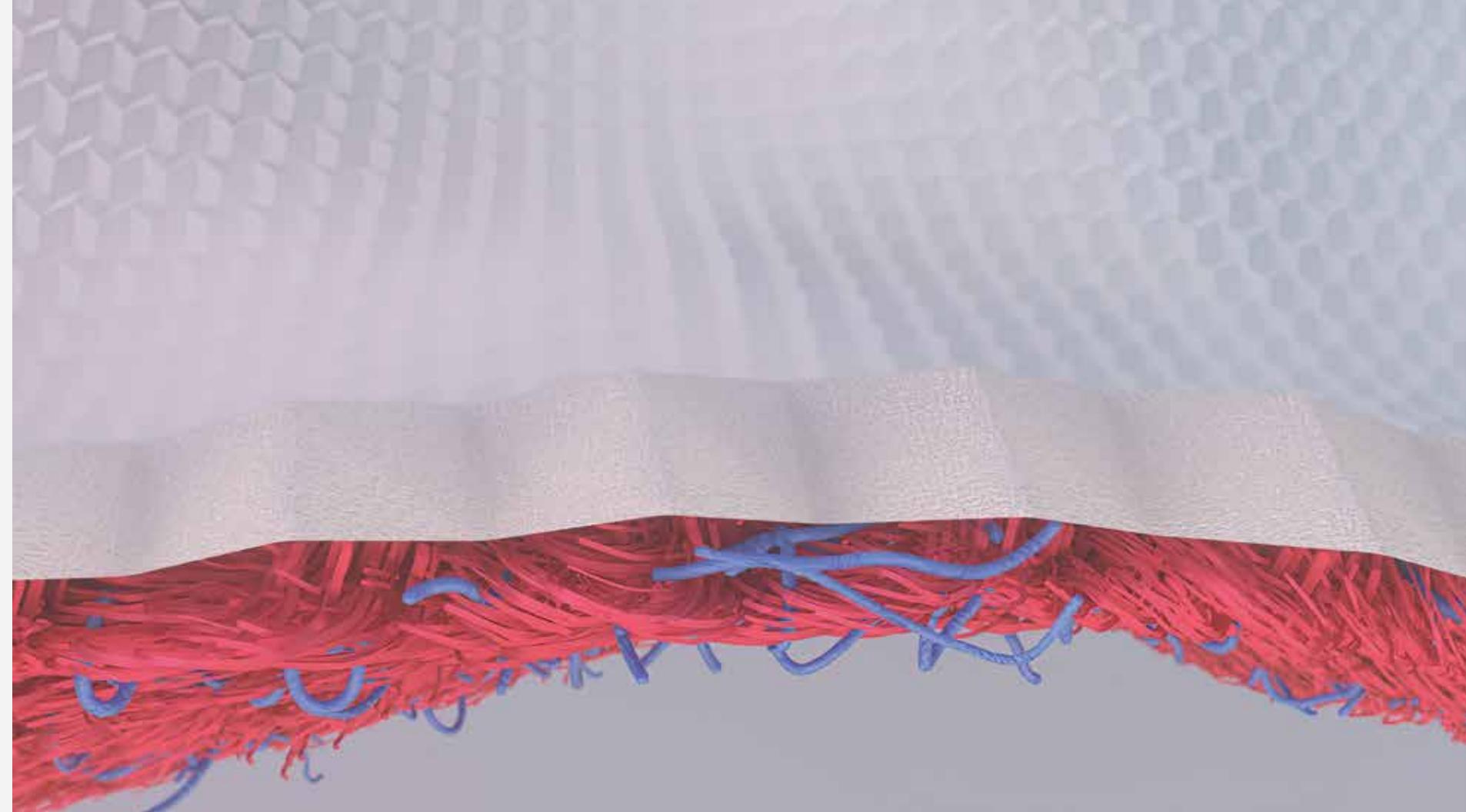
Die grundlegende Technik für die Herstellung dieses Herzmodells, das Bioprinting, funktioniert ähnlich wie 3D-Druck mit Kunststoff; ihr Resultat ist jedoch ein biologisches Gewebe. Die Fachleute der Universität Basel stellten dafür die Zellkulturen zur Verfügung: Herzzellen aus neugeborenen Mäusen. Diese Zellen sind noch nicht vollständig ausgereift und können sich auch noch vermehren. Damit sie wie Kunststoff gedruckt werden können, müssen sie in einem ersten Schritt in ein Hydrogel eingebettet werden – eine gelatineartige Substanz aus Flüssigkeit und wasseraffinen Fasern, die darin aufquellen und stark untereinander vernetzt sind. Für das Hydrogel im Herzmodell haben die Forschenden Kollagenfasern verwendet, die auch in Gelatine enthalten sind. «Unser Hydrogel hat etwa

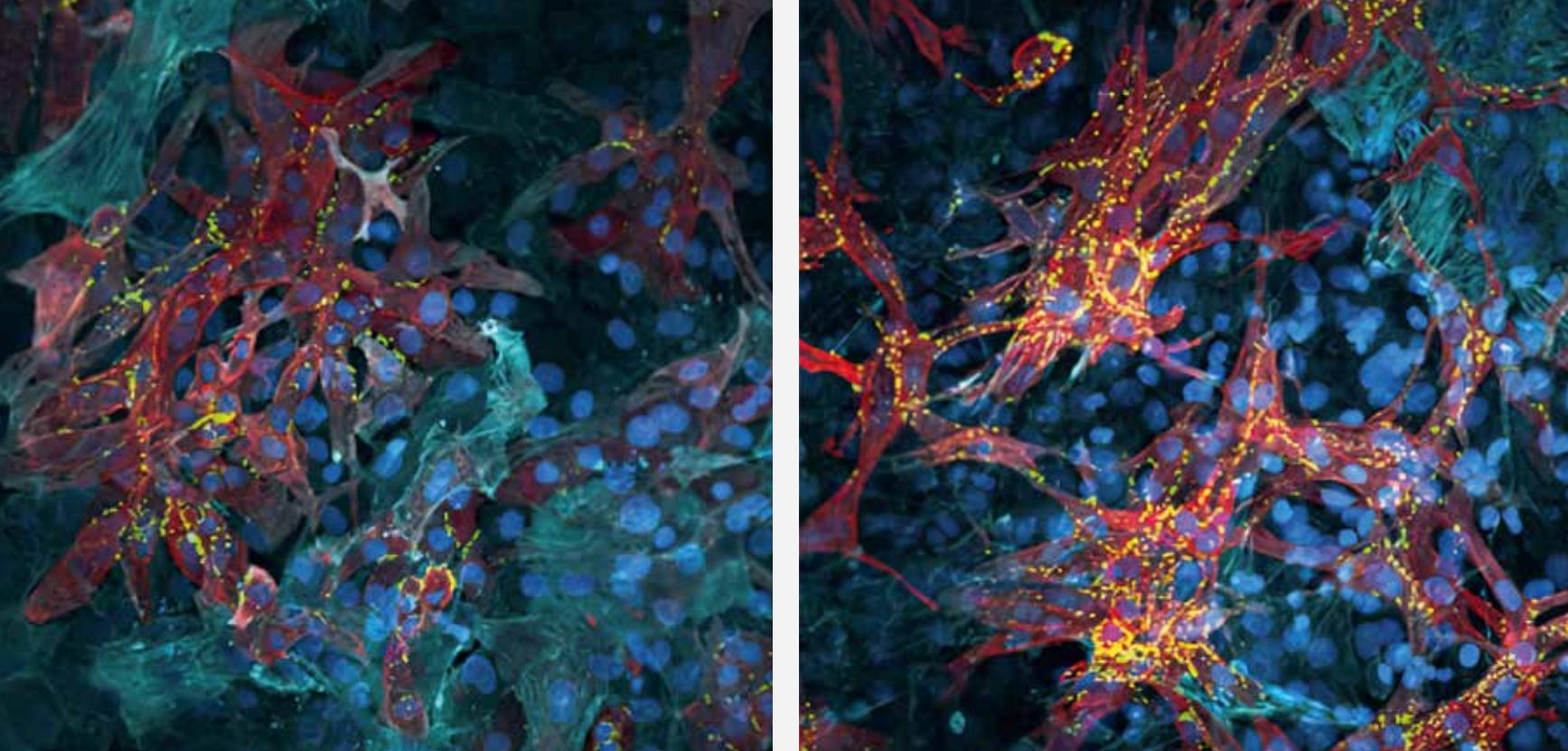
die gleiche Konsistenz wie Götterspeise», sagt Maurizio Gullo vom Institut für Medizintechnik und Medizininformatik der HLS FHNW. «Auch, wenn wir Zellen dazugeben, lässt sich das Gel noch durch eine Kanüle drücken. So erhalten wir ein feines Filament, mit dem wir eine Zellschicht Linie für Linie und Lage für Lage auf unser Papiergerüst aufdrucken.» Auf diese Weise hat Gullos Team zuerst eine dünne Schicht Herzmuskelzellen gedruckt, danach eine zweite Schicht mit Gefässzellen. Sie versorgen die Muskelzellen mit Nährstoffen und transportieren schädliche Stoffwechselprodukte

weg. Jedes Herzmodell enthält mehrere Millionen Zellen. Seine Fläche misst einen Quadratzentimeter und ist damit etwas grösser als der Querschnitt eines Mauserherzes.

Feinabstimmung nah am Mauserherz

Das faltbare Papier für das Herzmodell wurde vom Industriepartner Omya aus biokompatiblen Zellulosefasern hergestellt, damit es möglichst zellverträglich ist. Es sieht aus wie ein typisches quadratisches Origamipapier und wurde an der HLS FHNW noch maschinell in feine Strukturen vorgefaltet, die nur





wenige hundert Mikrometer gross sind. Dann beschichteten die Forschenden die gefalteten Papierstrukturen mit einem Hydrogel zur strukturellen Stabilisierung und bedruckten sie zuletzt mit den Hydrogel-Zell-Schichten. «Dadurch, dass wir das Papier als strukturelle Stütze haben, konnten wir ein etwas weiches Hydrogel als Drucksubstanz wählen», erklärt Projektpartner Joachim Köser vom Institut für Chemie und Bioanalytik der HLS FHNW. «Damit die Zellen sich gut entwickeln, muss das Gel etwa gleich weich sein wie ein embryonales Mausherz. Wenn es zu steif ist, ersticken sie. Sie bekommen nicht genug Nährstoffe und Abfallprodukte gelangen nicht schnell genug weg.» Köser und sein Team haben bereits verfügbare Hydrogele zu einem neuen Produkt weiterentwickelt, das die Anforderungen für die Anwendung im Herzmodell erfüllt. Nebst der Steifheit analysierten sie auch die optimale Dichte und Länge der Fasern im Hydrogel. Ein

weiteres Auswahlkriterium war dessen Preis. «Falls in Zukunft einmal 3D-Druck-basiertes Herzgewebe zur Behandlung von Herzkranken eingesetzt werden kann, soll es bezahlbar sein», so Köser.

Aktiv und gut ausgerichtet

Im aktuellen Projekt hat das Forschungsteam gezeigt, dass das Prinzip für das Herzmodell auf Origami-Basis funktioniert: Das Papiergerüst löst sich dank der Schutzbeschichtung mit Hydrogel nicht auf und ist mit den Zellen kompatibel. Auch die zwei verschiedenen Zellschichten, die Muskel- und die Gefässzellen, vertragen sich. Den Forschenden ist es gelungen, das Hydrogel und die Nährstofflösung so zu wählen, dass beide Zelltypen darin gedeihen. «Wir haben die Zellen in Tests zur Lebensfähigkeit eingefärbt und auch verschiedene Faktoren analysiert, welche von den Zellen freigesetzt werden», sagt Gullo. «So konnten wir bestätigen, dass die Zellen

«Dank der Origami-Faltung ist unser Herzmodell mehr als nur eine Ansammlung von Zellen. Wir können es schlagen lassen und beobachten, wie verschiedene Stimuli den Herzschlag verändern.»

Maurizio Gullo

in ausreichendem Masse überleben und aktiv sind.» Das allein genügt jedoch nicht, ergänzt der Forscher: «Es ist wichtig, dass die Zellen sich wohlfühlen. Denn nach dem Auftragen müssen sie noch reifen: Sie müssen sich differenzieren und funktionell werden.»

So bilden etwa die Gefässzellen ein Netzwerk aus. Und die Muskelzellen entwickeln die Proteinstrukturen, die sie zur Kontraktion brauchen: die Aktin- und Myosinfasern. In diesem Zusammenhang hat das Papiergerüst nebst der beweglichen Faltung und der Stützfunktion einen dritten Zweck: Seine Zellulosefasern geben den Zellen eine Struktur vor. «Indem die Muskelzellen sich entlang der Papierfasern ausrichten, erreichen wir, dass sich auch die Muskelfasern später gerichtet zusammenziehen», erklärt Köser. «Diesen Effekt haben wir zusätzlich verstärkt, indem wir auch die Hydrogele so strukturierten, dass sich die Zellen an ihnen ausrichten können. Dafür haben wir die Hydrogele mit Linienstrukturen versehen.»

Gelungenes Zusammenspiel

Damit die Muskelzellen auch wie richtige Muskelfasern funktionieren, müssen sie sich während der Reifung miteinander synchronisieren. Erst dann können sie sich auf einen Impuls hin alle gemeinsam zusammenziehen. Und sie müssen genügend Kraft dabei ausüben. Um das zu testen, haben die Forschenden an der Universität Basel die Zellen mit elektrischen Impulsen stimuliert und gemessen, wie viel Spannung benötigt wird, um eine Kontraktion auszulösen. Je kleiner dieser Wert ist, umso kräftiger sind die Muskelzellen. «Beim richtigen Herzmuskel löst das Nervensystem den Herzschlag aus, das ist im Modell nicht möglich», erklärt Gullo. «Trotzdem wird der Impuls auch in unserem Modell auf die gleiche Weise weitergeleitet wie im Herz: Er wird von einer Muskelzelle auf die nächste übertragen, sodass es eine Art Dominoeffekt gibt und eine Zellreihe nach der anderen kontrahiert.»

Gullo und Köser freuen sich: «Unser Herzmodell «schlägt» wirklich. Die Zellen kontrahieren auf eine Stimulation hin synchron und gerichtet.» Andere Forschende können das Modell nun nutzen, um die Wirkung von Medikamenten auf das Herz nicht nur auf Zellebene, sondern auch in funktioneller Hinsicht zu untersuchen. So erfahren sie, ob sich beispielsweise der Modell-Herzschlag verändert, wenn ein Wirkstoff hinzugefügt wird.

Als Nächstes hofft das Forschungsteam auf eine zweite Anwendungsmöglichkeit: Mit einer anderen Grundlage als Papier könnte das Herzmodell künftig zu einem Herzpflaster weiterentwickelt werden, das nach einem Herzinfarkt vernarbtes Gewebe durch patienteneigene Zellen ersetzt. Auch in diesem Fall würden die neu aufgesetzten Herzmuskelzellen der Kontraktion ihrer Nachbarzellen folgen. So könnten sie das noch gesunde Gewebe beim Schlagen unterstützen – und damit das Risiko für einen zweiten Herzinfarkt verkleinern.

Methoden und Infrastruktur

- Zellkulturlabor
- Chemielabor
- Bioprinting (RegenHU 3D Discovery)
- Hydrogel-Chemie
- Rheometrie
- Soft-Lithografie (Abdruck)
- Mechanische Papierfaltung

Förderung

- Swiss Nanoscience Institute
(Nano-Argovia-Projekt KOKORO A14.07)

Zusammenarbeit

- Omya AG
- Universität Basel

Gut verpackt zum Dickdarm

Tabletten oder Kapseln setzen ihre Wirkstoffe meistens im Magen oder Dünndarm frei. Doch wenn die Wirkung eines Medikaments erst im Dickdarm gebraucht wird, ist das ein Nachteil – das Mittel wird zu früh aus dem Dünndarm in den Blutkreislauf aufgenommen oder wirkt an der falschen Stelle. Forschende der HLS FHNW haben deshalb ein Verfahren entwickelt, bei dem die Wirkstoffe in ein Gerüst aus Ballaststoffen eingebettet sind. So gelangen sie bis zum Dickdarm, wo Dickdarmbakterien die Ballaststoffe abbauen. Damit wird der Wirkstoff genau dort freigesetzt, wo er helfen soll.

Chronische entzündliche Darmkrankheiten wie Morbus Crohn und Colitis ulcerosa sind weit verbreitet – allein in der Schweiz sind etwa 20 000 Menschen betroffen. Obwohl ihr Leidensdruck gross ist, sind die Therapiemöglichkeiten beschränkt. Standardbehandlungen umfassen entzündungshemmende Medikamente wie Kortison oder das Salicylsäure-Derivat Mesalazin sowie Flüssigkost. Das soll den Betroffenen trotz krankheitsbedingter Schmerzen, Durchfall und Appetitlosigkeit eine ausreichende Nährstoffzufuhr ermöglichen. Dennoch kann die Krankheit damit oft nur teilweise oder vorübergehend gestoppt werden.

«Wenn Medikamente ihre Wirkung zielgenau am Ort des Entzündungsgeschehens entfalten würden, könnte dies den Behandlungserfolg verbessern», ist der Biochemiker Georg Lipps vom Institut für Chemie und Bioanalytik der HLS FHNW überzeugt. Bei der Colitis und zum Teil auch bei Morbus Crohn ist der Dickdarm dieser Zielort; doch ehe ein Medikament dorthin gelangt, muss es den etwa fünf Meter langen Dünndarm passieren. Gerade in diesem Darmabschnitt werden viele Medikamente

aufgelöst, damit die Darmschleimhaut ihre Wirkstoffe aufnehmen kann. Doch dieser Vorgang trifft auch Arzneimittel, die eigentlich den Dickdarm erreichen sollen. Auf ihrem langen Weg durch den Dünndarm werden sie frühzeitig entfernt.

Ein Team um Georg Lipps und Georgios Imanidis vom Institut für Pharma Technology hat nun ein «Verpackungsmaterial» gefunden, das Wirkstoffe an den Verdauungsenzymen des Dünndarms vorbei in den Dickdarm schmuggelt. Die zündende Idee hierfür kam den Forschern beim Stöbern in wissenschaftlichen Fachzeitschriften. Dort lasen sie, dass Dickdarm-Bakterien den Ballaststoff Xyloglucan abbauen. Diese Fasern aus Pflanzen-Zellwänden, die der menschliche Körper nicht allein verdauen kann, dienen den Bakterien als Nahrung. Indem sie den Ballaststoff im Dickdarm abbauen, setzen sie Stoffwechselprodukte frei, die wiederum der Mensch verwerten kann. Der Dünndarm hingegen ist praktisch frei von Bakterien und derartigen Nutzgemeinschaften. Eine Tablette auf Xyloglucan-Basis könnte deshalb vollständig bis zum Dickdarm gelangen, vermutete Lipps. Erst dort würde sie



dann zersetzt. «Bisher nutzt man einen pH-basierten Ansatz», erklärt der Biochemiker. «Arzneiformen sind umhüllt mit einem Überzug, der im saueren pH unlöslich ist und sich bei neutralem bis schwach basischem pH auflöst. Dadurch soll die Tablette im tieferen Dünndarm zerfallen. Doch der pH des Magendarmkanals variiert interindividuell und intraindividuell je nach Nahrung und physiologischem Zustand. Deshalb ist der Ort der Tablettenauflösung bei diesem Ansatz hoch variabel und die Verabreichung des Wirkstoffs nicht reproduzierbar und ineffizient.»

Um zu testen, ob ein in Xyloglucan eingebetteter Wirkstoff tatsächlich bis zum Dickdarm gelangt, haben die Forschenden um Imanidis zwei verschiedene Tabletten im Process Technology Center der HLS FHNW hergestellt: einmal mit dem Wirkstoff Mesalazin und einmal mit der Kontrollsubstanz Koffein. Dafür haben sie die Polysaccharid-Fasern des Xyloglucans zunächst vorverarbeitet und sie dann, gemischt mit der Wirk- oder Kontrollsubstanz, gepresst. «Durch den Pressvorgang entsteht ein zusammenhängendes Polysaccharid-Gerüst, worin der Wirkstoff eingeschlossen ist», erklärt Imanidis. «Erst wenn Bakterien das Gerüst zerlegen, wird das Mesalazin frei.» Im nächsten Schritt versiegelte Imanidis' Team die Tabletten zusätzlich mit einem Poly-Methacrylat-Film, der sie vor der Magensäure schützt. «Wenn die Tablette nach ihrer Magenpassage in das neutrale Milieu

des Dünndarms gelangt, löst sich diese erste Schutzhülle allmählich auf», sagt Imanidis. «Die Kunst ist, dass, nachdem sie weg ist, bis zum Ende des Dünndarms trotzdem noch kein Wirkstoff freigesetzt wird. Diese Kontrollfunktion übernimmt die Xyloglucanmatrix. Beim Eintritt in den Dickdarm gehen dann die Bakterien ans Werk.»

Nachdem sie die Tabletten hergestellt hatten, überprüften die Forschenden die Freisetzung des Wirkstoffs in einem dreistufigen, vom BRIDGE-Programm des Schweizerischen Nationalfonds und Innosuisse geförderten Experiment: Zuerst simulierten sie die Verhältnisse im Dickdarm, indem sie die Tabletten einem Enzym aussetzten, welches Xyloglucan abbaut. Als nächsten Schritt verwendeten sie statt des Enzyms Bakterien, die diesen Abbau beherrschen, so etwa *Bacteroides ovatus*. Schliesslich verfolgten sie in Schweinen die Passage der Tabletten durch den Verdauungstrakt, indem sie in kontinuierlichen Blut- sowie Stuhlproben die Konzentrationen an Mesalazin und Koffein analysierten. «Der Wirkstoff Mesalazin wird gut vom Dünndarm, aber kaum aus dem Dickdarm aufgenommen», erklärt Lipps. «Wenn die Tablette erst im Dickdarm Mesalazin freisetzt, ist die Wirkstoffmenge in der Blutzirkulation entsprechend gering. Genau dies konnten wir beobachten. Die Kontrollsubstanz Koffein hingegen kann auch aus dem Dickdarm die systemische Blutzirkulation erreichen. Da nur das Koffein im Blut nachweisbar war, funktioniert der Ballaststoff-Schutzwall wie erhofft und löst sich tatsächlich erst im Dickdarm auf. Stuhlproben bestätigen dieses Resultat.»

Neben dem therapeutischen Einsatz bei Darm-erkrankungen eignen sich Xyloglucantabletten für weitere Anwendungen. So könnten sie gezielt bestimmte Nährstoffe in den Dickdarm schleusen, die positiv auf die Darmflora wirken und damit auch Entzündungen vorbeugen.

Methoden und Infrastruktur

- Wirbelschichtgranulation
- Tablettierung durch Exzenterpresse
- Trommel-Coating
- Nachweis der Xyloglucanase-aktivität (Viscometer, UV/VIS-Spektroskopie)
- Kultivierung und Analyse des Mikrobioms (Anaerobierbox)
- In-vitro-Dissolution-Test USP II/Freisetzung
- Präklinischer In-vivo-Versuch
- Chemische Analytik von Plasma- und Faecesproben mittels LC-MS/MS

Förderung

- FreeNovation, Novartis
- BRIDGE Programm, Schweizerischer Nationalfonds und Innosuisse

Zusammenarbeit

- Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich

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 FHNW entwickeln die Forschenden daher umweltfreundliche Produktionstechnologien sowie Methoden zur Reinigung, Aufbereitung und Regeneration von Abfallprodukten. Ausserdem analysieren sie durch Chemikalien verursachte Auswirkungen auf Mikroorganismen und deren Folgen für Mensch und Umwelt.

Das Beste aus zwei Welten

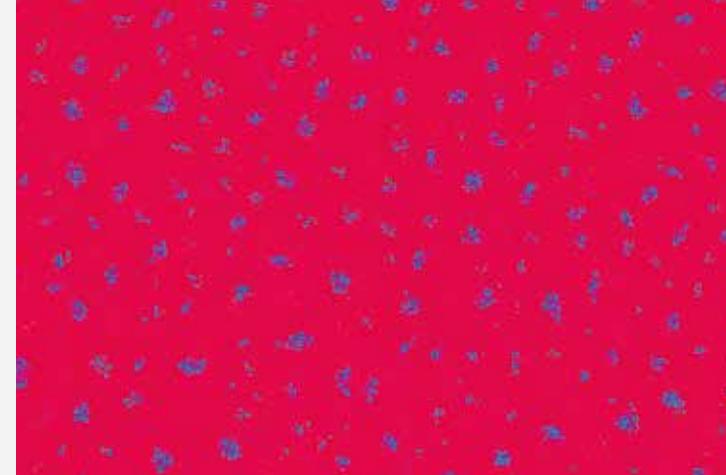
Farbe an einer Wand soll nicht nur das Auge erfreuen: Sie muss leicht aufzutragen und beständig sein, Algen- und Schimmelbefall vorbeugen und ein gutes Raumklima fördern. Der Schlüsselfaktor hierbei ist der Binder, der alle Bestandteile einer Farbe zusammenhält. Forschende der HLS FHNW haben nun einen molekularen Link entwickelt, der die Grundbausteine zweier herkömmlicher Farbbinder miteinander verknüpft. So konnte ein neuer Binder geschaffen werden, der die Vorteile seiner Ausgangsprodukte vereint und vielseitig einsetzbare Wand- und Fassadenfarben ohne Biozide ermöglicht.

Hausfassaden sollen schön frisch wirken, lange gut aussehen und auch vor dem Befall durch Mikroorganismen geschützt sein. Dafür enthalten die meisten Fassadenfarben Biozide. Diese werden jedoch bei Regengüssen ins Grundwasser gespült. So gefährden sie Wasser- und Bodenorganismen ebenso wie unsere Gesundheit.

«Silikatfarbe ist da anders», sagt Michel Ledeur, Leiter des Forschungslabors der Firma vanBaerle, einem Kooperationspartner der HLS FHNW. «Silikatfarbe kommt ohne Biozide und Lösungsmittel aus und wirkt auch nach Jahrzehnten fast wie neu. Ein schönes Beispiel dafür ist die Fassadenmalerei am historischen Rathaus in Schwyz, sie besteht seit 1891.» Weil Silikatfarbe aber nur auf wenigen Untergründen haftet, wollte vanBaerle ihre Vorzüge mit jener von Dispersionsfarben kombinieren – einer bekannten Farbklasse, die als Wandfarbe weitverbreitet ist. Dazu hat das Unternehmen in Zusammenarbeit mit

dem Institut für Chemie und Bioanalytik (ICB) der HLS FHNW ein neues Bindemittel entwickelt.

«Der Binder macht aus den Einzelkomponenten die Farbe», erklärt Ledeur. «Er sorgt dafür, dass Farbpigmente, Verdicker, Entschäumer, Dispergiermittel, Füllstoffe und Wasser sich zu einer einzigen Masse fügen, die man dann im Baumarkt als Farbe kaufen kann.» Bei Silikatfarben basiert das Bindemittel auf Kaliwasserglas. Dispersionsfarben hingegen enthalten einen organischen Binder – oft auf Akrylbasis, wie man es auch von Künstlerfarben kennt. Der Binder bestimmt die Eigenschaften der zwei Farbtypen wesentlich mit, wie Ledeur ausführt: «Das Geheimnis hinter Silikatfarbe ist, dass sie sich gewissermassen selbst reinigt, indem sie jeden Monat ein paar Mikrometer Abrieb verliert. Trotzdem haftet sie sehr gut, da sie sich mit dem Untergrund über eine chemische Reaktion verbindet. Zudem ist sie unempfindlich gegen Sonnenlicht und lässt Regenwasser einfach an sich abperlen.» Dispersionsfarbe hingegen punktet mit ihrer Vielfältigkeit und Benutzerfreundlichkeit: Sie bietet eine grössere Palette an Farbtönen, da ihr, anders



als bei Silikatfarben, noch organische Pigmente beigefügt werden können. Ausserdem lässt sich Dispersionsfarbe auf verschiedensten Oberflächen anbringen, sie ist weniger spröde und leichter zu streichen.

Um die Vorteile beider Farbtypen zu nutzen, kann man sie jedoch nicht einfach mischen, denn ihre Binder vertragen sich schlecht. «Wenn man einen Akrylbinder und einen handelsüblichen Silikatbinder zusammengibt, entsteht ein uneinheitliches Gemisch aus einer Art Glassplittern und Kunststoff», sagt der Nanowissenschaftler Uwe Piele vom ICB. Zwar konnte Piele's Team nachweisen, dass ein eigens entwickeltes Spezial-Silikat die Verträglichkeit mit dem Akrylbinder erhöht, doch es fehlte immer noch eine direkte Bindung zwischen dem Silikat- und den Akryl-Molekülen. Dieses Bindeglied haben die Forschenden der HLS FHNW in Zusammenarbeit mit der Forschungs- und Entwicklungsabteilung von vanBaerle hergestellt. «Man muss sich das wie einen Adapter vorstellen, der die Silikat- und die Akryl-Polymere physikalisch und chemisch miteinander verlinkt», erklärt Piele. «Wenn wir ihn zur Silikat-Akrylbinder-Mischung hinzugeben, sehen wir im Elektronenmikroskop plötzlich eine homogene Masse, in der die Silikat-Moleküle dank der Verknüpfung über das Adapterstück gleichmässig von Akryl-Polymeren umgeben sind.»

Ob das neue hybride Bindemittel auch wirklich die positiven Eigenschaften seiner zwei Grundbestandteile vereint, haben die Forschenden in

verschiedenen Praxistests untersucht. So wollten sie wissen, wie gut das Hybridbindemittel auf verschiedenen Oberflächen haftet, und strichen es dafür auf Testflächen, die sie mehrere Tage lang Wind und Wetter aussetzten. «Unser neuer Organo-Mineral-Binder schnitt auf mineralischen Glas-Oberflächen gleich gut ab wie Silikatfarbe und auf organischem Lack sogar besser als Dispersionsfarbe», freut sich Ledeur. Somit kann das Hybridbindemittel auf fast jedem Untergrund angewendet werden, sei es Gips, Ziegelstein oder auch direkt auf einem alten Farbanstrich. Genau wie Silikatfarbe braucht es jedoch eine gewisse Aushärtungszeit, um seine besten Hafteigenschaften zu erreichen. Dann ist es ausgetrocknet und nimmt auch kein Wasser mehr auf, wenn etwa eine Testplatte drei Tage lang unter Wasser getaucht wird. Der Silikatanteil in dem Hybridbinder bewirkt ausserdem, dass Farben direkt in die gestrichenen Oberflächen eindringen, wie das Forschungsteam auf Elektronenmikroskop-Aufnahmen nachgewiesen hat. Das macht die Farbe sehr beständig. Zudem können Farben mit dem Hybridbinder ähnlich wie Silikatfarbe Luftfeuchtigkeit aufnehmen und wieder abgeben. So lassen sie die Wände atmen, was Schimmelbefall vorbeugt. Weil der hohe pH-Wert des Hybridbinders auch dem Wachstum von Mikroorganismen entgegenwirkt, sind keine Biozide mehr nötig.

Bis eine Farbe mit dem neuen Binder auf den Markt kommt, rechnet Ledeur mit mindestens einem Jahr Arbeit. Denn zuerst müssen Farbenhersteller geeignete Formulierungen entwickeln und ihre Farbkreationen testen. Doch die Basis dafür haben sie jetzt in der Hand: einen hybriden Binder, der geschaffen ist für beständige, umwelt- und gesundheitsfreundliche Farben für Aussenwände und den Innenbereich.

Methoden und Infrastruktur

- Chemische Labore
- Synthese-Apparaturen
- Elektronenmikroskopie
- Headspace GC-MS zur Bestimmung flüchtiger Bestandteile
- Thermogravimetrie

Förderung

- Innosuisse

Zusammenarbeit

- vanBaerle AG

«Dank des molekularen Adapters, den wir entwickelt haben, gibt es nun einen Farbbinder, der aus mineralischen und organischen Polymeren zugleich besteht.»

Uwe Piele

Enzym-Tuning ohne Gentechnik

Enzyme beschleunigen chemische Reaktionen in Organismen. Die Industrie nutzt sie als Biokatalysatoren, etwa um Nahrungsmittel oder Medikamente umweltschonend und preisgünstig herzustellen. Forschende der HLS FHNW betten Enzyme in nanometergrosse Organosilikat-Partikel ein. Ohne die Enzyme gentechnologisch zu verändern, verbessern sie so deren Eigenschaften. Jetzt haben sie ihr Verfahren für eine spezielle Art von Enzymen verwendet, die Fachleute als promiskuitiv bezeichnen. Das Ergebnis ist vielversprechend und weist einen Weg zur industriellen Anwendung.

Enzyme sind empfindlich: Entfernt man sie aus ihrer natürlichen Umgebung, funktionieren sie oft nicht mehr wie gewohnt. Das erschwert es der Industrie, sie zu nutzen. Denn Unternehmen möchten mit den Enzymen auch solche chemischen Prozesse katalysieren, die in der Natur nicht vorkommen. Insofern horchte 2016 die Fachwelt auf, als Patrick Shahgaldian von der HLS FHNW eine Methode vorstellte, um Enzyme in Nanopartikel einzubetten und sie so vor dem schädigenden Einfluss beispielsweise von Hitze oder Säuren zu schützen.

Solche Nanopartikel-stabilisierten Enzyme sollen es künftig unter anderem ermöglichen, aus Molke, die bei der Käseproduktion abfällt, effizient Wertstoffe zu gewinnen. Das ist zumindest das Ziel des EU-geförderten Forschungsprojekts INGREEN, an dem Shahgaldians Team vom Institut für Chemie und Bioanalytik beteiligt ist. Der Forscher hat ausserdem das Spin-off-Unternehmen INOFEA mitgegründet, um seine Technologie marktreif zu machen.

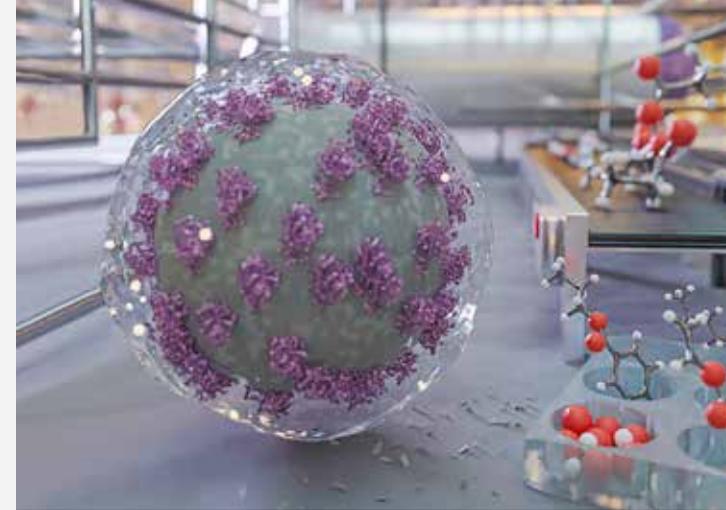
«Die exakte Abstimmung der Nano-Umgebung von Enzymen befähigt diese für industrielle Anwendungen.»

Patrick Shahgaldian

«Inzwischen wissen wir, dass die Technologie noch mehr kann, als sensible Enzyme zu schützen», sagt Shahgaldian. «Wir können mit ihr auch die Eigenschaften der eingebetteten Enzyme verändern.» Shahgaldian und sein Team haben das nun bei Enzymen gezeigt, die von Fachleuten als promiskuitiv bezeichnet werden.

Laut der deutschsprachigen Ausgabe des Online-Lexikons Wikipedia steht «promiskuitiv» für «sexuell freizügig» oder «offenherzig». Doch wenn Biotechnologie-Fachleute von promiskuitiven Enzymen sprechen, meinen sie etwas anderes: Anstatt nur auf einen Stoff spezialisiert zu sein, beschleunigen diese Biokatalysatoren die Umwandlung einer ganzen Reihe von Substanzen. Das wäre für einige technologische Anwendungen sehr vorteilhaft, hat allerdings eine Kehrseite.

Um diese zu verstehen, muss man wissen: Manche Substanzen treten in zwei Formen – sogenannten Enantiomeren – auf, die sich in ihrem chemischen Aufbau ähnlich unterscheiden wie die linke Hand eines Menschen von seiner rechten. Die beiden Enantiomere enthalten die gleichen Atome in gleicher



Anzahl, unterscheiden sich aber häufig in einigen wesentlichen Eigenschaften: So kann etwa das eine Enantiomer im Körper eine heilende Wirkung haben und somit ein Arzneistoff sein, während das andere den Körper schädigt. Oder ein Enantiomer ist in Mülldeponien biologisch abbaubar, während sein Gegenstück die Umwelt belastet.

Spezialisierte Enzyme sind oft enantioselektiv: Sie sorgen dafür, dass nur ein Enantiomer entsteht – nämlich das mit den gewünschten Eigenschaften. Wenn dagegen promiskuitive Enzyme chemische Umwandlungen katalysieren, so ist das Produkt häufig ein Enantiomeren-Gemisch.

Die Forschenden nutzten für ihre Untersuchungen drei promiskuitive Enzyme, die Kollaborationspartner von der «Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIS)», einer spanischen Agentur für Forschung und technologische Entwicklung, entdeckt und charakterisiert hatten. Zwei der Enzyme stammten von Mikroorganismen, die in einem verschmutzten Meeresgebiet vor Sizilien leben. Das dritte Enzym wurde von Mikroben geliefert, die im nordspanischen Arreo-See zuhause sind. Alle drei Enzyme sind sogenannte Esterasen, die oft für industrielle Anwendungen genutzt werden. Sie können Dutzende von Estern in ihre Ausgangsstoffe zerlegen. Sofern ein Ester in zwei enantiomeren Formen vorkommt, unterscheiden die natürlichen Enzyme nicht zwischen diesen beiden.

Anders dagegen verhielten sich die Enzyme, nachdem die Forschenden sie an Silikat-Nanopartikel gebunden und mit Organosilikat-Schutzhüllen überzogen hatten. Einige der resultierenden Biokatalysator-Nanoteilchen waren hundertprozentig enantioselektiv, wandelten also nur eine der beiden enantiomeren Formen des jeweiligen Esters um.

Zudem verbesserte die Einbettung in die Nanopartikel eine weitere wesentliche Eigenschaft der untersuchten Enzyme. In freier, ungeschützter Form verloren sie in Flüssigkeiten mit einem 40-prozentigen Anteil des geläufigen organischen Lösemittels Acetonitril ihre katalytischen Fähigkeiten. Integriert in Nanopartikel, blieb ihre katalytische Aktivität in der gleichen Lösung dagegen erhalten.

Breit anwendbare Strategie

«Wir haben somit eine Strategie entwickelt, die es erlaubt, die Enantioselektivität und zugleich auch die Stabilität einiger promiskuitiver Enzyme gegenüber organischen Lösemitteln zu verbessern», resümiert Shahgaldian. «Wir gehen davon aus, dass diese Strategie auf eine breite Palette promiskuitiver Enzyme anwendbar ist.» Der Einsatz der resultierenden Biokatalysator-Partikel kann für industriell relevante Prozesse attraktiv sein, weil ihre Herstellung kostengünstig und unter geringem Energieaufwand möglich ist.

Einen anderen Weg, um Eigenschaften von Biokatalysatoren zu verbessern, bieten gentechnische Methoden. Damit lässt sich zum Beispiel die Abfolge der Aminosäuren im natürlichen Enzym verändern. Doch viele Verbraucherinnen und Verbraucher lehnen den Einsatz von Gentechnologie in Branchen wie der Nahrungsmittelindustrie ab. Da bietet die Strategie der Forschenden an der HLS FHNW eine verheissungsvolle Alternative.

Methoden und Infrastruktur

- Nanosynthese
- Biokonjugation
- Biokatalyse
- Syntheselabor
- Elektronenmikroskopie
- Rasterkraftmikroskopie
- Gaschromatografie
- HPLC

Förderung

- EU-Förderprogramm Horizon 2020

Zusammenarbeit

- Spanischer Oberster Rat für wissenschaftliche Forschung (CSIS)
- Universität Bangor, UK

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 FHNW will mit ihrem Schwerpunkt im Bereich der Informationstechnologien und -verarbeitung dazu beitragen, dass die Gesellschaft die immer grösser werdende Datenflut sinnvoll bündelt und nutzt.

Antikörper mit KI

Manchen Viren steht unser Immunsystem fast machtlos gegenüber. Mit Impfungen kann man es trainieren. Doch eine Impfung gegen ein Virus zu entwickeln, dauert lang – insbesondere, wenn verschiedene Varianten eines Virus kursieren und der Impfstoff vor allen schützen soll. Ein Team der HLS FHNW bedient sich deshalb einer Künstlichen Intelligenz. Damit suchen die Forschenden im Immunsystem von Mäusen jene Antikörper, die gegen mehrere Virusstämme zugleich wirken und besonders effizient sind.

«Unser Computermodell ermöglicht es uns, unter Milliarden möglicher Antikörper jene zu finden, die gegen verschiedene Varianten eines bestimmten Krankheitserregers wirksam sind.»

Enkelejda Miho

Ein kleiner Stich, und schon ist es passiert: Mehrere hundert Millionen Menschen stecken sich jedes Jahr durch einen Moskitostich mit dem Denguevirus an. Nicht alle erkranken, doch viele entwickeln grippeähnliche Symptome mit hohem Fieber. In manchen Ländern Asiens und Lateinamerikas ist Denguefieber eine der Hauptursachen schwerer Krankheits- und Todesfälle. Wer das Fieber schon einmal hatte, kann es wieder bekommen – mehrere Male. «Vom Denguevirus gibt es verschiedene Varianten, die sogenannten Serotypen», erklärt die Wissenschaftlerin Enkelejda Miho vom aiHealthLab der HLS FHNW. «Wenn man von einer Variante infiziert wurde, ist das Immunsystem danach nur gegen diesen einen Serotyp trainiert; das heisst, es hält nun Antikörper bereit, die ihn zu bekämpfen helfen. Aber üblicherweise ist man dadurch nicht vor den anderen Varianten geschützt. Das macht es auch schwierig, eine effiziente Imp-

fung gegen Dengue zu entwickeln.» Die einzige bestehende Impfung ist nur eingeschränkt einsetzbar, spezifische Medikamente gibt es keine, und die Verbreitung der Dengueviren und ihrer Überträger-Mücken nimmt zu. Deshalb sucht Mihos Team mittels Künstlicher Intelligenz nach Antikörpern, die vor verschiedenen Virusvarianten zugleich schützen.

Antikörper sind Proteinkomplexe, die von spezialisierten Immunzellen – den B-Zellen – gebildet werden. «Man kann sie sich wie kleine Ypsilon vorstellen, die mit zwei Fangarmen nach Krankheitserregern tasten», sagt Miho. «Die Armpaare gibt es in unzähligen Varianten, sodass jeder Antikörper nur an ganz bestimmte Partikel andocken kann, zum Beispiel nur an einen Serotyp von Dengueviren. Wir suchen besondere Antikörper, die mehr Denguevarianten erwischen. Die gibt es auch, aber sie sind selten.» Um sie zu finden, hat Miho mit ihrem Team das Erbgut von B-Zellen aus Mäusen sequenziert, die gegen Dengue immunisiert worden waren. Dieses Erbgut der B-Zellen enthält unter anderem die Gene, die den Bauplan für die Antikörper liefern.



Jede B-Zelle produziert üblicherweise nur eine bestimmte Antikörper-Variante. Deshalb enthält sie nur den Bauplan für den einen Antikörper. Dieser Bauplan ist jedoch auf fünf verschiedene Gene verteilt. Manche Gene beschreiben, wie das Armpaar gebildet wird, andere dienen als Vorlage für den Rumpf des Antikörpers. Das macht die Bestimmung von Antikörper-Sequenzen zu einer Herausforderung. Denn ältere Sequenzierungsmethoden liefern die Gensequenzen aller analysierten Zellen, ohne zu unterscheiden, welche Sequenzen aus welcher Zelle stammen. «Wir hätten also von allen untersuchten B-Zellen zusammen ein Puzzle

aus lauter verschiedenen Antikörperabschnitten bekommen und nicht gewusst, welche davon zusammengehören», sagt Miho. «Zum Glück können wir an der HLS FHNW die Einzelzellsequenzierung verwenden. Bei dieser neueren Methode wird das Erbgut jeder B-Zelle separat gelesen. So erhalten wir alle Gene für einen Antikörper miteinander und haben damit die Gensequenz für den ganzen Antikörper beisammen.»

Da Miho und ihr Team von jeder Maus mehrere Millionen Gensequenzen erhielten, nutzten sie im nächsten Schritt die Fähigkeit von Computern, in riesigen Datenmengen Muster zu erkennen. Die



Mäuse waren jeweils gegen eine Variante des Denguevirus immunisiert worden, eine Kontrollgruppe blieb unimmunisiert. So konnten die Forschenden einen Computer trainieren, die Gensequenzen für jene Antikörper ausfindig zu machen, die als Reaktion auf die Immunisierung produziert worden waren. Denn bei einem Infekt oder einer Impfung vermehren sich die B-Zellen, deren Antikörper zu den eingedrungenen Partikeln passen. «Wir können dem Computer also die Information geben, dass jene Gensequenzen zu Anti-Dengue-Antikörpern gehören, die bei den immunisierten Mäusen gehäuft

auftreten», erklärt Miho. «Es kann jedoch auch sein, dass ein Antikörper zwar selten ist, aber dafür besonders gut an Dengue-Partikel bindet. Deswegen haben wir unser Modell für maschinelles Lernen so programmiert, dass es verschiedene Analyseansätze kombiniert.»

Zur Ergänzung dieses Machine Learnings hat das Forschungsteam auch Netzwerkanalysen eingesetzt. Dabei wird untersucht, wie ähnlich sich die verschiedenen Antikörper einer Maus sind: Je mehr sich zwei Antikörper gleichen, desto näher beieinander werden sie im Netzwerk dargestellt.

«Wenn eine Maus oder ein Mensch einen Infekt hat, sehen wir im Netzwerk Strukturen, die etwa aussehen wie eine Pustelblume», sagt Miho. «Da gibt es dichte Knotenpunkte aus vielen Antikörpersequenzen, die alle sehr ähnlich sind.» Während der Reaktion auf den Krankheitserreger versucht das Immunsystem nämlich, seine Antikörper zu optimieren, und kreiert dabei neue, leicht veränderte Versionen jener Antikörper, die bereits an den Erreger andocken konnten. So entstehen die «Blüten» im Netzwerk, in deren Zentren – den Hubs – vielversprechende Antikörper-Varianten liegen.

Vorarbeit durch Computer

Wenn der Computer einen Antikörper ausgemacht hat, der gemäss den Analysen gegen die verschiedenen Dengue-Serotypen wirksam sein könnte, müssen die Forschenden den Kandidaten im Labor testen. Sie vermehren die B-Zelle, die diesen Antikörper produziert, und überprüfen, ob er tatsächlich an alle Dengue-Varianten bindet. Wenn dies der Fall ist, kann er für die Entwicklung eines Therapeutikums oder für ein besseres Impfstoffdesign genutzt werden. Die Suche nach einem Impfstoff ist immer noch komplex, doch die Vorarbeit des Computers kann im besten Fall viel Forschungsaufwand im Labor einsparen.

«Üblicherweise sucht man Antikörper, indem man direkt im Labor die B-Zellen immunisierter Mäuse testet und nicht zuerst ihr Erbgut sequenziert», erklärt Miho. «Das heisst, man wählt einige B-Zellen und probiert, ob sie gegen das Zielmolekül, also zum Beispiel ein bestimmtes Protein des Dengue-Virus, Antikörper bilden. Das ist sehr zeitintensiv, weshalb man nur wenige Zellen testen kann. Zudem riskiert man, die besten und seltensten Antikörper zu verfehlen.» Mit ihrem neuen Ansatz hat Mihos Forschungsgruppe jedoch schon mehr als 20 potenzielle Antikörper gefunden, die Dengue-Varianten binden.

Die besonderen Antikörper können nicht nur für das Impfstoffdesign genutzt werden. Eine weitere Anwendungsmöglichkeit besteht darin, sie zur Behandlung bereits an Dengue erkrankter Menschen einzusetzen. «Dazu müssten die Antikörper der Mäuse zunächst in Antikörper umgewandelt werden, die denen des Menschen ähneln», sagt Miho. «Die biologischen und Computer-Techniken dafür sind etabliert. In erster Linie muss man die «Rumpfstücke» der Antikörper ändern. Sie interagieren am stärksten mit den Körperzellen und dem restlichen Immunsystem. Die Abschnitte auf dem «Armpaar», welche an die Virenpartikel binden, belässt man, damit die Antikörper ihre Wirksamkeit gegen die verschiedenen Dengue-Varianten behalten.» So erzeugte menschliche Antikörper würden sich für die Anwendung am Menschen eignen und könnten dann die Immunantwort besonders bei schwerem Denguefieber unterstützen. Wenn Patientinnen und Patienten sie einst gespritzt bekommen, kann deren Immunsystem sie wie körpereigene Antikörper zur Abwehr der Viruspartikel nutzen. Die besonderen Antikörper brächten hier, genau wie im Falle einer Impfung, einen entscheidenden Vorteil: Ein einziges Präparat wäre gegen die verschiedenen Dengue-Serotypen wirksam.

In Zukunft sollen der Suchablauf und die Computermodelle, die das aiHealthLab-Team entwickelt hat, auch zur Antikörpersuche gegen andere Infektionskrankheiten eingesetzt werden. Besonders für Krankheitserreger, von denen es ebenfalls verschiedene Varianten gibt.

Methoden und Infrastruktur

- Einzelzellsequenzierung
- Bindungsassays
- Antikörper-Expression
- Maschinelles Lernen

Förderung

- Wellcome Trust, UK
(Innovator Award 215840/Z/19/Z)

Zusammenarbeit

- Institut Pasteur, FR

Diagnostik zu Hause leicht gemacht

Eine Infektion mit dem Coronavirus SARS-CoV-2 lässt sich bereits jetzt zu Hause feststellen. Doch bisher ist es unmöglich, zu Hause die Virusinfektion in verschiedenen Stadien nachzuweisen – ebenso wie die Wirksamkeit einer Impfung. Deshalb entwickeln Forschende der HLS FHNW in einem schweizweiten Kooperationsprojekt einen neuartigen Selbsttest. Der selbst durchgeführte Corona-Test braucht nur ein wenig Speichel und zeigt das Ergebnis innerhalb von einer Viertelstunde an. Mit dieser einfachen Funktionsweise bietet er einen wichtigen Beitrag zum Ausweg aus der Pandemie.

Rückkehr zur Normalität – das wünschen sich alle. Ein Baustein dazu können einfache, preiswerte Corona-Tests sein, die schnell und verlässlich Ergebnisse liefern. Nur so lässt sich herausfinden, wer infiziert oder vielleicht schon immun ist. Doch Privatpersonen können bei sich selbst bisher nur die akute Infektion mit dem Coronavirus testen. Dies will das DAVINCI-Konsortium mit acht Partnern von Schweizer Hochschulen und aus der Industrie ändern. In dem vom Botnar Research Centre for Child Health geförderten Projekt entwickelt der Chemiker Frank Dieterle vom Institut für Chemie und Bioanalytik gemeinsam mit dem Konsortium nun einen Test, der zu Hause durchführbar ist und sowohl eine aktive Infektion als auch eine Immunität gegenüber dem Virus im Speichel nachweist.

«Bisher spielt Speichel als diagnostische Körperflüssigkeit erst eine untergeordnete Rolle», sagt

«Unser Test deckt das gesamte diagnostische Spektrum ab, von der Infektion über die Impfantwort bis zur Fragestellung, ob jemand in den letzten Monaten schon einmal COVID-19 gehabt hat.»

Frank Dieterle

Dieterle. «Dabei ist er ein echter Alleskönner. Er hilft nicht nur bei der Verdauung, sondern bildet auch die erste Verteidigungslinie gegen Erreger, die über den Mund oder die Nase eindringen.» Wenn das Immunsystem mit einem Krankheitserreger Kontakt hat, bildet es Antikörper, welche den Erreger bekämpfen und eine zweite Infektion verhindern können. Sie zirkulieren im Blut, werden aber auch in geringen Mengen vom Körper in den Speichel abgegeben.

Alternativen gefragt

«Der bisherige Goldstandard zum Nachweis einer aktiven Coronavirusinfektion sind PCR-Tests», erklärt Dieterle. PCR steht für Polymerasekettenreaktion, eine sehr sensitive und sichere Labormethode, welche die Gene des Virus SARS-CoV-2 aus einem Nasen-Rachen-Abstrich oder in einem Spucktest erfassen kann. Eine andere Testmethode, die über einen Nasen- oder Rachenabstrich funktioniert, ist der Antigentest. Dieser reagiert auf Bestandteile des Virus, wie etwa Proteine, und dient ebenfalls zum Nachweis einer aktiven Infektion. Der Antigentest,



der schon nach wenigen Minuten das Ergebnis liefert, eignet sich typischerweise für Zugangskontrollen in Pflegeeinrichtungen, Krankenhäusern oder am Flughafen, ist jedoch weniger sensitiv. Ein dritter Test ist der Antikörpertest im Blut. Mit ihm lässt sich ein Schutz vor Ansteckungen nachweisen; entweder durch Impfung oder durch vorherige Infektion. Er zeigt an, wie stark die Immunantwort des Körpers ist, und eignet sich damit zur Kontrolle nach einer Impfung. Alle drei gängigen Testverfahren haben einen Nachteil: Wenn sie ein sicheres Ergebnis liefern sollen, braucht man professionelles Personal für die Abstriche, Analysen oder für die Blutabnahme.

Einfach auch für Laien

Mit einem Gerät für die Speicheltestung, das ähnlich aussieht wie ein Fieberthermometer, schaffen Dieterle und die Forschenden des DAVINCI-Konsortiums nun Abhilfe. Das neu entwickelte Instrument ist für den Einmalgebrauch und richtet sich vor allem an medizinische Laien, die schnell Gewissheit haben wollen, ob sie mit dem SARS-CoV-2-Virus infiziert sind oder ob ihre Impfung sie noch schützt. Das gelingt mit einem Doppeltest, der sowohl Antikörper

gegen das Virus als auch Virusantigene detektiert und sich einfach zu Hause durchführen lässt. «Für uns war es besonders wichtig, dass das Gerät in allen Situationen sicher funktioniert und möglichst fehlerfrei zu bedienen ist», sagt Dieterle. «Deshalb haben wir uns für die Methode des Lateral-Flow-Tests entschieden, die auch bei Schwangerschaftstests und zum Nachweis von Drogen angewendet wird und sehr einfach zu handhaben ist.» Für den neuen Doppeltest öffnet man eine Verschlussklappe, spuckt ein paar Mal in eine kleine Kammer und verschliesst die Klappe wieder. Der Speichel wird automatisch auf zwei verborgene Teststreifen übertragen, welche die Reagenzien für den Nachweis der Antikörper und der Antigene enthalten. Wenn nach 15 Minuten eine rote Linie am Testgerät sichtbar wird, ist das Ergebnis positiv. Zusätzlich gibt es eine zweite Kontrolllinie, um zu zeigen, ob der Test technisch funktioniert hat.

Für die Testproduktion hat die Hochschule den Testaufbau entwickelt und die erforderlichen Reagenzien identifiziert. Die benötigten Speichelproben hat das Forschungsteam unter der Leitung des Schweizerischen Tropen- und Public Health-Instituts Swiss TPH von Studienteilnehmenden verschiedener COVID-Teststationen, wie zum Beispiel aus Muttenz, erhalten. Bis Ende des Jahres sollen die Studien abgeschlossen sein, damit 2022 die Zulassung in den USA und in Europa beantragt und die Produktion der Testgeräte im grossen Massstab gestartet werden kann. Parallel dazu entwickelt das DAVINCI-Konsortium eine App, welche die Auswertung des Testergebnisses erleichtert und die sich mit den nationalen COVID-Tracing-Apps verknüpfen lässt. Das Testverfahren soll in Zukunft als Plattformtechnologie auch für andere Infektionserreger ausgebaut werden – damit man zu Hause schnell und einfach Gewissheit hat.

Methoden und Infrastruktur

- Lateral-Flow-Tests
- ELISA
- Antikörper-Immobilisierung
- Antigen-Immobilisierung
- Test-Optimierungen
- Biacore- und Octet-Messsysteme zur markierungsfreien Interaktionsmessung
- Spotter für Antikörper und Antigene
- Assembly Lines für Lateral-Flow-Tests

Förderung

- Botnar Research Centre for Child Health

Zusammenarbeit

- Schweizerisches Tropen- und Public Health-Institut Swiss TPH
- Universität Basel
- ETH Zürich
- CSEM Schweizerisches Zentrum für Elektronik und Mikrotechnik AG
- BioInitials GmbH
- Effectum Medical AG
- Hemex AG

Doppelschutz für neue Zähne

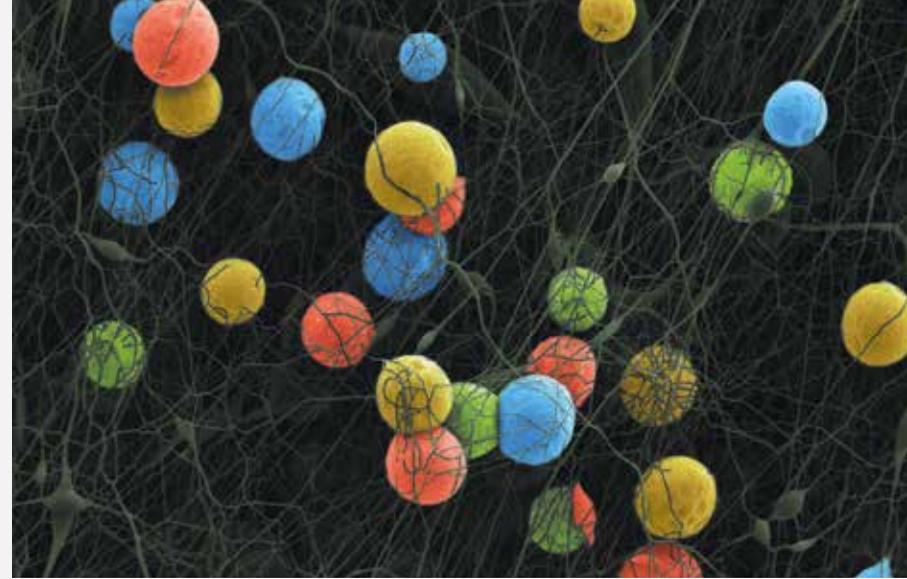
Zahnimplantate führen nicht selten zu einer Entzündung des umliegenden Gewebes. Diese gefährdet Zahnfleisch und Knochen und kann unbehandelt im Verlust des Implantats und im Knochenabbau enden. Forschende der HLS FHNW haben deshalb kleine Kapseln entwickelt, die direkt an den Entzündungsort verabreicht werden und Antibiotika zur antimikrobiellen Wirkung freisetzen. Die Kapseln können auch pflanzliche Extrakte enthalten, die regenerierend wirken. Durch die Einbettung der Kapseln in ein Geflecht aus feinsten Peptid-Fasern wird der Heilungsprozess zudem strukturell unterstützt.

Ein entzündetes Zahnbett ist unangenehm. Der Kiefer schmerzt, das Zahnfleisch geht zurück. Dieser Prozess kann so weit fortschreiten, dass er vom Zahnfleisch auf den Knochen übergreift. Besonders häufig entzündet sich ein Zahnbett, wenn an die Stelle des früheren Zahns ein Implantat gesetzt wurde. Fachleute sprechen dann von einer Periimplantitis. Hierbei kann sich in schlimmen Fällen das Implantat lockern oder sogar ausfallen, was aufwendige und teure Nachbehandlungen zur Folge hat. In der Schweiz und Deutschland werden jedes Jahr über 700 000 Zahnimplantate gesetzt; mit ihrer steigenden Zahl nehmen auch die Periimplantitis-Fälle zu. Deren erfolgreiche Therapie ist schwierig, wie Franziska Koch vom Institut für Pharma Technology der

HLS FHNW erklärt: «Einerseits möchte man den Knochen und das umliegende Weichgewebe regenerieren, andererseits herrscht im Mund eine hohe

Bakteriendichte, die eine regenerative Therapie ohne den Zusatz von Antibiotika erschwert.» Gemeinsam mit ihrem Team und dem Projektpartner Credentis hat Koch daher ein Präparat entwickelt, das die Heilung von erkranktem Gewebe unterstützt und zugleich die entzündungsfördernden Bakterien antibiotisch bekämpft. Im Gegensatz zu Standardtherapien mit systemischen oder lokalen Antibiotika ermöglicht es jedoch einen zielgenauen Antibiotikaeinsatz mit kontinuierlichen, geringen Dosen und der Möglichkeit, verschiedene Präparate zu kombinieren. Hierdurch wird das Risiko für Nebenwirkungen wie auch für die Entwicklung von Antibiotikaresistenzen verringert und die Effizienz der Therapie verstärkt.

Als Basis und zum Einbetten für ihr Produkt verwenden die Forschenden Peptide – kurze Proteinstücke, die sich von selbst zu einer fibrillären Netzwerkstruktur zusammenlagern und Wasser binden können. Das resultierende Peptid-Hydrogel besitzt die Fähigkeit, geschädigtes Gewebe zur Regeneration anzuregen. «Die faserige Matrix bietet Ankerpunkte für Zellen aus gesundem Nachbargewebe»,



sagt Koch. «So können sich diese anlagern, neu ausrichten und vermehren.» Dadurch wächst in der Entzündungstasche rund um das Implantat neues Gewebe. Bei diesem Prozess imitiert das Peptid-Hydrogel die natürliche extrazelluläre Matrix, die unsere Körperzellen umgibt. Ähnlich wie die extrazelluläre Matrix kann das Gel Proteine aus dem Blut, wie beispielsweise Fibronectin, binden. Daran heften sich wiederum die Zellen an und werden so verankert. «Der Knackpunkt ist aber, dass die entzündungsfördernden Bakterien am Implantat einen Biofilm bilden, welcher der Heilung entgegenwirkt», so Koch. Biofilme sind stark haftende bakterielle Verbände, in denen sich die Mikroorganismen gemeinsam organisieren. Um sie zu bekämpfen, haben die Forschenden winzige Kapseln aus bioabbaubaren Milchsäure-Verbindungen, den «Polylactiden», entwickelt, die sie mit verschiedenen Antibiotika füllen und dem Peptid-Hydrogel beimischen. Zur Periimplantitis-Behandlung könnte die Hydrogel-Kapsel-Mischung künftig in die Entzündungstasche injiziert werden. Die Antibiotika diffundieren dann nach und nach aus den Kapseln und weiter durch das Gel, sodass sie über mehrere Tage hinweg direkt am Entzündungsherd kontinuierlich freigesetzt werden. Die Polylactid-Kapseln werden derweil durch Enzyme in der Mundhöhle abgebaut.

Zur Behandlung der Periodontitis – einer implantatsunabhängigen Zahnbettentzündung – ist das Produkt ebenfalls geeignet.

Für die Herstellung der nano- oder mikrometerkleinen Kapseln nutzten die Forschenden den Reinraum des Process Technology Center an der HLS FHNW. Mittels Flüssigchromatografie analysierten sie, wie die Antibiotika aus den Kapseln abgegeben wurden. In einem zweiten Schritt machten sie antimikrobielle In-vitro-Tests, anhand derer sie die Wirksamkeit der freigesetzten Antibiotika untersuchten. Dazu liessen sie auf Agarplatten einen Bakterienrasen mit typischen entzündungsassoziierten oralen Bakterienspezies, wie zum Beispiel *Streptococcus mutans*, wachsen. Dann setzten sie ihr Präparat mit den Nanokapseln in die Mitte und beobachteten, wie sich rundherum langsam ein Hemmhof ausbreitete: ein immer breiter werdender Kreis aus abgetöteten Bakterien, der dem Diffusionsprofil der Antibiotika folgt. Zur quantitativen Auswertung haben die Forschenden die Bakterien auch mit speziellen Farbstoffen behandelt, sodass die lebenden grün und die toten rot leuchteten.

Die Tests umfassten jene Antibiotika, die üblicherweise zur Behandlung von Zahnbettentzündungen eingesetzt werden, wie etwa Doxycyclin und Ciprofloxacin. «Wir haben eine Art Plattformtechnologie aufgesetzt», freut sich Koch. «So kann man das Gel später in der Praxis für jeden Anwendungsfall mit eigens kombinierten Kapseln bestücken, die unterschiedliche Antibiotika in unterschiedlichen Dosen enthalten.» Auch pflanzliche Extrakte, die den Heilungsprozess unterstützen oder die Biofilmbildung verhindern, können in die Kapseln eingebaut werden. Die Nanokapseln eignen sich somit auch für Gels zur präventiven Anwendung in zahnärztlichen Praxen. Dann können sie schon mit dem Implantat eingebracht werden – damit die schmerzhafteste Entzündung möglichst gar nicht erst entsteht.

Methoden und Infrastruktur

- Rasterelektronenmikroskopie
- HPLC
- Herstellung der Kapseln mittels «Solid in Oil in Water emulsion» (SOW)-Verfahren
- Diverse antimikrobielle Assays, z.B. Lebend-Tot-Färbung, Wachstums-kinetiken, Agardiffusionstest
- Zellkulturtechniken mit diversen primären humanen Zellen
- Diverse zellbasierte Assays zu Wachstum, Produktion von Proteinen der extrazellulären Matrix, metabolischer Aktivität und Differenzierung
- Reinraum Klasse C
- Zellkulturlabor
- Mikrobiologielabor Sicherheitsstufe 2

Förderung

- Swiss Nanoscience Institute (Nano-Argovia-Projekt PERIONANO A14.15)

Zusammenarbeit

- Hightech-Forschungs-Zentrum Universität Basel
- credentis AG

«Mit unserem Industriepartner credentis AG gab es eine sehr gute Synergie; dank dem exzellenten Austausch konnten klinische Anwendungsbeobachtungen mit aktuellsten Forschungsergebnissen kombiniert werden.»

Franziska Koch

Kurzmeldungen

Dem diabetischen Fuss Beine machen

Diabetes ist in unserer Gesellschaft weit verbreitet. Schuld daran ist unter anderem der ungesunde Lebensstil mit kalorienreicher Ernährung und zu wenig Bewegung. Während man viele Folgen der Krankheit durch Änderungen im Verhalten und mit Medikamenten gut lindern kann, ist der diabetische Fuss eine gefürchtete Spätfolge. Da bei Diabetes die kleinen Blutgefässe schlecht durchblutet werden und das Gewebe nicht ausreichend versorgt wird, heilen selbst kleinste Verletzungen nicht gut. Durch das Eindringen von Bakterien entzündet sich die Wunde oft und wird dann immer grösser und tiefer, bis nicht nur die Haut betroffen ist, sondern auch das darunterliegende Gewebe. Über längere Zeit kann Gewebe absterben und im schlimmsten Fall müssen Teile des Beins amputiert werden. Bisher gibt es ausser regelmässigem Reinigen der Wunde und Wechseln der Verbände keine

zugelassene Therapie. Das will die Schweizer Start-up-Firma Topadur Pharma AG mit einem neuen Wirkstoff ändern. «TOP-N53 erhöht den Blutfluss in der Wunde, kann sogar die Bildung neuer Blutgefässe auslösen und fördert so die Wundheilung», sagt der Pharmatechnologe Georgios Imanidis von der HLS FHNW. Der Forscher arbeitet mit Topadur Pharma zusammen und entwickelt mit seinem Team die Formulierung des Medikaments: «Unsere Aufgabe ist es, den Wirkstoff in eine Form zu bringen, die man auf die Wunde geben kann.» Dafür testen sie verschiedene Anwendungsformen des Medikaments und messen dann, wie viel Wirkstoff in das Gewebe eindringt.

Idealerweise sollte der Wirkstoff möglichst gut gelöst sein und langsam über mehrere Tage verteilt in die Wunde übergehen. Ausserdem muss das fertige Medikament atmungsaktiv sein, denn sonst staut sich Flüssigkeit in der Wunde und das ist ein Hort für Bakterien. Das Präparat muss auch unter den

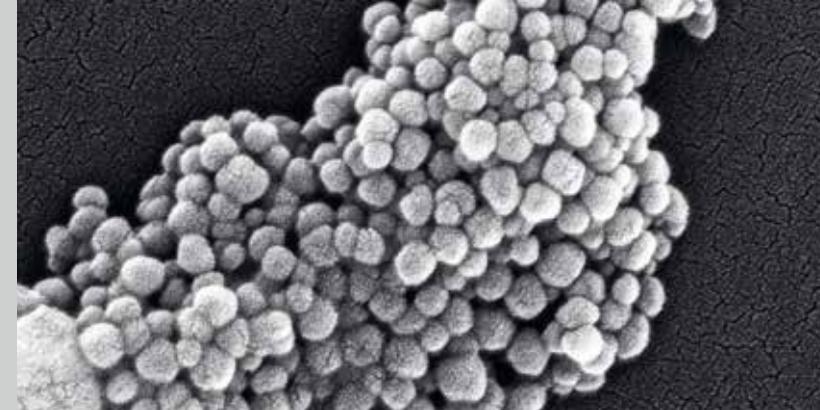


Verbänden vertragen werden und geeignet für die Heimpflege sein, denn es soll gleichzeitig mit der regelmässigen Pflege der Wunde angewendet werden können. Die Patientin oder der Patient soll dafür nicht eine Klinik oder eine Praxis aufsuchen müssen.

Eine Formulierung als Creme oder Salbe ist nicht ideal. Die Forschenden haben den Wirkstoff in ein Hydrogel eingebettet, das aus Zellosederivaten, Stärke, Wasser und anderen flüssigen Vehikeln hergestellt wird, die sich zu einer gelartigen Struktur verbinden. «Da sich die Konsistenz verändern lässt, eignet sich das Hydrogel für ganz verschiedene Arten von Wunden» erklärt der

Wissenschaftler, «für trockene Wunden ist sie ein bisschen dünnflüssiger als Honig, für nässende Wunden eher wie Götterspeise.»

Die Tests sollen bis Ende des Jahres abgeschlossen sein. Bis dahin will die Forschungsgruppe eine geeignete Lösung finden, um den Wirkstoff in die Wunde einzubringen. TOP-N53 soll dann im Rahmen einer klinischen Studie getestet werden.



Neues Konzept für Energiespeicher

Um mehrere Hundert Kilowattstunden Strom speichern zu können, benötigt man sehr viele Lithiumionen-Akkus – oder eine einzige Redox-Flow-Batterie mit zwei grossen, flüssigkeitsgefüllten Tanks. Die Redox-Flow-Technologie verspricht bei grossen Speichern Kostenvorteile, sie bietet eine fast unbegrenzte Lebensdauer, und es besteht keine Brandgefahr. Doch noch erfüllt sie diese Erwartungen nur unzureichend.

Um das zu ändern, haben Forschende der HLS FHNW in Kooperation mit dem CSEM, Muttenz, und der Aigys AG, Rheinfelden, ein neues Konzept verfolgt. Denn die Flüssigkeiten der üblichen Redox-Flow-Batterien haben zwei Nachteile: Erstens enthalten sie das toxische Schwermetall Vanadium. Zweitens kann jeder Liter Flüssigkeit aufgrund der limitierten Löslichkeit der Vanadium-Verbindungen nur recht wenig Energie speichern.

In einem vom Swiss Nanoscience Institute geförderten Projekt setzten die Forschenden um den Chemiker Marcus Waser daher auf leichter verfügbare Eisenverbindungen und auf Flüssigkeiten – sogenannte Dispersionen –, in denen diese Verbindungen als Nanoteilchen schweben. Sie konnten zeigen, dass sich auf diese Weise funktionierende Redox-Flow-Batterien herstellen lassen.



Personalisierte Behandlung für Autoimmunerkrankte

Autoimmunerkrankungen wie Lupus lassen sich nur schwer behandeln. Der Grund dafür liegt unter anderem in der schwierigen Diagnosestellung infolge überlappender Symptome und einer Vielfalt an Laborbefunden. Forschende der HLS FHNW haben deshalb eine Künstliche Intelligenz (KI) als Prototyp für Spitäler entwickelt, die in den genetischen, biomedizinischen und klinischen Daten von Autoimmunerkrankten Muster erkennen kann. Diese vergleicht sie mit den Daten anderer Betroffener und macht Vorhersagen. Die Ergebnisse werden in eine Software integriert, die von Ärztinnen und Ärzten genutzt wird, um eine genauere Diagnose zu stellen und eine personalisierte Therapie auf der Grundlage des individuellen Krankheitsstatus der Patientin oder des Patienten auszuwählen.

Starthilfe für sauberes Trinkwasser

Der ostafrikanische Viktoriasee ist bekannt für seine Vielfalt an Pflanzen und Tieren. Die in den umliegenden Dörfern wohnenden Menschen nutzen ihn vor allem als Trinkwasser-Reservoir. Doch die Idylle trügt: Das Wasser ist schmutzig und häufig kontaminiert mit Bakterien oder Parasiten. Ein Team von Schweizer Forschenden hat deshalb mit Unterstützung der Stiftung Symphysis und der Georg Fischer Clean Water Stiftung mehrere «Trinkwasserkiosks» installiert, die das Seewasser filtern. Dort kann sich die Bevölkerung nun sauberes Wasser holen. Das mit dem prix eco ausgezeichnete Projekt wurde gemeinsam von der Forscherin Maryna Peter von der HLS FHNW, der Eawag sowie der ugandischen Organisation Africa Water Solutions und dem Nalwire Technical Institute entwickelt.

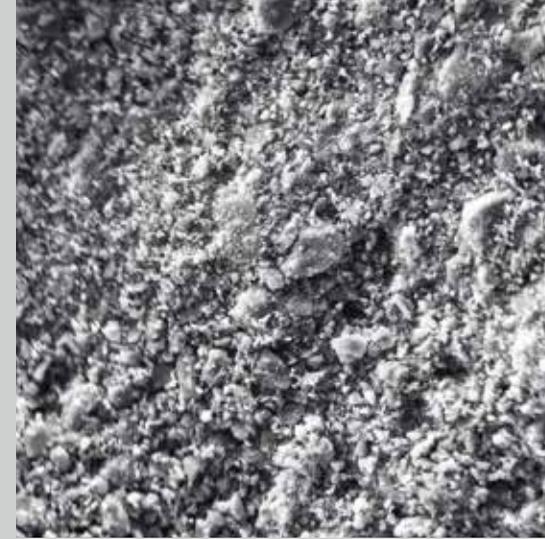
Damit das Wasser aus dem oft mehrere Kilometer entfernten See zu einem «Trinkwasserkiosk» gelangt, wird es mit Solarkraft aus dem See ins Dorf gepumpt und dort in einem Tank gesammelt, der meist in der Nähe einer Schule steht. Danach wird das Seewasser nur mittels Schwerkraft durch Membranen gedrückt und so gefiltert. Schulkinder erhalten das



so gewonnene saubere Wasser kostenlos. Andere zahlen nur einen sehr geringen Betrag dafür. Damit die Anlage wirklich nachhaltig betrieben werden kann, kümmern sich Einheimische um den Unterhalt. Künftig soll sich die Anlage finanziell selber tragen, auch wenn Reparaturen oder ein Wechsel der Filtermembranen anstehen. Das wird durch den Verkauf des Wassers und durch die äusserst

lange Haltbarkeit der Filtermembranen ermöglicht. Dank des geringen Drucks, mit dem das Wasser durch die Membranen fließt, können sie bis zu zehn Jahre verwendet werden, ohne dass ein Spülgang nötig wird. Selbst wenn sich aus Bakterien und anderem Material des Seewassers ein Biofilm auf den Membranen bildet, bleibt der Filter wasserdurchlässig.

Erste Umfragen der Forschenden haben gezeigt, dass fast zwei Drittel der lokalen Bevölkerung nun das saubere Wasser trinken und es dadurch weniger Durchfallerkrankungen gibt als früher. In den umliegenden Dörfern sollen bald weitere Wasserkiosks entstehen.



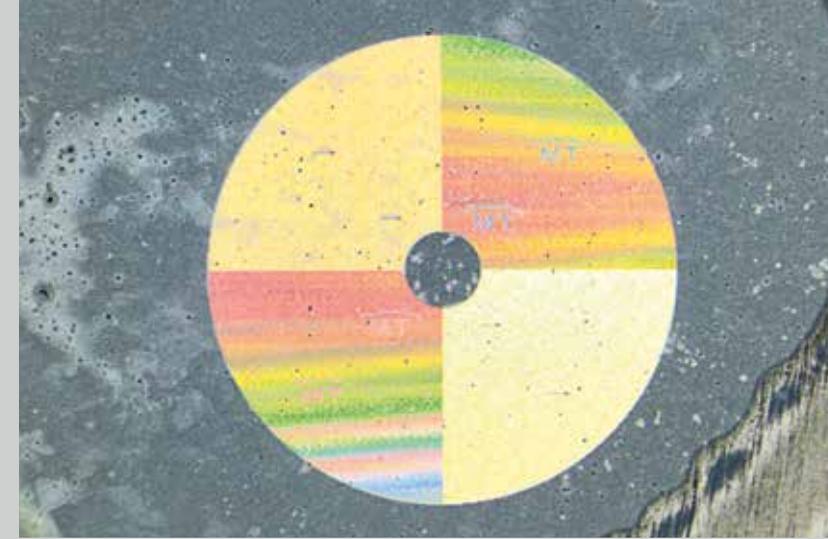
Mit Kirschkernen und Klärschlamm gegen Spurenstoffe im Abwasser

Filtersysteme mit Aktivkohle sind ein wirksames Mittel gegen Mikroverunreinigungen im Abwasser. Die Herstellung von Aktivkohle führt jedoch zu einem hohen CO₂-Ausstoss. Forschende der HLS FHNW haben im Rahmen des EU-Förderprogramms Horizon 2020 untersucht, ob Aktivkohle auch aus natürlichen Abfallstoffen wie Kirschkernen und Klärschlamm gewonnen werden kann und ob diese gleich gut ist, wie traditionell hergestellte Aktivkohle. Erste Ergebnisse aus den Pilotanlagen in Altenrhein sind vielversprechend.

Schutz vor Copycats

Wer einen Zahnersatz braucht, erwartet ein Qualitätsprodukt. Dementsprechend verfügen Dentalimplantate-Hersteller über eine aufwendige und kostspielige Qualitätskontrolle. Nachahmer, die äusserlich sehr ähnliche Implantate und Produkte anbieten, legen darauf vielleicht weniger Wert. Hinzu kommt, dass womöglich weniger geeignete Materialien und Produktionsprozesse benutzt werden. Die Folge für Patientinnen und Patienten: Im schlimmsten Fall muss das Implantat ersetzt werden. Daher sind Methoden gefragt, mit denen sich Originale und Nachahmerprodukte schnell und eindeutig unterscheiden lassen.

Eine solche Methode haben Forschende der HLS FHNW zusammen mit dem Forschungspartner CSEM und der Firma Thommen Medical AG im Projekt «SwissHolo» entwickelt. Zentrales



Element der neuen Technologie ist ein Stempel aus ultrahartem Stahl, mit dem sich Erkennungszeichen in das Implantat oder in das Abutment prägen lassen. Unter Abutment versteht man das Mittelstück, das den Zahnwurzelersatz mit der sichtbaren Krone verbindet. Für diese Teile wird Titan verwendet. Das Leichtmetall löst keine Allergien aus und wächst gut in den Körper ein.

Als geprägte Kennzeichen können zum Beispiel farbige Hologramme und Elemente wie Logos oder eindeutige Identifikationsnummern dienen, die mit blossen Auge erkennbar sind. Ebenso kann man versteckte Informationen platzieren, die nur unter spezieller Laserbeleuchtung sichtbar sind.

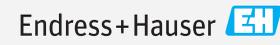
Am Stempelfuss befinden sich periodisch wiederkehrende Mikro- oder Nanostrukturen, die unter Krafteinwirkung auf das erhitzte Titan-Implantat oder -Abutment übertragen werden.

Auftreffendes Licht wird von diesen Strukturen gebeugt. Es entstehen neue Lichtwellen, die sich überlagern und dadurch farbig erscheinen oder Muster bilden. Solche diffraktive Strukturfarben sind auch in der Natur, so etwa bei Pfauenfedern und Schmetterlingsflügeln, zu beobachten. Der Vorteil dieser Art der Kennzeichnung ist, dass man keine Beschichtung oder anderes zusätzliches Material benötigt, das altert oder unerwünschte Fremdkörperreaktionen auslösen kann.

Das Team der HLS FHNW um Michael de Wild konnte im Projekt ermitteln, unter welchen Bedingungen das Prägen der Implantatoberfläche optimal funktioniert. Ausserdem hat es gezeigt, dass ein Stempel auch noch nach 5000-fachem Gebrauch genügend prägend wirkt, um die Implantate und Abutments mit einem farbigen Hologramm zu kennzeichnen.

Ausgewählte Kooperationen

Kooperationen National



Kooperationen International



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 13 100 Studierende sind an der FHNW immatrikuliert. Rund 1 300 Dozierende vermitteln in 29 Bachelor- und 18 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. 2020 umfasste die anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung 1291 Forschungsprojekte sowie 359 Dienstleistungsprojekte.

Ansprechpartner



**Hochschule für
Life Sciences FHNW**
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

AnDiCo Lab

IDCE Institut Digitale Kommunikations-Umgebungen

Hochschule für Gestaltung und Kunst FHNW

Bildnachweis

Uwe Pieleles (Titelseite, S. 4/5, S.18/19, S. 21, S. 24/25)

Nicolas Zonvi (S. 3)

Dilek Özkul (S.7)

Joëlle Hofer (S. 8)

HLS-FHNW-IM² (S.10/11)

SiVU – Make Science Visible (S.13)

Anna Marsano, Universität Basel (S.14)

©[m_____k____]/Adobe Stock (S.17)

Patrick Shahgaldian (S. 23)

©[ustas7777777]/Shutterstock (S. 27)

©[Digital Images Studio]/Shutterstock (S. 28)

Hemex AG (S. 30/31)

Jasmin Föhr, Bearbeitung Oliver Germershaus (S. 33)

©[InsideCreativeHouse]/Adobe Stock (S. 34)

Marcus Waser (S. 35 links),

©[Blackboard/Shutterstock] (S. 35 rechts)

Eawag (S. 36)

Mario Strässle (S. 37 links)

Romy Marek, Innosuisse-Projekt 18679.2 PFIW-IW SwissHolo (S. 37 rechts)

Jürg Isler (S. 41)

Druck

Sprüngli Druck AG, Villmergen

Auflage

500 Deutsch, 200 Englisch

Erste Ausgabe, Dezember 2021

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