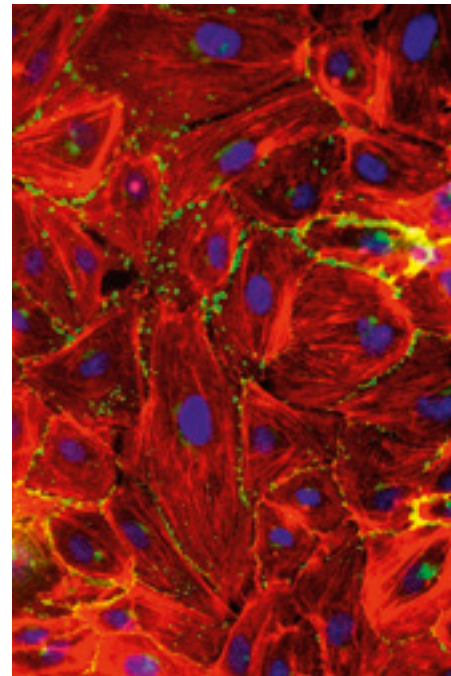


Mit diesem Gerät untersuchen die Forscher die mechanischen Eigenschaften von Geweben.



Im Labor gelang es, auf einem Trägermaterial eine geschlossene Schicht an Endothelzellen unter hoher mechanischer Belastung zu züchten.

FORTSCHRITT AUF ALLEN EBENEN

Immer mehr Menschen leben mit einem Kunstherz. Doch die heutigen Geräte haben gravierende Nachteile. ETH-Forschende entwickeln nun mit Medizinern Alternativen.

TEXT Felix Würsten

Lm Jahr 1982 setzte der amerikanische Herzchirurg Robert Jarvik in Salt Lake City einem Patienten das weltweit erste dauerhafte Kunstherz ein. Barney Clark, ein pensionierter Zahnarzt, überlebte den Eingriff zwar «nur» 112 Tage; dennoch wurde mit dieser Operation eine neue Ära in der Herzchirurgie eingeleitet. Seither kommt es immer häufiger vor, dass solche Unterstützungssysteme nicht mehr nur zur Überbrückung eingesetzt werden, sondern dass sie als längerfristige Lösungen das Überleben der Patienten sichern sollen.

Wie gross der Bedarf an solchen Systemen ist, zeigt sich allein schon an den Zahlen des Deutschen Herzzentrums Berlin, welches das weltweit grösste Kunstherzprogramm betreibt: Dort wurden bisher über 2500 Unterstützungssysteme eingesetzt. Und die Nachfrage dürfte in den nächsten Jahren weiter zunehmen: Immer mehr Patientinnen und Patienten leiden unter Herzinsuffizienz, nicht zuletzt auch aufgrund der steigenden Lebenserwartung; gleichzeitig stagniert die Zahl der verfügbaren Spenderherzen.

Enge Kooperation mit Medizinern

Das Problematische daran ist, dass die heutigen Kunstherzen einige gravierende Schwächen aufweisen. So kommt es immer wieder zu schweren Komplikationen, weil sich in den künstlichen Pumpen Blutgerinnsel bilden, die zu einem Schlaganfall führen können. Und auch die Verbindung zur Batterie, welche die Pumpe mit Energie versorgt, ist ein heikler Punkt: Die künstliche Körperöffnung, durch die das Verbindungskabel geführt wird, ist ein Hort für gefährliche Infektionen.

Diese unbefriedigende Situation war der Grund, warum die ETH zusammen mit dem Universitätsspital und der Universität Zürich vor fünf

Jahren unter dem Dach von Hochschulmedizin Zürich das Projekt «Zurich Heart» lancierte. Die Idee dahinter: Das breite medizinisch-technische Know-how bündeln, das in Zürich vorhanden ist, und die vorhandenen Technologien weiterentwickeln. Inzwischen, so berichtet Edoardo Mazza, Professor am ETH-Institut für Mechanische Systeme und Co-Leiter des Projekts, habe sich innerhalb dieses Projekts eine regelrechte Community gebildet, die sehr gut funktioniert. «Wir arbeiten an einer Vielzahl von Problemen und können von unserem Wissen gegenseitig profitieren.» Tatsächlich sind inzwischen eine ganze Reihe von Professuren der beiden Hochschulen involviert. Sie betreuen 28 Doktorierende und insgesamt 75 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die in verschiedenen Teilprojekten arbeiten.

«Die Ausgangslage für ein solches Vorhaben ist in Zürich ideal», erklärt Volkmar Falk, ärztlicher Direktor des Deutschen Herzzentrums Berlin. Der frühere Direktor der Klinik für Herz- und Gefässchirurgie des Universitätsspitals Zürich und Initiator des Projekts brachte nach seinem Wechsel nach Deutschland einen gewichtigen neuen Partner dazu, verfügen die Ärzte in Berlin doch über eine grosse klinische Erfahrung. Gerade den engen Austausch mit diesen Spezialisten empfindet Dimos Poulidakos, ETH-Professor für Thermodynamik und ebenfalls Co-Leiter des Projekts, als sehr anregend: «Die Mediziner denken wie wir Ingenieure lösungsorientiert, deshalb verstehen wir uns sehr gut mit ihnen. Ihre Rückmeldungen helfen uns, die Prioritäten bei der Entwicklung richtig zu setzen.»

Bessere Komponenten, neue Ideen

Ein wesentliches Ziel von «Zurich Heart» besteht darin, einzelne Komponenten so zu optimieren, dass es insgesamt zu weniger Komplikationen >



Systemmodifikation Dimos Poulidakos

Professor für Thermodynamik am ETH-Departement für Maschinenbau und Verfahrenstechnik. Im Projekt «Zurich Heart» leitet er den Teilbereich Systemmodifikation, bei dem die Verbesserung der heutigen Unterstützungssysteme im Mittelpunkt steht.

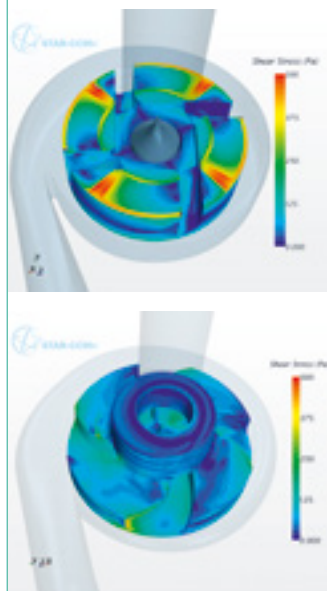
Alternative Systeme Edoardo Mazza

Professor für Mechanik am Departement für Maschinenbau und Verfahrenstechnik der ETH Zürich. Er ist im Projekt «Zurich Heart» für den Teilbereich alternative Systeme zuständig. Dabei geht es unter anderem um den Einsatz von neuen Materialsystemen in Kunstherzen.



Klinische Integration Volkmar Falk

Ordinarius der Klinik für Herz-, Thorax- und Gefässchirurgie der Charité sowie ärztlicher Direktor des Deutschen Herzzentrums Berlin. Als ehemaliger Direktor der Klinik für Herz- und Gefässchirurgie des Universitätsspitals Zürich ist er im Projekt «Zurich Heart» für die klinische Integration der neu entwickelten Systeme verantwortlich.



Weniger Belastung dank neuer Geometrie: In den heute verwendeten Pumpen wird das Blut hohen mechanischen Belastungen ausgesetzt (zu erkennen im oberen Bild an den roten Stellen mit hohen Scherkräften). Mit einem verbesserten Design lässt sich die Belastung markant reduzieren (unten).

kommt und gleichzeitig die Leistung des Systems verbessert wird. So entwickeln die ETH-Ingenieure etwa eine neue Regelung, welche die heutige passive Steuerung ersetzen soll. Gelingt das Vorhaben, werden Kunstherzen das Blut künftig nicht mehr mit einer konstanten Rate durch den Körper pumpen, sondern die geförderte Menge automatisch an die Belastung anpassen. Erste mehrstündige Akutversuche mit Tieren verliefen vielversprechend. In einem nächsten Schritt sind nun Langzeitversuche geplant, bei denen die Tiere mit der neuartigen Pumpe mehrere Wochen leben werden.

Auch das Design der Herzpumpe haben die Ingenieure verbessert. Mit Hilfe von Simulationen gelang es ihnen, eine Pumpe mit hoher hydraulischer Effizienz zu konstruieren, welche die roten Blutkörperchen weniger schädigt. Gerade diese Schädigung ist für die Patienten ein ernsthaftes Problem, wird damit doch der Sauerstofftransport im Blut beeinträchtigt.

Positives gibt es auch bei der Stromversorgung zu vermeiden: Die ETH-Ingenieure entwickeln ein drahtloses System, das die künstliche Pumpe effizient mit Energie versorgt. Das Prinzip basiert – ähnlich wie die drahtlosen Ladegeräte der Mobiltelefone – auf elektrischer Induktion. Die Herausforderung besteht darin, eine übermässige Erwärmung des Gewebes zu vermeiden. Im Experiment gelang es, eine Leistung von 30 Watt zu übermitteln und dabei die Verluste so klein zu halten, dass die Erwärmung des Gewebes auf 1,5 Grad beschränkt blieb.

Die bestehende Technik zu verbessern, ist allerdings nur ein Teil des Projekts. In einem zweiten Teil verfolgen die Ingenieure und Naturwissenschaftler auch völlig neue Ansätze, die zu ganz anderen Konstruktionen führen könnten. So experimentieren sie beispielsweise mit verformbaren Materialien, mit denen sich eine Pumpe herstellen liesse, die eher dem natürlichen Herzen entspricht. Eine entscheidende Frage ist, wie sich solche Materialien längerfristig verhalten, wenn sie einer immer wiederkehrenden Verformung ausgesetzt werden.

Schlüsselfaktor Endothelzellen

Sowohl die Verbesserung von Komponenten als auch die Entwicklung von neuen Konzepten tangieren Fragen, die in die Grundlagenforschung reichen. Ein entscheidender Punkt ist etwa, wie man den Kontakt des Bluts mit fremdem Material vermeiden könnte, weil gerade dies Komplikationen verursacht. Natürliche Blutgefässe sind auf der Innenseite mit einer Schicht Endothelzellen ausgekleidet, die den Austausch zwischen dem Blut und dem Gewebe regulieren. Die Idee der Forschenden ist nun, zusammen mit Ingenieuren der Empa Dübendorf körpereigene Endothelzellen auf einem flexiblen Substrat zu züchten und

dieses neue Gewebe mit den künstlichen Materialien zu verbinden.

Die Wissenschaftler sind inzwischen in der Lage, eine solche künstliche Endothelzellschicht innerhalb von wenigen Stunden zu züchten. Zusätzlich haben sie einen speziellen Bioreaktor entwickelt, mit dem sie die Situation im menschlichen Körper nachbilden können. Der Reaktor erlaubt es, Materialverbindungen im Labor realitätsnah zu testen und abzuklären, ob die Verbindungen den hohen Drücken in neuen Pumpsystemen standhalten. Damit, so hoffen die Wissenschaftler, lässt sich nicht zuletzt die Anzahl Tierversuche reduzieren.

Umfangreiche Tests

Obwohl in etlichen Teilprojekten von «Zurich Heart» bereits erfreuliche Fortschritte erzielt wurden, wird es noch einige Zeit brauchen, bis die neuen Technologien im klinischen Alltag eingesetzt werden können. So müssen neue Materialien in umfangreichen Ermüdungstests ihre klinische Tauglichkeit unter Beweis stellen. Zudem müssen in länger dauernden Tierversuchen Langzeitdaten zur dauerhaften Funktionsfähigkeit gewonnen werden. Auch die neuen Sensoren und Algorithmen, die zur Steuerung der Pumpen verwendet werden, müssen zahllose Test überstehen, ebenso wie die kabellose Übertragung von Energie oder Daten. Auch bei diesen Komponenten darf es im praktischen Einsatz keine Störungen geben, die einen Systemausfall verursachen, würde dies doch die betroffenen Patienten akut gefährden. «Neben den erheblichen regulatorischen Erfordernissen, die vor der Zulassung im Menschen erfüllt sein müssen, gilt es schliesslich auch noch die Finanzierung des Technologietransfers sicherzustellen», ergänzt Falk. «Denn Translation ist teuer.» ○

Bild: S. Boës, ETH Zürich, und L. Wiegmann, UZH

HIRN AN ROBOTER: «BITTE BEWEGEN»

Mit Gedanken einen Roboter steuern, der die gelähmte Hand führt: Ein Projekt aus dem ETH-Labor für Rehabilitationstechnik könnte Therapie und Alltag für Schlaganfallpatienten grundlegend verändern.

TEXT Roland Baumann

Schlaganfall. Dieser Schicksalsschlag widerfährt jedem sechsten Menschen im Laufe seines Lebens. Allein in der Schweiz sind es 16 000 Menschen pro Jahr. Zwei Drittel der Betroffenen erleiden eine Armlähmung. In einem aufwändigen Training können Patientinnen und Patienten – je nach Schwere der Hirnschädigung – die Kontrolle über den Arm und die Hand bis zu einem gewissen Grad wiedererlangen. Das kann eine klassische Physio- und Ergotherapie sein, es können aber auch Roboter zum Einsatz kommen.

Roger Gassert, Professor für Rehabilitationstechnik an der ETH Zürich, hat verschiedene solcher Roboter zur Therapie der Handfunktion entwickelt und sieht in ihnen ein gutes Mittel, um Patienten bei der Therapie zu unterstützen. Ob aber Physio- oder Robotertherapie: Beide Formen sind meist auf ein bis zwei Trainingseinheiten pro Tag limitiert und für Patienten zudem aufwändig, wenn sie zur Therapie fahren müssen.

Exoskelett als Übungsroboter

«Meine Vision ist, dass Patienten die Übungen nicht mehr in einer abstrak-



Roger Gassert ist seit 2008 Professor für Rehabilitationstechnik an der ETH Zürich. Er studierte Mikrotechnik an der EPFL, wo er im Bereich neurowissenschaftliche Robotik promovierte. Nach Forschungsaufenthalten in London, Vancouver und Kyoto hatte er 2007 die Leitung des gemeinsamen Robotiklabors der EPFL und der Universität Tokio übernommen, bevor er an die ETH Zürich berufen wurde. Seine Professur wird von der ETH Zürich Foundation in Zusammenarbeit mit der Hocoma AG unterstützt.

Bild: Giulia Marthaler

ten Situation in der Klinik machen, sondern zuhause im Alltag, und dass ein Roboter sie je nach Schweregrad der Schädigung unterstützen kann», sagt Gassert und präsentiert ein Exoskelett für die Hand. Die Idee für diesen Roboter hat er zusammen mit Professor Jumpei Arata von der Kyushu Universität (Japan) entwickelt, als dieser 2010 während eines Sabbaticals in Gasserts Labor arbeitete.

«Bestehende Exoskelette sind schwer, was ein Problem ist für unsere Patienten, weil sie dann die Hand nicht heben können», erklärt Gassert das Konzept. Zudem haben die Patienten Mühe, etwas zu spüren und die richtige Kraft auszuüben. «Deshalb wollten wir ein Modell, das die Innenfläche der Hand kaum berührt, damit man im Alltag Aktivitäten ausführen kann, die nicht nur die Motorik, sondern auch die Sensorik unterstützen», führt er aus. Arata entwickelte einen Mechanismus für den Finger mit drei übereinanderliegenden Blattfedern. Ein Motor bewegt die mittlere Feder, welche die Kraft über die anderen beiden Federn auf die verschiedenen Fingerabschnitte überträgt. Die Finger >

ETH GLOBE 3/2016