

Biomechanik: Die Vermessung des Menschen

Biomechanics: Measuring the Human Body

Herz-Kreislauf-Erkrankungen wie Herzinfarkt und Schlaganfall sind die häufigsten Todesursachen in Europa. Die Grundlagenforschung am Institut für Biomechanik der TU Graz liefert mit ingenieurwissenschaftlichen Methoden die Basis dafür, diese Erkrankungen in Zukunft gezielter zu therapieren und postoperative Komplikationen zu verringern.

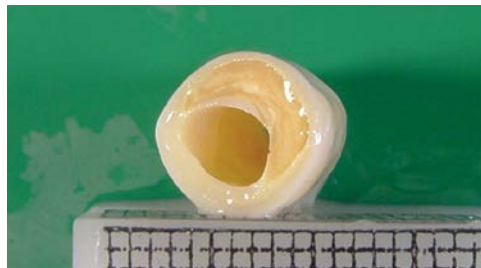
Alles fließt: Unsere Gefäße sind nichts anderes als dünne elastische Rohre, durch die sich Blut ständig seinen Weg bahnt, um Organe und Gewebe mit Sauerstoff zu versorgen. Und genauso wie Rohre verstopfen können und Reibungen sowie Spannungen ausgesetzt sind, verändern sich unsere Blutgefäße im Laufe des Lebens: Die Elastizität nimmt ab, Kalk und Fett lagern sich an den Wänden der „Biorohre“ ab. Dadurch verengen sie sich, was man als Atherosklerose bezeichnet. Über kurz oder lang kann so nicht mehr genügend sauerstoffreiches Blut zu den Geweben fließen. Auch der Herzmuskel – eine elektromechanische Pumpe – büßt nach und nach seine Pumpleistung ein. Die Folgen können Herz-Kreislauf-Erkrankungen wie Herzinfarkt und Schlaganfall sein – die häufigsten Todesursachen in Europa.

Cardiovascular diseases like heart attack and strokes are the most common cause of death in Europe. The basic research at TU Graz's Institute of Biomechanics will provide a basis – using engineering methods – to treat these illnesses in a more targeted way in the future and to reduce postoperative complications.

Everything flows. Our vessels are nothing but thin elastic pipes through which blood constantly circulates to supply organs and tissues with oxygen. And just as pipes can get clogged and exposed to friction and stresses, so do blood vessels change in the course of our lives. Elasticity is diminished, and calcium and fat are deposited on the walls of these “biological pipes”, making them gradually narrower – what is known as atherosclerosis. Sooner or later not enough oxygen-rich blood can flow to the tissues. Also, the pumping efficiency of the heart muscle, which is nothing but an electromechanical pump, slowly decreases. The consequences can be cardiovascular diseases, such as heart attacks and strokes – the most common causes of death in Europe.

Mit Herz und Mathematik

Wie sich kardiovaskuläre Gewebe wie Blutgefäße oder der Herzmuskel im Laufe des Lebens, bei einer Erkrankung und nach einer Operation genau verändern, ist von Mensch zu Mensch verschieden. Vieles liegt noch im Dunkeln. Die relativ junge Wissenschaft der Biomechanik schließt hier als Schnittstelle zwischen Medizin und Technik erfolgreich an: Die Forschenden am Institut für Biomechanik der TU Graz nutzen ingenieurwissenschaftliche Berechnungsmethoden, um menschliche „Rohre“ und „Pumpen“ genau zu beschreiben. „Zunächst untersuchen und charakterisieren wir die Materialeigenschaften weicher biologischer Gewebe wie beispielsweise Blutgefäße und Herzgewebe bei Belastung. Dazu vermessen wir in eigens entwickelten Versuchsapparaturen Proben von gesunden und kranken Geweben“, erklärt Gerhard A. Holzapfel, der das Institut für Biomechanik leitet. Das Institut verfügt unter anderem über Appara-



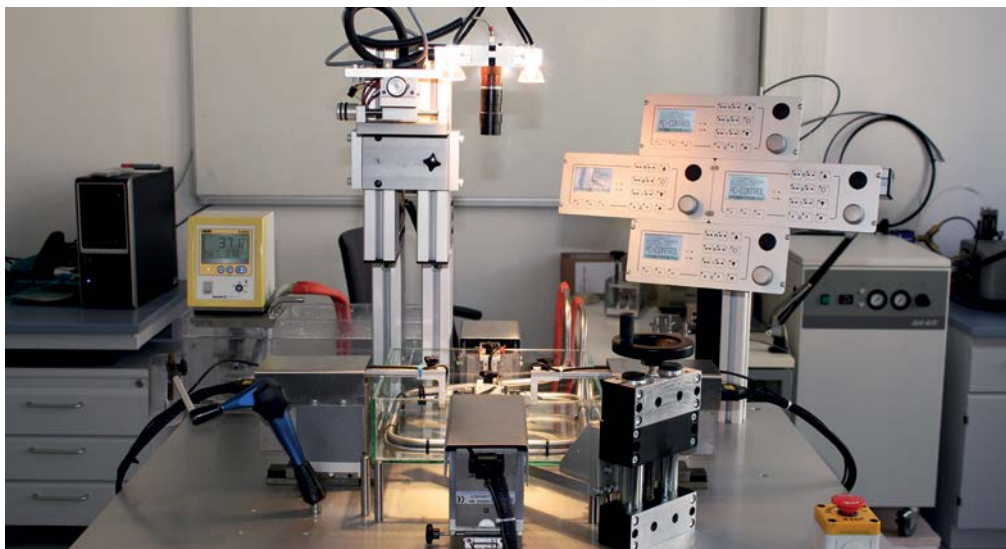
© Institut für Biomechanik

With heart – and mathematics

How exactly cardiovascular tissues such as blood vessels or the heart muscle change in the course of a lifetime, during disease and after an operation, differs from person to person. Much is still unknown. And this is where the relatively recent science of biomechanics comes in – as an interface between medicine and technology. Researchers at TU Graz’s Institute of Biomechanics are using engineering methods of calculation to describe human “pipes” and “pumps”. “At first we examine and characterise the material properties of soft biological tissue like

Abbildung 1:
 An den Wänden der Blutgefäße können sich Kalk und Fett ablagern, wie hier an einer menschlichen Beckenarterie. Die dadurch entstehenden Verengungen werden als Atherosklerose bezeichnet, die in Folge zu schwerwiegenden Herz-Kreislauf-Erkrankungen führen kann.

Figure 1:
 Calcium and fat are deposited on the walls of the blood vessels, as can be seen here on a human iliac artery. The narrowing caused by this is called atherosclerosis, and can lead to serious cardiovascular diseases.



© Institut für Biomechanik

Abbildung 2:
 Vom Institut für Biomechanik entwickelte Versuchsapparatur der TU Graz, mit der das mechanische Verhalten von Gewebe bei Belastung untersucht wird.

Figure 2:
 Test apparatus developed by the Institute of Biomechanics of TU Graz by which the mechanical behaviour of tissue under stress can be examined.

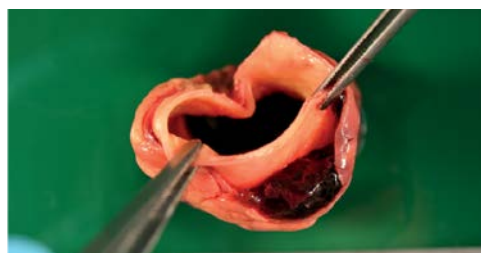
turen für bi- und triaxiale Zug- und Scherversuche, mit denen Gewebe in zwei und drei verschiedene Richtungen belastet wird. Die Ergebnisse dienen als Grundlage für geeignete Materialparameter und für computerunterstützte Modellierungen, mit denen sich Gewebeveränderungen grafisch darstellen lassen.

Von der Theorie zur Praxis

Wie können die am Institut für Biomechanik gewonnenen Erkenntnisse nun in der Praxis genau helfen? Ein Beispiel ist eine effektivere und individuellere Therapie der Aortendissektion, als es bisher der Fall ist. Bei dieser Erkrankung kommt es zum Einriss der inneren Gefäßwand, Blut gelangt in die nächste Aortenschicht und es bildet sich eine Ausstülpung, die den Blutfluss in der Aorta ändert. Betroffene Gebiete werden nicht mehr ausreichend mit Sauerstoff versorgt, und es kann unter anderem zu einem Schlaganfall oder akutem Nierenversagen kommen. >

blood vessels and heart tissues under stress. In order to do that, samples of healthy and diseased tissues are measured in test devices which have been developed at the Institute” Gerhard A. Holzapfel, head of the Institute of Biomechanics, explains.

The Institute of Biomechanics has available, among other things, apparatus for bi- and tri-axial extension and shear tests, with which tissues can be exposed to stresses in three different directions. The results serve as a basis for computer-aided modelling by which tissue changes can be graphically represented. >



© Institut für Biomechanik

Abbildung 3:
 Bei der Aortendissektion kommt es zu einem Einriss der inneren Gefäßwand und Blutkörperchen gelangen in die nächste Schicht, wo sie eine Ausstülpung (falsches Lumen) bilden, oftmals mit einem eingelagerten Thrombus, wie hier in dem Bild.

Figure 3:
 Aortic dissection is characterised by a tear in the inner wall of the vessel creating an eversion (false lumen), often with a thrombus, as can be seen in the picture.

Abbildung 4:
Ein Stent ist ein Drahtgeflecht,
das in verengte oder dissektierte
Arterien eingeführt wird.

Figure 4:
A stent is a wire mesh which is
introduced into narrowed or
dissected arteries.



Bei der chirurgischen Behandlung der Aortendis-
 sektion wird entweder ein Teil der Aorta ersetzt oder
 ein Stent implantiert, eine kleine gitterförmige Ge-
 fäßstütze, die das Gefäß offen hält. „Beide Ansätze
 bergen erhebliche Risiken und die Wahl der opti-
 malen Methode beziehungsweise des besten Zeit-
 punktes für einen Eingriff stellt eine Herausforderung
 dar“, so Gerhard A. Holzapfel.

Grazer Know-how ist international gefragt

Die am Institut für Biomechanik entwickelten com-
 puterunterstützten Modellierungen im Rahmen des
 von den National Institutes of Health (NIH) finan-
 zierten Grundlagenprojekts „AorDiss“ könnten
 zukünftig helfen, die bestmögliche Behandlungsmethode
 für den individuellen Fall zu finden.

Bereits existierende Computermodelle verwenden
 konventionelle Ansätze aus der numerischen Strö-
 mungsmechanik (CFD), bei denen Gefäßwand und
 Lappen als starr angenommen werden; die Inter-
 aktionen zwischen Blut und Gefäßgewebe oder die
 Effekte solcher Interaktionen auf die Dynamik einer
 eingerissenen Aorta können damit jedoch nicht
 erklärt werden.

From theory to practice

How exactly can the findings obtained at the Institute
 of Biomechanics help in practice? One example is
 the more effective and individual treatment for aor-
 tic dissection than was previously the case. This
 disease is characterised by a tear in the inner wall of
 the vessel. Blood flows into the next layer of the
 aorta and forms a bulge which changes the blood
 flow in the aorta. Various areas are no longer suffi-
 ciently supplied with oxygen, thus possibly leading
 to a stroke or acute kidney failure, among other
 things.

In the surgical treatment of an aortic dissection,
either a part of the aorta is replaced or a stent im-
planted – a small, supportive mesh-like tube which
keeps the vessel open. Both approaches bear
considerable risks, and determining the optimum
method or the best time for a surgical intervention
always represents a challenge.

International demand

The computer-aided modelling which is being de-
 veloped at the Institute of Biomechanics in the
 AorDiss project will help to find the best possible
 treatment method for individual cases in the future.
 The modelling is based on experimental tests com-
 prising tissue samples from both healthy and dis-
 eased aortas. The data obtained will be used to run
 patient-specific simulations which should ultimately
 support clinical decision making.

In the framework of the NIH project in cooperation
with the School of Medicine at New York University,
USA, fluid-structure interaction models of both already

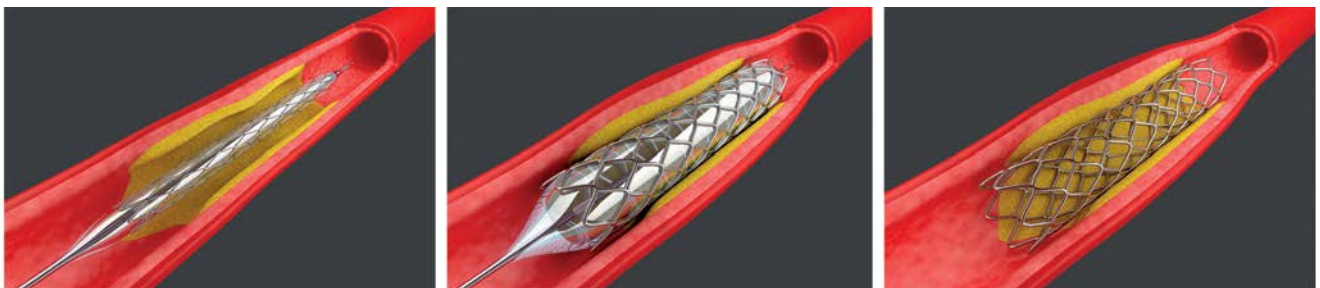


Abbildung 5:
Ein Ballonkatheter wird in das
geschädigte Blutgefäß eingeführt und
ein Stent (Drahtgeflecht) implantiert.
Dadurch wird der Blutstrom zu
Muskeln, zum Herzen und zu
anderen Organen erhöht.

Figure 5:
A balloon catheter is introduced into
the damaged blood vessel and a
stent (wire mesh) implanted. This
results in increased blood flow to the
muscles, heart and other organs.

Im Rahmen des NIH-Projekts in Kooperation mit
 der School of Medicine an der New York University
 in den USA werden an der TU Graz Fluid-Struktur-
 Wechselwirkungsmodelle von sowohl bereits dis-
 sektierten Aorten als auch dissektierenden Aorten
 entwickelt, die die Probleme und Einschränkungen
 der CFD-Modelle umgehen. Realistische anatomi-
 sche Geometrien der Patientinnen und Patienten
 werden aus Computertomographie- oder Magnet-
 resonanztomographiestudien abgeleitet. Um das
 mechanische Verhalten und die Brucheigenschaf-
 ten des menschlichen Aortengewebes zu bestim-
 men, führen die Forschenden experimentelle Ver-
 suche durch, die sowohl Gewebeproben von ge-

dissected aortas and aortas that are in the process
of dissecting are being developed at TU Graz. These
avoid the problems and limitations of CFD models.
Realistic anatomical geometries of patients are
being derived from computer tomography and MRI
studies. To determine the mechanical behaviour
and fracture properties of human aortic tissue, re-
searchers are carrying out experiments which include
tissue samples from both healthy and diseased
human aortas.

Treatment is becoming more individual

“The experimental data will then be used to de-
velop health and disease-specific models which

sunden als auch von kranken menschlichen Aorten umfassen.

Therapien werden individueller

„Die experimentellen Daten werden dann verwendet, um gesundheits- und krankheitsspezifische Modelle zu entwickeln, die innovative Modelle der Gewebszerstörung und des Gewebeversagens beinhalten. So können patient/innenspezifische Simulationen durchgeführt werden, die letztlich die klinische Entscheidungsfindung unterstützen sollen“, erklärt Gerhard A. Holzapfel. Des Weiteren dienen diese Modelle dazu, das chirurgische und medizinische Management von Patientinnen und Patienten zu studieren, die von einer Aortendissektion oder anderen arteriellen Krankheiten wie der Aneurysmaruptur betroffen sind.

Leadprojekt der TU Graz

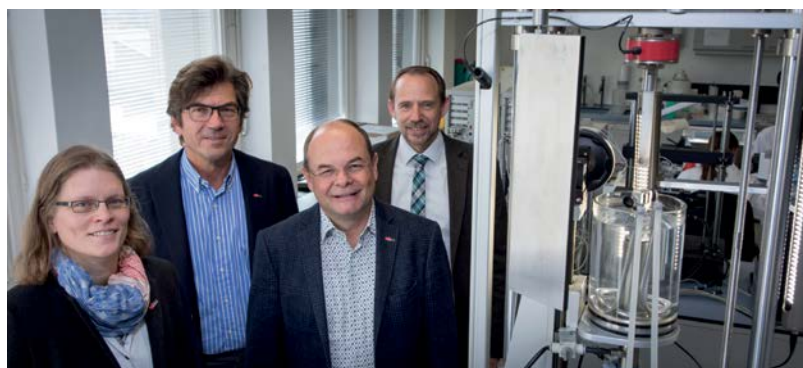
Der Weiterentwicklung der Computersimulation von Aortendissektionen wird sich Gerhard A. Holzapfel gemeinsam mit Katrin Ellermann, Leiterin des Instituts für Mechanik, und einem fakultätsübergreifenden Konsortium an Forschenden der TU Graz auch in einem von zwei gerade genehmigten und von der TU Graz finanzierten Leadprojekten widmen. Starten wird das Projekt „Mechanics, Modeling and Simulation of Aortic Dissection“ im Jänner 2018. Ziel ist es, umfassende Simulationsmodelle und Algorithmen zu entwickeln, die in der Diagnose und Behandlung richtungsweisend unterstützen können. „Mit der Integration von TU Graz-Forschenden aus den verschiedensten Fachrichtungen – von der Strömungsmechanik über die Festigkeitslehre bis hin zur Statistik – beschreiten wir einen völlig neuen Weg in der umfassenden Betrachtung dieses klinischen Phänomens und erwarten uns daher auch neue Erkenntnisse zu dessen Diagnose und Behandlung“, erklärt Holzapfel.

Auf Basis von nichtinvasiven medizinischen Bildgebungsverfahren will man ein mehrstufiges Simulationsmodell entwickeln, das die Struktur und den Aufbau der geschädigten Aortenwand ebenso berücksichtigt wie das Strömungsverhalten des Blutes sowie individuelle Parameter der Patientin oder des Patienten. „Wir haben hier ein klinisches Phänomen, das uns technisch vor große ingenieurwissenschaftliche Herausforderungen stellt, denn die Modelle und Algorithmen, die wir zur Simulation benötigen, müssen großteils erst von uns entwickelt werden“, erklärt Holzapfel. Die Simulationsmodelle sollen in weiterer Folge mittels Virtual-Reality-Technologie visualisiert werden. Das Konsortium kooperiert mit namhaften nationalen und internationalen Partnern, darunter dem Graz Center of Computational Engineering (GCCE) an der TU Graz, das Grundlagenforschung auf dem Gebiet der computergestützten Simulation betreibt. >

include innovative models of tissue destruction and tissue failure. In this way patient-specific simulations can be carried out which should ultimately support clinical decision making,” explains Gerhard A. Holzapfel. Furthermore, these models will serve to study the surgical and medical management of patients affected by aortic dissection and other arterial diseases, such as ruptured aneurysms.

TU Graz lead project

Gerhard A. Holzapfel together with Katrin Ellermann, head of the Institute of Mechanics, and a cross-faculty consortium of TU Graz researchers will dedicate themselves to further developing the computer simulation of aortic dissections in one of two lead projects which have just been approved and funded by TU Graz. The project “Mechanics, Modeling and Simulation of Aortic Dissection” will start in January 2018. The aim of this lead project is to develop comprehensive simulation models and algorithms to support diagnosis and treatment in a pioneering way. “By integrating TU Graz researchers



© Lunghammer – TU Graz

from different specialisations – from fluid mechanics and mechanics of materials to statistics – we’re treading a completely new path in a comprehensive examination of this clinical phenomenon, and as a result we expect to obtain new findings on diagnosis and treatment,” explains Holzapfel.

On the basis of non-invasive medical imaging techniques, researchers will develop a multi-stage simulation model which will take into account both the structure and composition of the damaged aorta wall as well as the flow behaviour of the blood and individual patient parameters. “What we have here is a clinical phenomenon which presents us with great engineering challenges, since most of the models and algorithms which we need for the simulation we will first have to develop,” explains Holzapfel. The simulation models will subsequently have to be visualised using virtual-reality technology. The consortium works together with well-known national and international partners, among which is the Graz Center of Computational Engineering (GCCE) at TU Graz, which carries out basic research in the area of computer-aided simulation. >

Abbildung 6:
Der inter-fakultären Forschenden-
gruppe des Leadprojekts
„Mechanics, Modeling and
Simulation of Aortic Dissection“
gehören Forschende aus fünf
Fakultäten und zehn Instituten
der TU Graz an, darunter Katrin
Ellermann, Wolfgang von der
Linden, Thomas Hochrainer und
Gerhard A. Holzapfel.

Figure 6:
The cross-faculty research group
of the lead project “Mechanics,
Modeling and Simulation of Aortic
Dissection” includes researchers
from five faculties and ten
institutes of TU Graz, including
Katrin Ellermann, Wolfgang von
der Linden, Thomas Hochrainer
und Gerhard A. Holzapfel.



Pionier der Biomechanik

Gerhard A. Holzapfel wurde 1961 in Frohnleiten, Steiermark, geboren. Er studierte Bauingenieurwesen an der TU Graz und promovierte im Bereich Maschinenbau, bevor er sich 1996 an der TU Wien im Fachbereich „Allgemeine Mechanik“ habilitierte. Ab 1998 leitete er die Arbeitsgruppe „Computational Biomechanics“ an der TU Graz, bis er 2004 den Ruf an das renommierte schwedische „Royal Institute of Technology“ in Stockholm annahm.

2007 kehrte der Steirer an die TU Graz zurück, wo er heute das Institut für Biomechanik leitet. Zudem ist er Adjunct Professor an der „Norwegian University of Science and Technology“ in Trondheim, Norwegen, und Gastprofessor an der University of Glasgow, Schottland.

Gerhard A. Holzapfel wurde mit zahlreichen nationalen und internationalen Ehrungen ausgezeichnet, unter anderem mit dem Erwin-Schrödinger-Preis der Österreichischen Akademie der Wissenschaften und mit der Aufnahme in die Academia Europaea. Er ist einer der meistzitierten Forschenden seiner Fachdisziplin.

Text: Ulrike Keller ■

Pioneer of biomechanics

Gerhard A. Holzapfel was born in Frohnleiten, Styria, in 1961. He studied civil engineering at TU Graz and obtained his doctorate in the field of mechanical engineering before qualifying as a professor at TU Wien in the field of “general mechanics” in 1996. From 1998 he led the Computational Biomechanics Working Group at TU Graz until taking up an appointment at the well known Royal Institute of Technology in Stockholm in 2004.

He returned to TU Graz in 2007 where he now heads the Institute of Biomechanics. He is also adjunct professor at the Norwegian University of Science and Technology at Trondheim, Norway, and visiting professor at the University of Glasgow, Scotland.

Gerhard A. Holzapfel has been awarded numerous national and international honours, among others the Erwin Schrödinger Prize of the Austrian Academy of Sciences and membership of the Academia Europaea. He is one of the most cited researchers in his subject area.

Text: Ulrike Keller ■

Abbildung 7:
Gerhard A. Holzapfel leitet das Institut für Biomechanik der TU Graz und ist einer der meistzitierten Forschenden seines Fachgebiets.
Figure 7:
Gerhard A. Holzapfel heads TU Graz's Institute of Biomechanics and is one of the most cited researchers in his field.