



BUW OUTPUT

Forschungsmagazin *Research bulletin* der Bergischen Universität Wuppertal
01/2020

Das Universum – Was gibt es dort? Wie viel gibt es dort?

The Universe – What is there? How much is there?

von / by Per Jensen

Bionik – Virtuelle Experimente an mikrostrukturierten biologischen Materialien

Bionics – Virtual experiments on microstructured biological materials

von / by Jens Lamsfuß und / and Swantje Bargmann

Phänomenologie – Physik erleben und verstehen

Phenomenology – Experiencing and understanding physics

von / by Johannes Grebe-Ellis

Theoretisch optimiert – Mit mathematischer Analyse zu praktischen Lösungen

Theoretically optimized – With mathematical analysis to practical solutions

von / by Kathrin Klamroth, Britta Schulze und / and Michael Stiglmayr

Innovativer E-Antrieb – Vom Labor auf die Straße

Innovative electric drive – From the lab onto the road

von / by Stefan Butzmann und / and Henning Schweden



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

„Lebenslanges Lernen ist nicht nur ein innovativer Begriff, sondern die Voraussetzung für erfolgreiches Business.

Die **TAW** als Ihr Partner bringt Sie **WEITER DURCH BILDUNG.**“

Wir sind einer der führenden Anbieter von Weiterbildung in Deutschland. An unserem Stammsitz, mitten im Herzen des Bergischen Landes und fünf weiteren Standorten in Deutschland, bieten wir Ihnen ein vielfältiges Angebot mit über 2500 Veranstaltungen im Jahr. Unser Leistungsspektrum umfasst sämtliche Bereiche der beruflichen Praxis. Dies reicht von Seminaren mit technischen, rechtlichen und betriebswirtschaftlichen Inhalten bis hin zu Veranstaltungen mit **Führungs-, Kommunikations- und Managementthemen.**

Als Ihr Partner, stehen wir Ihnen immer flexibel, lösungs- und kostenorientiert bei allen Fragen zum **Thema Weiterbildung** zur Seite.



Technische Akademie Wuppertal e.V.

Unsere Weiterbildungszentren finden Sie in:
Wuppertal · Altdorf b. Nürnberg · Bochum
Cottbus · Wildau b. Berlin

Hubertusallee 18 · 42117 Wuppertal · Tel. 0202 / 7495 - 0
www.taw.de · taw@taw.de

Inhalt / Contents

- 04 | **Editorial** von / by Michael Scheffel
- 06 | **Das Universum – Was gibt es dort? Wie viel gibt es dort?**
The Universe – What is there? How much is there?
von / by Per Jensen
- 13 | **Bionik – Virtuelle Experimente an mikrostrukturierten biologischen Materialien**
Bionics – Virtual experiments on microstructured biological materials
von / by Jens Lamsfuß und / and Swantje Bargmann
- 18 | **Phänomenologie – Physik erleben und verstehen**
Phenomenology – Experiencing and understanding physics
von / by Johannes Grebe-Ellis
- 24 | **Theoretisch optimiert – Mit mathematischer Analyse zu praktischen Lösungen**
Theoretically optimized – With mathematical analysis to practical solutions
von / by Kathrin Klamroth, Britta Schulze und / and Michael Stiglmayr
- 29 | **Innovativer E-Antrieb – Vom Labor auf die Straße**
Innovative electric drive – From the lab onto the road
von / by Stefan Butzmann und / and Henning Schweden
- 36 | **Das Feuerwehrwissenschaftliche Institut**
The Fire Service Science Institute
von / by Roland Goertz und / and Philipp Maximilian Haffner
- 40 | **Research News**
- 46 | **Neuerscheinungen / New publications**
- 48 | **Forschungseinrichtungen / Research Centers**
- 50 | **Forschungsförderung / Research Funding Management**

OUTPUT

IMPRESSUM / IMPRINT

Herausgegeben im Auftrag des Rektorates vom Prorektor für Forschung, Drittmittel und Graduiertenförderung / Issued for the Rector's Office of the University of Wuppertal by the Pro-Rector for Research, External Funding and Advanced Scientific Training

01/2020 (Nr. 22)

Konzeption und Redaktion

Concept and editorial staff
Maren Wagner, Katja Bischof,
Denise Haberberger, Marylen Reschop
Telefon 0202/439-3047
presse@uni-wuppertal.de
presse.uni-wuppertal.de
Prof. Dr. Michael Scheffel
Telefon 0202/439-2225
prorektor2@uni-wuppertal.de

Gestaltung / Design

Friederike von Heyden

Übersetzung / Translation

Ü-Werk GmbH

Druck / Printers

Druckhelden GmbH & Co.

KG, Mellrichstadt

Gedruckt auf

FSC-zertifiziertem

FSC Papier

Auflage / Print run

3000 Exemplare / copies

Alle Rechte vorbehalten.
All rights reserved.

Bergische Universität Wuppertal
Universitätskommunikation
Gaußstraße 20
42119 Wuppertal

Wuppertal, Januar 2020

For the English version visit
www.buw-output.uni-wuppertal.de

Experiment und Optimierung

von / by

Prof. Dr. Michael Scheffel

Prorektor für Forschung, Drittmittel und Graduiertenförderung
Pro-Rector for Research, External Funding and Advanced Scientific Training



Als Experiment bezeichnet man eine systematisch angelegte Untersuchung zum empirischen Gewinn von Information. Von der bloßen Beobachtung unterscheidet es sich dadurch, dass man Einflussgrößen in seinem Rahmen bewusst variiert. Experimente ermöglichen Erkenntnisse, sind für viele Wissenschaften unabdingbar und ihre prinzipielle Bedeutung besteht unverändert fort. Ihre Methoden jedoch haben sich im digitalen Zeitalter gewandelt und nicht mehr allein die Empirie bestimmt den wissenschaftlichen Versuch. Unter dem Titel ‚Experiment und Optimierung‘ präsentiert das vorliegende Heft von BUW.OUTPUT eine Reihe von Forschungsprojekten, die vor allem Simulationen und virtuelle Experimente nutzen.

Kein geringerer Gegenstand als das ‚Universum‘ eröffnet unser Heft. Als Erdenbürger können wir in seinem Raum zur Zeit nicht mehr als den Mond oder vielleicht demnächst den Mars erreichen. Gleichwohl lernen wir erheblich entferntere Teile des Universums immer besser kennen. Eine Methode dafür ist die Analyse von elektromagnetischer Strahlung in Gestalt des nach vielen Millionen Jahren auf der Erde eintreffenden Lichts. Die Verbindung von spektrometrischer Analyse und Simulation auf der Suche nach Struktur und Menge ursprünglich weit entfernter Moleküle gehört zu einem Projekt der theoretischen Chemie. Viele biologische Gewebe haben herausragende Eigenschaften und sind künstlichen Materialien weit überlegen. Am Beispiel eines menschlichen Muskels wird im Folgenden vorgestellt, wie man am Lehrstuhl für ‚Computergestützte Modellierung in der Produktentwicklung‘ Eigenheiten eines komplexen Gewebes simuliert, analysiert und für nichtorganische Zusammenhänge nutzbar zu machen versucht.

Wie sich ein Experiment überhaupt verstehen und im Schulunterricht nachhaltig vermitteln lässt, reflektiert ein Beitrag aus der Physikdidaktik. Er plädiert für eine enge Verbindung von Physik und persönlicher Erfahrung, wie sie auch mit Hilfe besonderer ‚Koffereperimente‘ im schulischen Alltag nachvollzogen werden kann. Effiziente Verfahren zur Unterstützung von Entscheidungen in komplizierten Situationen sind ein Anliegen der angewandten Mathematik. Wie man im Rahmen theoretischer Modelle rechnen kann, um komplexe Vorgänge in unserer realen Lebenswelt zu optimieren, erläutert ein Beitrag der Arbeitsgruppe ‚Optimierung und Approximation‘. Die für unser aller Zukunft so wichtige Energiewende setzt innovative Formen von Motoren voraus. Am Beispiel eines Großprojekts stellt ein Beitrag aus der Elektrotechnik die Stufen in der Entwicklung eines Niedervolt-Antriebsystems vor, das Elektronik, Batterie und Motor auf neue Weise vereint.

Neben Nachrichten aus der Welt der Forschung bietet unser Heft schließlich ein Porträt des noch jungen ‚Feuerwehrwissenschaftlichen Instituts‘. Sein Ziel ist die naturwissenschaftliche und technische Erforschung des Brandschutzes mitsamt seinen organisatorischen Voraussetzungen. Sein umfassender Ansatz belegt einmal mehr die herausragende Bedeutung der Wuppertaler Sicherheitstechnik.

Ich wünsche allen Leser*innen eine anregende Lektüre!

Experiment and Optimisation

An experiment is a systematically designed investigation to gain information in an empirical manner. It differs from mere observation in that we consciously vary the influencing factors within its framework. Experiments allow us to make discoveries, are essential for many sciences and their fundamental significance remains unchanged. However, their methods have altered in the digital age and it is no longer empiricism alone which determines the scientific experiment. Under the title ‚Experiment and Optimisation‘, this issue of BUW.OUTPUT presents a series of research projects which mainly use simulations and virtual experiments.

Our magazine begins with no smaller a subject than the ‚universe‘. Within it, as citizens of the Earth, we can reach no further than the Moon or perhaps Mars soon. Nevertheless, we are becoming increasingly familiar with considerably more remote parts of the universe. One method for this is the analysis of electromagnetic radiation in the shape of the light hitting the earth after many millions of years. The combination of spectrometric analysis and simulation in the search for the structure and quantity of molecules which were originally very remote is part of a project in theoretical chemistry. Many biological tissues have excellent properties and are far superior to synthetic materials. Using the example of a human muscle we present how the Chair of ‚Computer-Aided Design in Product Development‘ simulates and analyses the properties of complex tissue, and attempts to make this useful for non-organic contexts.

An article from physics education reflects about how an experiment can be understood and taught sustainably in school lessons. It advocates a close connection between physics and personal experience, as it can also be understood with the aid of certain ‚kit experiments‘ in an every-

day school setting. Efficient processes to support decisions in complicated situations are a concern of applied mathematics. An article from the ‚Optimisation and Approximation‘ working group explains how we can calculate within the framework of theoretical models to optimise complex processes in our real world. The energy transition which is so important for all our futures requires innovative forms of motors. An article from electrical engineering uses a large project as an example to present the stages in the development of a low-voltage drive system which combines electronics, batteries and motors in a new way.

To conclude, as well as news from the world of research, our magazine provides a portrait of the Fire Service Science Institute, which is still in its early stages. Its goal is the natural and technical research of fire protection along with its organisational requirements. Its comprehensive approach proves once again the tremendous importance of Wuppertal safety technology.

Enjoy your reading!

PS: For the English version visit www.buw-output.uni-wuppertal.de

Das Universum

Was gibt es dort?
Wie viel gibt es dort?

von / by Per Jensen, Ph.D.
Theoretische Chemie / Theoretical Chemistry



Erkundet das Universum aus der Ferne:
Prof. Per Jensen, Ph.D.

Wir Menschen sind neugierig und möchten das Universum, in dem wir leben, so weit wie möglich erforschen. Wir sind auf der Erde angesiedelt, konnten bisher den Mond besuchen und diskutieren zurzeit ernsthaft über eine Expedition zum Mars. Die Flugzeit zum Mars beträgt jedoch bestenfalls mehrere Monate und weiter entfernte Teile des Universums sind für Menschen nicht erreichbar. Diese müssen also durch Fernerkundung untersucht werden, das heißt mit Spektroskopie.

Das Universum besteht aus Atomen und Molekülen. Die Moleküle, mit denen wir uns in der Arbeitsgruppe Theoretische Chemie an der Bergischen Universität beschäftigen, befinden sich in den äußeren Schichten von Sternen, im interstellaren Raum (d. h. im Raum zwischen den Sternen) und in den Exoplaneten (die andere Sterne als die Sonne umkreisen und derzeit eingehend untersucht werden). Durch Fernerkundung wird bestimmt, was (d. h. welche Moleküle) in der fernen Umgebung vorhanden sind und wie viele dieser Moleküle es gibt. Elek-

tromagnetische Strahlung (Licht), die aus der entfernten Umgebung stammt, wird erfasst und analysiert. Hohe finanzielle Investitionen fließen in die Ausrüstung solcher Experimente, zum Beispiel in das Radioteleskop-Observatorium „Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array“ (ALMA) in der Atacama-Wüste Nordchiles. ALMA besteht aus 66 Radioteleskopen, die in Zusammenarbeit zwischen dem European Southern Observatory (ESO) und Organisationen in den USA, Kanada, Japan, Südkorea, Taiwan und Chile zwischen 2004 und 2014 für rund 1,4 Milliarden US-Dollar gebaut wurden.

Observatorien wie ALMA empfangen Strahlung aus den entlegenen Gebieten des Universums, die wir untersuchen möchten. Durch Analyse der Strahlung möchten wir die Fragen zu dem „Was“ und „Wie viel“ beantworten. Die Strahlung wird als Intensität in Abhängigkeit von Frequenz oder Wellenlänge aufgezeichnet und stellt damit ein Spektrum dar. Die Struktur des Spektrums ist charakteristisch für die Moleküle, die es verursachen.

Wie humans are curious and want to explore the universe in which we live as much as possible. We are located on Earth and have been able to visit the Moon so far, although an expedition to Mars is currently being seriously discussed. The flight time to Mars is at best several months and more distant parts of the universe are not accessible for human visits. These must therefore be investigated by remote sensing, i.e. by spectroscopy.

The universe consists of atoms and molecules. The molecules we are dealing with are located in the outer layers of stars, in interstellar space (i.e. the space between stars) and in exoplanets (which orbit stars other than the Sun and are currently being studied in detail). Remote sensing is used to determine what (i.e. which molecules) are present in the distant environment and how many (or how much) of these molecules there are. Electromagnetic radiation (light) from the distant environment is detected and analysed. Large investments are being made in equipment for such experiments, for example in the Atacama Large

Millimeter/Submillimeter Array (ALMA) in the Atacama Desert of northern Chile. ALMA consists of 66 radio telescopes that were built between 2004 and 2014 for around 1.4 billion US dollars in cooperation between the European Southern Observatory (ESO) and organisations in the USA, Canada, Japan, South Korea, Taiwan and Chile.

Observatories like ALMA receive radiation from the remote regions of the universe that we want to study. By analyzing the radiation we aim at answering the questions about what and how much. The radiation is recorded as intensity depending on frequency or wavelength and thus represents a spectrum. The structure of the spectrum is characteristic of the molecules that cause it. That is, as is often said, the structure of the spectrum provides the fingerprint(s) of the molecule(s) involved, and the intensity of the signal provides information about the amount of these molecules. .

For the full English version visit
www.buw-output.uni-wuppertal.de

Das heißt die Struktur des Spektrums liefert sozusagen den Fingerabdruck des verursachenden Moleküls und die Intensität des Signals gibt Auskunft über die Menge dieser Moleküle.

Die Aufzeichnung eines Fernerkundungs-Spektrums kann mit der Untersuchung eines Tatorts durch die Polizei verglichen werden. Man findet Fingerabdrücke (und heutzutage DNA-Proben) des Übeltäters, genau wie das Fernerkundungsspektrum die Fingerabdrücke der verursachenden Moleküle liefert. Fingerabdrücke/DNA-Proben vom Tatort können jedoch nur dann zur Aufklärung einer Straftat dienen, wenn auch ein Katalog von Fingerabdrücken/DNA-Proben möglicher Täter vorliegt. Ebenso erfordert die Interpretation von Fernerkundungsspektren einen Katalog der Fingerabdrücke von Molekülen, die im untersuchten Fernobjekt vorhanden sein könnten. Um die „Wie viel“-Frage zu beantworten, müssen wir zusätzlich wissen, wie viel Energie ein einzelnes Molekül in einer Zeiteinheit absorbiert oder abgibt. Wenn wir dann die Menge an Energie kennen,

die von den Molekülen im entfernten Objekt pro Zeiteinheit absorbiert oder abgegeben wird, können wir per Dreisatz berechnen, wie viele Moleküle sich in unserer Sichtlinie befinden.

Kataloge von molekularen Spektren können im Prinzip im Labor bestimmt werden. Dafür müssen wir eine Gasphase-Probe des gegebenen Moleküls vorbereiten und sein Spektrum mit einem Laborspektrometer messen. Um zusätzlich die Menge der pro Zeiteinheit und Molekül absorbierten oder emittierten Energie zu bestimmen, müssen wir die Probe mit einer bekannten Konzentration vorbereiten. Die Laborspektroskopie kann auf die hier beschriebene Weise für stabile, langlebige Moleküle durchgeführt werden, deren Konzentration über einen längeren Zeitraum unverändert bleibt.

In der Praxis ist ein großer Teil der astrophysikalisch und -chemisch interessanten Moleküle instabil und kurzlebig. Sie müssen in Labor-Spektroskopie-Experimenten während des Experiments hergestellt werden, z. B. durch Fragmentierung von



Foto ESO/C. Malin

Abb. 1: Ein Teil des Atacama Large Millimeter/Submillimeter Arrays (ALMA) in der Nacht.

stabilen Molekülen durch elektrische Entladungen oder Bestrahlung mit Laserlicht. In solchen Experimenten wissen wir aber nicht, ob wir das gewünschte instabile Molekül produzieren können, und selbst wenn, kennen wir die Konzentration der gebildeten instabilen Moleküle nicht. Deshalb müssen wir bereits im Zusammenhang mit dem Labor-Spektroskopie-Experiment die „Was“- und „Wie viel“-Fragen stellen. An dieser Stelle kann die theoretische Spektroskopie Hilfe leisten: Wir berechnen theoretisch den Fingerabdruck eines Moleküls und die von einem einzelnen Molekül aufgenommene/abgegebene Energie/Zeit. Wir wissen natürlich für welches Molekül wir die Berechnungen durchführen, und so können unsere Ergebnisse zur Beantwortung der „Was“- und „Wie viel“-Fragen verwendet werden – sowohl für Labor- als auch für Fernerkundungsspektren. Die Ergebnisse von Berechnungen der genannten Art werden in sogenannten Linienlisten zusammengestellt, d.h. in Katalogen von berechneten Übergangswellenzahlen und -wahrscheinlichkeiten.

Um die „Was“- und „Wie viel“-Fragen zu beantworten, müssen wir die benötigten Molekülspektren theoretisch simulieren. Moleküle bestehen aus Kernen und Elektronen, und die quantenmechanischen Simulationen werden im Rahmen der zweistufigen, sogenannten Born-Oppenheimer-Näherung durchgeführt: Zunächst werden Elektronenstruktur- oder ab initio-Berechnungen durchgeführt: Die Kerne werden im Raum fixiert und das quantenmechanische Problem der Elektronen, die sich im elektrostatischen (Coulomb-)Feld von den Kernen und den anderen Elektronen wegbewegen, wird für viele verschiedene Anordnungen der Kerne im Raum gelöst. In Wuppertal führen wir im ab-initio-Bereich keine Methodenentwicklung durch, sondern benutzen kommerziell verfügbare Computerprogramme, vor allem MOLPRO, um die Born-Oppenheimer-Potenzial-Energiefunktion V zu erhalten, die nur von den Kernkoordinaten abhängt.

Im zweiten Schritt der spektralen Simulationen lösen wir das quantenmechanische Problem der sich in der Born-Oppenheimer-Potenzialfunktion bewegenden Kerne. Diese Berechnungen werden mit in Wup-

pertal entwickelten oder mitentwickelten Programmen durchgeführt – hauptsächlich mit dem Programm TROVE (Theoretical ROTation-Vibration Energies), dessen Entwicklung in Wuppertal ca. im Jahr 2000 startete. TROVE ist seitdem ständig, mit Dr. Sergei N. Yurchenko (1999–2000 Postdoc in der Arbeitsgruppe Theoretische Chemie in Wuppertal, jetzt Professor an University College London (UCL), UK) als treibende Kraft, weiterentwickelt worden. TROVE löst die zeitunabhängige Schrödinger-Gleichung

$$\hat{H} \psi_m = E_m \psi_m$$

für die Kerne. Nur der Hamiltonoperator \hat{H} ist zunächst bekannt, er enthält die Potenzialfunktion V . Wir suchen also Lösungen (E_m, ψ_m) bestehend aus einer zulässigen Energie E_m und der entsprechenden Wellenfunktion ψ_m , die von den Kernkoordinaten abhängt. Der Index m nummeriert die Lösungen. Die Wellenfunktion wird als Überlagerung bekannter Basisfunktionen φ_k mit zunächst unbekanntem Entwicklungskoeffizienten c_{mk} angesetzt:

$$\psi_m = \sum_{k=0}^{\infty} c_{mk} \varphi_k \approx \sum_{k=0}^N c_{mk} \varphi_k$$

Mit unendlich vielen Summanden wäre diese Beziehung exakt. In der Praxis wird jedoch die Expansion gekürzt, um eine angenäherte Wellenfunktion mit einer endlichen Anzahl von Summanden N zu erhalten. Die zeitunabhängige Schrödinger-Gleichung wird nun in Matrixform ausgedrückt als

$$\mathbf{H} \mathbf{c}_m = E_m \mathbf{c}_m$$

Hier ist \mathbf{H} eine quadratische Matrix der Dimension N ; ihre Elemente sind bekannt und hängen von den Funktionen φ_k und von \hat{H} ab. Der Spaltenvektor \mathbf{c}_m enthält die N zunächst unbekanntem Entwicklungskoeffizienten c_{mk} . Die Matrixgleichung kann mit Standard-Methoden (oft als *Diagonalisierung* der Matrix \mathbf{H} bezeichnet) der linearen Algebra gelöst werden; wir

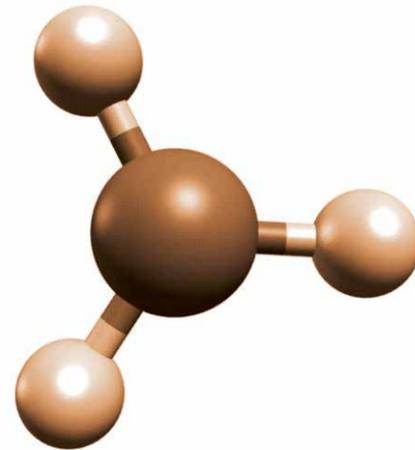
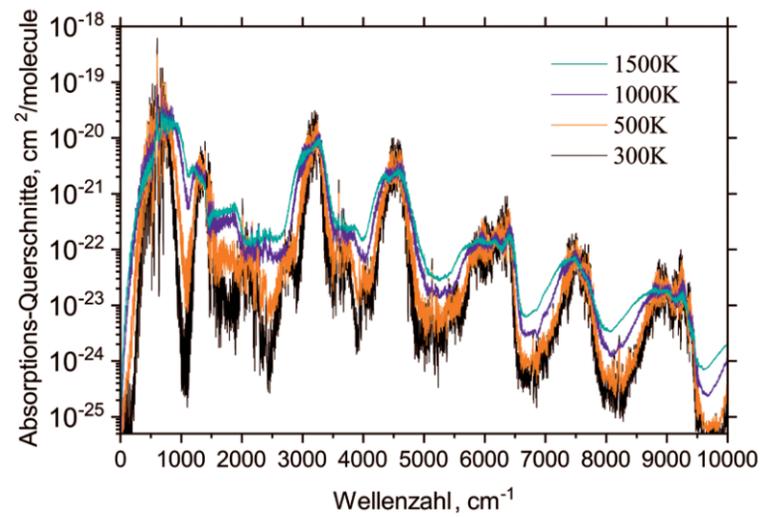


Abb. 2: Simulierte Absorptionsspektren des Methylenradikals CH_3 sowie eine Ansicht des Radikals in seiner planaren, gleichseitig dreieckigen Gleichgewichtsstruktur.

verwenden kommerziell verfügbare, für unsere Computer optimierte Computerroutinen, um die erlaubten molekularen Energien E_m und die entsprechenden Eigenvektorkoeffizienten c_{mk} zu erhalten.

Bei der Aufstellung der Matrix H haben wir eine gewisse Freiheit bei der Wahl der Basisfunktionen φ_k . Es ist günstig, diese Funktionen so zu wählen, dass sie die vorhandenen *Symmetrien* des Moleküls widerspiegeln. In diesem Fall wird H blockdiagonal. Sie spaltet in kleinere Submatrizen auf und jede dieser Matrizen kann separat diagonalisiert werden, wodurch enorme Einsparungen von Computerzeit und Speicherplatz möglich werden. Eine für alle Moleküle vorhandene Symmetrie ist die *Rotationssymmetrie*. Ein isoliertes Molekül kann im Raum beliebig gedreht werden, ohne dass sich seine Energie (oder entsprechend sein Hamiltonoperator) ändert. In TROVE wählen wir Basisfunktionen, die zu den sogenannten irreduziblen Darstellungen $D^{(j)}$ der unendlich großen Rotations-Symmetriegruppe $\text{SO}(3)$ gehören. $D^{(j)}$ ist gekennzeichnet

net durch die Quantenzahl $J = 0, 1, 2, 3, \dots$, die die Länge des Drehimpulsvektors definiert. Wir erreichen letztendlich, dass sich H in kleinere Blöcke aufspaltet, jeder mit einem definierten J -Wert, und wir können die Berechnung praktisch in einer Schleife über J ausführen; die Berechnungen für verschiedene J -Blöcke sind unabhängig voneinander. Zusätzlich zur Rotations-Symmetrie nutzen wir in TROVE die Tatsache, dass der Hamiltonoperator des Moleküls unverändert bleibt – sowohl bei der Vertauschung (*Permutation*) identischer Kerne als auch bei der Spiegelung (*Inversion*) aller Teilchen des Moleküls im Massenschwerpunkt. Diese Permutation-Inversions-Symmetrie erzeugt die Molekulare Symmetriegruppe (MS-Gruppe). TROVE nutzt die Symmetrie der MS-Gruppe um eine weitere Blockdiagonal-Struktur der J -Blöcke der Hamiltonmatrix zu erreichen.

Abbildung 2 zeigt das Methylenradikal CH_3 und einige simulierte CH_3 -Spektren bei verschiedenen Temperaturen. Linienlisten von CH_3 wurden neulich als Teil

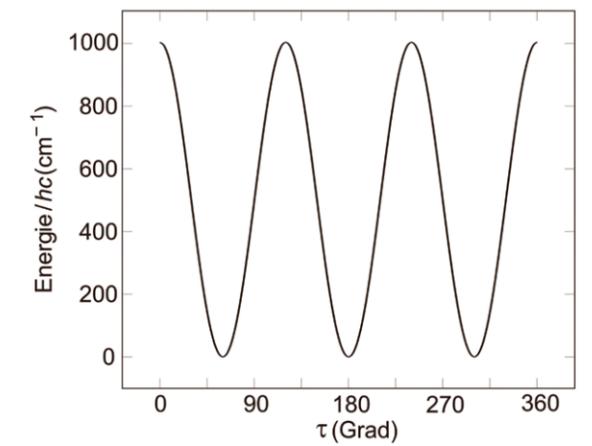
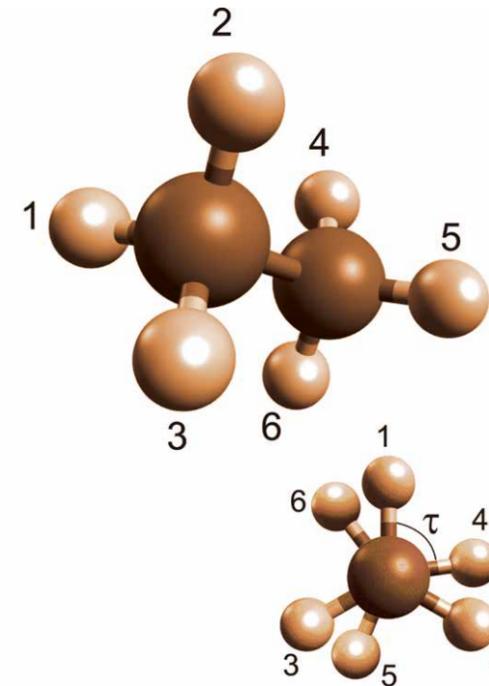


Abb. 3: Zwei Ansichten des Ethanmoleküls H_3CCH_3 (mit dem Diederwinkel τ angegeben) sowie die τ -Abhängigkeit der Born-Oppenheimer-Potenzialfunktion V . Für $\tau = 0^\circ, 120^\circ$ und 240° ist die Molekülgeometrie „verfinstert“ (*“eclipsed”*), in der Endansicht bedeckt jedes der Protonen 1, 2, 3 eines der Protonen 4, 5, 6. Bei $\tau = 60^\circ, 240^\circ$ und 300° ist jedes der Protonen 4, 5, 6 auf halbem Weg zwischen zwei der Protonen 1, 2, 3; die Geometrie ist „versetzt“ (*“staggered”*).

der Doktorarbeit von Dr. Ahmad Adam mit TROVE berechnet – in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe von Prof. Sergei N. Yurchenko am University College London. Bei Gleichgewicht ist das CH_3 eben („planar“) und die drei Protonen bilden ein gleichseitiges Dreieck. Die Schwingungen sind relativ kleine Auslenkungen von der Gleichgewichtsstruktur.

Abbildung 3 zeigt die Gesamtansicht eines Ethanmoleküls H_3CCH_3 . Die sechs Protonen sind mit 1, 2, ..., 6 nummeriert. In einer anderen Ansicht des Moleküls – von einem Ende aus entlang der CC-Achse – haben wir den Winkel τ angegeben, definiert als Diederwinkel zwischen den zwei Ebenen mit beiden C-Kernen und Proton 1 bzw. den beiden C-Kernen und Proton 4. Wir zeigen auch die τ -Abhängigkeit von V . Ethan hat drei entsprechend versetzte Gleichgewichtsstrukturen mit τ -Werten von bez. $60^\circ, 240^\circ$ und 300° . Die Energiebarrieren zwischen den drei Strukturen sind relativ klein und das Molekül kann, zum Beispiel bei Raumtemperatur, relativ mühelos diese Barrieren

durchdringen und sich über das gesamte τ -Intervall von 0° bis 360° bewegen.

Im Gegensatz zur Schwingung von CH_3 kann die Schwingungsbewegung von H_3CCH_3 nicht als kleine Auslenkungen von einer einzigen Gleichgewichtsstruktur beschrieben werden: Bei H_3CCH_3 ist die τ -Bewegung eine *Großamplituden-Schwingung*, wodurch die Beschreibung der Rotations-Schwingungsbewegung erheblich kompliziert wird. TROVE ist allerdings zurzeit imstande, Moleküle mit einer einzigen Großamplituden-Schwingung zu bearbeiten und wir sind im Moment dabei, die Berechnungen von Ethan-Linienlisten vorzubereiten und zwar durch Implementierung der MS-Gruppen-Symmetrie von Ethan in TROVE, wiederum in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe Yurchenko aus London.

www.ptc.uni-wuppertal.de/jensen.html

Bionik

Virtuelle Experimente an mikrostrukturierten biologischen Materialien

von / by Jens Lamsfuß und / and Prof. Dr.-Ing. Swantje Bargmann, Lehrstuhl „Computergestützte Modellierung in der Produktentwicklung“ / Chair of Solid Mechanics



Nehmen biologische Materialien unter die „virtuelle“ Lupe: Prof. Dr.-Ing. Swantje Bargmann und Jens Lamsfuß.

Was macht Muschelschalen so stabil und widerstandsfähig gegenüber Angriffen von Fressfeinden? Warum können menschliche Zähne in der Regel ein Leben lang den täglichen Beanspruchungen standhalten? Wieso reißt ein Spinnennetz nicht, wenn ein Insekt hineinfliegt? Diese und andere sind Fragestellungen, mit denen sich Wissenschaftler*innen im Bereich der Bionik beschäftigen.

Tatsächlich sind Spinnweben sogar belastbarer als alle vom Menschen produzierten Fasern und viermal so zugfest wie Stahl. Dennoch können sie sich um das Dreifache der Ursprungslänge verformen. Dieses Beispiel verdeutlicht stellvertretend für die in der Natur zahlreich vorhandenen biologischen Gewebe ihre herausragenden Eigenschaften und Überlegenheit gegenüber künstlichen Materialien. Sie vereinen eine Vielzahl nützlicher Eigenschaften, dessen Kombination in synthetisch hergestellten Materialien nicht wiederzufinden ist. Heute weiß man, dass die Ursache für diese Eigenschaften der Gewebe in ihrem komplexen, strukturel-

len Aufbau liegt. Biologische Strukturen sind oft hierarchisch aufgebaut, d.h. es existiert ein verschachtelter Aufbau auf verschiedenen Längenskalen. Damit ist die Struktur perfekt aufeinander abgestimmt und es wird ein optimales Zusammenspiel der einzelnen Komponenten erreicht.

Auch der Lehrstuhl „Computergestützte Modellierung in der Produktentwicklung“ der Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik nimmt verschiedene Materialien genauer unter die „virtuelle“ Lupe. Am Lehrstuhl werden virtuelle Experimente durchgeführt, um Informationen über das mechanische Verhalten verschiedener Materialien und Strukturen zu erhalten und damit Vorhersagen zum Bauteilverhalten in verschiedenen Belastungsfällen zu treffen. Im Vergleich zu realen Experimenten werden in Simulationen Bauteile sowohl geometrisch als auch materiell möglichst genau in einem Modell abgebildet. Das so konstruierte Materialmodell ermöglicht dann die Vorhersage der Reaktionen des Bauteils auf äußere physikalische Einflüsse.

Was ist responsible for seashells being so stable and resistant to attacks by predators? Why do human teeth generally withstand the stresses placed on them for a lifetime? Why does a spider's web not break when an insect flies into it? These are just some of the questions that scientists in the area of bionics work to answer.

In fact, the loading capacity of spiders' webs is higher than that of any man-made fibres, and their tensile strength is four times that of steel. Nevertheless, they can stretch and expand to three times their original length. This is only one representative example of the many biological tissues present in nature to illustrate their outstanding properties and their superiority over synthetic materials. A great number of useful properties are combined in them in ways not found in synthetically produced materials. We now know that the source of the outstanding properties of these tissues is their complex structure. Biological structures are often hierarchical, that is to say,

the structures are nested at different length scales. In this way, the structure is perfectly co-ordinated, achieving an optimal interaction of its individual components.

The Chair of Solid Mechanics at the School of Mechanical Engineering and Safety Engineering puts different materials under a proverbial microscope and takes a deeper look at their mechanical properties. Virtual experiments are conducted to gather information on the mechanical behaviour of different materials and structures and so to make predictions about the behaviour of structural components in different stress scenarios. In contrast to real-life experiments, in our simulations components are represented in a model, both geometrically and materially, as precisely as possible. The material model thus constructed then allows us to predict how the component responds to external physical influences.

For the full English version visit www.buw-output.uni-wuppertal.de

Natürliche Materialien als Vorbild für technische Innovationen

Die Simulationen können auf verschiedenen Längenskalen des Bauteils durchgeführt werden. Betrachtet man Bereiche des Bauteils mit großer Längenskala, spricht man von makroskopischen Modellen. In diesen Modellen wird eine allgemeine Beschreibung des Materialverhaltens der Gesamtstruktur verwendet, statt ihr mechanisches Verhalten aus den Eigenschaften ihrer kleinsten Bestandteile herzuleiten. Sollen jedoch genauere Aussagen über die Geometrien und die Materialeigenschaften im Inneren des Bauteils getroffen werden, müssen mikroskopische Modelle aufgebaut werden. Diese Modelle bilden kleinere Längenskalen ab und beziehen

die mechanischen Eigenschaften der einzelnen Bestandteile in die Analysen ein, wodurch Rückschlüsse über den Einfluss der Mikrostruktur auf das Gesamtverhalten gezogen werden können. Neben Simulationen können auch klassische Experimente auf großen Längenskalen durchgeführt werden, jedoch sind sie auf kleinen Längenskalen nur schwer zugänglich. Somit ist der Einsatz von Simulationen zur Analyse der Mikrostruktur unentbehrlich.

Das aus detaillierten Analysen gewonnene Verständnis über das Materialverhalten auf Makro- und Mikroebene kann für industrielle Anwendungen und Prozesse genutzt werden. Die Übertragung dieses Wissens auf diverse synthetisch hergestellte Materialien ermöglicht eine Optimierung bestehender Materialeigenschaften und die Entwicklung völlig neuer Materialien mit herausragenden mechanischen Eigenschaften.

In der Bionik lassen sich Forschende von natürlichen Materialien inspirieren und behandeln sie als Vorbilder für kreative technische Innovationen. Lernen von der Natur und Nachahmen dieser Eigenschaften

spielen eine entscheidende Rolle in diesem Forschungsfeld. Ähnlich zu Spinnweben zeichnet auch den Skelettmuskel sowohl eine hohe Elastizität als auch eine hohe Zugfestigkeit aus. In vielen Gebieten besteht aufgrund der einzigartigen Eigenschaften Interesse am Einsatz von skelettmuskelähnlichen, künstlichen Materialien. In der Medizin können künstliche Muskeln zum Bau von körperähnlichen Prothesen verwendet werden. In der Technik bietet sich der Einsatz von künstlichen Muskeln in humanoiden Robotern an. Schwere Motoren können durch leistungsstarke, flexible und leichte Muskeln ersetzt werden. Damit gilt der Einsatz von künstlicher Muskulatur als zentrales Element für „Soft Robots“, die aus nachgiebigen, organischen Strukturen bestehen und auf die Nachahmung von Bewegungsabläufen aus der Natur setzen. „Soft Robots“ stellen eine geringe Gefahr für Menschen in naher Umgebung dar und sollen im Vergleich zum Rohstoff- und Energieverbrauch von Elektromotoren nachhaltiger sein.

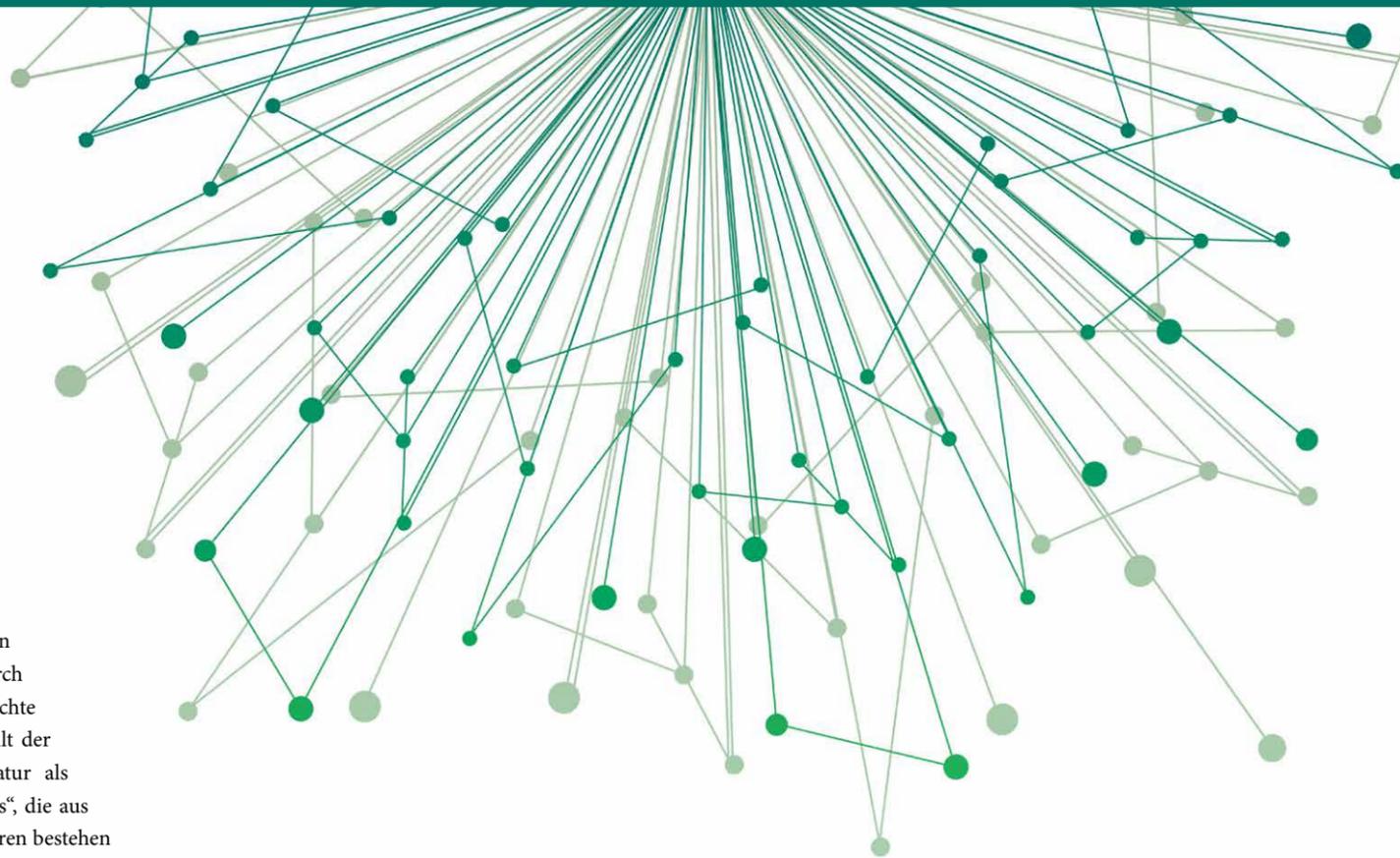
Simulation des menschlichen Skelettmuskels

Der Lehrstuhl „Computergestützte Modellierung in der Produktentwicklung“ setzt an der Forschung zum Skelettmuskel an und entwickelt ein Simulationsmodell, in welchem der menschliche Skelettmuskel realitätsnah abgebildet wird, indem seine Materialeigenschaften detailliert mathematisch beschrieben und seine Geometrie erfasst werden.

In Abbildung 1 sind drei Hierarchieebenen des Skelettmuskels abgebildet. Der komplexe Aufbau des Muskels setzt sich aus Muskelfaserbündeln zusammen, die von Bindegewebe umgeben sind. Muskelfaserbündel bestehen wiederum aus einer Vielzahl von Muskelfasern, die ebenfalls von Bindegewebe ummantelt sind.

Näherungsweise kann die Funktionsweise des Skelettmuskels in aktive und passive Komponenten unterteilt werden. Die aktive Komponente stellt die Mus-

kelfaser dar, die über elektrische Impulse vom Gehirn angeregt wird und die Verkürzung bzw. Verlängerung des Muskels auslöst. Die Kontraktion der Muskelfaser ist auf die Längenänderung vieler kleinster Proteinfilamentbündel innerhalb der Faser zurückzuführen. Das Zusammenspiel der mit einer Vielzahl aneinandergereihten Proteinfilamentbündel hat zur Folge, dass Längenänderungen der einzelnen Bündel im Mikrometerbereich eine gesamte Verlängerung bzw. Verkürzung der Muskelfaser von mehreren Zentimetern bewirken. Wird der Muskel via Muskelfasern gestreckt, übt der Muskel passive Kräfte aus, welche hauptsächlich von den Bindegewebe erzeugt werden. Die Eigenschaft dieser passiven Komponente ist vergleichbar mit einer mechanischen Feder, die bei Verlängerung oder Verkürzung Zug- oder Druckkräfte ausübt.



Da ein einziges Modell für den gesamten Skelettmuskel mit genauer Betrachtung der Mikrostruktur aufgrund der Komplexität zu unermesslich langer Rechenzeit in den Simulationen führen würde, werden für die einzelnen Hierarchieebenen eigene Modelle erstellt und die Modellierung schrittweise durchgeführt. Mithilfe mathematischer Homogenisierungsmethoden werden auf jeder Ebene die Eigenschaften der Struktur bestimmt und zur nächsthöheren Ebene transferiert. Jedes einzelne Modell bildet das Materialverhalten seiner Ebene sehr genau ab, sodass schlussendlich in der obersten Ebene das Gesamtverhalten des Skelettmuskels beschrieben werden kann.

Im Folgenden werden Simulationen präsentiert, die das Streckungs- und Stauchungsverhalten des gesamten Skelettmuskels beschreiben. Für die Durchführung wird der Muskel dabei vereinfacht als Zylinder modelliert. Folgt man der genannten funktionalen Unterteilung in aktive und passive Komponenten, lässt sich das mechanische Verhalten der Komponenten (Muskelfaser und Bindegewebe) jeweils durch eigene mathematische

Gleichungen beschreiben. Das aus diesen Gleichungen erstellte Materialmodell wird der Zylindergeometrie zugeordnet. Es werden zwei Simulationen mit unterschiedlichen Materialmodellen durchgeführt. In der ersten Simulation wird nur das Bindegewebe betrachtet und die Muskelfaser außen vorgelassen. Damit werden im Materialmodell nur die mathematischen Gleichungen zur Beschreibung des passiven Verhaltens berücksichtigt. In der Realität entspricht dies einem entspannten Muskel, der nur durch äußere Einflüsse gestreckt bzw. gestaucht wird und somit nicht bewusst aktiviert wird. In der zweiten Simulation werden nun die mechanischen Eigenschaften der aktiven Komponente (Muskelfaser) im Materialmodell ergänzt. Diese Durchführung kann in der Realität mit der bewussten Aktivierung über elektrische Impulse und daraus resultierenden Verlängerung oder Verkürzung des Muskels verglichen werden.

Zur Auswertung wird ein Spannungs-Dehnungs-Diagramm erstellt, das die Maximalspannung im Muskel über die Dehnung für beide Materialmodelle aufträgt. Der Muskel wird hierfür bis zu 40 Prozent gedehnt

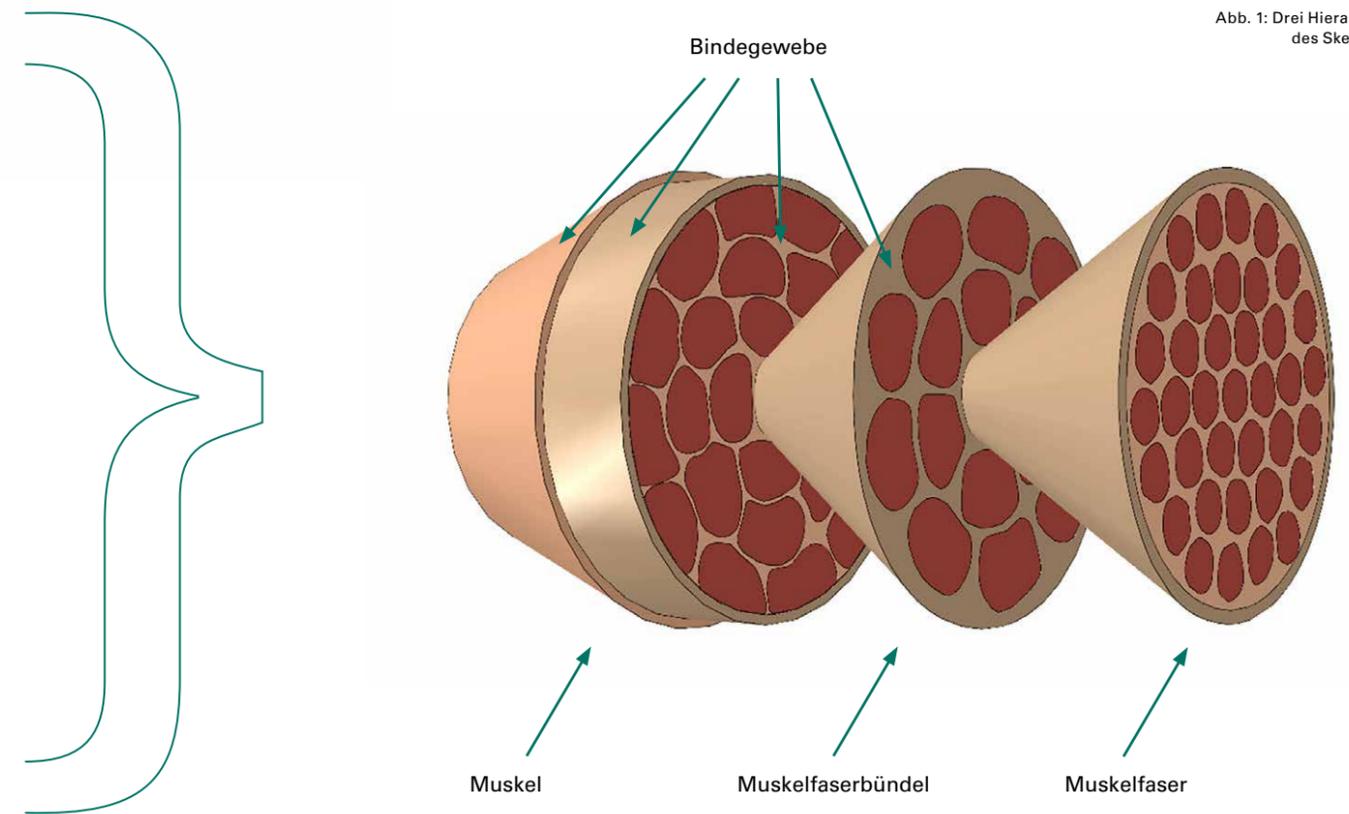


Abb. 1: Drei Hierarchieebenen des Skelettmuskels.

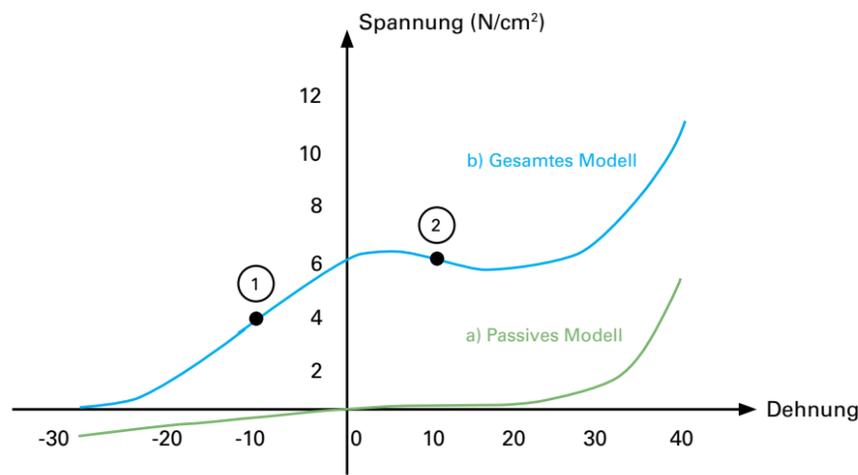
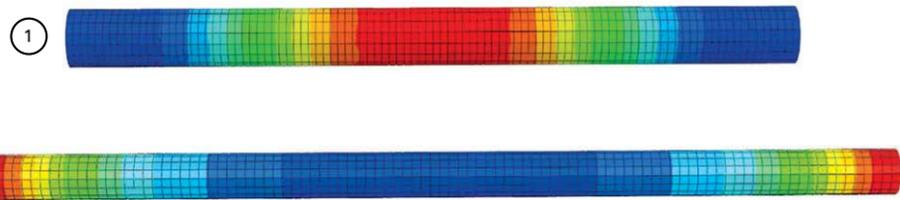


Abb. 2: Spannungs-Dehnungs-Diagramm (oben), welches (a) das Verhalten des Bindegewebes und (b) das Verhalten des gesamten Skelettmuskels beschreibt. Unten sind Ergebnisse aus der Simulation aufgeführt, die die Spannungen entlang des Gesamtmuskels für (1) einen gestauchten Muskel und (2) einen gestreckten Muskel um jeweils 10 Prozent darstellen.



und in einer weiteren Berechnung bis zu 30 Prozent gestauch. Die Berechnung wird mithilfe der Finite Elemente Methode (FEM) durchgeführt. Die FEM stellt ein numerisches Verfahren zur Festkörperberechnung dar und ermöglicht Verformungen unter Einwirkungen von Kräften zu berechnen und zu simulieren. Die im Laufe der Simulation anhand von Verformungen resultierenden Spannungen werden durch die farbige Darstellung des Muskelmodells deutlich (siehe 1 und 2 in Abbildung 2). Rote Bereiche stellen die höchsten Spannungswerte und blaue Bereiche die geringsten Spannungswerte dar. Die im Farbkreis zwischen rot und blau liegenden Farben bilden Abstufungen der Spannungswerte ab.

Wird der Gesamtmuskel an beiden Enden gleichmäßig gestreckt, findet eine Verjüngung des Querschnitts statt. Grafik 2 aus Abbildung 2 verdeutlicht, dass die Spannungswerte an den Enden höher sind als im mittleren Bereich, wenn der virtuelle Muskel um 10 Prozent gedehnt wird. Eine gleichmäßige Stauchung des Gesamtmuskels um insgesamt 10 Prozent ist in Grafik 1 dargestellt. Der Querschnitt des Muskels nimmt zu

und die Spannungen entlang des Muskels verdeutlichen, dass die Druckbelastung erhöhte Spannungen in der Mitte verursacht. Die erhöhten Spannungswerte sind darauf zurückzuführen, dass der Querschnitt über dem Muskel nicht konstant bleibt. Bei Zugbelastung verjüngt sich der Querschnitt an den Enden stärker und verursacht somit an den Stellen erhöhte Spannungswerte. Bei Druckbelastung nimmt der Querschnitt in diesem Bereich an den Enden stärker zu, sodass der geringere Querschnitt in der Mitte Maximalspannungen verursacht. Diese maximalen Spannungswerte können für beide Fälle aus dem Spannungs-Dehnungs-Diagramm an den Punkten 1 und 2 erfasst werden.

Die Spannungs-Dehnungskurven zeigen, dass im aktivierten Skelettmuskel in der Ausgangslänge eine Spannung von etwa 6 N/cm² herrscht, d.h. dieser Spannungswert liegt vor, wenn der Muskel in der Realität in der Ruhelänge angespannt wird. Wird der gesamte Muskel aus aktiven und passiven Komponenten nun verkürzt, fällt die Spannung stark ab und beträgt bei etwa 30 Prozent Stauchung nahezu null. Bei einer

Dehnung des Muskels fällt die Spannung nach einem kurzen Anstieg ab, steigt ab einer Dehnung von etwa 20 bis 30 Prozent jedoch wieder sehr stark an. Der Vergleich zum passiven Spannungs-Dehnungsverlauf, der nur die passive Komponente (Bindegewebe) im Materialmodell berücksichtigt, zeigt, dass die Spannung im Muskel über weite Bereiche nahezu null beträgt. Das Bindegewebe verursacht in diesem Bereich also kaum Kräfte im Muskel. Ab einer Dehnung von 20 bis 30 Prozent steigen die passiven Spannungen stark an und stellen einen vergleichbaren Anstieg zum Spannungs-Dehnungs-Verlauf des gesamten Skelettmuskels aus Muskelfaser und Bindegewebe dar.

Das Verhalten des Bindegewebes ähnelt einer nichtlinearen, mechanischen Zugfeder, deren Zugkräfte bei Verlängerung der Feder exponentiell ansteigen. Der Verlauf des gesamten Modells lässt sich anhand der Kraft-Längen-Relation der Muskelfaser erklären. Muskelfasern können nahe der Ausgangslänge die maximale Kraft ausüben. Wird die Muskelfaser gedehnt oder gestauch, fällt die Kraft in beiden Situationen stark ab. Das Verhalten der Faser ähnelt einer umgedrehten Parabel. Wendet man dieses Wissen nun auf das Diagramm an, stimmt das Stauchungsverhalten des gesamten Muskels mit dem der Muskelfaser überein. Der kurze Spannungsabfall während des Dehnungsprozesses lässt sich ebenfalls mit der fallenden Kurve der Kraft-Längen-Relation erklären. Der wiederholte Anstieg des Gesamtmuskels bei größeren Dehnungen läuft nahezu identisch zum passiven Verlauf des Bindegewebes, da die Muskelfasern in dem Längenbereich kaum Kräfte ausüben können und somit der Spannungszuwachs alleine aus den Eigenschaften des Bindegewebes resultiert.

Das aufgestellte Materialmodell dient nun als Basis zur Beschreibung des Spannungs-Dehnungsverhaltens des gesamten Skelettmuskels und kann weiter ausgebaut werden, um die vielfältigen mechanischen Eigenschaften abzubilden. Eine detailliertere Betrachtung der Mikrostruktur lässt in zukünftigen Simulationen deren Einfluss auf das mechanische Verhalten genauer bestimmen. Neben der Abbildung von mechanischen Eigenschaften können auch elektrische und chemische Prozesse integriert werden. Dies ist vor allem für den Skelettmuskel interessant, da die durch einen Nervenimpuls ausge-

führte Kontraktion im Muskel eine komplexe Kopplung aus mechanischen, elektrischen und chemischen Prozessen darstellt. Zum einen kann dadurch die zeitliche Änderung des Muskelverhaltens berücksichtigt und somit zum Beispiel Ermüdungsprozesse genauer erfasst werden, zum anderen kann die Kontraktionsgeschwindigkeit des Muskels genauer beschrieben werden, die ebenfalls einen starken Einfluss auf das Materialverhalten hat.

Mit einer detaillierten mathematischen Beschreibung des Materialverhaltens und einer hinreichend genauen Darstellung der realen Geometrie können komplexe Strukturen realitätsnah erfasst werden. Dadurch bieten sie eine adäquate Alternative zu realen Experimenten, was insbesondere für den menschlichen Skelettmuskel relevant ist, an dem die Durchführung von Experimenten nahezu unmöglich ist. Da die Ernährung im Alltag und unbekannte, vergangene Schädigungen der Muskeln Auswirkungen auf die Eigenschaften haben können, können somit unterschiedliche Ergebnisse erzielt werden. Umgekehrt ist aber gerade der menschliche Skelettmuskel für die Forschung von großem Interesse, wenn es darum geht, kaputte Muskeln durch künstliche zu ersetzen. Eine detaillierte und systematische Forschung ist daher nur mit Hilfe von Simulationen möglich.

Phänomenologie

Physik erleben und verstehen

von / by Prof. Dr. Johannes Grebe-Ellis,
Physik und ihre Didaktik / *Physics Education*



Will Schüler*innen für den Physikunterricht begeistern: Prof. Dr. Johannes Grebe-Ellis mit einem neuen Experiment zur simultanen Erzeugung komplementärer Spektren.

Um eine Diskussion über die Zukunft des Physikunterrichts an deutschen Schulen anzustoßen, hat die Deutsche Physikalische Gesellschaft 2016 eine Studie zum Physikunterricht in Deutschland veröffentlicht. Im Vorwort bedauern die Autor*innen, dass die Physik zu den unbeliebtesten Schulfächern gehört. Sie verknüpfen diesen Befund mit dem von der deutschen Wirtschaft beklagten Mangel an naturwissenschaftlichem Nachwuchs und fragen: Woran liegt es, dass die Physik als so schwierig, abstrakt und lebensfremd erlebt wird?

Ein Blick in die fachdidaktische Forschungsliteratur zeigt, dass weder der Befund noch die Frage nach seinen Ursachen neu ist. Dass Jugendliche der Physik eine hohe gesellschaftliche Relevanz zuschreiben, während ihr Interesse daran mit zunehmender Dauer des Physikunterrichts ins Bodenlose fällt, ist bereits seit den 1980er-Jahren aus den großen Interessenstudien des Leibniz-Instituts für die Pädagogik der Naturwissenschaften

(IPN) in Kiel bekannt: Der Physikunterricht ist am interessantesten, wenn er beginnt. Bei den Mädchen wird er in der Regel zum unbeliebtesten Fach überhaupt. „Was hat das mit mir zu tun?“ ist die Formel, auf welche die subjektiv erlebte Distanz zur Physik gebracht wird. Aber gibt es nicht in jeder Klasse die kleinen Einsteins, die in der Physik abheben und das Fach später oft auch studieren? In der Tat zeigen die Studien, dass der Physikunterricht die Schülerschaft in viele Eingeschüchterte und wenige Expert*innen spaltet. Solche elitestiftenden und antidemokratischen Sozialisationswirkungen stehen aber in scharfem Gegensatz zu den Bildungszielen. Diese machen die erfahrungsgestützte Urteilsfähigkeit des Einzelnen und eine erfolgreiche naturwissenschaftliche Grundbildung zur Bedingung kompetenter und verantwortungsvoller Teilhabe an demokratisch organisierten gesellschaftlichen Gestaltungsprozessen (Scientific Literacy, OECD 2006).

To start off a discussion on the future of physics teaching in German schools, in 2016 the German Physical Society published a comprehensive study of physics teaching in Germany. In the preface, the authors regret the fact that physics is among the least liked subjects at school. They link this finding to the shortage of new talent in science often bemoaned by German businesses and ask: Why is it that physics is perceived as so difficult, abstract and divorced from reality?

A review of the research literature on didactic methods in the subject shows that neither the finding itself nor the question as to its causes is new. A number of large-scale studies of interests conducted by the Leibniz Institute for Science and Mathematics Education (IPN) based in Kiel in the 1980s already showed that while young people do ascribe a high social relevance to physics, the longer they are taught the subject, the more their interest in it plummets:

Physics is the most interesting at the beginning. For girls, it generally becomes their least favourite subject of

all. ‘What’s it got to do with me?’ gives expression to the pupils’ subjectively experienced distance from physics. But doesn’t every class have its little Einsteins who flourish and excel in physics and often go on to study the subject? The aforementioned studies do indeed show that physics lessons often divide pupils into the intimidated majority and a few experts.

Such elite-forming and antidemocratic socialization, however, is in marked contrast to the general educational aims of science teaching. These make the experience-based judgement of the individual and a successful basic science education a precondition of a competent and responsible participation in democratically organized creative social processes (Scientific Literacy, OECD 2006).

For the full English version visit www.buw-output.uni-wuppertal.de

Physikunterricht ohne Phänomene?!

Aus physikdidaktischer Sicht gibt es *den* Physikunterricht natürlich nicht. Vielmehr handelt es sich um ein komplexes Gefüge von teils fachspezifischen, teils allgemeinen unterrichtsmethodischen Merkmalen, die von der Forschung in den vergangenen drei Jahrzehnten beschrieben und empirisch untersucht wurden. Zu den Merkmalen „guten“ Physikunterrichts zählen neben der fachlichen Konsistenz und Schlüssigkeit unter anderem die Anknüpfung an Schüler*innenvorstellungen und Alltagserfahrungen, die Einbettung neuer Inhalte in Anwendungskontexte und das Experimentieren. Studiert man diese Merkmale genauer, fällt auf, dass Phänomene als Grundlage physikalischer Erkenntnis so gut wie nicht vorkommen. Zwar werden Bezugnahmen auf den Alltag von Schüler*innen empfohlen, aber konkrete, die sinnliche Wahrnehmungsdimension von Schüler*innen herausfordernde Begegnungen mit aus-

gewählten Phänomenen aus Natur und Alltag sind konzeptionell nicht vorgesehen.

Folgt man dem Physiker und Pädagogen Martin Wagenschein („Rettet die Phänomene!“), der als wichtiger Impulsgeber der Physikdidaktik in Deutschland angesehen wird, dann stellen Begegnungen mit Naturphänomenen ganzheitliche Entwicklungsgelegenheiten dar, die von existenzieller Bedeutung für das Sinnerleben und die Identitätsbildung von Kindern und Jugendlichen sein können. Nach Aussagen von Schüler*innen und Studierenden, die ich nach ihrem Physikunterricht befragt habe, handelte dieser im Wesentlichen von theoretischen Konstrukten, Modellen und abstrakten Erklärungen ausgewählter Effekte, die in mehr oder weniger gelingenden Vorführexperimenten „nachgewiesen“ wurden. Was den Befragten davon geblieben ist, sind letztlich unverstandene Wissensfragmente und vereinzelte Formeln, die sie nach der Art „das hat was mit Lichtbrechung zu tun“ bestenfalls zuordnen können, deren

Herkunft und innere Logik ihnen aber dunkel ist und die sie daher nicht auf konkrete Probleme beziehen können.

Bei der Sonnenfinsternis am Vormittag des 20. März 2015 wurden in mehreren deutschen Bundesländern angeblich aus Sicherheitsgründen ganze Klassen in zum Teil verdunkelten Klassenräumen eingesperrt, anstatt die seltene Gelegenheit zu nutzen, der Schülerschaft das Erlebnis dieses großartigen, zutiefst beeindruckenden Naturschauspiels gut vorbereitet und mit eigenen Augen zu ermöglichen. Ist das die Botschaft, mit der eine aufgeklärte, naturwissenschaftlich orientierte Gesellschaft ihr Selbstverständnis der nächsten Generation vermittelt?

Zwischenspiel: Beobachtungen am Wassertrog

Die optischen Verkürzungen und Stauchungen, die sich beim Blick auf unter Wasser liegende Objekte (z. B. beim Abwaschen, Spaghetti-Kochen, Baden etc.) ergeben, werden als Phänomene der „optischen Hebung“ zusammengefasst. Von einer Gruppe von Physiklehrkräften, die zum gesehenen Ort einer in einem gefüllten Wassertrog liegenden Münze befragt wurden, hatte mehr als die Hälfte keine Ahnung, auch wenn alle das Gesetz der Lichtbrechung angeben konnten. Einige konnten die theoretisch korrekte Antwort annähernd richtig vorher-sagen. Die wenigsten waren sich wirklich sicher, wo die gehobene Münze gesehen wird und wie dieser Ort vom jeweiligen Blickwinkel abhängt, weil sie eine ähnliche Beobachtung bereits gemacht und den dabei wirksamen Bedingungs-zusammenhang verstanden hatten.

Die anschließende Beobachtung am Wassertrog verdeutlicht, womit viele nicht gerechnet hatten: Genaues Beobachten will geübt sein! Aufschlussreich waren die Kommentare im Anschluss: Einige waren fasziniert davon, das Phänomen zum ersten Mal bewusst gesehen und seine Regelmäßigkeit erfasst zu haben. Einige bezweifelten die Sinnhaftigkeit der Frage nach dem Ort der Münze, weil sie eine Zuverlässigkeit der subjektiven Wahrnehmung voraussetze, die ihrer Meinung nach prinzipiell nicht gegeben sei. Für einige stand von vornherein fest, dass es sich bei dem Phänomen, ähnlich wie beim Blick in den Spiegel, um ein Trugbild, eine optische Täuschung handele und fraglich sei, ob die Beantwortung der Frage nicht viel eher von der Wahrnehmungspsychologie als von der Physik zu erwarten sei. Manche gingen noch weiter: Phänomene dieser Art seien didaktischer Schnick-Schnack, als Motivation vielleicht geeignet, aber letztlich Zeitverschwendung. Sie hätten nichts

mit Physik zu tun, sondern seien das Ergebnis der Reaktionen unseres neurophysiologischen Komplexes auf die Wechselwirkung mit elektromagnetischer Strahlung. Damit kommt eine Sichtweise ins Spiel, die erstaunlich verbreitet ist, in Wissenssendungen, Schulbüchern und populärwissenschaftlichen Darstellungen vermittelt wird und sich durch die epistemologische Struktur des „In-Wirklichkeit-Nichts-als“-Narrativs zu erkennen gibt: „Wir meinen, der Himmel sei blau und die Rose rot, in Wirklichkeit ist Farbe aber nichts als ein elektromagnetischer Reiz bestimmter Wellenlänge, das Lied der Nachtigall nichts als ein Gemisch periodischer Luftdruckschwankungen und die Freude darüber in Wirklichkeit nichts als ein neuronales Erregungsmuster.“



Der Tassenversuch: Hebung und Brechung zugleich. Bei gleichbleibenden Blick- und Beleuchtungswinkeln wird Wasser in eine Tasse gefüllt. Mit zunehmendem Wasserstand erscheint der Tassenboden optisch gehoben: Eine vorher verborgene Münze wird sichtbar (Hebung). Gleichzeitig wird der Tassenboden, der ohne Wasser im Schatten lag, mit steigendem Wasserstand zunehmend beleuchtet: Wie der Verlauf der Schattengrenze an der Tassenwand zeigt, knickt die Beleuchtungsrichtung an der Wasseroberfläche nach unten ab (Brechung).

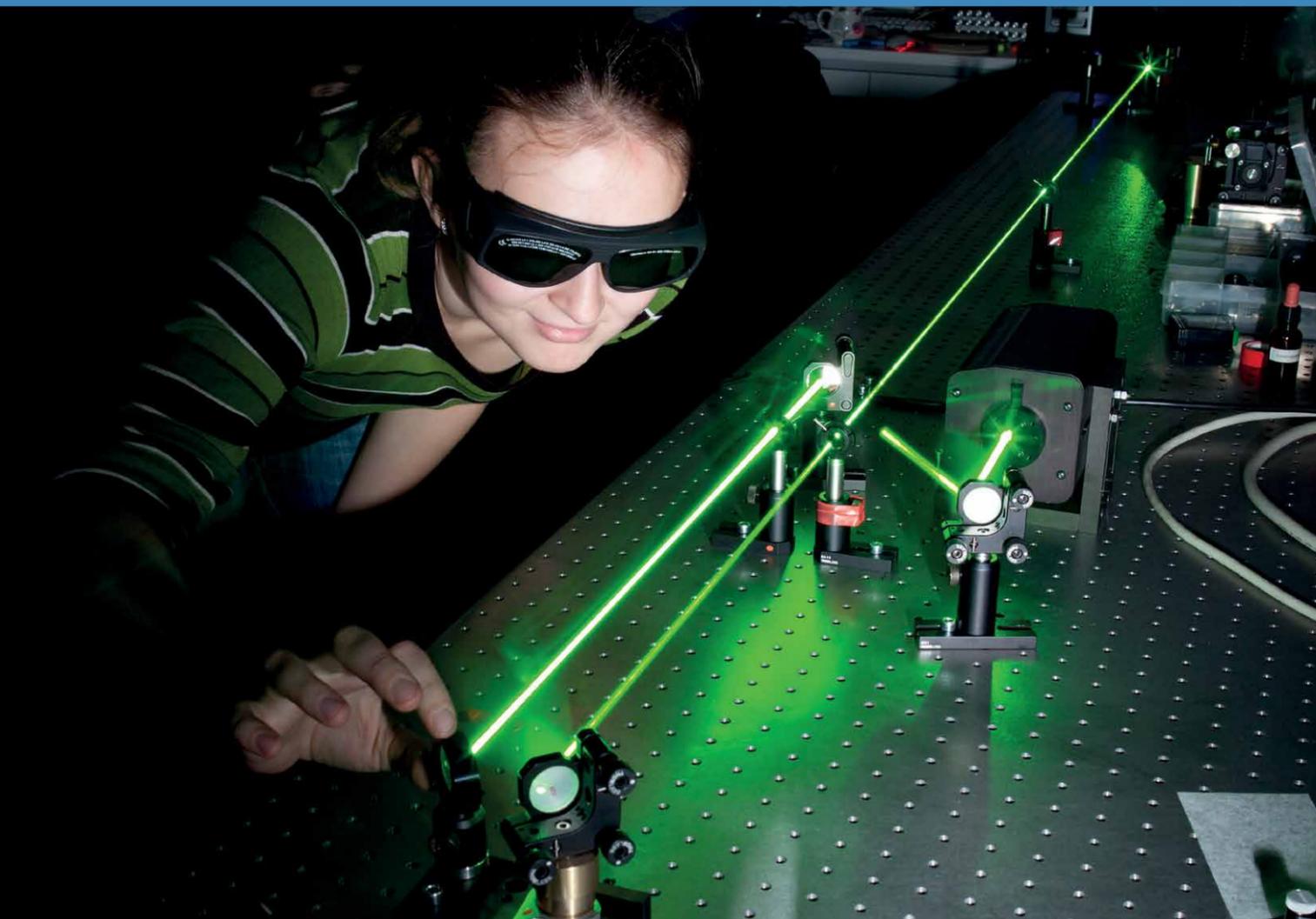


Der physikalische Blick: Beschränkung auf das Messbare

Die Annahme, dass reduktionistische Verkürzungen dieser Art aus der Natur der Physik selbst bereits folgen, tut allerdings der modernen Physik unrecht. Einstein wurde gefragt, ob er glaube, dass sich letztlich alles auf naturwissenschaftliche Weise abbilden lasse. „Ja, das ist denkbar“, antwortete er, „aber es hätte doch keinen Sinn. Es wäre eine Abbildung mit inadäquaten Mitteln, so als ob man eine Beethoven-Symphonie als Luftdruckkurve darstellte.“

Es ist richtig, dass sich die Physik bei ihrer Beschreibung der Wirklichkeit auf das Messbare, quantitativ

Erfassbare beschränkt. Indem sie dabei von den anschaulichen Qualitäten der Wirklichkeit absieht, gelangt sie zu einer Form von Naturwissen, das abstrakt und entfremdet wirkt, weil es subjektfrei formuliert ist. Dafür weist es einen Grad an struktureller Klarheit, mathematischer Exaktheit und Zuverlässigkeit auf, ohne die der technologische Entwicklungsweg der westlichen Zivilisation in den letzten zweihundert Jahren nicht denkbar wäre. Das physikalische Bild der Wirklichkeit gleicht einer Projektion. Diese verhält sich zu der ursprünglich erfahrbaren Wirklichkeit etwa wie die Fotografie zum Original, oder wie der Schatten des Baumes zum Baum. Die geometrische Struktur des Baumes wird im Schattenriss scharf erfassbar; was



Auch bei der Justage komplexer optischer Aufbauten ist das (geschützte!) eigene Sehen unentbehrlich.

verloren sind Farbe und Duft, die Räumlichkeit der Krone und das Rauschen der Blätter.

Physiker wie Einstein, Eddington oder Heisenberg waren sich dieses Projektionscharakters der physikalischen Naturbeschreibung stets bewusst. Sie warnten vor dem ontologischen Missverständnis, den Schatten des Baumes mit dem Baum gleichzusetzen, ja mehr noch: die Grundbausteine des physikalischen Weltbildes (Atome, Elektronen, Photonen, Felder etc.) zur „wahren Realität“ hinter der wahrnehmbaren Welt zu erklären und die ursprüngliche Wirklichkeitserfahrung zum subjektiven Sekundärphänomen herabzuwürdigen. Demgegenüber erinnerten sie an die fundamentale Erkenntnis der modernen Physik, dass die Antworten der Natur stets davon abhängen, von welcher Art die Fragen sind.

Der phänomenologische Blick:
Bedingungen der Erscheinungen erfassen

Vor diesem Hintergrund eröffnet sich zu der Frage „Wie können Phänomene im Physikunterricht Bedeutung gewinnen?“ eine Perspektive: Aus der Selbstbeschränkung der Physik auf das Messbare folgt nämlich keineswegs, dass die Akustik im Unterricht nicht vom Hören ausgehen kann, sondern die Rede über Schall zwangsläufig auf das beschränken muss, was für eine „Akustik ohne Ohr“ bleibt. In demselben Sinn gibt es keinen prinzipiellen Grund, weshalb die physikalische Optik als „Optik ohne Auge“, d.h. unter Verzicht auf die konkrete Seherfahrung unterrichtet werden müsste. Auch wenn die Physik als mathematisch-exakte Naturwissenschaft von Phänomenen und damit vom Bezug

zum Menschen absieht und die Form ihres Naturwissens deshalb als entfremdet erlebt wird, folgt daraus nicht, dass die Physik auch notwendig ohne expliziten Bezug auf die sinnlich-leibliche Erfahrungs- und Erlebnisfähigkeit des Menschen *unterrichtet* werden muss. Die Gesetze der physikalischen Optik, der physikalischen Akustik etc. gelten ja auch und gerade für das, was wir sehen und hören. Folglich sollten sie auch durch eine phänomenologische Analyse des Gesehenen und Gehörten aufgedeckt werden können.

Einer der Hauptgründe dafür, dass es bisher so wenige phänomenologische, d.h. von der konkreten Beobachtung ausgehende, explorierende Zugänge zu Phänomenen gibt, ist m. E. das populäre Missverständnis, die subjektive menschliche Wahrnehmung sei prinzipiell nicht wahrheitsfähig, unzuverlässig und täuschungsbehaftet. Dies lässt sich aber leicht richtigstellen. Tatsächlich kann man nämlich zeigen, dass es sehr wohl möglich ist, durch Schulung der Beobachtung und exakte Beschreibung der jeweils wirksamen Bedingungen z. B. optische oder akustische Phänomene zu erschließen und auf dieser Basis zur Einsicht in die jeweils zugrundeliegenden Gesetzmäßigkeiten zu gelangen.

Um in diesem Sinne exemplarisch bei den Phänomenen der optischen Hebung Klarheit zu schaffen, käme es darauf an, zu untersuchen, ob entsprechende Beobachtungen durch eine systematische Variation der maßgeblichen Bedingungen einen regelhaften Zusammenhang der Beobachtungen erkennbar werden lassen, der sich zuletzt mathematisch als Hebungsgesetz formulieren lässt. Ob man diese Beobachtungen mit dem eigenen Auge oder mit einem technischen Auge, d.h. einem entsprechenden Detektor durchführt, spielt dabei keine Rolle. Sodann wäre zu prüfen, wie sich Phänomene der optischen Hebung und solche der Lichtbrechung bedingen. Spätestens dann fällt einem aber auf, dass das Hebungsgesetz lediglich eine phänomenologische Formulierung des Brechungsgesetzes ist, mithin beide Formulierungen ineinander überführbar und damit strukturell isomorph sind. Dass phänomenologische Erkenntniswege dieser Art anders bei einem bleiben, als auswendig gelernte Sätze oder Formeln, merkt man daran, dass sie das eigene Sehen verändern: Mit einem Mal entdeckt man, in wie vielfältigen Variationen die Bedingungen der optischen Hebung und Brechung in Natur und Alltag wirksam sind.

Phänomenologie:
Vermittler von Subjekt und Objekt

Dieses hier exemplarisch skizzierte phänomenologische Programm wurde in der Arbeitsgruppe Physik und ihre Didaktik an der Bergischen Universität für eine Vielzahl optischer Phänomene durchgeführt. Konkret wurden Beiträge in den folgenden Bereichen erarbeitet: Schattenbildung, farbiger Schatten, optische Abbildung, Hebung und Brechung, Spiegelung und Reflexion, Beugung und Vervielfachung kleiner kontrastreicher Leuchten, optische Polarisation, Polarisationssehen und Bildverdopplung, Farbenlehre (Goethe und Newton) und spektrale Komplementärphänomene. Die hier entstandenen Dissertationen sind in unserer Buchreihe „Phänomenologie in der Naturwissenschaft“ erschienen.

Unsere Projekte weisen typischerweise stets mehrere Dimensionen auf: eine fachwissenschaftliche, bei der es um die Erschließung, Beschreibung und Konzeptualisierung von Phänomenen geht; eine fachdidaktische, deren Ziel in der curricularen Umsetzung, d.h. in der Entwicklung phänomenologischer Lehrgänge, Unterrichtsmaterialien und Demonstrationsexperimente besteht; eine anwendungsbezogene, die sich mit der Entwicklung von Lehrmitteln für Schule und Hochschule sowie der Konzeption und Realisierung physikalischer Ausstellungsexponate befasst und schließlich die Dimension Service und Transfer: Besonders gelungene experimentelle Entwicklungen, die im Rahmen von Dissertationsprojekten entstanden sind und die ein hohes Innovationspotenzial für die Schule aufweisen, realisieren wir u. a. im Rahmen von Masterarbeiten als Koffereexperimente für die Schulen der Bergischen Region (Projekt SchulPOOL).

www.physikdidaktik.uni-wuppertal.de
www.spw.uni-wuppertal.de

Theoretisch optimiert

Mit mathematischer Analyse zu praktischen Lösungen

von / by Prof. Dr. Kathrin Klamroth, Dr. Britta Schulze und / and Dr. Michael Stiglmayr, Arbeitsgruppe Optimierung und Approximation / Working Group Optimization and Approximation



Prof. Dr. Kathrin Klamroth (r.) mit ihrem Team – Dr. Britta Schulze und Dr. Michael Stiglmayr.

Wir alle sind tagtäglich mit Optimierungsproblemen konfrontiert: der kürzeste (vom Smartphone oder Navigationsgerät bestimmte) Weg zum Ferienort ist nur ein Beispiel dafür. Im Alltag lösen wir dieses Problem häufig intuitiv (für kleine Entfernungen) oder greifen auf vorimplementierte Programme und Apps zurück. In größeren Logistikanwendungen hingegen können selbst kleine Abweichungen von den optimalen Routen hohe Folgekosten verursachen. Der mathematischen Optimierung kommt hier eine Schlüsselrolle zu: Mit geeigneten Algorithmen können beweisbar optimale Routen auch in komplexen Szenarien effizient berechnet werden.

Häufig existieren implizit oder explizit weitere Optimierungsziele, die zueinander im Konflikt stehen: Praktische Entscheidungen erfordern oft Kompromisse. Im Supply Chain Management und bei der Routenplanung sind sowohl ökonomische als auch ökologische Kriterien zu berücksichtigen, in technischen Anwendungen stehen sich Qualität und Preis gegenüber, und bei der

Auswahl einer Anlagestrategie muss man zwischen dem erwarteten Gewinn und dem Risiko eines Portfolios abwägen. Das Gebiet der multikriteriellen Optimierung beschäftigt sich mit der mathematischen Analyse und der praktischen Lösung von Optimierungsproblemen mit mehreren Zielfunktionen und/oder mehreren Entscheidungsträgern sowie mit der Entwicklung von effizienten Lösungs- und Entscheidungsunterstützungsverfahren.

Ein klassisches Beispiel für ein multikriterielles Optimierungsproblem ist die Portfolio-Optimierung: Im Markowitz-Modell wird der Trade-off zwischen dem erwarteten Gewinn und dem Risiko in einem bikriteriellen Optimierungsproblem modelliert. Gesucht ist ein Portfolio, d.h. eine Auswahl an möglichen Investments, sodass der erwartete Gewinn des Portfolios maximiert wird und gleichzeitig das Risiko des Portfolios minimiert wird. Jedes mögliche Portfolio wird dabei durch die Anzahl x_i der im i -ten Aktienfonds erworbenen Anteile eindeutig beschrieben und kann dementsprechend bezüglich beider Optimierungsziele bewertet werden.

All of us face optimization problems on a daily basis: finding the shortest route (determined by your smartphone or sat nav) to our holiday destination is just one example of this. In our daily lives we often solve such problems intuitively (for short distances) or make use of pre-implemented programs and apps. In larger logistics applications, however, even small deviations from optimal routes can cause high consequential costs. Mathematical optimization has a key part to play here: verifiably optimal routes can be computed efficiently by means of suitable algorithms even in complex scenarios.

Frequently, there are further implicit or explicit optimization goals that are in conflict with each other: practical decision-making often requires compromise. In supply chain management and in route planning, both economic and ecological criteria must be taken into

account; in technical applications, quality and price are opposing goals; and choosing an investment strategy requires weighing up the expected return against the risk of a portfolio. The area of multi-objective optimization deals with the mathematical analysis of and practical solutions to optimization problems with several objective functions and/or several decision makers, as well as with developing efficient support mechanisms for problem-solving and decision-making.

For the full English version visit www.buw-output.uni-wuppertal.de

Gleichung 1:
Markowitz-Modell zur
Portfolio-Optimierung.

$$\begin{aligned} \max & \sum_{i=1}^n r_i x_i \\ \min & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i s_{i,j} x_j \\ \text{s.t.} & \sum_{i=1}^n c_i x_i \leq b \\ & x_i \geq 0 \quad \forall i \in \{1, \dots, n\} \\ & x_i \in \mathbb{Z} \quad \forall i \in \{1, \dots, n\} \end{aligned}$$

Die interessanten Portfolios sind nun genau diejenigen, die mit dem vorgegebenen Budget b auskommen und die sich nicht bezüglich beider Kriterien gleichzeitig verbessern lassen. Abbildung 1 (nächste Seite) zeigt den Trade-off zwischen Risiko und Return für ein Beispielproblem mit 40 Investmentmöglichkeiten, d.h. 40 zur Auswahl stehenden Fonds. Die dargestellten Portfolios sind sämtlich nichtdominiert, d.h. eben genau nicht

bezüglich beider Kriterien gleichzeitig verbesserbar. Bei dem Portfolio C bedeutet das zum Beispiel konkret, dass es kein anderes Portfolio gibt, das bei demselben (oder einem geringeren Risiko) einen größeren Gewinn erwarten lässt. Der Trade-off zwischen Risiko und Return beschreibt nun die Rate, um die das Risiko im Verhältnis zum erwarteten Gewinn steigt: Während bei Portfolio D noch bei einer relativ geringen Risikosteigerung ein deutlich größerer Gewinn erwartet werden kann, ist bei Portfolio B eine weitere Gewinnmaximierung für einen durchschnittlichen Anleger nicht ratsam, da dies mit einem enormen Anstieg des Risikos verbunden wäre. Portfolio A ist extremal in dem Sinne, dass es unter allen möglichen Portfolios den erwarteten Gewinn maximiert, ohne Rücksicht auf das Risiko der Anlage zu nehmen.

Eine ausführliche Trade-off-Analyse ist in vielen Anwendungen ein wichtiges Hilfsmittel, um fundierte und ausgewogene Entscheidungen zu treffen. Häufig untersuchte Anwendungsfelder sind die Routenplanung (z.B. in Navigationssystemen), Capital Budgeting,

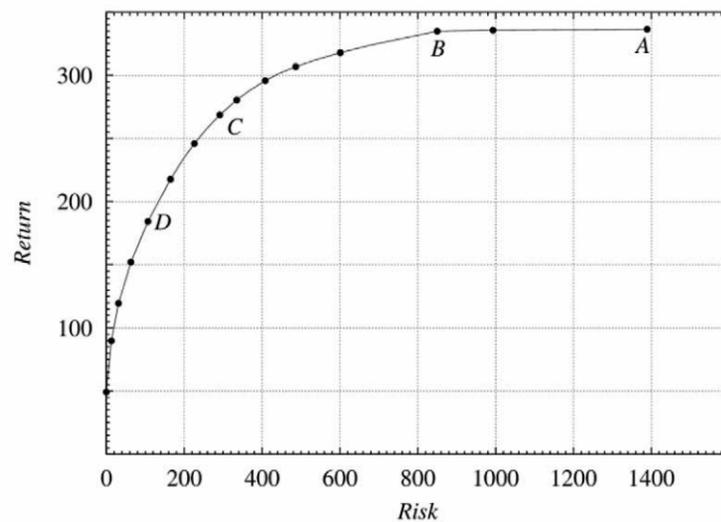


Abb. 1: Trade-off zwischen Risiko und Return für ein Beispielproblem mit 40 Investmentmöglichkeiten.

Scheduling und Zuordnungsprobleme. Alle diese Probleme beinhalten Auswahlentscheidungen und fallen im mathematischen Sinn in den Bereich der diskreten Optimierung. Routenplanungsprobleme werden z. B. auf Straßennetzwerken formuliert, wobei für jede mögliche Verbindungsstrecke entschieden werden muss, ob dieser Abschnitt ein Teil der Route wird oder nicht. Bei der Planung von Radrouten sind dabei z. B. einerseits die Streckenlänge, und andererseits die Sicherheit der Strecke (gibt es einen Radweg oder nicht) zu optimieren.

Beim bekannten „Travelling Salesman“-Problem, dem Problem des Handlungsreisenden, muss eine Rundreise durch eine vorgegebene Zahl von Städten bzw. Kunden so geplant werden, dass die Gesamtlänge der Rundreise möglichst gering ist. Gleichzeitig soll

häufig die durchschnittliche Wartezeit der Kunden minimiert werden. Im Capital Budgeting, z. B. bei der Auswahl von Projekten, muss bei vorgegebenem Budget entschieden werden, welches Projekt durchgeführt wird und welches nicht. Dies ist ganz analog zum sogenannten Rucksackproblem, bei dem ein Wanderer aus einer Auswahl an möglichen Utensilien eine Teilmenge von Dingen auswählen muss, die in den Rucksack gepackt werden soll – alles unter der Restriktion eines beschränkten Volumens und/oder Gewichts des Rucksacks, und unter Berücksichtigung verschiedener Optimierungsziele wie z. B. dem praktischen Nutzen und dem Gewicht der ausgewählten Objekte.

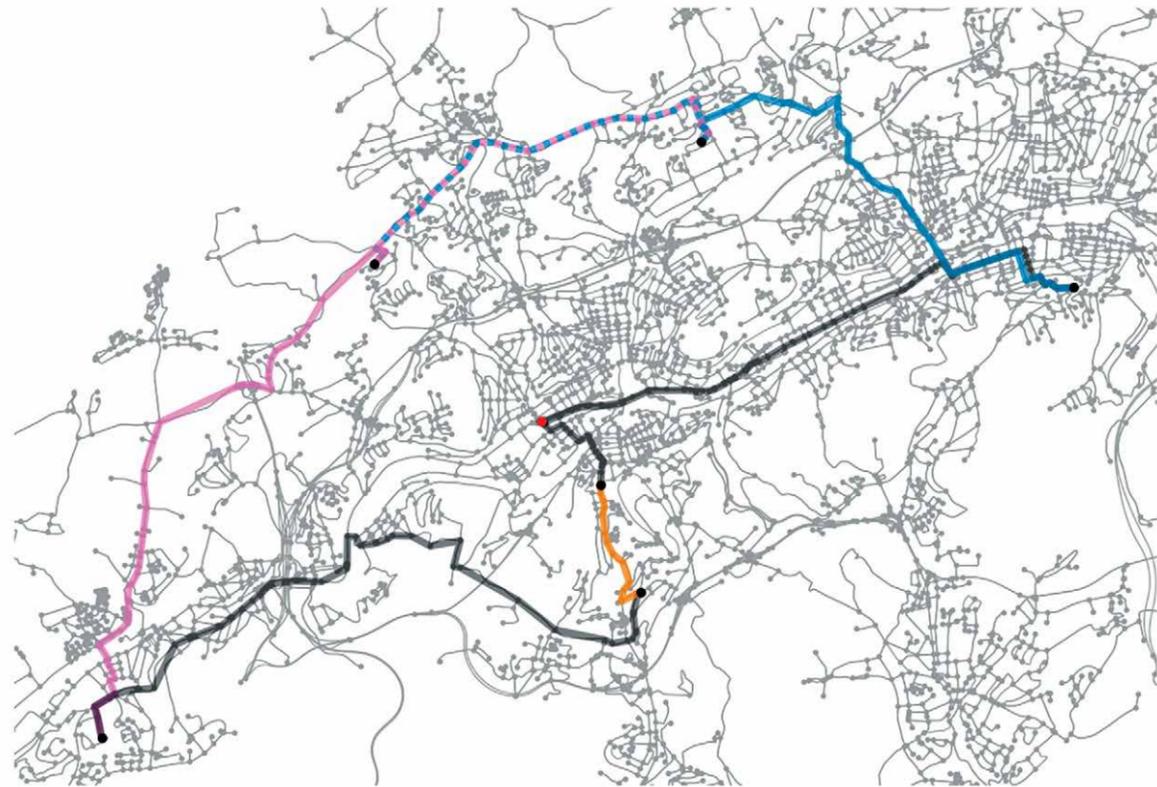
Wenn nur relativ wenige Objekte zur Auswahl stehen, kann man in relativ kurzer Zeit alle möglichen Lösun-

gen aufzählen und bezüglich der relevanten Kriterien bewerten. Daraus können dann durch paarweisen Vergleich alle nichtdominierten Lösungen herausgefiltert werden. Dieses Verfahren bezeichnet man als vollständige Enumeration, d. h., alle möglichen Lösungen werden enumeriert. Mit der Größe des Problems explodiert aber die Zahl möglicher Lösungen und damit die Problemlösungskomplexität, so dass schon bei moderaten realen Problemen eine vollständige Enumeration nicht mehr möglich ist. Wenn man z. B. fünf verschiedene Objekte zur Auswahl hat und bei jedem unabhängig entscheiden soll, es einzupacken oder nicht (d. h., für jedes Objekt gibt es zwei Möglichkeiten: ja oder nein, bzw. 0 oder 1), dann gibt es insgesamt $2^5 = 32$ verschiedene Lösungen. Bei zehn Objekten sind es schon $2^{10} = 1024$ Lösungen, bei 20 Objekten dann $2^{20} = 1.048.576$ und bei 100 Objekten $2^{100} = 1,268 \cdot 10^{30}$ Lösungen. Deren Enumeration würde auf einem modernen Computer (bei ca. 10^6 Evaluationen pro Sekunde) bereits ca. $4 \cdot 10^{16}$ Jahre dauern, wodurch diese Herangehensweise nicht praktikabel ist.

Man bezeichnet dies auch als den „Curse of Dimensionality“, den Fluch der Dimensionalität. Wenn der Zeitaufwand eines Optimierungsverfahrens exponentiell mit der Eingabegröße ansteigt, dann ist es für große Probleme in der Regel nicht praktisch einsetzbar. Gleichzeitig kann auch die Menge effizienter Lösungen exponentiell wachsen – dann ist schon der Versuch, alle diese Lösungen auszugeben, bei größeren Problemen nicht praktikabel. Aus mathematischer Sicht besteht daher die Herausforderung darin, Lösungsverfahren zu entwickeln, die die kombinatorischen Eigenschaften des Problems so geschickt nutzen, dass die Suche nach effizienten Lösungen auf eine möglichst kleine Anzahl an Lösungsalternativen beschränkt werden kann. Als Ergebnis sollte dem Entscheidungsträger dann eine relativ kleine Menge an relevanten Lösungsalternativen präsentiert werden, die die Menge aller effizienten Lösungen möglichst gut repräsentieren.

Bei praktischen Anwendungen beginnt der Lösungsprozess mit der mathematischen Modellierung des Problems. Was sind die Variablen bzw. die Unbekannten im Problem, welche Entscheidungen können getroffen werden? Welche Entscheidungsträger müssen involviert und welche Optimierungsziele müssen berücksichtigt werden? Was sind Problemrestriktionen und Nebenbedingungen, die unbedingt eingehalten werden müssen? Häufig gibt es mehr als eine Möglichkeit, ein gegebenes Optimierungsproblem zu modellieren. Die gewählte Problemformulierung kann dabei entscheidenden Einfluss auf die Effizienz von Lösungsverfahren haben. Außerdem kommen im Verlauf der Optimierung häufig weitere Kriterien und/oder Nebenbedingungen hinzu, wenn z. B. die zunächst bestimmten Lösungen sich aus bisher unberücksichtigten Restriktionen als unzulässig herausstellen.

An die mathematische Modellierung schließt sich dann die theoretische Analyse des Problems an. Je nach Problemklasse und Problemeigenschaften können unterschiedliche Lösungsverfahren eingesetzt werden. Beim multikriteriellen Rucksackproblem kann man z. B. die Eigenschaft eines rekursiven Optimalitätsprinzips verwenden: Betrachtet man eine Teilmenge der Objekte und eine Teilmenge der verfü-



Kartendarstellung basierend auf OpenStreetMap

Abb. 2: Optimierte Routen für Ride-Hailing Services in Wuppertal.

baren Kapazität des Rucksacks, so muss die entsprechende Teillösung unter allen solchen Teillösungen ebenfalls effizient sein, um Teil einer global effizienten Lösung zu sein. Dadurch ist eine rekursive Lösung des Problems mittels dynamischer Programmierung möglich. Das ist ein effizientes Optimierungsverfahren, das im Jahr 1952 von Richard Bellman entwickelt wurde und das auf einer rekursiven Unterteilung des Problems in kleinere Teilprobleme basiert.

Die Auswahl bzw. Entwicklung eines geeigneten Lösungsverfahrens macht sich nach Möglichkeit die jeweiligen Problemeigenschaften zu Nutze. Ein allgemein anwendbares Lösungsverfahren, das auch bei weniger stark strukturierten Problemen anwendbar ist, basiert auf der Lösung einer adaptiv ausgewählten Anzahl sogenannter Skalarisierungen. Dabei wird das gegebene multikriterielle Optimierungsproblem auf die Lösung eines oder mehrerer assoziierter Probleme mit jeweils

nur einer Zielfunktion zurückgeführt. Bei der sogenannten gewichteten Summen-Skalarisierung wird jede der gegebenen Zielfunktionen mit einem Gewichtungsfaktor multipliziert, alle diese gewichteten Zielfunktionen werden aufaddiert, und schließlich wird ein klassisches Optimierungsproblem mit nur einer Zielfunktion gelöst.

Des Weiteren kommen restriktionsbasierte Skalarisierungen zum Einsatz, bei denen eine der Zielfunktionen als Optimierungsfunktion eines assoziierten einkriteriellen Problems ausgewählt wird, und gewisse (und variable) Minimalanforderungen an die Performance in allen anderen Kriterien als zusätzliche Restriktionen dem Modell hinzugefügt werden. Für die Lösung dieser „klassischen“ einkriteriellen Optimierungsprobleme gibt es eine Vielzahl von Softwarepaketen. Bei diskreten Problemen sind diese so weit entwickelt, dass auch komplexe Probleme mit sehr vielen Variablen in sehr kurzer Zeit gelöst werden können.

Skalarisierungsbasierte Algorithmen machen sich diese Effizienz zu Nutze. Durch eine geschickte Unterteilung des Suchbereichs können so in kurzer Zeit repräsentative Lösungen berechnet werden.

Die letzte Phase des Optimierungsprozesses besteht in der Unterstützung des Entscheidungsträgers bei der Auswahl einer präferierten Lösung. Hierfür können die zuvor berechneten Lösungsalternativen visualisiert werden, und es wird Trade-Off Information zur Verfügung gestellt. Da insbesondere bei Optimierungsproblemen mit drei und mehr Zielfunktionen eine graphische Darstellung von Lösungsalternativen und Trade-Off Information schwierig wird, kommen hier auch interaktive Verfahren zum Einsatz. Deren Ziel ist es, den Entscheidungsträger dabei zu unterstützen, die Problemstruktur und die Lösungsalternativen kennenzulernen und z. B. auf Basis adaptiv gesteuerter Suchverfahren eine präferierte Lösung zu identifizieren.

Aktuelle Entwicklungen im Kontext von Datenanalyse und künstlicher Intelligenz stellen nochmal neue Herausforderungen an die Forschung und Entwicklung in multikriterieller Optimierung. Die zu betrachtenden Probleme werden massiv größer, Unsicherheiten und Robustheitsaspekte spielen eine zunehmend wichtige Rolle. Insbesondere moderne Anwendungen, z. B. im autonomen Fahren und in der individuellen Mobilität, erfordern echtzeitfähige Optimierungsverfahren. Diesen Herausforderungen stellen wir uns mit der Entwicklung moderner und effizienter Algorithmen in Kooperation mit Kolleg*innen im Interdisziplinären Zentrum Machine Learning and Data Analytics (IZMD) an der Bergischen Universität Wuppertal.

www.opt.uni-wuppertal.de



Wir machen Maschinen sicher.

Sichere, leistungsfähige Produktionsanlagen sind das A und O der Wirtschaft – das gilt ganz besonders für die Industrie 4.0. Unsere Ingenieurinnen und Ingenieure haben in über 70 Jahren viel dazu beigetragen, dass Entwicklungsfortschritte sowohl bei der Produktivität als auch bei den Sicherheitsstandards erzielt wurden.

Der digitale Transformationsprozess in der Industrie erfordert neue Techniken, neues Denken und neue Ideen. Deshalb sucht Schmersal gerade jetzt neue und kreative Köpfe.

 **SCHMERSAL**
Safe solutions for your industry

www.schmersal.com

Innovativer E-Antrieb

Vom Labor auf die Straße

von / by Prof. Dr.-Ing. Stefan Butzmann und / and M.Sc. Henning Schweden, Lehrstuhl für Sensorik und messtechnische Systeme / Chair for Sensor Technology and Measurement Systems



Prof. Dr.-Ing. Stefan Butzmann (r.) und Henning Schweden in ihrem Versuchslabor, wo der integrierte Elektroantrieb getestet wird.

Elektroantriebe für voll- oder teilelektrische Fahrzeuge arbeiten meist mit hohen Spannungen von mehreren hundert Volt im Antriebsstrang. Die verwendeten Antriebsstrang-Topologien erfordern zum einen aufwendige Schutzmaßnahmen, zum anderen fällt die Aufgabe der Systemintegration meist dem Fahrzeughersteller zu. Beide Aspekte sind für kleinere Hersteller von Kommunal-, Logistik- oder auch Baufahrzeugen mit nur begrenzten Entwicklungsressourcen problematisch, einerseits wegen spezieller Anforderungen hinsichtlich der Einsatzbedingungen und der Wartung, andererseits wegen des für die Entwicklung und Validierung erforderlichen Personalaufwands. Am Lehrstuhl für Sensorik und messtechnische Systeme der Bergischen Universität wurde daher ein Niedervolt-Antriebssystem entwickelt, welches alle drei Hauptkomponenten – Batterie, Elektronik und Motor – in ein gemeinsames System integriert.

Elektroantriebe bestehen aus einem Energiespeicher, einem Pulswechselrichter nebst Steue-

rung und einem Motor, der meist als dreiphasige Synchron- oder Asynchronmaschine ausgelegt ist. Üblicherweise werden diese Komponenten räumlich getrennt im Fahrzeug verbaut und durch Kabel miteinander verbunden. Hinzu kommt in vielen Fällen ein DC/DC-Wandler, der das Bordnetz des Antriebsstrangs mit dem 12-V-Bordnetz des Fahrzeugs verbindet.

Die wesentliche Komponente des elektrischen Antriebsstrangs ist die Batterie. Sie bestimmt ca. 80 Prozent der Kosten sowie des Gewichts des Antriebsstrangs und wird bei fast allen vollelektrischen Fahrzeugen als Hochvolt-Batterie ausgeführt. Dies ist notwendig, um bei einer bestimmten Leistung die Ströme und damit Kabelquerschnitte, Gewicht und Kosten klein zu halten, andererseits erfordert die Verwendung von Spannungen von mehr als 60 Volt aufwendige Isolations- und Sicherheitsmaßnahmen. So muss nicht nur die Gefahr der Selbstentzündung einer oder mehrerer Zellen beispielsweise aufgrund von Überladung minimiert werden, sondern auch die elektrische Isolation der beiden

Spannungsnetze durch spezielle Diagnoseschaltungen überwacht werden. Ebenfalls stellt das Öffnen einer Hochvoltkomponente durch einen Unbefugten ein erhebliches Risiko dar und wird mittels sogenannter Interlock-Kreise detektiert. Im Falle eines Brandes muss vor den Löscharbeiten zunächst das Hochvoltsystem stillgelegt werden, d.h. die Batterie vom Bordnetz des Fahrzeugs getrennt werden. Bei PKW geschieht dies im Falle eines Unfalls inzwischen fast durchgehend automatisch, dennoch sind all diese Maßnahmen, wie z.B. Trenn-Relais und deren elektronische Ansteuerung, mit erheblichen Kosten verbunden.

Auch bei der Leistungselektronik (dem Pulswechselrichter) müssen aufgrund der hohen Batteriespannungen sogenannte IGBTs (Insulated Gate Bipolar Transistoren) als Schaltelemente eingesetzt werden. MOSFETs sind mit den benötigten Sperrspannungen und gleichzeitig hohen Strömen nicht oder nur zu erheblichen Kosten (Wide-Bandgap-Halbleiter) erhältlich. Solche IGBTs werden in den betrachteten Leistungsklassen meist mit Schalt-

Electric drives for fully or partially electric vehicles usually operate at high voltages of several hundred volts in the drive train. The drivetrain topologies used require elaborate safety measures; furthermore, the task of system integration is usually left to the vehicle manufacturer. Both these aspects are frequently problematic for smaller manufacturers of municipal, logistics and also construction vehicles, because of the special requirements regarding their operating conditions and maintenance, and of the staff costs involved in development and validation. Therefore, at the Department for Sensor Technology and Measurement Systems of the University of Wuppertal, a low-voltage drive system was developed integrating all three main components – battery, electronics and motor – into one combined system.

For the full English version visit www.buw-output.uni-wuppertal.de

frequenzen zwischen 10 und 20 kHz betrieben, sodass zur Einhaltung der Anforderungen an die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) große und teure passive Bauelemente verwendet werden müssen.

Ziel der Arbeiten am Lehrstuhl für Sensorik und messtechnische Systeme war es daher, ein kosteneffizientes Niedervolt-Antriebssystem zu entwickeln, welches höhere Leistungen darstellen kann und dennoch die oben beschriebenen zusätzlichen Schutzmaßnahmen nicht benötigt. Erreicht wird dieses Ziel durch die Verwendung eines Multiphasen-Motors, bei dem jede einzelne Phase mit einer berührsicheren Spannung von weniger als 60 Volt betrieben wird. Die Skalierung der Leistung erfolgt hier nicht über die Spannung, sondern vorrangig über die Anzahl der verwendeten Phasen. Solche Motoren sind seit Längerem aus der Literatur bekannt, finden jedoch bisher wegen des hohen Verkabelungsaufwands zu den einzelnen Phasen nur wenig Verwendung.

Die Idee war nun, die Elektronik, die Batterie und den Motor räumlich zusammenzuführen, um exakt



Konzeptstudie mit einer vollelektrifizierten Mercedes Pagode – ein Fahrzeugklassiker aus dem Jahr 1963.

diese Verkabelung zu vermeiden. Dafür werden die Batteriezellen um den Motor herum angeordnet und die Leistungselektronik stirnseitig an dem Antrieb so befestigt, dass sie sowohl mit den Batteriezellen als auch mit den Motoranschlüssen direkt verbunden ist. Auf Kabelverbindungen zwischen Batterie, Wechselrichter und Motor kann somit komplett verzichtet werden. Die hierfür notwendigen Hochstromleiterplatten wurden in einer eigens entwickelten Technologie am Lehrstuhl selbst gefertigt.

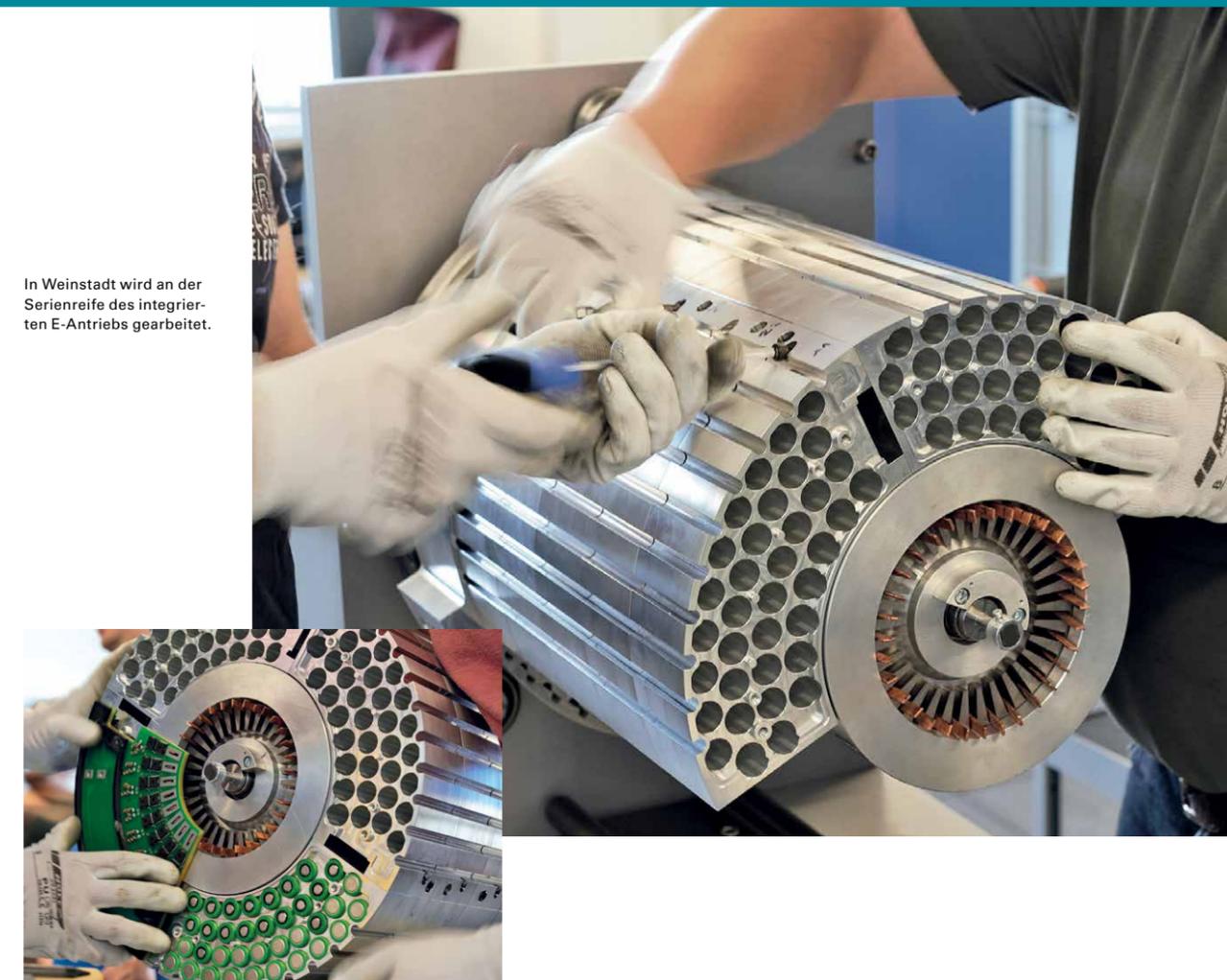
Aufgrund der gestiegenen Zahl der Motorphasen hat sich zwar auch die Anzahl der benötigten elektronischen Komponenten erhöht, insbesondere die jetzt verwendeten Leistungsbaulemente (MOSFETs) sind allerdings erheblich günstiger als die in Hochvolt-Systemen genutzten IGBTs, sodass die Kosten für die Leistungs-

elektronik weitestgehend gleichgeblieben sind. Erhebliche Kosteneinsparungen lassen sich dagegen durch den Wegfall der bisher notwendigen HV-Schutzmaßnahmen sowie durch den Wegfall der Verkabelung erreichen.

In dem System kann zudem bei einem Defekt einer Komponente aufgrund der systemimmanenten Modularität und Redundanz ein Gesamtsystemausfall vermieden werden. Fällt eine Funktionseinheit aus, werden die verbleibenden Einheiten weiter betrieben und es kommt lediglich zu Leistungseinbußen. Wegen der kompakten Bauweise und der Verwendung des Chassis-Potenzials als Referenz-Masse für den Antriebsstrang ergeben sich darüber hinaus erhebliche Vorteile bezüglich elektromagnetischer Verträglichkeit.

Ein Demonstrator des elektrischen Antriebs mit einer 8-kWh-Batterie wurde an der Bergischen Universi-

In Weinstadt wird an der Serienreife des integrierten E-Antriebs gearbeitet.

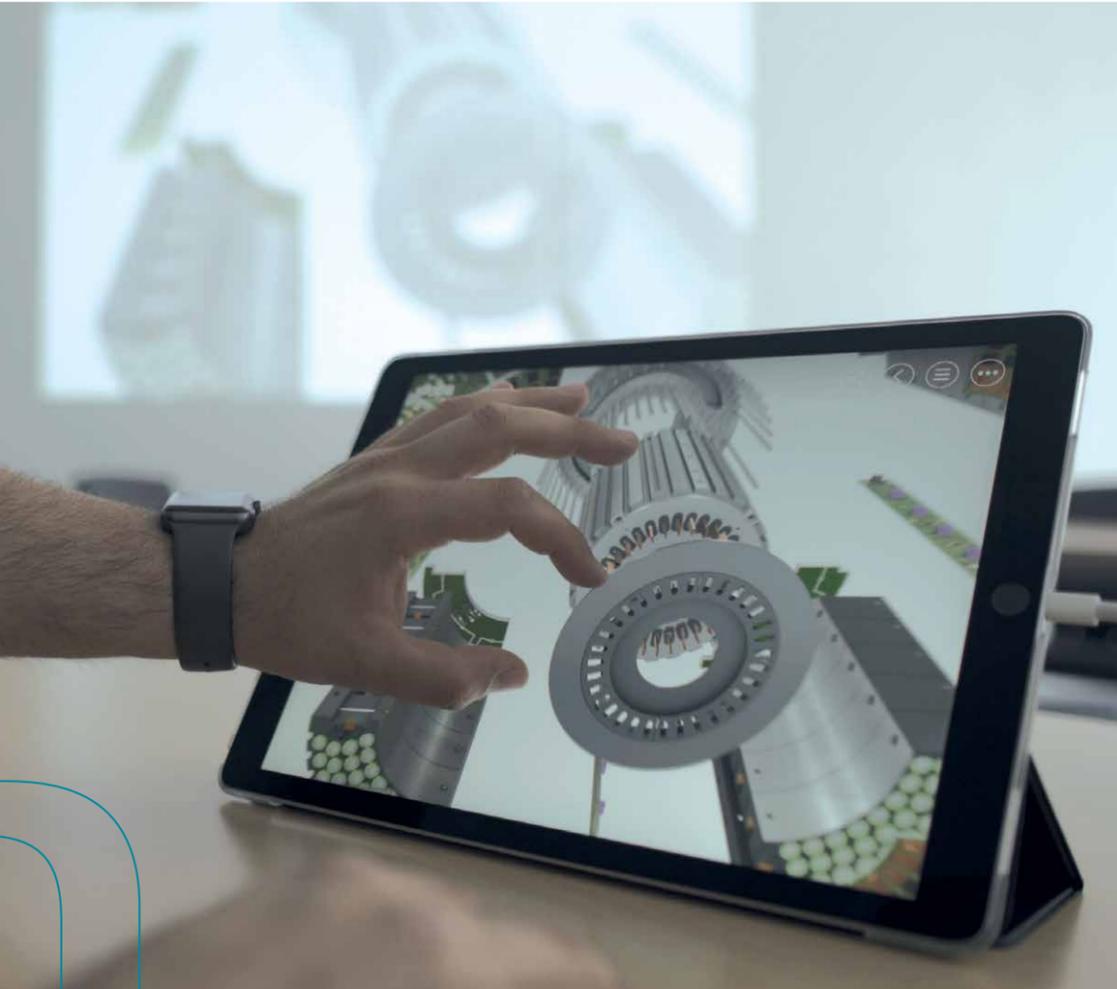


tät Wuppertal aufgebaut und liefert eine Leistung von 60 kW. Der komplette Antrieb hat einen Durchmesser und eine Länge von jeweils ca. 40 cm. Eingesetzt werden kann ein solches System in unterschiedlichsten Applikationen wie z. B. in Hybrid- oder Plug-In-Hybrid-Fahrzeugen.

Auch der Einsatz des Systems in vollelektrischen PKW ist mittelfristig angedacht. Allerdings erscheint eine quasi-beliebige Erweiterung der um den Motor herum angeordneten Batterie hin zu hohem Energieinhalt – und damit hohen Reichweiten – nicht zielführend, da sich dies negativ auf die Volumen- und Gewichtsverteilung im Fahrzeug auswirken würde. Wesentlich vorteilhafter ist der Einsatz einer räumlich getrennten Erweiterungs-Batterie, welche die mittlere benötigte Fahrleistung zur Verfügung stellt und über eine separate

Leistungselektronik an dafür eigens vorgesehene Phasen des Motors angeschlossen wird. Diese Erweiterungs-Batterie, welche als „elektrischer Range-Extender“ betrieben wird, muss – im Gegensatz zur Standard-Architektur bei vollelektrischen Fahrzeugen – nur eine wesentlich geringere Leistung als die Fahrzeug-Spitzenleistung zur Verfügung stellen. Um auch für eine solche Fahrzeug-Topologie Schnellladefähigkeit herzustellen, kann die Erweiterungs-Batterie auch als Hochvolt-Batterie ausgeführt werden, während der Rest des Systems weiterhin als Niedervolt-Antrieb betrieben wird. Eine solche hybride Architektur, die auch für vollelektrische PKW Kostenvorteile verspricht, wird zurzeit im Rahmen einer Promotion verfolgt.

Die Rechte an den Erfindungen, die dem vollelektrischen Antrieb zugrunde liegen, wurden mittlerweile



Bei „stoba e-Systems“ treibt ein 50-köpfiges Team die Entwicklung des Antriebssystems und dessen Vermarktung intensiv voran.



Fotos stoba e-Systems GmbH

umfassend gesichert; die Bergische Universität Wuppertal hat mit Unterstützung von PROvendis international Patente angemeldet, die inzwischen erteilt wurden. Um die Weiterentwicklung und Vermarktung des Antriebssystems voranzutreiben, wurden schnell Investoren gefunden, die einen mittleren, achtstelligen Betrag für die Weiterentwicklung, Produktion und Vermarktung des neuen Antriebssystems bereitgestellt haben. Auch hier hat bei der Vertragsgestaltung die PROvendis tatkräftig unterstützt.

Am Hauptsitz der neu gegründeten „stoba e-Systems“ in Weinstadt bei Stuttgart treibt ein inzwischen 50-köpfiges Team die Entwicklung des Antriebssystems und dessen Vermarktung intensiv voran. „Wir entwickeln State-of-the-Art-Systemlösungen, die die Art unserer Fortbewegung verändern“, sagt Geschäftsführer Achim Fedyna. So konnte bereits – parallel zur eigentlichen Systementwicklung – ein Vorstudienprojekt bei einem großen OEM („Original Equipment Manufacturer“, Erstausrüster) der Automobilindustrie gewonnen werden. Darüber hinaus reichen die Interessentinnen von Kommunalfahrzeug-Herstellern, Herstellern von All-Terrain-Vehicles, Baumaschinen- und Flurförderfahrzeugen bis hin zu Classic- und Oldtimer-Fahrzeugen, bei denen der Verbrennungsmotor durch einen Elektroantrieb ersetzt werden soll. Dabei liegt der Vorteil des neuen Systems vor allem darin, dass den Kunden ein standardisierter Plug-and-Play-Antrieb zur Verfügung gestellt wird. Während beim konventionellen Antriebsstrang der OEM (also der Fahrzeughersteller) die einzelnen Komponenten zusammenstellen, im Fahrzeug integrieren und validieren muss, wird bei dem neuen System diese Aufgabe bereits von der stoba e-Systems übernommen. Dies ist gerade für kleinere OEM, die sich keine eigene Systementwicklung leisten können oder wollen bzw. nicht die notwendige Kompetenz für die Auslegung eines elektrischen Antriebsstrangs besitzen, sinnvoll und attraktiv. Hinzu kommen aufgrund der kompakten Bauweise erhebliche Volumeneinsparungen sowie die Möglichkeit, den Antriebsstrang einfacher gegen das Eindringen von Schmutz oder Feuchtigkeit zu kapseln, was bspw. für Schiffsanwendungen interessant ist. Aufgrund der verwendeten niedrigen Spannungslage von weniger als 60 Volt können zudem Wartungs- und Reparaturarbeiten durch Personal ohne spezielle Hochvolt-Schulungen durchgeführt werden. Dies ist insbesondere in Branchen wie Bau- oder Landmaschinen wichtig, wo es auf hohe Verfügbarkeit ankommt und die nächste Werkstatt nicht nur ein paar Kilometer entfernt ist.

Bereits im Frühjahr dieses Jahres konnte die stoba e-Systems auf der „Retro Classics, Messe für Fahrkultur“ eine Konzeptstudie mit einer vollelektrifizierten Mercedes Pagode – ein sportlich-eleganter Fahrzeugklassiker aus dem Jahr 1963 – vorstellen. Das Fahrzeug ist mit dem neuen elektrischen Antriebssystem fahrbereit und trifft bei Herstellern von Elektromobilitäts- und Industrielösungen aus dem In- und Ausland auf großes Interesse.

Aktuell wird die Serien-Plattform bei der stoba e-Systems entwickelt. Für das A-Muster (ein „serienähnliches“ Funktionsmuster) wurde vor allem die mechanische Konstruktion und das Thermomanagement des Universitäts-Prototypen überarbeitet. Darüber hinaus wurden für die meisten Komponenten, die für den Prototypen noch manuell gefertigt wurden wie z. B. die Hochstrom-Leiterplatten, bereits Zulieferer gefunden. Ebenso konnten mit einem namhaften Batteriehersteller Vereinbarungen über die Belieferung mit Zellen getroffen werden. Erste Tests auf eigens dafür angeschafften Prüfeinrichtungen sind erfolgreich verlaufen.

Um eine noch höhere Entwicklungsgeschwindigkeit zu gewinnen, wurde zusätzlich zum Standort in Weinstadt ein weiteres Entwicklungsbüro in Wuppertal eröffnet. Hier erlernen die Studierenden durch die Mitarbeit am Lehrstuhl für Sensorik und messtechnische Systeme die notwendigen Fähigkeiten, mit denen sie sich dann direkt in einem hochprofessionellen Forschungs- und Entwicklungsumfeld vollwertig einbringen und bewähren können. Auf diesem Wege konnten in den letzten Monaten bereits erste Mitarbeitende in das neue Unternehmen vermittelt werden, die nun dazu beitragen, das integrierte elektrische Antriebssystem auf die Straße zu bringen.

www.emt.uni-wuppertal.de

Forschen für die Feuerwehr: Das Feuerwehr- wissenschaftliche Institut

von / by Prof. Dr. Roland Goertz
und / and Philipp Maximilian Haffner, M.Sc.



In early 2019, receiving attention from all over Germany, the newly established Fire Service Science Institute (FSI) of the University of Wuppertal commenced operations with a first meeting of its advisory board. The institute is part of the School of Mechanical Engineering and Safety Engineering. Its aim is to promote research and knowledge transfer in the non-police public safety sector.

For the full English version visit www.buw-output.uni-wuppertal.de

Brennen für den Brandschutz (v.l.n.r.): Prof. Dr. Roland Goertz, Direktor des Feuerwehrwissenschaftlichen Instituts, stellvertretender Direktor Philipp Maximilian Haffner, M.Sc., und Andrea Bosnjak, Wissenschaftliche Mitarbeiterin.

Deutschlandweit beachtet ging Anfang 2019 das neugegründete Feuerwehrwissenschaftliche Institut – Fire Service Science Institute (FSI) der Bergischen Universität Wuppertal in den Wirkbetrieb. Das Institut ist in der Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik angesiedelt und verfolgt das Ziel, die Forschung und den Wissenstransfer in der nicht-polizeilichen Gefahrenabwehr voranzutreiben. Der Schwerpunkt des FSI liegt auf der naturwissenschaftlichen und technischen Brandschutzforschung sowie der Weiterentwicklung der zugehörigen organisatorischen Aspekte.

Das Institut ist gleichzeitig Plattform für einen kontinuierlichen Dialog zwischen der Bergischen Universität, den feuerwehrrelevanten Verbänden, den zuständigen Aufsichtsbehörden, den Partnern der Industrie und den nationalen wie internationalen Forschungseinrichtungen. Es ist für die Feuerwehren sehr schwierig oder gar unmöglich, die zahlreichen internationalen Forschungsaktivitäten und Erkenntnisse im Blick zu behalten, deren Ergebnisse zunächst auf Tauglichkeit für das deutsche Feuerwehrwesen zu prüfen und dann ggf. in

das bestehende System zu implementieren sind. Daher verfolgt das FSI das Ziel, einen Technologie- und Know-how-Transfer bis hin zu den einzelnen örtlichen Feuerwehren und weiteren Bedarfsträgern zu ermöglichen und internationale Erkenntnisse zugänglich zu machen. Die wissenschaftlichen Aktivitäten und das universitäre Lehrangebot durch die Mitwirkenden des Instituts sind zudem die Basis zur Stärkung des akademischen Nachwuchses und deren Zukunftsperspektiven im weiten Berufsfeld der Gefahrenabwehr.

Der wissenschaftliche Beirat des Feuerwehrwissenschaftlichen Instituts besteht aus Dr. Jan Heinisch (Vorsitzender des Verbandes der Feuerwehren NRW e.V.), Dr. Karsten Homrighausen (Berliner Landesbranddi-

rektor), Christoph Schöneborn (Landesgeschäftsführer des Verbandes der Feuerwehren NRW e.V.), Dipl.-Phys. Carl-Werner Schmidt (Referent, BMVg), Dr. Christian Schwarz (Leiter der Feuerwehr Hamburg), Dipl.-Ing. Marco van Lier (Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.) und Dipl.-Ing. Hartmut Ziebs (Präsident des Deutschen Feuerwehrverbandes).

Für die Bergische Universität Wuppertal ist das Institut eine deutliche Stärkung der brandschutz- und feuerwehrrelevanten Forschung und unterstreicht damit auch die Leuchtturmfunktion der Wuppertaler Sicherheitstechnik in Deutschland. Darüber hinaus bietet es mit seinem breiten wissenschaftlichen Spektrum einen guten Rahmen für die Einwerbung von Drittmitteln.

Generell hat sich das FSI drei Schwerpunkte in der Forschung gesetzt: Chemische Aspekte (Brandrauch, Brandzersetzungsprodukte, Löschmittel), organisatorische Aspekte (Bedarfsplanung, Organisation und Management) und konzeptionelle Aspekte (Risikoabhängige Brandschutzplanung).

Aktuelle Projekte

Derzeit werden am FSI mehrere drittmittelfinanzierte Projekte im Kontext des Vorbeugenden und Abwehrenden Brandschutzes durchgeführt. Eines der Forschungsprojekte hat die Zielsetzung, die Brandschutzbedarfsplanung in Nordrhein-Westfalen auf wissenschaftlich

begründeter Basis hinsichtlich Sicherheit und Wirtschaftlichkeit zu optimieren und damit insbesondere einen Beitrag zur Zukunftsfähigkeit der Freiwilligen Feuerwehren in Nordrhein-Westfalen und darüber hinaus zu leisten. Hierbei sollen neue Ansätze für die Bemessung der Freiwilligen Feuerwehren mit und ohne hauptamtliche Kräfte in kreisangehörigen Städten und Gemeinden in Nordrhein-Westfalen entwickelt und erprobt werden.

Gegenstand des Projekts „Sicherheit und Wirtschaftlichkeit in der Feuerwehrbedarfsplanung NRW“ ist daher einerseits die Entwicklung von Grundlagen eines Feuerwehr-Risiko-Größenäquivalents und andererseits die Entwicklung der Grundlagen einer einheitlichen Risikoanalyse. Durch Einbindung maßgeblicher Stakeholder soll über das gesamte Forschungsprojekt sichergestellt werden, dass die kommunalen Belange, die öffentlich-rechtlichen Rahmenbedingungen der Städte und Gemeinden sowie die strategisch taktischen Belange der Feuerwehren vollumfänglich und nachhaltig Berücksichtigung finden sowie die Ergebnisse zeitnah Eingang in die zukünftige kommunale Praxis erhalten.

Erste Zwischenergebnisse des Forschungsvorhabens konnten bei weiteren Kooperationen mit einzelnen kreisfreien Städten in Deutschland direkt adaptiert und angewandt werden. Hierbei kristallisiert sich deutlich der Bedarf an einer wissenschaftlich fundierten Planungsgrundlage im Kontext der nicht-polizeilichen Gefahrenabwehr heraus.

Dualer Studiengang „Sicherheitstechnik“

Ein Meilenstein für die Qualifizierung von Führungspersonal im Feuerwehrwesen in Deutschland ist der duale Studiengang „Sicherheitstechnik“. In Kooperation mit der Bundeswehrfeuerwehr werden jährlich 25 Beamte im Vorbereitungsdienst des gehobenen feuerwehrtechnischen Dienstes den Studiengang „Bachelor of Science Sicherheitstechnik“ an der Bergischen Universität Wuppertal absolvieren und parallel die Laufbahnausbildung für den gehobenen Dienst bei der Bundeswehr durchlaufen. So kann neben einer Verkürzung der Gesamtausbildungszeit neuer Brandoberinspektor*innen auch eine enge Verzahnung zwischen der universitären Theorie und dem Praxisalltag einer der größten Deutschen Feuerwehren erfolgen.

Die umfangreiche Messtechnikausstattung des Instituts, ergänzt durch Leihgaben der Bundeswehr, ermög-

licht es insbesondere die Ausbildung der Studierenden im Bereich der CBRN-Gefahren deutlich zu verbessern. CBRN-Gefahren sind chemische (C), biologische (B), radiologische (R) sowie nukleare (N) Gefahren.

Gleich mehrere Angehörige und Assoziierte des Instituts sind nicht nur Lehrbeauftragte der Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik, sondern auch an der Durchführung von Laborveranstaltungen beteiligt.

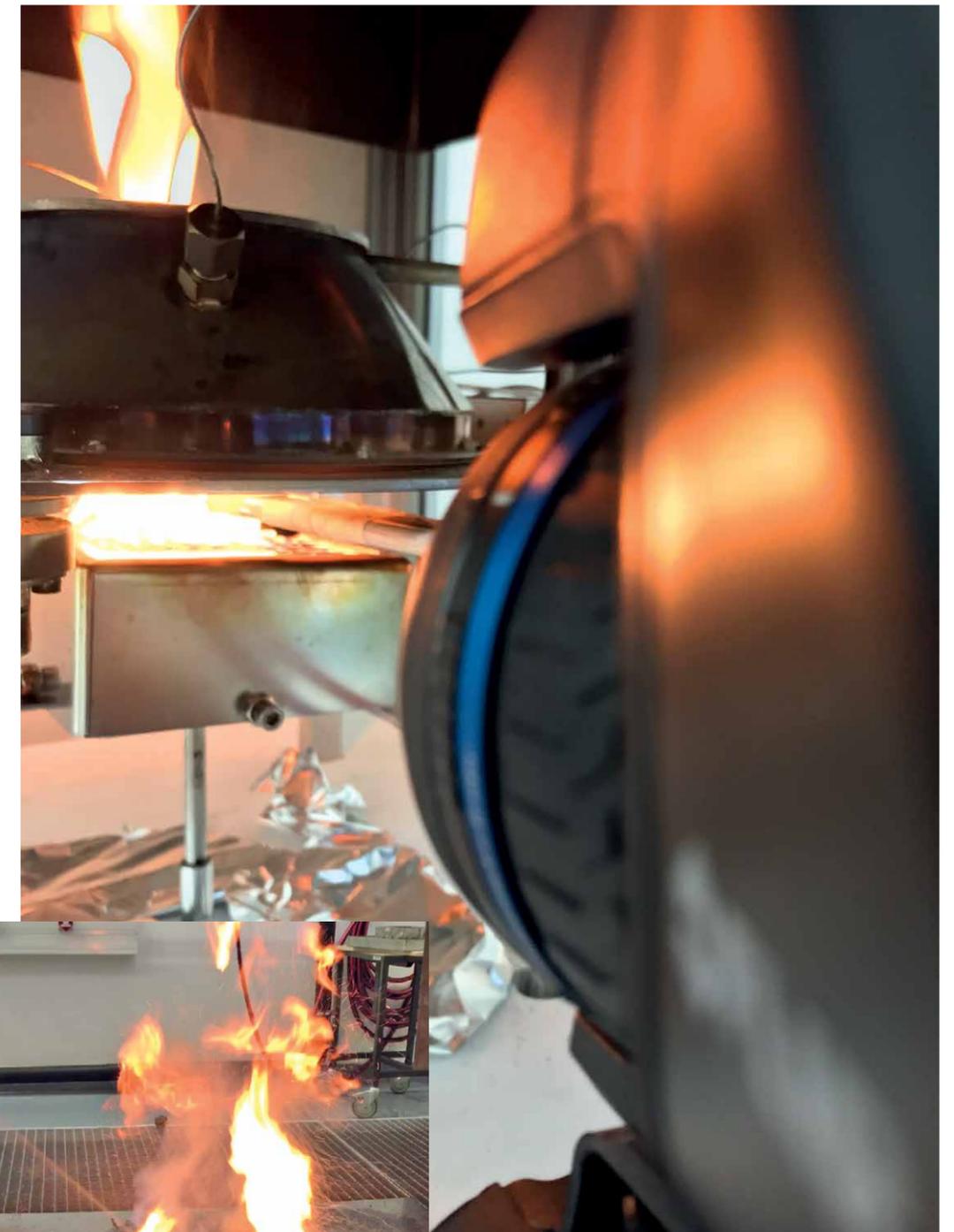
Projekt „Schutz der Versicherten bei der Bekämpfung von Entstehungsbränden“ (SUVE)

Seit August 2019 bearbeiten die Wissenschaftlichen Mitarbeiter*innen des Instituts ein von der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) gefördertes Projekt zur Verbesserung des Schutzes der Versicherten bei der Entstehungsbrandbekämpfung. Neben Überlegungen zur Definition des Entstehungsbrandes, wie sie unter anderem in den Technischen Regeln für Arbeitsstätten (ASR) A2.2 verwendet wird, liegt ein Schwerpunkt auf der Charakterisierung brandschutztechnischer Kennwerte und daraus abgeleiteter, nachvollziehbarer Grenzwerte für bemessungsrelevante Szenarien. Diese Erkenntnisse ermöglichen über den Vergleich mit anerkannten Grenzwerten für Strahlungsintensitäten, Sichtbeeinträchtigungen und Rauchgastoxizitäten die Bestimmung der Dimension typischer Entstehungsbrände und die Festlegung der Grenze, zu welcher gefahrlos Löschmaßnahmen durch Laien erfolgen können.

Weitergehend werden die Vorgehensweise bei der Brandbekämpfung und der Löscherfolg verschiedener Feuerlöcher bzw. sogenannter Kleinlöschgeräte, wie beispielsweise „Feuerlöschsprays“, untersucht und die jeweiligen Vor- und Nachteile abgewogen. Die Ergebnisse dieses Projekts werden in den kommenden Jahren Einfluss auf die Ausgestaltung des betrieblichen Brandschutzes in Deutschland nehmen und somit auch jede*n einzelne*n Arbeitnehmer*in tangieren.

www.fsi.uni-wuppertal.de

Blick in das Labor des Feuerwehrwissenschaftlichen Instituts.



„TALAKO“ entwickelt Ladesystem für E-Taxis

‘TALAKO’ research project develops charging system for electric taxis

Dicke Luft in vielen Städten – dazu tragen auch die Diesellabgase von Taxis bei. Lösungen aus dem Bereich der Elektromobilität sind somit auch für diese Branche erstrebenswert. Hier setzt das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie mit zwei Millionen Euro geförderte Projekt „Taxi-Lade-Konzept für den öffentlichen Raum“ (TALAKO) an. Beteiligt sind auch Prof. Dr. Benedikt Schmülling (Lehrstuhl für Elektromobilität und Energiespeichersysteme) und Prof. Dr. Markus Clemens (Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik) von der Bergischen Universität Wuppertal. Im Rahmen des dreijährigen Gesamtvorhabens entwickelt das Forschungskonsortium eine Pilotanlage für das kabellose Laden von Taxifahrzeugen mittels induktivem Ladestreifen. Der Förderanteil für die Bergische Uni beträgt rund 503.000 Euro.

Wie sollen Taxis Strom laden, wenn sie an einem öffentlichen Platz stehen und nach und nach vorrücken? Die geplante Lösung umfasst ein Ladesystem, das unterirdisch in die Taxi-Warteschlange integriert ist, so dass die Elektrotaxis während der Wartezeit geladen werden können.

Mit dem Wuppertaler Teilvorhaben soll insbesondere die Absicherung der elektromagnetischen Verträglichkeit sichergestellt werden, damit zum einen das entwickelte System die gültigen Grenzwerte für elektromagnetische Felder einhält und zum anderen Empfehlungen für ähnliche zukünftige Vorhaben ausgesprochen werden können.



Illustrationen Colourbox.de

There’s air pollution in many cities – the diesel fumes from taxis are a contributing factor. Electric mobility solutions are therefore desirable for this sector as well. This is where the ‘Taxi charging system for the public realm’ (TALAKO) project comes in, for which the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy provides funding of two million euros. Project participants include Prof. Benedikt Schmülling (Chair of Electric Mobility and Energy Storage Systems) and Prof. Markus Clemens (Chair of Electromagnetic Theory) of the University of Wuppertal. In the course of the overall three-year project, the research consortium are developing a pilot system for the wireless charging of taxis by means of an inductive charging strip. The University of Wuppertal’s share of the funding amounts to around 503,000 euros.

How can taxis charge their batteries at a taxi rank in a public place where they advance up the rank one by one? The planned solution involves a subsurface charging system integrated into the taxi rank, allowing electric cabs to charge their batteries while they wait for fares.

The partial project located at Wuppertal, in particular, is to ensure electromagnetic compatibility so that, on the one hand, the system being developed complies with applicable limits for electromagnetic fields and, on the other, recommendations can be made for similar future projects.

2,1 Millionen Euro für 6G-Kommunikation

2.1 million euros for 6G communication

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) entsteht an der Bergischen Universität ein deutschlandweit einmaliges Messlabor für drahtlose Kommunikationssysteme mit ultrahohen Datenraten. Aufgebaut und koordiniert wird das Labor von Prof. Dr. Ullrich Pfeiffer am Lehrstuhl für Hochfrequenzsysteme in der Kommunikationstechnik. Das Vorhaben ist Teil einer Großgeräteinitiative, an der neben der Bergischen Uni die Technische Universität Dresden, die Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg und die Universität Stuttgart beteiligt sind. Die DFG stellt dafür 7,8 Millionen Euro zur Verfügung, davon gehen 2,1 Millionen Euro nach Wuppertal.

„Die von der DFG geförderten neuen Messsysteme bieten vielfältige Möglichkeiten und sind eine großartige Grundlage für weitere innovative Entwicklungen in dem von Prof. Pfeiffer und seiner Arbeitsgruppe exzellent vertretenen Forschungsfeld der Hochfrequenztechnologien“, sagt Prof. Dr. Michael Scheffel, Prorektor für Forschung, Drittmittel und Graduiertenförderung.

In Kooperation mit namhaften Geräteherstellern entwickelt Pfeiffers Team neue Messgeräte für zukünftige „6G-Mobilfunknetze“. Diese Geräte werden auf dem Campus Freudenberg in einem eigens dafür umgebauten Labor installiert und am Ende einer dreijährigen Aufbauphase auch außeruniversitären Nutzer*innen für den Test schnell agierender 6G-Netzwerke zur Verfügung stehen.



Funded by the German Research Foundation (DFG), a measurement laboratory, unique in Germany, for wireless communication systems using ultra-high data rates is being created at the University of Wuppertal. The laboratory is being established and co-ordinated by Prof. Ullrich Pfeiffer at the Chair of High-frequency and Communication Technology. The project is part of a large-scale equipment initiative involving, alongside the University of Wuppertal, the Dresden University of Technology, the University of Erlangen-Nuremberg, and the University of Stuttgart. The DFG is making available 7.8 million euros, of which 2.1 million euros will go to Wuppertal.

‘The new measurement systems funded by the DFG offer a multitude of opportunities and form a great basis for further innovative developments in the research area of high-frequency technologies, excellently represented by Prof. Pfeiffer and his working group,’ says Prof. Michael Scheffel, Vice-President for Research, Third-Party Funding and Graduate Studies.

In collaboration with reputable equipment manufacturers, Pfeiffer’s team will develop new measuring equipment for future ‘6G mobile networks’. This equipment will be installed in a laboratory on our Freudenberg Campus specifically adapted for the purpose and, after a three-year development phase, will also be available to users from outside the university for testing fast-acting 6G networks.

Neuer Hochleistungsrechner für die Forschung

A new supercomputer for research

3.000 Terabyte Speicher, 5.000 Rechenkerne – damit erreicht das wissenschaftliche Rechnen an der Bergischen Universität Wuppertal schon 2020 eine völlig neue Ebene. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) und das Land Nordrhein-Westfalen stellen insgesamt 2,4 Millionen Euro für ein neues Forschungsgerät an der Bergischen Uni zur Verfügung. Für den Antrag auf einen neuen Großrechner hatten sich Wissenschaftler*innen aus den Bereichen Physik, Maschinenbau, Elektrotechnik, Mathematik, Informatik und der Sicherheitstechnik zusammengetan. Der Rechner wird 2020 installiert und das bestehende wissenschaftliche Rechenzentrum Pleiades der Bergischen Uni teilweise ersetzen, aber auch ergänzen.



3,000 terabytes of storage, 5,000 kernels – computational science at the University of Wuppertal will reach a completely new level as early as 2020. The German Research Foundation (DFG) and the State of North Rhine-Westphalia are making available a total of 2.4 million euros for a new large-scale computer at the University of Wuppertal. Researchers from the areas of physics, mechanical engineering, electrical engineering, mathematics, computer science, and safety engineering had joined together to apply for a new supercomputer. The computer will be installed in 2020 and partly replace but also supplement the existing research computing centre of the University of Wuppertal, Pleiades.

The extended computing centre will allow the participating research groups to carry out complex computations, develop new techniques, and process vast amounts of data. This means that in future, new research projects can be carried out at the University of Wuppertal.

The research groups directly participating in the new supercomputer are from three different Schools: they analyse and simulate data from physical experiments from all over the world and work on problems from the areas of mechanical and electrical engineering. The development and optimization of new computer-based methods is another area of research made possible by the new computer.

Das erweiterte Rechenzentrum ermöglicht den beteiligten Forschungsgruppen, komplexe Berechnungen durchzuführen, neue Techniken zu entwickeln und sehr große Datenmengen zu verarbeiten. Dadurch können in Zukunft auch neue Forschungsprojekte an der Bergischen Universität durchgeführt werden.

Die an dem neuen Hochleistungsrechner direkt beteiligten Forschungsgruppen kommen aus drei verschiedenen Fakultäten: Sie analysieren und simulieren Daten von physikalischen Experimenten aus aller Welt und bearbeiten Problemstellungen aus Bereichen des Maschinenbaus sowie der Elektrotechnik. Auch die Entwicklung und Optimierung neuartiger computerbasierter Methoden ist ein Forschungsfeld, das der neue Rechner ermöglicht.

INFORMATIKER TIBOR JAGER BRINGT ERC STARTING GRANT AN DIE BERGISCHE UNI

Mit rund 1,5 Millionen Euro pro Projekt fördert der Europäische Forschungsrat über die ERC Starting Grants grundlagenorientierte, bahnbrechende Spitzenforschung. Prof. Dr.-Ing. Tibor Jager wurde damit 2018 für sein Projekt „REWOCRYPT – Theoretically-Sound Real-World Cryptography“ ausgezeichnet. Diese prestigeträchtige EU-Förderung hat er im Herbst 2019 als neuer Professor für IT-Sicherheit nach Wuppertal gebracht. Im Rahmen dieses bis März 2024 laufenden Vorhabens befasst sich Jager mit sicheren Kommunikationstechnologien für eine zunehmend vernetzte Gesellschaft.

ROBODECK INGEWEIHT

Am Campus Haspel wurde das „robodeck“ der Fakultät für Architektur und Bauingenieurwesen feierlich eröffnet. Mit der Installation eines großformatigen Industrieroboters wurde das „Labor für computergestützten Modellbau“ für die Erforschung und Vermittlung digitaler Fertigungsverfahren ausgebaut. Das „robodeck“ reiht sich ein in den Ausbau der digitalen Infrastruktur der Fakultät, die in den vergangenen Jahren mit der Einrichtung der Labore für BIM (Building Information Modelling) und VR/AR (Virtual und Augmented Reality) vorangetrieben wurde.

ENERGIEWENDE MADE IN WUPPERTAL

Mit vier Projekten zum Klimaschutz überzeugte der Lehrstuhl für Elektrische Energieversorgungstechnik beim Wettbewerb „EnergieSystemWandel.NRW“, der aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) und des Landes Nordrhein-Westfalen finanziert wird: Die Projekte „InFlex“, „AutoFlex“, „FlexChemistry“ und „SektorPlan“ erhalten zusammen eine Förderung von rund drei Millionen Euro.

DFG-FORSCHUNGSGRUPPE UMDREI JAHRE VERLÄNGERT

In der Forschungsgruppe „The Epistemology of the Large Hadron Collider“ untersuchen Wissenschaftler*innen aus Deutschland, Österreich und den USA bereits seit drei Jahren die Forschungen am Europäischen Zentrum für Teilchenphysik CERN in Genf mit dem Teilchenbeschleuniger „Large Hadron Collider“ (LHC) aus philosophischer, historischer und soziologischer Sicht. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) verlängerte die Förderung für das Arbeitsbündnis unter Leitung der Bergischen Universität Wuppertal nun um weitere drei Jahre und stellt für die zweite Runde zusammen mit dem Österreichischem Wissenschaftsfond FWF rund 2,39 Millionen Euro zur Verfügung.

COMPUTER SCIENTIST TIBOR JAGER BRINGS ERC STARTING GRANT TO WUPPERTAL

With its ERC Starting Grants of around 1.5 million euros per project, the European Research Council supports fundamental, ground-breaking top-level research. Prof. Tibor Jager was awarded such a grant in 2018 for his project ‘REWOCRYPT – Theoretically-Sound Real-World Cryptography’. In the autumn of 2019, he brought this prestigious EU funding to the University of Wuppertal as the new Professor of IT Security. In the course of this project, which will run until March 2024, Jager will be focussing on secure communication technologies for an increasingly networked society.

ROBODECK INAUGURATED

A launch ceremony for the ‘robodeck’ of the School of Architecture and Civil Engineering has been held at our Haspel Campus. By installing a large-scale industrial robot, the School’s ‘Computer-aided model assembly laboratory’ for research into and the dissemination of digital production methods has been expanded. The ‘robodeck’ joins the School’s expanding digital infrastructure, which has advanced significantly in recent years by the establishment of the laboratories for BIM (Building Information Modelling) and VR/AR (Virtual and Augmented Reality).

ENERGY TRANSITION MADE IN WUPPERTAL

Four projects for climate change mitigation by the Department for Electrical Energy Supply were successful in the ‘EnergieSystemWandel.NRW’ [energy system transition] competition funded by the European Regional Development Fund (ERDF) and the State of North Rhine-Westphalia: the ‘InFlex’, ‘AutoFlex’, ‘FlexChemistry’, and ‘SektorPlan’ projects will receive funding of around three million euros between them.

DFG RESEARCH GROUP EXTENDED BY THREE YEARS

For the past three years, researchers from Germany, Austria, and the US have been studying the research conducted using the ‘Large Hadron Collider’ (LHC) particle accelerator at CERN, the European particle physics centre in Geneva, from a philosophical, historical, and sociological point of view in the research group ‘The Epistemology of the Large Hadron Collider’. The German Research Foundation (DFG) has now extended the funding for the working group, led by the University of Wuppertal, by another three years and, together with the Austrian research fund FWF, will provide around 2.39 million euros for the second round.

KIRCHEN ANDERS NUTZEN Vor dem Hintergrund rückläufiger Kirchenmitgliederzahlen kommt immer häufiger die Frage auf, wie sich Sakralgebäude anders nutzen lassen – zum Beispiel als Büros, Kultur-, Gewerbe- oder Besprechungsräume. Wie sich dieser Umwandlungsprozess möglichst strukturiert abwickeln lässt, das will die interdisziplinäre Forschungsgruppe „Sakralraumtransformation – Funktion und Nutzung religiöser Orte in Deutschland“ in den nächsten sechs Jahren untersuchen. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft fördert das Projekt mit insgesamt 2,5 Millionen Euro. Davon gehen 350.000 Euro nach Wuppertal. In einem Kreis aus Vertreter*innen der Theologie, Liturgiewissenschaft, Kunstgeschichte und der Ökonomie übernimmt Prof. Ulrich Königs, Leiter des Lehrstuhls für Konstruieren und Entwerfen, den Part der Architektur.

JÖRG RINKLEBE EINER DER MEISTZITIERTEN WISSENSCHAFTLER*INNEN WELTWEIT Prof. Dr.-Ing. Jörg Rinklebe, Experte für Boden- und Grundwassermanagement, ist einer der meistzitierten Wissenschaftler*innen in seinem Forschungsfeld – so die kürzlich veröffentlichte internationale Liste „Highly Cited Researchers“. Damit gehört Prof. Rinklebe zu den 6200 einflussreichsten Wissenschaftler*innen weltweit.

WIE WIRKT ENTSPANNUNG AUF BESCHWERDEN? Können Entspannungsverfahren körperliche Beschwerden lindern? Dieser Frage geht die Abteilung Klinische Psychologie und Psychotherapie in einer Studie unter Leitung von Prof. Dr. Alexandra Martin nach. Das Forschungsteam untersucht, ob die Methoden „Autogenes Training“ und „HRV-Biofeedback“ das Wohlbefinden von Personen steigern können, die beispielsweise unter Rückenschmerzen, chronischen Kopfschmerzen, Magen-Darm-Beschwerden oder Herz-Kreislauf-Problemen leiden.

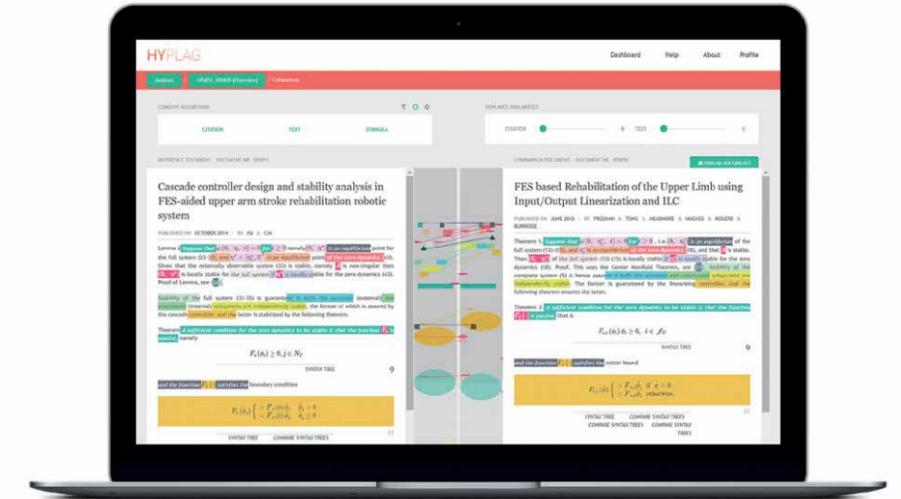
KATRIN-EXPERIMENT BEGRENZT DIE MASSE VON NEUTRINOS AUF UNTER 1 ELEKTROENVOLT Neutrinos spielen durch ihre kleine, aber von Null verschiedene Masse eine Schlüsselrolle in Kosmologie und Teilchenphysik. Seit 2018 soll mit der weltweit genauesten Waage, dem Karlsruhe TRitium Neutrino Experiment (KATRIN), die Masse von Neutrinos bestimmt werden. Diesem Ziel sind die Forscher*innen nun nähergekommen: Schon nach einer ersten Messphase konnte KATRIN die Masse des Neutrinos auf kleiner als 1 Elektronenvolt begrenzen, was doppelt so genau ist wie alle bisher durchgeführten Experimente. Am Experiment beteiligt ist auch ein Team der Uni Wuppertal unter Leitung von Prof. Dr. Klaus Helbing.

USING CHURCHES DIFFERENTLY Against the backdrop of shrinking numbers of church members, more and more often the question is raised how religious buildings can be used differently – for instance, as offices, cultural, commercial, or conference spaces. How this process of transformation can be managed in a structured way is what the interdisciplinary group of researchers on ‘Transforming places of worship – function and use of religious buildings in Germany’ will be investigating over the next six years. The project is funded by the German Research Foundation to a total of 2.5 million euros. Of this, 350,000 euros will go to Wuppertal. Among representatives from theology, liturgical studies, art history, and economics, Prof. Ulrich Königs, Chair of Construction and Design, represents architecture.

JÖRG RINKLEBE IS ONE OF THE MOST HIGHLY CITED RESEARCHERS WORLDWIDE Prof. Jörg Rinklebe, Chair of Soil and Groundwater Management, is one of the most cited researchers in his field, according to the international list of ‘Highly Cited Researchers’. This makes Prof. Rinklebe one of the 6200 most influential researchers worldwide.

WHAT EFFECT DO RELAXATION TECHNIQUES HAVE ON HEALTH PROBLEMS? Can relaxation techniques contribute to improving health problems? This is the question the Department of Clinical Psychology and Psychotherapy of the University of Wuppertal are exploring in a current study led by Prof. Alexandra Martin. The research team are investigating whether the ‘autogenic training’ technique and ‘HRV biofeedback’ can improve the well-being of those suffering from such conditions as back pain, chronic headaches, gastrointestinal problems, or cardiovascular problems.

KATRIN EXPERIMENT LIMITS MASS OF NEUTRINOS TO BELOW 1 ELECTRON VOLT With their small but non-zero mass, neutrinos play a key part in cosmology and particle physics. Since 2018, work has been under way to determine the mass of neutrinos by means of the world’s most accurate scale, the Karlsruhe TRitium Neutrino Experiment (KATRIN). Researchers have now come a step closer to that goal: after just one first brief neutrino measurement phase, KATRIN was able to limit the mass of the neutrino to less than 1 electron volt (eV), which is twice as precise as any of the laboratory experiments conducted so far, some of them over several years. Among those taking part in the experiment are a team from the University of Wuppertal led by Prof. Klaus Helbing.



Plagiate zuverlässiger erkennen

More reliable plagiarism detection

Software zur Plagiatserkennung soll dabei unterstützen, wissenschaftliche Arbeiten auf kritische Textstellen wie zum Beispiel nicht markierte Zitate oder fehlende Quellenangaben zu untersuchen. Wissenschaftler*innen vom Lehrstuhl für Data & Knowledge Engineering unter Leitung von Prof. Dr. Bela Gipp arbeiten an der Entwicklung von „HyPlag“ (Hybrid Plagiarism Detection) – einem System, das leistungsfähiger und zuverlässiger in der Identifikation auffälliger, inhaltlicher Ähnlichkeiten ist als die bisherigen Lösungen.

Um Ideen- oder Übersetzungsplagiate in Forschungspublikationen aufzudecken, soll HyPlag neben dem reinen Textvergleich auch in der Lage sein, Bilder, Grafiken, Formeln und Quellenverweise zu überprüfen. Außerdem arbeiten die Wissenschaftler daran, Verfahren zu integrieren, die erkennen, wenn sich der Schreibstil innerhalb eines Dokumentes ändert. Die Benutzer*innen erhalten nach erfolgter Analyse eine Ergebnisübersicht zur schnellen Überprüfung von identifizierten Ähnlichkeiten sowie eine detaillierte Vergleichsansicht, um betroffene Dokumentstellen näher zu betrachten – darin enthalten sind dann eben nicht nur identische Textstellen, auch auffällige Muster in den verwendeten Quellenverweisen oder ein potenziell vorliegender Ideenklau beim Anfertigen einer Grafik wird markiert. Mittelfristig soll HyPlag zu einer offenen Plattform entwickelt werden, die als Serviceleistung auch von anderen Universitäten genutzt werden kann.

Plagiarism detection software is to help examine academic works for critical passages such as unmarked quotations or missing information on sources. Academics from the Data & Knowledge Engineering Group led by Professor Bela Gipp are developing “HyPlag” (Hybrid Plagiarism Detection) – a system which can identify conspicuous content-related similarities more efficiently and reliably than existing solutions.

In order to detect plagiarised ideas and translation plagiarism, it is planned that HyPlag will be able to check images, graphics, formulae and source references in addition to carrying out pure text comparison. The academics are also working on integrating processes which detect when the writing style changes within a document. Once the analysis is complete, users receive a summary to quickly check identified similarities, as well as a detailed comparative view to take a closer look at affected parts of the document – it includes the identical parts of text, as well as conspicuous patterns in the source references and potentially plagiarised graphics. In the medium term, HyPlag is to be developed into an open platform which can also be used by other universities.



Joris Steg: Über die Krisen des Kapitalismus

Warum ist nach der Finanz- und Wirtschaftskrise im Jahr 2007 bisher so wenig passiert? Warum führen manche Krisen zu transformativen Veränderungen und andere nicht? Und welche Rolle spielt die jüngste Wirtschaftskrise für das gegenwärtige Erstarken rechtspopulistischer und nationalistischer Kräfte? Diesen Fragen geht Soziologe Dr. Joris Steg in seinem Buch „Krisen des Kapitalismus“ nach. Darin befasst er sich mit Großen Krisen des Kapitalismus und deren Auswirkungen auf das Verhältnis zwischen Demokratie und Kapitalismus.

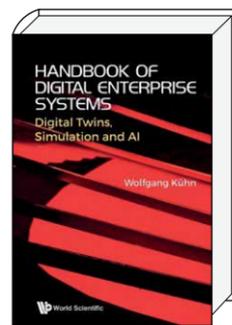
Steg, Joris Alexander: Krisen des Kapitalismus. Eine historisch-soziologische Analyse. Campus Verlag 2019, 466 Seiten, 45 €.



Lotta Mayer: Konfliktdynamiken – Kriegsdynamiken

Soziale Konflikte sind dynamische Prozesse: Was als friedlicher Protest beginnt, kann zu einem Krieg eskalieren. In ihrem neuen Buch „Konfliktdynamiken – Kriegsdynamiken“ analysiert Soziologin Lotta Mayer diese Dynamiken. Für die Analyse der Eskalationsdynamiken greift sie auf den Symbolischen Interaktionismus Herbert Blumers zurück und entwickelt ein dreistufiges Modell der eventuellen Eskalation sozialer Konflikte, das deren Verlauf von friedlich ausgetragenen Auseinandersetzungen zwischen einer sozialen Bewegung und staatlichen Instanzen hin zu komplexen Bürgerkriegen mit einer Vielzahl von beteiligten Konfliktparteien rekonstruiert.

Mayer, Lotta: Konfliktdynamiken – Kriegsdynamiken. Zur Konstitution und Eskalation innergesellschaftlicher Konflikte. Transcript Verlag 2019, 490 Seiten, 49,99 €.



Wolfgang Kühn: Digitale Unternehmenssysteme

Digitale Zwillinge, Simulation und Künstliche Intelligenz in der Industrie – um diese Themen dreht sich das „Handbook of Digital Enterprise Systems“ von Dr.-Ing. Wolfgang Kühn, Professor an der Fakultät für Elektrotechnik, Informationstechnik und Medientechnik. Er analysiert, wie eine konsequente industrielle Digitalisierung aussehen kann, beleuchtet Trends, setzt sich mit notwendigen Änderungen von Geschäftsmodellen auseinander und formuliert Ideen zu Konzepten und Strategien. Vom „Internet der Dinge“ über die sogenannten Digitalen Zwillinge, die sich aus daten- und simulationsgetriebenen Ansätzen generieren, bis hin zum Einsatz von Künstlicher Intelligenz bearbeitet das Buch relevante Themenbereiche der digitalen Transformation in der Industrie.

Kühn, Wolfgang: Handbook of Digital Enterprise Systems. World Scientific 2019, 248 Seiten, £85.

Paul J.J. Welfens: Klimaschutzpolitik

Um die Wirtschaftlichkeit einer wirksamen und international angelegten Klimapolitik geht es in dem neuen Buch von Prof. Dr. Paul J. J. Welfens, Präsident des Europäischen Instituts für Internationale Wirtschaftsbeziehungen an der Bergischen Universität. In „Klimaschutzpolitik: Ende der Komfortzone. Neue ökonomische und internationale Perspektiven zur Klimadebatte“ präsentiert der Ökonom Wege für eine globale Klimaneutralität bis 2050 und zeigt, dass Klimapolitik, Innovationsfragen, Verteilungsaspekte sowie internationale Kooperationsprobleme gleichzeitig thematisiert werden müssen, um Klimaneutralität ohne wirtschaftliche und soziale Verwerfungen erreichen zu können.

Welfens, Paul J.J.: Klimaschutzpolitik: Ende der Komfortzone. Springer Verlag 2019, 385 Seiten, 19,99 €.



Arne Karsten Der Untergang der Welt von gestern

Die „Welt von gestern“, die mit dem Ersten Weltkrieg unterging, war voller innerer Widersprüche und äußerer Spannungen und erschien doch im Rückblick als verlorenes Paradies. Die Sieger dieser Geschichte sind oft genannt und gehört worden, aber was war mit den Verlierern? Und welches künftige Unheil war in der neuen Welt schon im Keim angelegt? Historiker PD. Dr. Arne Karsten erzählt in seinem Buch „Der Untergang der Welt von gestern. Wien und die k.u.k. Monarchie 1911–1919“ eine andere Geschichte des großen Epochenumbruchs jenseits der hohen Politik.

Karsten, Arne: Der Untergang der Welt von gestern. Wien und die k.u.k. Monarchie 1911–1919. Verlag C.H.Beck 2019, 269 Seiten, 26,95 €.



Fabian Kessl Die Soziale Arbeit in Europa

Die Soziale Arbeit in Europa zu Beginn des 21. Jahrhunderts ist das zentrale Thema des neuen Buches, das Dr. Fabian Kessl, Professor für Sozialpädagogik mit dem Schwerpunkt sozialpolitische Grundlagen an der Bergischen Universität, gemeinsam mit Kolleg*innen herausgebracht hat. Das Kompendium verbindet die theoretische Analyse der vorherrschenden Trends in der europäischen Sozialpolitik mit Perspektiven auf entstehende und zukünftige Formen professioneller Praxis der Sozialen Arbeit.

Kessl, Fabian / Lorenz, Walter / Otto, Hans-Uwe / White, Sue: European Social Work – A Compendium. Barbara Budrich Publishers, 453 Seiten, 89 €.



Forschungszentren / Research Centers

- Interdisziplinäres Zentrum für Wissenschafts- und Technikforschung: Normative und historische Grundlagen (IZWT) / *Interdisciplinary Center for Science and Technology Studies*
- Interdisziplinäres Zentrum für Angewandte Informatik und Scientific Computing (IZ II) / *Interdisciplinary Center for Applied Informatics and Scientific Computing*
- Interdisziplinäres Zentrum für das Management technischer Prozesse (IZ III) / *Interdisciplinary Center for Technical Process Management*
- Institut für Polymertechnologie (HP) / *Institute of Polymer Technology*
- Zentrum für Erzählforschung (ZEF) / *Center for Narrative Research*
- Bergisches Kompetenzzentrum für Gesundheitsökonomik und Versorgungsforschung (BKG) / *Bergisch Regional Competence Center for Health Management and Public Health*
- Zentrum für interdisziplinäre Sprachforschung (ZefiS) / *Center for interdisciplinary language research*
- Forschungszentrum „Kindheiten.Gesellschaften“ / *Center for Research into Childhood and Society*
- Zentrum für Reine und Angewandte Massenspektrometrie (ipaMS) / *Institute for Pure and Applied Mass Spectrometry*
- Interdisziplinäres Zentrum für Editions- und Dokumentwissenschaft (IZED) / *Interdisciplinary Center for Editing and Documentology*
- Jackstädtzentrum für Unternehmertums- und Innovationsforschung / *Jackstädt Center of Entrepreneurship and Innovation Research*
- Forschungszentrum Frühe Neuzeit (FFN) / *Research Center for the Early Modern Period*
- Zentrum für Transformationsforschung und Nachhaltigkeit (TransZent) / *Center for Transformation Research and Sustainability*
- Interdisziplinäres Zentrum für Maschinelles Lernen und Datenanalyse (IZMD) / *Interdisciplinary Center for Machine Learning and Data Analytics*

Institute der Fakultäten / Institutes of the schools

- Institut für Umweltgestaltung / *Institute of Environmental Planning*
- Institut für Robotik / *Institute of Robotics*
- Institut für Grundbau, Abfall- und Wasserwesen / *Institute of Foundation, Waste and Water Engineering*
- Institut für Konstruktiven Ingenieurbau / *Institute of Structural Engineering*
- Center for International Studies in Social Policy and Social Services
- Institut für Gründungs- und Innovationsforschung / *Institute of Entrepreneurship and Innovation Research*
- Institut für angewandte Kunst- und Bildwissenschaften / *Institute of Applied Art History and Visual Culture*
- Institut für Sicherheitstechnik / *Institute of Safety Engineering*
- Institut für Sicherungssysteme / *Institute of Security Systems*
- Institut für Bildungsforschung / *Institute of Educational Research*
- Institut für Linguistik / *Institute of Linguistics*
- Institute of Modelling, Analysis and Computational Mathematics
- Wuppertaler Institut für bildungsökonomische Forschung / *Wuppertal Research Institute for the Economics of Education*
- Martin-Heidegger-Institut / *Martin Heidegger Institute*
- Institut für Systemforschung der Informations-, Kommunikations- und Medientechnologie / *Institute of Systems Research in Information, Communications and Media Technology*
- Institut für Partikeltechnologie / *Institute of Particle Technology*
- Institut für visionäre Produkt- und Innovationsentwicklung (Visionlabs) / *Institute for Visionary Product and Innovation Development (Visionlabs)*
- Forschungsstelle Bürgerbeteiligung – Institut für Demokratie- und Partizipationsforschung (IDPF) / *Research Group for Citizens' Action – Institute for Research on Democracy and Participation*
- Institut für Produkt-Innovationen / *Institute for Product Innovation*

Institut für Atmosphären- und Umweltforschung
Institute for Atmospheric and Environmental Research

Wuppertaler Institut für Unternehmensforschung und Organisationspsychologie (WIFOP) / *Wuppertal Institute for Operations Research and Organisational Research*

Paul Maria Baumgarten Institut für Papsttumforschung
Paul Maria Baumgarten Institute for Papal Studies

Institut für Transzendentalphilosophie und Phänomenologie (ITP) / *Institute for Transcendental Philosophy and Phenomenology*

Feuerwehrwissenschaftliches Institut
Fire Service Science Institute

An-Institute / Associate Institutes

Institut für Arbeitsmedizin, Sicherheitstechnik und Ergonomie e.V. / *Institute of Occupational Medicine, Safety Engineering and Ergonomics*

Forschungsinstitut für Telekommunikation und Kooperation – FTK e.V. / *Research Institute for Telecommunications and Cooperation*

Europäisches Institut für internationale Wirtschaftsbeziehungen e.V. / *European Institute for International Economic Relations*

Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V. (FGW) / *Tools and Materials Research Association*

Biblich-Archäologisches Institut (BAI)
Institute of Biblical Archaeology

Neue Effizienz – Bergische Gesellschaft für Ressourceneffizienz mbH / *New Efficiency, Bergisch Association for the Efficient Use of Resources*

Graduiertenkollegs, -schulen und -verbände / Research training groups, Graduate schools and associations

Helmholtz-Graduiertenschule für Energie und Klimaforschung (HITEC)
Graduate School in Energy and Climate Research

DFG-GK 2196: Dokument – Text – Edition
Document – Text – Editing

DFG-GK 2240: Algebro-geometrische Methoden in Algebra, Arithmetik und Topologie / *Algebro-geometric Methods in Algebra, Arithmetic and Topology*

HPC-LEAP – MSCA Innovative Training Networks – European Joint Doctorates (ITN-EJD)

TALENT – Marie Curie Initial Training Network

STRONGnet – Marie Curie Initial Training Network

AMIS – Marie Curie IRSES

STRIKE – Marie Curie Initial Training Network

OSNIRO – Marie Curie Initial Training Network

Forschungsverbände / Research Networks

The Reacting Atmosphere – Understanding and Management for Future Generations

ATLAS-Experiment am Large Hadron Collider (LHC) am CERN / *ATLAS Experiment at the Large Hadron Collider (LHC), at CERN*

Pierre-Auger-Observatorium
Pierre Auger Observatory

FOR 2316 DFG-Forschungsgruppe „Korrelationen in integrierbaren quantenmechanischen Vielteilchensystemen“ / *FOR 2316 DFG Research unit "Correlations in Integrable Quantum Many-Body Systems"*

FOR 2063 DFG-Forschungsgruppe „Epistemologie des LHC“ / *FOR 2063 DFG Research unit "The Epistemology of the LHC"*

Sonderforschungsbereiche / Collaborative Research Centers

SFB Transregio 55 (Hadron Physics from Lattice QCD)
Sprecherhochschulen: Bergische Universität Wuppertal und Universität Regensburg

SFB 986 M3 (multiscale tailor-made material systems)
Prof. Dr. Swantje Bargmann (Projektbeteiligte), Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik, Computergestützte Modellierung in der Produktentwicklung

SFB Transregio MARIE
Prof. Dr. Ullrich Pfeiffer (Projektbeteiligter), Fakultät für Elektrotechnik, Informationstechnik und Medientechnik, Hochfrequenzsysteme in der Kommunikationstechnik

Forschungsförderung und Drittmittelverwaltung Research Services and Research Funding Management

ANSPRECHPARTNER*INNEN / CONTACTS

Kommissarische Abteilungsleitung / Acting Head of Unit
Ulrike Hartig, Tel. 0202/439-3806, uhartig@uni-wuppertal.de

Europäische Forschungsförderung inklusive Grundsatzfragen der Bewirtschaftung / Research Services for EU-projects including Research Funding Management
Ulrike Hartig, Tel. 0202/439-3806, uhartig@uni-wuppertal.de

Nationale Forschungsförderung
Research Services for national projects

Tiana Wiebusch, Anselm Terhalle,
Tel. 0202/439-3810, -1060, twiebusch@uni-wuppertal.de, terhalle@uni-wuppertal.de

Drittmittelverwaltung, Grundsatzangelegenheiten national und Steuern / Research Funding Management, Policy Matters and Taxes

Rebecca Maruhn, Tel. 0202/439-1033, maruhn@uni-wuppertal.de

Promotionsförderung / Support for Doctoral Students

Anselm Terhalle, Tel. 0202/439-1060, terhalle@uni-wuppertal.de

Trennungsrechnungsprojekte / Public-Private Project Accounting
Kristoffer Frege, Tel. 0202/439-3307, frege@uni-wuppertal.de

Vertragsmanagement / Contract Management

Christoph Jochindke, Alina Siekmann, René Jorde, Tel. 0202/439-2326, -2983, -2984, jochindke@uni-wuppertal.de, siekmann@uni-wuppertal.de, jorde@uni-wuppertal.de

EU-Projekte (Schwerpunkt H2020) / Research Funding Management EU-projects

Annerose Seidel, Peter Schmied, Tel. 0202/439-2375, -2312, seidel@uni-wuppertal.de, schmied@uni-wuppertal.de

EFRE-Projekte / ERDF-projects

Annerose Seidel, Peter Schmied, Silvia Wulf, Anna Möller, Tel. 0202/439-2375, -2312, -3545, -1985, seidel@uni-wuppertal.de, schmied@uni-wuppertal.de, swulf@uni-wuppertal.de, amoeller@uni-wuppertal.de

Projekte der Verwaltung, WTS, Institute und des Rektorats / Projects of the Administration, UW Institutes and the Rector's Office
Veton Presheva, Tel. 0202/439-3805, presheva@uni-wuppertal.de

Fakultät für Geistes- und Kulturwissenschaften, KOLBI & QPL
School of Humanities and Cultural Studies, KOLBI & QPL

Astrid Volmer, Tel. 0202/439-3119, volmer@uni-wuppertal.de

Fakultät für Human- und Sozialwissenschaften

School of Humanities and Cultural Studies

Anna Möller, Tel. 0202/439-1985, amoeller@uni-wuppertal.de

Fakultät für Wirtschaftswissenschaft – Schumpeter School of Business and Economics und Fakultät für Design und Kunst
Schumpeter School of Business and Economics and School of Art and Design

Margarida Figueiredo, Tel. 0202/439-1060, figueiredo@uni-wuppertal.de

Fakultät für Mathematik und Naturwissenschaften
School of Mathematics and Natural Sciences

Mathematik / Mathematics: **Karin Kleffmann-Schäfer**, Tel. 0202/439-2179, kkleffmann@uni-wuppertal.de
Physik und Biologie / Physics and Biology: **Isabella Bröcker**, Tel. 0202/439-3133, broecker@uni-wuppertal.de
Chemie / Chemistry: **Silvia Wulf**, Tel. 0202/439-3545, swulf@uni-wuppertal.de

Fakultät für Architektur und Bauingenieurwesen und Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik / School of Architecture an Civil Engineering and School of Mechanical Engineering and Safety Engineering

Bauingenieurwesen und Sicherheitstechnik / Civil Engineering and Safety Engineering: **Bärbel Prieur**, Tel. 0202/439-3710, bprieur@uni-wuppertal.de

Architektur und Maschinenbau / Architecture and Mechanical Engineering: **Karin Kleffmann-Schäfer**, Tel. 0202/439-2179, kkleffmann@uni-wuppertal.de

Fakultät für Elektrotechnik, Informationstechnik und Medientechnik / School of Electrical, Information and Media Engineering

Kristoffer Frege, Tel. 0202/439-3307, frege@uni-wuppertal.de

School of Education und Zentrale Einrichtungen

School of Education and Central Organizational Units

Veton Presheva, Tel. 0202/439-3805, presheva@uni-wuppertal.de

Sonderforschungsbereiche / Collaborative research centres

SFB Transregio 55/SFB 986 M 3/SFB Transregio MARIE
Vera Aydt, Tel. 0202/439-1985, vaydt@uni-wuppertal.de

Graduiertenkollegs und Spenden / Research Training Groups and donations / GK 2240 / GK 2196

Silvia Wulf, Tel. 0202/439-3545, swulf@uni-wuppertal.de

Tagungen, Workshops etc. / Meetings and workshops etc.

Catarina Engelmann-Stamm, Tel. 0202/439-2989, engelmann-stamm@uni-wuppertal.de

ZEFFT: INTERNER FORSCHUNGSFÖRDERTOPF

Um exzellente Forschung an der Bergischen Universität zu stärken und Forschungsaktivitäten gezielt zu unterstützen, hat das Rektorat eine interne Forschungsförderung in Gestalt eines Zentralen Forschungsfördertopfes (ZEFFT) installiert. Die Konzeption dieses Forschungsfördertopfes und die Vergaberegeln wurden in Kooperation zwischen der entsprechenden Senatskommission und dem zuständigen Forschungs-Prorektor, Prof. Dr. Michael Scheffel, ausgearbeitet. Im Ergebnis wird zurzeit jährlich ein Betrag von etwa 550.000 Euro zur Hilfe bei der Beantragung von Drittmittelprojekten zur Verfügung gestellt. Antragsmöglichkeiten gibt es in drei Bereichen: Der Bereich *Strukturen* hat zum Ziel, die Einrichtung von Forschungsverbänden zu fördern; der Bereich *Projekte* unterstützt Forscherinnen und Forscher bei der Vorbereitung von Einzelanträgen; der Bereich *EU* fördert die Antragstellung in Horizont 2020.

Anselm Terhalle, Tel. 0202/439-1060, terhalle@uni-wuppertal.de

IHR ENTSORGER IN WUPPERTAL



- ABFALLMANAGEMENT
- AUTORECYCLING
- CONTAINERSERVICE
- MÜLLABFUHR
- MÜLLHEIZKRAFTWERK
- PAPIERSAMMLUNG
- RECYCLINGHÖFE
- SCHADSTOFFSAMMLUNG
- WERTSTOFFSAMMLUNG



**AWG Abfallwirtschaftsgesellschaft
mbH Wuppertal**
Korzert 15 · 42349 Wuppertal
Telefon: 0202 / 40 42 0



Mit unserem Life-Science-Unternehmen tragen wir unter anderem zur Verbesserung der Lebensqualität bei. Die wachsende und zunehmend älter werdende Weltbevölkerung verlangt nach einer immer besseren medizinischen Versorgung. Bayer unterstützt diese Anforderung mit rund 3.300 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in Forschung, Entwicklung und Produktion von innovativen und neuartigen Wirkstoffen am Standort Wuppertal.

www.wuppertal.bayer.de

A close-up photograph of a female scientist with brown hair, wearing a white lab coat, clear safety glasses, and blue nitrile gloves. She is smiling warmly at the camera while holding a test tube in her right hand. The background is a bright, clean laboratory setting.

*Science for
a better life*