



BUW OUTPUT

Forschungsmagazin *Research bulletin* der Bergischen Universität Wuppertal
Nr. 16 Wintersemester 2016/2017

Nektar – der natürliche Stoff für Zuckerjunkies

Nectar – the natural choice for sugar junkies

von / by Gertrud Lohaus

Perovskite – Neue Halbleiter für die Optoelektronik

Perovskites – new semiconductors for optoelectronics

von / by Thomas Riedl

Welche Natur brauchen wir für ein gutes Leben?

'The natural life is the good life'. But what do we mean by nature?

von / by Gerald Hartung und / and Klaus Feldmann

Kleine Einzeller ganz groß

Great little single-cell organisms

von / by Angelika Preisfeld und / and Sebastian Scherdin

Eisen statt Kobalt – Ein Weg zur nachhaltigen Rohstoffnutzung

Iron for cobalt – toward a sustainable use of natural resources

von / by Sebastian Weber und / and Frederic van gen Hassend

Produktzuverlässigkeit entlang des Produktentstehungsprozesses

Product reliability throughout the development and production chain

von / by Stefan Bracke und / and Bianca Backes



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** | **Nektar – der natürliche Stoff für Zuckerjunkies**
Nectar – the natural choice for sugar junkies
von / by Gertrud Lohaus
- 12** | **Perowskite – Neue Halbleiter für die Optoelektronik**
Perovskites – new semiconductors for optoelectronics
von / by Thomas Riedl
- 18** | **Welche Natur brauchen wir für ein gutes Leben?**
'The natural life is the good life'. But what do we mean by nature?
von / by Gerald Hartung und / and Klaus Feldmann
- 22** | **Kleine Einzeller ganz groß**
Great little single-cell organisms
von / by Angelika Preisfeld und / and Sebastian Scherdin
- 28** | **Eisen statt Kobalt – Ein Weg zur nachhaltigen Rohstoffnutzung**
Iron for cobalt – toward a sustainable use of natural resources
von / by Sebastian Weber und / and Frederic van gen Hassend
- 34** | **Produktzuverlässigkeit entlang des Produktentstehungsprozesses**
Product reliability throughout the development and production chain
von / by Stefan Bracke und / and Bianca Backes
- 40** | **Das Institut für Atmosphären- und Umweltforschung**
The Institute for Atmospheric and Environmental Research
von / by Ralf Koppmann und / and Peter Wiesen
- 43** | **Research News**
- 47** | **Neuerscheinungen / New publications**
- 48** | **Forschungseinrichtungen / Research Centers**
- 50** | **Forschungsförderung / Research Funding Management**

BUW **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*

Konzeption und Redaktion /

Concept and editorial staff

Dr. Maren Wagner,
Denise Habberger, Katja Bischof,
Friederike von Heyden
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

Joseph Swann

Druck / Printers

Figge GmbH, Wuppertal

Auflage / Print run

3000 Exemplare / copies

Alle Rechte vorbehalten. /
All rights reserved.

Bergische Universität Wuppertal
Pressestelle, Gaußstraße 20
42119 Wuppertal

Wuppertal, 16. November 2016

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

Titelfoto Colourbox.de

Natur, Umwelt und Engineering

von / by

Prof. Dr. Michael Scheffel

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



Im Rahmen der neuen „Exzellenzstrategie“ bereitet die Bergische Universität gegenwärtig gemeinsam mit der Universität Regensburg den Antrag auf ein Cluster vor. Strukturelle Voraussetzung hierfür ist die langjährige, sehr erfolgreiche Kooperation im Rahmen des u. a. mit dem Supercomputing Centre des Forschungszentrums Jülich durchgeführten DFG-Sonderforschungsbereichs „Hadronenphysik mit Gitter-QCD“ (SFB/TR-55). Die in diesem institutionellen Kontext entstandenen Arbeiten sind in der internationalen Wissenschaftsgemeinde höchst präsent und haben neben anderen Erfolgen bereits mehrere Publikationen in hochrangigen Zeitschriften wie *Science* und *Nature* ermöglicht.

Primäres Ziel der Forschungen des SFB/TR-55 ist eine systematische Vertiefung von physikalischer Erkenntnis. Im Ergebnis hat die Zusammenarbeit von Mathematik und Physik aber auch schon bemerkenswerte technologische Fortschritte bewirkt. Beispielhaft dafür ist die Entwicklung sogenannter QPACE-Supercomputer, die Schnelligkeit und Energie-Effizienz so verbinden, dass sie die weltweite Liste *Green500* zeitweise angeführt haben. Weitere Projekte, die nicht zuletzt auch die soziale und ökonomische Relevanz von Forschung belegen, präsentiert das vorliegende, dem Themenfeld „Natur, Umwelt und Engineering“ gewidmete Heft von BUW.OUTPUT.

Nektar und Ambrosia galten einst als himmlisches Getränk und als die unsterblich machende Speise der griechischen Götter. In welchem Sinne sie aus biologischer Sicht von Bedeutung sind, erläutert ein Beitrag, der überdies enthüllt, was das über Wuppertal leuchtende Gewächshaus auf dem Dach unserer Universität verbirgt. Ein weiteres biologisches Projekt gilt

der überaus irdischen Welt von Kläranlagen. Es untersucht, inwiefern Mikroorganismen hier als gute Geister dienen können.

Herkömmliche Glühbirnen werden heute vielfach von Leuchtdioden ersetzt, die erheblich weniger Energie verbrauchen. Welche Perspektiven eine nochmals neue Generation von Halbleitern eröffnet, erörtert ein Beitrag aus der Elektrotechnik. Einem innovativen Weg zur nachhaltigen Rohstoffnutzung widmet sich ein Projekt des Lehrstuhls für „Neue Fertigungstechnologien und Werkstoffe“, während ein Beitrag der Sicherheitstechnik das Problem der Zuverlässigkeit eines Produkts über den gesamten Prozess seiner Entstehung hinweg verfolgt. Die grundlegende Frage, welche Art von Natur ein gutes Leben erlaubt, steht am Ursprung eines philosophisch-didaktischen Projekts, das die Bergische Universität mit zwei Wuppertaler Gymnasien verbindet.

Neben Nachrichten aus der Welt der Forschung bietet unser Heft schließlich ein Porträt des 2014 gegründeten „Instituts für Atmosphären- und Umweltforschung“, das zum Forschungsverbund „The Reacting Atmosphere“ gehört. Die für die Zukunft unserer Welt so wichtigen Fragen nach den atmosphärischen Prozessen, die im Zusammenhang mit einem nicht zu leugnenden Klimawandel stehen, bilden einen Fokus seiner interdisziplinären Forschung.

Ich wünsche allen Leserinnen und Lesern eine anregende Lektüre!

Nature, the Environment, and Engineering

Within the framework of its new quality and financial strategy the University of Wuppertal is preparing a joint application with the University of Regensburg for recognition and funding of a special 'excellence research cluster'. The structural basis for this application is the university's longstanding and highly successful cooperation with - among others - the Jülich Research Center's supercomputing unit in the 'Hadron Physics from Lattice QC' project funded by the German Research Foundation. Published in leading journals such as *Science* and *Nature*, work produced in the course of this project has been highly acclaimed by the international scientific community. The primary goal of this collaborative project is the systematic deepening of physical knowledge. Its complex interface between physics and mathematics has, however, produced some astonishing technological results. For instance in the development of the QPACE-supercomputer, whose combined speed and energy efficiency have boosted it on occasion to a leading position on the global 'Green500' list.

Other projects that also illustrate the social and economic relevance of research are presented in this issue of the university's *OUTPUT* Research Bulletin under the overall heading of 'Nature, the Environment, and Engineering'. Thus nectar and ambrosia - once thought of as the foodstuffs of the gods, guaranteeing immortality - are today a resource of considerable scientific relevance. The article in our bulletin also incidentally sheds light on the purpose of the greenhouse that sits atop the university, glowing like a beacon across the city. Another biological project is concerned with the more down-to-earth world of sewage treatment and the beneficent role microorganisms play there.

Traditional light bulbs have been widely replaced nowadays by LEDs, which use substantially less energy. The perspectives opening here in the wake of a new generation of semiconductors are discussed in an article from the School of Electrical and Electronic Engineering. An innovative development in the use of sustainable resources is presented by the Department of New Manufacturing Technologies and Materials, while the university's Department of Reliability Engineering and Risk Analytics addresses the problem of product reliability throughout the development and production chain. The fundamental question how best to think of nature and live in harmony with it underlies a philosophical and educational project run by the university in collaboration with two Wuppertal high schools.

As well as the latest research news from the university, *OUTPUT* 16 contains a portrait of the Institute for Atmospheric and Environmental Research. Established in 2014 as part of the 'Reacting Atmosphere' research network, the interdisciplinary institute investigates atmospheric processes which - in the context of undeniable climate change - play a crucial role in the future of our planet.

Enjoy your reading!



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

Nektar – der natürliche Stoff für Zuckerjunkies

von / by

Prof. Dr. Gertrud Lohaus



Nektar und Ambrosia sind in der griechischen Mythologie die Speisen der Götter. Biochemisch gesehen ist Nektar eine wässrige Lösung mit hohen Konzentrationen an verschiedenen Zuckern, Aminosäuren und weiteren Inhaltsstoffen, die manche Pflanzenarten in ihren Blüten produzieren, um Bestäuber anzulocken. Diese nutzen den Nektar als Nahrung und übertragen im Gegenzug den Pollen einer Blüte auf die Narbe einer anderen Blüte. Das hört sich weit weniger romantisch an als Speise der Götter. Nektar ist jedoch auch aus biologischer Sicht immens wichtig und die wechselseitige Anpassung von Blüten und Bestäubern ist eine der größten koevolutionären Prozesse in der Geschichte der Lebewesen. In diesem Zusammenhang sind jedoch noch sehr viele Fragen offen, die wir u. a. in dem Forschungsprojekt „Analyse der verschiedenen Regulationsebenen und -mechanismen der Nektarzusammensetzung“ (gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft) bearbeiten.



In ancient Greece, nectar and ambrosia were the foodstuffs of the gods. Biochemically, nectar is an aqueous solution with a high concentration of various sugars, amino acids and other substances that many plants produce in their blossoms in order to attract pollinators. For the pollinators, nectar is a source of nutrition, and in return these animals transfer the pollen to the stigma of other flowers. This sounds rather less romantic than the food and drink of the gods. Biologically, however, nectar is immensely important, and the mutually adaptive

relationship between flowers and pollinators is one of the greatest co-evolutionary processes in the history of living organisms. Funded by the German Research Foundation, the research project 'Analysis of various regulatory levels and mechanisms in the composition of nectar' seeks to find answers to some of the many questions that still remain in this area.

Campus Griffenberg, 16. Etage; höher geht es nicht? Doch, denn ein kleines Gewächshaus ist noch „on top“. Weit sichtbar, wenn es draußen bereits dunkel ist, die Lampen im Gewächshaus aber noch brennen. Hier stehen Pflanzenarten, die eher aus warmen und tropischen Gebieten stammen. Virginischer Tabak (*Nicotiana tabacum*) ist eine solche Art und noch mehr als 20 weitere Tabakarten. Die Blätter von *Nicotiana tabacum* werden für Tabakwaren genutzt. Dies ist jedoch nicht der Grund für die Haltung der Pflanzen auf dem Dach der Uni. Wir sind an dem süßen Saft in den Blüten interessiert, dem sogenannten Nektar.

Biochemisch gesehen ist Nektar eine wässrige Lösung mit hohen Konzentrationen an verschiedenen Zuckern, die in besonderen Drüsen, sogenannten Nektarien in den Blüten (floraler Nektar) gebildet wird. Die drei Hauptzuckerarten sind Saccharose (Haushaltszucker), Glucose (Traubenzucker) und Fructose (Fruchtzucker). Nektar enthält jedoch auch geringe Mengen an freien Aminosäuren und anderen Stickstoffverbindungen, Proteinen, organischen Säuren, anorganischen Ionen und sogenannten sekundären Pflanzenstoffen, die entweder der Anlockung bestimmter Bestäuber oder der Abschreckung von Räufern dienen. Nicotin ist solch ein sekundärer Pflanzenstoff und eines der stärksten pflanzlichen Gifte. Viele Tabakarten dosieren den Gehalt an Nicotin im Nektar sehr genau, um den Besuch bestimmter Bestäuber zu beeinflussen.¹ Die Zuckerzusammensetzung der Nektare verschiedener Pflanzenarten ist unterschiedlich, Saccharose, Glucose und Fructose können in unterschiedlichen Verhältnissen vorkommen. Die Zuckerzusammensetzung korreliert häufig mit den Präferenzen unterschiedlicher Gruppen von Bestäubern^{2,3}.

Nektare, die mehr Saccharose als Glucose und Fructose enthalten, werden von großen Bienenarten, Kolibries und Schmetterlingen bevorzugt. Nektare, die mehr Glucose und Fructose als Saccharose enthalten, werden von kleinen Bienenarten, Nektarvögeln und Fledermäusen bevorzugt. Bestimmten Vogelarten fehlen zum Beispiel die Enzyme, um Saccharose abbauen zu können.

Welche Faktoren insgesamt die Nektarzusammensetzung bestimmen und wie die Zusammensetzung der anderen Stoffe im Nektar, beispielsweise der Aminosäuren oder der organischen Säuren, reguliert wird, ist bisher noch wenig untersucht. Neben den Präferenzen der Bestäuber kann die Nektarzusammensetzung einer Pflanzenart auch durch verschiedene phylogenetische, entwicklungsspezifische, physiologische, morphologische und/oder Umwelt-Faktoren beeinflusst werden. Hier setzt unsere weitere Forschung an.

Die Gattung *Nicotiana* ist als Untersuchungsobjekt besonders geeignet, weil dazu Pflanzenarten mit ganz unterschiedlicher Blütenmorphologie und ganz unter-



Abb. 1: Gewächshaus auf dem Gebäude G, Campus Griffenberg.

Nektar – der natürliche Stoff für „Zuckerjunkies“



Abb. 2: Blüten verschiedener Bromelien-Arten (*Quesnelia quesneliana*, *Neoregelia carolinae*, *Vriesea fenestralis*, *Alcantarea imperialis*, *Tillandsia circinnatoides*, *Nidularium reglioides*).

schiedlichen Bestäubern gehören. Die Arten sind entweder tagblühend und werden von Kolibries, Nektarvögeln, Tagfaltern oder Bienen bestäubt oder sie sind nachtblühend und werden von Nachtfaltern oder Fledermäusen bestäubt. Besonders tropische Nachtfalter haben zum Teil sehr lange Rüssel (bis zu 30 Zentimeter), um den Nektar vom Boden langer Blütenröhren aufzusaugen.

Andere Pflanzen im Gewächshaus gehören zur Pflanzenfamilie der Bromeliengewächse (oder auch Ananasgewächse, Bromeliaceae). Die große Familie der Bromeliaceae ist – mit dem einzigen „Ausreißer“ *Pitcairnia feliciana* in Westafrika – auf Amerika beschränkt und besiedelt eine Vielzahl verschiedener Lebensräume: vom Süden der USA bis hinunter zur Südspitze Chiles, von den Regenwäldern bis zur trockensten Wüste, der Atacama-Wüste. Viele Vertreter dieser Pflanzenfamilie werden als Zierpflanze genutzt und die bekannteste Vertreterin dieser Pflanzenfamilie ist eine Nahrungspflanze, die namensgebende Ananas (*Ananas comosus*).

Die Familie umfasst mehr als 3000 Arten. Innerhalb der Bromeliaceen zeigt sich eine große Vielfalt an unterschiedlichen Lebensformen. Etwa zwei Drittel der Familie wachsen als Aufsitzerpflanzen (Epiphyten) und ein Drittel lebt terrestrisch mit Erdwurzeln. Die epiphytischen Arten leben häufig in Regenwäldern auf Bäumen. Das „Aufsitzen“ ist notwendig, da am Boden der Wälder

nicht genug Licht für das Pflanzenwachstum ankommt. Durch die epiphytische Lebensweise können sich die Pflanzen dem Licht zwar nähern, haben aber das Problem, dass ihre Wurzeln nicht bis zum Boden und damit zum Wasser reichen. Dieses Wasserproblem lösen epiphytisch lebende Bromelien auf besondere Weise: Sie bilden eine Blattrosette aus, um so in einer Art „Tank“ Wasser zu sammeln, welches sie über Saugschuppen (Trichome) der Blätter aufnehmen.

Pflanzen sind jedoch nicht uneigennützig spendabel, wenn es um ihren Nektar geht. Die Produktion kostet sie viel Energie und die Pflanzen müssen von ihren eigenen Nährstoffen in den Nektar investieren. Für die sexuelle Fortpflanzung sind viele Pflanzenarten darauf angewiesen, dass der Pollen aus einer ihrer Blüten auf der Narbe einer anderen Blüte landet. Wenn es die richtige Art ist, wächst der Pollen auf der Narbe aus und die gebildeten Spermien wandern durch den Pollenschlauch zur Eizelle, die im Fruchtknoten geschützt liegt. Manche Pflanzenarten nutzen den Wind (sogenannte Windbestäubte), um den Pollen zu den Narben anderer Blüten zu transportieren. Der Transport durch den Wind verläuft aber ungesteuert. Es ist daher dem Zufall überlassen, ob der Pollen der einen und die Blütennarbe der anderen Pflanze zur gleichen Art gehören. Windbestäubte produzieren daher riesige Mengen an Pollen, benötigten



jedoch keinen Nektar, um Bestäuber anzulocken. Dazu gehören viele Gräser und damit auch die Getreidearten sowie viele Baumarten.

Bei tierbestäubten Pflanzenarten ist die Pollenübertragung effektiver und gezielter. Es haben sich teilweise sehr spezifische Systeme von Blütenpflanzen und Bestäubern entwickelt. So ist die Chance größer, dass ein Tier den Pollen einer Pflanzenart auf eine andere Blüte der gleichen Art überträgt. Die riesige Formenvielfalt bei Blütenpflanzen ist ohne Tierbestäubung kaum denkbar und die wechselseitige Anpassung ist eine der größten koevolutionären Prozesse in der Geschichte der Lebewesen. Hier sind jedoch noch sehr viele Fragen offen, zum einen, welche Inhaltsstoffe neben den drei Hauptzuckern im Nektar vorhanden sind und welche Funktion sie besitzen, und zum anderen, wie die Nektarzusammensetzung in der Pflanze reguliert ist. Die Beantwortung dieser Fragen ist u. a. wichtig, um bestimmte ökologische Zusammenhänge verstehen zu können.³

Wo kommt der Nektar her?

Die Anlieferung von Zuckern und anderen Metaboliten in die Nektarien erfolgt in erster Linie über das Phloem. Das Phloemgewebe der bedecktsamigen Pflanzen (Angiospermen) besteht aus Siebröhren und Geleitzellen. In den Siebröhren werden Zucker, Aminosäuren und andere

Metabolite von den Orten der Synthese in der Pflanze zu den Orten des Verbrauchs transportiert, beispielsweise in die Wurzeln, Blüten und auch in die Nektarien. In diesem Zusammenhang steht die Frage, welchen Einfluss die Metabolitzusammensetzung im Phloensaft auf die Zusammensetzung im Nektar hat. Dazu gibt es bisher kaum Untersuchungen.

Die artspezifischen Unterschiede in der Nektarzusammensetzung können mindestens zwei physiologische Ursachen haben: Die artspezifischen Stoffwechsel- und Sekretionsprozesse in den Nektarien oder die artspezifische Zusammensetzung des Phloensafts, der in den Blattadern zu den Nektarien transportiert wird.

Reinen Phloensaft oder Siebröhrensaft zu gewinnen, ist schwierig. Um den Ursprung von Nektarkomponenten zu klären, muss jedoch die Phloensaftzusammensetzung mit der entsprechenden Nektarzusammensetzung verglichen werden. Die Bearbeitung dieser Fragestellung stößt oft an methodische Grenzen, die jedoch durch die Verwendung ganz spezieller Methoden in unserer Arbeitsgruppe überwunden werden können. Im Gegensatz zu unseren menschlichen Adern, in die ohne Probleme mit einer „dicken“ Nadel eingestochen werden kann, haben die Siebröhren einen Durchmesser von wenigen Mikrometern (ein Tausendstel Millimeter). Einerseits ist es kaum möglich, Spritzen oder Kapillaren mit solch einem dünnen Durchmesser zu produzieren, und andererseits sind die Siebröhren von vielen Zellschichten umgeben, die erst durchstochen werden müssen. Daher wäre es eine „blinde“ Suche und die Chance, die richtige Zelle zu treffen, äußerst gering. Hier kommen uns nun Blattläuse mit ihren speziellen Fähigkeiten zur Hilfe. Blattläuse haben einen sehr dün-



Nektar – der natürliche Stoff für „Zuckerjunkies“



Abb. 3: a) Blattadern, in denen sich die Transportbahnen des Xylem und Phloem befinden, b) Apparatur zur Gewinnung von Phloemsaft (Laser-Aphiden-Technik), c) Blattlaus, Stechrüssel im Fadenkreuz; hier wird durch einen Laserstrahl der Stechrüssel durchtrennt.

nen Stechrüssel, den sie spezifisch in die Siebröhren von Blättern und anderen Pflanzenteilen stechen, da sie sich von Siebröhrensaft ernähren.

Diese Eigenschaft der Blattläuse wird von uns technisch genutzt: Spezielle Blattläuse werden zuerst in einem kleinen Käfig an das Blatt einer Versuchspflanze geheftet. Wenn die Blattläuse am Blatt saugen, wird die Pflanze vor ein spezielles Mikroskop gestellt, das mit einem Laser verbunden ist. Durch ein Fadenkreuz wird der Stechrüssel einer Blattlaus fokussiert und dieser dann mithilfe eines Laserstrahls durchtrennt. Der untere Teil des Stechrüssels bleibt in der Siebröhre stecken und kann als Kapillare benutzt werden, um den Siebröhrensaft zu exsudieren. Der austretende Saft wird in einer Glasmikrokapillare aufgefangen.

Ob durch die sogenannte Laser-Aphiden-Technik eine erfolgreiche Gewinnung von Siebröhrensaft möglich ist, hängt von vielen Faktoren ab und meist sind sehr viele Versuche notwendig. Die Menge an gewonnenem Siebröhrensaft liegt im Nanoliterbereich (Milliardstel Liter). Dennoch ist dies bisher die beste Methode, um reinen Phloemsaft aus intakten Pflanzen zu gewinnen.⁴

Durch die Anwendung dieser speziellen Methode und sensitiver biochemischer Analysemethoden ist kürzlich von unseren Arbeitsgruppen ein direkter Vergleich der Nektar- und Phloemzusammensetzung verschiedener Pflanzenarten erfolgt.⁴ Es konnte gezeigt werden, dass bestimmte Metabolite im Nektar erst in den Nektarien gebildet, während andere aus dem Phloemsaft in den Nektar „hineingespült“ werden.

Hier schließt sich die Frage an, wie der Stofftransport im Phloem erfolgt und welche Metabolite in welchen Konzentrationen, unter welchen Bedingungen im Phlo-

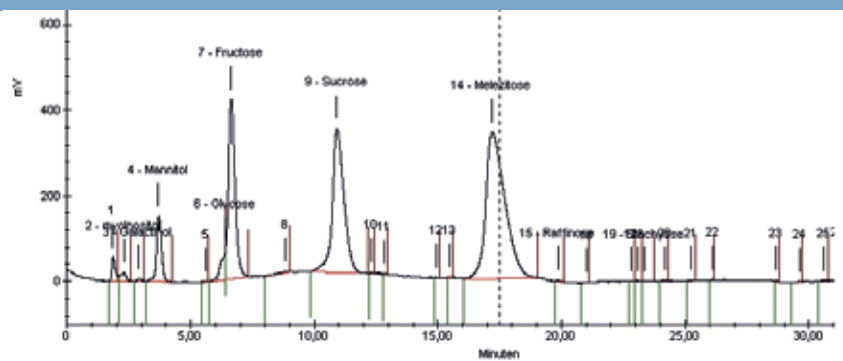
emsaft vorhanden sind und wie die Metabolite aus anderen Pflanzengewebe ins Phloem transportiert werden. Hierzu werden auf molekularbiologischer Ebene die Transportproteine untersucht.^{5,6,7}

Wo geht der Nektar hin?

Die tierischen Bestäuber nutzen den Nektar, häufig zusammen mit den Pollen der Blüten, als Nahrung. Die Honigbiene ist ebenfalls auf der Suche nach Nektar und ein Bestäuber, der von Menschen für die Honigproduktion gehalten wird. Blütenhonig entsteht, indem Bienen Blütennektar oder in geringerem Umfang auch andere süße Pflanzensäfte aufnehmen, durch körpereigene Stoffe und Prozesse verändern, in Waben speichern und dort reifen lassen. Blüten- oder Nektarhonig ist zu unterscheiden von Honigtau- oder Waldhonig. Waldhonige durchlaufen bis zu ihrer Fertigstellung mehr biologische Verarbeitungsschritte als Blütenhonig. Die Ursprungssubstanz ist kein Nektar, sondern es sind Siebröhrensäfte verschiedener Waldbaumarten, insbesondere der Nadelbaumarten.

Der Siebröhrensaft wird von verschiedenen Lausarten als Nahrung aufgesogen, wobei sie einen großen Teil in veränderter Zusammensetzung wieder in Form von Honigtau ausscheiden. Diese Honigtauausscheidung der Läuse ist erkennbar an klebrigen Blättern und manchmal „regnet“ es quasi süßen Saft. Die Läuse sind vermutlich auch für die Synthese ganz neuer Zucker, wie zum Beispiel des Trisaccharids Melezitose, verantwortlich. Bienen ihrerseits sammeln den Honigtau der Läuse und verändern seine Zusammensetzung nochmals. So gibt es mehrere organismische Ebenen und verschie-

Abb. 4: Chromatogramm einer Zuckeranalyse von Honigtau.



dene Umweltfaktoren, die die Zusammensetzung des Waldhonigs beeinflussen. Hierbei ist insbesondere von Interesse, ob eine spezielle Zuckerzusammensetzung spezifisch für Honigtau bestimmter Pflanzen- und/oder Lausarten bzw. Honigsorten ist.

Die Identifizierung von Blütenhonig erfolgt in der Regel durch die Analyse der Begleitpollen. Pollen bestimmter Pflanzenarten haben eine spezielle

Struktur und darüber kann entschieden werden, ob es sich bei der

Trachtpflanzenart für einen Honig beispielsweise um

Sonnenblumen oder Raps gehandelt hat.

Bei Waldhonig ist diese Möglichkeit der Identifizierung nicht gegeben, da kaum Pollen enthalten sind.

Daher suchen wir in einem Kooperationsprojekt (gefördert durch

das Bundesministerium für Landwirtschaft und Ernährung) nach Alternativen,

um zum Beispiel einen Fichtenhonig

von einem Tannenhonig unterscheiden zu können, was bisher nicht möglich ist. So gesehen steckt die Welt der Biologie und Biochemie quasi in einem Löffel Honig.

www.botanik.uni-wuppertal.de

Literaturhinweise

¹Kessler D, Kallenbach M, Diezel C, Rothe E, Murdock M, Baldwin IT. How scent and nectar influence floral antagonists and mutualists. *Elife* (2015) 1 (4): 10.7554/eLife.07641

²Baker HG, Baker I. Floral nectar sugar constituents in relation to pollinator type. *Handbook of experimental pollination biology* (1983): 117–141.

³Krömer T, Kessler M, Lohaus G., Schmidt-Lebuhn A. Nectar sugar composition and concentration in relation to pollination syndromes in Bromeliaceae. *Plant Biology* (2008) 10: 502–511.

⁴Lohaus G, Schwerdtfeger M. Comparison of sugars, iridoid glycosides and amino acids in nectar and phloem sap of *Maurandya barclayana*, *Lophospermum erubescens*, and *Brassica napus*. *PLoS One* (2014) 9 (1): e87689

⁵Knop C, Stadler R, Sauer N, Lohaus G. AmSUT1, a sucrose transporter in collection and transport phloem of the putative symplastic phloem loader *Alonsoa meridionalis*. *Plant Physiology* (2004) 134: 204–214.

⁶Öner-Sieben S, Lohaus G. Apoplastic and symplastic phloem loading in *Quercus robur* and *Fraxinus excelsior*. *Journal of Experimental Botany* (2014) 65 (7): 1905–1916.

⁷Voitsekhovskaja OV, Rudashevskaya EL, Demchenko KN, Pakhomova MV, Batashev DR, Gamalei YV, Lohaus G, Pawlowski K. Evidence for functional heterogeneity of sieve element-companion cell complexes in minor vein phloem of *Alonsoa meridionalis*. *Journal of Experimental Botany* (2009) 60: 1873–1883.



Perowskite – Neue Halbleiter für die Optoelektronik

von / by
Prof. Dr. Thomas Riedl



Anstelle von Glühlampen erhellen zusehends Leuchtdioden (kurz: LEDs) unsere Haushalte. Die Photovoltaik liefert einen zunehmend wichtigen Beitrag, um den weltweit steigenden Bedarf an elektrischer Energie zu decken. Nicht zuletzt verrichten Laser im weltweiten Datenverkehr über Glasfasern, in DVD-Abspielgeräten und neuerdings sogar in PKW-Scheinwerfern zuverlässig ihren Dienst. Diese Beispiele aus dem Bereich der Optoelektronik basieren auf Halbleitern, die über Jahrzehnte erforscht und optimiert worden sind. Grund, sich zurückzulehnen und sich auf den Früchten dieser Arbeit auszuruhen? Nein, denn es geht noch besser! Vor Kurzem haben neue Halbleiter aus einer Materialklasse, die man als Mineralien seit dem 19. Jahrhundert kennt, die Bühne der Optoelektronik betreten und für Furore gesorgt: die Perowskite. Das Fachmagazin SCIENCE sieht in Solarzellen auf Basis von Perowskiten gar einen der größten wissenschaftlichen Durchbrüche der jüngeren Zeit. Keine andere Solartechnologie hat jemals vergleichbare Fortschritte in einer derart kurzen Zeit erreicht. Aber Perowskite können noch mehr ...



Foto Colourbox.de

LEDs (light-emitting diodes) have replaced electric light bulbs in many of our households, photovoltaics contributes increasingly to the satisfaction of a globally rising energy demand, and lasers perform reliably in applications ranging from worldwide optical fiber communication networks, through DVD players, to – most recently – automobile headlamps. All these examples from the field of optoelectronics use semiconductors, a technology that has been researched and optimized for decades. But that's no reason to sit back and

take it easy: there's always room for improvement. New semiconductors based on a class of minerals known since the 19th century have recently been causing a stir in the optoelectronics world: Perovskites. The renowned journal SCIENCE even ranks solar cells on the basis of perovskites as one of the greatest scientific breakthroughs of the age. No other solar technology has made comparable progress in so short a time. But perovskites can do even more ...

Gerade einmal zwei Jahre ist es her, dass 2014 der Nobelpreis für Physik an die Japaner Isamu Akasaki, Hiroshi Amano und Shuji Nakamura verliehen wurde. Sie wurden ausgezeichnet für die Erfindung effizienter blauer Leuchtdioden (LEDs), welche den Schlüssel für energiesparende Weißlichtquellen darstellen. Das Ergebnis dieser herausragenden Arbeiten kann man heute in jedem Baumarkt finden. Dem Erfolg gingen jahrzehntelange Forschungsarbeiten voraus, die vor allem auf das Halbleitermaterial fokussiert waren.

Halbleiter sind in ihren elektrischen Eigenschaften zwischen Isolatoren und Metallen angesiedelt und bilden als Materialklasse die Grundlage unserer heutigen Elektronik. Besagter Halbleiter für weiße LEDs besteht aus Gallium und Stickstoff, dem sogenannten Galliumnitrid (GaN), welches in Vakuumprozessen bei Temperaturen um die 1000 °C auf kristallinen Saphirscheiben aufgewachsen wird. Neben LEDs werden daraus auch die Laserdioden in BlueRay® DVD-Spielern hergestellt.

Das Marktvolumen für Lichtemitter auf Basis von GaN ist gigantisch. Ähnlich verhält es sich mit Solarzellen und Solarmodulen, welche heute überwiegend aus dem prominentesten Halbleiter überhaupt, nämlich Silizium, aufgebaut sind. Silizium-Solarzellen gelten inzwischen als „ausoptimiert“, signifikante Verbesserungen ihrer Effizienz („wieviel Watt elektrischer Leistung bekomme ich pro Watt eingesammelter Sonnenleistung“) sind kaum noch zu erwarten. Allenfalls kann man auf einen weiteren Preisverfall hoffen, wodurch sich der Güteparameter „wieviel Watt elektrischer Leistung bekomme ich pro Euro Modulkosten“ weiter verbessern wird. Klingt, als wäre das Thema für die Materialforschung erledigt? Weit gefehlt!

In den vergangenen drei Jahren haben Berichte über neuartige Solarzellen die Photovoltaik-Szene in Aufruhr versetzt. Diese Solarzellen müssen nicht bei 1000 °C hergestellt werden, es genügen Temperaturen unter 100 °C, und man benötigt keine aufwändigen Vakuumanlagen, sondern kann bequem und kostengünstig auf Lösungsprozesse zurückgreifen. Damit stehen Beschichtungsverfahren wie Drucken, Tauchen oder Sprühen zur Verfügung. Zudem können große Flächen beschichtet werden, was etwa mit einkristallinem Silizium im Wortsinne nur „scheibchenweise“ möglich ist. Aufgrund der geringen Herstellungstemperaturen bieten sich sogar flexible Foliensubstrate als Träger für die Solarzelle an, die selbst nur etwa 1 Mikrometer (1 millionstel Meter) dick ist. Und nun der Knaller: Mit einer Effizienz von mehr als 22 %¹ spielen diese neuen Solarzellen in derselben Liga wie Silizium. Was verbirgt sich hinter diesen neuen Solarzellen? Eine neue oder besser gesagt eine wiederentdeckte Materialklasse: Perovskite.

Perovskite sind im Grunde Mineralien, die im 19. Jahrhundert von dem Deutschen Gustav Rose zuerst am Beispiel des Calciumtitanat (CaTiO_3) beschrieben und von ihm nach dem russischen Mineralogen Lew Perowski benannt wurden. Allen Perowskiten gemeinsam ist die charakteristische Perowskit-Kristallstruktur. Beispielhaft sind mit der Formel ABX_3 beschriebene Vertreter in Abbildung 1 dargestellt. Technologisch relevant sind etwa das Bariumtitanat (BaTiO_3 , in diesem Beispiel ist dann A = Barium [Ba], B = Titan [Ti] und X = Sauerstoff [O]) und verwandte Verbindungen, die aufgrund ihrer ferroelektrischen und piezoelektrischen Eigenschaften in der Aktuatorik, Sensorik und z. B. auch in Piezozündern eingesetzt werden. Den Nobelpreis in

Perowskite – Neue Halbleiter für die Optoelektronik

Physik haben die Deutschen Bednorz und Müller 1986 für die Entdeckung von Hochtemperatursupraleitung erhalten – das Material war eine Mehrkomponentensubstanz mit Perowskit-Struktur.

Nun also neuartige Perowskit-Halbleiter für Solarzellen? Ganz neu sind auch Perowskit-Halbleiter nicht. Bereits 1958 berichtet der Däne Møller über Fotoleitung in CsPbX_3 (wobei $X = \text{Cl}^-$, Br^- , oder I^- sein kann),² eine grundlegende Eigenschaft von Halbleitern, deren elektrische Leitfähigkeit zunimmt, wenn man sie mit Licht bestrahlt. 1978 beschreibt Weber vom Max Planck Institut in Stuttgart sogenannte hybride Perowskite, in denen die Caesium-Kationen durch organische Kationen ersetzt wurden, hier z. B. durch Methylammonium-Ionen (CH_3NH_3^+), sodass man $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbX}_3$ erhält. Auf Abbildung 1 bezogen ist $A = \text{CH}_3\text{NH}_3^+$, $B = \text{Pb}^{2+}$, und $X = \text{Cl}^-$, Br^- , oder I^- .³ Es war gerade das Methylammoniumbleiiodid ($\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$, oder kurz MAPbI_3), das vor etwa vier Jahren eine gewaltige und bis heute anhaltende Euphorie in der Photovoltaik-Community auslöste. Wissenschaftler an der Universität von Oxford und der EPFL Lausanne berichteten beinahe gleichzeitig über effiziente Solarzellen auf Basis von MAPbI_3 .⁴

Das Besondere an MAPbI_3 ist seine sehr einfache Herstellung aus Lösung unter Verwendung besonders kostengünstiger und leicht verfügbarer Ausgangsstoffe. Um ein Beispiel zu geben: MAPbI_3 wird aus Bleiiodid (PbI_2), einem gelben Pigment, das früher in Farben („Bleigelb“) verwendet wurde, und Methylammoniumiodid (MAI) hergestellt. Beide Ausgangssubstanzen werden in Dimethylformamid (DMF), einem großtechnisch weit verbreiteten Lösemittel, gelöst und mit üblichen Nassbeschichtungstechniken auf nahezu be-

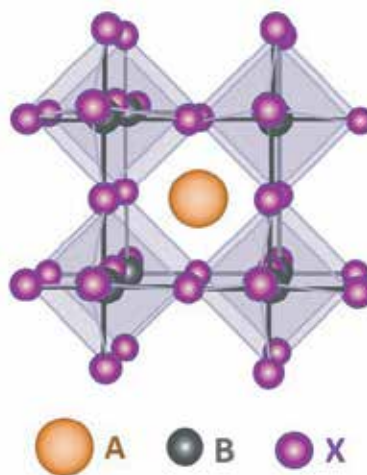
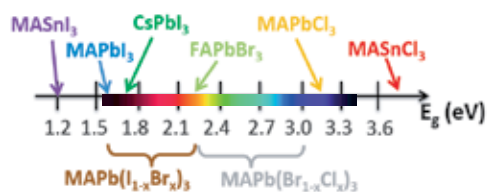


Abb. 1: ABX_3 Perowskit-Kristallstruktur und Möglichkeiten der Variation der Bandlückenenergie E_g über die Komposition der Perowskite.



liebige Trägermaterialien aufgebracht. Die aufgetragene Mischung wandelt sich bereits nach kurzer Wärmebehandlung ($70\text{--}100^\circ\text{C}$) und nach dem Verdampfen des Lösemittels in den Perowskit MAPbI_3 .

Wirklich bemerkenswert ist die Beobachtung, dass das entstandene Material eine herausragende Qualität aufweist. Das übliche Paradigma der Halbleiterphysik ist, dass man möglichst defektfreie Halbleiter nur bei sehr hohen Temperaturen herstellen kann. Defekte, oder genauer gesagt Kristalldefekte, die in ihrer Natur sehr vielfältig sein können, führen in der Regel dazu, dass ein defektbehafteter Halbleiter ab einer gewissen

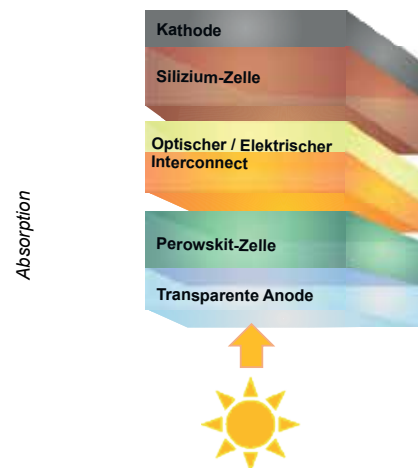
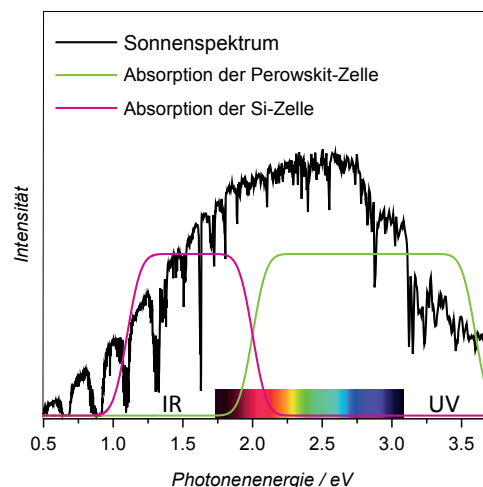
Defektkonzentration für die Herstellung effizienter LEDs und Solarzellen nicht mehr verwendet werden kann. Anregungszustände des Halbleiters, die in der LED zur Lichtemission oder in der Solarzelle zu elektrischem Strom führen sollen, werden durch Defekte bevorzugt in Wärme umgewandelt und sind somit für die Funktionalität des Bauelementes verloren – die Effizienz sinkt dramatisch. Im Bereich der klassischen Halbleiter für die Optoelektronik (GaN oder Galliumarsenid [GaAs]) versucht man mit aufwändigen Verfahren und besonders reinen (und damit extrem teuren) Ausgangssubstanzen weniger als einen Kristalldefekt pro 100 Millionen Kristallatomen zu erreichen.

Bei den vergleichsweise „schmutzig“ hergestellten Perovskiten scheinen Defekte hingegen weniger problematisch zu sein. Jedenfalls müssen Perovskite wie

MAPbI₃ oder MAPbBr₃ hinsichtlich ihrer optoelektronischen Eigenschaften den Vergleich mit aufwändig hergestelltem GaAs nicht scheuen. Die Ursache für diese hohe Qualität ist derzeit noch Gegenstand sehr intensiver Forschung. Entweder hat die Perovskit-Struktur ein sehr großes intrinsisches Bestreben, defektfreie Halbleiter zu bilden, oder aber die – vielleicht sogar in großer Zahl – gebildeten Defekte wirken sich nicht nachteilig auf die optoelektronischen Eigenschaften des Materials aus. Beides wäre für die Anwendung in Solarzellen und auch in lichtemittierenden Bauelementen ein „Geschenk“ der Natur. So konnten innerhalb sehr kurzer Zeit Effizienzrekorde für flüssig prozessierte Solarzellen erreicht werden.

Ein besonders großes Potenzial wird derzeit in der Kombination von Perovskit-Zellen mit etablierten Si-

Abb. 2: Konzept der Tandemzelle, bei der eine Perovskit-Zelle mit einer Silizium-Zelle kombiniert wird. Durch die spektral unterschiedliche Absorption des Sonnenspektrums durch die einzelnen Teilzellen, können Verluste reduziert und damit die mögliche Effizienz der Tandemzelle gesteigert werden.



Perowskite – Neue Halbleiter für die Optoelektronik

luziummodulen in Form sogenannter Tandem-Anordnungen gesehen. Die Idee dahinter: Silizium hat eine feste Bandlückenenergie E_g von ca. 1.1 Elektronenvolt (eV). Absorbiert das Silizium ein Lichtteilchen (ein sog. Photon) mit einer Energie von z. B. 2.3 eV – das entspricht etwa grünem Licht – dann ist die Energiedifferenz von $2.3 \text{ eV} - E_g = 1.2 \text{ eV}$ und damit mehr als die Hälfte der Energie des Lichtteilchens für die Wandlung in elektrische Energie verloren. Somit kann eine Siliziumzelle theoretisch nur eine Effizienz von etwa 33 % erreichen (das sog. Shockley-Queisser Limit⁵). Durch weitere parasitäre Effekte bleiben dann im besten Fall noch 25 %. Nutzt man nun aber eine Tandemstruktur, so kann man die höherenergetischen Lichtteilchen durch eine Solarzelle, deren Bandlückenenergie deutlich größer ist (z. B. 1.8 eV), absorbieren und in elektrische Energie wandeln. Photonen mit einer Energie von weniger als 1.8 eV werden von dieser Zelle nicht absorbiert und an die benachbarte Silizium-Zelle weitergeleitet. In dieser Tandemkonfiguration kann das Sonnenspektrum effizienter ausgenutzt werden und das theoretische Effizienzlimit erhöht sich auf ca. 40 %.

Ökonomen zitieren gerne die Erkenntnis: „There is no such thing as a free lunch“, was so viel bedeutet wie: Nichts ist umsonst. Das gilt leider auch im Bereich der Perowskite. Der einfachen Herstellung bei geringen Temperaturen steht leider auch der umgekehrte Prozess gegenüber, nämlich die Zersetzung z. B. von MAPbI_3 in seine Ausgangssubstanzen bei Temperaturen im Bereich von 85 °C. Da Solarzellen in direkter Sonne durchaus in diesen Temperaturbereich gelangen können, ergibt sich ein massives Problem. Folglich konzentriert sich die Forschung an Perowskit-Solarzellen derzeit besonders

auf die Erhöhung der Langzeitstabilität. Dies gelingt über die Verwendung sogenannter Misch-Perowskite, bei denen die Komponente A nun aus einem Mix von Kationen besteht (z. B. Cs, Formamidinium, und Methylammonium). Und auch bei der Halidkomponente X nutzt man einen Mix aus Iod und Brom.

Am Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente der Bergischen Universität werden im Rahmen eines Projektes zudem besonders robuste Bauelementstrukturen für Perowskit-Solarzellen erforscht. Die Idee dahinter ist es, den empfindlichen Perowskit durch sogenannte Permeationsbarriereschichten hermetisch zu versiegeln. Dazu wurden von uns elektrisch leitfähige Barrieren entwickelt, die sich als funktionale Schichten in das Bauelement integrieren lassen und den Perowskit vor Einflüssen der Außenwelt schützen und gleichzeitig seiner Dekomposition Einhalt gebieten. Zudem schützen diese Barrieren den Rest der Zelle vor korrosiven Dekompositionsprodukten (z. B. Iodwasserstoff). Mit diesem Konzept ist uns bereits eine signifikante Steigerung der Langzeitstabilität selbst bei erhöhten Temperaturen gelungen.

Eine weitere Herausforderung ist das in den Perowskiten enthaltene Blei, dessen Verwendung in vielen Ländern strengen Auflagen oder gar Verboten unterliegt. Ansätze, das Blei durch Zinn zu ersetzen, haben bislang noch nicht den gewünschten Erfolg gebracht – die Effizienz liegt derzeit gerade mal bei 6%. Zudem neigt das Zinn besonders stark zur Oxidation, was keine gute Voraussetzung für eine hohe Langzeitstabilität darstellt. Hier existiert noch enormes Forschungspotenzial.

Vor dem Hintergrund der bereits erzielten Erfolge der Perowskit-Photovoltaik muten die ebenfalls vor kurzem erschienenen Berichte zu Lasertätigkeit in eben

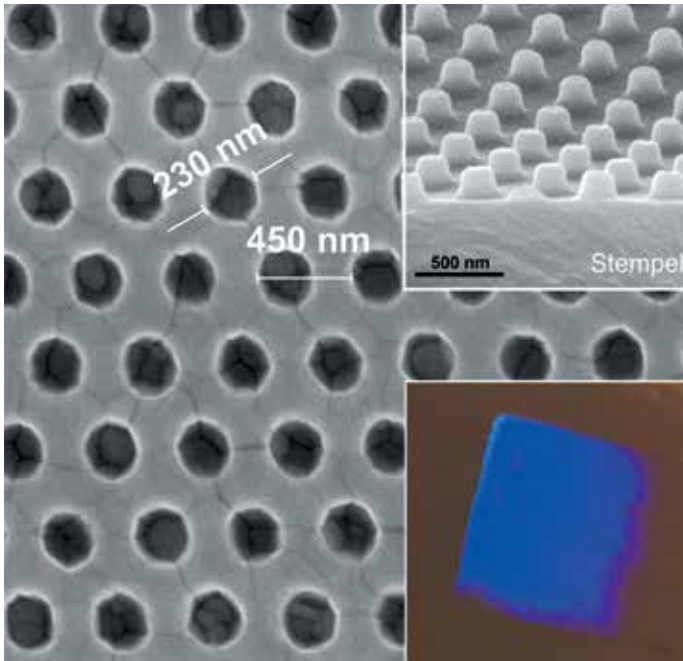


Abb. 3 Elektronenmikroskopieaufnahme eines photonischen Kristalls, welcher in einer Perowskit-Schicht mittels Nanoimprintlithographie erzeugt worden ist. (Der zugehörige Stempel ist in der oberen rechten Ecke dargestellt. Unten rechts sieht man die Lichtbeugung durch die Strukturierung.)

diesen Organometall-Halid Perowskiten beinahe wie eine Randnotiz an. Dabei lassen erstaunlich hohe Effizienzen für die Lichtemission aufhorchen. Die Gruppe um M. Grätzel (EPFL Lausanne) schließt ihren Beitrag in NATURE: „... our findings indicate that the simple solution-processed $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbX}_3$ may hold the key to realizing electrically driven solution-processed on-chip coherent light sources.”⁶

Es ist zu erwarten, dass diese spektakuläre Perspektive Laser auf Basis von Organometall-Halid Perowskiten binnen Kürze in das Rampenlicht der Photonikforschung rücken wird. Was macht Perowskit-Laser so besonders? Sie können ebenso wie die Solarzellen aus Lösung pro-

zessiert werden und stellen aufgrund ihrer spektralen Durchstimmbarkeit Laserdioden in Spektralbereichen in Aussicht, in denen es bislang noch keine kommerziellen Laserdioden gibt (530–600 nm: Grün-Orange).

Der Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente erforscht in den kommenden zwei Jahren im Rahmen eines vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projektes⁷ die Physik und Technologie solcher Perowskit-Laser. In diesem Rahmen ist es in Zusammenarbeit mit der Gruppe von Prof. Dr.-Ing. Hella-Christin Scheer (Mikrostrukturtechnik, Bergische Universität) erstmals gelungen, mittels thermischer Nanoimprintlithographie photonische Kristallstrukturen direkt in MAPbI_3 zu erzeugen (Abb. 3) und auf diesem Weg einen Perowskit-Laser mit einer besonders niedrigen Laserschwelle zu realisieren. Damit ist ein weiterer wichtiger Schritt im Rennen um die weltweit ersten Perowskit-Laserdiode getan. Der Tisch ist für die Zukunft also reichlich mit Forschungsthemen rund um Perowskite gedeckt!

www.lfeb.uni-wuppertal.de

Literaturhinweise

¹National Renewable Energy Laboratory, Best Research-Ce II Efficiencies chart; www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg.

²Nature 182, 1436 (1958).

³Z. Naturforsch. 33 b, 1443 (1978).

⁴Science 338, 643 (2012), Scientific Reports 2, 591 (2012).

⁵J. Appl. Phys. 32, 510 (1961)

⁶Nature Materials 13, 476 (2014)

⁷Förderkennzeichen: 13N13819

Welche Natur brauchen wir für ein gutes Leben?

von / by

Prof. Dr. Gerald Hartung und / and Klaus Feldmann



Die Frage, was Natur ist und welche Bedeutung sie für uns hat, ist angesichts der in jüngster Zeit verstärkt auftretenden ökologischen Krisen, zumeist von Industriestaaten ausgelöst, zu einem zentralen Thema in der Öffentlichkeit, aber auch in verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen avanciert. Dabei lässt sich bei den Diskursakteuren eine zunehmende Spannung der unterschiedlichen Deutungsmuster beobachten. So wird einerseits die Naturalisierung von Kultur, andererseits die Kulturalisierung von Natur propagiert. Wir folgen nicht dieser aufs Allgemeine abzielenden Fragestellung, sondern analysieren stattdessen neben den begriffstheoretischen Voraussetzungen auch die ethischen, politischen und pädagogischen Konsequenzen unserer Naturverhältnisse. Wir fragen nach den Bedeutungen unserer Unterscheidung von „natürlich/künstlich“, wenn wir beispielsweise Fragen der Landschaftsgestaltungen, des Lebens in städtischen und ländlichen Räumen wie auch Fragen der Erziehung, der Ernährung und des Mensch-Tier-Unterschiedes behandeln.

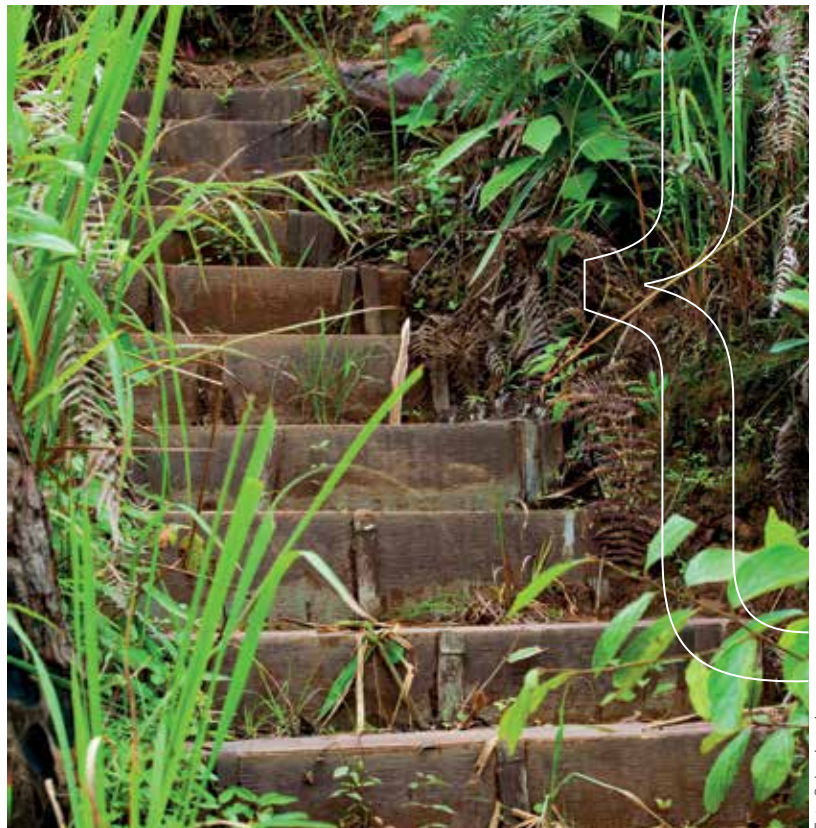


Foto Colourbox.de

{ 'The natural life is the good life'. But what do we mean by nature? }

In view of the increasing ecological crises of our time – mostly caused by the industrialized nations – scientists from a wide range of disciplines, as well as many laypeople, are asking what nature is and what it means for us. The debate has two broadly opposing tendencies, with advocates subscribing either to the naturalization of culture or to the acculturation of nature. Rather than pursuing the issue in these general terms, however, we extend our analysis from the underlying theoretical concepts to the ethical, political and educa-

tional consequences of our stance toward nature. We ask, for example, what is meant by the distinction between the natural and the artificial in the context of landscape, of urban versus rural living, or of nutrition. What differences are there between humans and animals in this respect? And what are the educational implications of these distinctions?

Unser Forschungsprojekt wird von der Robert-Bosch-Stiftung im Rahmen des Förderprogramms Denkwerk unterstützt. Es handelt sich um eine Projektpartnerschaft der Bergischen Universität, dem Gymnasien Am Kothen und dem Carl-Fuhlrott-Gymnasium in Wuppertal. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wollen wir gemeinsam mit Wissenschaftlern, Schülerinnen und Schülern sowie Studierenden die Frage „Welche Natur brauchen wir für ein gutes Leben?“ erörtern und versuchen, auf diese Weise Bedeutungsaspekte von Natur im 21. Jahrhundert zu bestimmen. Zum einen arbeiten wir in Orientierungskursen zusammen, in denen wir die theoretischen und praktischen Grundlagen eines bewussten und nachhaltigen Umgangs mit Natur als Umwelt des Menschen erörtern. Ferner machen wir Schülerinnen und Schüler sowie Studierende mit verschiedenen methodischen Zugängen der unterschiedlichen wissenschaftlichen Teilbereiche vertraut. Dabei machen wir am Beispiel unserer Rede über und unseres Umgangs mit Natur die Erfahrung einer Diskrepanz zwischen einer vermeintlichen alltagsprachlichen Vertrautheit und hochdifferenzierten Wissenschaftssprachen. Unser Ziel ist es, Schülerinnen und Schülern sowie Studierenden als künftiger Generation von Entscheidern in Lebenswelt, Politik und den Institutionen der Wissenschaft und des Unterrichts darauf vorzubereiten, dass ethische Reflexion und politisches Handeln in Bezug auf Natur vor der Herausforderung steht, die Kluft zwischen Verfügungs- und Orientierungswissen zu erkennen.

Wir möchten mit unserem Projekt den Blick auf eine Pluralität unseres Naturverständnisses richten, um bei den Schülern und Studierenden ein Nachdenken darü-

ber zu motivieren, dass Natur für uns Menschen kein gegebenes Etwas war und ist, sondern aktuell ein Aufgabenfeld des verantwortlichen Handelns und der Gestaltung des eigenen, guten Lebens. Diese Thematik kann nur vor einem interdisziplinären Arbeitshintergrund behandelt werden. Wir verfolgen das Ziel, gemeinsam mit Schülern und Studierenden Einblicke in die historisch gewachsenen Formen des Naturverständnisses (Evolution), der Gestaltung von Natur (Kunst, Architektur) und des verantwortlichen Umgangs mit Natur (Klimapolitik, Umweltethik) zu erarbeiten.

Das Forschungsprojekt ist als eine fortlaufende und nachhaltige Netzwerkstruktur zwischen der Fachgruppe Philosophie der Bergischen Universität Wuppertal und verschiedenen Schulen im Fach Philosophie angelegt. Es ist darauf ausgerichtet, Schüler und Studierende für kleinere Forschungsprojekte im Gebiet der Philosophie, insbesondere der Naturphilosophie, der philosophischen Anthropologie, der Umwelttheorie und der Ethik zu aktivieren. Durch den Kontakt zwischen den kooperierenden Schulen und der Universität soll eine nachhaltige und langfristige Vernetzung aufgebaut werden – einerseits für die Universität, da sich neben der innovativen Kraft der Schülerinnen und Schüler Lehramtsstudierende im Umgang mit diesen jenseits von institutionellen Zwängen bei Praktika erproben können – andererseits für die Schulseite, da ihre Vertreterinnen und Vertreter an Forschungskontexten partizipieren können und ein universitäres Fach ggf. für ihre Berufswahl kennenlernen und sich im Wissenschaftsbetrieb erproben können.

Das zunächst für die Dauer von drei Jahren (2016–2018) angelegte Projekt umfasst drei Schwerpunktthe-

Welche Natur brauchen wir für ein gutes Leben?



men: Natur-Kultur-Differenz (1), Theorie der Ökosysteme und Umweltethik (2) und die Frage der Bedeutung von Natur für ein gutes Leben (3), die jeweils in Jahreseinheiten bearbeitet werden. Forschungsfragen, die wir gemeinsam erarbeiten und denen wir im Rahmen der Projektarbeit nachgehen, lauten beispielsweise:

- Was verstehen wir unter Natur?
- Welche gesellschaftlichen Faktoren sind für unser Verständnis von Natur wirksam?
- Wie verändert sich unser Naturverständnis in der Zeit, beispielsweise im Wechsel der Generationen?
- Welche unterschiedlichen Bedeutungen hat Natur für uns – z.B. als Wildnis, einzigartige Kulturlandschaft, normatives Regulativ oder utopisches Moment?
- Welche Unterscheidung treffen wir ganz selbstverständlich in unserer Alltagswelt, wenn wir manche Phänomene und Praktiken als natürlich oder künstlich oder unnatürlich ausweisen?



Foto Colourbox.de

- Hat Natur eine Eigenbedeutung und einen Eigenwert oder ist Natur einfach nur die Umwelt des Menschen?
- Wie könnten die Leitlinien einer zeitgemäßen Ethisierung unseres Umwelthandelns aussehen?
- Was könnten die Methoden und Ziele einer Pädagogik des Umwelthandelns sein?
- Wozu brauchen wir Natur – heutzutage und zukünftig für ein gutes Leben?

- Setzt unser Konzept eines guten Lebens ein bestimmtes Verhältnis zu, einen bestimmten Umgang mit Natur voraus?

Die Gliederung eines Jahres wiederholt sich strukturell in jedem Jahr, sodass ein flexibler Arbeitsrahmen für die Mitwirkenden und alle Beteiligten entsteht. Jede Jahreseinheit erstreckt sich über ein Studien- bzw. Schuljahr und beginnt nach vorbereitenden Vorarbeiten im Oktober mit einem Auftaktworkshop zu entsprechenden Schwerpunktthemen. Im Vorfeld der Workshops werden von den eingebundenen Lehrerinnen und Lehrern die Perspektiven der Schüler in Bezug auf das Schwerpunktthema des jeweiligen Jahres systematisch erfasst, so dass deren Lebenswirklichkeiten Impulse für das Projekt liefern können. Um den Horizont unserer Debatten zu erweitern, werden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler verschiedener Disziplinen (Ökologie, Landschaftsplanung, Umweltpädagogik u. a.) eingeladen, um gemeinsam mit ihnen Frage- und Problemperspektiven ihrer jeweiligen wissenschaftlichen Forschungsansätze im Rahmen von Workshops und/oder Exkursionen erörtern zu können.

Am Projekt beteiligt sind Dr. des. Klaus Feldmann, StR i.H., Prof. Dr. Gerald Hartung sowie als Mitarbeiter Nils Höppner, M.Ed., und als studentische Hilfskräfte Anna Lena Schmidt und Firat Yildirim (alle Bergische Universität Wuppertal). Von den beteiligten Gymnasien wirken mit: Mirca Szigat, StR' (seit Januar 2016: Gymnasium Am Kothen) und Eva Ledwig, StR' (seit August 2016: Carl Fuhlrott Gymnasium).

www.denkwerk.uni-wuppertal.de

Kleine Einzeller ganz groß

von / by

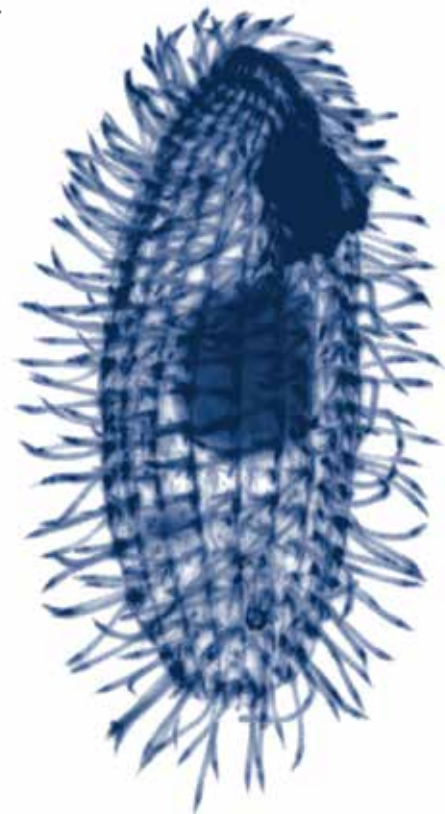
Prof. Dr. Angelika Preisfeld und / and Sebastian Scherdin



Kläranlagen stellen aufgrund der Abwasserzusammensetzung aus verschiedenen Einleitern bei der Modifikation und Freisetzung von Bakterien und besonders durch die Exposition von humanpathogenen Mikroorganismen in die Oberflächengewässer ein erhebliches Gefahrenpotenzial dar. Daher sollten Maßnahmen zur Reduktion der Belastung durch pathogene Mikroorganismen auch nach Durchlaufen der letzten Klärstufe weiterhin angestrebt und beforscht werden.

Vor allem sind es die multiresistenten Bakterien, die wir aus den Medien kennen und mit Krankheiten wie z.B. Lungenentzündungen in Krankenhäusern in Verbindung bringen, die Betreiber von Kläranlagen vor eine große Herausforderung stellen. Diese potenziell humanpathogenen Mikroorganismen finden im Abwasser und besonders in Kläranlagen ideale Bedingungen für den Erwerb von Antibiotikaresistenzen vor. Daher ist es von großer Bedeutung, auch das bereits geklärte Abwasser noch von den verbliebenen Bakterien weitgehend zu befreien, bevor es in die Gewässer entlassen wird. Das filtrierende Wimpertierchen *Tetrahymena pyriformis* ernährt sich von Bakterien, die es dadurch wie ein „biologisches Filtersystem“ aus dem Abwasser eliminiert.

Im hier dargestellten Forschungsprojekt wird ein biotechnologisches Verfahren zur Bakterienreduktion durch *Tetrahymena* (Abb. 1) und seine Erprobung im halbtechnischen Maßstab vorgestellt.



Sewage treatment plants and other constructed wetlands have to cope with effluent from a variety of sources. Because of its composition, this provides an ideal environment for the modification of bacteria and the development of antibiotic resistances. Especially surface water exposes pathogenic microorganisms, whose release constitutes a considerable health risk to humans. The main challenge for filtration plants is the multiresistant bacteria that have recently gained publicity in connection with cases of pneumonia in hospitals. The

development of measures to reduce this risk is an important research task.

Here, it is essential to free the already treated water from remaining bacteria before it leaves the filtration plant. The ciliate protozoan *Tetrahymena pyriformis*, which feeds on these bacteria, serves as a biological filter, effectively cleansing wastewater. The research project comprises a biotechnological procedure for the reduction of bacteria with *Tetrahymena* (Fig. 1), together with its testing on a semi-technical scale.

Kläranlagen stellen sogenannte „Hot-Spots“ dar, wenn es um die Entstehung von Bakterien mit Mehrfachresistenzen, sogenannte multiresistente Keime, geht. Die dort herrschenden Bedingungen, wie die extrem hohe Bakteriendichte und somit die Konkurrenz um Nährstoffe und Lebensraum, führen zu erheblichem Stress unter den Bakterien. Dadurch kann sich zum einen die Mutationsrate erhöhen, weil das Korrekturlesen der DNA geschwächt wird. Zum anderen können Bakterien untereinander genetische Informationen, wie Resistenzen gegenüber Antibiotika, übertragen. Bei gleichzeitigem Vorliegen vielfältiger Resistenzgene, die mit den unterschiedlichsten Bakterienspezies über das Abwasser in die Kläranlagen gelangt sind, sowie dem enorm hohen Selektionsdruck durch die ebenfalls mit dem Abwasser eingebrachten Antibiotika z. B. aus Krankenhäusern oder der Massentierhaltung, werden Mehrfachresistenzen bei vielen Bakterienarten begünstigt.

Die Konsequenz ist, dass die Bakterien, die mehrere Antibiotika gleichzeitig tolerieren können, einen deutlich größeren Reproduktionserfolg – auch im Abwasser – haben, da sie nicht ohne Weiteres zu eliminieren sind und somit ein großes Ausbreitungspotenzial besitzen.¹ Trotz der bereits fortgeschrittenen weiten Verbreitung der Resistenzgene im Genpool der Natur wird jede zusätzliche Verminderung des weiteren Eintrags für unbedingt notwendig erachtet, um direkte Konsequenzen auf die menschliche Gesundheit abzuschwächen. Zurzeit sterben allein in Europa und den Vereinigten Staaten von Amerika mindestens 50.000 Menschen jährlich an multiresistenten Keimen, die von den Antibiotika nicht eliminiert werden können und somit ein geschwächtes Immunsystem überfordern.²

Auf dieser Grundlage sollte die Technik der Abwasserklärung trotz einer Reduktion der Bakterien von zumeist über 99 Prozent so gestaltet werden, dass eine Exposition in die Natur und damit auch der Kontakt des Menschen mit antibiotikaresistenten Bakterien noch stärker vermieden wird. Tatsache bleibt, dass immer noch einige Millionen Bakterien pro Milliliter Abwasserablauf aus den Kläranlagen in die Gewässer gelangen.

Die Eliminationsgrundlage von Mikroorganismen dieses biotechnologischen Verfahrens basiert auf dem Einsatz des Wimpertierchens (Ciliophora) *Tetrahymena pyriformis* (EHRENBERG, 1830) FURGASON, das nicht pathogen ist und ubiquitär im Süßwasser vorkommt. *Tetrahymena* ist genetisch, zellbiologisch und molekularbiologisch ein extrem gut charakterisierter eukaryotischer Einzeller, der sich unter geeigneten Bedingungen sehr erfolgreich und schnell kultivieren lässt.³

Tetrahymena besitzt, im Gegensatz zu den meisten Organismen, zwei durch Hüllmembranen begrenzte Zellkerne, die als Ort der genetischen Vererbung (Mikronucleus) und als Ort der zielgerichteten Genregulation (Makronucleus) dienen (Abb. 1, S. 24). Ihre Erscheinung ist keulen- bzw. birnenförmig und ihr gesamter Zellkörper ist mit Wimpern überzogen, die der Fortbewegung und dem Heranstrudeln von Nahrungspartikeln dienen. Sie ernähren sich bevorzugt von Bakterien, können aber auch gelöste Nährstoffe aus einem fluiden Medium aufnehmen. Aufgenommene Bakterien werden mitsamt ihrem genetischen Material in Nahrungsvakuolen verdaut, sodass weiterer genetischer Austausch zwischen verschiedenen Bakterien unterbunden wird (Abb. 2, S. 24).

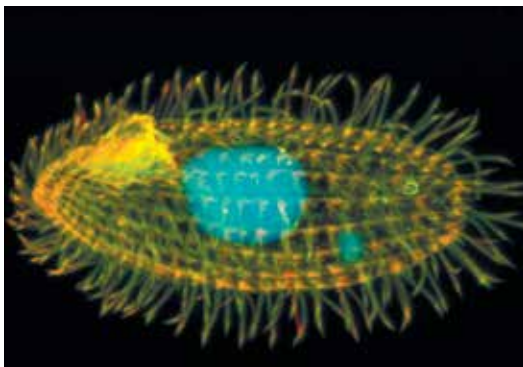


Abb. 1: Das Wimpertierchen *Tetrahymena*. Sichtbar sind die Cilien sowie das Mundfeld (gelb), der Makronucleus und der Mikronucleus (blau) (Robinson R 2006: Ciliate Genome Sequence Reveals Unique Features of a Model Eukaryote, PLoS Biology Vol. 4/9/).

Modellversuche im Labor

Die Laborversuche im Bioreaktor zeigten, dass *T.pyriformis* in synthetischem und realem Abwasser überleben und sich unter den in Kläranlagen herrschenden chemischen und thermischen Bedingungen erfolgreich reproduzieren kann. Im Modellversuch dezimieren sie sehr effektiv Laborstämme der drei humanpathogenen Modellbakterienarten *Escherichia coli* (Darmerkrankungen), *Pseudomonas putida* (unspezifische Infektionskrankheiten) und *Bacillus subtilis* (Lebensmittelvergiftungen, Darmerkrankungen), die mit ihren morphologischen Eigenschaften diejenigen typischer Abwasserbakterien repräsentieren. Bei einmaliger Bakterienzugabe über 60 Stunden zeigte sich, dass *T.pyriformis* die Bakterien erfolgreich reduziert, auch wenn nur noch wenige Bakterien als Nahrung vorhanden sind (Abb. 3).

Da es in Kläranlage aber stets schwankende Konzentrationen an Abwasser mit Bakterien gibt, haben wir überprüft, ob *T.pyriformis* bei einem kontinuierlichen Zufluss von Bakterien gemeinsam mit dem Abwasser weiterhin als Filtersystem effektiv sein kann. In Abbildung 4 ist zu erkennen, dass *T.pyriformis* die *E.coli*-Menge auch bei kontinuierlichem Zufluss definierter Konzentrationen von *E.coli* reduziert. Durch den Verdünnungseffekt des zugeführten Abwassers und die durch *T.pyriformis* abnehmenden Bakterienzahlen werden die Schwankungen im natürlichen System simuliert. Die Konzentration an *T.pyriformis* nimmt zunächst ab, pendelt sich aber nach 30 Stunden auf einem nahezu stabilen Niveau ein. In dieser Phase wird die Bakterienkonzentration trotz kontinuierlicher Zugabe niedrig gehalten. Das bedeutet, dass *T.pyriformis* die zugesetzten Bakterien effektiv eliminiert.

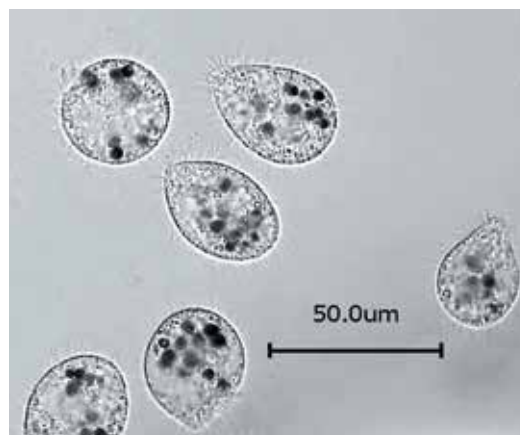


Abb. 2: *Tetrahymena* nach der Nahrungsaufnahme mit gefüllten Nahrungsvakuolen.

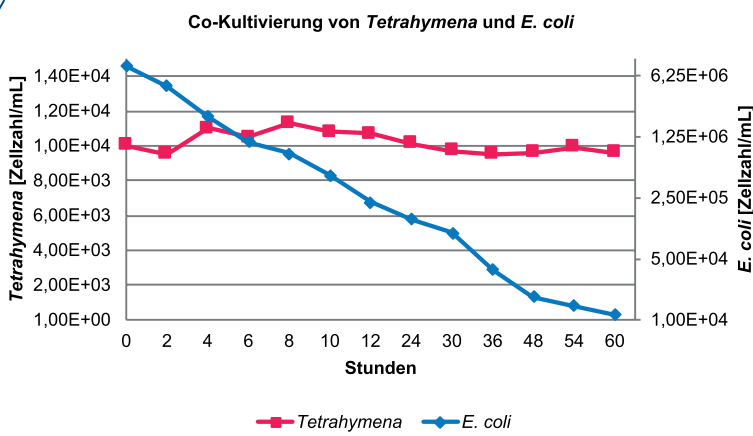


Abb. 3: Verlauf der Konzentration von *T. pyriformis* und *E. coli* in Abhängigkeit von der Zeit im modellierten Laborversuch.

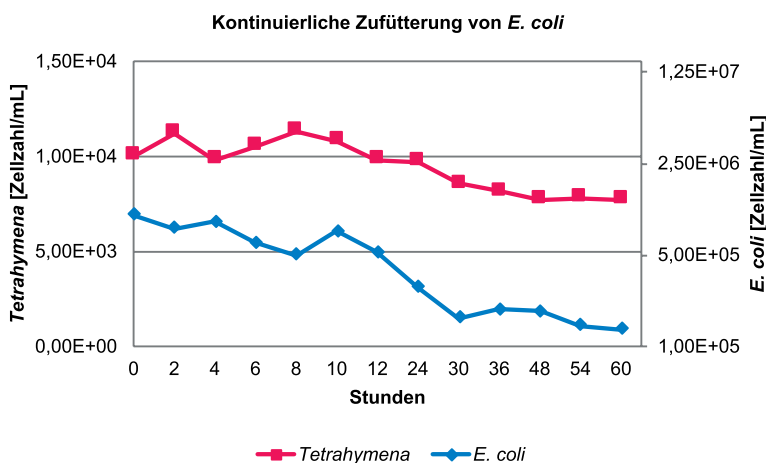


Abb. 4: Kontinuierlicher Zufluss von *E. coli* in synthetischem Abwasser.

Die praktische Umsetzung

Die Arbeiten wurden auf der Halbtechnischen Kläranlage Neuss (Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen) durchgeführt. Die Versuchskläranlage wird von Rohabwasser der Kläranlage Neuss-Süd gespeist, das mechanisch vorgereinigt ist und dem Ablauf des Sand- und Fettfangs entnommen wird. Für die Versuche wurde die Versuchsstraße so gestaltet, dass nach einer vorgeschalteten Denitrifikationsstufe die konventionelle Nachklärung folgte, deren sedimentierte Rücklaufschlämme der Denitrifikation zugeführt wurden (Abb. 5, S. 26).

Das *Tetrahymena*-Reaktionsbecken (Abb. 6, S. 26) wurde über eine Schlauchpumpe aus einem Vorratstank mit Abwasser der Nachklärung gespeist und mit einem Volumen von 240 Litern betrieben. Es wurde mit *T. pyriformis* angeimpft, welche nach kurzer Adaptionsphase maximale Wachstumsgeschwindigkeiten erreichten. Danach konnte das Reaktionsbecken im Durchfluss betrieben werden. Der Verbleib von *T. pyriformis* wurde mittels Polyesterfilter mit aktiver Belüftung gewährleistet.

Zur Ermittlung der Wirksamkeit von *T. pyriformis* in Bezug auf die Eliminationsleistung kamen sowohl biochemische, mikrobiologische als auch molekularbiologische Verfahren zum Einsatz. Es wurde die Eliminationsleistung auf Gesamtbakterien und speziell auf die humanpathogenen coliformen Bakterien, *E. coli* und *Enterococcus* bestimmt. Darüber hinaus wurden *Legionella* spp., *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* und *Bacillus subtilis* untersucht.

In den Langzeitexperimenten zwischen 23 und 44 Tagen mit unterschiedlich starkem kontinuierlichem

Kleine Einzeller ganz groß

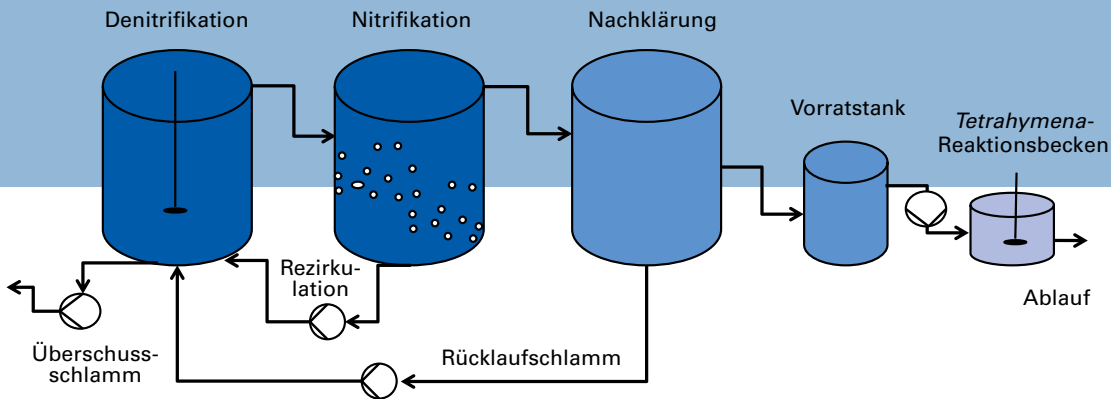


Abb. 5: Schematische Darstellung der experimentellen Versuchsstreife.

Durchlauf von Abwasser konnte eine deutliche Elimination aller untersuchten Bakterien im Mittel ca. um 50 % gemessen werden (Abb. 7). Die Gesamtbakterienabundanz nahm mit einem Mittelwert von 57 % ab. Bei *E. coli* konnten Reduktionen um 51 %, bei Gesamtcoliformen um 41 % und bei *Enterococcus* um 49 % erzielt werden. Auch bei niedrigerem Durchfluss von 100 L/h, welcher durch die erhöhte Verweildauer der Bakterien im Reaktionsbecken entsprechend ein größeres Volumen des Klärbeckens simuliert, wurden im Mittel Reduktionen um 50 % verzeichnet. Das System blieb auch in weiteren Versuchen über 44 Tage absolut stabil.

Die hier gemessene Elimination von Bakterien liegt zwar noch unterhalb einer erstrebenswerten Log-Stufe, d.h. der Reduktion um eine Zehnerpotenz. Wenn die

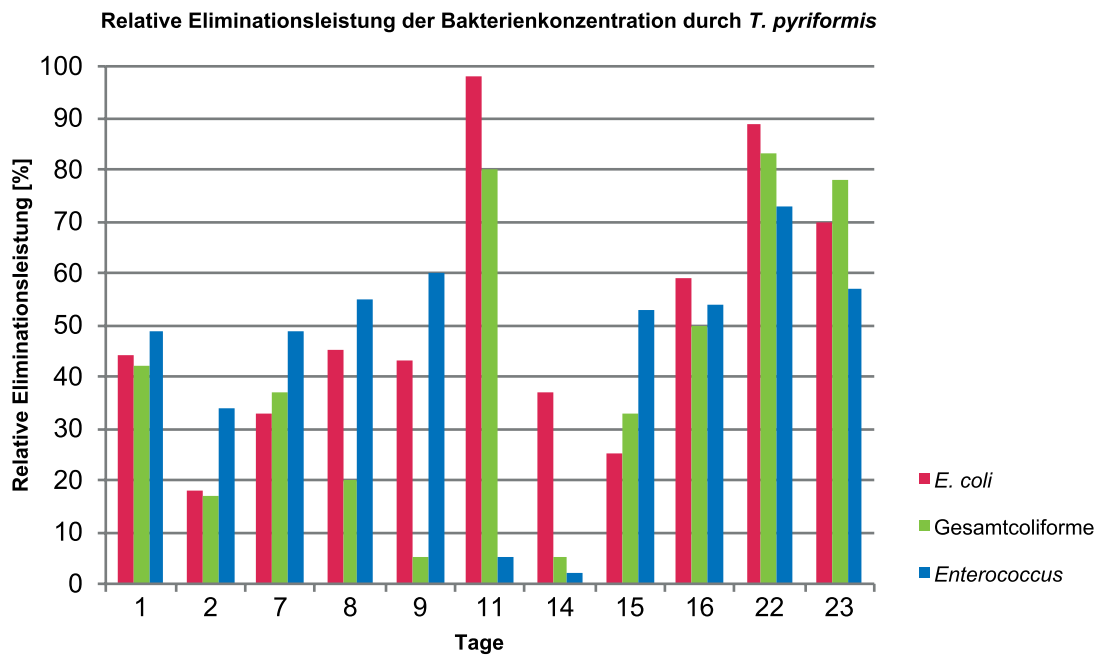
Bakterienkonzentrationen, wie in vielen Kläranlagen zu erwarten, aber höher liegen, wird die Eliminationsleistung von *T. pyriformis* aufgrund des erhöhten Nahrungsangebots entsprechend größer sein. Da die Verwendung von *T. pyriformis* als biologischer „Filter“ für einen Einsatz nach der üblichen Klärung gedacht ist, in der bereits mehrere Log-Stufen erfolgreiche Reduktion zu verzeichnen sind, ist die weitere Reduktion der Bakterien, besonders in Hinblick auf multiresistente Bakterien bedeutsam. Weiterhin ist der Einsatz von *T. pyriformis* in Kläranlagen interessant, in deren Einzugsgebiet sich ausgewiesene Badegewässer befinden. Hier könnte schon die erreichte zusätzliche Reduktion von 50 % dafür sorgen, dass die Badegewässerrichtlinie (2006) eingehalten wird.



Abb. 6: a) Aufbau des Reaktionsbeckens in der Versuchsstreife, b) das Reaktionsbecken mit geklärtem Abwasser, c) Sicht auf das Filtersystem.



Abb. 7: Relative Abnahme der Konzentrationen der potenziell humanpathogenen Bakterien *E. coli*, Gesamtcolliformen und *Enterococcus* über die Zeit.



Aufgrund immer wieder auftauchender Meldungen über *Legionella spp.* in Kläranlagenabläufen, haben wir ebenfalls überprüft, ob diese nachweisbar sind. *Legionella spp.* konnte molekularbiologisch qualitativ nachgewiesen werden, allerdings war eine Quantifizierung nicht möglich, da die Konzentrationen unterhalb der Nachweisgrenzen lagen. Damit lag zum Zeitpunkt der Untersuchung keine Gefährdung durch *Legionella spp.* vor.

Die Erkenntnisse zur Eliminationsleistung von *T. pyriformis* sollten zukünftig nicht nur auf den Einsatz in der Nachklärung kommunaler Kläranlagen weiter verfolgt werden, sondern darüber hinaus auch als kosteneffizientes Verfahren zur Keimreduzierung in Ländern ohne wirksame Klärsysteme Anwendung finden.

Das Projekt wurde in Kooperation mit der Universität Duisburg-Essen (Prof. Dr. Jens Boenigk, Fakultät für Biologie) im Auftrag des Landesamts für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW durchgeführt und im Rahmen der Richtlinie „Ressourceneffiziente Abwasserbeseitigung NRW“ gefördert.

www.zoologie.uni-wuppertal.de

Literaturhinweise

- ¹Feuerpfeil, I., López-Pila, J., Schmidt, R., Schneider, E., Szewzyk, R. (1999). Antibiotikaresistente Bakterien und Antibiotika in der Umwelt; Bundesgesundhbl. – Gesundheitsforsch. – Gesundheitsschutz 42
- ²Review on Antimicrobial Resistance. Antimicrobial Resistance: Tackling a Crisis for the Health and Wealth of Nations (2014)
- ³Tiedtke, A., Hillmann, A., Westermeier, F. (2006). Untersuchung zur Beseitigung von Bakterien im Abfluss von Kläranlagen mittels *Tetrahymena*

Eisen statt Kobalt – Ein Weg zur nachhaltigen Rohstoffnutzung

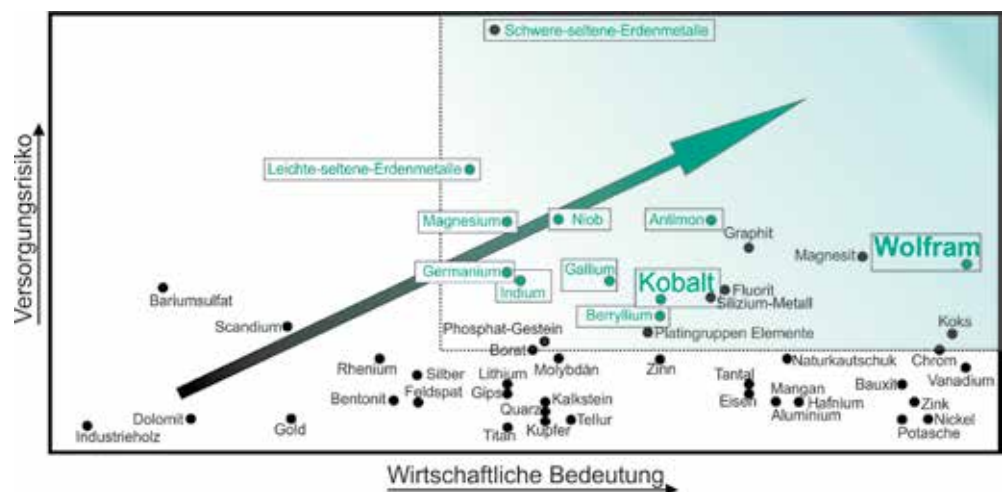
von / by

Prof. Dr.-Ing. Sebastian Weber und / and M.Sc. Frederic van gen Hassend




In vielen technischen Anwendungsfeldern müssen Werkstoffe neben einer chemischen Beständigkeit auch eine ausreichende Verschleißbeständigkeit besitzen. Dieses Eigenschaftsprofil trifft vor allem auf Komponenten zu, die im Betrieb hohen Temperaturen ausgesetzt sind, wie beispielsweise Leitschaufeln in stationären Gasturbinen oder Ventilsitzringe im Verbrennungsmotor. Da viele Werkstoffe in der Regel nur eine der beiden Eigenschaften bei erhöhter Temperatur zufriedenstellend erfüllen, wird für die Herstellung solcher Komponenten bislang häufig auf Kobalt (Co)-Basislegierungen zurückgegriffen. Diese weisen auch bei Temperaturen über 600 °C eine hohe Korrosionsbeständigkeit auf und sind gleichzeitig sehr verschleißbeständig. Allerdings gestaltet sich die Verwendung dieser Legierungen zukünftig als äußerst problematisch. Co ist ein vergleichsweise teures Element und gehört zudem zu den kritischen Rohstoffen, für die gemäß einer EU-Studie ein sehr hohes Versorgungsrisiko vorausgesagt wird. Deshalb besteht das Ziel, Co-Basislegierungen durch neu entwickelte hochtemperatur- und verschleißbeständige Stähle mit annähernd gleichen Eigenschaften zu ersetzen, um so langfristig Kosten zu sparen und Rohstoffressourcen zu schonen.

Abb. 1: Einteilung von Rohstoffen bzgl. ihres Versorgungsrisikos und ihrer wirtschaftlichen Bedeutung.⁴



Chemical stability and wear resistance are essential properties for many materials used in technical applications, especially in components subjected to high temperatures, like guide vanes in stationary gas turbines or valve seat inserts in internal combustion engines. Under such circumstances, many materials possess only one of these properties, which is why cobalt (Co) alloys have often been used in high-stress components. These are extremely corrosion resistant at temperatures in excess of 600 °C, and at the

same time have excellent wear resistance. But the use of such alloys is becoming increasingly difficult, as Co is not only expensive, it is also – according to an EU study – a critical resource whose future supply is subject to high risk. The aim of the project presented here is to replace Co-based alloys with newly developed high-temperature and wear resistant steels with nearly the same properties. This will both reduce costs and save natural resources.



Der Lehrstuhl für „Neue Fertigungstechnologien und Werkstoffe“ wurde als Stiftungsprofessur Mitte 2014 besetzt und wird in den ersten fünf Jahren durch das Engagement von Unternehmen aus dem Bergischen Städtedreieck und dem Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e.V. finanziert. Eine Besonderheit des Lehrstuhls sowie des ebenfalls neu gegründeten „Institut für Produkt-Innovationen“ ist die Ansiedlung als Außenstelle der Bergischen Universität im Solinger Forum Produktdesign. Dort wurde in den vergangenen 2,5 Jahren ein modern ausgestattetes Forschungs- und Entwicklungslabor aufgebaut, das sich inhaltlich auf metallische Werkstoffe und deren Verarbeitung fokussiert. Gerade im Bereich der Metallverarbeitung spielen dabei die Themen „Nachhaltigkeit“ und „Ressourcen-Produktivität“ eine entscheidende Rolle, da zum einen große Mengen an nicht erneuerbaren Ressourcen verbraucht werden und zum anderen zahlreiche Effizienzpotenziale vor allem durch die klein- und mittelständische Industrie noch nicht voll ausgeschöpft werden.

In den vergangenen Jahren ist das Thema Ressourcenschonung immer weiter in den Fokus der Öffentlichkeit gerückt. So haben Begriffe wie „Rohstoffknappheit“ oder „Ressourceneffizienz“ mehr Einzug in den öffentlichen Sprachgebrauch gefunden. Für die deutsche Wirtschaft ist eine effiziente Nutzung von nicht-erneuerbaren Rohstoffen von besonderer Bedeutung, da der Großteil der Rohstoffe aus dem Ausland importiert werden muss. Dies kostet die Bundesrepublik etwa 4,4 Prozent des Bruttoinlandsproduktes (BIP), wovon etwa zwei Drittel für Energie- und etwa ein Drittel für Metallrohstoffe aufgewendet werden.¹ Mit der Zielsetzung

die natürlichen Ressourcen zu schützen und zukünftig effizienter zu nutzen, hat die Bundesregierung im Jahr 2010 die „Rohstoffstrategie“ verabschiedet, in der ein Ressourceneffizienzprogramm („ProgRes“) entwickelt werden soll.² Dieses soll die nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen gestalten und zudem die Umweltbelastungen weitestgehend reduzieren. Im Hinblick auf eine effizientere Nutzung von Rohstoffen spielt auch die Optimierung von Werkstoffen eine entscheidende Rolle. Durch sie ist es möglich, die Lebensdauer von Bauteilen zu verlängern oder bisher eingesetzte Materialien durch neue zu ersetzen. Daher bieten gerade Materialentwicklungen die Möglichkeit, Rohstoffressourcen zu schonen und die Belastung der Umwelt zu senken. Dies ist besonders für Technologien wichtig, für die Rohstoffe benötigt werden, deren Vorkommen größtenteils im entfernten Ausland liegen und für die deshalb ein potenzielles Versorgungsrisiko besteht (Abb. 1). Diese kritischen Rohstoffe müssen in Zukunft entweder ganz oder zum Teil durch andere, weniger kritische ersetzt werden. Zu den Rohstoffen mit besonders hohem Versorgungsrisiko gehört neben Kobalt (Co) auch das Element Wolfram.

Co wird zum Beispiel durch die stete Entwicklung der Elektromobilität vermehrt für die Verwendung in Batterien/Akkumulatoren verwendet. Größtenteils wird es jedoch als Basis- oder Legierungselement in technischen Werkstoffen eingesetzt.³ Ein Grund für das hohe Versorgungsrisiko für Co ist, dass die größten Vorkommen in der politisch instabilen Demokratischen Republik Kongo liegen.⁴ Zudem wurde eine kanzerogene Wirkung bei der Verarbeitung von Co festgestellt, woraufhin ein schrittweises Ersetzen von Co verordnet

Eisen statt Kobalt – Ein Weg zur nachhaltigen Rohstoffnutzung

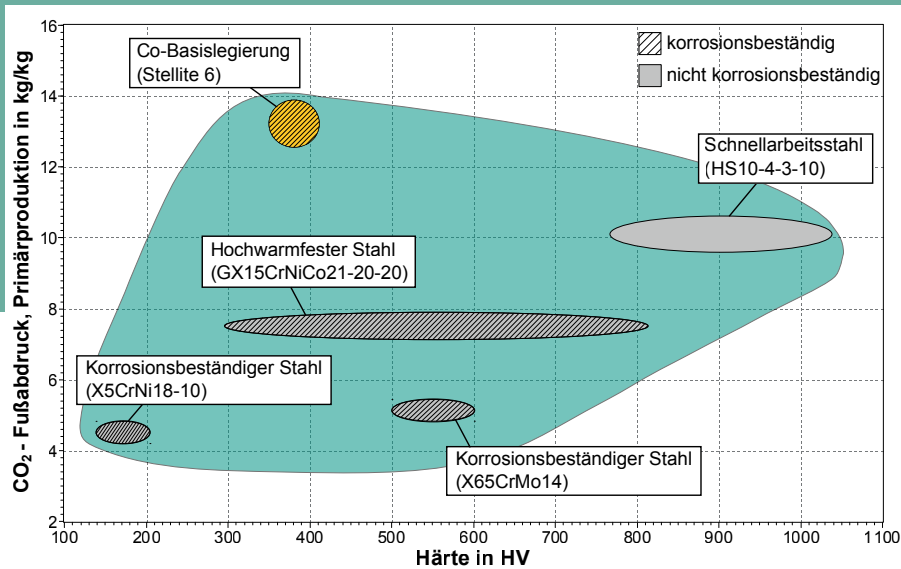


Abb. 2: Härte bei Raumtemperatur verschiedener Stahlgüten im Vergleich zu einer Co-Basislegierung mit zugehörigem CO₂-Fußabdruck.⁵

wurde.⁵ Somit besteht neben einem rohstoffpolitischen auch ein gesundheitlicher Aspekt, den Gebrauch von Co in Legierungen zukünftig zu vermeiden. Eine im Vergleich zu Co als Basiselement wesentlich kostengünstigere und ressourcenschonendere Alternative stellt das Element Eisen (Fe) dar. Dieses besitzt eine sehr gute Rezyklierbarkeit und erlaubt durch Modifikation von Legierungselementen das Einstellen eines breiten Eigenschaftsspektrums. Jedoch gestaltet sich die Substitution von Co durch Fe als nicht trivial.

Co-Basislegierungen besitzen eine hohe Korrosions- und Verschleißbeständigkeit, die sich auch bei erhöhten Temperaturen (> 600°C) nur minimal verringert. Deshalb werden sie oft als Werkstoff für Bauteile oder Komponenten eingesetzt, die diese Eigenschaften bei Temperaturen bis zu 800°C erhalten müssen, wie zum Beispiel Leitschaufeln in stationären Gasturbinen oder Ventil Sitzringe im Verbrennungsmotor.⁶ Beide Komponenten kommen mit heißem Verbrennungsgas in Kontakt, welches die Oberfläche des Bauteils stark korrosiv beansprucht. Im Falle der Leitschaufeln kommt neben einer dauerhaften rotatorischen Bewegung noch eine zyklische mechanische Belastung hinzu, die dazu führt, dass die Festigkeit des Materials auf Dauer abnimmt. Die Kombination aus korrosiver und mechanischer Belastung in Verbindung mit hoher Temperatur führt

letztlich zu einem starken Verschleiß des Bauteils und sollte bestmöglich verhindert werden.

Konventionelle Stähle haben den Nachteil, dass sie bei erhöhten Temperaturen entweder verschleiß- oder korrosionsbeständig sind. Dies hängt damit zusammen, dass diese Eigenschaften aus werkstofftechnischer Sicht im Stahl gegenläufig sind. Um den Verschleiß möglichst gering zu halten, muss der Werkstoff sehr hart sein. Das wird sowohl in Co-, als auch in Fe-Basislegierungen durch das Einstellen einer harten und festen Grundmatrix, in Verbindung mit eingelagerten Karbiden erreicht. Karbide sind Metall-Kohlenstoff-Verbindungen, die – in Abhängigkeit des Typs und der Zusammensetzung – eine sehr hohe Härte besitzen, wodurch vor allem der Widerstand gegen abrasiven Verschleiß enorm gesteigert wird. Zur Karbidbildung werden unter anderem die Elemente Wolfram, Molybdän, Vanadium und Chrom (Cr) eingesetzt, wobei letzterem eine besondere Bedeutung zukommt. Cr fungiert nicht nur zur Erhöhung des Verschleißwiderstandes als Karbidbildner, sondern auch zur Bildung einer oberflächlich dichten Passivschicht, durch die eine Beständigkeit in korrosiven Medien generiert wird. Soll ein Stahl also gleichzeitig verschleiß- und korrosionsbeständig sein, ist es nötig, das zulegierte Cr möglichst von der Karbidbildung abzuhalten, damit der Großteil zur Bildung der Passivschicht zur Verfügung steht.

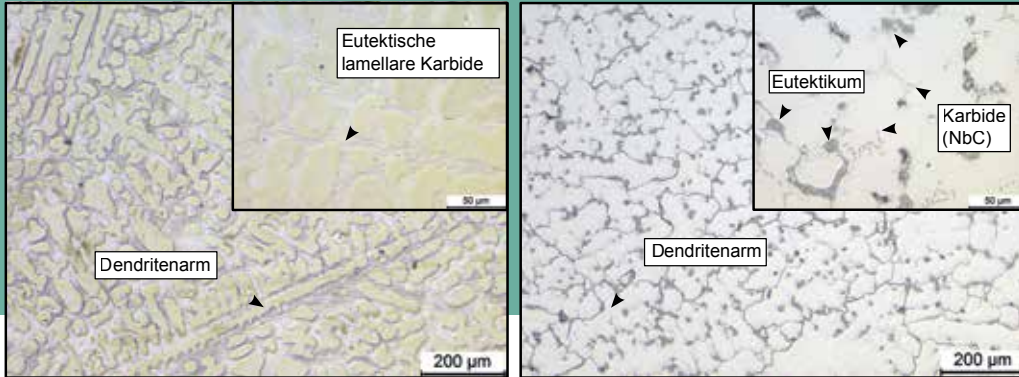


Abb. 3: Lichtmikroskopische Gefügeaufnahme der Co-Basislegierung Stellite 6 (links) und des hochwarmfesten Stahls GX15CrNiCo21-20-20 (rechts) im Gusszustand – bei beiden Legierungen ist eine dendritische Erstarrungsstruktur („Tannenbaumstruktur“) mit eutektischen Karbiden zu sehen. Die im Vergleich zum Stahl höhere Warmfestigkeit der Co-Basislegierung geht auf den höheren Gehalt an Karbiden in Verbindung mit der festen Co-Matrix zurück. Im Stahl liegen neben den eutektischen Karbiden (Eutektikum) zudem kleine blockige und feinstreifige Niobkarbide (NbC) vor, die sehr hart sind und eine hohe thermodynamische Stabilität besitzen. Daher sind sie für Anwendungen bei hohen Temperaturen besonders geeignet.

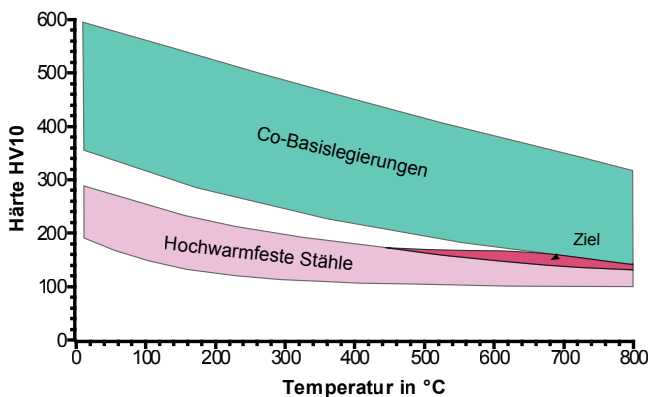


Abb. 4: Schematischer Vergleich der Warmhärte von Co-Basiswerkstoffen und hochwarmfesten Stählen. Das Ziel ist es, die Warmhärte von hochwarmfesten Stählen im Temperaturbereich von 600 °C bis 800 °C bei gleichbleibender Korrosionsbeständigkeit in Richtung der Co-Basislegierungen zu erhöhen.

Um allgemein einen Überblick über die Verschleiß-eigenschaften von gegenwärtig eingesetzten Stählen zu erhalten, sind in Abbildung 2 die Härtebereiche verschiedener Stahlgüten im Vergleich zu einer Co-Basislegierung (*Stellite 6*) dargestellt. Ferner ist dort der werkstoffspezifische CO₂-Fußabdruck zu entnehmen. Dieser spiegelt die bei der Primärproduktion des Werkstoffs freierwerdende Menge an CO₂ bezogen auf 1 Kilogramm produziertes Material wider und ist somit ein Maß für die Umweltbelastung.⁷ Es zeigt sich, dass der CO₂-Fußabdruck von Stählen gegenüber Co-Basislegierungen wesentlich geringer ist. Dies lässt sich auf die gute Rezyklierbarkeit von Fe zurückführen, wodurch eine geringere Menge an Eisenerz zu Roheisen reduziert werden muss. Generell lassen sich Stähle in verschiedene Gruppen unterteilen. Martensitische Stähle beispielsweise können

eine viel höhere Härte als Co-Basislegierungen erreichen, wie sich am Beispiel des Schnellarbeitsstahls HS10-4-3-10 erkennen lässt. Das Gefüge dieses Stahls besteht aus einer sehr harten Matrix mit einem hohen Anteil an eingelagerten Karbiden. Allerdings geht die hohe Härte auf Kosten der Korrosionsbeständigkeit, da im Gegensatz zur Co-Basislegierung in diesen Stählen kein ausreichender Cr-Gehalt vorliegt, um eine dichte Passivschicht zu bilden. Zwar können auch nichtrostende martensitische Stähle, wie zum Beispiel der X65CrMo14, eine höhere Härte als Co-Basislegierungen besitzen, jedoch ist das Gefüge dieses Stahls bei höheren Temperaturen nicht stabil, was dazu führt, dass bei Temperaturen > 600 °C Umwandlungsvorgänge eintreten, die mit einem schlagartigen Härte- und Festigkeitsverlust verbunden sind.

Anders ist es bei austenitischen Stählen. Ihr Gefüge bleibt auch bei höheren Temperaturen stabil. Allerdings besitzen diese Stähle eine deutlich niedrigere Härte (s. X5CrNi18-10). Der Vorteil der austenitischen Stähle ist jedoch, dass sich ihre Härte durch die Wahl der Legierungselemente bei gleichbleibenden Korrosionseigenschaften steigern lässt, wodurch sie auch für den Einsatz bei höheren Temperaturen geeignet sind. Solche Stähle werden als hochwarmfest bezeichnet. Ein Vertreter dieser Gruppe ist der GX15CrNiCo21-20-20 der beispielsweise für Turbinenkomponenten verwendet wird.⁷ Die Warmfestigkeit dieses Stahls geht auf die legierungstechnisch eingestellte Grundfestigkeit in Verbindung mit eingelagerten Karbiden zurück, wobei der Karbidanteil im Vergleich zur Co-Basislegierung Stellite 6 deutlich geringer ist (Abb. 3).

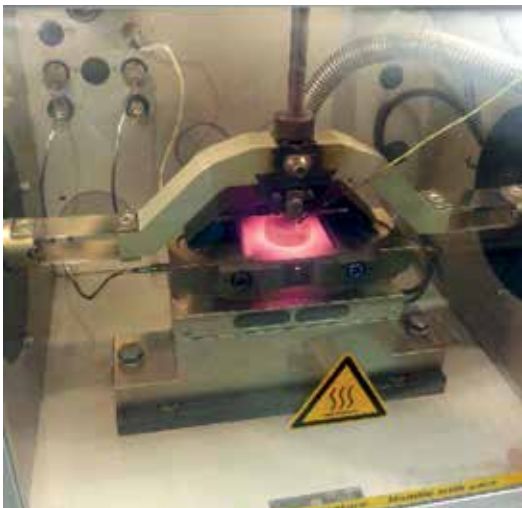


Abb. 5: Ermittlung der Warmhärte – die Probe wird auf eine bestimmte Temperatur erwärmt und mittels eines Prüfkörpers mit definierter Kraft indentiert. Der auf der Probenoberfläche erzeugte Eindruck wird im Anschluss lichtmikroskopisch vermessen. Aus der Länge der Eindruckdiagonalen lässt sich die Härte des Werkstoffs bei entsprechender Temperatur berechnen.

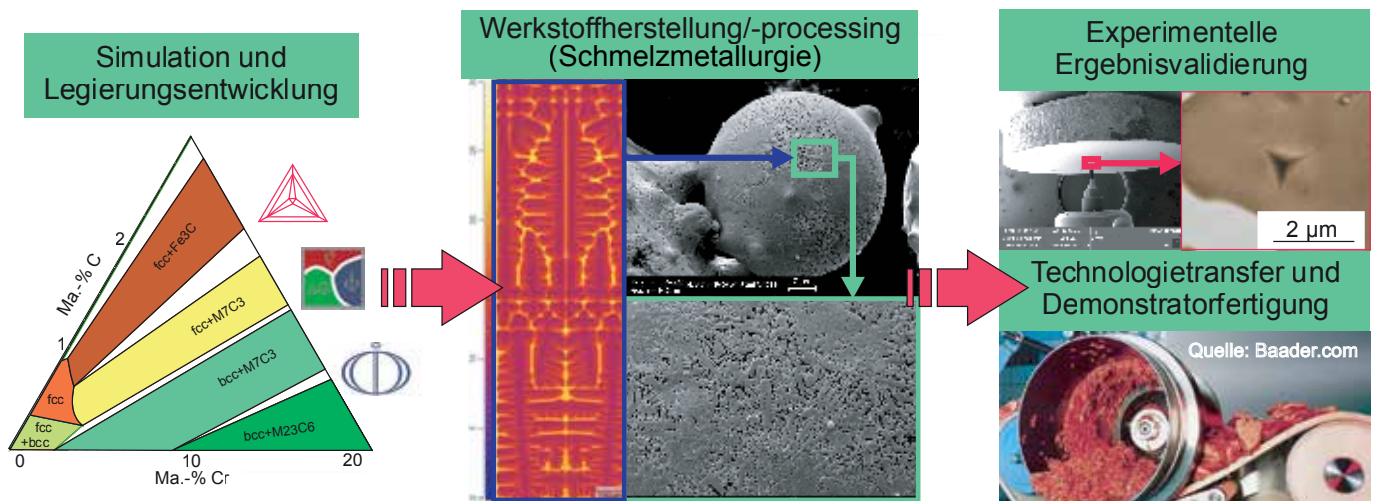
Problematisch ist, dass im GX15CrNiCo21-20-20 ein hoher Gehalt der unerwünschten Elemente Co und W vorliegt, was auch den im Vergleich zum X5CrNi18-10 viel höheren CO₂-Fußabdruck erklärt. Deshalb sollte die Verwendung dieses Stahls in Zukunft vermieden werden. Da jedoch bisherige hochwarmfeste Co-freie Stähle nicht an die Eigenschaften des GX15CrNiCo21-20-20 herankommen, ist die Entwicklung von neuen Stählen nötig. Dabei besteht das Ziel, Stähle zu entwickeln, die eine annähernd gleiche Warmfestigkeit wie Co-Basislegierungen im Temperaturbereich von 600 °C bis 800 °C besitzen, um dadurch die Lücke zwischen Co- und Fe-Basislegierungen langfristig schließen zu können.

Als Maß für die Warmfestigkeit eines Werkstoffs kann in erster Näherung die Warmhärte, also die Härte bei erhöhter Temperatur, herangezogen werden. In Abbildung 4 sind zum Vergleich die Warmhärteverläufe von Co-Basislegierungen und hochwarmfesten Stäh-

len schematisch dargestellt. Dort ist zu erkennen, dass die zur Zeit eingesetzten hochwarmfesten Stähle eine deutlich niedrigere Härte bei Temperaturen zwischen 600 °C und 800 °C im Vergleich zu Co-Basislegierungen besitzen. Die Ermittlung der Warmhärte erfolgt durch eine modifizierte Härteprüfung, bei der der Werkstoff auf eine bestimmte Temperatur erwärmt und in diesem Zustand mittels eines Prüfkörpers mit einer definierten Kraft indentiert wird (Abb. 5). Durch Vermessung der Größe des erzeugten Eindrucks lässt sich die Härte des Werkstoffs bei entsprechender Temperatur berechnen.

Um die Zielsetzung zu erreichen, wird die in Abbildung 6 dargestellte Vorgehensweise angewendet. Zunächst werden neue Legierungskonzepte mithilfe von thermodynamischen Gleichgewichtsberechnungen theoretisch berechnet, um so den Aufbau des Gefüges im Gebrauchszustand im Vorfeld der Erzeugung simulieren und beeinflussen zu können. Anschließend werden po-

Abb. 6: Vorgehensweise der Werkstoffentwicklung: Nach der theoretischen Berechnung von Legierungskonzepten werden erfolgversprechende Legierungssysteme schmelzmetallurgisch hergestellt und die Eigenschaften im Labor experimentell validiert. Zum Abschluss werden aus ausgewählten Legierungen Demonstratoren gefertigt, so dass diese auch im Feldversuch getestet werden können.



tenziell erfolgversprechende Legierungen im Labormaßstab erschmolzen und wärmebehandelt. Danach erfolgt die experimentelle Untersuchung der Eigenschaften im Labor, aus denen sich zeigt, ob eine oder mehrere der entwickelten Legierungen gleiche oder bessere Eigenschaften im Vergleich zu einem konventionellen hochwarmfesten Stahl besitzen. Zeigen sich auch im Labor gute Ergebnisse hinsichtlich der Warmhärte und Korrosionsbeständigkeit, werden ausgewählte Legierungen im industriellen Maßstab abgegossen und zu Demonstratorbauteilen gefertigt, um so den Werkstoff unter realen Bedingungen im Betrieb zu testen und mit konventionellen Legierungen vergleichen zu können. Diese Arbeiten erfolgen in Kooperation mit dem Institut für Werkstoffe der Ruhr-Universität Bochum und insgesamt vier Unternehmen aus der Metallbranche.

www.fuw.uni-wuppertal.de
www.ipi.uni-wuppertal.de

Literaturhinweise

- ¹Wirtschaftsstrategische Rohstoffe für den Hightech-Standort Deutschland; Forschungs- und Entwicklungsprogramm des BMBF für neue Rohstofftechnologien, BMBF, 2012, www.fona.de/mediathek/pdf/Wirtschaftsstrategische_Rohstoffe_barrierefrei_neu.pdf
- ²Umwelt Bundesamt, Schwerpunkte 2012, Onlinepublikation, <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4213.pdf>
- ³S. Luidold et al.: Kritische Rohstoffe für die Hochtechnologieanwendung in Österreich, Bericht aus Energie- und Umweltforschung (2013); http://www.nachhaltigwirtschaften.at/e2050/e2050_pdf/endbericht_1311_kritische_rohstoffe.pdf
- ⁴European Commission, Enterprise and Industry: Critical raw materials for the EU – Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials, 2014
- ⁵Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union: Verordnung (EG) nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Chemikalienagentur, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG und 2000/21/EWG der Kommission (Stand 18.12.2006): online: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2006R1907:20121009:DE:PDF>
- ⁶Bürgel R., Maier, H. J., Niendorf, T., Handbuch Hochtemperatur-Werkstofftechnik, 4. Auflage, 2011
- ⁷Ashby et al., Materials: Engineering, Science, Processing and Design, 3rd edition, 2014
- ⁸CES EduPack 2016 der Fa. GRANTA

Produktzuverlässigkeit entlang des Produktentstehungsprozesses

von / by

Prof. Dr.-Ing. Stefan Bracke und / and B.Sc. Bianca Backes



Bei der Entwicklung und Produktion von Bauteilen, Baugruppen und Systemen in der Investitions- und Konsumgüterbranche ist die Zuverlässigkeit und Qualität eines der wichtigsten Alleinstellungsmerkmale. Die Herausforderungen sind dabei eine immer fortwährende, stetige Steigerung der Zuverlässigkeit und Qualität von Produkten vor dem Hintergrund der wachsenden Ansprüche von Kunden und Märkten sowie der Wettbewerbssituation. Die stark ansteigende Produktkomplexität und die einhergehenden Zuverlässigkeits- und Qualitätsanforderungen erfordern somit eine präzise Zuverlässigkeitsplanung in der Entwicklungsphase und eine genaue Produktionsprozessüberwachung, -steuerung und -bewertung zur Sicherstellung beherrschter sowie qualitätsfähiger Herstellungsprozesse. Daher ist eine der wichtigen, zentralen Herausforderungen an zukünftige, technisch anspruchsvolle Herstellungsprozesse die Beherrschbarkeit und Qualitätsfähigkeit hinsichtlich funktionskritischer Produktmerkmale in Entwicklung und Produktion. Diesen Aufgaben stellt sich das Fachgebiet für Zuverlässigkeitstechnik und Risikoanalytik an der Bergischen Universität Wuppertal mit industriellen Forschungspartnern, unter anderem aus dem Automobilbau, der Medizintechnik sowie Verfahrenstechnik. Im Folgenden werden Grundsätze und Trends der Zuverlässigkeitsabsicherung bei der Produkterprobung und -herstellung am Beispiel eines Dentalimplantats aus der Medizintechnik aufgezeigt.



Abb. 1: Implantat Einbausituation

Foto Colourbox.de

Reliability and quality are of paramount importance in the development and production of components, modules and systems for the investment and consumer goods industries. Against the background of consumer preferences, market demands, and ever-increasing competition, a continuous growth in product reliability and quality is a permanent challenge. This requires precise reliability planning in the development phase, and consistent control, monitoring, and evaluation of the production process. The more complex

the product – and the manufacturing process – the more crucial is the facilitation of these features along the entire development and production chain. To meet these challenges, the University of Wuppertal's Department of Reliability Engineering and Risk Analytics cooperates with industrial research partners from the areas of automotive, medical and process engineering. The article outlines some basic principles and current trends of reliability control, taking as an example the production and testing of a dental implant.

Die Schwerpunkte des Lehrstuhls für Zuverlässigkeitstechnik und Risikoanalytik sind die Zuverlässigkeitsanalytik und Risikoforschung bei komplexen, technischen Produkten und Produktionsprozessen. Forschungs- und Kooperationspartner sind Universitäten, Unternehmen und Institute, unter anderem aus den Fachdisziplinen der Fahrzeugtechnik, Verfahrenstechnik, Energieversorgung sowie der Hochpräzisionsfertigung. Im Zentrum der Forschungstätigkeit steht dabei die Datenanalyse bei Produktentwicklung, -erprobung, -herstellung und -nutzung.

Die Zahnimplantologie ist eines der wichtigsten Themen der Gesundheitsversorgung der Bevölkerung, besonders wegen der demographischen Entwicklung in Deutschland, Europa und weiteren Industrienationen. Das Einsetzen von Implantaten gilt heute als modernste Lösung vielfältiger Zahnersatzprobleme im Mund und Kieferbereich und ist zu einem Routineeingriff in der Zahnmedizin geworden. Jedoch können falscher Einbau oder fehlerhafte Implantate im Laufe der Zeit Komplikationen mit sich bringen. Abbildung 1 zeigt die finale Einbausituation eines Dentalimplantats im Kiefer mit aufgesetzter künstlicher Zahnkrone. Abbildung 2 hingegen zeigt das eigentliche Implantat nach Herstellung.

Die Fertigung eines Implantats bedarf technischer Produktionsprozesse, die ein Höchstmaß an Präzision und Genauigkeit sicherstellen. Die Beherrschbarkeit und Qualitätsfähigkeit hinsichtlich funktionskritischer Produktmerkmale ist eine der wichtigen, zentralen Herausforderungen. „Ein wesentlicher Aspekt der Qualität eines Produktes stellt dessen Funktionsfähigkeit – dessen Zuverlässigkeit – dar. Die Zuverlässigkeit eines Produktes beeinflusst somit wesentlich die Kaufentscheidung



Abb. 2: Implantatbeispiel

Quelle: Hager & Meisinger GmbH

der Nutzer, da diese neben hoher Funktionalität bei geringen Kosten vor allem eine hohe Zuverlässigkeit der Produkte erwarten.“¹ Deshalb steht eine ganzheitliche Prüfung der funktionskritischen Merkmale entlang des Produktentstehungsprozesses im Mittelpunkt der voranschreitenden Produktherstellung.

Die Herstellung erfolgt innerhalb vieler kleiner Schritte, die jeweils als „Prozess“ (EN ISO 9000 2005) bezeichnet werden. Aus der Gesamtheit der Prozessschritte geht der Produktentstehungsprozess (PEP) hervor (Abb. 3, S. 36). Der PEP ist in vier Hauptschritten mit je zwei Teilschritten unterteilt, zu denen verschiedene Zuverlässigkeitsmodelle für technische Produkte und Produktionsprozesse auf Basis von Daten/Informationen aus den Bereichen Produkt-Testing/Erprobung (Fokus: Langlebigkeit), Produktion (Fokus: Prozessbeherrschung/Qualitätsfähigkeit) und Vertrieb (Fokus: Produktbewahrung) entwickelt und angewendet werden.²

Das Durchführen von Prüfungen innerhalb der Phasen des Produktentstehungsprozesses dient der Zuverlässigkeitsabsicherung, um somit im Endergebnis die geforderte Produktqualität zu gewährleisten.

Produktzuverlässigkeit entlang des Produktentstehungsprozesses



Abb. 3: Der Produktentstehungsprozess (VDA)

Im Rahmen der ersten Phase des PEP, in der Konzeptentwicklung, werden die Produkt-Definition und das Produktkonzept (Abb. 3) des Dentalimplantats erstellt. In den frühen Phasen der Serienentwicklung (Produkt- und Komponentenauslegung) sind innerhalb der Prototypen-Erprobung potenzielle Schwachstellen zu erkennen und zu beheben. Zur Unterstützung der Detektion solcher Schwachstellen ist ein zentrales Forschungsfeld des Lehrstuhls für Zuverlässigkeitstechnik und Risikoanalytik die Entwicklung von multivariaten und zeitverkürzenden Testverfahren von Implantaten.

Das aktuelle Standardverfahren der Implantaterprobung ist in der DIN EN ISO 14801:2008-02 (Zahnheilkunde – Zahnimplantate – Dynamische Ermüdungsprüfung für endossale Dentalimplantate) beschrieben und beinhaltet nur eine univariate Vorgehensweise (das bedeutet: nur eine Anforderung wird getestet) (Abb. 4). Da jedoch die Anforderungen an die Implantate mit der Zeit gestiegen sind, muss das Testverfahren für Implantate angepasst werden. Eine Vielzahl von Kombinationsmöglichkeiten der Einsatzbedingungen eines Implantats (z. B. Belastungskraft, Luftfeuchtigkeit, Frequenz Kauvorgang etc.) wird multivariat abgebildet. Das multivariate Testverfahren (d. h. mehr als eine Anforderung

wurden zur gleichen Zeit getestet) ist nötig, um das komplexe Belastungsszenario im Kiefer abzubilden und somit die Qualität des Produktes deutlich zu steigern.

Darauf aufbauend wird eine zeitverkürzte Implantatprüfung unter erhöhten Belastungen durchgeführt. Dieses Forschungsvorhaben wird auf Basis der multivariaten Prüfung eine fundamentale Erweiterung des bisherigen Standards nach DIN EN ISO 14801 sein. Des Weiteren wird eine Grundlage geschaffen, die einen neuen, industriellen DIN-Erprobungsstandard ermöglichen kann.

Ein weiterer Ansatz zur Verbesserung und Weiterentwicklung von Implantaten ist der Zeitraffertest ohne Belastungssteigerung, der sogenannte Accelerated Test (AT). Diese Tests „[...] bieten die Möglichkeit, über Lastkollektive das Nutzerverhalten und somit das potentielle, zu erwartende Feld-Fehlerspektrum abzubilden. Die Herausforderung besteht in der Auslegung des Erprobungsplans, um in möglichst kurzer Zeit – meist auf Basis weniger Erprobungsträger – prototypische Produkte und Baukomponenten hinsichtlich eines umfassenden Fehlerspektrums zu testen“⁴

Nachdem die Produktentwicklungsphase mit der erfolgreichen Produkterprobung abgeschlossen ist,

Abb. 4: Testverfahren von Dentalimplantaten nach DIN EN ISO 14801



schließt sich die Serienvorbereitung und darauffolgend die eigentliche Produktherstellung an (siehe Abb. 3).

Um eine Prozessbeherrschung und -qualitätsfähigkeit entlang des Produktentstehungsprozesses sicherstellen zu können, erfolgt im Rahmen der Produktion eine umfassende Kontrolle, die statistische Prozesssteuerung (Statistical Process Control, SPC). Eine Produktionsprozessbewertung erfolgt mithilfe von Prozessfähigkeitsindizes, die auf Mess- und Prüfdaten basieren. „In

der Regel erfolgt die klassische Bewertung von Herstellungsprozessen stets in einer Dimension basierend auf einem Merkmal. Die Daten eines Herstellungsprozesses werden somit merkmalsbezogen erfasst, analysiert und beurteilt. Bei der Datengrundlage kann es sich um produktbezogene (z. B. Bauteildurchmesser) oder prozessbezogene Merkmale (z. B. Temperatur) handeln.“² „Durch stetige Erweiterung der Funktionalität und Präzision von technischen Produkten ist jedoch häufig die Analyse und Validierung eines Fertigungsprozesses auf Basis mehrerer funktionskritischer Merkmale (Merkmal-Set) nötig.“² „Dieses bedarf verschiedener, multidimensionaler Ansatzmöglichkeiten und Systematiken einer statistischen Prozessregelung.“²

Im Rahmen von Forschungsarbeiten hat der Lehrstuhl für Zuverlässigkeitstechnik und Risikoanalytik vier Ansätze entwickelt, um einen Zusammenhang zwischen Cp-/Cpk-Prozessfähigkeitsindex und statistisch zu erwartender Ausschusswahrscheinlichkeit unter multivariater Betrachtung von Produktmerkmalen herzustellen (Abb. 5, S. 38). Der Prozessfähigkeitsindex zeigt auf, inwieweit im Rahmen eines Fertigungsprozesses die Bauteilmaße zentriert und mit geringer Streuung bezogen auf die Spezifikationsgrenzen realisiert werden können.

Im ersten Ansatz werden die Merkmale separat analysiert, Verteilungsmodelle angepasst und die Ausschusswahrscheinlichkeit über die Verknüpfung der Einzelwahrscheinlichkeiten bestimmt. Der Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, dass die Merkmale unterschiedlich verteilt sein können (z. B. Normalverteilung, Weibullverteilung, Log-Normalverteilung).

Der zweite Ansatz berücksichtigt hingegen nur normalverteilte Merkmale, bildet aber das gesamte Merk-

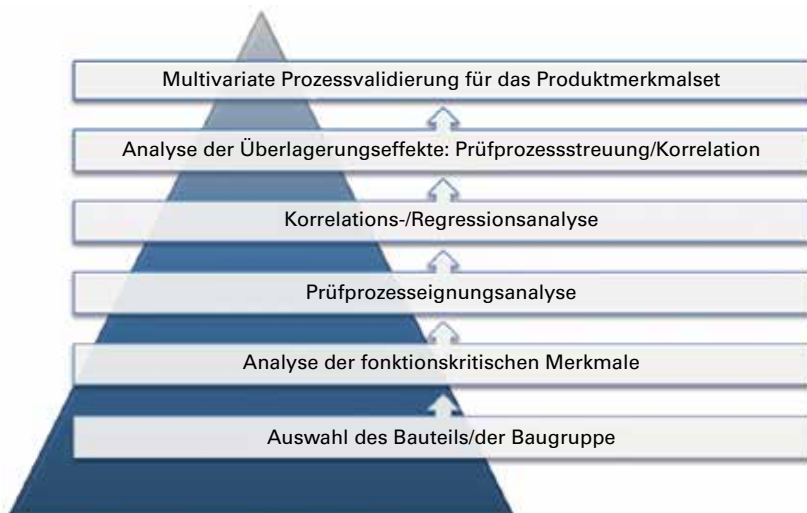


Abb. 5: Übersicht zur Vorgehensweise bei der Entwicklung einer Vorgehensweise zur mehrdimensionalen Prozessvalidierung.²

malset in einem multivariaten Normalverteilungsmo-
dell ab. Der Vorteil besteht darin, dass die Parameter
des multivariaten Verteilungsmodells eindeutig inter-
pretierbar sind.

Der dritte Ansatz basiert auf der multivariaten Wei-
bullverteilung. Hier ist es möglich, Merkmale, die
nicht normalverteilt, sondern beispielsweise links-/
rechtsschief verteilt sind, direkt mit in die Berechnung
einzubeziehen.² Das ist insbesondere für Merkmale in-
teressant, welche einseitig toleriert sind (z. B. Rundheit,
Ebenheit).

Das vierte Verfahren ist ein Simulationsansatz und
für abhängige sowie unabhängige Merkmale geeig-
net. Über die empirische Ausschusswahrscheinlich-
keit wird die mögliche Näherung an die tatsächliche
Ausschusswahrscheinlichkeit (geschätzt) abgebildet,
Wahrscheinlichkeitsdichten der Marginalverteilungen

modelliert und nachfolgend die Stichproben der Mar-
ginalverteilung in standardnormalverteilte Stichpro-
ben transformiert. Basierend auf den transformierten
Stichproben wird dann eine multivariate Normalver-
teilung geschätzt und abschließend eine Monte-Carlo-
Simulation durchgeführt.²

Schlussendlich liefert jeder der vier Ansätze eine
Ausschusswahrscheinlichkeit, über die ein multivari-
ater Prozessfähigkeitsindex direkt bestimmt werden
kann. Grundlage bildet hierzu die mehrdimensionale
Prozessfähigkeitsbewertung (MPCI) als Analogon
zum eindimensionalen Cpk.

Abbildung 6 zeigt den funktionalen Zusammenhang
zwischen dem Prozessfähigkeitsindex Cpk und der sta-
tistisch zu erwartenden Ausschussquote. Ist die Aus-
schussquote – auf Basis eines der zuvor aufgezeigten vier
Ansätze – ermittelt, kann durch Berechnen oder Able-

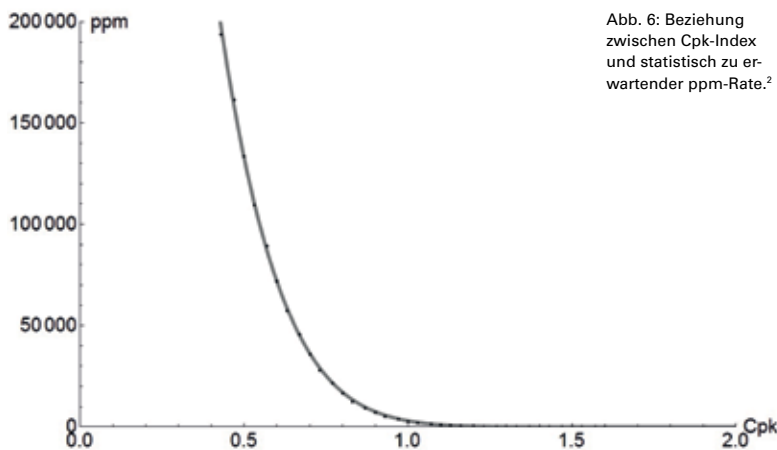


Abb. 6: Beziehung zwischen Cpk-Index und statistisch zu erwartender ppm-Rate.²

sen der Abszisse der Prozessfähigkeitsindex ermittelt werden. Dabei gilt: Je höher der Prozessfähigkeitsindex desto niedriger der zu erwartende Ausschuss (Abb. 6, GQW). Der neu entwickelte Ansatz zur Bestimmung eines multivariaten Prozessfähigkeitsindex ermöglicht nun, Produkte auf Basis eines ganzen Sets von funktionskritischen Merkmalen zu beurteilen. Damit kann ein Produkt nun gesamthaft (multivariat) – im Gegensatz zum Stand der Technik (univariat) – beurteilt werden.

Die letzten beiden Punkte des Produktentstehungsprozesses (Abb. 3) sind der Vertrieb und die sich anschließende Nutzungsphase des hergestellten Produktes. Im Hinblick auf die Zuverlässigkeit des Dentalimplantats werden als Grundlage für zukünftige Produkte Beanstandungsdaten oder Schadensdaten aus der Nutzungsphase erhoben und analysiert (analog geschieht dies auch z. B. in der Automobilindustrie). Unter

besonderer Beachtung stehen hierbei sicherheits- oder funktionskritische Merkmale, da diese im Falle eines Versagens zu einer personengefährdenden oder produktschädigenden Fehlerfolge führen können. Wird z. B. ein Implantatfehler in der Nutzungsphase bekannt, findet eine Risikoanalyse statt und die Fehlerfolge wird ermittelt. Ein Produktrückruf hängt von verschiedenen Kriterien ab, ob bspw. eine Gesundheitsgefährdung für den Menschen besteht. Im schlimmsten Fall kann ein Rückruf des Implantats – inklusive dem Entfernen aus dem Kiefer – von Nöten sein, wenn z. B. akute Gesundheitsgefährdungen oder eine Gesundheitsgefährdung mit schwerwiegenden langfristigen Folgen bestehen.

www.risk-management.uni-wuppertal.de

Literaturhinweise

¹Bertsche, Bernd; Göhner, Peter; Jensen, Uwe; Schinköthe, Wolfgang; Wunderlich, Hans-Joachim: Zuverlässigkeit mechatronischer Systeme. Grundlagen und Bewertung in frühen Entwicklungsphasen. Springer Verlag, Heidelberg, 2009

²Bracke, Stefan: Prozessfähigkeit bei der Herstellung komplexer technischer Produkte. Statistische Mess- und Prüfdatenanalyse. Springer Verlag, Heidelberg 2016.

³DAT Report 2016: Deutsche Automobil Treuhand GmbH, Ostfildern 2016

⁴Hinz, Marcin; Temminghoff, Philipp; Bracke, Stefan.: Beitrag zur multivariaten Analyse von Qualitäts- und Zuverlässigkeitsdaten in der Produkt-Erprobungsphase am Beispiel der Fahrzeugtechnik, GQW-Jahrestagung, Shaker Verlag, Aachen 2014.

⁵DIN EN ISO 14801:2008-02: Zahnheilkunde – Zahnimplantate – Dynamische Ermüdungsprüfung für enossale Dentalimplantate. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2014.

⁶DIN EN ISO 9000:2005: Qualitätsmanagementsysteme. Grundlagen und Begriffe. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2005.

⁷Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA): Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie, Zuverlässigkeitssicherung bei Automobilherstellern und Lieferanten; Band 3, Teil 2, 4. Aufl. Gelbband, Henrich Druck + Medien GmbH, Frankfurt am Main, 2014.

Das Institut für Atmosphären- und Umweltforschung

von / by Prof. Dr. Ralf Koppmann und / and Prof. Dr. Peter Wiesen



Bereits seit Gründung der Bergischen Universität Wuppertal im Jahr 1972 ist Atmosphären- und Umweltforschung einer ihrer wichtigsten Forschungsschwerpunkte, der auch als wichtiges Element der Profilbildung Eingang in das aktuelle Leitbild der Universität gefunden hat. Mitte der 1970er Jahre etablierten sich im damaligen Fachbereich 8 (Physik) eine Arbeitsgruppe Atmosphärenphysik und im Fachbereich 9 (Chemie) eine Arbeitsgruppe Atmosphärenchemie. Beide Forschungsrichtungen gibt es noch heute in der Fakultät für Mathematik und Naturwissenschaften. Damit ist die Bergische Universität eine der wenigen deutschen Universitäten, an denen diese beiden Forschungsschwerpunkte gemeinsam existieren.

Traditionell waren die Arbeiten der beiden Gruppen auf unterschiedliche Bereiche der Atmosphäre ausgerichtet. Während sich die Atmosphärenphysik mit der oberen Atmosphäre – und hier insbesondere mit der Stratosphäre – beschäftigte, war das Forschungsfeld der Atmosphärenchemie überwiegend mit der unteren Atmosphäre, der Troposphäre, verknüpft.

Beide Gruppen sind bis heute sehr erfolgreich bei der Einwerbung von Forschungsgeldern und sind in größere nationale und internationale Verbundprojekte – zum Teil mit Koordinations- und Leitungsaufgaben – eingebunden. Leuchtturmprojekte der beiden Bereiche waren das Satellitenprojekt CRISTA zur Erforschung der oberen Atmosphäre, die Entwicklung und der Aufbau des europäischen Photoreaktors EUPHORE in Spanien sowie die Koordination der beiden europäischen Infrastrukturprojekte EUROCHAMP und EUROCHAMP-2 zu atmosphärischen Simulationsanlagen in Europa.

Von Beginn an besteht eine sehr enge Kooperation beider Arbeitsgruppen mit dem Forschungszentrum Jülich zum Teil auch durch gemeinsame Berufungen nach dem sogenannten Jülicher Modell.

Um die Kompetenzen der beiden Gruppen zusammenzubringen und die zum Teil schon laufenden gemeinsamen Arbeiten besser zu koordinieren, wurde Ende August 2014 das Institut für Atmosphären- und Umweltforschung an der Bergischen Universität gegründet. Mit diesem Institut entstand ein Kompetenzzentrum für Atmosphären- und Umweltforschung, das zurzeit schwerpunktmäßig die Forschungsexperten der Arbeitsgruppen Atmosphärenchemie und Atmosphärenphysik in der Fakultät für Mathematik und Naturwissenschaften sowie des Fachgebietes Sicherheitstechnik/Umweltschutz in der Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik bündelt.

Darüber hinaus ist die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses wichtige Aufgabe des Instituts. Zur Erreichung seiner Ziele nimmt das Institut unter anderem folgende Aufgaben wahr: Durchführung von Forschung in den Bereichen Atmosphärenchemie und Atmosphärenphysik, Simulationsexperimente, Modellierung, Entwicklung neuer, innovativer Messmethoden und Auswertalgorithmen. Das Institut ist Teil des Forschungsverbunds „The Reacting Atmosphere“.

Institutsmitglieder seit Gründung sind:

- Prof. Dr. Ralf Koppmann (Fakultät für Mathematik und Naturwissenschaften)
- Prof. Dr. Michael Volk (Fakultät für Mathematik und Naturwissenschaften)
- Prof. Dr. Martin Riese (Fakultät für Mathematik und Naturwissenschaften / Forschungszentrum Jülich)

Atmospheric and environmental research has played a leading role in the research program of the University of Wuppertal ever since its foundation in 1972; and it is a key factor in the university's mission statement. In the mid 1970s the then Faculty of Physics established a working group on atmospheric physics, and the Faculty of Chemistry set up a parallel group on atmospheric chemistry. Both research teams are now part of the School of Mathematics

and Natural Sciences. Wuppertal is one of the few German universities where these two research focuses exist in tandem.

- PD Dr. Rolf Müller (Fakultät für Mathematik und Naturwissenschaften / Forschungszentrum Jülich)
- PD Dr. Andreas Petzold (Fakultät für Mathematik und Naturwissenschaften / Forschungszentrum Jülich)
- Prof. Dr. Peter Wiesen (Fakultät für Mathematik und Naturwissenschaften)
- PD. Dr. Jörg Kleffmann (Fakultät für Mathematik und Naturwissenschaften)
- Prof. Dr. Eberhard Schmidt (Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik)

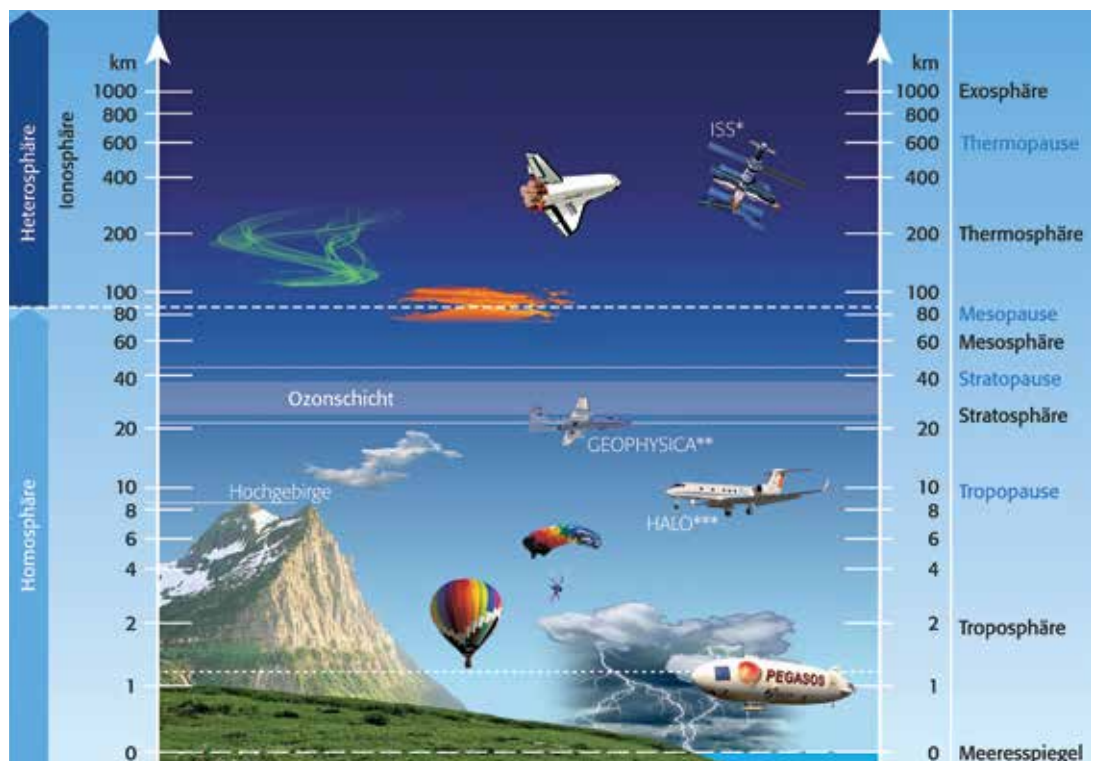
Aktuelle Forschungsprojekte des Instituts für Atmosphären- und Umweltforschung umfassen die Atmosphäre vom Erdboden bis in die obere Atmosphäre. In der bodennahen Troposphäre zählen zu den wichtigen Arbeitsgebieten die Untersuchung der Emissionen und des Abbaus von Schadgasen – eine wichtige Grundlage zur Entwicklung von Gegenmaßnahmen. Aktuelle Forschungsprojekte sind:

- die Untersuchung des Abbaus partiell oxygenierter Kohlenwasserstoffe in der Atmosphäre,

Abb. 1: Die „Stockwerke“ der Atmosphäre.

* ISS: Internationale Raumstation
 ** GEOPHYSICA: Russisches Höhenforschungsflygzeug
 *** HALO: High Altitude and Long Range Research Aircraft,
 PEGASOS: Pan-European Gas-AeroSOls-climate interaction Study

© GDeußing, Neuss (www.pressetextkom.de), Infografik: PauraDesign, Hagen (www.paura.de), mit freundlicher Unterstützung von Prof. Dr. Ralf Koppmann, Bergische Universität Wuppertal.



- die Untersuchung der Gradienten von salpetriger Säure in der Atmosphäre,
- die Entwicklung eines neuartigen Messgerätes zur Messung von Ammoniak in der Atmosphäre,
- die Untersuchung der Emissionen der Binnenschiffahrt auf dem Rhein,
- Untersuchungen der Emissionen und des photochemischen Abbaus von Schadgasen aus Ballungsgebieten (Megacities) in Europa und Asien,
- die Charakterisierung diffuser Staubquellen wie Halde- oder Tagebaue,
- die Verknüpfung von Feinstaubimmissionen mit meteorologischen Daten.

Aktuelle Forschungsergebnisse zeigen, dass Prozesse in der mittleren Atmosphäre erhebliche Auswirkungen auf die untere Atmosphäre haben, die sich vor allem im Rahmen des Klimawandels offensichtlich verstärken. Aus diesem Grund zählt in diesem Bereich der Atmosphäre die Aufklärung der dort ablaufenden Prozesse und ihrer Veränderungen zu den wichtigen Forschungsgebieten. Aktuelle Projekte sind:

- die Untersuchung von Austauschprozessen zwischen den verschiedenen Atmosphärenschichten (vornehmlich mit Flugzeugexperimenten),
- die Untersuchung des Ozonabbaus in der Stratosphäre,
- Messungen von Temperaturen und Winden in der oberen Atmosphäre mittels Fernerkundung als „Frühwarnsystem“ für Klimaveränderungen,
- Entwicklung von speziellen Instrumenten für den Einsatz auf Flugzeugen und Satelliten,
- Entwicklung eines eigenen Satelliten der CubeSat-Klasse für die Untersuchung von Schwerewellen in der mittleren Atmosphäre.

In der Lehre bietet das Institut den Studierenden ein breites Spektrum an Lehrveranstaltungen zu zahlreichen Themen der Umweltforschung an, angefangen von den Grundlagen der Atmosphärenchemie und -physik bis zu Spezialvorlesungen zu hochaktuellen Themen der Umwelt- und Klimaforschung. Das Institut eröffnet Studierenden für Abschlussarbeiten und Promotionen spannende Themenfelder, ermöglicht die Teilnahme an internationalen Messkampagnen sowie über verschiedene Kooperationen und internationale Projekte die Nutzung von Forschungsinfrastruktur im In- und Ausland.

So betreibt das Institut eine ehemalige Station des Landesamts für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW zur Messung der Luftqualität am Loher Kreuz in Wuppertal. Die Luftqualitätsdaten dieser Station können online im Netz abgerufen werden. Die Station ist in die Ausbildung der Studierenden eingebunden, um ihnen einen möglichst realen Einblick in die Messverfahren zur Untersuchung der Luftqualität zu bieten.

Weiterhin ist das Institut an der Nutzung des neuen deutschen Forschungsflugzeuges HALO beteiligt. Bisher sind während drei Forschungsmissionen mehrere Abschlussarbeiten und Promotionen entstanden. In den kommenden zwei Jahren ist das Institut mit verschiedenen Messinstrumenten an vier weiteren Missionen beteiligt. Im Rahmen der angestrebten Internationalisierung der Universität war das Institut auch maßgeblich an der Entwicklung eines deutsch-französischen Masterstudiengangs „Atmosphärenchemie und -physik“ beteiligt, der von der Deutsch-Französischen Hochschule in Saarbrücken finanziell unterstützt wird.

www.iau.uni-wuppertal.de

Der Dunklen Materie auf der Spur

On the track of dark matter

Eine deutsch-ungarische Forschergruppe unter Federführung der Bergischen Universität und des Forschungszentrums Jülich hat ein spektakuläres Ergebnis in der renommierten Zeitschrift *Nature* publiziert. Mithilfe von Gitter-QCD-Rechnungen konnte die Arbeitsgruppe um Prof. Dr. Zoltán Fodor, Physiker an der Bergischen Universität und dem Forschungszentrum Jülich, wesentliche Erkenntnisse zum Verständnis des frühen Universums und zur sogenannten Dunklen Materie beitragen.

Nach derzeitigem Verständnis sind nur etwa 15 Prozent der Materie des Universums sichtbar, der Rest ist dunkel: Das heißt, er hat im Grunde genommen keine Wechselwirkung mit dem Licht oder den bereits bekannten Teilchen des Universums. Weltweit werden seit einigen Jahren große Anstrengungen unternommen, um die Dunkle Materie in Experimenten nachzuweisen.

Einer der attraktivsten Lösungsvorschläge für dieses Rätsel heißt „Axion“. Es handelt sich hierbei um ein hypothetisches Teilchen, welches das gesamte Universum erfüllen könnte. Der Anteil der Dunklen Materie an der Gesamtmasse des Universums ist bereits seit längerem aus astrophysikalischen Beobachtungen bekannt. Um das hypothetische Axion aber experimentell nachweisen zu können, ist es erforderlich, auch seine Masse – zumindest in gewissen Grenzen – zu kennen. Sie ist nach theoretischen Überlegungen proportional zu der Häufigkeit, mit der sich die topologische Quantenzahl des frühen Universums ändert. Dem Forscherteam gelang es in groß angelegten Computerberechnungen nun erstmals, die Rolle von Axionen bei der Entwicklung des frühen Universums zu klären.

Ein besonders wichtiges Ergebnis hierbei ist die erstmalige Bestimmung der Masse des Axions. Diese Information können zukünftige Experimente nutzen, um präzise und fokussiert nach Axionen zu suchen. Entsprechende experimentelle Vorschläge für diesen bislang weitgehend unerforschten Massenbereich wurden ebenfalls ausgearbeitet und auch in der Publikation skizziert. „Es ist davon auszugehen, dass die vorgelegten Ergebnisse zu einem Wettlauf um die Entdeckung dieser Teilchen führen werden“, so Prof. Fodor. Ihre Entdeckung würde nicht nur das Problem der Dunklen Materie des Universums lösen, sondern gleichzeitig die Frage beantworten, warum die starke Wechselwirkung so überraschend symmetrisch ist.

Das Editorial Board der Fachzeitschrift *Nature* wählt in jeder Ausgabe einige wenige Artikel, die für die weitere Entwicklung eines wissenschaftlichen Feldes besonders wichtig sind, für eine Würdigung (News and Views) aus. Neben Prof. Fodor gehören zu dem Wuppertaler Forscherteam die Physiker Dr. Szabolcs Borsányi, Dipl.-Phys. Jana Günther, Prof. Dr. Karl-Heinz Kampert, Dr. Attila Pasztor und Prof. Dr. Kalman Szabo.

A German-Hungarian research team led by the University of Wuppertal and Jülich Research Center has recently published spectacular results in the scientific journal Nature. Under the direction of Prof. Dr. Zoltán Fodor of the Wuppertal School of Physics and the Jülich Research Center, a research team has been able, using lattice QCD calculations, to shed new light on the origins of the universe and the nature of what we know as dark matter.

Scientists currently reckon that only some 15% of the universe's matter is visible, the rest is 'dark'. That means it has basically no interaction with light or with currently known particles of the universe. Great efforts have been made worldwide in recent years to demonstrate the existence of dark matter experimentally.

One of the most attractive of the suggested solutions is the axion, a hypothetical particle that could fill the entire universe. The proportion of dark matter in the mass of the universe has been known for some time from astrophysical observations. But to demonstrate the existence of the hypothetical axion experimentally, its mass must also be known – at least within certain limits. In current theory, axion mass is proportional to the frequency of topological change in quantum number in the infant universe. Using supercomputer facilities, the Wuppertal-Jülich research team has succeeded in clarifying the role of axions in the early development of the universe.

A particularly important result published in the recent Nature article is the determination of the mass of the axion – a field as yet little researched, but which can provide useful information enabling future experiments to look more precisely for the particle. “Predictably,” says Prof. Fodor, “this will lead to a worldwide race to find the axion.” Its discovery would not only solve the problem of dark matter but at the same time explain why the strong interaction is so surprisingly symmetrical.

In each issue of Nature the editorial board selects for its ‘News and Views’ section a few articles that it sees as particularly important for the further development of a scientific field. Prof. Fodor’s team of physicists includes Dr. Szabolcs Borsányi, Jana Günther Dip.Phys., Prof. Dr. Karl-Heinz Kampert, Dr. Attila Pasztor, and Prof. Dr. Kalman Szabo.



Regionales Innovationsnetzwerk zum Verkehrsraum der Zukunft

Regional innovation network for future mobility

Das Forscherteam Prof. Dr.-Ing. Anton Kummert, Prof. Dr. Heinz-Reiner Treichel, Dr. Michael Krause und Dr.-Ing. Jörg Velten (Fakultät für Elektrotechnik, Informationstechnik und Medientechnik) konnte sich mit dem Projektvorhaben „Demografischer Wandel und Verkehrsraum der Zukunft“ in der aktuellen Förderrunde des Förderprogramms „Regionale Innovationsnetzwerke“ (RIN) des NRW-Ministeriums für Innovation, Wissenschaft und Forschung (MIWF) durchsetzen.

Gefördert werden innovative Ideen und Konzepte zu regionalen Fragestellungen entlang der großen gesellschaftlichen Herausforderungen, wie Klimaschutz, Energieversorgung, demografischer Wandel, Mobilität, Sicherheit und Teilhabe. Die Regionalen Innovationsnetzwerke sollen eine dauerhafte Plattform für Experten ganz unterschiedlicher Bereiche in einer NRW-Region schaffen: technisch Versierte und gesellschaftlich Engagierte, Unternehmer, lokale Entscheidungsträger aus Verwaltung und Vereinen und vor allem Forschende. Vertreter aus allen Bereichen erarbeiten gemeinsam konkrete Fragestellungen, die dann von der Wissenschaft aufgegriffen werden sollen.

Als weiteren Projektpartner werden die Wuppertaler Forscher die Bergische Struktur- und Wirtschaftsförderungsgesellschaft einbinden, zahlreiche Akteure des Bergischen Städtedreiecks (z.B. die Neue Effizienz, das Fachzentrum Verkehr der Bergischen Uni und das Wuppertal Institut) gaben einen „Letter of Intent“ für eine spätere Projektmitarbeit ab.

„Wir fliegen zum Mond und können uns mit autonom fahrenden Fahrzeugen von der West- zur Ostküste der USA bewegen, sind aber gleichzeitig nicht in der Lage, dem Rollator-Benutzer an der Haltestelle eine Einstiegsmöglichkeit in den Bus ohne Pannen zu garantieren oder den Rollstuhlfahrer rechtzeitig auf den Defekt des Fahrstuhls in seinem Zielbahnhof hinzuweisen. Während einerseits auf dem Weg zum Verkehrsraum der Zukunft hochinnovative Technologien erforscht und entwickelt werden, um das vollständig autonome Fahren zu realisieren, werden auf der anderen Seite noch nicht einmal die bekannten Technologien eingesetzt, um dringend benötigte Problemlösungen für Menschen mit eingeschränkter Mobilität zur Verfügung zu stellen,“ fasst Prof. Kummert den thematischen Schwerpunkt des RIN zusammen.

„Unser Netzwerk begreift Mobilität als Schlüssel zur Verbesserung der Teilhabe von Menschen mit Kompetenzeinbußen und gleichzeitig als Treiber der wirtschaftlichen Entwicklung. Durch die intelligente Vernetzung aller Akteure, die an der Gestaltung des Verkehrsraums der Zukunft beteiligt sind, wird das Netzwerk zum Impulsgeber und Innovationsmotor für die Entwicklung und Umsetzung bedarfsgerechter und nachhaltiger Mobilitätslösungen für die Region Bergisches Städtedreieck und darüber hinaus,“ ergänzt Prof. Treichel.

Der geplante Projektstart für das Regionale Innovationsnetzwerk ist Januar 2017. Das Projekt beginnt mit einer einjährigen Phase zur Konkretisierung der Handlungs- und Forschungsbedarfe sowie dem Aufbau der Strukturen.

With their project "Demographic Change and Future Mobility," Prof. Dr.-Ing. Anton Kummert, Prof. Dr. Heinz-Reiner Treichel, Dr. Michael Krause and Dr.-Ing. Jörg Velten from the University of Wuppertal's Faculty of Electrical, Information and Media Engineering have been selected for funding by North Rhine-Westphalia's Ministry of Innovation, Science, and Research in the current competitive round of the Regional Innovation Network (RIN) program. This promotes innovative solutions to regional issues concerned with major social challenges like climate protection, energy supply, demographic change, mobility, security, and economic and social participation.

Regional innovation networks are conceived as permanent platforms for experts from many different fields within a specific region of the State of North Rhine-Westphalia (NRW). These range from technology experts to socially involved individuals, and include entrepreneurs, public sector managers, club and interest group leaders, and above all researchers. Together they select concrete issues for research groups to work on. A further regional project partner for the Wuppertal research group is the Bergisch Economy Structural Promotion Agency; in addition, a number of groups from the so-called 'Bergisch triangle' (the three cities of Remscheid, Solingen and Wuppertal), including New Efficiency – Bergisch Resource Efficiency Association, the University of Wuppertal's Center for Traffic and Transportation, and the Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy have signed a letter of intent for later collaboration in the project.

Outlining the aims of the Wuppertal RIN, Prof. Kummert says: "We can fly to the moon, and we can drive from the West Coast to the East of the USA in an autonomous car, but we still can't guarantee that 'rollator' (rolling walker) users can physically enter a bus safely, or a wheelchair user traveling by train can be informed about a fault in the elevator at his or her destination. While on the one hand high tech solutions are being developed for autonomous driving, not even the most familiar technologies are used to solve urgent problems for persons with reduced mobility."

"Our network", adds Prof. Treichel, "sees mobility as a key to improving the social participation of such groups, and at the same time as a driver of economic development. The intelligent networking of all who share in shaping the mobile space of the future makes the RIN an engine of innovation and provider of impetus for the development and implementation of tailor-made, sustainable mobility solutions for the Bergisch triangle and beyond."

The Wuppertal RIN is due to start in January 2017. The first year will be devoted to gathering information about concrete requirements for research and action and the development of appropriate structures.

www.sikom.uni-wuppertal.de

„Teilen statt Besitzen“ in der Wohnungswirtschaft

Sharing instead of owning in the housing industry

„Share Economy“ – also Teilen statt Besitzen – ist in der Wohnungswirtschaft weit verbreitet, wie eine Online-Befragung festgestellt hat. Bundesweit erstmalig wurden rund 2000 Mitglieder des Bundesverbandes deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen zu ihren „Sharing“-Angeboten befragt. Die Befragung wurde durchgeführt vom Wuppertaler Fachgebiet Ökonomie des Planens und Bauens unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. Guido Spars und dem Institut für Stadtforschung, Planung und Kommunikation der Fachhochschule Erfurt. Nun haben die Forscher ihre Ergebnisse veröffentlicht.

Share Economy ist in der Wohnungswirtschaft bereits seit langem etabliert und es werden, entgegen dem kommerziellen Trend, nicht nur jüngere Zielgruppen angesprochen. Ältere, Familien und einkommensschwache Haushalte profitieren von Angeboten wie Gemeinschaftsräumen und Car-Sharing. Zu den positiven Haupteffekten der Sharing-Angebote zählen laut der Wohnungsunternehmen die Imageverbesserung, die Stärkung der Nachbarschaften sowie die Reduzierung der Kosten. „Diese Effekte sind interessant für die Debatte um bezahlbares Wohnen“, so Prof. Dr. Heidi Sinning, Projektleiterin an der FH Erfurt. „Bedeutsam wäre eine breite Diskussion mit der Wohnungswirtschaft, denn für den derzeit stattfindenden Wohnungsbau, aber auch für die zu sanierenden Gebäude, sollte überprüft werden, welche Sharing-Ansätze berücksichtigt werden können.“

That in the German housing market the share economy is now a common phenomenon has been shown by a recent online survey of some 2000 members of the Federal Association of German Housing and Real Estate Enterprises. The nationwide survey was conducted jointly by the University of Wuppertal's Department of Planning and Construction Economics under the direction of Prof. Dr.-Ing. Guido Spars, and the Institute of Urban Research, Planning and Communication of Erfurt University of Applied Sciences. The research results have now been published.

Sharing is a long-established modality in the housing sector, not only – contrary to commercial trends – among younger age-groups. Families, older people and low-income households also profit from offers such as shared common rooms and other premises, as well as car sharing. Among the positive effects of such arrangements housing enterprises cite image enhancement, strengthening of neighborhood identity, and reduction of costs. Prof. Dr. Heidi Sinning, project leader in Erfurt, sees these effects as “interesting for the debate about affordable living space.” She continues “A wide-ranging discussion with the housing industry would be desirable and meaningful – both newly built and refurbished properties would profit from an examination of the potential of sharing.”

www.fh-erfurt.de/fhe/isp/forschung/projekte/kosewo/

Erfolgreiche Integration schon durch den Kindergarten?

Can successful integration start in the kindergarten?

„Wie können schon im Kindergarten Grundlagen für eine erfolgreiche Integration von Einwandererkindern geschaffen werden?“ Dieser Frage gehen die Wuppertaler Bildungsökonominnen Prof. Dr. Hendrik Jürges und Prof. Dr. Kerstin Schneider (WIB – Wuppertaler Institut für bildungsökonomische Forschung) im Rahmen eines von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Forschungsprojekts nach.

Untersucht wird die Auswirkung unterschiedlicher ethnischer und sozialer Zusammensetzung in Wohnumfeld und Kindergarten auf die Kompetenzentwicklung von Kindern bis zum Eintritt in die Schule. „Wir versuchen unter anderem mit neuesten methodischen Ansätzen herauszufinden, ob es sinnvoll ist, die ethnische und soziale Zusammensetzung der Kindergartengruppen zu steuern, sodass sich bildungsstärkere und bildungsschwächere Kinder in ihrer Kompetenzentwicklung ergänzen“ erklärt Jürges. Das Projekt wird von der DFG für drei Jahre mit rund 210.000 Euro gefördert.

“Can the kindergarten already lay down foundations for the successful integration of immigrant children?” University of Wuppertal educational economists Prof. Dr. Hendrik Jürges and Prof. Dr. Kerstin Schneider (Wuppertal Research Institute for the Economics of Education) are seeking answers to this question in a research project funded by the German Research Foundation (DFG).

The object of the research is to determine the impact of ethnic and social differences in residential and kindergarten environments on the development of children's pre-school competencies. Prof. Jürges explains: “we try to establish, using some of the most modern methods, whether it makes sense to steer the ethnic and social composition of kindergarten groups so that children from different cultural backgrounds and levels can complement each other in the development of competencies.” The project has received three years' funding (c. € 210,000) from the DFG.

www.wib.uni-wuppertal.de

Mehr Sicherheit für Großveranstaltungen

Enhancing safety at big events

Der Festivalsommer 2016 endete mancherorts mit einer traurigen Bilanz. Wegen schwerer Unwetter und mehr als 80 Verletzten musste das Musikfestival „Rock am Ring“ frühzeitig abgebrochen werden. Auch beim „Southside Festival“ in Neuhausen ob Eck mit Zehntausenden Musikfans gab es am Eröffnungsabend 25 Verletzte. Die Veranstaltung wurde daraufhin abgesagt, das Festivalgelände musste evakuiert werden. Verantwortlich für den sicheren Ablauf und die geordnete Räumung einer Veranstaltung sind die Veranstaltungsordnungsdienste (VOD), die nun im Rahmen eines Forschungsprojektes am Lehrstuhl für Bevölkerungsschutz, Katastrophenhilfe und Objektsicherheit wissenschaftlich untersucht werden.

Das Projekt wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen der „Forschung für die zivile Sicherheit“ mit insgesamt 1,5 Mio. Euro gefördert. Beteiligt sind neben der Bergischen Universität Wuppertal das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) sowie die IBIT GmbH. Assoziierte Partner sind unter anderem der Deutsche Fußballbund (DFB), der Bundesverband der Sicherheitswirtschaft (BDSW) und die Deutsche Hochschule der Polizei (DHPol).

The festivals of Summer 2016 ended at several German sites with a rather sad balance-sheet. The big annual music fest 'Rock am Ring' at the Nürburgring was broken off due to severe storms and more than 80 injured festival-goers. And the Southside Festival at Neuhausen-ob-Eck counted 25 injuries among its 10,000 fans on its first evening. The result: the festival was called off and the site evacuated. Responsibility for safety during and after a festival of this sort lies with the event security services, and it is these that are currently under scrutiny in a research project at the University of Wuppertal's Department of Civil Protection, Disaster Relief, and Physical Safety and Security.

Funded by the Federal Ministry of Education and Research – within the framework of the “Research for Civil Safety and Security” program – with a grant totaling € 1.5 m, the project includes the Federal Office of Civil Protection and Disaster Assistance, and IBIT GmbH. Associate partners are the German Football Association, the Federal Association of the Security Industry, and the German Police University.

www.buk.uni-wuppertal.de

Bedingungen der Arbeit älterer Menschen

Working conditions of the elderly

180 Expertinnen und Experten aus 29 Ländern tauschten sich an der Bergischen Universität über die Bedingungen der Arbeit älterer Menschen und den Berentungsprozess in alternden Erwerbsbevölkerungen aus. Die Konferenz „Work, Age, Health and Employment – Evidence from Longitudinal Studies“ wurde durch den Lehrstuhl für Arbeitswissenschaft unter Leitung von Prof. Dr. Hans Martin Hasselhorn, in Kooperation mit dem Nürnberger Institut für Arbeitsmarktforschung ausgerichtet.

Der „Kompetenzcluster Arbeitsmarktteilhabe im höheren Erwerbsalter“ hatte Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus NRW zum fachlichen Austausch eingeladen, um mit zehn weiteren nordrhein-westfälischen Lehrstühlen ein Forschungsnetzwerk „Arbeitsmarktteilhabe im höheren Erwerbsalter“ zu etablieren. Das Vorhaben wird vom Ministerium für Innovation, Wissenschaft und Forschung des Landes NRW gefördert und soll Kompetenzen bündeln, um den Strukturwandel des Wirtschaftsstandorts Nordrhein-Westfalen in Bezug auf die komplexe Thematik der Erwerbspotenziale Älterer unter Einbindung von Entscheidungsträgern aus Politik, Wirtschaft und Gesellschaft wissenschaftlich zu begleiten.

180 experts from 29 countries met recently at the University of Wuppertal to discuss the working conditions of older people and the allied question of pensions processes. The conference on 'Work, Age, Health and Employment – Evidence from Longitudinal Studies' was organized by the university's Department of Occupational Health Science under the direction of Prof. Dr. Hans Martin Hasselhorn, in cooperation with the Nuremberg Institute for Employment Research.

In this context, NRW scientists – including ten departmental heads from other universities – were invited by the 'competence cluster' on “Participation of the Elderly in the Labor Market” to discuss the establishment of a research network on that subject. Supported by NRW's Ministry of Innovation, Science, and Research, the project aims to bundle competencies in the field of structural change facing the complex issue of the earning potential of older people within the NRW economy. As well as its academic members, the network will contain decision makers from the fields of politics, industry, and society.

<http://wahe2016.uni-wuppertal.de>

Christhard Lück

Praxis Religionsunterricht

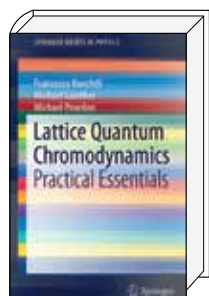


Der Religionspädagoge Prof. Dr. Christhard Lück hat zusammen mit seinen Wiener Kollegen Prof. Dr. Martin Rothgangel und Dr. Philipp Klutz ein neues Buch veröffentlicht. „Praxis Religionsunterricht“ präsentiert die Ergebnisse einer empirischen Untersuchung unter 1100 evangelischen Religionslehrkräften verschiedener Schulformen im Rheinland. Die Studie zeichnet das Bild einer mehrheitlich hoch motivierten, selbstbewussten Religionslehrerschaft.

„Die Lehrer begreifen den Religionsunterricht als große Chance und wichtiges Bildungsangebot, das grundlegende Beiträge zu religiöser Orientierung, Persönlichkeitsbildung und Pluralitätsfähigkeit leistet“, sagt Lück. Der Umfrage aus 2013 zufolge orientieren sich Religionslehrende stark an ihrem Gewissen und an der Bibel als Basisdokument des christlichen Glaubens. Oft unterrichten sie Schüler ganz unterschiedlicher Konfessions- und Religionszugehörigkeiten. Die Studie untersucht auch das Verhältnis der Religionslehrkräfte zur Institution Kirche: Dies sei deutlich entspannt.

Lück, Christhard / Rothgangel, Martin / Klutz, Philipp: Praxis Religionsunterricht. Einstellungen, Wahrnehmungen und Präferenzen von ReligionslehrerInnen. Kohlhammer-Verlag 2016; 297 Seiten; 35 Euro.

Francesco Knechtli / Michael Günther Quantenchromodynamik auf dem Gitter



Der Physiker Prof. Dr. Francesco Knechtli und der Mathematiker Prof. Dr. Michael Günther veröffentlichen gemeinsam mit Prof. Dr. Michael Peardon (Trinity College Dublin, Irland) das Buch „Lattice Quantum Chromodynamics. Practical Essentials“. „Mehr als 40 Jahre nach ihrer Formulierung ist aus der Quantenchromodynamik (QCD) auf dem Gitter ein interdisziplinäres Forschungsgebiet geworden, das Physik, Mathematik und Informatik verbindet“;

so Prof. Knechtli. Die Gitter QCD beschreibt Quarks und Gluonen auf einem Raum-Zeit Gitter. Mithilfe dieser Formulierung können die physikalischen Eigenschaften der Hadronen (Protonen, Neutronen, Pionen, Kaonen, Charmonium usw.) durch Monte Carlo Simulationen auf Supercomputern berechnet werden. Das Buch bietet einen Überblick über die Techniken, die in der QCD eine zentrale Rolle spielen, einschließlich moderner Entwicklungen. Es ist aus der Zusammenarbeit im – durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft finanzierten – Sonderforschungsbereich (SFB/Transregio 55) „Hadronenphysik mit Gitter-QCD“ entstanden.

Knechtli, Francesco / Günther, Michael / Peardon, Michael: Lattice Quantum Chromodynamics. Practical Essentials. Springer 2016; 129 Seiten; 49,99 Euro.

Paul J.J. Welfens

BREXIT aus Versehen



„Brexit aus Versehen: Europäische Union zwischen Desintegration und neuer EU“ ist der Titel eines neuen Buches von Prof. Dr. Paul J.J. Welfens, Präsident des Europäischen Instituts für Internationale Wirtschaftsbeziehungen an der Bergischen Universität. Das Referendum über den „Verbleib des Vereinigten Königreichs in der Europäischen Union“ fand am 23. Juni statt. Für einen Austritt des Vereinigten Königreichs („Brexit“) stimmten 51,9 Prozent

der Wähler, für einen Verbleib in der Europäischen Union 48,1 Prozent. „Das britische Referendum hat keine wirkliche Legitimität, es ist ohne vernünftige Infos zustande gekommen – ein Skandal in London, der ganz Europa beschädigt“, sagt Welfens. Entscheidend für das Wahlergebnis sei eine „historische Mega-Kommunikationspanne“ der Regierung gewesen, ohne die als Ergebnis 52,1 Prozent für den EU-Verbleib gestanden hätte. „Egal ob Sabotage durch EU-Gegner oder Regierungschaoas, das Referendum erscheint klar als ganz massiv durch lückenhafte und grob fehlerhafte Info-Politik der Cameron-Regierung verfälscht“, so Welfens.

Welfens, Paul J.J.: Brexit aus Versehen: Europäische Union zwischen Desintegration und neuer EU. Springer Verlag 2016; 390 Seiten; 19,99 Euro.

Matías Martínez / Michael Scheffel Einführung in die Erzähltheorie



Erzählt wurde und wird überall – mündlich, in Texten sowie in Filmen und Bildern. Erzählen ist eine Grundform unseres Zugangs zur Welt, den die „Erzählforschung“ in all seinen Arten aus systematischer und historischer Sicht untersucht. 1999 haben die Germanisten Prof. Dr. Matías Martínez und Prof. Dr. Michael Scheffel Einsichten aus unterschiedlichen Richtungen der Erzählforschung zu einem eigenen Beschreibungsmodell zusammengefasst und ihre

„Einführung in die Erzähltheorie“ vorgelegt. Jetzt ist eine weitere überarbeitete Fassung des bereits ins Spanische und Japanische übersetzten „Longsellers“ erschienen. Das bei C.H. Beck verlegte Buch wird in der Lehre unterschiedlicher Fächer eingesetzt und hat sich unterdessen als eine Art Standardwerk etabliert. Es informiert über den aktuellen Stand der internationalen Erzählforschung und präsentiert unter Verwendung von Beispielen aus verschiedenen Literaturen und Epochen ein umfassendes, praktisch anwendbares System zur Analyse von Erzählungen.

Martínez, Matías / Scheffel, Michael: Einführung in die Erzähltheorie. 10., überarbeitete und aktualisierte Auflage; C.H. Beck Verlag; München 2016; 229 Seiten; 16,95 Euro.

Forschungseinrichtungen / Research Centers

FORSCHUNGSZENTREN / RESEARCH CENTERS

Interdisziplinäres Zentrum für Wissenschafts- und Technikforschung: Normative und historische Grundlagen (IZWT) / *Interdisciplinary Center for Science and Technology Studies: Normative and Historical Perspectives*
www.izwt.uni-wuppertal.de

Interdisziplinäres Zentrum für angewandte Informatik und Scientific Computing (IZ II) / *Interdisciplinary Center for Applied Informatics and Scientific Computing*
www.iz2.uni-wuppertal.de

Interdisziplinäres Zentrum für das Management technischer Prozesse (IZ III) / *Interdisciplinary Center for Technical Process Management*
www.iz3.uni-wuppertal.de

Institut für Polymertechnologie / *Institute of Polymer Technology*
www.ifp.uni-wuppertal.de

Zentrum für Erzählforschung (ZEF) / *Center for Narrative Research*
www.zef.uni-wuppertal.de

Bergisches Kompetenzzentrum für Gesundheitsmanagement und Public Health (BKG) / *Bergisch Regional Competence Center for Health Management and Public Health*
www.gesundheit.uni-wuppertal.de

Zentrum für interdisziplinäre Sprachforschung (ZefiS) / *Center for interdisciplinary language research*
www.sprachforschung.uni-wuppertal.de

Zentrum für Kindheitsforschung „Kindheiten.Gesellschaften“ / *Center for Research into Childhood and Society*
Prof. Dr. Heinz Sünker, E-Mail suenker@uni-wuppertal.de

Zentrum für reine und angewandte Massenspektrometrie / *Institute for Pure and Applied Mass Spectrometry*
www.chemie.uni-wuppertal.de

Zentrum für Editions- und Dokumentwissenschaft (IZED) / *Center for Editing and Documentology*
www.ized.uni-wuppertal.de

Jackstädtzentrum für Unternehmertums- und Innovationsforschung / *Jackstädt Center of Entrepreneurship and Innovation Research*
www.jackstaedt.uni-wuppertal.de

Forschungszentrum Frühe Neuzeit (FFN) / *Research Center for the Early Modern Period*
www.fruehneuzeit-forschung.de

Zentrum für Transformationsforschung und Nachhaltigkeit (TransZent) / *Center for Transformation Research and Sustainability*
www.transzent.uni-wuppertal.de

GRADUIERTENKOLLEGS / RESEARCH TRAINING GROUPS

Demographischer Wandel im Bergischen Land / *Demographic Change in the Bergisch Region*
Prof. Dr.-Ing. Felix Huber, E-Mail huber@uni-wuppertal.de

Helmholtz-Graduiertenschule für Energie und Klimaforschung (HITEC) / *Helmholtz Interdisciplinary Doctoral Training in Energy and Climate*
www.fz-juelich.de/hitec

Dokument – Text – Edition / Document – Text – Editing
www.editionen.uni-wuppertal.de

FORSCHUNGSVERBÜNDE / RESEARCH NETWORKS

The Reacting Atmosphere – Understanding and Management for Future Generations
www.atmos.physik.uni-wuppertal.de

ATLAS-Experiment am Large Hadron Collider (LHC) am CERN / *ATLAS Experiment at the Large Hadron Collider (LHC), at CERN*
www.atlas.uni-wuppertal.de

Pierre-Auger-Observatorium / *Pierre Auger Observatory*
<http://auger.uni-wuppertal.de>

DFG-Forschergruppe „Korrelationen in integrierbaren quantenmechanischen Vielteilchensystemen“ / *DFG Research unit “Correlations in Integrable Quantum Many-Body Systems”*
Prof. Dr. Andreas Klümper, E-Mail kluemper@uni-wuppertal.de

DFG-Forschergruppe „Epistemologie des LHC“ / *DFG Research unit “The Epistemology of the LHC”*
www.lhc-epistemologie.uni-wuppertal.de

SONDERFORSCHUNGSBEREICHE / COLLABORATIVE RESEARCH CENTERS

der deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), bzw. Beteiligungen / *funded by the German Research Foundation (DFG)*

„Hadronenphysik mit Gitter-QCD“ (Transregio SFB der Universitäten Wuppertal und Regensburg) / *Hadron Physics from Lattice QCD (in cooperation with the University of Regensburg)*

„Maßgeschneiderte Multiskalige Materialsysteme“ (TU Hamburg-Harburg, Universität Hamburg, Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY, Helmholtz-Zentrum Geesthacht): Teilprojekt „Mehrskalenmodellierung des mechanischen Verhaltens von Kompositwerkstoffen mit hierarchischer Struktur“ (Prof. Dr. Swantje Bargmann (BUW) / Dr.-Ing. Ingo Scheider (Helmholtz-Zentrum Geesthacht)); Teilprojekt „Multiphysikalische Modellierung und Simulation von Kompositwerkstoffen aus Metall und Polymer auf der Nanoskala“ (Prof. Dr. Swantje Bargmann)

INSTITUTE der Fakultäten / INSTITUTES of the schools

Institut für Europäische Wirtschaftsforschung /
Institute of European Economic Relations
www.wiw.uni-wuppertal.de

Institut für Umweltgestaltung / *Institute of Environmental Planning*
www.iug.uni-wuppertal.de

Institut für Robotik / *Institute of Robotics*
www.robotik.uni-wuppertal.de

Institut für Grundbau, Abfall- und Wasserwesen /
Institute of Foundation, Waste and Water Engineering
www.hydro.uni-wuppertal.de/igaw

Institut für Konstruktiven Ingenieurbau /
Institute of Structural Engineering
www.ikib.uni-wuppertal.de

Center for International Studies in Social Policy
and Social Services
www.sozpaed.uni-wuppertal.de

Institut für Gründungs- und Innovationsforschung /
Institute of Entrepreneurship and Innovation Research
www.igif.wiwi.uni-wuppertal.de

Institut für angewandte Kunst- und Bildwissenschaften /
Institute of Applied Art History and Visual Culture
www.fk8.uni-wuppertal.de

Institut für Sicherheitstechnik /
Institute of Safety Engineering
www.site.uni-wuppertal.de

Institut für phänomenologische Forschung /
Institute of Phenomenological Research
www.fk1.uni-wuppertal.de

Institut für Sicherungssysteme / *Institute of Security Systems*
www.sicherungssysteme.net

Institut für Bildungsforschung / *Institute of Educational Research*
www.ifb.uni-wuppertal.de

Institut für Linguistik / *Institute of Linguistics*
www.linguistik.uni-wuppertal.de

Institut für Modellierung, Analysis and Computational Mathematics /
Institute of Modelling, Analysis and Computational Mathematics
www.fk4.uni-wuppertal.de

Wuppertaler Institut für bildungsökonomische Forschung /
Wuppertal Research Institute for the Economics of Education
www.wib.uni-wuppertal.de

Martin-Heidegger-Institut / *Martin Heidegger Institute*
www.heidegger.uni-wuppertal.de

Institut für Systemforschung der Informations-, Kommunika-
tions- und Medientechnologie / *Institute of Systems Research in*
Information, Communications and Media Technology
www.sikom.uni-wuppertal.de

Institut für Partikeltechnologie / *Institute of Particle Technology*
www.ipt.uni-wuppertal.de

Institut für visionäre Produkt- und Innovationsentwicklung
(Visionlabs) / *Institute for Visionary Product and Innovation*
Development (Visionlabs)
www.uwid.uni-wuppertal.de

Forschungsstelle Bürgerbeteiligung – Institut für Demokra-
tie- und Partizipationsforschung / *Research Group for Citizens’*
Action – Institute for Research on Democracy and Participation
www.buergerbeteiligung.uni-wuppertal.de

Institut für Produkt-Innovationen /
Institute for Product Innovation
www.fuw.uni-wuppertal.de

Institut für Atmosphären- und Umweltforschung /
Institute for Atmospheric and Environmental Research
www.iau.uni-wuppertal.de

AN-INSTITUTE / ASSOCIATE INSTITUTES

Institut für Arbeitsmedizin, Sicherheitstechnik und Ergono-
mie e.V. / *Institute of Occupational Medicine, Safety Engineering*
and Ergonomics
www.institut-aser.de

Forschungsinstitut für Telekommunikation e.V. /
Telecommunications Research Institute
www.ftk.de

Europäisches Institut für internationale Wirtschafts-
beziehungen e.V. / *European Institute for International*
Economic Relations
www.eiiw.eu

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

Biblisch-Archäologisches Institut /
Institute of Biblical Archaeology
www.bai-wuppertal.de

Neue Effizienz – Bergische Gesellschaft für Ressourcen-
effizienz mbH / *New Efficiency, Bergisch Association for the*
Efficient Use of Resources
www.neue-effizienz.de

Forschungsförderung / Research Funding Management

ANSPRECHPARTNER / CONTACTS

Europäische Forschungsförderung / European Research Funding Management

Ulrike Hartig / Betisa Schahabian

Telefon: 0202/439-3806 /-2866

E-Mail: uhartig@uni-wuppertal.de / schahabian@uni-wuppertal.de

Nationale Forschungsförderung / National Research Funding Management (Germany)

Carolin Sonnenschein / Tiana Wiebusch

Telefon: 0202/439-5135 /-3810

E-Mail: sonnenschein@uni-wuppertal.de /
twiebusch@uni-wuppertal.de

Promotionsförderung / Support for Doctoral Students

Melanie Kraft / Tiana Wiebusch

Telefon: 0202/439-2983 /-3810

E-Mail: kraft@uni-wuppertal.de / twiebusch@uni-wuppertal.de

Trennungsrechnungsprojekte / Public-Private Project Accounting

Kristoffer Frege / Vera Ayolt

Telefon: 0202/439-3307 /-1985

E-Mail: frege@uni-wuppertal.de / vayolt@uni-wuppertal.de

ANSPRECHPARTNER DRITTMITTELVERWALTUNG / CONTACTS ADMINISTRATION OF EXTERNAL FUNDING

Grundsatzangelegenheiten / Policy Matters

Jürgen Werner

Telefon: 0202/439-2315 / E-Mail: jwerner@uni-wuppertal.de

Vertragsmanagement / Contract Management

Irina Berger / Peter Augustin

Telefon: 0202/439-3811 /-1060

E-Mail: iberger@uni-wuppertal.de / paugustin@uni-wuppertal.de

Drittmittel-Steuerangelegenheiten / Taxation

Jürgen Werner / Rebecca Maruhn

Telefon: 0202/439-2315 /-1033

E-Mail: jwerner@uni-wuppertal.de / maruhn@uni-wuppertal.de

Fakultät für Geistes- und Kulturwissenschaften, Projekte der Verwaltung, WTS, Institute und des Rektorats / School of Humanities and Cultural Studies, projects of the Administration, UW Institutes and the Rector's Office

Astrid Volmer

Telefon: 0202/439-3119 / E-Mail: volmer@uni-wuppertal.de

Fakultät für Human- und Sozialwissenschaften, Fakultät für Wirtschaftswissenschaft – Schumpeter School of Business and Economics, Fakultät für Design und Kunst / School of Humanities and Cultural Studies, Schumpeter School of Business and Economics and School of Art and Design

Cornelia Biniossek

Telefon: 0202/439-3133 / E-Mail: biniossek@uni-wuppertal.de

Fakultät für Mathematik und Naturwissenschaften / School of Mathematics and Natural Sciences

Karin Kleffmann-Schäfer

(Mathematik / Mathematics)

N.N.

Vera Ayolt

(Physik und Biologie / Physics and Biology)

Telefon: 0202/439-1985 / E-Mail: vayolt@uni-wuppertal.de

Annerose Seidel

(Chemie / Chemistry)

Telefon: 0202/439-2375 / E-Mail: seidel@uni-wuppertal.de

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

Bärbel Prieur

(Bauingenieurwesen und Sicherheitstechnik /

Civil Engineering and Safety Engineering)

Telefon: 0202/439-3710 / E-Mail: bprieur@uni-wuppertal.de

Karin Kleffmann-Schäfer

(Architektur und Maschinenbau /

Architecture and Mechanical Engineering)

N.N.

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

Kristoffer Frege

Telefon: 0202/439-3307

E-Mail: frege@uni-wuppertal.de

School of Education und Zentrale Einrichtungen / School of Education and Central Organizational Units

Melanie Kraft

Telefon: 0202/439-2983 / E-Mail: kraft@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 zur Zeit jährlich ein Betrag von 500.000 Euro zur Hilfe bei der Beantragung von Drittmittelprojekten zur Verfügung gestellt. Antragsmöglichkeiten gibt es in zwei 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.

Carolin Sonnenschein

Telefon: 0202/439-5135 / E-Mail: sonnenschein@uni-wuppertal.de

WEITERE INFOS UND KONTAKTDATEN

unter www.forschung.uni-wuppertal.de

AWG WUPPERTAL | IHR ENTSORGER



Abfallwirtschafts-
gesellschaft mbH
Wuppertal

ABFALLMANAGEMENT
AUTORECYCLING
CONTAINERSERVICE
MÜLLABFUHR
MÜLLHEIZKRAFTWERK
PAPIERSAMMLUNG
RECYCLINGHÖFE
SCHADSTOFFSAMMLUNG
WERTSTOFFSAMMLUNG

AWG Abfallwirtschaftsgesellschaft mbH Wuppertal
Korzert 15 - 42349 Wuppertal
Telefon 0202 / 40 42-0

www.awg.wuppertal.de



Jetzt in Ihrem App-Shop die **AWG-Abfall - App!**

A young boy is seen from behind, looking into an aquarium tank. A polar bear is swimming in the water, looking towards the boy. The scene is brightly lit, creating a sense of wonder and awe.

Staunen ist einfach.



treuewelt.sparkasse-wuppertal.de

**Wenn Deine Sparkasse
Dich Momente erleben
lässt, die Du nie vergisst.**

TreueWelt
der Sparkasse Wuppertal

