



Blick in die Wissenschaft | 24

Forschungsmagazin der Universität Regensburg

Von dummen Blondinen und jähzornigen Rothaarigen

Zur Geschichte und Entwicklung
von Stereotypen um Haarfarben

Der Wald wie er im Buche steht

Ein historisches Objekt zwischen universitärer
Forschung und musealer Praxis

Kepler, Kristalle und Computer

Mathematik und numerische Simulationen
helfen Kristallwachstum zu verstehen

Die RNA Synthesemaschinerie von Archaeen

Ein Modell für die Molekularbiologie
höherer Zellen

Krankheiten ohne Altersgrenzen

Fibrose, Zirrhose und Verfettung der Leber
im Kindes- und Jugendalter

Optimieren wie die Weltmeister

Wie Wettbewerbsaufgaben Wissenschaft
und Praxis voranbringen

Kleine Kredite, große Rendite?

Zur Refinanzierung von Mikrokrediten

Heft 24 | 20. Jahrgang 2011 | € 7,00 | ISSN 0942-928-X



229
AZ
28441
-24

UBR 069037611096



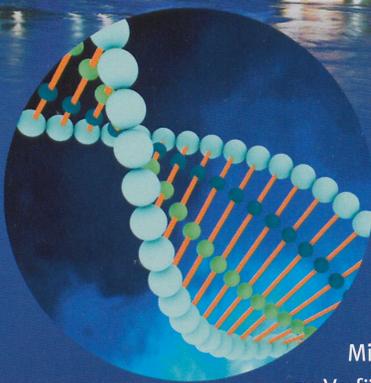
229/AZ 28441-24

www.bioregio-regensburg.de

BioPark Regensburg

Erfolgreiches Innovationszentrum an der Donau

UNESCO-Welterbe
Altstadt Regensburg:
www.regensburg.de



2009 feierte der BioPark Regensburg sein 10-jähriges Jubiläum. In dieser Zeit wurden 254 Mio. Euro in die Entwicklung der „Life Sciences“ investiert und 33 Firmen gegründet. Derzeit sind 22 Mieter mit 500 Mitarbeitern im nahezu ausgebuchten BioPark ansässig, darunter erfolgreiche Firmen wie Antisense Pharma GmbH, Genentech AG und AMGEN Research GmbH.

Ab Sept. 2011 wieder
hochwertige Labor-
und Büroräume direkt
auf dem Uni-Campus

Mit BioPark III werden ab September 2011 wieder 6.000 m² an hochwertiger Büro- und Laborfläche (S1/S2) zur Verfügung stehen. Eine Kindertagesstätte (KITA) im Haus wird die ausgezeichneten Standortfaktoren, wie direkte Autobahnbindung (A3), sehr gute universitäre Infrastruktur und Einbindung in das Service und Firmennetzwerk der BioRegion Regensburg vor Ort bereichern.

Informieren Sie sich unter www.bioregio-regensburg.de oder Tel. 0941 920 460

Mitglied von

CLUSTER
BIOTECHNOLOGIE
BAYERN



BIOPARK
REGENSBURG GMBH

Blick in die Wissenschaft
Forschungsmagazin
der Universität Regensburg
 ISSN 0942-928-X, Heft 24/20. Jahrgang

Herausgeber

Prof. Dr. Thomas Strothotte
 Rektor der Universität Regensburg
 verantwortlich für den Inhalt

Redaktionsbeirat

Prof. Dr. med. Michael Landthaler
 Prof. Dr. rer. pol. Susanne Leist
 Prof. Dr. rer. nat. Christoph Meinel
 Prof. Dr. phil. Ursula Regener
 Prof. Dr. rer. nat. Klaus Richter
 Prof. Dr. phil. Hans Rott

Universität Regensburg, 93040 Regensburg
 Telefon (09 41) 9 43-23 00
 Telefax (09 41) 9 43-33 10

Verlag

Universitätsverlag Regensburg GmbH
 Leibnizstraße 13, 93055 Regensburg
 Telefon (09 41) 7 87 85-0
 Telefax (09 41) 7 87 85-16
 info@univerlag-regensburg.de
 www.univerlag-regensburg.de
 Geschäftsführer: Dr. Albrecht Weiland

Abonnementservice

Heidi Bernhardt
 h.bernhardt@univerlag-regensburg.de

Anzeigenleitung

Jürgen Volk M.A.
 j.volk@univerlag-regensburg.de

Anzeigenverwaltung

Astrid Hoffmann M.A.
 a.hoffmann@univerlag-regensburg.de

Herstellung

Erhardi Druck GmbH, Regensburg
 info@erhardi.de

Einzelpreis € 7,00

Jahresabonnement

bei zwei Ausgaben pro Jahr
€ 10,00 / ermäßigt € 9,00
 für Schüler, Studenten und Akademiker
 im Vorbereitungsdienst (inkl. 7% MwSt)
 zzgl. Versandkostenpauschale € 1,64 je
 Ausgabe. Bestellung beim Verlag

Für Mitglieder des **Vereins der Ehemaligen Studierenden der Universität Regensburg e.V.** und des **Vereins der Freunde der Universität Regensburg e.V.** ist der Bezug des Forschungsmagazins im Mitgliedsbeitrag enthalten.

Satz: Erhardi Druck GmbH, Regensburg

Liebe Leserin, lieber Leser,

in Ihren Händen halten Sie das zweite Heft des Forschungsmagazins der Universität Regensburg im Jahr 2011. Mit der neu eingeführten Frühsommer-Ausgabe durften wir Ihnen bereits interdisziplinäre Schwerpunkte vorstellen. Nun können Sie sich mit dem Herbst-Heft wie gewohnt ein Bild vom Facettenreichtum unserer Forschungsaktivitäten machen.

Ich freue mich, dass wir ein weiteres Mal aktuelle Forschungsprojekte einem breiten Publikum zugänglich machen können. Es ist immer wieder faszinierend, mit welch unterschiedlichen Problemen und Fragen sich unsere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler beschäftigen. Ihre erhellenden, auch für interessierte Laien verständlichen Artikel zeigen eindrucksvoll: Die mitunter mühsame Forschungsarbeit ist nicht nur spannend, sondern oft äußerst ergiebig und auf besondere Weise befriedigend. Denn sie führt zu neuen Erkenntnissen und trägt so dazu bei, dass wir die vielfältigen Herausforderungen unserer Zeit besser verstehen und meistern lernen.

Ralf Junkerjürgen interessiert sich in seinem Beitrag dafür, wie man die Entstehung und Entwicklung von Stereotypen erklären kann, die an unterschiedliche Haarfarben gekoppelt sind. Er erinnert daran, dass sich solche stereotype Vorstellungen unmittelbar auf unser Zusammenleben auswirken – und zeigt sich wenig optimistisch, dass wir sie im Alltag als kulturelle Konstrukte entlarven und damit in ihrer Bedeutung entscheidend relativieren können.

Am Beispiel eines historischen Objekts, einer Holzbibliothek des ausgehenden 18. Jahrhunderts, macht uns Julia Böttcher mit Herausforderungen der Archivarbeit und der Museumstätigkeit vertraut.

Harald Garcke wiederum beschäftigt sich mit dem Thema Kristallwachstum und stellt uns damit ein Forschungsgebiet der Physik, Mathematik und Ingenieurwissenschaften vor. Zahlreiche Abbildungen helfen uns dabei, den von Johannes Kepler bis hin zu neuer mathematischer Theoriebildung und Computersimulationen gespannten Bogen nachzuvollziehen.

Mirijam Zeller und Michael Thomm stellen uns anschaulich ein Modell für die Molekularbiologie höherer Zellen vor. Wie arbeiten Zellen, genauer: Wie funktioniert Transkription, also der Abruf bzw. der Kopiervorgang der in den Genen niedergelegten Informationen?



Thomas Weiß und Michael Melter widmen sich unterschiedlichen Erkrankungen der Leber im Kinder- und Jugendalter. Sie führen uns vor Augen, wie wichtig es war, in der Kinder-Uni-Klinik Ostbayern (KUNO) ein pädiatrisches Leberzentrum zu etablieren und dadurch Krankheitsursachen und Therapien erforschen zu können.

Der Beitrag von Johannes Josef Schneider, Martin Ransberger und Ingo Morgens tern macht deutlich, wie sowohl Wissenschaft als auch Praxis von Wettbewerbsaufgaben zu Optimierungsproblemen profitieren. Lassen Sie sich überraschen, wie beispielsweise moderne Tourenplanung aussieht oder reale Packprobleme gelöst werden.

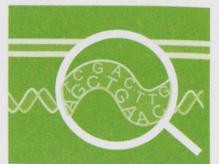
Während ganz Europa in diesen Monaten heiß über Milliardenkredite diskutiert, richten Gregor Dorfleitner und Michaela Leidl ihr Augenmerk auf die in vielen Entwicklungsländern vergebenen Mikrokredite. Sie gehen der Frage nach, wie leistungsfähig Kleinstkredite sind, ob bzw. unter welchen Bedingungen sie also zu großer Rendite führen.

Liebe Leserin, lieber Leser, tauchen Sie mit diesem Heft in der Breite (unserer Forschungsaktivitäten) in die Tiefe (der einzelnen Beiträge). Ich wünsche Ihnen eine kurzweilige und lehrreiche Lektüre!

Prof. Dr. Thomas Strothotte
 Rektor der Universität Regensburg

Inhalt

- | | | |
|---|----|---|
| Stereotypen um Haarfarben | 3 | <p>Von dummen Blondinen und jähzornigen Rothaarigen
Zur Geschichte und Entwicklung von Stereotypen um Haarfarben
<i>Ralf Junkerjürgen</i></p> |
| Der Wald wie er im Buche steht | 8 | <p>Der Wald wie er im Buche steht
Ein historisches Objekt zwischen universitärer Forschung und musealer Praxis
<i>Julia Böttcher</i></p> |
| Mathematik und numerische Simulationen | 12 | <p>Kepler, Kristalle und Computer
Mathematik und numerische Simulationen helfen Kristallwachstum zu verstehen
<i>Harald Garcke</i></p> |
| Ein Modell für die Molekularbiologie | 21 | <p>Die RNA-Synthesemaschinerie von Archaeen
Ein Modell für die Molekularbiologie höherer Zellen
<i>Mirijam E. Zeller und Michael Thomm</i></p> |
| Verfettung der Leber im Kindes- und Jugendalter | 29 | <p>Krankheiten ohne Altersgrenzen
Fibrose, Zirrhose und Verfettung der Leber im Kindes- und Jugendalter
<i>Thomas S. Weiß und Michael Melter</i></p> |
| Wettbewerbsaufgaben in Wissenschaft und Praxis | 35 | <p>Optimieren wie die Weltmeister
Wie Wettbewerbsaufgaben Wissenschaft und Praxis voranbringen
<i>Johannes Josef Schneider, Martin Ransberger und Ingo Morgenstern</i></p> |
| Refinanzierung von Mikrokrediten | 41 | <p>Kleine Kredite, große Rendite?
Zur Refinanzierung von Mikrokrediten
<i>Gregor Dorfleitner, Michaela Leidl</i></p> |





Von dummen Blondinen und jähzornigen Rothaarigen

Zur Geschichte und Entwicklung von Stereotypen um Haarfarben

Ralf Junkerjürgen

Um Haarfarben ranken sich zahlreiche stereotype Vorstellungen, die z. T. schon seit den frühesten überlieferten Schriften in der europäischen Kultur verankert sind. Als scheinbarem Phänomen der Alltagskultur hat man ihnen wissenschaftlich lange Zeit nur wenig Beachtung geschenkt, obwohl Haarfarben die menschliche Wahrnehmung nachweislich stark beeinflussen und neben der Hautfarbe das am weitesten sichtbare körperliche Merkmal darstellen. Die kulturwissenschaftliche Perspektive, die in den Geistes- und Gesellschaftswissenschaften während der letzten 20 Jahre immer mehr an Bedeutung gewonnen hat, schärfte den Blick für viele scheinbar flüchtige und alltägliche Dinge und Vorstellungen, die unsere Kultur grundlegend ausmachen. Der vorliegende Beitrag möchte ein Modell vorstellen, mit dessen Hilfe man Entstehung und Entwicklung der Stereotypen zu Haarfarben erklären kann. Er basiert auf der weltweit ersten wissenschaftlichen Monographie zu diesem Thema.

Warum laufen Blondinen beim Duschen hin und her? – Weil auf dem Shampoo ‚Wash and Go‘ steht.

In den 1990er Jahren überschwemmte eine Welle von Blondinenwitzen den deutschsprachigen Raum und etablierte eine weitgehend unhinterfragte Alltagsvorstellung: dass der Ehrgeiz blonder Frauen nicht in der intellektuellen Auseinandersetzung liege. Das war etwas Neues, denn bis dahin galt blondes Haar als Signatur des Reinen und Unschuldigen, verwies



1 Rote Haare sollten Judas unterscheidbar machen.
Gaspard Isenmann (1430–1480): Die Verhaftung Christi

auf einen sanften Charakter und zierte Madonnen- und Engelsdarstellungen. Die Konnotationen des Blondens waren damit ausgesprochen positiv, ganz im Gegensatz etwa zu roten Haaren, wie zahlreiche Quellen seit der Antike belegen. „People with red hair are supposed to get mad very easily“, heißt es noch in Salingers *The Catcher in the Rye* von 1951, der damit eine alte Tradition fortschreibt, nach der Rothaarige aggressiv und jähzornig sein sollen. Schon im *Ruodlieb*, einem lateinischen Prosaroman aus der Zeit um das Jahr 1000, warnt gleich die erste von zehn Lebensregeln vor Freundschaften mit Roten: „Habe niemals einen Rothaarigen zum engen Freund! Wenn der in Zorn gerät, denkt er nicht mehr an Treue; denn heftig, furchtbar und dauerhaft ist seine Wut.“ Daran wird wenig später die Überzeugung an-

knüpfen, Judas müsse rothaarig gewesen sein [1]. Ein Problem mit der Treue wird auch rothaarigen Frauen unterstellt, denn unter den zahlreichen sexuell aktiven *femmes fatales* des 19. Jahrhunderts finden sich auffällig viele von ihnen, darunter die berühmt-berüchtigte sadistische Wanda Dunajew aus Sacher-Masochs *Venus im Pelz* (1869). In geringerem Maße werden auch mit brünettem Haar stereotype Vorstellungen verbunden. Auf der Basis der Temperamentenlehre entwickelte sich bspw. die These, Braunhaarige seien sanguinisch veranlagt und damit aktiver und lebensfroher als etwa (blonde) Phlegmatiker oder (schwarzhaarige) Melancholiker – Körperbilder, die sich noch in Goethes Werken deutlich widerspiegeln. Offenbar gibt es nicht nur eine ganze Reihe von Stereotypen zu Haarfarben, sie schei-

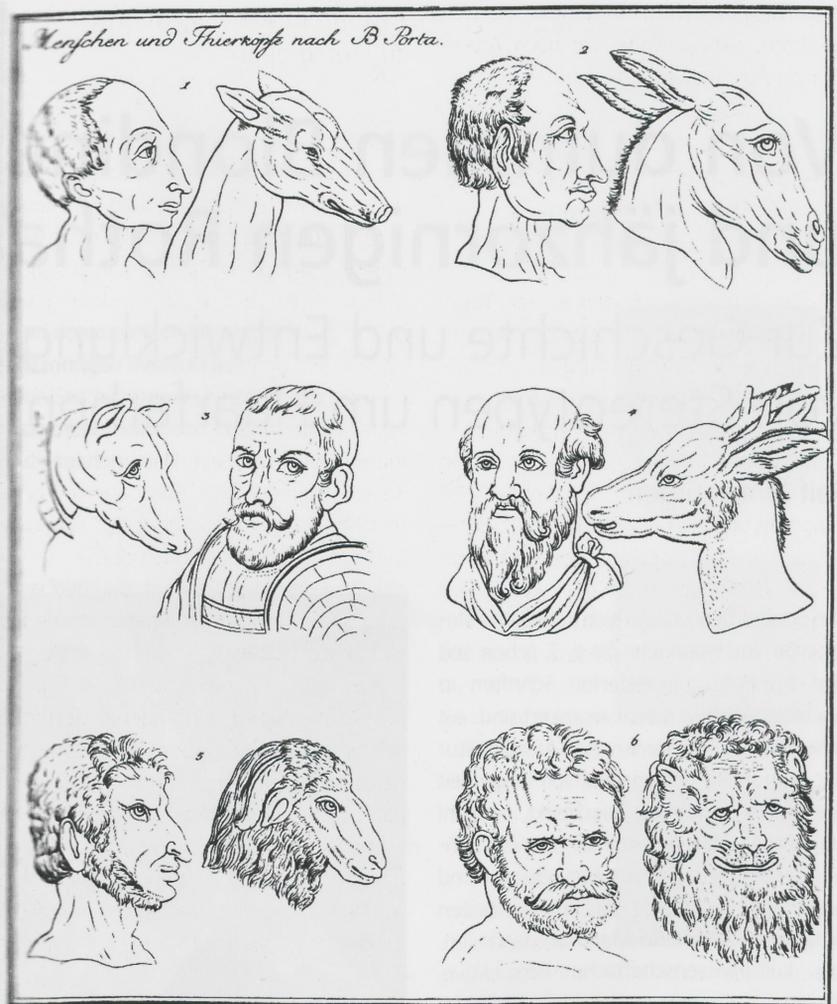
nen sich auch im Laufe der Zeit zu verändern. Warum sie entstehen, wie sie sich etablieren und entwickeln, darauf möchte ich in den folgenden Zeilen einige Antworten geben.

Nun könnte man einwenden, dass es sich eigentlich um eine banale Frage handelt, da Haarfarben doch letztlich etwas Akzidentelles sind und der ‚gesunde Menschenverstand‘ allein ausreichen dürfte, um zu verstehen, dass es keine Körper-Charakter-Relationen dieser Art gibt. Das ist zwar richtig, aber Haarfarben sind neben der Hautfarbe das am weitesten sichtbare körperliche Merkmal und damit eine einfache ‚Schublade‘, in die man Menschen auf den ersten Blick einordnen kann. Und dass wir das tun, ist von der Soziologie immer wieder nachgewiesen worden. Empirische Studien belegen, dass Dunkelhaarige und Blonde positiver eingeschätzt werden als Rothaarige und falsche Blondinen.

Solche stereotypen Vorstellungen wirken sich unmittelbar auf die Lebensqualität der Betroffenen aus. Bei der Partnerwahl haben es blonde Frauen theoretisch leichter, weil sie allgemein als attraktiv gelten, Rothaarige hingegen werden als unattraktiv eingeschätzt und haben es dementsprechend schwerer. Vorurteile dieser Art schlagen sich auch im Berufsleben nieder. In einem Versuch zeigte sich, dass dunkelhaarige ungeschminkte Frauen als kompetenter eingeschätzt wurden als blonde oder rothaarige und ein höheres Anfangsgehalt erhielten. Der tragische Höhepunkt in der Geschichte der Haarfarbstereotypen lag in der rassistischen Ideologisierung des „blonden Menschen“ durch die Nationalsozialisten und der damit implizierten Abwertung aller anderen. Eine empirische Auswertung von Biographien hat sogar die Schlussfolgerung nahegelegt, dass blonde Juden im Dritten Reich eine höhere Überlebenschance hatten.

Markierte und unmarkierte Haarfarben

Da keine biologischen Ursachen für solche Denkklišees nachgewiesen werden konnten, muss es sich bei der Stereotypenbildung um kulturelle Konstruktionen handeln, die aus der Dialektik von Fremd- und Selbstwahrnehmung hervorgehen und von der Verteilung der Haarfarben in einer Gesellschaft abhängen. Das erste, was wir



2 Tier-Mensch-Vergleiche als Methode der Physiognomik. Abbildungen aus della Portas kompulatorischen Schriften

mit Gewissheit beobachten und festhalten können, ist, dass die Haarfarben ungleichmäßig über die deutsche Population verteilt sind. Rotes Haar ist mit knapp 2 % am seltensten, gefolgt von hellblondem mit 4 %, während der Großteil sich in einem Spektrum zwischen dunkelblonder und brauner Farbe bewegt.

Diese scheinbar neutrale Statistik hat gravierende Auswirkungen auf unsere Wahrnehmung. Denn die innerhalb einer Gesellschaft überwiegenden Farben erscheinen uns als unmarkiert, die seltenen als markiert. Von daher ist es nicht überraschend, dass sich zu blonden und roten Haaren zahlenmäßig die meisten Stereotypen herausgebildet haben.

Die Distribution der Haarfarben und die damit verbundene Einteilung in unmarkierte und markierte stellen zwar noch keine Stereotypen dar, sie legen jedoch die Grundlage, auf der sich unter dem Einfluss weiterer Faktoren konkrete Stereotypen ausbilden und entwickeln können. Haarfarben und ihre Stereotypen werden ein-

gebunden in den Prozess der Identitätsbildung aus der Dichotomie des Eigenen und Anderen bzw. des davon abgeleiteten ‚Normalen‘ und ‚Unnormalen‘. Die damit verbundene Stigmatisierung der ‚Unnormalen‘ stärkt die kollektive Identität einer Mehrheit auf Kosten von Minderheiten. Die Stigmatisierten wiederum übernehmen in der Regel solche Vorstellungen und bilden Strategien heraus, um ihre suggerierte Andersartigkeit zu kompensieren, z. B. durch erhöhten Ehrgeiz.

Um die ausdifferenzierenden Faktoren verstehen zu können, muss man sich auf eine Form des Denkens einlassen, die heute vor allem in Kunst und Esoterik eine Rolle spielt: auf das Denken in Analogien. Vor den tiefgreifenden wissenschaftlichen Paradigmenwechseln des 18. und 19. Jahrhunderts organisierte sich das Wissen nach Ähnlichkeiten. Dies hatte sich bereits in der antiken Wissenschaft herausgebildet und war in der christlichen Hermeneutik zum allein leitenden Prinzip geworden, da in allem ein Zeichen Gottes vermutet wurde.



Wenn die Kirchenväter die empirische Welt erklärten, dann suchten sie nach Analogien zu Aussagen der Bibel.

Analogiebildung als erster Schritt der inhaltlichen Codierung

Mit der Physiognomik gab es von Theophrast bis Lavater sogar eine eigene Wissenschaft, die es sich zur Aufgabe machte, den Körper als Ausdruck des Charakters zu deuten. Sie tat dies über Analogien in Farbe, Form und Beschaffenheit. Spuren solcher Vorstellungen finden sich in Wissenschaft und Literatur bis tief ins 19. Jahrhundert und auf populärer Ebene sogar bis heute. In *Effi Briest* beispielsweise lässt Fontane die Hausangestellte Johanna das weiche Haar der Titelfigur bewundern und Effi daraufhin antworten: „Ja, es ist sehr weich. Aber das ist nicht gut, Johanna. Wie das Haar ist, ist der Charakter.“

Eine wichtige Methode der Analogiebildung war der Mensch-Tier-Vergleich. Gesucht wurden Ähnlichkeiten des menschlichen Gesichts mit Tierphysiognomien, die man nach dem Muster eines vermeintlichen Tiercharakters auslegte [2]. Blondes Haar galt als Zeichen des Löwen und verwies auf Mut und Kraft, Rothaarige hingegen seien wie die Füchse, man müsse ihnen alles zutrauen – heißt es in den pseudo-aristotelischen *Physiognomonica* aus dem 3. Jahrhundert v. Chr. Als Prototyp des Löwenmenschen stellte man sich Alexander den Großen vor, der traditionell mit blonden Locken dargestellt wird. Von dort aus konnte das blonde Haar auch den Herrschertypus allgemein repräsentieren und wurde zum Zeichen des Adels. Nach diesem Muster ist z. B. Fürst Don Fabrizio Salina aus dem Roman *Il Gattopardo* (1958; dt. *Der Leopard*) von Tomasi di Lampedusa konstruiert, der in Luchino Viscontis Verfilmung von Burt Lancaster verkörpert wurde, dessen ohnehin schon leonines Aussehen man noch durch einen blonden Backenbart verstärkte [3].

Indem die markierten Haarfarben einer Analogiebildung mit relevanten Erfahrungsbereichen, darunter vor allem Kosmos, Elemente, Flora und Fauna, unterzogen wurden, bildete sich ein Reservoir an möglichen Codierungen heraus, die sich in einem weiteren Schritt zu konkreten Stereotypen ausdifferenzieren konnten. Es müssen also weitere Faktoren hinzutreten, um einzelne Anlagen zu isolieren.

Ausdifferenzierung von Analogien zu Stereotypen

Die historische Aufarbeitung der Klischees hat gezeigt, dass in erster Linie religiöse und wissenschaftliche Paradigmen sowie mediale Techniken solche Faktoren gewesen sind. Religiöse Paradigmen machten sich z. B. bei der Stereotypisierung von *blond* bemerkbar. Die Farbe wurde zunächst mit dem Licht, dem Löwen und dem Gold konnotiert, wobei die Lichtanalogie nicht zuletzt deshalb bedeutsam wurde, weil das helle Haar den größten Reflexionsgrad besitzt und daher an Lichterscheinungen gemahnt. Einer religionsgeschichtlichen These nach dürfte ein Teil der frühesten Mythen auf die Beobachtung von kosmischen Phänomenen zurückgehen (sogenannte Astralmythologie). Die Bildung von mythologischen Figuren aus Sonne, Mond und anderen Gestirnen ließ aufgrund der Farbanalogie keine andere Farbe als Blond zu, auch wenn damit nicht eigentlich Blond gemeint war. Blonde Haare (ähnlich auch eine helle Augenfarbe) galten in der Antike als ein ausgesprochenes Schönheitsmerkmal, wohl vor allem wegen der Seltenheit, aber auch wegen

standteil im Kanon der Schönheitsmerkmale etablieren. Umso erstaunlicher ist es, dass sich von Helena und Aphrodite bis heute, also nach fast 3.000 Jahren Dominanz des blonden Ideals, im 20. Jahrhundert der Gegentypus der *dumb blonde* entwickeln konnte. Wenn das hier vorgeschlagene Modell zutrifft, dann müssen im 20. Jahrhundert neue Faktoren aufgetreten sein, die zu dieser signifikanten Verschiebung im Stereotypensystem der Haarfarben geführt haben.

Die Geburt der dummen Blondine aus dem Geiste der Film- und Färbeindustrie

Der Typus der dummen Blondine tauchte zunächst im klassischen Hollywood-Film auf und wurde mehrfach von Marilyn Monroe, vielleicht der Filmkone schlechthin, verkörpert. In *Gentlemen prefer blondes* (1953) oder *Some like it hot* (1959) spielte sie mittellose, nicht sehr intelligente Sängerrinnen, die sich gerne reich verheiraten möchten und dabei ihre erotische Ausstrahlung in die Waagschale werfen, Frauen also ohne jeden intellektuellen Ehrgeiz.



3 *Der leonine blonde Männertypus als Herrscherideal.* Burt Lancaster mit Backenbart als Fürst Salina in Luchino Viscontis Romanverfilmung *Der Leopard* (1963)

der hell glänzenden Farbigkeit (z. B. über Vergleiche mit dem strahlenden Glanz der Sonne etc.). Schon Achill, der schönste der Achäer, war bei Homer natürlich blond, und gleiches gilt in der Regel für Aphrodite und meistens für Apollon. Noch von Augustus werden seine blonden Haare gerühmt. Blondes Haar wurde so zu einem wichtigen Attribut göttlicher oder idealer Gestalten und konnte sich als fester Be-

Im Unterschied zum klassischen Typus à la Grace Kelly stellen Marilyn Monroe oder ihre Vorgängerin Mae West einen dezidiert artifiziellen und erotisierten Typus dar, der eigentlich nicht blondes, sondern blondiertes Haar hat. Mit dem Aspekt der Haarfärbung kommen nun alte Vorbehalte gegenüber Kosmetik ins Spiel, die bereits von dem Kirchenvater Tertullian in seiner Schrift *De cultu feminarum* (um 200



Is it true...
blondes
have more
fun?

Just for the fun of it, be a blonde and see... a Lady Clairol blonde with shining, silken hair! You'll love the life in it! The soft touch and tone of it! The lovely ladylike way it lights up your looks. And it's so easy. Instant Whip Lady Clairol is amazingly gentle. Feels deliciously cool going on. Leaves your hair in beautiful condition—lovelier, livelier than ever!

So if your hair is dull blonde or mousey brown, why hesitate? Hair responds to Lady Clairol like a man responds to blondes. Besides, the best way to get what you want is to ask for it! Instant Whip Lady Clairol. You'll love it!

Your hairdresser will tell you a blonde's best friend is

INSTANT WHIP® Lady Clairol® Creme Hair Lightener



4 Werbung als Nutznießer und Motor von Klischees: Clairol verspricht Lebensglück durch Blondierung.

n. Chr.) kodifiziert wurden. Darin wettet er gegen die weibliche Schönheitspflege und prophezeit Frauen, die sich die Haare mit Safran färben, die Hölle voraus, weil die gefärbten Strähnen gemäß des Analogieparadigmas dem Feuer ähneln.

Mit der Herstellung des ersten Wasserstoffperoxyds im Jahre 1867 kam eine Haarfärbindustrie in Gang, die heute weltweit Milliardenumsätze macht, wobei Haare bis in die 1960er Jahre hinein ausschließlich beim Friseur gefärbt oder blondiert wurden. Erst später verlagerte sich dies zunehmend in den Privathaushalt. Offenbar konnten sich Blondierungs- und Haarfärbemittel gegenüber traditionellen Vorbehalten durchsetzen, wenn auch mit einem signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschied, denn die Akzeptanz der Haarfärbung ist bei Frauen deutlich höher als bei Männern: Als die Nachricht-

tenagentur ddp im Januar 2002 mitteilte, dass der damalige Bundeskanzler Gerhard Schröder sich die Haare färbte, war sofort dessen Integrität in Frage gestellt. Es kam kurz darauf zum Prozess, in dem Schröder seine Unterlassungsverfügung gegen die Nachrichtenagentur behauptete. Während Haarfärbung bei Männern immer noch mit Vorurteilen belastet ist, gilt sie bei Frauen als weitgehend akzeptiert. Dies dürfte geschickten Werbekampagnen zu verdanken gewesen sein, bei denen die Firma Clairol historisch eine entscheidende Rolle gespielt hat.

Mit dem frühen Slogan „Does she or doesn't she? Only her hairdresser knows“ verfolgte Clairol die Strategie, die Vorbehalte einfach zu umgehen, indem man suggerierte, dass blondiertes Haar mit den neuen Mitteln gar nicht mehr als solches zu erkennen sei. Die spätere Werbung

nutzte dann sogar das Stereotyp der blondierten Hollywoodstars, um es als Versprechen eines Lebens aus Lust und Liebe hinzustellen. Mit dem mittlerweile sprichwörtlichen Slogan „Is it true that blondes have more fun?“ lockte man die jungen Damen mit der Erfüllung ihrer Wünsche ohne Anstrengungen. Auf einem Werbebild wird dies von zwei Jahrmarktsapparaten symbolisiert, von denen einer die Frage „How can I get what I want?“ und der andere „How can I get the right love mate?“ beantwortet [4]. Als die Blondine ihn betätigt, erhält sie den Tipp „Just ask“, so dass die Botschaft lautet: ‚Was sollst du dich anstrengen? Blondiere dir das Haar, dann bekommst du alles auf Anfrage.‘

Das Zusammenspiel aus alten Vorbehalten gegenüber Haarfärbung, klassischen Hollywoodtypen und neue Färbemitteln samt Werbekampagnen war offenbar so nachhaltig, dass sich im 20. Jahrhundert mit der dummen Blondine ein neues, mittlerweile weit verbreitetes Stereotyp etablieren konnte. Die Macht des blonden Haars wurde dadurch nicht gebrochen, sondern nur erweitert. Denn mit der *blonde* wurde der *american female dream* des 20. Jahrhunderts kreierte: schön und reich zu sein und deshalb ungebildet bleiben zu dürfen, zumindest wenn wir den Aussagen des Bekenntnisbuchs *Blonde like me* (2000) der falschen Blondine Natalia Ilyin Glauben schenken dürfen [5].

Fazit

Entstehung und Entwicklung von Haarfarbstereotypen lassen sich über ein vierstufiges Modell erklären und beschreiben: 1. Die unterschiedliche Verteilung der Farben führt zu einer Wahrnehmung von unmarkierten (d. h. ‚normalen‘) und markierten (also ‚unnormalen‘) Farben; 2. vor allem die markierten werden einer Analogiebildung unterzogen, die ein Reservoir an möglichen Stereotypen bereitstellt; 3. sobald weitere ausdifferenzierende Faktoren hinzutreten, wird eine Analogie daraus isoliert und etabliert sich als Stereotyp; 4. wenn neue Faktoren hinzutreten, wie im Falle der *dumb blonde* ein neues Medium und neue Blondierungstechniken, kann es zu Verschiebungen im System der Stereotypen kommen.

Daran schließt sich die Frage an, ob Stereotypen nicht dadurch unnötig werden, dass wir sie als kulturelle Konstrukte

durchschauen. Das wäre wünschenswert, ist aber unwahrscheinlich. Haarfarbstereotypen sind nicht nur in den Medien tief verankert, sondern können sich durch analogisches Denken stets selbst reproduzieren. Es müsste eine gewaltige Aufklärungsarbeit unternommen werden, um einer breiten Öffentlichkeit darzulegen, wie Körper-Charakter-Relationen konstruiert werden. Sie werden wohl auch in Zukunft ein wirksames, weil simples Klassifikationsangebot bleiben, das der Gefahr einer Stereotypisierung immer wieder neu ausgesetzt ist.

Literatur

Sander L. Gilman, Rasse, Sexualität und Seuche. Stereotype aus der Innenwelt der westlichen Kultur. Rowohlt: Reinbek b. Hamburg, 1992.

Dennis E. Clayson, Micol R. C. Maughan, „Redheads and Blondes: Stereotypic Images“. Psychological Reports 59 (1986), S. 811–816.

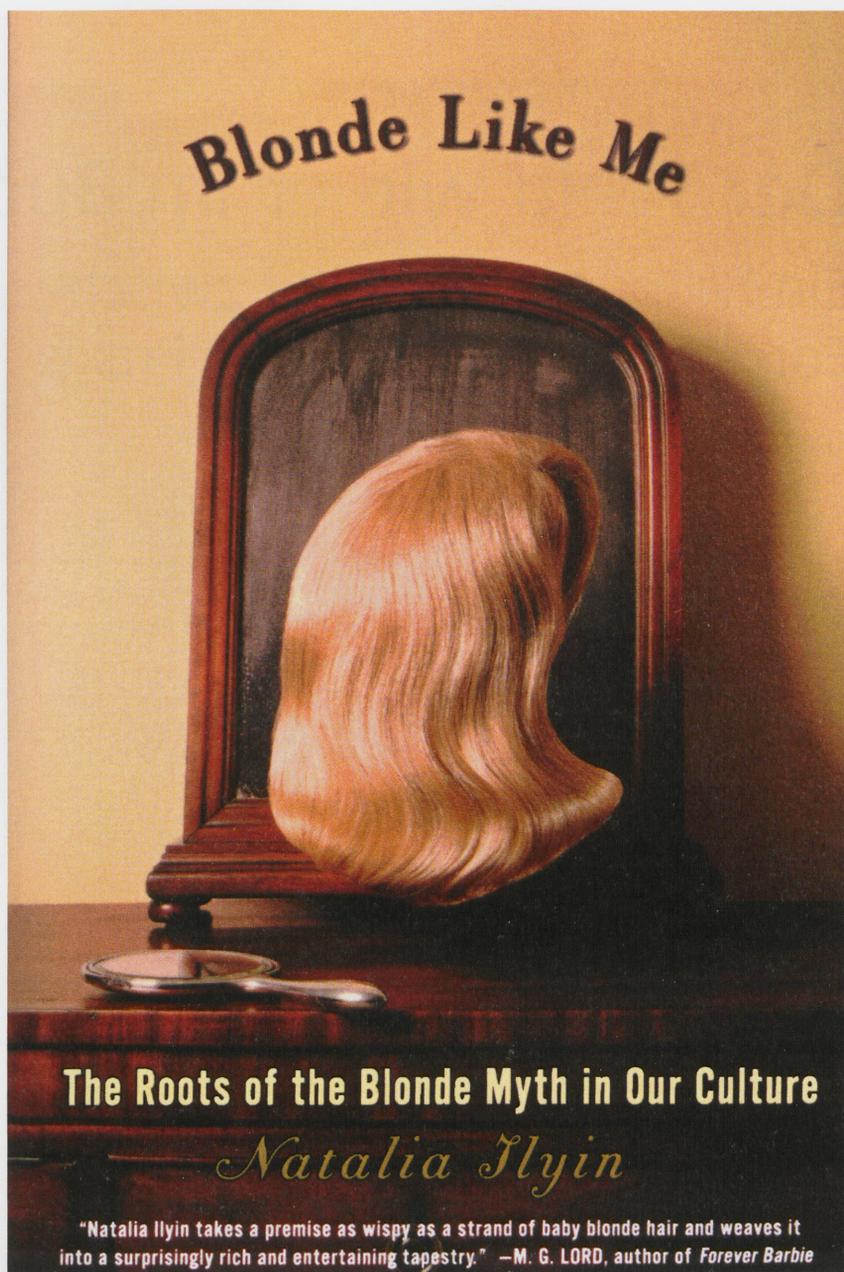
Ralf Junkerjürgen, Haarfarben. Eine Kulturgeschichte in Europa seit der Antike. Köln: Böhlau, 2009.

Ralf Junkerjürgen, „Schwindel, Sturz, blondierte Locken – Zur Mythologie der falschen Blondine“. Grenzgänge. Beiträge zu einer modernen Romanistik 17, 33, (2010), S. 68–84.

Claudia Schmolders, Das Vorurteil im Leibe. Eine Einführung in die Physiognomik. Berlin: Akademie-Verlag, 1995.

Peter Suedfeld et al., „Lethal Stereotypes: Hair and Eye Color as Survival Characteristics during the Holocaust“. Journal of Applied Social Psychology 32 (2002), S. 2368–2376.

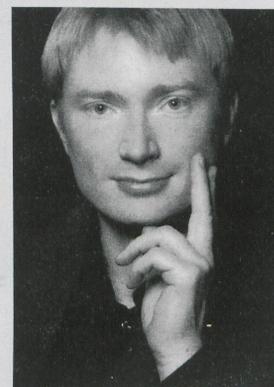
Susan Weir, Margret Fine-Davis, 'Dumb Blonde' and 'Temperamental Redhead': The Effect of Hair Colour on Some Attributed Personality Characteristics of Women. Irish Journal of Psychology 10:1 (1989), S. 11–19.



5 Blondierung als Weg zum Erfolg. Bekenntnisse einer falschen Blondine

Prof. Dr. **Ralf Junkerjürgen**, geb. 1969 in Rheda-Wiedenbrück/Westfalen. Studium der Romanistik und Germanistik an den Universitäten Münster und Toulouse/Frankreich. Promotion 2001, Habilitation 2006; Lehrbeauftragter und Wissenschaftlicher Mitarbeiter an den Universitäten Münster, Marburg und Chemnitz. Seit 2007 Professor für Romanische Kulturwissenschaft an der Universität Regensburg. Verschiedene Preise, darunter der Straßburg-Preis der Alfred-Toepfer-Stiftung und eine besondere Auszeichnung für die Dissertation.

Forschungsschwerpunkte: Populäre Kultur und Literatur; spanische und französische Literatur des 19. und 20. Jahrhunderts; spanischer Film; Narratologie.



Der Wald wie er im Buche steht

Ein historisches Objekt zwischen universitärer Forschung und musealer Praxis

Julia Böttcher

Das Naturkundemuseum Ostbayern in Regensburg zeigt in seiner Dauerausstellung eine historische Rarität: eine Holzbibliothek des ausgehenden 18. Jahrhunderts. Holzene Scheinbücher – Holzkästen in Buchform – thematisieren in einer kunstvollen

Kombination von Holzsammlung und Herbarium die Baum- und Straucharten des süddeutschen Raumes.

1794 übersandte der Ebersberger Benediktiner Candid Huber (1747–1813) diese Holzbibliothek mit 150 Bänden an

die Regensburgische Botanische Gesellschaft. Seine Xylotheken, von denen sich zehn bis heute erhalten haben, fertigte der Pater selbst und bot sie in forstwissenschaftlichen Fachjournals zur Subskription an, um „die so nothwendigen, aber





2 Geöffnetes Holzbuch, Exemplar Mastbuche. Links: Winterzweig mit Knospen; Ästchen; und Saatzpflanze, der Beschriftung nach „3 Woch[en] alt“; Insekt. Mitte: Samenkapsel. Rechts: Zweig mit Blättern sowie männlichen und weiblichen Blüten; Plättchen Wurzelholz; und ein Stückchen „Buchen-Feuerschwamm“.

1 Jedes Buch in Candid Hubers Holzbibliothek repräsentiert eine Baumart mit ihren charakteristischen Merkmalen. Die Buchdeckel sind aus dem Holz der jeweiligen Art gefertigt, der Buchrücken zeigt die Rinde und darauf vorkommende Schwämme und Flechten. Wie ein echtes Buch aufklappbar, enthält innen ein Hohlraum den ‚Text‘ des Scheinbuchs: Hier sind getrocknete Pflanzenteile (Blätter, Knospen, Blüten, Früchte, Sommer- und Winterzweig, Wurzelholz) und Exemplare häufig anzutreffender Insekten befestigt. Die Bibliothek umfasst Holzbücher in sieben Größenklassen (zwischen 4 und 10 Zoll, \approx 9,5 bis 22,5 cm hoch), kleine Bücher behandeln bodennahe Sträucher, die größten die hoch aufragenden Baumarten.

größtenteils fehlenden wissenschaftlichen Kenntnisse unsrer einheimischen Holzarten zu verbreiten“. Als Begleitbuch publizierte er eine Kurzgefaßte Naturgeschichte der vorzüglichsten bairischen Holzarten (München 1793). Huber hatte sich auf die Flora des Waldes spezialisiert; ein Gebiet, das in der Phase des allmählichen Übergangs zu einer modernen, marktorientierten Forstwirtschaft die Gemüter vieler Zeitgenossen bewegte: Eine Fülle von Zeitschriften und Fachbüchern widmete sich der Beschreibung des Waldzustandes und der Diskussion über nötige Reformen. Das breite Interesse an botanischen Themen drückte sich auch im Entstehen lokaler Initiativen aus. Die 1790 gegründete Regensburgische Botanische Gesellschaft etwa versammelte Geistliche, Verwaltungsbeamte, Ärzte und Apotheker mit naturgeschichtlichem Interesse zum Zweck der Naturforschung, des Austausches und der Verbreitung botanischen Wissens. Trotz eines geringen finanziellen Spielraums konnte die junge Gesellschaft Eigentümer einer Holzbibliothek werden: Die Aufnahme als Ehrenmitglied und im Tausch angebotene Schriften bewogen Huber, der Gesellschaft eine seiner Xylotheiken zukommen zu lassen.

Historische Artefakte bieten durch ihre Größe, Struktur, Form, Farbigkeit und sinnliche Erfahrbarkeit einen einzigartigen Zugang für die Beschäftigung mit Vergangenheit. Ebenso wie sie der Forschung als Quelle für die materielle Kultur vergangener Zeiten dienen, so verweisen sie in Ausstellungen auf historische Prozesse, Entwicklungszusammenhänge, Ereignisse, Praktiken, Wertesysteme und Denkstrukturen. Hubers Holzbibliothek ist nicht allein Zeugnis intensiver botanischer Beschäftigung mit Holzpflanzen und dem ökonomisch-praktischen Interesse für den Werkstoff Holz. Zugleich ist sie Produkt wissen-

schaftlicher Ordnungsbemühungen und neuer didaktischer Präsentationsformen der Zeit um 1800, die Huber in ein Herbar in Buchform umsetzte. Dieser Facettenreichtum eröffnet vielfältige Interpretationsmöglichkeiten und macht die Hubersche Xylotheke für die museale Präsentation besonders reizvoll.

Candid Hubers Kontakte nach Regensburg und der Erwerb der Holzbibliothek lassen sich anhand der Archivalien der Regensburgischen Botanischen Gesellschaft, die sich in der Obhut der Universitätsbibliothek befinden, rekonstruieren. Stadt- und umweltgeschichtliche Forschungsergebnisse der letzten Jahre ermöglichen, die Holzbibliothek als Zeugen des naturkundlichen und gesellschaftlichen Diskurses zur Thematik ‚Holz‘ im 18. Jahrhundert verständlich zu machen. So war die Holzversorgung Regensburgs zu dieser Zeit alles andere als unproblematisch: Die Reichsstadt war von bayerischem Territorium umgeben und auf Holzimporte angewiesen – für den Kurfürst von Bayern war die Störung der Holzversorgung der Stadt daher ein beliebtes politisches Druckmittel.

Die Herausforderung, Erkenntnisse aus der Archivarbeit, aktuelle Forschungsergebnisse und allgemeinere Wissensbestände für die öffentliche Präsentation zusammenzuführen, ist tägliche Praxis der Museumstätigkeit. Historische Objekte bieten dabei in besonderem Maße die Chance, als Bindeglieder zwischen Museum und Universität zu fungieren. Die Erforschung von gegenständlichen Quellen wie Hubers Xylotheke erbringt während des Studiums wertvolle Erträge für die berufliche Orientierung und Qualifizierung. Sie befördert die fachliche Auswertung von Sammlungen und Archiven sowie den nachhaltigen Austausch zwischen beiden Institutionstypen.

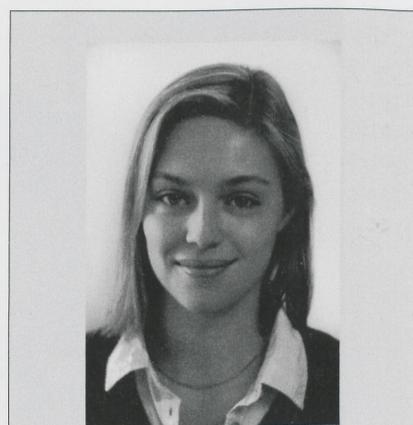
Literatur

Julia Böttcher, Lesen im Buch der Natur. Die Holzbibliothek im Naturkundemuseum Ostbayern Regensburg (Acta Albertina Ratisbonensia, Sonderheft), Regensburg, 2011.

Anne Feuchter-Schawelka, Winfried Freitag, Dietger Grosser, Alte Holzsammlungen. Die Ebersberger Holzbibliothek: Vorgänger, Vorbilder und Nachfolger, Ebersberg, 2001.

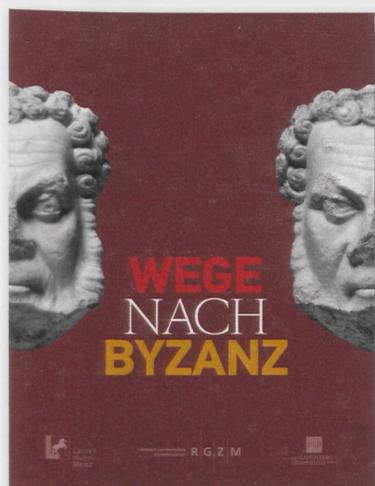
Martin Knoll, Regensburg, der Reichstag, der Kurfürst und das Holz. In: Wolfram Siemann, Nils Freytag, Wolfgang Piereth (Hrsg.), Städtische Holzversorgung, München: C.H. Beck, 2003, S. 39–54.

Joachim Radkau, Holz – Wie ein Naturstoff Geschichte schrieb (Stoffgeschichten 3), München: Oekom-Verlag, 2007.



Julia Böttcher M.A., geb. 1986 in Meerbusch. Studium der Geschichte, Wissenschaftsgeschichte und Vergleichenden Kulturwissenschaft in Regensburg. Ihre Magisterarbeit „Körper- und Verhaltenserziehung im 18. Jahrhundert: Das Beispiel der Erbprinzen von Thurn und Taxis“ wurde 2010/2011 mit einem Stipendium der Franz-Marie-Christinen-Stiftung gefördert. Seit Sommersemester 2011 Lehrkraft für besondere Aufgaben am Institut für Geschichte.

Arbeitsgebiete: Körper- und Wissenschaftsgeschichte der Frühen Neuzeit.



Benjamin Fourlas
Vasiliki Tsamakda (Hrsg.)

Wege nach Byzanz

1. Auflage 2011, 356 Seiten, 246 überwiegend farbige Abbildungen, 21 x 28 cm, Hardcover, fadengeheftet

ISBN 978-3-7954-2580-7
€ 34,-

Ausstellung im Landesmuseum Mainz
(6. November 2011 bis 5. Februar 2012)



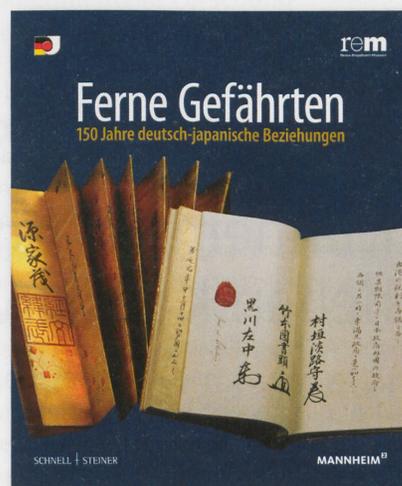
Bayerische Verwaltung der staatl. Schlösser, Gärten und Seen (Hrsg.)

KZ-Friedhöfe und -Gedenkstätten in Bayern

„Wenn das neue Geschlecht erkennt, was das alte verschuldet..“

1. Auflage 2011, 440 Seiten, 20 Farb-, 114 s/w-Abbildungen, 158 farbige Pläne, 21 x 28 cm, Hardcover, fadengeheftet

ISBN 978-3-7954-2483-1
€ 49,95

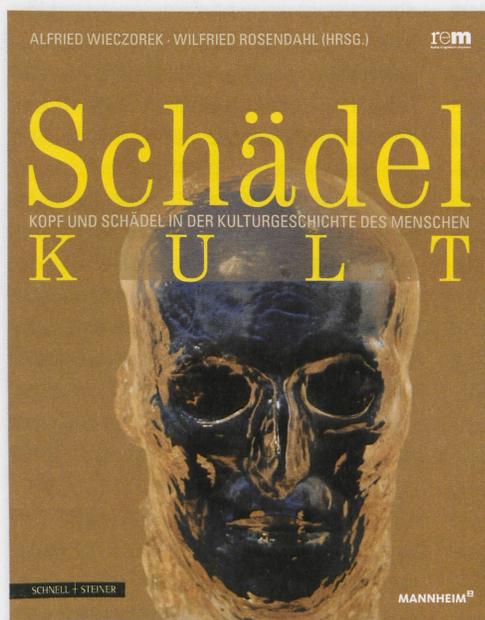


Ferne Gefährten.
150 Jahre deutsch-japanische Beziehungen

1. Auflage 2011, 324 Seiten, 179 Farb-, 48 s/w-Abbildungen, 24 x 28 cm, Hardcover, fadengeheftet

ISBN 978-3-7954-2570-8
€ 29,95

Ausstellung in den Reiss-Engelhorn-Museen
Mannheim (8. November 2011 bis
5. Februar 2012)



Alfried Wiczorek · Wilfried Rosendahl (Hrsg.)

Schädelkult
Kopf und Schädel in der Kulturgeschichte des Menschen

1. Auflage 2011, 388 Seiten, 365 Farb-, 78 s/w-Abbildungen, 24 x 30 cm, Hardcover, fadengeheftet

ISBN 978-3-7954-2454-1
€ 29,95

Ausstellung in den Reiss-Engelhorn-Museen Mannheim
(2. Oktober 2011 bis 29. April 2012)

Kepler, Kristalle und Computer

Mathematik und numerische Simulationen helfen Kristallwachstum zu verstehen

Harald Garcke

Die vielfältigen und schönen Formen von Schneekristallen haben Menschen schon immer fasziniert. Schneeflocken sind zum einen sehr regelmäßig und harmonisch und zum anderen scheint die genaue Form stark vom Zufall abzuhängen. Die Vielfalt der Formen ist so groß, dass man sagen kann: Keine Schneeflocke gleicht der anderen. Wie kann es zu einer solchen Mischung aus Vielfalt und Regelmäßigkeit kommen? Welche mathematischen und physikalischen Gesetze bestimmen das Wachstum von Schneekristallen? Können mathematische und physikalische Theorien helfen, die Form von Schneeflocken zu verstehen?

Johannes Kepler war einer der Pioniere der Schneekristallforschung, und eine in seinen Studien zu diesem Thema formulierte Vermutung konnte erst vor kurzem bewiesen werden. Kristallwachstum ist auch heute noch ein aktives Forschungsgebiet in Physik, Mathematik und Ingenieurwissenschaften. In diesem Beitrag werden einige aktuelle Beiträge meiner Arbeitsgruppe zur Mathematik des Kristallwachstums beschrieben. Dabei wird sich zeigen, dass neue mathematische Theoriebildung und Computersimulationen helfen, Kristallwachstum besser zu verstehen. Die Formbildung bei Schneekristallen zu untersuchen hat sicherlich viele ästhetische Aspekte, aber wenig praktische Relevanz. Ein besseres Verständnis von Kristallwachstum führt aber zu vielen praktischen Anwendungen, da die überwiegende Zahl von Werkstoffen, seien es nun klassische Eisenlegierungen oder Legierungen, die bei Photovoltaikanlagen eine Rolle spielen, aus der Schmelze bzw. aus der Gasphase gewonnen wird und kristalline Strukturen ausbildet.

Johannes Kepler: Vom sechseckigen Schnee

In seiner Zeit in Prag wird Kepler [1] von seinem Freund und Gönner Matthäus Wacker von Wackenfels vielfältig unterstützt. So leiht ihm Wacker von Wackenfels sein Fernrohr für nächtliche Beobachtungen, er versorgt ihn mit Büchern, und beide diskutieren über Galileis Entdeckungen. Kepler möchte sich zum Neujahrstag des Jahres 1611 nun mit einem Geschenk bedanken. Auf seinem täglichen Spaziergang durch das winterliche Prag lösen sich alle Ideen für ein Geschenk in nichts auf, da Kepler über keine finanziellen Mittel verfügt. Auf der Karlsbrücke schließlich „wurde durch einen glücklichen Umstand Wasserdampf und Kälte zu Schnee niedergeschlagen und Stückchen des Niederschlags fielen da und dort auf meinen Mantel, alle sechseckig und von gefächertem Aussehen“. Kepler schreibt weiter: „das war die richtige Sache für einen Mathematiker, der nichts hat und nichts erhält, etwas zu überreichen, das vom Himmel fällt und wie ein Stern aussieht“. Kepler machte sich also daran, für Wacker eine Abhandlung über die sechseckige Form von Schneekristallen anzufertigen. Wie auch seine Arbeiten über die Planetengesetze, so enthält auch diese Schrift viele neue Gedanken.

Keplers Schrift für Wacker hatte den Titel „Strena Seu de Nive Sexangula“ („Neujahrs Geschenk, oder: Über die sechseckige Schneeflocke“). Kepler fragte sich, warum Schneekristalle stets eine sechsfache Symmetrie aufweisen. Er schrieb: „Es muß einen bestimmten Grund geben, warum bei Einsetzen des Schneefalls die Anfangsformationen unverändert die Form

eines sechseckigen Sternchens haben. Sollte es durch Zufall erfolgen, warum fallen sie dann nicht mit fünf oder sieben Ecken.“ Er spekuliert weiter über die die sechsstrahlige Symmetrie verursachenden Kräfte und kommt dabei zu der Frage, wie man Kreise in der Ebene und Kugeln im Raum am dichtesten packen kann. Zwar erwähnt Kepler nicht ausdrücklich eine atomistische Sichtweise, aber er fragt sich, ob die hexagonale Form von dicht gepackten Kugeln im Raum etwas mit der Gestalt von Schneekristallen zu tun hat.

Im Zusammenhang mit diesen Überlegungen stellte Kepler auch die später nach ihm benannte *Keplersche Vermutung* auf. Dabei geht es um die Frage, wie sich gleich große Kugeln im Raum so anordnen lassen, dass möglichst wenig Zwischenraum bleibt. Kepler vermutete, dass die Lösung die ist, die auf jedem Marktstand zu beobachten ist. Zunächst legt man in einer Ebene Kugeln in einem hexagonalen Gitter an. Auf diese legt man nun Kugeln in die tiefsten Punkte der unteren Schicht. So stapelt man nun Schicht für Schicht und erhält die sogenannte *hexagonal dichteste Kugelpackung* (s. [2 u. 3]). Diese Kugelpackung besitzt eine Dichte im Raum von ca. 74,05 %. Kepler vermutete im Jahr 1611, dass diese Kugelpackung die dichteste Kugelpackung im Raum ist. Ein Beweis für die Vermutung wurde fast vierhundert Jahre später im Jahr 1998 von Thomas Hales (Universität Pittsburgh) gefunden. Hales' Beweis benutzt viele Fallunterscheidungen, die nur mit Computerhilfe entschieden werden können. Mathematiker, die den Beweis als Gutachter geprüft haben, gaben bekannt, zu „99 Prozent sicher“ zu sein, dass der Beweis richtig ist. Eine Restunsi-



1 Johannes Kepler, Künstler unbekannt, Öl/Holz, 35,5 x 44,5 cm, 1610 (Sternwarte Kremsmünster). Kepler war der erste Forscher, der Schneekristalle wissenschaftlich untersuchte.

cherheit bleibt, da nicht alle am Computer durchgeführten Berechnungen durch die Gutachter nachgeprüft wurden. Es wäre natürlich wünschenswert, einen weniger aufwendigen Beweis zu finden, der ohne Computerhilfe auskommt.

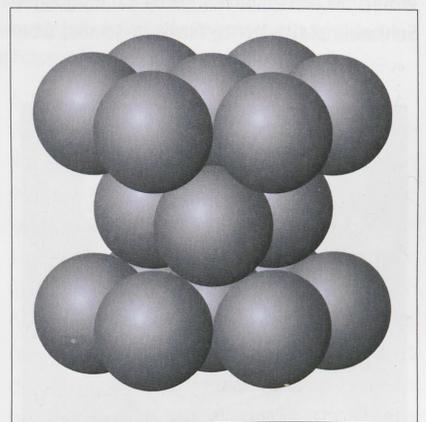
Da Kepler mikroskopische Eigenschaften für makroskopische Muster verantwortlich machte, war er seiner Zeit weit voraus. Ohne eine experimentelle Möglichkeit zu haben, die Struktur der Materie im Einzelnen zu untersuchen, hatte Kepler die Idee, dass regelmäßige Formen durch lokale Regeln begründet werden können. Erst in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts gelang es mit Hilfe der Kristallstrukturanalyse, der Wellenmechanik der Molekülstrukturen und der Thermodynamik der Phasenbildung, die Kristallstrukturen des Eises besser zu verstehen. Es zeigte sich, dass die hexagonale Anordnung der Sauerstoffatome im Eis für die hexagonale Kristallsymmetrie in Schneekristallen verantwortlich ist. Damit wurden Keplers Spekulationen darüber, dass Packungseigen-

schaften von Kugeln im Raum für die hexagonale Struktur von Schneekristallen verantwortlich sind, in gewisser Weise bestätigt. Kepler, der stets auf der Suche nach Gesetzen und Regelmäßigkeiten war, hatte hier also die richtige Intuition. Entscheidend für Keplers Arbeitsweise war es, dass er basierend auf empirischem Wissen versuchte, Erklärungen mit Hilfe von mathematischen Analogien zu finden. Er suchte, bei aller Berücksichtigung von Daten aus Beobachtungen und Messungen, nach ästhetischer Harmonie und Ordnung, die ihm Ausdruck der Wirkung Gottes waren. Diese Vorgehensweise führte ihn auch dazu, seine berühmten drei Keplerschen Gesetze zu finden. Die ersten beiden dieser Gesetze („Die Planeten bewegen sich auf elliptischen Bahnen, in deren Brennpunkt die Sonne steht“, „Die Verbindungslinie eines Planeten mit der Sonne überstreicht bei seiner Bewegung in gleichen Zeitintervallen gleiche Flächen“) sind im Logo des Kepler-Forschungszentrums für Mathematik dargestellt [4].

Experimentelle Forschung zu Schneekristallen

Kepler hatte eine mikroskopisch hexagonale Struktur als Ursache für die sechsfache Symmetrie in Schneekristallen erahnt und die spätere physikalische Forschung konnte diese Vermutung präzise fassen. Die hexagonale molekulare Struktur reicht aber zur Erklärung der Vielfalt der Kristallformen nicht aus. Vielmehr muss man verstehen, wie Schneekristalle wachsen. Es wird sich zeigen, dass man dafür die Theorie der Phasenübergänge und Methoden aus der Theorie der nichtlinearen Dynamik benötigt. Zunächst einmal wollen wir allerdings kurz die Beobachtungen und Experimente einiger Pioniere der experimentellen Schneeforschung besprechen.

Die experimentelle Forschung wurde zunächst durch die Fotografie bestimmt. Der im schneereichen Staat Vermont lebende Farmer Wilson A. Bentley (1863–1931) hatte über Jahrzehnte Schneekristalle im Freien fotografiert und hat eine umfangreiche Sammlung von Formen von Schneekristallen zurückgelassen. Einige seiner über 5.000 Fotografien von Schneekristallen finden sich in [5] und viele weitere sind auf der Bentley-Webseite zu bestaunen (s. <http://snowflakebentley.com/WBsnowflakes.htm>). Bentley entwickelte schon als junger Mann einen neuartigen Mechanismus, um eine Kamera an einem Mikroskop zu befestigen. Obwohl er Zeit seines Lebens auf einer Farm lebte und arbeitete, publizierte er zusammen mit Physikern des United States Weather Bureau. Die experimentelle Schneekristallforschung hat seinem Engagement viel zu verdanken und viele seiner Bücher wurden wieder und wieder veröffentlicht.



2 Die hexagonal dichteste Kugelpackung. Es gibt keine Packung mit Kugeln, die eine größere mittlere Dichte aufweist.

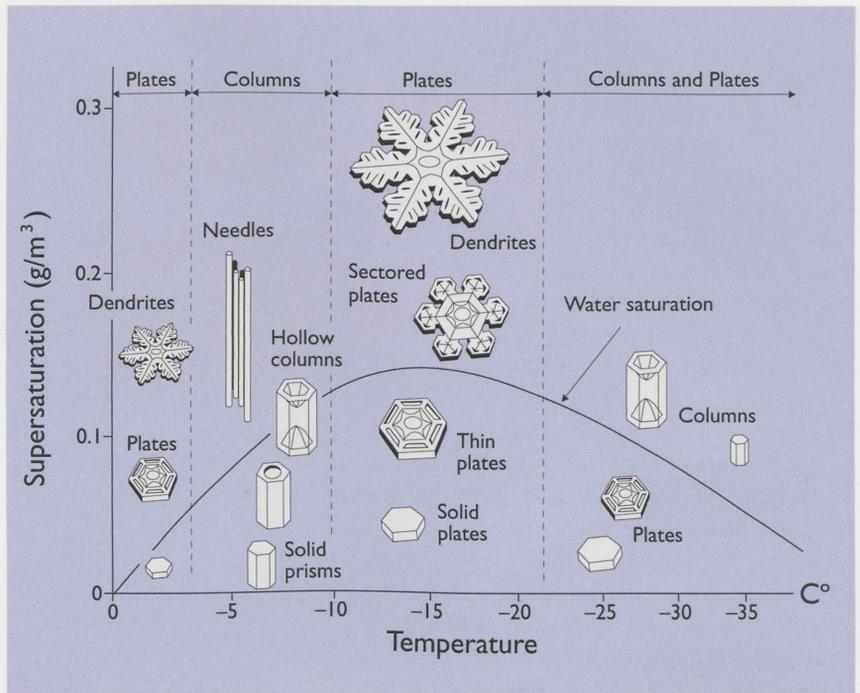


3 Die Lösung des Packungsproblems auf dem Wochenmarkt



4 Das Logo des Johannes-Kepler-Forschungszentrums für Mathematik illustriert die beiden ersten Keplerschen Gesetze.

Aber erst der Japaner Ukichiro Nakaya (1900–1962) machte sich daran, die Vielfalt der Schneekristallformen zu systematisieren. Nakaya war ursprünglich Kernphysiker und wurde zum Professor in Sapporo, auf der schneereichen nördlichen japanischen Insel Hokkaido, ernannt. Da es auf Hokkaido keine Ausstattung für einen Kernphysiker gab, begann Nakaya sich mit Schneekristallen zu beschäftigen – Hokkaido schien dafür ja auch die ideale Umgebung zu sein. Er führte umfangreiche Beobachtungen im Freien durch und es gelang Nakaya als erstem Wissenschaftler, Schneekristalle künstlich im Labor zu züchten. Dabei stellte sich heraus, dass Schneekristalle besonders gut an Kaninchenhaar wachsen. Mit Hilfe der künstlich erzeugten Schneekristalle lernte Nakaya so viel über



6 Das Nakaya-Diagramm zeigt, welche Schneekristallformen sich in Abhängigkeit von Temperatur und Luftfeuchtigkeit ausbilden.

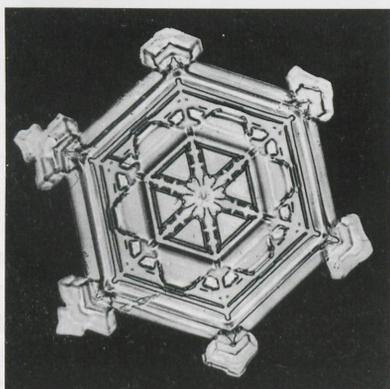
die Formenvielfalt der Schneekristalle, dass er eine Systematik aus 40 Grundformen angeben konnte. Er fand heraus, dass die Morphologie der Schneekristalle stark von den Wachstumsbedingungen abhängt. Insbesondere die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit (Übersättigung, Supersaturation) sind für die Formen der Schneeflocken verantwortlich. Seine Ergebnisse fasste er graphisch in einem Diagramm zusammen, das heute als Nakaya-Diagramm [6] bezeichnet wird.

Im Nakaya-Diagramm erkennen wir, dass bei niedriger Luftfeuchtigkeit und niedrigen Temperaturen flache Plättchen wachsen, siehe das linke Bild in der Computersimulation in [7]. Nimmt die Temperatur zu, so bilden sich hexagonale Prismen heraus, während bei noch höheren Tem-

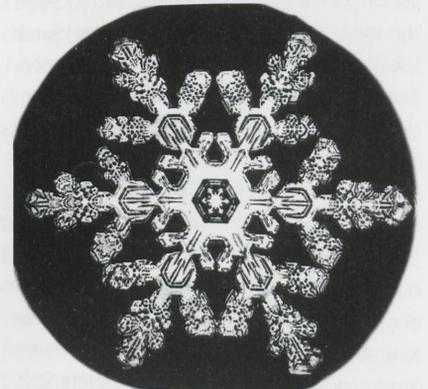
peraturen wieder dünnere Plättchen wachsen. Steigt bei niedrigen Temperaturen die Luftfeuchtigkeit, so bilden sich Seitenarme, aus denen wieder Seitenarme herauswachsen – diese komplexen verzweigten Muster nennt man Dendriten [8].

Aber es bilden sich auch andere Formen aus. Bei Temperaturen zwischen -5 und -10 Grad Celcius und hoher Luftfeuchtigkeit bilden sich hohle Säulen – s. Nakaya-Diagramm und die Computersimulation in [9].

Typischerweise werden Schneekristalle zweidimensional dargestellt. Es gibt aber viele Aspekte bei der Formbildung von Schneekristallen, die tatsächlich dreidimensional sind. Wir haben dies schon bei den hohlen Prismen kennengelernt. Aber auch Formen, die bei der Ansicht von oben zwei-



5 Fotografien von Schneekristallen von Wilson A. Bentley





dimensional wirken, verbergen dreidimensionale Strukturen. Die vier linken Bilder in [10] zeigen die Computersimulation eines Schneekristalls. Dabei sehen wir den Kristall zu zwei Zeitpunkten und dabei jeweils eine Ansicht von oben und eine von der Seite. Es ist klar zu sehen, dass die Ansicht von oben nicht die gesamte Struktur des Kristalls offenbart. Dies steht im Gegensatz zu [7], bei der keine dreidimensionalen Strukturen zu erkennen sind. In [10] haben wir rechts auch eine Fotografie eines Schneekristalls abgebildet, die – wie auch die Fotografien in [7–11] – von Prof. Libbrecht vom California Institute of Technology aufgenommen wurden. Die Fotografie zeigt deutlich eine dreidimensionale, nichtkonvexe Struktur des Kristalls. Prof. Libbrecht, einer der angesehensten Forscher auf dem Gebiet der Physik des Kristallwachstums, hat die experimentelle Erforschung von Schneekristallen deutlich weiterentwickelt. Libbrecht hat eine eindrucksvolle Homepage *Snow Crystals* geschaffen, auf der viele schöne Bilder von Schneekristallen und viel Wissenswertes rund um Schneeflocken zu finden sind (www.its.caltech.edu/~atomic/snowcrystals/).

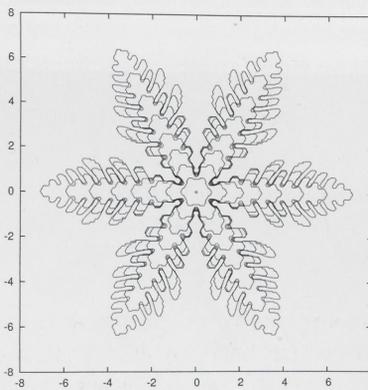
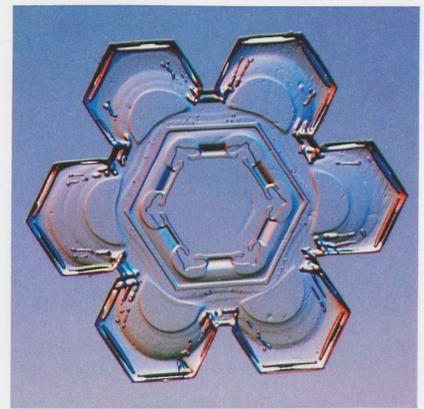
Nakaya gab eine Erklärung für die Formenvielfalt von Schneekristallen. Sie beruht auf der Tatsache, dass ein Schneekristall ganz unterschiedliche Wetterbedingungen vorfindet, wenn er bei seinem Fall durch die Atmosphäre wächst. Betrachten wir das Nakaya-Diagramm, so wächst ein Schneekristall etwa zunächst bei einer niedrigen Temperatur und hoher Luftfeuchtigkeit als Plättchen. Fällt er weiter, so steigen vielleicht die Luftfeuchtigkeit und die Temperatur und es bilden sich aus den Plättchen dendritenartige Strukturen heraus. Sinkt die Luftfeuchtigkeit später wieder, so bilden sich an den Dendritenspitzen Plättchen. Kristalle mit einer solchen Geschichte sind in [11] zu finden. Es ist also möglich, meteorologische Informationen aus den Schneekristallen abzulesen. Nakaya spricht von Schneekristallen daher auch als „Briefe aus dem Himmel“.

Die Mathematik des Kristallwachstums

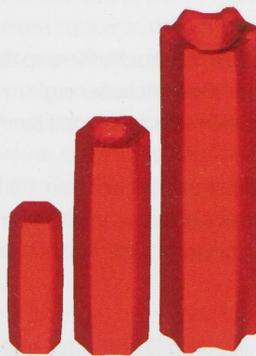
Kristallwachstum kann mathematisch durch partielle Differentialgleichungen beschrieben werden. Diese lassen sich aus fundamentalen Erhaltungsprinzipien der Physik herleiten. Im Kontext von Schnee-



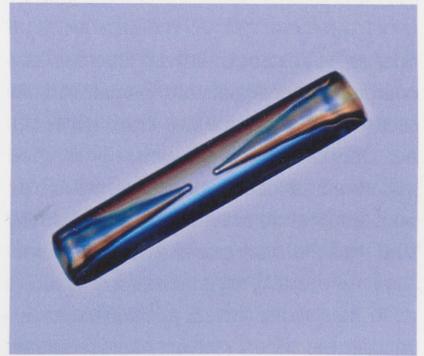
7 Computersimulation eines wachsenden Schneekristalls. Zunächst bildet sich ein flaches hexagonales Plättchen aus. Dann sprießen aus den Ecken Arme heraus. Im rechten Bild ist ein Schneekristall mit ähnlicher Form dargestellt.



8 Dendritisches Wachstum von Schneekristallen. Links ein Kristall, der vom Computer berechnet wurde; rechts eine Fotografie eines realen Schneekristalls.



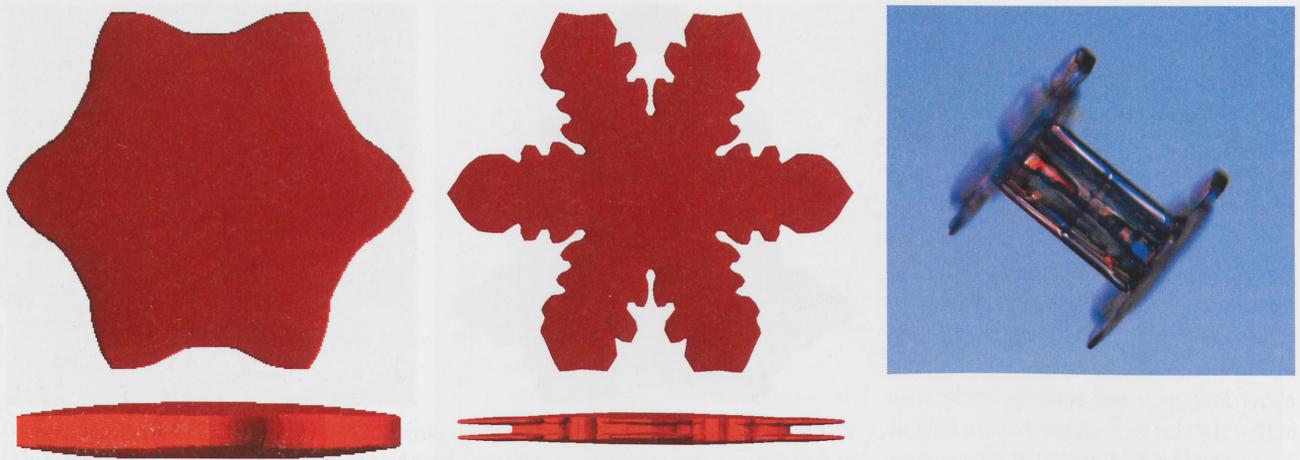
9 Bei einem Sättigungsgrad in der Nähe der Wassersättigungsgrenze bilden sich häufig hohle Prismen (s. Nakaya-Diagramm). Die drei linken Bilder zeigen Computersimulation eines wachsenden Kristalls, bei dem sich Hohlräume ausbilden. Das rechte Bild ist eine Fotografie eines „hohlen“ Schneekristalls.



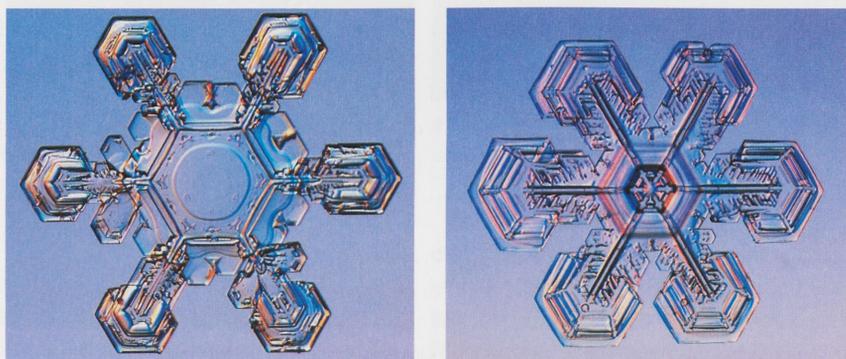
kristallwachstum interessiert uns dabei ein Erhaltungsgesetz für die Wassermoleküle. Die Moleküldichten ändern sich durch Diffusion, d. h. durch die zufällige Eigenbewegung von Teilchen im Raum. Die Diffusionsgleichung beschreibt, wie sich die Moleküldichte durch diesen Prozess verändert. Um Kristallwachstum zu verstehen, müssen wir außerdem die Physik und hier insbesondere die energetischen Verhältnisse der Kristalloberfläche besser verstehen.

Wollen wir ein festes gegebenes Volumen mit möglichst wenig Oberfläche ein-

schließen, so werden wir eine Kugeloberfläche wählen. Dies ist die Form, die auch eine Seifenblase einnimmt. Für eine Seifenblase ist keine Richtung im Raum energetisch ausgezeichnet. Daher ist die Oberflächenenergie proportional zur Gesamtoberfläche der Blase. Das Energieminimum bei festem eingeschlossenen Volumen ist daher die Kugeloberfläche. Bei Kristallen hängt die Oberflächenenergiedichte an einem Punkt auf der Oberfläche davon ab, in welche Richtung der Kristall im Raum orientiert ist. Man sagt die Oberflächen-



10 Auch dendritische Formen haben dreidimensionale Aspekte. Die vier Bilder links zeigen eine Computersimulation eines wachsenden Schneekristalls (1. u. 3. Bild: Ansicht von oben, 2. u. 4. Bild: Ansicht von der Seite). Rechts ein realer Schneekristall.



11 Die genaue Form von Schneekristallen gibt Aufschluss über meteorologische Informationen. Ein Schneekristall ist ein „letter from the sky“.

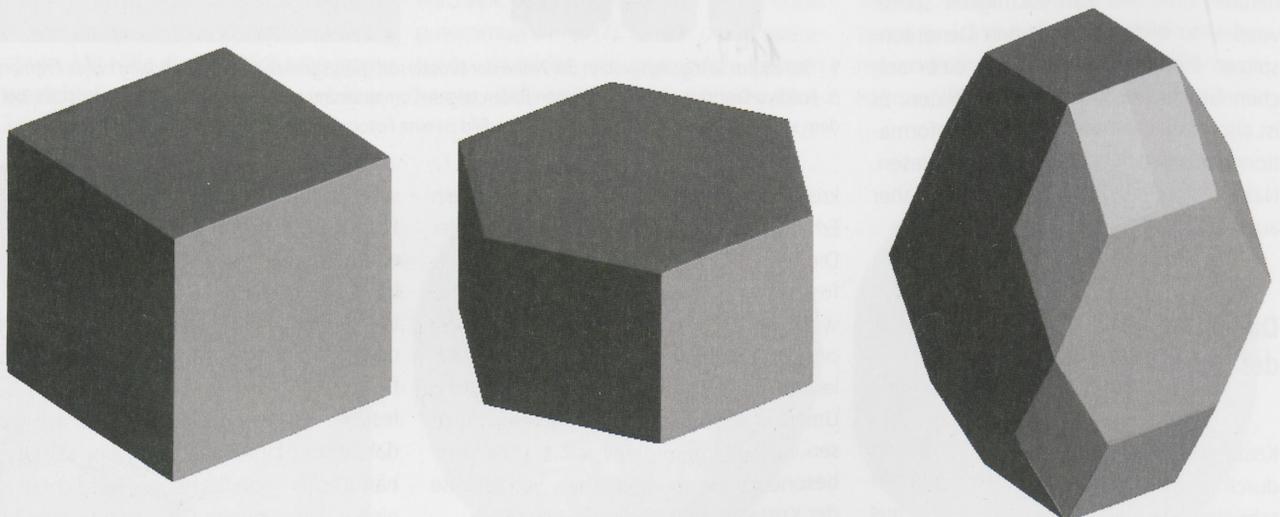
energie ist anisotrop. Bei der Oberflächenenergie des Schneekristalls spiegelt sich die sechsfache Symmetrie des Kristallgitters in der Oberflächenenergie wider. Ein Kristall mit einem anderen molekularen Aufbau wird auch andere Symmetrien ausbilden. Will man nun ein gewisses Volumen mit

einer Oberfläche umschließen, so dass eine anisotrope Oberflächenenergie minimal wird, so bilden sich anisotrope Formen aus [12].

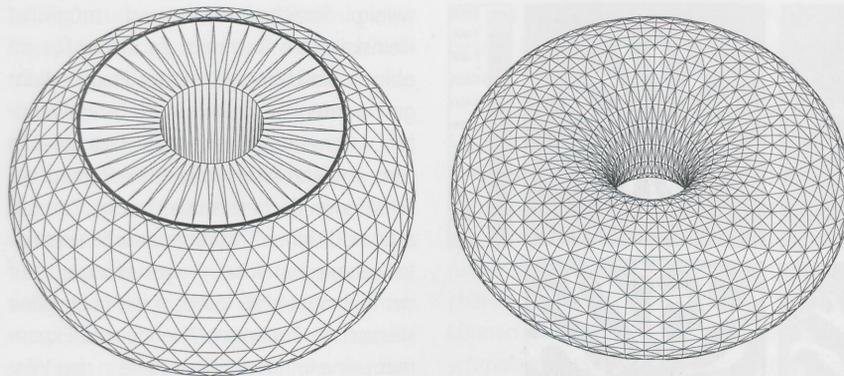
In Konkurrenz zu anderen treibenden Kräften strebt ein wachsender Schneekristall auch danach, seine Oberflächenenergie

zu minimieren – daraus resultiert die hexagonale Symmetrie des Kristalls. Da der molekulare Aufbau die genaue Form der Oberflächenenergie festlegt, sind die Überlegungen von Kepler zu Packungsproblemen im Zusammenhang mit der Schneekristallsymmetrie in gewisser Hinsicht bestätigt worden.

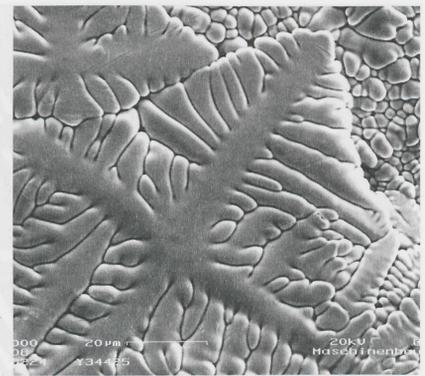
Wie hängen nun die Diffusionsgleichung für die Massenverteilung der Wassermoleküle und die Oberflächenenergie zusammen? Wir benötigen für die Diffusionsgleichung eine sogenannte Randbedingung, d. h. in diesem Fall, dass die Werte der gesuchten Größen auf der Oberfläche des wachsenden Kristalls gewissen Gleichungen genügen müssen. Mit Hilfe von Überlegungen aus der Thermodynamik und der Geometrie können diese Randbedingungen identifiziert werden. Dabei müssen klassische Krümmungsbegriffe ver-



12 Verschiedene mögliche Kristallformen. Die kubische Form tritt häufig bei Metallen auf. Die hexagonale Kristallform in der Mitte ist relevant für Schneekristalle. Aber auch komplexe Strukturen, wie etwa die rechte, kommen in der Natur vor.



13 Berechnung einer torusförmigen Fläche mit einem klassischen (links, die innere Krümmung wird nur unzureichend angenähert) und dem neuen Verfahren (rechts). Wir zeigen jeweils den Endzeitpunkt nach einem Evolutionsprozess.



14 Dendritische Erstarrung einer Cr-Ni-Ti-Legierung

allgemeinert werden. Die Krümmung einer Sphäre lässt sich mit dem inversen Radius der Sphäre beschreiben. Ist die Oberflächenenergie anisotrop, so müssen neuartige anisotrope Krümmungsbegriffe eingeführt werden. Der Grad der Übersättigung an der Oberfläche ist im lokalen Gleichgewicht proportional zur anisotropen Krümmung. Somit wird die hexagonale Geometrie der Oberfläche an die Diffusionsgleichung für die Wassermoleküle gekoppelt. Das Studium von Krümmungsbegriffen ist auch ein Schwerpunkt im neu geschaffenen Graduiertenkolleg „Curvature, Cycles, and Cohomology“ der Fakultät für Mathematik in Regensburg.

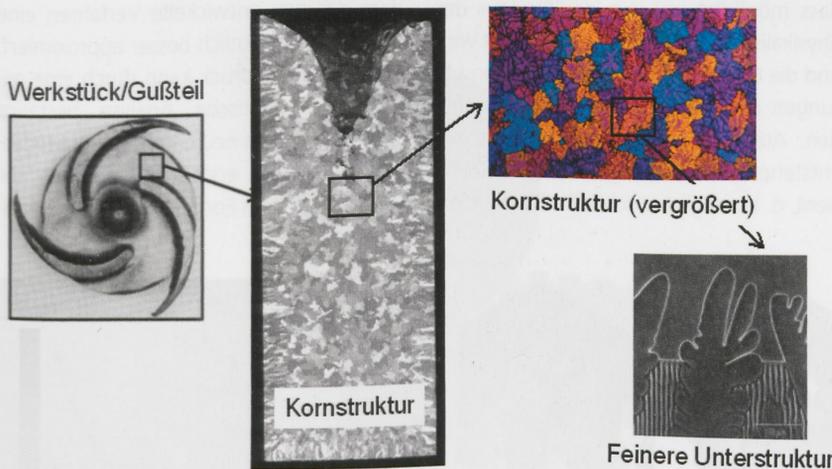
Warum entstehen beim Wachstum eines Schneekristalls so komplexe Formen – und nicht nur einfache hexagonale Prismen? Um den Prozess der Musterbildung bei Schneekristallen zu begreifen, müssen wir verstehen, wie Schneekristalle wachsen. Mathematisch gesprochen ist ein wachsender Kristall durch eine nichtlineare

Evolutionsgleichung beschrieben, bei dem eine Instabilität zu einem Musterbildungsprozess führt. Durch einen Selbstorganisationsprozess entstehen dabei komplexe Strukturen wie aus dem „Nichts“. Die Instabilität, die für diesen Prozess verantwortlich ist, ist eine sogenannte Verzweigungsinstabilität, die durch einen Rückkopplungsmechanismus produziert wird.

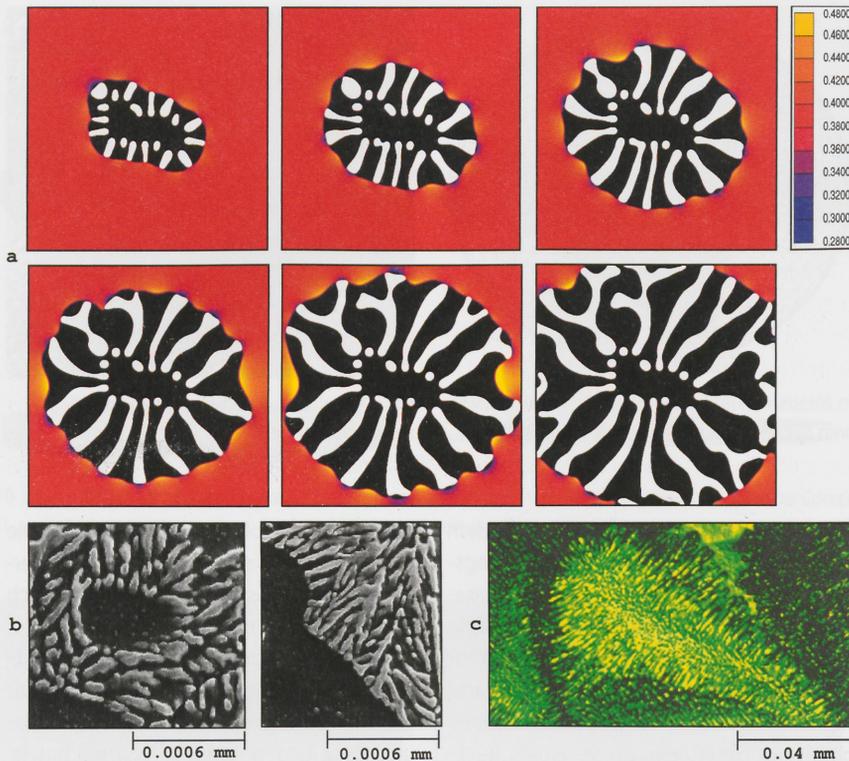
Um die physikalischen Gründe für diese Instabilität zu verstehen, betrachten wir einen einfachen flachen hexagonalen Kristall, der durch die Atmosphäre fällt. Um den Kristall diffundieren Wassermoleküle und für diese ist es wahrscheinlicher, dass sie an einem Eckpunkt des Kristalls auftreffen, da diese stärker in das umgebene Gas ragen als der Rest des Kristalls. Diese Punkte wachsen also etwas schneller und dadurch ragen sie nach einer Weile noch etwas weiter heraus. Es wird noch wahrscheinlicher, dass Wassermoleküle auf sie treffen und sie noch schneller wachsen werden – ein typisches Beispiel eines posi-

tiven Rückkopplungsmechanismus. Die Auswüchse, die sich so bilden, sind thermodynamisch instabil und es werden sich an den Seitenarmen wieder kleine Spitzen herausbilden. An diesen seitlichen Auswüchsen werden wieder Moleküle mit größerer Wahrscheinlichkeit auftreffen und diese bilden dann Seitenarme aus (s. z. B. [8]). Dieses Phänomen heißt Mullins-Sekerka-Instabilität; eine mathematische Beschreibung findet sich im Lehrbuch „Mathematische Modellierung“ von Eck, Garcke und Knabner. Die Nichtlinearität des Wachstumsprozesses ist zentral um die komplexe Formenvielfalt zu erzeugen. Viele Phänomene in Mathematik und Naturwissenschaften werden durch nichtlineare Gleichungen beschrieben. Daher gibt es auch einen Themenverbund „Nichtlineare Strukturen“ an der Universität Regensburg.

Ein erstarrender Kristall ist ein Paradebeispiel für ein *Problem mit freiem Rand*. Gesucht ist eine bestimmte Größe – hier die Massenverteilung der Wassermoleküle – und gleichzeitig ist der Bereich, in dem wir die Größen suchen, zu bestimmen. In diesem Fall stimmt der Rand des Bereichs, in dem wir die Massenverteilung suchen, mit der Kristalloberfläche überein. Probleme mit freiem Rand sind hochgradig nichtlinear, und insbesondere Fragestellungen mit anisotroper Krümmung sind wenig verstanden. In einer Arbeit mit meinem früheren Studenten Stefan Schaubek ist es zum ersten Mal gelungen, eine mathematische Analyse der oben skizzierten Grundgleichungen für das anisotrope Kristallwachstum durchzuführen. Dabei konnten wir insbesondere zeigen, dass die Grundgleichungen stets lösbar sind und somit eine geeignete mathematische Beschreibung liefern können.



15 Mehrskalenstruktur eines aus der Schmelze gewonnenen Werkstücks



16 Computerberechnung einer erstarrenden Metallschmelze (obige sechs Bilder) und Bilder aus Experimenten (unten)

Computersimulation von Kristallwachstum

Das gerade geschilderte Resultat ist wichtig für das grundlegende mathematische Verständnis der Gleichungen. Viel Einsicht über die Formenvielfalt von Lösungen erhält man aus diesem Resultat allein allerdings nicht. Da die Gleichungen so komplex sind, dass sie nicht mehr mit Papier und Bleistift gelöst werden können, müssen wir auf die Hilfe eines Computers zurückgreifen, um Lösungen zumindest näherungsweise berechnen zu können. Dazu muss das Problem zunächst in eine Form gebracht werden, die sich mit Computerhilfe berechnen lässt. Eine glatte Fläche etwa lässt sich im Allgemeinen nicht durch endlich viele Größen beschreiben. Deshalb nähern wir die Fläche durch polyedrische Flächen an, die sich aus Dreiecken zusammensetzen [13]. Diese Flächen können be-

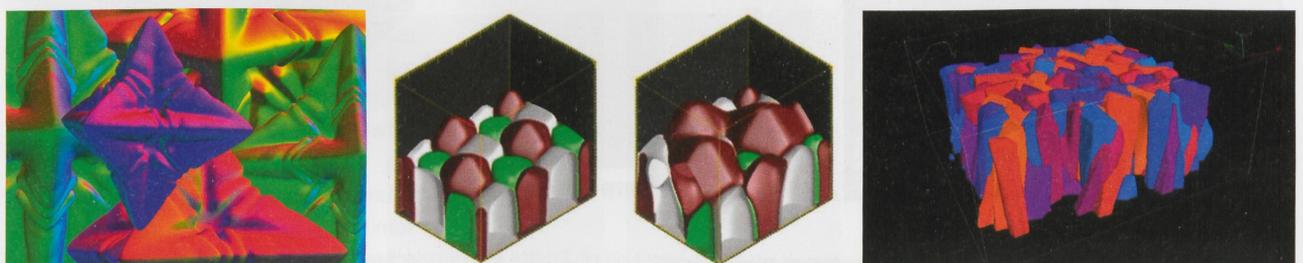
schrieben werden, indem die Eckpunkte der Dreiecke angegeben werden. Insgesamt kann die Fläche also durch endlich viele Daten beschrieben werden. Ganz ähnlich muss man die gesuchte Massenkonzentration behandeln. Dabei wird nun in gewisser Weise der Graph der Funktion, die die Massenkonzentration beschreibt, durch Dreiecke angenähert.

Die Aufgabe der Forschungsgebiete „Numerische Mathematik“ und „Computational Science“ ist es nun, Gleichungen für die oben erwähnten endlich vielen Größen zu finden, die die „Dreiecksnäherungen“ beschreiben. Dies soll so geschehen, dass möglichst viel von der Struktur des physikalischen Problems eingefangen wird und die Näherungen möglichst nah an Lösungen des ursprünglichen Problems liegen. Außerdem strebt man danach, die entstehenden Gleichungen möglichst effizient, d. h. möglichst schnell mit möglichst

wenig Speicherbedarf und möglichst kleinskalierten Rechnern zu lösen. Die im obigen Abschnitt skizzierten Fragestellungen werden zum einen in der Angewandten Mathematik behandelt und spielen zum anderen eine große Rolle im neu geschaffenen Bachelorstudiengang „Computational Science“. Mathematische und naturwissenschaftliche Fragestellungen auf dem Computer zu lösen, spielt neben den klassischen Zugängen Theorie und Experiment eine immer größere Rolle in den Wissenschaften. Daher ist „Computational Science“ auch einer der Forschungsschwerpunkte an der Universität Regensburg.

In Zusammenarbeit mit Kollegen vom Imperial College in London ist es gelungen, neuartige Verfahren zur Berechnung von evolvierenden Flächen zu entwickeln. Diese zeichnen sich durch gute Eigenschaften der Dreiecksgitter aus. Frühere Verfahren führten in der Regel dazu, dass Gitter sich mit der Zeit so stark verformten, dass die Rechnungen abgebrochen werden mussten. Um die guten Eigenschaften der neuen Verfahren zu verstehen, helfen geometrische Einsichten. In unserem Fall nutzen wir Begrifflichkeiten der sogenannten *konformen Geometrie*, um Eigenschaften des numerischen Verfahrens zu erklären.

Um die Vorzüge des neuen Verfahrens deutlich zu machen, sind in [13] Ergebnisse aus Computerberechnungen für eine torusförmige Geometrie dargestellt. Beginnen wir mit einer guten Annäherung einer Anfangsfläche, so zeigt sich, dass die Näherungseigenschaften im Laufe der Zeit schlecht werden können. Links ist eine Berechnung mit einem klassischen Verfahren und rechts ein Ergebnis mit dem neu entwickelten Verfahren jeweils zu einem Endzeitpunkt dargestellt. Es zeigt deutlich, dass das neu entwickelte Verfahren eine glatte Fläche deutlich besser approximiert. Dieser erste Eindruck kann durch eine exakte mathematische Analyse bestätigt werden. Mit den neu entwickelten Methoden ist es zum ersten Mal möglich, die stark facettierten Formen beim Schneekris-



17 Dendritische Strukturen in Metallegierungen (links), Erstarrung mit vielen Phasen (Mitte), Korngrenzen (rechts)



tallwachstum mit einem dreidimensionalen Computermodell, das auf den physikalischen Grundgleichungen beruht, zu beschreiben. Dabei konnte auch zum ersten Mal das Aufbrechen von Facetten [9 u. 10] in Computersimulationen beobachtet werden. In Zukunft müssen noch eine Reihe weiterer Computerexperimente durchgeführt werden, um genauer zu verstehen, welche physikalischen Bedingungen bei verschiedenen Temperaturen und Übersättigungen vorliegen müssen, um die Formen des Nakaya-Diagramms zu erhalten.

Anwendungen unserer Forschungsergebnisse

Wie schon am Anfang erwähnt, besitzt das Studium des Schneekristallwachstums zwar einigen ästhetischen Reiz, die praktische Anwendbarkeit der Resultate ist allerdings gering. Kristallwachstum spielt aber in vielen Anwendungsgebieten eine wichtige Rolle. Beispiele sind etwa das Wachsen von Kristallen in der Halbleitertechnologie sowie in der IT- oder Solarindustrie, die spontane Bildung von sogenannten „Quantenpunkten“ in der Nanotechnologie oder aber die Erstarrung von klassischen Werkstoffen wie zum Beispiel Eisenlegierungen aus der Schmelze. In all diesen Bereichen hat meine Arbeitsgruppe schon gearbeitet und dabei stellte sich immer wieder heraus, dass der abstrakte Zugang der Mathematik einen Transfer von Ideen und Techniken zwischen diesen ganz unterschiedlichen Bereichen möglich macht. Methoden, die im Zusammenhang mit der Beschreibung der Erstarrung eines Metalls aus der Schmelze entwickelt wurden, hal-

fen uns dabei, das Schneekristallwachstum besser berechnen zu können und umgekehrt.

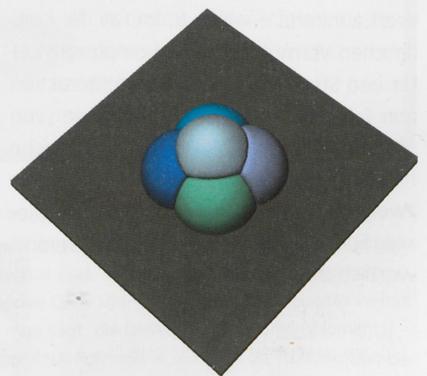
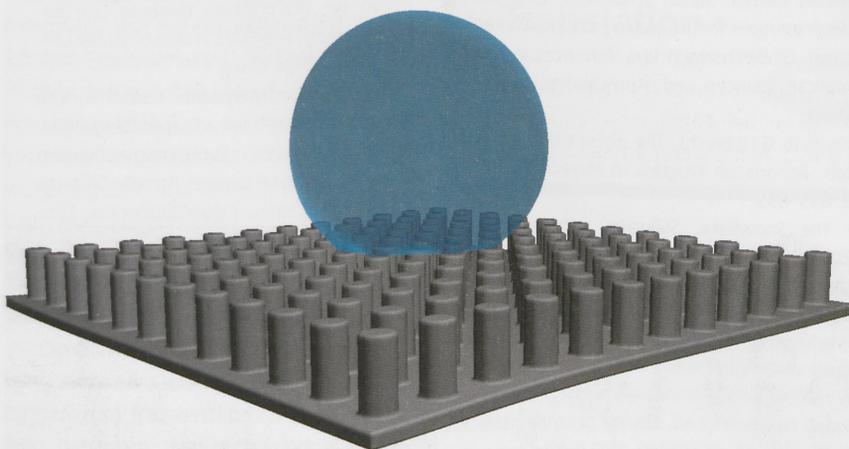
Zusammen mit der Arbeitsgruppe von Frau Prof. Britta Nestler (KIT Karlsruhe) gelang es uns vor einigen Jahren ein sogenanntes Phasenfeldmodell zu entwickeln, mit dem eine Vielzahl von Erstarrungsphänomenen und auch viele andere Grenzflächenbewegungen beschrieben werden können. Auch bei der Erstarrung von Metallschmelzen entstehen dendritische (baumartige) Strukturen [14]. Allerdings weisen diese keine hexagonale sondern eine kubische Symmetrie aus. Grund dafür ist eine andere Kristallstruktur, die auf eine andere anisotrope Oberflächenenergie und somit auf eine andere anisotrope Krümmung führt.

Die charakteristischen Strukturen in der erstarrten Metallschmelze sind ausschlaggebend für die Eigenschaften des Materials. Es zeigt sich etwa, dass ein aus der Schmelze durch Erstarrung gewonnenes Werkstück Strukturen auf vielen Längenskalen aufweist [15]. Mathematiker und Physiker sprechen in einem solchen Fall von einem Mehrskalensproblem. In vielen Herstellungsprozessen haben die bei der Erstarrung entstehenden Strukturen einen entscheidenden Einfluss auf die Härte und Bruchfestigkeit des Materials. Computersimulationen ermöglichen nun einen Einblick nicht nur in das Endgefüge, sondern auch in den Strukturbildungsprozess. Damit lässt sich die Herstellung von Materialien kontrolliert beeinflussen und Materialien mit gewünschten Eigenschaften können computergestützt entwickelt werden. Computersimulationen ersetzen die experimentelle Materialcharakterisierung, die häufig nur mittels Zerstörung von Bauteilen möglich war [16].

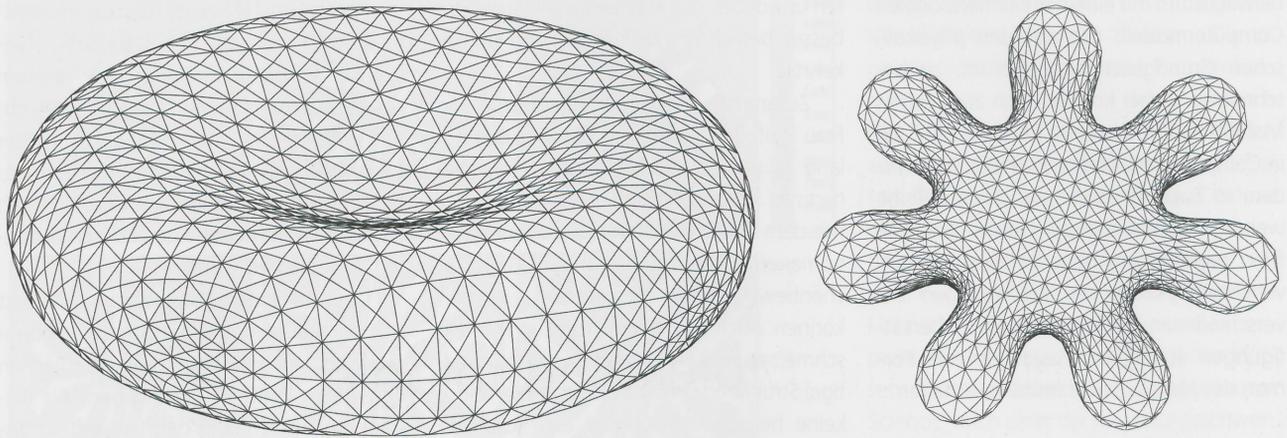
Abbildung [17] zeigt nun Computersimulationen, die auf der Basis des entwickelten Phasenfeldmodells von unseren Kooperationspartnern in Karlsruhe berechnet worden sind. Das Modell ist in der Lage, kubische dendritische Strukturen zu beschreiben und außerdem können auch Situationen, in denen viele Phasen auftreten, beschrieben werden.

Das entwickelte Phasenfeldmodell lässt sich auch nutzen, um ganz andere Phänomene, in denen die Physik von Oberflächen eine Rolle spielt, zu beschreiben. Als Beispiel möchte ich kurz den Lotuseffekt diskutieren. Beim Lotuseffekt wird ausgenutzt, dass eine geeignet strukturierte Oberfläche sich durch eine sehr geringe Benetzbarkeit auszeichnet. Dies hat zur Folge, dass Wasser auf der Oberfläche abperlt und dabei auch die Schmutzpartikel auf der Oberfläche mitnimmt. Diese Selbstreinigungsfähigkeit tritt bei Pflanzen auf, wird aber in den letzten Jahren auch zunehmend und erfolgreich technisch und wirtschaftlich ausgenutzt. So ist inzwischen eine Vielzahl von Gebäuden mit Lotus-Oberflächen ausgestattet. In einem laufenden Projekt mit der Arbeitsgruppe von Frau Nestler wird eine Phasenfeldmethode genutzt, um den Lotuseffekt mit Hilfe mathematischer Modellierung und Computersimulationen zu beschreiben [18].

Zum Abschluss möchte ich erwähnen, dass die von uns mit Kollegen vom Imperial College entwickelten Methoden auch genutzt werden können, um Biomembranen, wie sie etwa bei roten Blutkörperchen auftreten, mit Hilfe von Computersimulationen zu beschreiben [19]. Daneben arbeiten wir zur Zeit daran, unsere Methoden für Anwendungen in der Bildverarbeitung weiter zu entwickeln. Dabei geht es darum,



18 *Computersimulationen des Lotuseffekts.* Eine Oberfläche mit Mikrostruktur „stößt“ Tropfen ab (links). Wir konnten zum ersten Mal auch Tropfen, die sich aus vielen Phasen zusammensetzen, mathematisch beschreiben (rechts).



19 Computersimulationen eines roten Blutkörperchens (links) und einer Membran mit siebenfacher Symmetrie (rechts)

in Bildern, die zum Beispiel mit Hilfe von Computertomographie entstanden sind, einen Tumor zu lokalisieren. Bei anderen Anwendungen geht es darum, die Bewegung einer dreidimensionalen Struktur in der Zeit zu verfolgen. Auch hier gibt es Anwendungen in der Medizin. Dabei ist die Aufgabe, etwa mit Hilfe einer zeitlichen Folge von dreidimensionalen Bildinformationen, die rhythmische Bewegung eines Herzens oder die Bewegung eines Embryos zu analysieren. Diese sogenannten 4D-Bildverarbeitungsprobleme sind sehr aufwendig. Die von uns entwickelten Ansätze konnten aber schon erfolgreich für Modellprobleme genutzt werden.

Kepler war auf der Suche nach den Ursachen für Formen, Muster und Regelmäßigkeiten. Er fand die Keplerschen Gesetze und stellte erste Vermutungen auf, die die Symmetrien in Schneekristallen erklären sollten. Was ist aber nun der Grund dafür, dass sich ganz ähnliche Strukturen in so unterschiedlichen Bereichen der Wirklichkeit finden? Häufig haben Strukturen eine gewisse Gestalt, damit eine bestimmte Größe einen maximalen oder minimalen Wert annimmt – wie z. B. im Fall der Keplerschen Vermutung. Viele komplexe Muster und Strukturen, die aus der Interaktion von Teilen eines Gesamtsystems wie „von selbst“ entstehen, haben ihre Ursache häufig in Instabilitäten, wie z. B. die Verzweigungsinstabilität, die für die komplexen Formen bei Schneekristallen verantwortlich sind.

Insgesamt zeigt sich, dass ein mathematisches Verständnis von grundlegenden Strukturen und Phänomenen zu Anwendungen in ganz verschiedenen Bereichen führen kann. In unserem Fall war wichtig, die geometrische Struktur von Phasengrenzen und neuartige Krümmungsbegriffe gut zu verstehen und dieses Verständnis in strukturhaltenden Computermodellen umzusetzen.

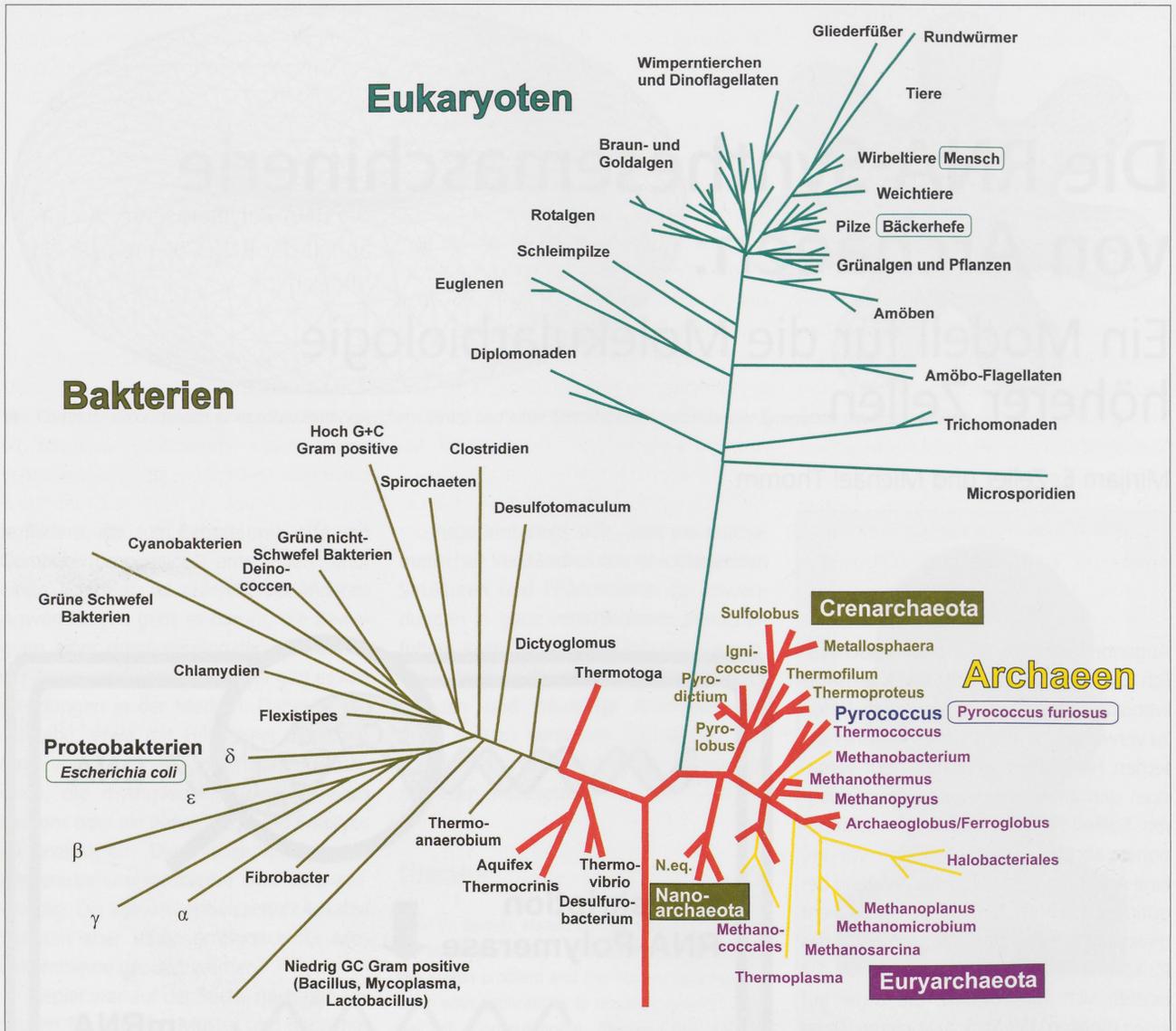
Literatur

- John W. Barrett, Harald Garcke, Robert Nürnberg, On stable parametric finite element methods for the Stefan problem and the Mullins-Sekerka problem with applications to dendritic growth. *Journal of Computational Physics* 229 (2010), S. 6270–6299.
- Christof Eck, Harald Garcke, Peter Knabner, *Mathematische Modellierung*. 2. Aufl. Heidelberg: Springer, 2011.
- Harald Garcke, Britta Nestler, Björn Stinner, A diffuse interface model for alloys with multiple components and phases. *SIAM Journal on Applied Mathematics* 64 (2004), S. 775–799.
- Harald Garcke, Stefan Schaubek, Existence of weak solutions for the Stefan problem with anisotropic Gibbs-Thomson law. *Advances in Mathematical Sciences and Applications*, 2011, im Druck.
- Kenneth G. Libbrecht, The physics of snow crystals. *Reports on Progress in Physics* 68 (2005), S. 855–895.
- *The Snowflake*. Stillwater: Voyageur Press, 2003.
- Ukichiro Nakaya, *Snow Crystals: Natural and Artificial*. Cambridge: Harvard University Press, 1954.



Prof. Dr. **Harald Garcke**, geb. 1963 in Bremerhaven. Studium der Mathematik und Informatik in Bonn. Promotion 1993 über ein mathematisches Modell zur Beschreibung von Gedächtnismetallen. Es folgten Auslandsaufenthalte in England und Italien. 1995–2002 Oberassistent an der Universität Bonn. Habilitation 2000. Im Jahr 2001 erfolgten Rufe auf Lehrstühle an die Universitäten Duisburg und Regensburg. Seit 2002 Professor an der Universität Regensburg.

Forschungsschwerpunkte: Mathematische Beschreibung von Phasenübergängen, geometrische Evolutionsgleichungen, Computational Science, Partielle Differentialgleichungen, Elastizitätstheorie, Strömungsmechanik.



2 Der moderne Stammbaum des Lebens. Je kürzer die Verbindungslinie zwischen zwei Gruppen, desto näher sind diese miteinander verwandt. Archaeen stellen neben den Bakterien und Eukaryoten eine eigene Domäne dar. Die rote Verästelung an der Basis des Baumes zeigt stark hitzeliiebende Organismen an. Spezies, die in diesem Beitrag besprochen werden, sind farbig umrahmt.

Hormon, etc. benötigt, muss zunächst eine Kopie des entsprechenden Gens erstellt werden, die sogenannte mRNA (messenger RNA). Als ein der DNA sehr ähnliches, kurzlebiges Vermittlermolekül ist sie mit dem mobilen USB-Stick vergleichbar. Die mRNA wird aus dem Zellkern geschleust, bevor die transportierte Information genutzt wird, um einen Zellbestandteil herzustellen [1].

Der Begriff Transkription bezeichnet in diesem Ablauf den eigentlichen Kopiervorgang der DNA in RNA. Für die Erstellung der mRNA benötigen alle Zellen eine spezielle molekulare Kopiermaschine, die RNA-Polymerase. Es handelt sich um ein komplexes Molekül aus 11 bis 15 Untereinheiten, welches einzig für die Synthese von RNA zuständig ist.

Entscheidend ist die Frage nach dem Start

Die DNA ist ein fadenförmiges Molekül in Form einer Doppelhelix und stellt auf den ersten Blick eine relativ monotone Anhäufung an Informationen als Abfolge von vier sogenannten Nucleinsäurebasen (A, G, C und T) dar. Es mag zunächst erstaunlich sein, dass eine Sequenz aus nur 4 Bausteinen die gesamte Information für einen Organismus beinhalten kann. Im Grunde ähnelt dieses System der Abfolge von Nullen und Einsen, die Ihren Computerprozessor steuert. Außerdem können Sie sich vorstellen, dass Daten, die normalerweise in mehreren unterschiedlichen Dateien und Ordnern zu archivieren wären, in einer einfachen Textdatei zu-

sammengefügt sind, ohne Absatz, Punkt und Komma.

Woher weiß die RNA-Polymerase, welcher Teil der DNA das gewünschte Gen enthält und somit kopiert werden soll? Die Antwort ist, dass die RNA-Polymerase selbst nicht in der Lage ist zu erkennen, welchen Bereich sie kopieren soll. Sie benötigt dazu ein Helfersystem, das aus sogenannten Transkriptionsfaktoren besteht und den Beginn eines Gens, den Genpromoter, markiert. Der Beginn der Transkription muss ein streng regulierter Vorgang sein, da er über die Menge an synthetisierter mRNA und somit über die Art und Anzahl der gebildeten Zellbestandteile entscheidet – und diese steuern letztlich alle zellulären Prozesse wie Wachstum, Differenzierung, Immunantwort, etc.

Archaeen als Modellorganismen

In der Arbeitsgruppe Thomm am Lehrstuhl für Mikrobiologie in Regensburg wird seit vielen Jahren der Mechanismus der Transkription und dessen Regulation mit Hilfe des Archaeons *Pyrococcus furiosus* studiert. Archaeen sind einzellige Organismen, die ursprünglich als eine besondere Art von Bakterien angesehen wurden. Die ersten isolierten Vertreter wurden vor allem wegen ihres Wachstums unter extremen Bedingungen berühmt und wurden zum Großteil von der Arbeitsgruppe von Prof. Karl O. Stetter am Lehrstuhl für Mikrobiologie in Regensburg isoliert. Zu den bekanntesten Beispielen zählen die Geysire im Yellowstone Nationalpark, die Black Smoker in der Tiefsee oder auch Hydro-

thermalsysteme im seichten Meerwasser. Die Bedingungen in diesen Lebensräumen entsprechen denen, die vor 2–4 Milliarden Jahren größtenteils auf der Erde vorherrschten. Manche Forscher nehmen an, dass die heutigen Archaeen daher den ersten zellulären Lebewesen auf unserem Planeten sehr stark ähneln.

Neuere Methoden erlaubten es in den späten 70er und 80er Jahren, die molekulare Ausstattung der Archaeen genauer unter die Lupe zu nehmen. Faszinierender Weise haben sich dabei erstaunlich viele Ähnlichkeiten zu höheren Organismen mit Zellkern (Eukaryoten) gezeigt. Im Laufe der Zeit kristallisierte sich heraus, dass Archaeen neben den Bakterien und Eukaryoten eine eigenständige Domäne des Lebens darstellen [2]. *Pyrococcus furiosus* ist ein Archaeon, das bei 90–100°C ohne

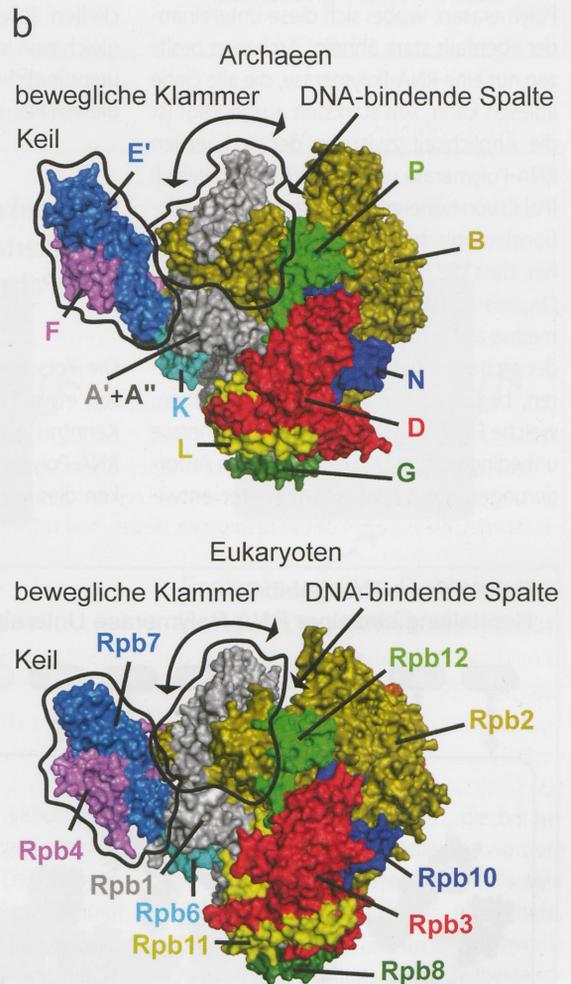
Sauerstoff wächst. Die nächsten Abschnitte werden Sie davon überzeugen, dass seine Transkriptionsmaschinerie ein hervorragendes Modell für das komplexere System eukaryotischer Zellen darstellt.

Die RNA-Polymerase der Archaeen ähnelt der RNA-Polymerase von Menschen

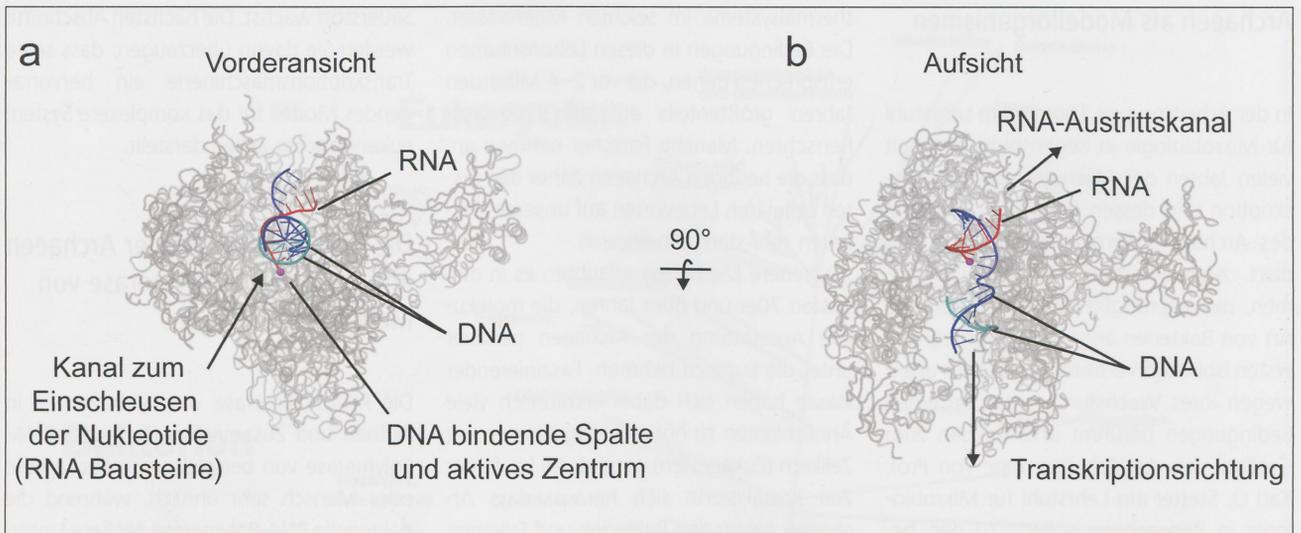
Die RNA-Polymerase von Archaeen ist in Aufbau und Zusammensetzung der RNA-Polymerase von beispielsweise Bäckerhefe oder Mensch sehr ähnlich, während die bakterielle RNA-Polymerase größere Unterschiede aufweist [3]. Höhere Organismen besitzen mindestens drei, Pflanzen sogar fünf auf bestimmte Gene spezialisierte RNA-

a Untereinheitenzusammensetzung der RNA-Polymerasen

Bakterien	Archaeen	Eukaryoten		
		Pol II	Pol I	Pol III
β'	A' und A''	Rpb1	A190	C160
β	B	Rpb2	A135	C128
α	D	Rpb3	AC40	
α	L	Rpb11	AC19	
	N		Rpb10	
	P		Rpb12	
ω	K		Rpb6	
	H		Rpb5	
	G*		Rpb8	
	F	Rpb4	A14	C17
	E'	Rpb7	A43	C25
		Rpb9	A12	C11
			A49	C37
			A34.5	C53
				C82
				C34
				C31



3 Vergleich der Untereinheitenzusammensetzung der RNA-Polymerasen aus den drei Domänen des Lebens. Ähnliche Untereinheiten sind mit der gleichen Farbe unterlegt. Alle archaeellen Untereinheiten sind auch in der RNA-Polymerase II (Pol II) von Eukaryoten vorhanden. Pol I sowie Pol III besitzen zusätzliche Untereinheiten und haben sich auf bestimmte Gene spezialisiert. b Vergleich der Gesamtstrukturen von RNA-Polymerasen aus Archaeen und Eukaryoten. Ähnliche Untereinheiten besetzen ähnliche Positionen im Gesamtkomplex. Die Untereinheiten E' und F (Rpb4 und Rpb7) bilden einen Keil an der Seite des Krabberscheren-ähnlichen Enzyms. Eine Krabberscherenhälfte stellt die bewegliche Klammer dar. Zwischen den Krabberscherenhälften liegt die DNA-bindende Spalte.



4 Struktur der RNA-Polymerase mit DNA und RNA. a Vorderansicht: Die DNA-bindende Spalte ist rückseitig begrenzt, DNA und RNA winden sich hier im rechten Winkel nach oben. Die RNA-Bausteine werden über einen Kanal seitlich der RNA-Polymerase Richtung aktives Zentrum eingeschleust. b Aufsicht: Die RNA wird durch einen RNA-Austrittskanal freigesetzt. Die Transkriptionsrichtung entlang der DNA ist mittels Pfeil dargestellt.

Polymerasen, wobei sich diese untereinander ebenfalls stark ähneln. Archaeen besitzen nur eine RNA-Polymerase, die alle Gene ablesen kann. Am stärksten ausgeprägt ist die Ähnlichkeit zwischen der archaellen RNA-Polymerase und der RNA-Polymerase II (Pol II) von höheren Organismen. Aus evolutionbiologischer Sicht weist dies darauf hin, dass die RNA-Polymerasen in höheren Organismen von der archaellen RNA-Polymerase abstammen könnten. Die Merkmale der archaellen RNA-Polymerase zu studieren, bedeutet also auch, zu untersuchen, welche Eigenschaften eine RNA-Polymerase unbedingt mitbringen muss, um den Anforderungen einer evolutionär weiter entwi-

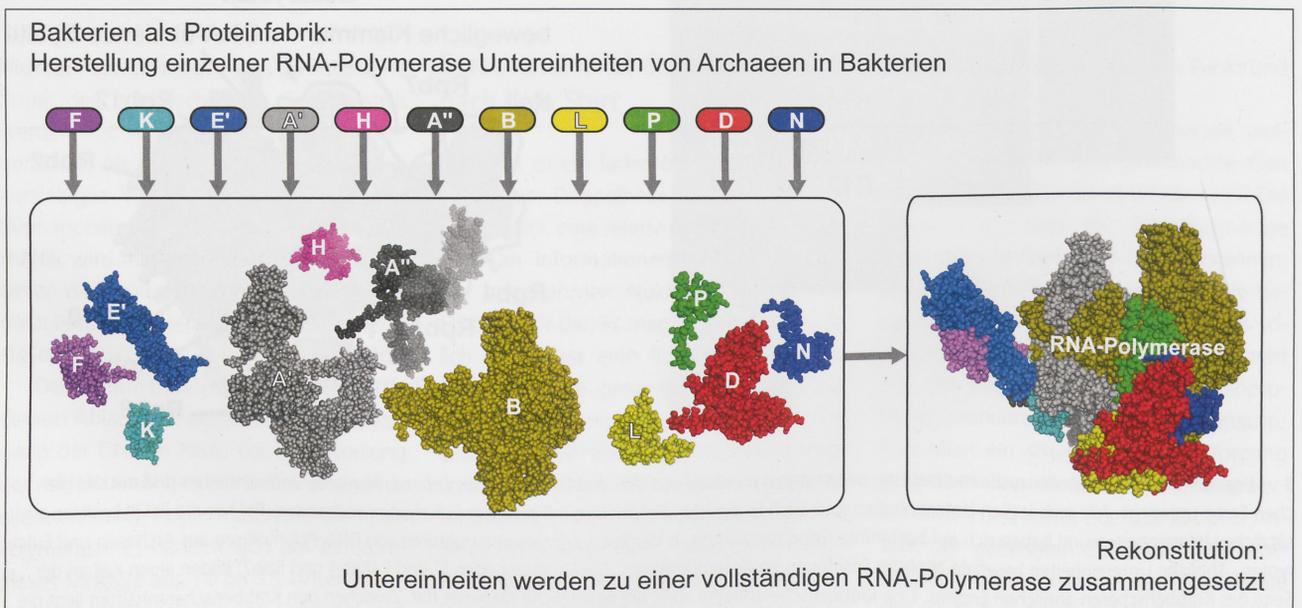
ckelten Zelle gerecht zu werden und zugleich eine Idee von der Beschaffenheit der ursprünglichen, ersten RNA-Polymerase auf diesem Planeten zu erhalten.

Röntgenkristallbilder geben detaillierte Einblicke in die RNA-Polymerase Struktur

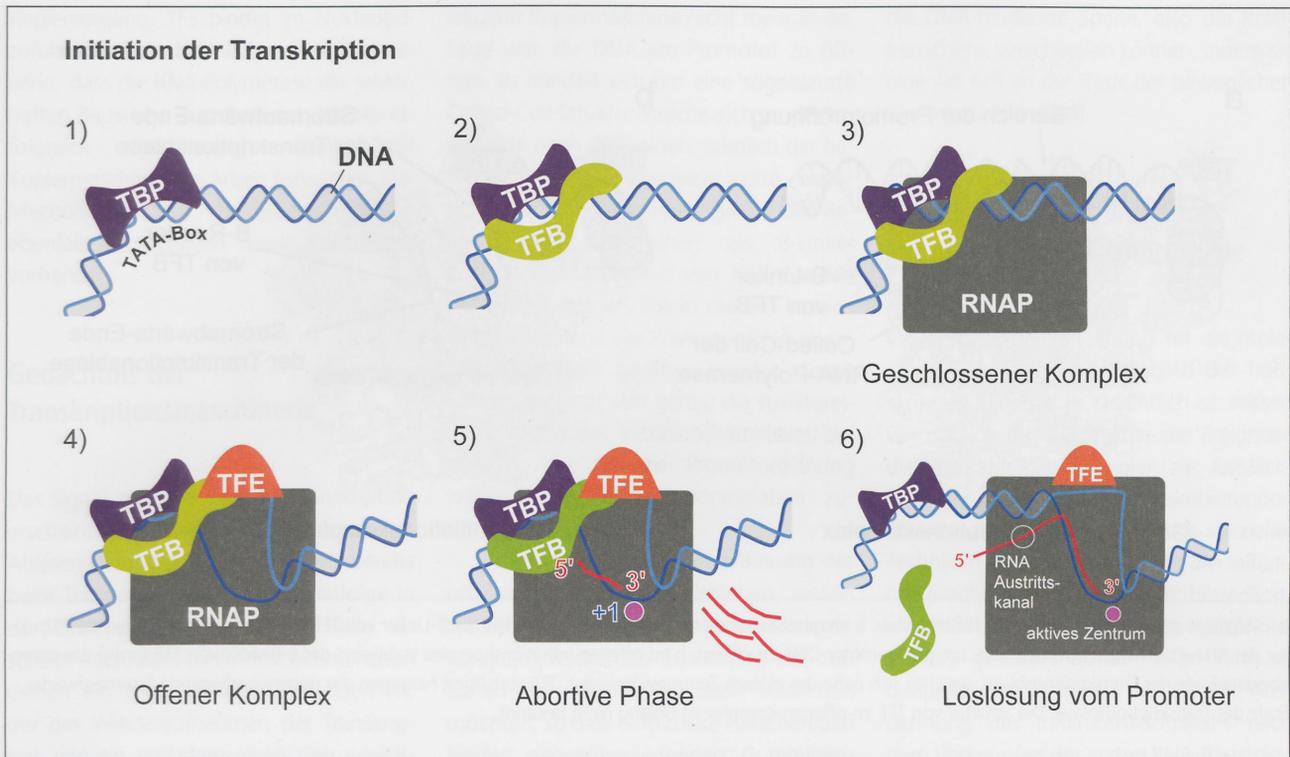
Die Forschung im Transkriptionsfeld wird seit etwa 10 Jahren wesentlich durch die Kenntnis des strukturellen Aufbaus der RNA-Polymerase angetrieben. Wir verdanken dies vor allem den Labors von Nobel-

preisträger Roger Kornberg aus Stanford, USA, und Spitzenforschern wie Patrick Cramer aus München. Durch die Strukturbio- logie stehen inzwischen zahlreiche 3D-Bilder der RNA-Polymerase zur Verfügung, die faszinierende Einblicke in unterschiedliche Stadien der Transkription gewähren.

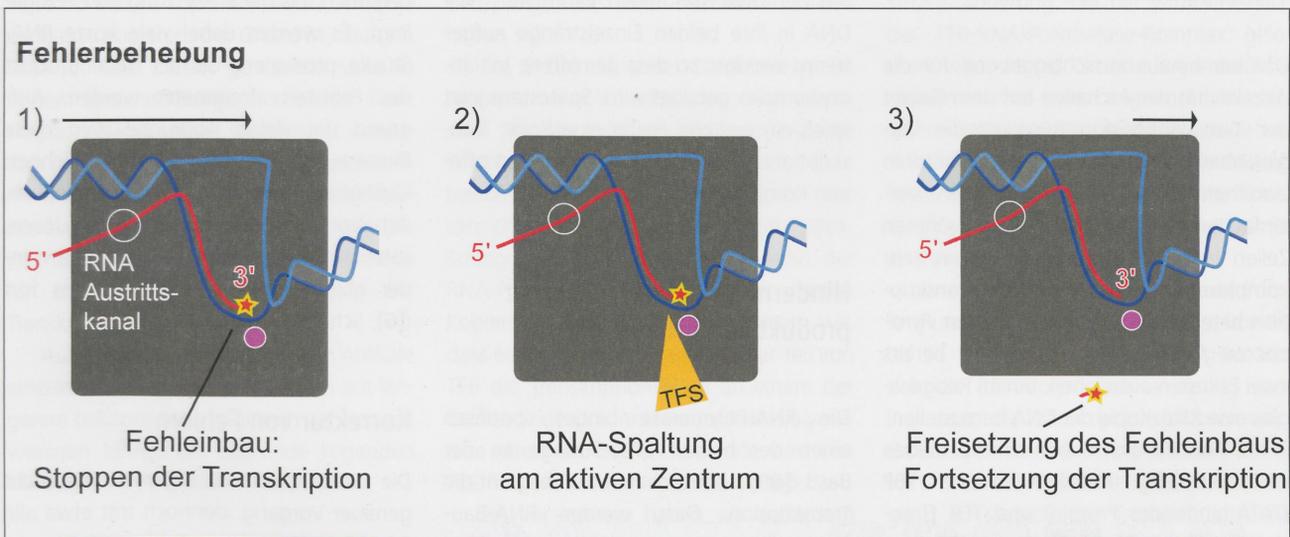
Die Gesamtstruktur der RNA-Polymerase wird gerne mit der einer Krabben- schere verglichen, wobei die DNA während des Kopierens durch die Krabben- scheren- hälften gezogen wird [4]. Die eigentliche RNA-Synthese findet tief im Inneren der DNA-bindenden Spalte, am aktiven Zentrum an der Basis der Scherenhälften, statt. Die Ausgabe der RNA-Kopie erfolgt durch



5 Rekonstitution der RNA-Polymerase



6 Der Beginn der Transkription



7 Mechanismus zur Fehlerbehebung

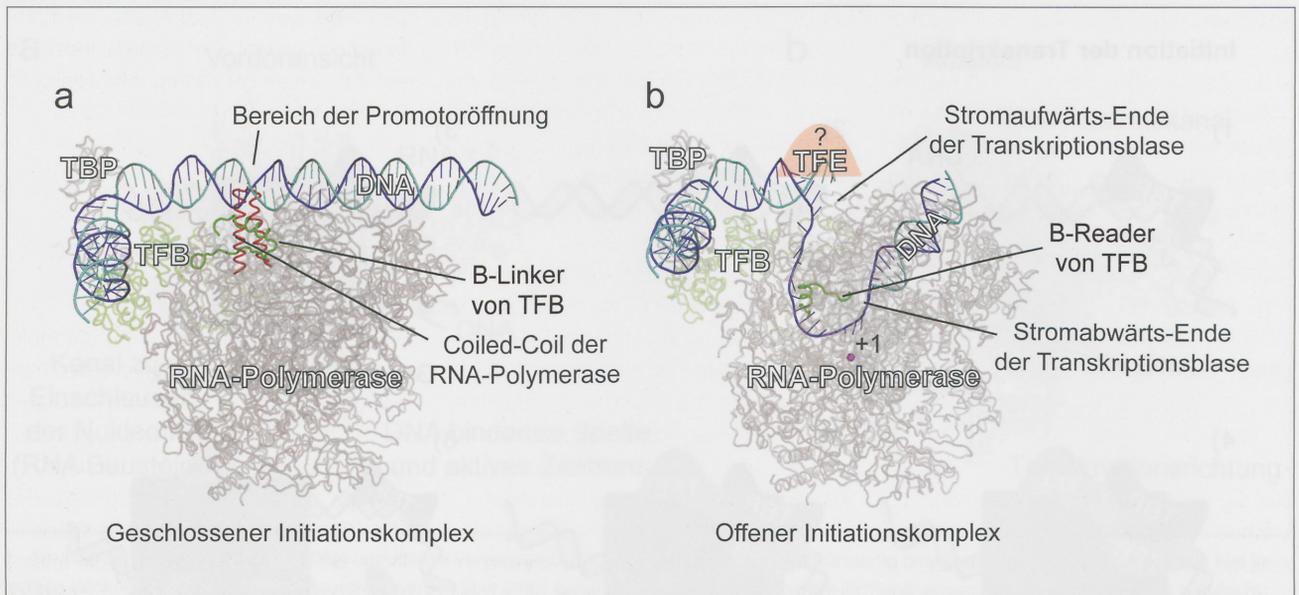
einen eigens dafür konzipierten Ausgang, den RNA-Austrittskanal, an der Rückseite der Kopiermaschine.

Eine RNA-Polymerase nach dem Baukastenprinzip

Ein entscheidender Vorteil von *Pyrococcus furiosus* ist, dass wir dessen RNA-Polymerase rekonstruieren können. Das bedeutet, dass jede einzelne der 11 Untereinheiten

zunächst in dem geläufigen Laborbakterium *Escherichia coli* produziert und anschließend aufgereinigt wird. Danach werden die Untereinheiten im Labor vereinigt und mittels des Rekonstitutionsverfahrens eine aktive, synthetisch hergestellte RNA-Polymerase gewonnen [5]. Dies ist äußerst erstaunlich angesichts der komplexen Wechselwirkungen der einzelnen Untereinheiten im funktionsfähigen Enzym. Der Rekonstitutionsvorgang ist bislang nur bei hitzeliebenden Archaeen wie *Pyrococcus furiosus* gelungen, nicht jedoch bei RNA-

Polymerasen von Organismen, die bei gemäßigten Temperaturen leben, etwa dem bei Transkriptionsforschern ebenfalls sehr beliebten Modellorganismus Bäckerhefe. Möglicherweise liegt dies an der nachweislich höheren Stabilität vieler Zellbestandteile aus hitzeliebenden Organismen. Somit können ausschließlich im archaischen System wie dem unseren einzelne Untereinheiten verändert oder sogar ganz weggelassen werden. Dies erlaubt es, ganz gezielt Rückschlüsse über die Funktion einzelner Bereiche der RNA-Polymerase zu ziehen.



8 Wichtige strukturelle Bereiche für die Initiation. a Im geschlossenen Initiationskomplex werden der B-Linker von TFB (grün) sowie eine Coiled-Coil-Struktur der RNA-Polymerase (rot) benötigt, um die Promotor-DNA zu öffnen. b Im offenen Initiationskomplex stabilisiert der B-Reader von TFB (grün) das stromabwärts-Ende der Transkriptionsblase, welches sich nahe des aktiven Zentrums befindet. TFE stabilisiert hingegen das gegenüberliegende Stromaufwärts-Ende der Transkriptionsblase. Die Struktur von TFE im offenen Komplex ist bislang nicht bekannt.

Die Initiationsmaschinerie

Darüber hinaus ausschlaggebend für die Attraktivität der Archaeen auf dem Gebiet der Transkriptionsforschung ist die Vergleichbarkeit der Transkriptionsfaktoren zwischen Eukaryoten und Archaeen. Vereinfachend kommt hinzu, dass in höheren Zellen eine Vielzahl an Faktoren in sehr komplexer Weise am Beginn der Transkription beteiligt sind, während bei der *Pyrococcus furiosus* RNA-Polymerase bereits zwei Faktoren ausreichen, um im Reagenzglas eine RNA-Kopie der DNA herzustellen.

Es handelt sich dabei um die beiden verhältnismäßig kleinen Proteine TBP (TATA-bindendes Protein) und TFB (Transkriptionsfaktor B). Die Rolle von TBP liegt in der eigentlichen Erkennung des Genbeginns. Es identifiziert und bindet an einen als TATA-Box bezeichneten Abschnitt in der Promotor-DNA, welcher abwechselnd aus T's und A's besteht. Danach bindet TFB an TBP sowie an flankierende DNA-Bereiche. Im nächsten Schritt bindet TFB die RNA-Polymerase an den Promoter und weist ihr zugleich die Richtung, in die die Transkription erfolgen muss. Der so entstandene Promotor-DNA-gebundene Komplex aus TBP, TFB und RNA-Polymerase wird auch als Initiationskomplex bezeichnet. Solange die DNA in Form einer Doppelhelix vorliegt, spricht man auch vom geschlossenen Komplex. Damit das Kopie-

ren der DNA stattfinden kann, muss die DNA in ihre beiden Einzelstränge aufgetrennt werden, so dass der offene Initiationskomplex gebildet wird. Spätestens jetzt spielt ein weiterer Helfer eine Rolle: Transkriptionsfaktor E (TFE) stabilisiert den offenen Komplex ([6], Schritte 1–4).

Hindernisse auf dem Weg zur produktiven RNA-Synthese

Die RNA-Polymerase bindet spezifisch einen der beiden DNA-Stränge an der Basis der Krabberscheren und beginnt die Transkription. Dazu werden RNA-Bausteine, die sogenannten Nucleotide, über einen eigenen Kanal ins Innere der molekularen Kopiermaschine geschleust [4]. Die RNA-Polymerase gewährleistet, dass die richtigen Nucleotide verwendet werden, und verknüpft diese miteinander zu einer RNA-Kette. Auf diese Weise entsteht die einzelsträngige RNA-Kopie der DNA, welche die Geninformationen weitertransportieren wird. Zu Beginn der Transkription muss vor allem die Bindung zwischen TFB und der RNA-Polymerase gelöst werden. Der Faktor hilft zwar bei den ersten Schritten der Transkription, verhindert jedoch das weitere Wachstum der RNA-Kette, da er den RNA-Austrittskanal blockiert. Tatsächlich muss die Transkription mehrmals

beginnen, bis die Freisetzung von TFB gelingt. Es werden dabei viele kurze RNA-Stücke produziert, die als Nebenprodukt des Fehlstarts freigesetzt werden. Aufgrund der vielen Abbrüche wird diese Phase auch als abortive Phase bezeichnet. Gelingt es der RNA-Polymerase schließlich, sich von den Helferproteinen zu lösen, setzt sie die Transkription mehr oder minder gleichmäßig entlang des Gens fort ([6], Schritte 5–6).

Korrektur von Fehlern

Die Transkription ist allgemein ein recht genauer Vorgang, dennoch tritt etwa alle 10.000 Nucleotide ein Fehler auf. Dies erscheint zwar als ein relativ geringer Wert, jedoch kann auch eine sehr kleine Änderung im Bauplan eines Gerätes großen Schaden anrichten, denken Sie beispielsweise an Ihren Computer. Im schlimmsten Fall arbeitet das Gerät fehlerhaft oder lässt sich nicht mehr abschalten. Geschieht das mit einem Protein in einer Zelle, kann dies Krankheit, Krebs oder Tod bedeuten. Daher ist es nicht überraschend, dass die Natur für den Fall eines Transkriptionsfehlers einen eigenen Rettungsfaktor namens Transkriptionsfaktor S (TFS) entwickelt hat [7]. Wenn die RNA-Polymerase merkt, dass sie einen falschen Baustein verwendet hat, stoppt sie zunächst den weiteren

Kopiervorgang. TFS bindet im Nukleotid-zufuhr-Kanal der RNA-Polymerase und bewirkt, dass die RNA-Polymerase die fehlerhaften Bausteine ausschneidet. Ist dies erfolgreich geschehen, kann die Kopiermaschine ihre Arbeit fortsetzen. Der Mechanismus zur Fehlerbehebung ist ebenfalls in Archaeen sowie Eukaryoten vorhanden.

Gedächtnis der Transkriptionsmaschinerie

Das Signal zum Stoppen der Transkription erscheint in der Regel nach vollständigem Ablesen des Gens. Dabei spielt wie bereits beim Transkriptionsstart die Basenfolge in der DNA eine entscheidende Rolle. Es scheint auch, dass zumindest bei manchen Genen ein Mechanismus vorhanden ist, der das Wiederaufnehmen der Transkription von ein und demselben Gen erleichtert. Dies erinnert an einen realen Kopiervorgang: Es geht wesentlich schneller, eine Seite 50 mal zu kopieren, als 50 Seiten je einmal zu kopieren. Der Grund ist, dass ein Kopierer eine bereits gescannte Seite in seinem Speicher behält. Im Fall der Transkription hängt dieses Gedächtnis wiederum mit den Transkriptionsfaktoren zusammen, welche nach Ablösung der RNA-Polymerase zu Beginn der Transkription am Promotor verbleiben und so als Startrampe für einen schnellen Wiederbeginn der Transkription bereitstehen.

Auch wenn die fundamentalen Abläufe einzelner Stadien der Transkription seit längerem bekannt sind, beginnen wir erst seit wenigen Jahren die zugrunde liegenden Mechanismen genauer zu verstehen.

Der molekulare Mechanismus der Initiation

Bis vor kurzem war ungeklärt, wie die RNA-Polymerase bei der Initiation die Promotor-DNA öffnet. Um dieser Frage auf den Grund zu gehen, wurden in einer Kollaboration neue Strukturdaten aus der Gruppe von Prof. Dr. Patrick Cramer als Vorlage zur gezielten Veränderung der *Pyrococcus furiosus* RNA-Polymerase sowie des Helferproteins TFB herangezogen. Das Rekonstitutionsverfahren hat es uns ermöglicht, bestimmte Bereiche der RNA-Polymerase so zu verändern, dass die mo-

lekulare Kopiermaschine nicht mehr in der Lage war, die DNA am Promotor zu öffnen. Es handelt sich um eine sogenannte Coiled-Coil-Struktur welche sich an der Innenseite einer der beiden, nämlich der beweglichen, Krabbenscherenhälfte befindet. Im Initiationskomplex grenzt der Bereich direkt an einen als B-Linker bezeichneten Abschnitt von TFB. Werden Veränderungen an TFB in diesem Bereich eingeführt, kann die Promotor-DNA ebenfalls nicht mehr geöffnet werden. Somit können wir jetzt sehr genau die strukturellen Bereiche des Initiationskomplexes benennen, die für die Promotoröffnung während der Transkriptioninitiation zuständig sind [8a].

Um das Problem der Stabilisierung des offenen Komplexes zu verstehen, stellen Sie sich zunächst einen längeren, stark gegengleich verdrehten Gummiring vor, den Sie an einer bestimmten Stelle aufdrehen möchten, so dass eine Lücke zwischen den beiden gegenüberliegenden Gummibändern entsteht. Die so entstandene Blase muss von zwei Fingern offengehalten werden, wenn sie eine bestimmte Größe haben soll.

Die Entwindung der DNA-Stränge im Promotorbereich funktioniert nach einem sehr ähnlichen Prinzip. Es entsteht eine Transkriptionsblase, die jedoch die Tendenz besitzt, sich wieder zu verschließen. Zusätzlich muss der genkodierende DNA-Strang in die DNA-bindende Spalte der RNA-Polymerase gefädelt werden, um das Kopieren zu erlauben. Heute wissen wir, dass ein als B-Reader bezeichneter Teil von TFB die Transkriptionsblase an einem der beiden Enden im Inneren der RNA-Polymerase offenhält. Das andere Ende wird von TFE fixiert und somit stabilisiert [8b].

Bis vor kurzem haben wir außerdem nicht verstanden, wie die RNA-Polymerase den genauen Startpunkt der Transkription festlegt. Bei höheren Organismen kann sich dieser nämlich in Transkriptionsrichtung an unterschiedlichen Stellen in der DNA befinden. Die B-Reader-Region von TFB hat hier eine zusätzliche, namensgebende Aufgabe übernommen. Sie ist verantwortlich für das Auslesen der DNA nach geeigneten Startstellen der Transkription.

Andere Experimente, bei denen einzelne RNA-Polymerase-Untereinheiten weggelassen wurden, haben außerdem nachgewiesen, dass auch die beiden RNA-Polymerase-Untereinheiten E' und F signifikant dazu beitragen, den offenen Komplex zu stabilisieren. Es wird vermutet, dass sie

die DNA-bindende Spalte, also die Krabbenscheren, verschließen können, indem sie eine Art Keil an der Basis der beweglichen Klammer bilden [2b].

Der Übergang von Initiation zur produktiven RNA-Synthese

Während unser Verständnis für die molekularen Vorgänge beim Beginn der Transkription bereits sehr beachtlich ist, wissen wir noch recht wenig über die Ereignisse die vom Initiationskomplex zur Entwicklung der kontinuierlich transkribierenden RNA-Polymerase führen. Mittels spezieller Techniken können Spuren, die die Initiationsmaschinerie auf der DNA hinterlässt, wie Fußabdrücke, sogenannte Footprints, sichtbar gemacht werden. Man kann so beispielsweise verfolgen, wie sich die Ausdehnung des Initiationskomplexes nach dem Verknüpfen der ersten RNA-Bausteine verändert. Nach Kopie der ersten 5 bis 6 DNA-Basen kommt es zu einer ersten Strukturänderung, bei der wahrscheinlich der TFB-RNA-Polymerase-Komplex gelockert wird. Als zu Grunde liegender Mechanismus wird weiter angenommen, dass die wachsende RNA bei dieser Länge mit dem B-Reader von TFB kollidiert und damit beginnt, TFB zu verdrängen. Diese Erklärung passt gut mit der beobachteten Länge abortiver RNAs überein.

Eine zweite grundlegende Strukturumformung wird bei einer RNA-Länge von 10 bis 11 Nukleotiden beobachtet. Hier löst sich die RNA-Polymerase endgültig vom Promotor, die Transkriptionsfaktoren werden freigesetzt oder verbleiben am Promotor um für die nächste Initiation zur Verfügung zu stehen. Die Transkriptionsblase schmilzt dabei auf ihre endgültige Länge zusammen, die RNA-Polymerase geht in die produktive Elongationsphase der Transkription über.

Eine weitere spezifische Eigenschaft der archaeellen RNA-Polymerase liegt darin, dass die Untereinheit H im Zuge des Übergangs von Initiation zu Elongation umgelagert wird. Im Initiationskomplex befindet sie sich am vorderen Ende der RNA-Polymerase und blickt in Richtung Transkription. Nach spätestens 20 Nukleotiden verlagert sich die Untereinheit H ins Innere der RNA-Polymerase nahe an das aktive Zentrum. Der Grund für diese Umlagerung ist bislang nicht klar und ist derzeit ein Punkt weiterer Forschungen.



Prof. Dr. rer. nat. **Michael Thomm**, geb. 1951 in Bad Reichenhall. Studium der Biologie in Konstanz und München, 1983 Promotion in Regensburg über RNA-Polymerasen von Methanogenen bei Prof. Stetter. 1988 Habilitation in Regensburg über Promotorsignale in Archaeen. 1991 bis 2002 Lehrstuhl für Allgemeine Mikrobiologie an der Christian Albrechts Universität zu Kiel. Seit 2002 Lehrstuhl für Mikrobiologie und Direktor des Archaeenzentrums an der Universität Regensburg.

Forschungsschwerpunkte: Mechanismus der Transkription und Regulation der Transkription bei Archaeen, Archaeen in kalten Lebensräumen und tiefen Schichten der Erde.



Dr. rer. nat. **Mirijam E. Zeller**, geb. 1982 in Waidhofen an der Ybbs, Österreich. Studium der Biologie, Zweig Genetik und Mikrobiologie an der Universität Wien. 2010 Promotion bei Prof. Thomm über den Molekularen Mechanismus der Transkriptionsinitiation.

Forschungsschwerpunkte: Struktur-Funktionsbeziehungen im archaeellen und eukaryotischen Initiationskomplex, Funktionen der Transkriptionsfaktoren.

Zusammenfassung und Ausblick

Transkription ist ein Vorgang, bei dem die in den Genen niedergelegten Informationen in verschiedenen Zellen in unterschiedlicher Weise abgerufen werden. Unsere Arbeiten mit der archaeellen RNA-Polymerase als Modell für die Abläufe in höheren Zellen und die Arbeiten anderer haben das faszinierende molekulare Zusammenspiel einzelner Faktoren beleuchtet, die zum Ablesen dieser Informationen führen. Die RNA-Polymerase ist eine molekulare Kopiermaschine, die für die Kopie der DNA in das Vermittlermolekül RNA zuständig ist.

Zu Beginn der Transkription helfen Transkriptionsfaktoren wie TBP, TFB und TFE den Anfang eines Gens zu erkennen und die RNA-Polymerase an den Promotor zu binden. Die DNA wird aufgeschmolzen, die Verknüpfung einzelner RNA-Bausteine beginnt, TFB wird freigesetzt und die RNA-

Polymerase setzt das Kopieren der DNA in RNA nach Ablösen vom Promotor fort. Im Falle eines Fehlers bei der Transkription hilft TFS, die Genauigkeit der Transkription und damit die Gesundheit der Zelle aufrecht zu erhalten. Die Analyse der archaeellen Transkriptionsmaschinerie hat sich als wertvolles Modell zum Verständnis des Mechanismus der Transkription in höheren Zellen erwiesen. Weitere Arbeiten in unserem Labor haben zum Ziel, die Evolution der eukaryotischen RNA-Polymerase aus einem archaeellen Vorläufermolekül zu verstehen.

Literatur

Karl O. Stetter, Manche mögen's heiß: Mikrobielles Leben an der obersten Temperaturgrenze. *Blick in die Wissenschaft* 3 (1993), S. 14–27.
Patrick Cramer, RNA polymerase II structure: from core to functional complexes. *Current Opinion in Genetics & Development* 14 (2004), S. 218–226.

Sebastian Grünberg, Mike S. Bartlett, Souad Naji, Michael Thomm, Transcription factor E is a part of transcription elongation complexes. *Journal of Biological Chemistry* 282 (2007), S. 35482–35490.

Winfried Hausner, Udo Lange, Meike Musfeldt, Transcription factor S, a cleavage induction factor of the archaeal RNA polymerase. *Journal of Biological Chemistry* 275 (2000), S. 12393–12399.

Dirk Kostrewa, Mirijam E. Zeller, Karim-Jean Armache, Martin Seizl, Kerstin Leike, Michael Thomm, Patrick Cramer, RNA polymerase II-TFIIB structure and mechanism of transcription initiation. *Nature* 462 (2009), S. 323–30.

Souad Naji, Sebastian Grünberg, Michael Thomm, The RPB7 orthologue E' is required for transcriptional activity of a reconstituted archaeal core enzyme at low temperatures and stimulates open complex formation. *Journal of Biological Chemistry* 282 (2007), S. 11047–11057.

Patrizia Spitalny, Michael Thomm, Analysis of the open region and of DNA-protein contacts of archaeal RNA polymerase transcription complexes during transition from initiation to elongation. *Journal of Biological Chemistry* 278 (2003), S. 30497–30505.



Krankheiten ohne Altersgrenzen

Fibrose, Zirrhose und Verfettung der Leber im Kindes- und Jugendalter

Thomas S. Weiß und Michael Melter

„Die Leber wächst mit Ihren Aufgaben“ – so wird von Eckart von Hirschhausen im allgemeinverständlichen Sachbuchstil vermittelt, dass die Leber als zentrales Stoffwechselorgan des Menschen ein großes Regenerationspotential besitzt. Aber was ist, wenn schon zu Beginn des Lebens diese Weisheiten nicht mehr gelten, und wir lernen, dass

die Leber ein lebensnotwendiges Organ ist, welchem Grenzen gesetzt sind? Leberfibrose und Leberzirrhose sind Erkrankungen, wie wir sie beim Erwachsenen kennen und die in den häufigsten Fällen durch Alkohol verursacht werden. Doch gibt es diese Erkrankungen auch bei Kindern, aber auf Grund anderer und vielschichtiger Ursachen.

Die Häufigkeit dieser Erkrankungen bei Kindern ist gering. Gerade deshalb war es wichtig, in der Kinder-Uni-Klinik Ostbayern (KUNO) ein pädiatrisches Leberzentrum für solche Patienten aufzubauen und Möglichkeiten zu schaffen, klinisch wie experimentell die molekularen Hintergründe und möglichen Therapien zu erforschen.

Aminosäure-Stoffwechsel

- Synthese der meisten Plasmaproteine: Albumin, Akut-Phase-Proteine, Gerinnungsfaktoren
- Abbau von Plasmaproteinen
- Metabolisierung von Aminosäuren
- Synthese von Harnstoff, Kreatin

Kohlenhydrat-Stoffwechsel

- Glukosehomöostase
- Glykogensynthese
- Glykogenolyse
- Glukoneogenese
- Pentosephosphatzyklus

Fett-Stoffwechsel

- Synthese von Lipoproteinen, Triglyzeriden, Fettsäuren, Cholesterin, Gallensäuren
- β -Oxidation der Fettsäuren

Biotransformation

- Aktivierung / Inaktivierung / Verarbeitung von endogenen / exogenen Substanzen:
- Nahrungsbestandteile
- Bilirubinstoffwechsel
- Gallensäurestoffwechsel
- Hormonstoffwechsel
- Vitaminstoffwechsel
- Alkohol-, Medikamenten-, Toxin-Abbau und -Umbau, ...

Legende:

- Hepatozyt
- Kupffer-Zelle
- Stern-Zelle
- Cholangiozyt
- Endothelzelle

1 Zellulärer Aufbau und Hauptfunktionen der Leber

„Leberzirrhose? – Kaputte Leber? Das gibt es doch nur bei Erwachsenen, bei Trinkern halt.“

Das meinen viele, vielleicht sogar die meisten Menschen. Doch weit gefehlt. Selbst Neugeborene können schon mit einer Leberzirrhose und einem daraus resultierenden kompletten Leberversagen geboren werden. Während leichte Lebererkrankungen (z. B. im Rahmen fast jeder akuten, infektiösen Durchfallerkrankung) gerade im Kindes- und Jugendalter extrem häufig auftreten, sind schwere und lebensbedrohliche Lebererkrankungen in diesem Alter selten. Insbesondere der Umstand, dass schwerwiegende Lebererkrankungen bei pädiatrischen Patienten in niedriger Prävalenz (Anzahl Erkrankter) und Inzidenz (Anzahl an Neuerkrankungen pro Jahr) auftreten, begründet die Forderung, dass solche Patienten in wenigen hochspezialisierten Universitätskliniken betreut werden. Es findet sich nur in diesen Institutionen die notwendige kritische Masse an Patienten, die die Basis für die klinische Erforschung solcher seltenen Erkrankungen darstellt. Mit der Gründung der Kinder-Uni-Klinik Ostbayern (KUNO) am Universitätsklinikum Regensburg wurde auch das pädiatrische Leberzentrum Regensburg begründet, das sich innerhalb von nur drei Jahren zum einzigen seiner Art in Bayern, dem größten in Süddeutschland und einem der größten in Deutschland entwickelt hat.

Das Organ Leber

Die Leber besteht zu 60–80 % aus Hepatozyten (den eigentlichen Leberzellen), die die funktionellen Aufgaben der Leber wahrnehmen. Darüber hinaus sind in der Leber Zellen präsent, die Gefäße (Endothelzellen) oder Gallengänge (Gallengangepithelien oder Cholangiozyten) bilden, die Funktionen des Immunsystems übernehmen, die pathogene Partikel (z. B. Bakterien) aufnehmen können (Kupfer-Zellen), und Zellen (hepatische Stern-Zellen), die Bestandteile des Bindegewebes synthetisieren [1]. Mit 2,5 % des Körpergewichts beim Erwachsenen und sogar mehr als 5 % beim Neugeborenen ist die Leber bei weitem die größte Drüse des Menschen und das zentrale Organ des menschlichen Stoffwechsels. Die Leber übernimmt wesentliche Funktionen, zum Beispiel im Kohlenhydrat-, Fett- und Proteinstoffwechsel,

bei der Synthese eines Großteils der im Blut enthaltenen Proteine – einschließlich fast aller Blutgerinnungsfaktoren – und der Gallebestandteile (z. B. Gallensäuren). Darüber hinaus nimmt die Leber aber auch zentrale Aufgaben bei der Entgiftung körpereigener und körperfremder Substanzen wahr [1]. In Anbetracht dieser zentralen Stellung der Leber und ihrer Funktionsvielfalt wird offensichtlich, dass Erkrankungen der Leber schwerwiegende Konsequenzen haben können.

Leber-Fibrose

Die Leber reagiert auf verschiedenste, v. a. chronische Reize bzw. Schädigungen in einer gleichförmigen Weise: mit Apoptose (kontrolliertem, gesteuertem „Zell-Suizid“) und/oder Nekrose (pathologischem Zell-Untergang) von geschädigten Zellen und daraus folgender hepatischer Fibrose Entstehung. Auf zellulärer Ebene ist das Schlüsselereignis der Leberfibrose die Aktivierung von hepatischen Stern-Zellen (HSZ). Bestimmte Faktoren induzieren die HSZ-Aktivierung, wodurch es zur Transformation der nicht aktivierten Zellen zu einem aktivierten Myofibroblasten-ähnlichen Zelltyp kommt. Daraus resultiert eine exzessiv gesteigerte Expression und Ablagerung von Bindegewebe. Der Aktivierungsprozess von HSZ hat auch eine vermehrte Zellteilung und erhöhte Resistenz von HSZ gegenüber einem Zelltod zur Folge, was den Fibrosierungsverlauf weiter fördert. Dabei sind aber die molekularen Mechanismen, die den aktivierten Phänotyp der HSZ induzieren und zu dessen Aufrechterhaltung beitragen, bisher wenig untersucht und weitestgehend undefiniert. Die hepatische Fibrose resultiert schließlich aus einer chronischen Schädigung der Leber in Verbindung mit verstärkter Anreicherung von Bindegewebe, was charakteristisch für die meisten Arten von chronischen Lebererkrankungen ist. Bei Fortschreiten dieses Prozesses kommt es zu einer ausgeprägten Narbengewebsbildung bei gleichzeitiger knotenartiger Abkapselung der Hepatozyten, was den strukturellen Aufbau der Leber insgesamt empfindlich stört. Dieses späte Stadium der Leberfibrose bezeichnet man als **Leberzirrhose**.

Meist bleibt der Beginn einer Leberfibrose, oft aber auch deren fortschreitende Entwicklung lange Zeit unbemerkt. Die damit zusammenhängende Morbidität (Häufigkeit einer Erkrankung innerhalb

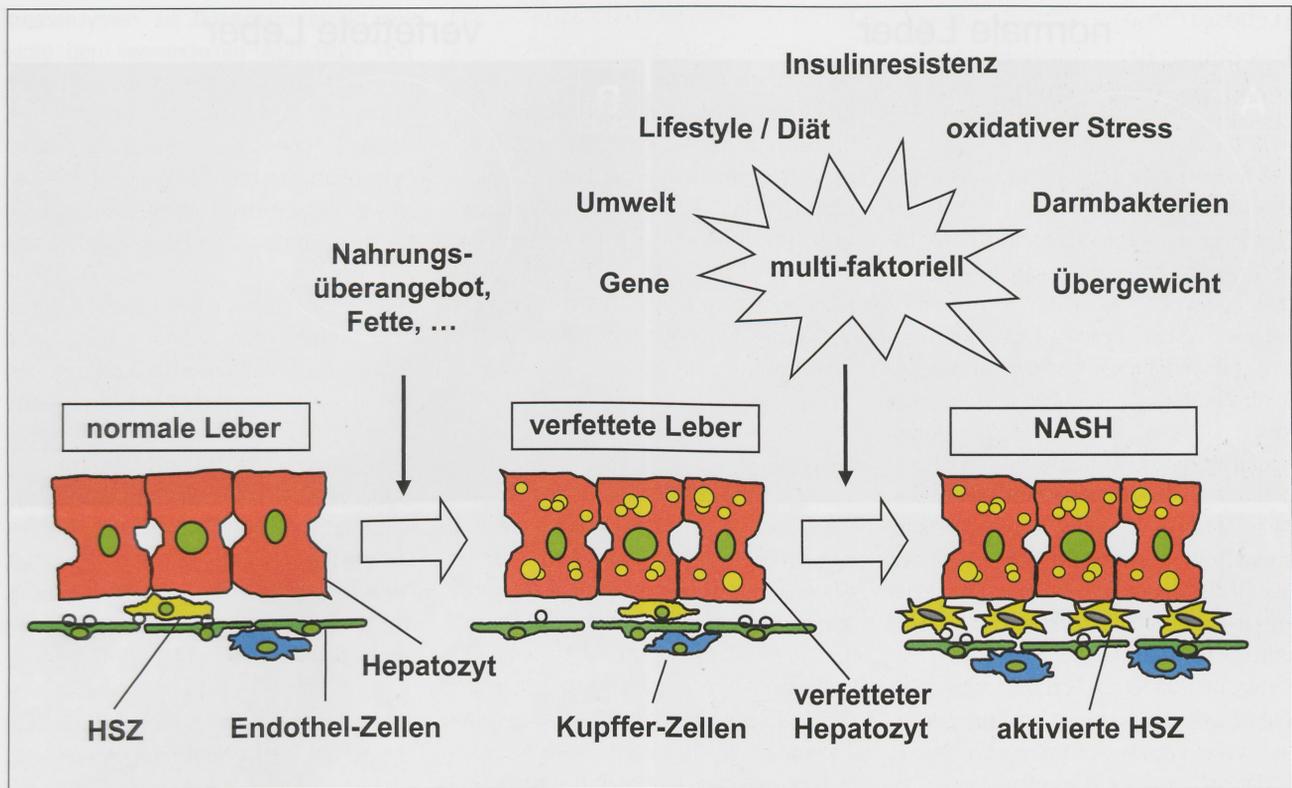
einer Bevölkerungsgruppe) und Letalität (Anteil von Patienten einer bestimmten Erkrankung, die an dieser versterben) wird häufig erst in der Endphase – nach Entwicklung einer Leberzirrhose – sichtbar. Der Verlust der Leberfunktion ist eine der schwerwiegendsten Folgen einer Zirrhose. Sie stellt die terminale Phase des Ersatzes von Leberfunktionsgewebe durch Narbengewebe dar und ist gekennzeichnet durch eine Störung der Proteinsynthese und daher einem Blutungsrisiko aufgrund des Mangels an Gerinnungseiwissen, Pfortaderhochdruck und dadurch bedingtem Auftreten von Flüssigkeit im Bauchraum, Krampfadern in Speiseröhre sowie Verdauungstrakt und/oder eine hepatische Enzephalopathie (Vergiftungszeichen des Gehirns in Folge der mangelnden Entgiftung durch die Leber, z. B. durch Blut-Ammoniak und andere Toxine) [1].

Ursachen hepatischer Fibrose

Die Entwicklung einer hepatischen Fibrose /-Zirrhose beruht auf einer chronischen Schädigung der Leber, z. B. induziert durch metabolisch-toxische Substrate – entweder durch exogene Toxine (z. B. Alkohol, Nahrungsfette, Medikamente) und/oder endogene Stoffwechselprodukte (z. B. Kupfer bei der Wilson-Erkrankung), oder durch Viren, die eine besondere Affinität zur Leber aufweisen, Störungen des Gallenabflusses (Cholestase), autoimmune Entzündungen oder kardiovaskuläre Erkrankungen. Dabei spielen sowohl genetische als auch nicht-genetische Faktoren eine wichtige Rolle.

Die Häufigkeit der hepatischen Fibrose lässt sich nicht zuverlässig angeben, u. a. da sie als eine Art Zwischenstadium zwischen einerseits primärem entzündlichen Prozess – z. B. bei nicht-alkoholischer Fettleberentzündung, Hepatitis oder Cholestase – und andererseits der finalen Leberzirrhose oft nicht klar zu definieren und diagnostizieren ist. In Deutschland werden für die Leberzirrhose eine Prävalenz von etwa 1 Million und eine Inzidenz von etwa 200.000 angenommen. Die Leberzirrhose steht insgesamt an fünfter Stelle, bei jüngeren Menschen sogar noch höher, in der Liste der häufigsten Todesursachen.

In den industrialisierten Ländern wird die Leberfibrose des Erwachsenen in erster Linie nach Schädigung der Hepatozyten durch chronische Virushepatitis-Infektion, übermäßigen Alkohol-Genuss oder durch



2 Vereinfachtes Model der Pathogenese von nicht-alkoholischer Steatohepatitis. HSZ, hepatische Stern-Zelle; NASH, nonalcoholic steatohepatitis

eine nicht-alkoholische Fettlebererkrankung (NAFLD, nonalcoholic fatty liver disease) verursacht. Diese Ursachen spielen bei pädiatrischer Leberfibrose in Deutschland bisher eine untergeordnete Rolle. Die im Kindes- und Jugendalter auftretenden Fibrosen sind ätiologisch überwiegend durch cholestatische Erkrankungen (v. a. die sogenannte extrahepatische Gallengangatresie) begründet. Mit ca. 70 % sind die cholestatischen Erkrankungen die häufigste Indikation zur Lebertransplantation im pädiatrischen Kollektiv. Vertreter der genetisch bedingten Cholangitiden sind beispielsweise das Alagille-Syndrom und die Mukoviszidose (auch Cystische Fibrose genannt). Das Alagille-Syndrom, eine der häufigsten angeborenen chronischen Lebererkrankungen (Inzidenz ca. 1:70.000 bis 1:100.000), beruht auf einer Gallenganghypoplasie. Die Gallenganghypoplasie ist durch einen Mangel an in der Leber befindlichen Gallenwegen und zu zart ausgebildeten Gallenwegen, gekennzeichnet. Durch den behinderten Gallenfluss in den Gallengängen kommt es zu einem Rückstau von Gallesubstraten, die zum Teil hepatotoxisch wirken. Unabhängig von den verschiedenen zugrunde liegenden cholestatischen Erkrankungen kommt es jedoch immer zu einer Akkumulation von in Hepatozyten synthetisierten,

toxisch wirkenden Gallebestandteilen, wie z. B. bestimmten Gallensäuren, und damit zum Zelluntergang.

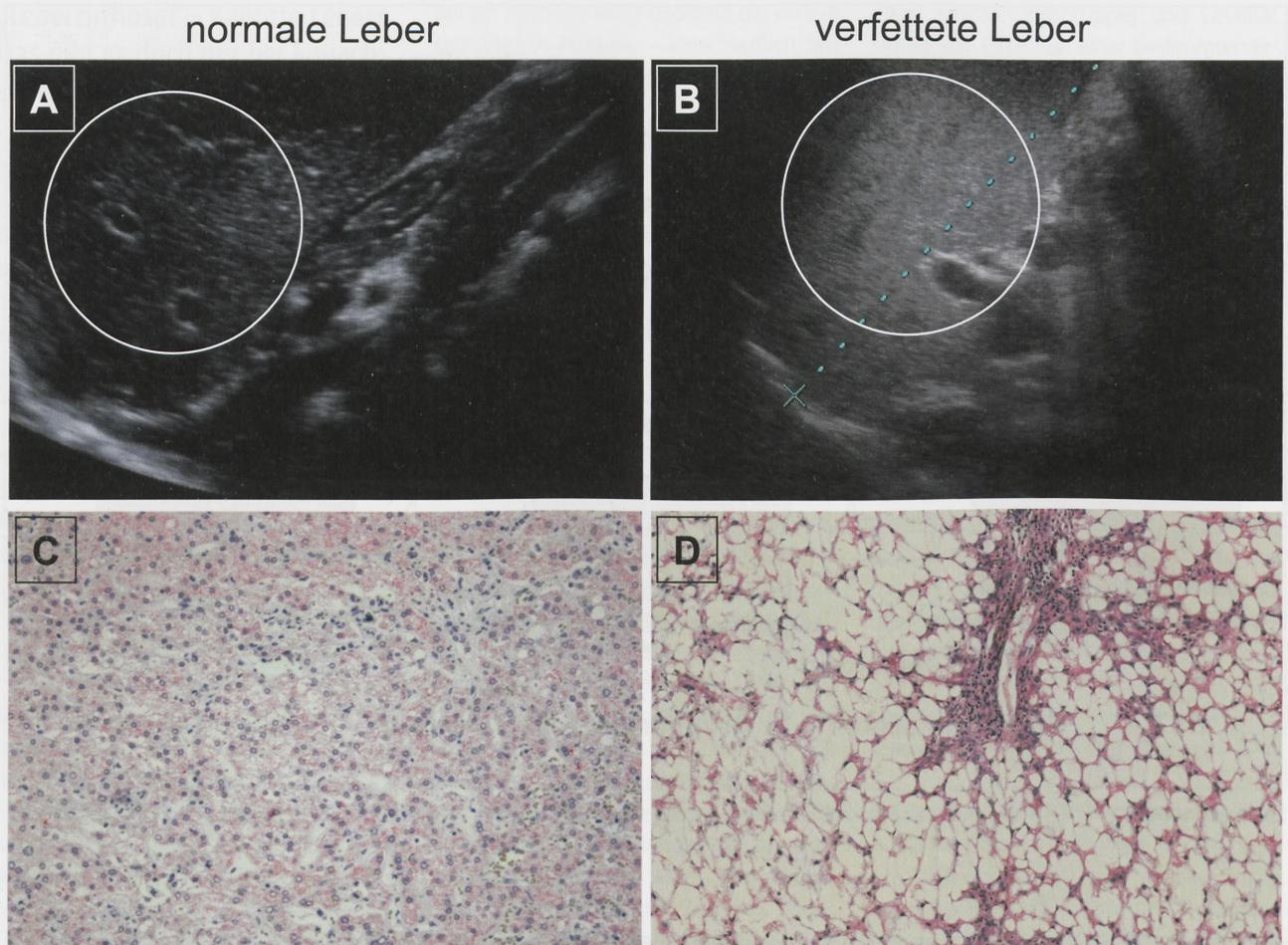
Fettleber-Erkrankungen

Unter NAFLD werden verschiedene Formen der Fettlebererkrankung zusammengefasst, die nicht auf Alkoholkonsum zurückzuführen sind. Der Begriff umfasst ein Spektrum, das von der einfachen Anreicherung von Fett in der Leber (hepatische Steatose) bis zur nicht-alkoholischen Fettleberentzündung (nonalcoholic Steatohepatitis, NASH) reicht, aus der sich eine Leberfibrose / -zirrhose entwickeln kann. Inwieweit eine NAFLD sich zu einer NASH und in Folge zu einer Leberfibrose / -zirrhose entwickelt, hängt von mehreren Faktoren ab. Für die Pathogenese wird ein Modell diskutiert, bei dem mehrere Schädigungen (hits = Treffer, Störungen) nacheinander oder parallel auf die Leber einwirken müssen [2]. Beim ersten „hit“ kommt es zu einer Anreicherung von Fett in der Leber, in der Folge wird die steatotische Leber anfälliger für einen möglichen zweiten „hit“, der dann das Fortschreiten zur NASH auslöst. Zu diesen Faktoren zählen u. a. eine genetische Disposition, Umwelt-

einflüsse, Ernährung, oxidativer Stress, Insulinresistenz und Übergewicht. Viele Kinder, wie auch Erwachsene, mit einer Fettleber entwickeln keine NASH, was auf einen multifaktoriellen Prozess bei der NASH- und Fibrose-Entstehung hinweist.

Ursachen der Fettlebererkrankungen

Die Fettleber beim Erwachsenen ist in entwickelten Ländern die häufigste Lebererkrankung. Nach Schätzungen sind etwa 5 Millionen Deutsche davon betroffen. In 80–90 % der Fälle beruht die Fettlebererkrankung des Erwachsenen auf Übergewicht (BMI = 25–30 kg/m²) / Fettleibigkeit (BMI > 30 kg/m²), Typ-2-Diabetes, dem metabolischen Syndrom (gemeinsames Auftreten von Übergewicht, Fettstoffwechselstörungen, Bluthochdruck und Insulinresistenz) und/oder einem erhöhten Alkoholkonsum. Wenngleich es dazu keine sicheren epidemiologischen Daten gibt, ist es höchst wahrscheinlich, dass bei einer geschätzten Prävalenz von ca. 3–10 % in der gesamten pädiatrischen Population und 20–53 % in der Population adipöser Kinder und Jugendlicher die NAFLD auch



3 Sonographie- und histologische Bilder einer Normal- und Fettleber. Eine normale Leber zeigt im Ultraschall ein grob gerastertes, geringes Echo (A, eher dunkleres Feld im weißen Kreis), was sich in der Histologie als regelrechte Zellmorphologie zeigt (C, Hepatozyten sind rot mit blauem Zellkern). Bei einer Fettleber gibt es im Ultraschall ein fein diffuses, stärkeres Echo (B, eher helleres Feld im weißen Kreis). Die Histologie der Fettleber zeigt große „Löcher“, die von Fettvakuolen in den Hepatozyten herrühren und beim Färbeprozess ausgewaschen werden (D; Zellen rot mit blauen Kernen), (C, D, Vergrößerung 100 fach).

in dieser Altersgruppe die häufigste Ursache einer Lebererkrankung darstellt. Die Zahl der Kinder und Jugendlichen mit NAFLD in Deutschland wird auf rund 400.000 mit steigender Tendenz geschätzt. Dabei ist eine dramatische Zunahme der pädiatrischen Fettlebererkrankungen in den letzten Jahren parallel zur epidemischen Adipositas in dieser Altersgruppe zu beobachten. Und es gibt inzwischen gesicherte Fälle einer Adipositas-assoziierten NAFLD schon bei dreijährigen (!) Kindern. Exakte epidemiologische Daten bei Kindern und Jugendlichen wurden bisher jedoch kaum erhoben. In ersten Studien zeigte sich, dass circa 1–3 % des Kollektivs mit juveniler NAFLD eine Leberzirrhose mit der Notwendigkeit einer Leber-Transplantation entwickeln, die sich bereits ab dem zehnten Lebensjahr manifestiert. Auch in unserem Zentrum betreuen wir derzeit einen Jungen, bei dem bei ausgeprägter Adipositas (Fettleibigkeit; BMI von $> 30 \text{ kg/m}^2$), Abgeschlagenheit, Müdigkeit sowie

deutlich erhöhten Transaminasen (Leberzell-Enzyme als Entzündungsparameter) mit 14 Jahren eine ausgeprägte Fettleber festgestellt wurde. Dieser Patient entwickelte bei deutlicher NASH innerhalb nur eines einzigen Jahres eine Leberzirrhose.

Fettlebererkrankungen bei Erwachsenen sind in der Regel durch Nahrungsgifte bedingt; bei Kinder kommen noch viele andere Ursachen hinzu. Wir fanden in eigenen Kollektiv bei ca. einem Drittel aller NAFLD-Patienten angeborene Stoffwechselerkrankungen als Ursache. Beispielhaft hierfür sei der Fall eines zweieinhalbjährigen Jungen dargestellt, der in unserer Klinik vorgestellt wurde, da er unter Appetitlosigkeit litt und nach dem ersten Lebensjahr eine ausgeprägte Wachstumsverzögerung aufwies, d. h. altersbezogen deutlich zu klein und zu leicht war. Dabei hatte er eine erheblich vergrößerte Leber mit sonographisch deutlichen Zeichen einer Leberverfettung und Hinweisen auf eine Leberfibrose [3]. Histologisch (feingewebliche Un-

tersuchung) ergab sich eine ausgeprägte Fettleber; in der laborchemischen Diagnostik fanden sich bei normalen Leberentzündungsparametern eindeutige Hinweise auf einen Protein-Mangel und das klinische Bild eines Kwashiorkor (Eiweißmangel-Erkrankung). Hierbei entsteht die paradoxe Situation, dass ein Kind offensichtlich unterernährt ist – wie es in Ernährungs-Notstandsgebieten beobachtet wird – gleichzeitig aber eine deutliche Leberverfettung aufweist. Dies rührt daher, dass über die Nahrung aufgenommenes Fett sich in den Leberzellen anreichert, da aufgrund des Proteinmangels nicht genügend Transportproteine für die Ausschleusung der Fette aus der Leber in das Fettgewebe zur Verfügung stehen. Diese Veränderungen können sich unter ausreichender Proteinzufuhr wieder zurückbilden.

Als ursächlich für die dramatische Mangelernährung wurde bei dem Jungen eine kaum messbare Aktivität der Bauchspeicheldrüse festgestellt. Der Mangel an Pan-

kreasenzymen im Dünndarm erklärt sowohl den verminderten Aufschluss von Nahrungsstoffen als auch die eklatante Appetitlosigkeit. Im Kindes- und Jugendalter ist die zystische Fibrose die häufigste und klinisch wesentlichste Ursache eines Verlustes der Pankreasfunktion. Eine solche wurde genetisch auch bei dem hier dargestellten Patienten nachgewiesen.

Diagnostik

Unabhängig von den verschiedenen Ursachen der Leberfibrose sowohl im Kollektiv der adulten als auch innerhalb der Gruppe der juvenilen Fibrosen gilt die Leberbiopsie als „Goldstandard“ der Diagnostik. Ziel ist, erstens die Ursache der Erkrankung, zweitens das Ausmaß der Schädigung der Leber zu definieren. Bei den chronischen Lebererkrankungen definiert man das Ausmaß der Schädigung einerseits anhand der Funktionseinbußen (Eiweißproduktion, Entgiftungskapazität), andererseits anhand des Grades des bindegewebigen Umbaus (Fibrose / Zirrhose) der Leber. Der prinzipielle Verdacht auf das Vorliegen einer Lebererkrankung beruht dabei – auch bei Kindern und Jugendlichen – auf klinischen Symptomen (z. B. Haut-Gelbfärbung) und auf pathologischen Blut-Laborparametern (z. B. Transaminasen-Erhöhung). Auch das Ausmaß der Funktionseinschränkung der Leber lässt sich in aller Regel anhand von Laborparametern gut bestimmen. Zentral und primär wegweisend bleiben für die Diagnose einer Leberfibrose / -zirrhose aber bildgebende Darstellungen der Leber wie verschiedene Ultraschalltechniken, Kernspin-Tomographie (Magnetresonanztomographie, MRT) und Computertomographie. Gleiches gilt auch für eine Leber-Verfettung, hepatische Knoten- bzw. Tumorbildung und die portale Hypertension (Bluthochdruck in der Pfortader). Mit Ausnahme der portalen Hypertension lassen sich aber die übrigen genannten Störungen einschließlich der Leberfibrose und/oder -verfettung nur mittels einer histologischen Befundung beweisen. Das Material hierfür wird durch Leberbiopsie gewonnen.

Therapie

Prinzipiell können eine Leberfibrose – selbst im fortgeschrittenen Stadium – und sogar eine Leberzirrhose reversibel sein. Die derzeit einzige effektive Therapie ist die Elim-



Prof. Dr. med. **Michael Melter**, geb. 1959 in Paris.
Studium der Humanmedizin in Hamburg, 1986 Promotion am Universitätsklinik Eppendorf, Hamburg. 1993 Facharzt für Kinder- und Jugendmedizin; 1994–2000 Oberarzt an der Klinik für Kinder- und Jugendmedizin der Medizinischen Hochschule Hannover (MHH), davon zwei Jahre am Forschungslabor für Transplantationsimmunologie am Children's Hospital der Harvard Medical School. 2003 Habilitation im Fach Kinderheilkunde und Jugendmedizin, 2002 Leitender Oberarzt der Abteilung Pädiatrische Nieren-, Leber- und Stoffwechselerkrankungen der MHH. Seit 2007 Ordinarius für Kinderheilkunde und Jugendmedizin an der Universität Regensburg und Direktor der Klinik und Poliklinik für Kinder- und Jugendmedizin an der Universität Regensburg mit den beiden Standorten Universitätsklinikum und Klinik St. Hedwig/Barmherzige Brüder.
Forschungsschwerpunkte: Definition und Beschreibung verschiedener Pathomechanismen einer entzündungsmedierten Angiogenese. Klinische und experimentelle Untersuchungen von altersspezifischen Aspekten der Entstehung einer Fettlebererkrankung und/oder einer Leberfibrose. Pharmakologische, -kinetische und -genetische Aspekte einer Immunsuppression nach pädiatrischer Lebertransplantation.

Priv.-Doz. Dr. rer. nat. **Thomas S. Weiß**, geb. 1966 in Augsburg.
Studium der Chemie in Ulm und Regensburg, 1997 Promotion bei Prof. Dr. rer. nat. A. Buschauer/Prof. Dr. med. K.-W. Jauch (Institut für Pharmazie/Klinik und Poliklinik für Chirurgie). 1998–2000 Research Assistant am Center for Molecular Medicine, UCSD, La Jolla, USA. 2006 Habilitation für Experimentelle Chirurgie an der Medizinischen Fakultät der Universität Regensburg. 2002–2010 Aufbau und Leitung des Zentrums für Leberzellforschung an der Klinik und Poliklinik für Chirurgie; seit 2010 Leitung der experimentellen Pädiatrie an der Klinik und Poliklinik für Kinder und Jugendmedizin Universität Regensburg.
Forschungsschwerpunkte: Mechanismen der Leberregeneration und des Leberstoffwechsels. Entwicklung von Therapieansätzen von Fettleber und Fibrose und daraus resultierenden Lebertumoren. Leitung einer Human-Gewebebank.

nierung des zugrunde liegenden schädigenden und auslösenden Faktors wie z. B. der Toxinzufuhr (Alkohol, Nahrungsfett, etc.) oder der toxisch wirkenden Gallebestandteile. Weitere theoretische und zum Teil schon in Erprobung befindliche Therapiean-

sätze richten sich gegen die Entstehung der Fibrose und basieren auf der Verabreichung von Antioxidantien (Substanzen, die die Oxidation anderer Substanzen verhindern), einer Verringerung des Entzündungsprozesses selbst sowie der Reduktion der Synthese

von Bindegewebe. Letztendlich verbleibt heutzutage aber generell die Lebertransplantation als einzige Therapieoption, wenn eine Elimination des zugrunde liegenden Agens bzw. ein Stoppen des auslösenden Mechanismus nicht gelingt.

Erforschung von Faktoren, die zur Diagnose und Therapie einer pädiatrischen Leberfibrose hilfreich sind

An der Klinik und Poliklinik für Kinder- und Jugendmedizin in Regensburg liegt der Schwerpunkt neben der klinischen Forschung, v. a. im Bereich von cholestatischen Erkrankungen und der Immunsuppression nach pädiatrischer Lebertransplantation, in der experimentellen Forschung über die Mechanismen der Leberregeneration und des Leberstoffwechsels. Wir beschäftigen uns dabei insbesondere mit dem regulativen Prozess der Entstehung von Fettleber und Leberfibrose / -zirrhose sowie mit den Unterschieden zwischen juvenilen und adulten Organismen.

Daher versuchen wir die Prozesse, die zu diesen Erkrankungen führen, besser zu verstehen, um

- Faktoren auszumachen, die als Prädiktoren früh und präzise eine Fibrose und

deren Grad zu definieren vermögen, und

- darüber gezielte Therapienansätze zu entwickeln.

Die dabei verfolgten Ansätze versuchen, eine dauerhafte Aktivierung der Sternzellen – der Mediatorzellen der Fibrogenese – und Gallengangzellen zu unterbinden und Faktoren zu aktivieren, die das überschüssige Bindegewebe abbauen. Von Bedeutung sind auch Analysen mit dem therapeutischen Ziel, die Schädigung der Hepatozyten durch Toxine oder andere schädigende Substanzen durch Verabreichung von sogenannten hepatoprotektiven (die Leberzellen schützenden) Substanzen oder Faktoren zu verringern. Der hepatische Metabolismus von Kohlenhydraten und Fetten spielt bei NAFLD eine besondere Rolle und steht auch im Fokus des bundesweiten Forschungsnetzwerkes „Die virtuelle Leber“ mit dem Ziel, das Organ Leber systembiologisch abzubilden (www.virtual-liver.de). Da die Leber außerordentlich regenerationsfähig ist, versuchen wir, die zellbiologischen Zusammenhänge von Stoffwechsel und Regeneration nach Schädigung zu verstehen, um neue und gezieltere Therapien entwickeln zu können. Daran anknüpfend sollen auch neue Biomarker auf Basis des leberspezifischen Metabolismus identifiziert und somit die nicht invasive Diagnostik bei pädiatrischer NAFLD und Leberfibrose verbessert werden.

Ein weiterer Schwerpunkt unserer Klinik liegt in der translationalen Forschung, d. h. an der Schnittstelle zwischen präklinischer Forschung und klinischer Anwendung. Wir entwickeln derzeit ein Tier-Modell, in dem wir die Induktion und die Mechanismen der Entstehung von NAFLD und/oder Leberfibrose insbesondere bei parenteraler (via Blutgefäß) Ernährung, bei portaler Hypertension und nach Lebertransplantation untersuchen.

Literatur

Christa Buechler, Thomas S. Weiss, Does hepatic steatosis affect drug metabolizing enzymes in the liver? *Current Drug Metabolism* 12 (2011), S. 24–34.

Michael Melter, Burkhard Rodeck, Lebertransplantation. In: M. J. Lentze, J. Schaub, F. J. Schulte, J. Spranger (Hrsg.), *Pädiatrie – Grundlagen und Praxis*. Berlin/Heidelberg: Springer, 2007, S. 1012–1018.

Michael Melter, Familiäre Cholestase-Syndrome – Alagille Syndrom und Progressiv Familiäre Intrahepatische Cholestase. In: K. Dokoupil, K. Wimmer (Hrsg.), *Klinik und Diät bei chronischen Darm- und Lebererkrankungen*. Heilbronn: SPS, 2007, S. 121–144.

Melania Manco, Matilde Marcellini, Rita DeVito, Donatella Comparcola, Maria Rita Sartorelli, Valerio Nobili, Metabolic syndrome and liver histology in paediatric non-alcoholic steatohepatitis. *International Journal of Obesity* 32 (2008), S. 381–387.

Neuerscheinungen

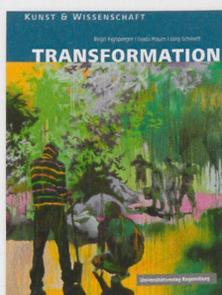
Universitätsverlag Regensburg



Birgit Eiglsperger
Josef Mittlmeier
Manfred Nürnberger
Werkanalyse
betrachten ·
erschließen ·
deuten

1. Auflage 2011, 120 Seiten,
45 Farb-, 29 s/w-Abbildungen,
17 x 24 cm, Broschur

ISBN 978-3-86845-070-5
€ 12,95



Birgit Eiglsperger
Goda Plaum
Jörg Schmidt (Hrsg.)
Transformation

1. Auflage 2012, 128 Seiten, zahlreiche überwiegend
farbige Abbildungen, 21 x 27 cm, Broschur,
erscheint im Januar 2012

ISBN 978-3-86845-085-9
€ 14,95



Manfred Knedlik
Bernhard Lübberts (Hrsg.)
**Die Regensburger
Bibliotheklandschaft
am Ende des Alten
Reiches**

1. Auflage 2011, 200 Seiten, 2 Farb-, 4 s/w-
Abbildungen, 17 x 24 cm, Broschur
Reihe: Kataloge und Schriften der
Staatlichen Bibliothek Regensburg, Bd. 5

ISBN 978-3-86845-081-1
€ 19,95

Weitere Informationen zum Programm erhalten Sie beim Universitätsverlag Regensburg
Leibnizstraße 13 · 93055 Regensburg · Tel.: +49 (0) 9 41-7 87 85-26 · Fax: +49 (0) 941-7 87 85-16
www.universitaetsverlag-regensburg.de · bestellung@univerlag-regensburg.de

Optimieren wie die Weltmeister

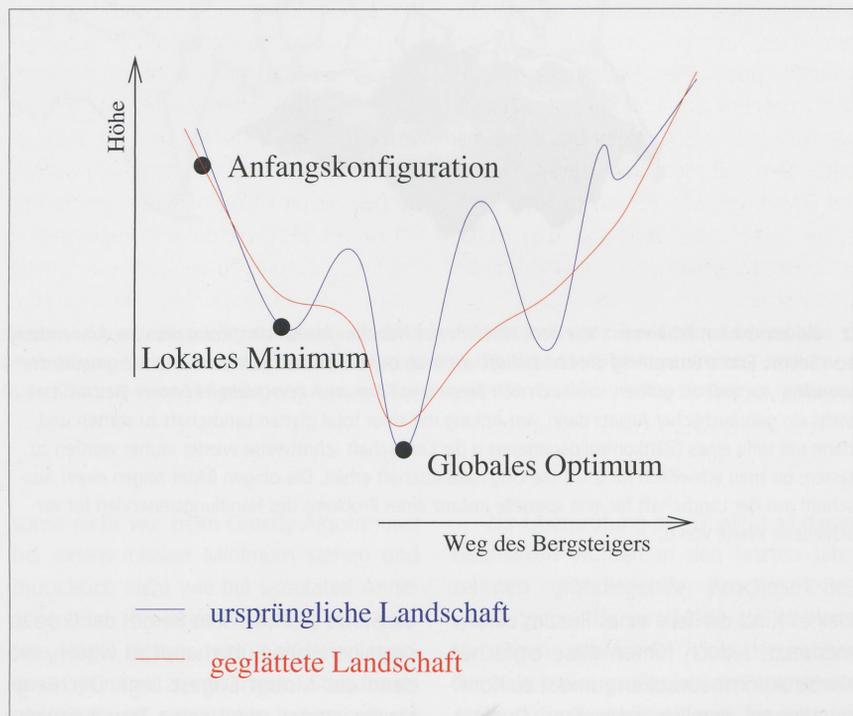
Wie Wettbewerbsaufgaben Wissenschaft und Praxis voranbringen

Johannes Josef Schneider, Martin Ransberger und Ingo Morgenstern

Mit der anstehenden grünen Revolution, die seit dem Atomunfall in Fukushima im März 2011 nicht mehr aufzuhalten ist, wird es in Deutschland zu gewaltigen Umwälzungen in verschiedenen Bereichen kommen. Stromnetze müssen kostengünstig und gleichzeitig effektiv erweitert werden. Optimale Standorte für Kraftwerke, die verschiedenste erneuerbare Energien nutzen, müssen festgelegt werden. Aber auch bereits seit längerem bekannte Probleme müssen durch die Neu- oder Weiterentwicklung von Optimierungsverfahren weiter angegangen werden: Durch optimale Tourenplanung und Bepackung von Lastkraftwagen muss der Frachtverkehr verringert werden. Durch die Optimierung von Produktionsprozessen können Ressourcen und Kosten in der gesamten Wertschöpfungskette eines Betriebs eingespart werden.

Für kaum eines dieser Probleme kann die optimale Lösung von Hand bestimmt werden, so dass Lösungsmethoden am Computer entwickelt werden müssen. Man unterscheidet dabei zwischen exakten mathematischen Optimierungsalgorithmen, die garantiert zur bestmöglichen Lösung des betrachteten Problems führen, und Heuristiken verschiedenster Art, die eine möglichst gute Lösung zu erreichen suchen, jedoch nicht notwendigerweise stets die beste Lösung finden. Die exakten mathematischen Verfahren können nur selten in der Praxis eingesetzt werden, da zu viel Rechenzeit für die exakte Lösung nötig wäre, entweder weil die praktischen Probleme zu groß sind oder weil sie komplexe Nebenbedingungen beinhalten.

In den letzten Jahrzehnten wurden daher verschiedenste Klassen von Heuristi-

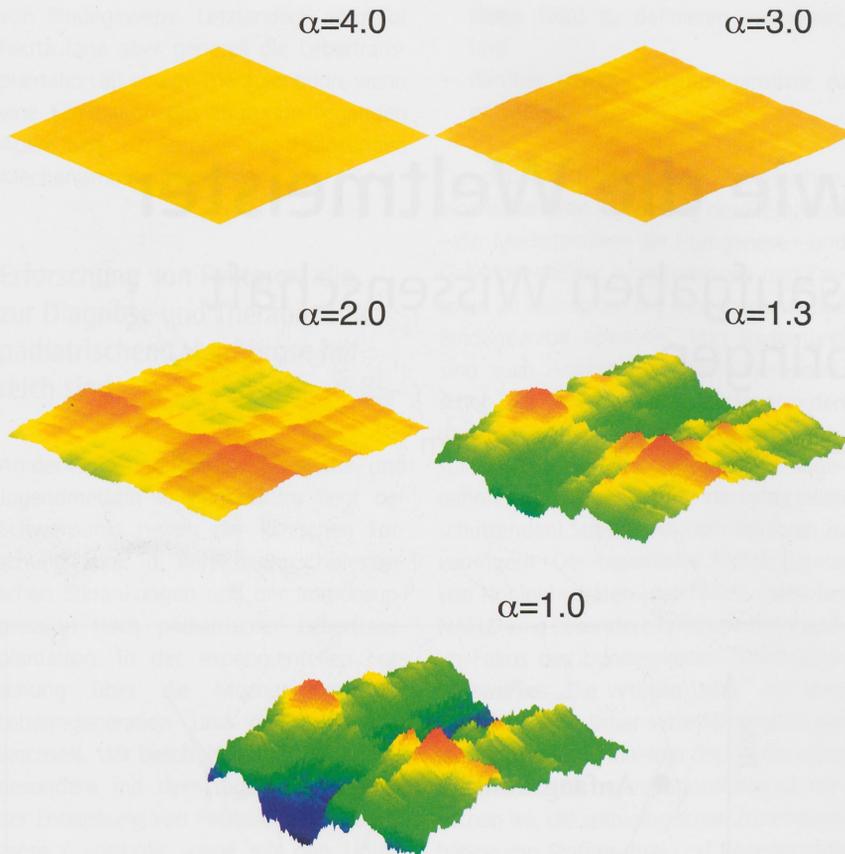


1 Schematischer Schnitt durch die Landschaft, durch die sich ein Optimierungslauf auf der Suche nach dem tiefsten Tal wie ein Bergsteiger bewegt: Während man bei Anwendung des Greedy-Algorithmus ausgehend von der Anfangskonfiguration in einem lokalen Minimum steckenbleibt, ist man z. B. mit Hilfe von Simulated Annealing oder Threshold Accepting in der Lage, durch Akzeptanz von Verschlechterungen über Barrieren hinwegzuklettern und so zu noch besseren Lösungen, wie dem globalen Optimum, zu gelangen. Im Gegensatz dazu versucht man bei Search Space Smoothing, die Landschaft durch Glättung derart zu ändern, dass nur noch ein Minimum übrigbleibt, das man unabhängig vom Ausgangspunkt stets erreichen kann.

ken entwickelt, von ganz einfachen und schnellen Methoden, die quasi auf Knopfdruck eine einigermaßen gute Konfiguration zusammenstellen, bis hin zu ausgefeilten Algorithmen, die innerhalb von Minuten, Stunden oder Tagen (je nach Größe und Schwierigkeit der betrachteten Problemstellung) Lösungen liefern, die eventu-

ell optimal sind oder sich in ihrer Qualität kaum von dem bestmöglichen Ergebnis unterscheiden.

Die einfachsten Heuristiken setzen alle Teile des betrachteten Optimierungsproblems nach einem vorgegebenen Regelwerk schrittweise zusammen, bis eine gültige Gesamtlösung entsteht, so wie ein



2 Bei komplexen Problemen, wie dem Problem des Handlungsreisenden, kann man bei Anwendung von Search Space Smoothing die Landschaft, die man auf der Suche nach der besten Lösung durchwandert, nur indirekt glätten, wodurch sich Berge und Täler auch verschieben können. Deshalb besteht ein gebräuchlicher Ansatz darin, am Anfang mit einer total glatten Landschaft zu starten und dann mit Hilfe eines Glättkontrollparameters α die Landschaft schrittweise wieder rauher werden zu lassen, bis man schließlich für $\alpha = 1$ die Originallandschaft erhält. Die obigen Bilder zeigen einen Ausschnitt aus der Landschaft für eine spezielle Instanz eines Problems des Handlungsreisenden für verschiedene Werte von α .

kleines Kind die Teile eines Puzzles zusammensetzt. Jedoch führen diese einfachen Konstruktionsheuristiken zumeist zu Konfigurationen ziemlich schlechter Qualität. Bessere Lösungen erhält man, wenn man von einer oder mehreren Anfangslösungen ausgeht und diese auf zufällige Art und Weise schrittweise verändert. Bei der einfachsten dieser Methoden, dem sogenannten Greedy-Algorithmus (engl. greedy = gierig), wird jede dieser Veränderungen nur dann akzeptiert, wenn sie zu einer Verbesserung führt. Führt die Veränderung jedoch zu einer Verschlechterung, so wird sie verworfen, man sucht dann ausgehend von der vorherigen Lösung durch eine andere zufällige Veränderung nach einer Verbesserung. Jedoch führt auch dieser Ansatz nicht zu sehr guten Lösungen.

Dies kann man sich sehr einfach vor Augen führen: Man stelle sich vor, man sei ein Bergsteiger, dessen Ziel darin besteht,

die Spitze des höchsten Berges der Erde zu besteigen, ohne überhaupt zu wissen, wo denn der Mount Everest liegt. Der Bergsteiger startet somit seine Tour beispielsweise im Kneitinger-Keller in Regensburg und macht immer wieder einen Schritt in eine zufällig gewählte Richtung (nach vorn, hinten, links oder rechts), wobei er bei jedem dieser Schritte die Regel des Greedy-Algorithmus anwendet und den Schritt nur ausführt, wenn er gleichzeitig nach oben führt. Auf diese Weise gelangt er aber nur zur Spitze des Galgenbergs und bleibt dann dort für immer stehen. Aus diesem Beispiel lernt man, dass man auch Verschlechterungen immer wieder erlauben muss, um insgesamt zu einer sehr guten Lösung zu gelangen. Verbesserungsheuristiken garantieren zwar nicht, dass man schlussendlich an der Spitze des Mount Everest ankommt, aber der Ausblick von der Spitze des z. B. zweithöchsten Bergs

der Erde, des Lambha Pahar, ist ja für den Bergsteiger auch nicht schlecht.

Im Jahr 1988 stellte das Committee on the Next Decade in Operations Research fest, dass drei Klassen von Verbesserungsheuristiken sehr vielversprechend seien:

Zum ersten gibt es das Tabu Search-Verfahren, bei dem bei jeder anstehenden Veränderung zuerst sämtliche Möglichkeiten überprüft werden und dann diejenige ausgewählt wird, die die größte Verbesserung erzielt und die nicht tabu ist. Hierbei gibt es verschiedenste Möglichkeiten zu definieren, wann und für wie lange eine Lösung als tabu erklärt wird, wie viele Lösungen gleichzeitig tabuisiert sein können und ob man gegebenenfalls einen Tabu-Stempel ignorieren kann.

Bei Genetischen Algorithmen und Evolutionsstrategien simuliert man den Evolutionsprozess. Man arbeitet mit mehreren verschiedenen Lösungen gleichzeitig, die man als Mitglieder einer Population ansieht. Diese Lösungen können sich asexuell durch Klonen oder paarweise sexuell fortpflanzen, wobei zusätzliche „Kinderlösungen“ entstehen. Beim Fortpflanzungsprozess kann es wie in der Natur auch zu Mutationen kommen, was den Veränderungen beim Greedy-Algorithmus entspricht. Dann wendet man das Survival of the fittest-Prinzip an, nach dem die schlechteren Lösungen sterben, während die besseren, also die mit höherer Fitness, sich weiter fortpflanzen und somit ihre besseren Gene häufiger weitergeben können. Von Generation zu Generation erhöht sich somit die mittlere Qualität der Populationsmitglieder.

Zum dritten gibt es das physikalisch motivierte Simulated Annealing-Verfahren, bei dem ein Abkühlprozess simuliert wird, das man aber auch auf jedwede nichtphysikalische Problemstellung anwenden kann. Dieser Algorithmus ist eine Variante des Greedy-Verfahrens, bei der mit der Wahrscheinlichkeit $\exp(-\Delta/T)$ auch Verschlechterungen akzeptiert werden. Diese Wahrscheinlichkeit hängt vom Ausmaß Δ der Verschlechterung sowie von der eingestellten Temperatur T ab: Je kleiner die Verschlechterung und je höher die Temperatur ist, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, die Veränderung zu akzeptieren. Die Temperatur T wird schrittweise verringert, so dass die Wahrscheinlichkeit für die Akzeptanz einer Verschlechterung vermindert und somit die Qualität der schrittweise betrachteten Lösungen erhöht wird, bis schließlich der Optimierungslauf bei einer sehr guten Lösung ein-



3 Zum Testen von heuristischen Optimierungsverfahren wurden viele Beispiel-Instanzen für verschiedene Problemstellungen in den letzten Jahrzehnten zur Verfügung gestellt. Das Beispiel hier zeigt die optimale Lösung für eine Rundreise durch 532 Orte in den USA. Die Schwierigkeit bei dieser speziellen Aufgabenstellung besteht u. a. darin, dass die Orte an der Ostküste einen viel geringeren Abstand zu ihren nächsten Nachbarn haben als Orte im mittleren Westen.

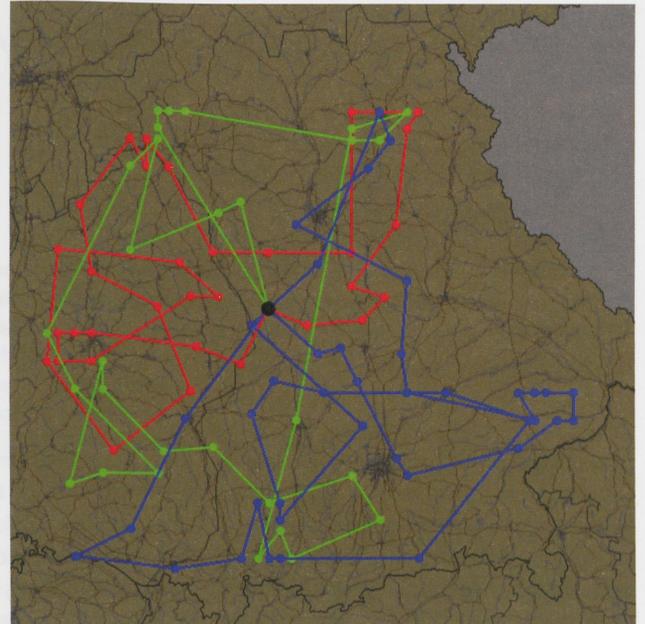
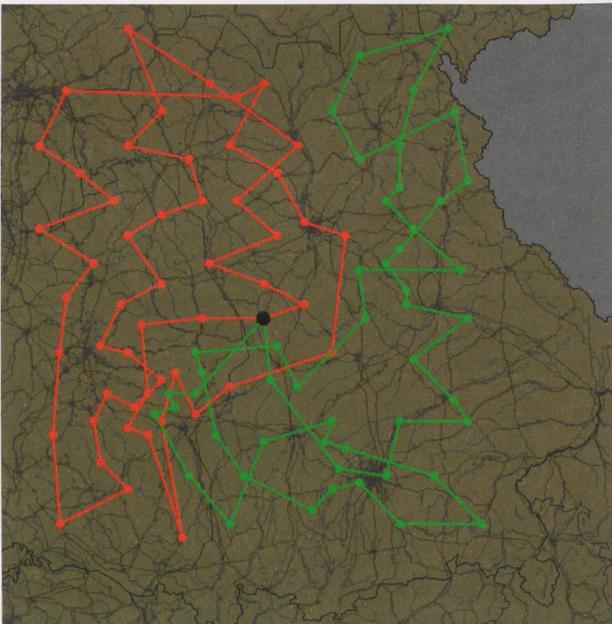
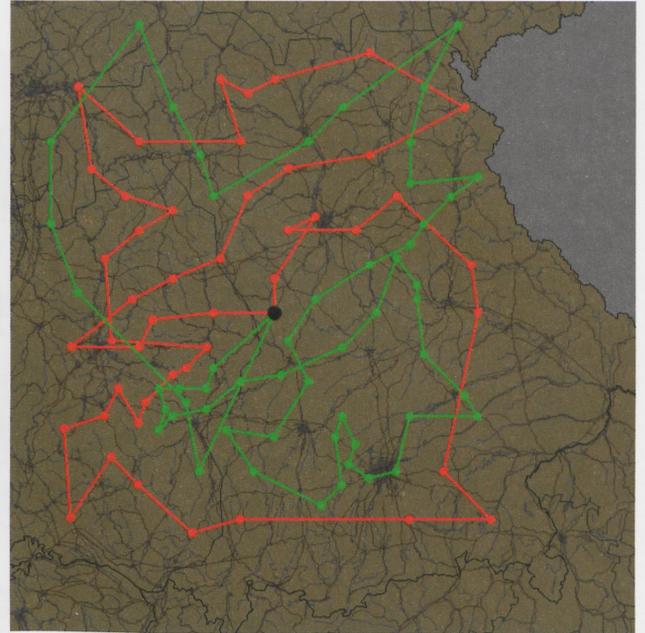
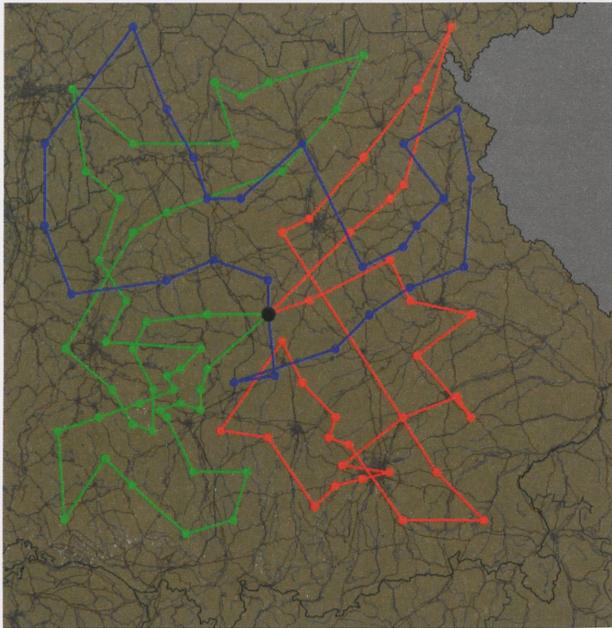
friert, die eventuell sogar das Optimum darstellt.

In der Zwischenzeit sind zahlreiche Varianten dieser Algorithmen sowie gänzlich neue Ansätze, wie Ameisenhaufen-Algorithmen, entwickelt worden. Bei den von uns untersuchten Problemstellungen erhielten wir die besten Ergebnisse mit Simulated Annealing und seinen Varianten Threshold Accepting und Threshold Search Space Smoothing. Bei Threshold Accepting verwendet man nur ein anderes Kriterium für die Akzeptanz von Verschlechterungen: Hier akzeptiert man jede Veränderung, die entweder zu einer Verbesserung oder zu einer kleinen Verschlechterung führt. Ist die Verschlechterung jedoch größer als die vorgegebene Toleranzschwelle (engl. threshold), so verwirft man die Veränderung. Bei Search Space Smoothing verfolgt man dagegen ein anderes Konzept, wie in [1] gezeigt: Man versucht die Landschaft zu glätten, in der sich der Bergsteiger bewegt. Bei der Suche nach dem tiefsten Tal bleibt er

somit nicht wie beim Greedy-Algorithmus bei einem lokalen Minimum stehen und muss auch nicht wie bei Simulated Annealing oder Threshold Accepting über weitere Hügel klettern, um zum tieferliegenden Optimum zu gelangen. Stattdessen genügt in der geglätteten Landschaft die Anwendung des Greedy-Algorithmus, um stets das Optimum zu erreichen. Jedoch kann man diesen schönen Gedanken nur selten direkt umsetzen: Bei einer Glättung verschieben sich zumeist auch Berge und Täler. Insofern führt man einen Glättungsparameter ein, mit dessen Hilfe man einen Übergang von einer total ebenen Landschaft zur Originallandschaft durchführt [2]. Bei jedem Entglättungsschritt suchen wir bei Threshold Search Space Smoothing kurz mit Threshold Accepting mit einem ganz kleinen Wert für die Toleranzschwelle (die es uns erlaubt, ganz niedrige Barrieren zu überspringen) nach einer besseren Lösung in der Nähe. Schlussendlich gelangt man so zu einer exzellenten Lösung.

Zur Überprüfung der Qualität all dieser Heuristiken wurden in den letzten Jahrzehnten grundlegende Benchmark-Beispielaufgaben für verschiedenste Problemstellungen entwickelt. Viele Heuristiken beinhalten eine große Zahl an Parametern. Anhand der Beispielprobleme, für die auch die bisher besten bekannten Lösungen publiziert sind, können so die Algorithmenerfinder ihre Methoden weiterentwickeln, bis sie schließlich in der Lage sind, bisherige Weltrekorde einzustellen oder sogar zu schlagen, oder betrübt feststellen müssen, dass die ursprünglich als weiterführend angesehene Idee doch nicht konkurrenzfähig ist.

Eine schon als Übung häufig gestellte Standardaufgabe ist das Problem des Handlungsreisenden: Der Handlungsreisende hat die Aufgabe, die kürzestmögliche geschlossene Tour durch eine vorgegebene Menge von Orten zu finden, wobei jeder Ort genau einmal besucht werden und der Handlungsreisende am Ende der Tour zum Ausgangspunkt zurückkehren



4 Auch im Bereich der Tourenplanung mit Kapazitätsrestriktion und Zeitfenstern für die verschiedenen Kunden gibt es vielfach studierte Beispielprobleme. Diese vier Abbildungen zeigen vor einer bayerischen Hintergrundkarte die neuen Weltrekorde, die mittels Threshold Search Space Smoothing von M. Ransberger für die folgenden Instanzen aufgestellt wurden: oben links R203 (bisheriger Weltrekord: Gesamttourlänge 939,54, neuer Weltrekord: Gesamttourlänge 939,503), oben rechts R207 (bisheriger Weltrekord: 893,33, neuer Weltrekord: 890,608), unten links R211 (bisheriger Weltrekord: 892,71, neuer Weltrekord: 885,711), unten rechts RC202 (bisheriger Weltrekord: 1367,09, neuer Weltrekord: 1365,645).

mus. Sämtliche Abstände sind als konstante Werte fest vorgegeben. Eine Vielzahl von Problem-Instanzen ist beispielsweise in der Benchmark-Zusammenstellung TSPLIB95 zu finden. Mathematiker weltweit versuchten sich in den letzten Jahrzehnten darin zu übertreffen, immer größere Testaufgaben exakt zu lösen. Durch Weiterentwicklung der exakten Algorithmen und durch die Zunahme der zur Verfügung stehenden Rechenpower konnten

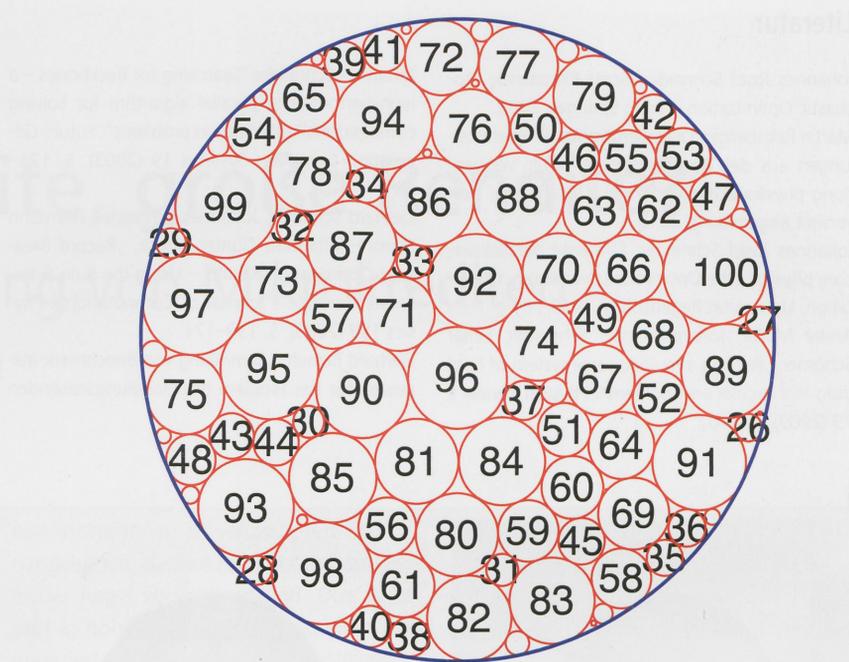
inzwischen Systemgrößen mit bis zu 25.000 Orten exakt gelöst werden, auch wenn dafür eine Unmenge von Rechenzeit verbraucht wurde. Auf der anderen Seite dient das zwar leicht zu formulierende aber schwer zu lösende Problem des Handlungsreisenden auch dazu, verschiedene Heuristiken einem ersten Test zu unterziehen. So wurde beispielsweise die in [3] gezeigte Lösung auch mit Simulated Annealing gefunden.

In der Praxis hat man es dagegen zu meist mit Tourenplanungsproblemen zu tun, bei denen mehrere Handlungsreisende mit ihren Lastwagen von einem zentralen Depot ausgehend mehrere Kunden besuchen, um bei ihnen verschiedene Güter abzuliefern oder abzuholen. Die dabei am häufigsten auftretenden Nebenbedingungen sind die beschränkten Kapazitäten der Lastwagen sowie die Zeitvorgaben der Kunden, innerhalb derer sie bedient wer-

den wollen. Auch für diese Problemstellung gibt es eine Bibliothek mit Beispielpunkten, die schon seit Jahrzehnten von mehreren Forschergruppen intensiv studiert werden. Für einige dieser Beispielpunkte wurden von uns neue Weltrekorde mit Threshold Search Space Smoothing gefunden, wovon vier in [4] gezeigt sind.

Natürlich hat man in der Praxis zumeist mit noch weiteren Nebenbedingungen in der Tourenplanung zu kämpfen. Insbesondere die Sperrigkeit von Gütern bereitet oftmals Probleme. Das platzsparende Packen von Gütern ist eine Fragestellung, die im Bereich Produktion und Logistik sehr häufig auftritt und deshalb in der Wissenschaft immer wieder aufgegriffen wird. Schon seit langem beschäftigen sich Mathematiker mit der grundlegenden Fragestellung, wie man N Kreisscheiben mit Radius 1 in einen Umkreis mit Radius R so packt, dass der Radius des Umkreises minimal wird. Vor ein paar Jahren veranstaltete der New Yorker Informatiker Al Zimmermann mit seinen Mitarbeitern einen internationalen Wettbewerb, bei dem er diese Aufgabenstellung etwas variierte: Nun sollten N Kreisscheiben mit den ganzzahligen Radien von 1 bis N in einen Umkreis mit minimalem Radius R gepackt werden. Dabei wurden Systeme von 5 bis hin zu 50 Kreisscheiben betrachtet. An diesem Wettbewerb nahmen 155 Gruppen aus 32 Ländern teil, wovon einige schon seit vielen Jahren an den verschiedensten Packproblemen arbeiteten. Es gelang uns, mit einem auf Simulated Annealing bzw. Threshold Accepting basierenden Packalgorithmus sämtliche während des Wettbewerbs aufgestellten Weltrekorde entweder einzustellen (für $N \leq 23$ und $N = 25$) oder zu schlagen, und dies zum Großteil deutlich (für $N = 24$ und $26 \leq N \leq 50$). Dieser Erfolg führte dazu, dass das Time Magazine den Packalgorithmus in seine Liste der 50 wichtigsten Erfindungen des Jahres 2009 aufnahm. Zusätzlich wurde der Algorithmus auch als eine der 10 wichtigsten grünen Erfindungen des Jahres 2009 bezeichnet. In der Zwischenzeit wurden Probleme mit bis zu 100 Kreisscheiben betrachtet. [5] zeigt den von uns generierten aktuellen Weltrekord für das Problem mit 100 unterschiedlich großen Kreisscheiben.

Nun kann man sich nach dieser teilweisen Auflistung von Wettbewerbsaufgaben und Weltrekorden die Frage stellen, ob dies alles zu etwas nützlich ist oder ob sich hier die Wissenschaft im Elfenbein-



5 Vor ein paar Jahren wurde ein Wettbewerb zum Packen unterschiedlich großer Kreisscheiben mit ganzzahligen Radien ausgeschrieben. Die Aufgabe besteht darin, N Kreisscheiben mit ganzzahligen Radien von 1 bis N möglichst dicht in einen Umkreis mit minimalem Radius R zu packen. Die größte bislang betrachtete derartige Problemstellung umfasst 100 Kreisscheiben, wofür wir hier einen von J. J. Schneider aufgestellten neuen Weltrekord präsentieren mit $R = 615:717475 : : .$

turm nur mit sich selbst beschäftigt. Jedoch ist es in der Tat so, dass es die oben beschriebenen Probleme nicht nur als Optimierungsaufgaben, sondern auch in der Praxis als real existierende Problemstellungen gibt. So müssen beispielsweise Kabel verschiedener Dicke in einem Kabel mit möglichst geringem Durchmesser gepackt werden, was der Aufgabe aus dem Wettbewerb von Al Zimmermann entspricht. Bei Tourenplanungsproblemen wiederum ist es so, dass, falls man die grundlegende Problematik bestens mit heuristischen Verfahren lösen kann, man für reale Fälle zusätzliche Nebenbedingungen mit oftmals geringem Aufwand in den heuristischen Optimierungsalgorithmus einbauen kann und auch dafür dann exzellente Lösungen erhält: Man kann durchaus zusätzlich die Schönheit von Wegstrecken in Betracht ziehen, den Besuch von Sehenswürdigkeiten einplanen, dabei auch deren Öffnungszeiten berücksichtigen, Wahrscheinlichkeiten für Staus angeben und diesen wenn möglich ausweichen sowie unterwegs noch Souvenirs einkaufen, bis das Auto voll ist oder man kein Geld mehr hat. In industriellen Anwendungen kommen oftmals zur grundlegenden Problemstellung Dutzende von Nebenbedingun-

gen hinzu. Insofern bieten Wettbewerbsaufgaben nicht nur einen Anreiz, eigene Optimierungsalgorithmen zu entwickeln oder zu verbessern. Sie dienen auch dazu festzustellen, wo man im Vergleich zu anderen Gruppen auf der Welt steht, sowie als Grundlage für die Lösung von Problemen aus der Praxis, die wir ebenfalls schon vielfältig betrachtet haben. Mit unseren heuristischen Verfahren haben wir reale Tourenplanungsprobleme, reale Packprobleme, Lagerhaltungsprobleme, Personaleinsatzprobleme, Endmontageprobleme bei Automobilherstellern, Windkraft- und Solaranlagen, Netzwerke, Portfolios, Bestrahlungstherapien von Krebskranken, Stundenpläne in Schulen und bei Fortbildungsmaßnahmen optimiert sowie Vorschläge für die Verbesserung bei der Verteilung von Studienplätzen in zulassungsbeschränkten Fächern gemacht. Wie man anhand dieser wenigen Beispiele bereits erahnen kann, sind derartige heuristische Optimierungsverfahren für jedwede Problemstellung einsetzbar. Jedoch muss man immer wieder aufs Neue die eigenen Verfahren für immer neue Problemstellungen anpassen und weiterentwickeln, um stets exzellente Ergebnisse zu erhalten.

Literatur

Johannes Josef Schneider, Scott Kirkpatrick, Stochastic Optimization. Berlin: Springer, 2006.

Martin Ransberger, Optimierung von Problemstellungen aus der Transportlogistik unter Verwendung physikalischer Verfahren. Dissertation, Universität Regensburg, 2010.

Johannes Josef Schneider, Effiziente parallelisierbare physikalische Optimierungsverfahren. Dissertation, Universität Regensburg, 1999.

André Müller, Johannes Josef Schneider, Elmar Schömer, „Packing a multidisperse system of hard disks in a circular environment“. Physical Review E 79 (2009), 021102.

Johannes Schneider, „Searching for Backbones – a high-performance parallel algorithm for solving combinatorial optimization problems“. Future Generation Computer Systems 19 (2003), S. 121–131.

Gerhard Schrimpf, Johannes Schneider, Hermann Stamm-Wilbrandt, Gunter Dueck, „Record Breaking Optimization Results – Using the Ruin & Recreate Principle“. Journal of Computational Physics 159 (2000), S. 139–171.

Gerhard Reinelt, „Sammlung von Benchmark-Instanzen für das Problem des Handlungsreisenden

und verwandter Probleme“. URL: <http://comopt.ifi.uni-heidelberg.de/software/TSPLIB95>.

Marius M. Solomon, „Zusammenstellung von Benchmark-Instanzen des Tourenplanungsproblems mit Zeitfenstern“. URL: <http://web.cba.neu.edu/~msolomon/problems.htm>.

Johannes Josef Schneider, „Weltrekordkonfigurationen aus dem Jahr 2008 für das Packproblem mit unterschiedlich großen Kreisscheiben“. URL: <http://www.staff.uni-mainz.de/schneidj/pack-2drecords>.



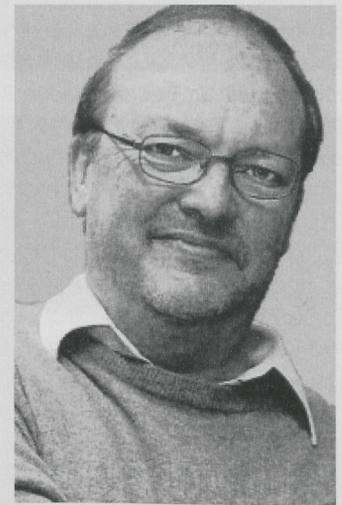
PD Dr. rer. nat. habil. **Johannes Josef Schneider** geb. 1971 in Straubing. 1990–1995 Studium der Physik und der Mathematik in Regensburg. 1999 Promotion in Regensburg. 2000–2001 Wissenschaftlicher Assistent an der Universität Zürich. 2001–2002 Postdoc an The Hebrew University of Jerusalem. 2009 Habilitation an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz. Optimierungsalgorithmus für Packprobleme auf der Liste der 50 wichtigsten Erfindungen des Jahres 2009 im Time Magazine. Mitglied der Deutschen und der Schweizer Physikalischen Gesellschaft und des Akademischen Hochschulverbandes.

Forschungsschwerpunkte: Optimierung, Tourenplanung, Packprobleme, Supply Chain Management, Simulationen, parallele Algorithmen, Analyse von Börsenkursen, Wahlvorhersagen, Verkehrsdaten und EEG-Signalen.



Dr. rer. nat. **Martin Ransberger** geb. 1973 in Frontenhausen. 1993–2000 Studium der Physik an der Universität Regensburg. 2006 Gründung der Firma Lambda Logistik. 2008 Auszeichnung beim Businessplan-Wettbewerb Nordbayern für die innovative Lösung des Transports sperriger Güter. Seit 2005 mehrfache Messeauftritte und gemeinsame Projekte mit verschiedenen Firmen. 2010 Promotion in Regensburg. Mitglied der Deutschen Physikalischen Gesellschaft.

Forschungsschwerpunkte: Optimierung, Simulation, Verkehrsnetzooptimierung, Tourenplanung, Packen sperriger Güter, numerische Analysis.



Prof. Dr. rer. nat. **Ingo Morgenstern** geb. 1953 in Bubach. 1973–1978 Studium der Physik und Mathematik an der Universität Saarbrücken. Diplomarbeit bei Prof. Dr. Kurt Binder über Biopolymere. 1978–1980 Promotion an der KFA Jülich über Spingläser. 1980–1983 Wissenschaftlicher Assistent an der Universität Heidelberg. 1983–1985 Postdoc bei Bell Labs. 1986 Habilitation in Heidelberg über Spingläser und Optimierung. 1986–1990 IBM Rüschiikon (Zusammenarbeit mit den Nobelpreisträgern Bednorz und Müller) und IBM Yorktown Heights. Seit 1990 Professor für Theoretische Physik in Regensburg. Mitglied der Deutschen Physikalischen Gesellschaft.

Forschungsschwerpunkte: Optimierung, Hochtemperatursupraleitung, Simulation, Portfolio-Optimierung, Optimierung von Windkraftanlagen, erneuerbare Energien, medizinische Physik.



Kleine Kredite, große Rendite?

Zur Refinanzierung von Mikrokrediten

Gregor Dorfleitner, Michaela Leidl

Im Jahr 2006 wurde der Ökonomie-Professor und Gründer der Grameen Bank Muhammad Yunus mit dem Friedensnobelpreis für seine Verdienste um die Förderung der Mikrofinanzierung als Mittel zur Armutsbekämpfung ausgezeichnet. Spätestens seitdem sind Mikrokredite weithin bekannt. In den letzten Jahren haben sich Investitionen in Mikrofinanzinstitutionen immer mehr zu einer attraktiven Anlagemöglichkeit für sozial motivierte Investoren entwickelt. Zuletzt gab es allerdings auch kritische Berichte über Auswüchse der Mikrokreditbranche in einigen Ländern. An der Universität Regensburg untersuchen die Lehrstühle für Finanzierung und Theoretische Volkswirtschaftslehre im Rahmen eines von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projektes die Refinanzierung von Mikrokreditvergabe. Hierbei analysiert der Lehrstuhl für Finanzierung Investitionsmöglichkeiten in Mikrokredite theoretisch und empirisch.

Mikrokredite – auch Kleinstkredite genannt – sind kleine Geldbeträge, die von sogenannten Mikrofinanzinstitutionen vorwiegend in Entwicklungsländern an Kunden mit sehr niedrigen Einkommen meist ohne materielle Sicherheiten verliehen werden. Empfänger dieser Kredite sind u. a. Kleinbauern sowie Klein- und Kleinstunternehmer, die versuchen, mit einer eigenen Geschäftsidee das nötige Geld zum Überleben zu verdienen. Mikrokredite sind jedoch nicht für alle Menschen mit niedrigen Einkommen sinnvoll. Wenn die Armut zu groß ist, muss erst durch Entwicklungshilfeprojekte, die z. B. die Wasserversorgung sicherstellen, eine Grundlage für unternehmerische Tätigkeiten geschaffen werden. Ein spezielles Phänomen der Mikrofinanzierung ist, dass sich unter den Kreditnehmern mehr Frauen als Männer finden. Frauen werden von vielen Mikrofi-

nanzinstitutionen als verlässlichere Schuldner gesehen, da ihre Investitionsstrategien in der Regel vorsichtiger sind. Dies resultiert in höheren Rückzahlungsquoten und impliziert somit weniger Kreditausfälle.

Aus Sicht von entwickelten Ländern besitzen Kleinstkredite meist recht hohe Zinssätze. Diese werden jedoch von Mikrokreditnehmern nicht generell als zu hoch empfunden. So sind effektive Jahreszinssätze von 30% und mehr keine Seltenheit. Kredithäufigkeiten in diesen Ländern Zinssätze von bis zu mehreren hundert Prozent verlangen. Mikrofinanzinstitutionen, die finanziell nachhaltig wirtschaften wollen oder müssen, verlangen Zinsen, die zumindest ihre operativen Kosten decken. Bei den sehr niedrigen Kreditbeträgen ergeben sich in manchen Fällen auf den einzelnen Kredit gerechnet sehr hohe Zinssätze (siehe auch Kasten). Die Bewertung der Zinssätze muss allerdings unter der Berücksichtigung der Tatsache erfolgen, dass die Mikrokreditnehmer oftmals durchaus in der Lage sind, diese zu bezahlen. Da die mit dem Kredit finanzierten Investitionen, wie etwa die Anschaffung einer Nähmaschine [1], sehr gering sind, sind relativ betrachtet hohe Gewinne möglich. Dieser Effekt ist bei Kleinstunternehmern leichter erreichbar als bei etablierteren und wohlhabenderen Unternehmern.

Der Begriff der Mikrofinanzierung umfasst neben Mikrokrediten auch Mikrosparen, Mikroversicherungen und Mikro-Rentensparpläne. Verschiedene Mikrofinanzinstitutionen bieten diese weiteren Formen der Mikrofinanzierung in unterschiedlichem Umfang zusätzlich an. Neuere Forschungsergebnisse belegen, dass diese Finanzdienstleistungen von enormer Bedeutung sind, entweder als Ergänzung zu oder auch an Stelle von Krediten, die eben nicht für alle Menschen geeignet sind.



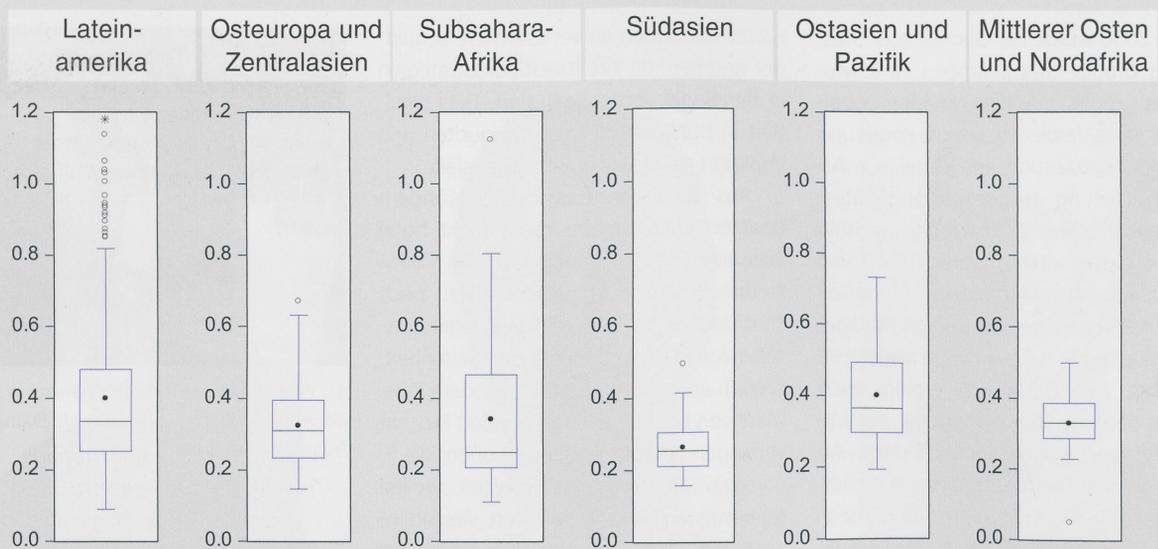
1 Eine typische Mikrokreditnehmerin in Ecuador mit ihrer durch den Mikrokredit finanzierten Nähmaschine.

Mikrofinanzinstitutionen sind entweder ganze Organisationen oder einzelne Abteilungen innerhalb einer diversifizierten Institution, z. B. einer konventionellen Bank, deren einzige Aufgabe die Mikrofinanzierung ist. Sie können verschiedene Organisationsformen aufweisen. Einen Großteil bilden Nichtregierungsorganisationen, Kreditgenossenschaften und sogenannte Rural Banks. Daneben gibt es Banken sowie kommerzielle Finanzinstitutionen, die keine Banken sind (Non-Bank Financial Institutions). Am Lehrstuhl für Finanzierung wurden die Einflussfaktoren auf Zinssätze von Mikrofinanzinstitutionen empirisch untersucht. Auch die Organisationsform der Mikrofinanzinstitution beeinflusst die Höhe des Zinssatzes. Dabei verlangen Banken tendenziell niedrigere Zinsen und Nichtregierungsorganisationen eher höhere Zinsen.

Im Jahr 2009 wurde insgesamt ein Kreditvolumen von mehr als 65 Milliarden USD an über 92 Millionen Mikrokreditnehmer verliehen. Diese Kredite wurden nur teilweise als Einzelkredite, wie in Industrieländern üblich, vergeben. Bei der Vergabe von Kleinstkrediten sind zusätzlich ver-

Zinssätze von Mikrokrediten

Eine empirische Studie am Lehrstuhl für Finanzierung untersucht die tatsächliche Höhe von Mikrokreditzinssätzen und deren Einflussfaktoren. Anhand einer weltweiten Stichprobe von 453 Mikrofinanzinstitutionen, welche ca. 40 % aller Mikrokreditnehmer repräsentiert, werden verschiedene Hypothesen überprüft. Abbildung [2] zeigt die Verteilungen der Mikrokreditzinssätze in verschiedenen Regionen der Welt. Man erkennt daran neben den offensichtlichen Unterschieden zwischen den Regionen, dass teilweise Zinssätze von über 1,0 – also über 100 % – verlangt werden. Der Durchschnitt liegt jedoch meist unter 40 %, in Südasien sogar unter 30 %. Neben der Region, in welcher die Institution tätig ist, erweisen sich die operativen Kosten und die Refinanzierungskosten als die größten direkten Einflussfaktoren auf die Höhe der Zinssätze. Die Refinanzierungskosten fallen jedoch mit durchschnittlich 5,7 % recht niedrig aus. Auch die durchschnittliche Mikrokredithöhe beeinflusst die Höhe der Mikrokreditzinssätze, und zwar negativ. Zudem stellt sich heraus, dass Nichtregierungsorganisationen im Durchschnitt tendenziell höhere und kommerzielle Mikrofinanzinstitutionen eher niedrigere Zinsen verlangen.



2 Verteilung der Mikrokreditzinssätze in verschiedenen Regionen der Welt. Der waagrechte Strich innerhalb der Box ist der Median, d. h. die Hälfte der Zinssätze liegt unter diesem Wert. Der Punkt in der Box ist der durchschnittliche Zinssatz. Das untere bzw. obere Ende der Box stellt den Wert dar, unter dem 25 % bzw. 75 % der Stichprobe liegen. Die Länge der Antennen oberhalb und unterhalb der Box beträgt maximal das 1,5-fache der Länge der Box. Außerhalb der Antennen sind einzelne Ausreißer abgebildet. Falls es keine Ausreißer gibt, bildet das Ende der Antennen den maximalen bzw. minimalen Zinssatz in einer Region ab.

schiedene Arten von Gruppenkrediten verbreitet. Falls ein Gruppenmitglied den Mikrokredit nicht zurückzahlen kann, springt ein anderes Gruppenmitglied ein.

Jede Mikrofinanzinstitution durchläuft ihre eigene Geschichte, wobei dies zumindest bei erfolgreichen und wachsenden Mikrofinanzinstitutionen oftmals bedeutet, dass über die Jahre gewisse Transformationen stattfinden. In einem typischen Lebenszyklus startet eine Institution zunächst recht informell als Nichtregierungsorganisation. Nach einiger Zeit wird die finanzielle Nachhaltigkeit erreicht. Der nächste Schritt ist die Umwandlung in eine regulierte Finanzinstitution, die dann auch Spar-Einlagen (Depositen) annehmen darf. Schließlich

kann eine Mikrofinanzinstitution vollends zu einer Bank werden und als solche auch im Zahlungsverkehr mitwirken.

Die Refinanzierung von Mikrofinanzinstitutionen

Die Möglichkeiten, sich das Geld, das per Kleinstkredit vergeben wird, von Investoren zu beschaffen, wachsen den Entwicklungsphasen entsprechend mit. Neu gegründete Nichtregierungsorganisationen refinanzieren sich zunächst meist über Spenden, also gespendetes Eigenkapital. Auf diese Spenden müssen weder Zin-

sen noch Dividenden gezahlt werden. Eine schon länger bestehende Nichtregierungsorganisation wird zusätzlich mit subventionierten Krediten finanziert. Diese erfordern geringere Zinszahlungen, als es am Markt für das entsprechende Land üblich wäre. Zusätzlich kann die Eigenkapitalbasis in diesem Stadium mit einbehaltenen Gewinnen gestärkt werden. Ist eine solche Mikrofinanzinstitution etabliert, kann sie teilweise auch Kredite zu Marktkonditionen aufnehmen. Nach einer Transformation in eine regulierte Finanzinstitution ist es Mikrofinanzinstitutionen möglich, sich über Spar-Einlagen zu refinanzieren, was für normale Banken weltweit ein bedeutendes Instrument zur Fremdkapitalaufnahme dar-

stellt. Zusätzlich können sie auch Eigenkapital in Form von Anteilsscheinen emittieren. Jedoch bedeutet das in der Regel nicht, dass damit eine klassische Ausrichtung auf die alleinige Maximierung des Vermögens der Anteilseigner einhergeht.

Auch wenn nicht alle Institutionen die skizzierte Transformation durchmachen oder anstreben, so stehen doch in jedem Falle für verschiedene Typen von Mikrofinanzinstitutionen verschiedene Refinanzierungsinstrumente zur Verfügung, die wiederum Investitionsmöglichkeiten für Investoren bieten. Anleger im Mikrofinanzbereich können entweder Entwicklungsbanken, wie etwa die deutsche Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW), aber auch Stiftungen oder Privatanleger sein. Wenngleich das Verhältnis von sozialen und finanziellen Motiven dieser Investoren unterschiedlich stark ausgeprägt sein mag, bekennen sich annähernd alle zu der Idee, bei der Investition in Mikrokredite auch auf die (als positiv angenommenen) sozialen Auswirkungen Wert zu legen.

Durch die Refinanzierungsarten ergeben sich verschiedene direkte Investitionsmöglichkeiten in das Eigen- und Fremdkapital von Mikrofinanzinstitutionen. Daneben gibt es zusätzlich indirekte Anlageformen.

Im Anfangsstadium einer Mikrofinanzinstitution investieren meist nur Donatoren in das *Eigenkapital*. Bei der Transformation in regulierte Finanzinstitutionen entsteht gewöhnlich eine Art Aktiengesellschaft. Somit ist durch den Erwerb von Anteilsscheinen eine Anlage in das Eigenkapital dieser Institutionen möglich. Die Anteilsscheine werden vorwiegend in Form einer Privatplatzierung nur bestimmten Investoren angeboten. Dabei kann es sich um Investmentfonds, internationale Nichtregierungsorganisationen, Finanzinstitutionen etc. handeln. Weltweit sind nur etwa 15 Mikrofinanzinstitutionen börsennotiert. Dadurch können auch Privatanleger in Aktien dieser Institutionen investieren. Allerdings werden besonders diese Mikrofinanzinstitutionen in den Medien kritisiert. *Fremdkapital* wird von Mikrofinanzinstitutionen meist in noch viel größerem Umfang als Eigenkapital benötigt. Dadurch ergeben sich weitere direkte Investitionsmöglichkeiten, nämlich herkömmliche Kredite und Kreditlinien, nachrangige und wandelbare Darlehen sowie für größere Institutionen auch die Emission eigener Anleihen. Langfristige Kredite und Kreditlinien stellen die häufigste Form der Investition in

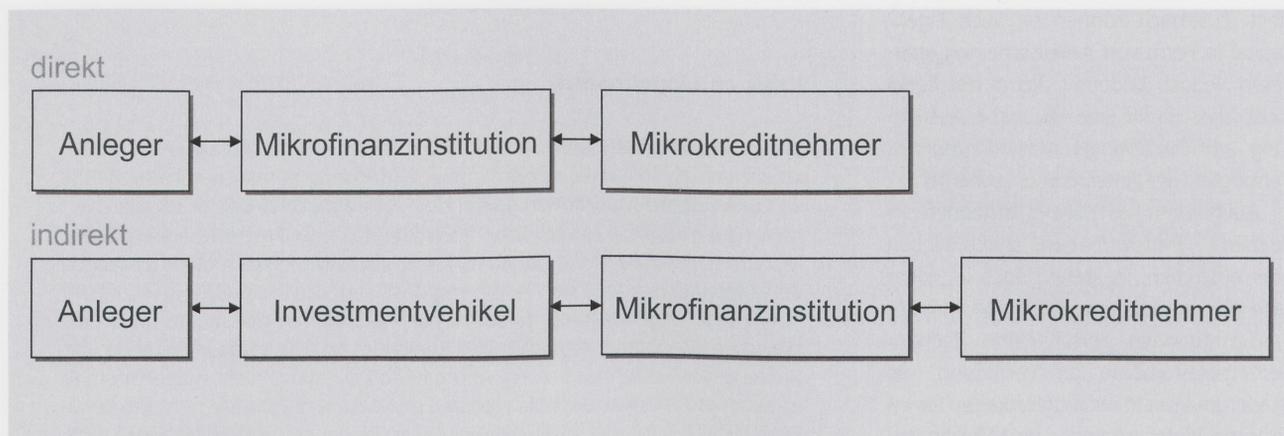
Kritik an Mikrokrediten

In den letzten Jahren waren aufgrund gehäufter Selbstmordfälle unter Mikrofinanznehmern in Indien, exzessiv hoher Zinsen infolge mancher Börsengänge von Mikrofinanzinstitutionen sowie der „Mikrofinanz-Blase“ in Bosnien vermehrt auch kritische Artikel über Kleinstkredite in der Presse zu finden. Selbst Muhammad Yunus geriet dabei ins Kreuzfeuer. Wenngleich die euphorische Berichterstattung nach der Verleihung des Friedensnobelpreises an Professor Yunus eine Gegenreaktion geradezu nach sich ziehen musste, so haben die kritischen Argumente sicherlich ihre Berechtigung. Die voranschreitende Verbreitung der Mikrofinanzierung wird dadurch allerdings nicht aufgehalten. Es ist daher erforderlich, dass die weitere Entwicklung durch eine sinnvolle Regulierung der Mikrofinanzinstitutionen in verschiedenen Ländern begleitet wird. Beispiele hierfür sind die Einführung von „Kreditbüros“ (vergleichbar der Schufa), die verhindern können, dass sich Kreditnehmer bei mehreren Mikrofinanzinstitutionen gleichzeitig verschulden und damit letztlich in eine Überschuldung geraten, oder gesetzliche Vorschriften zur Offenlegung effektiver Zinssätze ähnlich zur deutschen Preisangabenverordnung. In dieser Angelegenheit sind nicht nur die Gesetzgeber in den verschiedenen Ländern gefragt, auch die Mikrofinanz-Forschung vermag einen Beitrag zu leisten. Tatsächlich ist die Erarbeitung von Gestaltungsempfehlungen und Anreizmechanismen zur Vermeidung der beschriebenen ungünstigen Entwicklungen ein aktueller Forschungsschwerpunkt im Bereich Mikrofinanzierung.

das Fremdkapital dar. Sie werden von Stiftungen vor Ort, Regierungen, Mikrofinanzinvestmentfonds oder aber auch kommerziellen Banken und Finanzinstitutionen zur Verfügung gestellt. Nachrangige Kredite sind oft in Eigenkapital umwandelbar. Auch bei Anleihen gibt es sowohl die Möglichkeit einer Privatplatzierung als auch eines öffentlichen Zeichnungsangebots. Bei Privatplatzierungen kommen Banken, Fonds, Versicherungsgesellschaften oder Stiftungen als Investoren in Frage. Beim öffentlichen Zeichnungsangebot ist die Bandbreite der Investoren noch größer.

In dem nicht seltenen Fall, dass eine Mikrofinanzinstitution einen Kredit aus einem entwickelten Land in einer harten Währung bekommt (etwa in USD oder EUR) und selbst in der lokalen, weichen Währung Geld verleiht, entsteht ein Fremdwährungsrisiko. Dies besteht darin, dass bis zur Rückzahlung des Kredits die Lokawährung abgewertet haben könnte. Die Forschung am Lehrstuhl für Finanzierung beschäftigt sich in diesem Kontext etwa mit den Fragestellungen, wie dieses Risiko neben anderen Risiken von den Mikrofinanzinstitutionen und deren Gläubigern überhaupt wahrgenommen wird und mit welchen Finanzinstrumenten zu welchem Preis dieses Risiko vermindert werden kann.

Neben den direkten Anlageformen gibt es die Möglichkeit, in *Mikrofinanz-Investmentvehikel* zu investieren. Diese stellen eine indirekte Anlagemöglichkeit dar [3]. Das bedeutet, dass nicht direkt in das Eigen- oder Fremdkapital der Mikrofinanzinstitution investiert wird, sondern dass eine Investition in einen Mikrofinanzinvestmentfonds, welcher seinerseits in die Mikrofinanzinstitution investiert, oder in strukturierte Mikrofinanzprodukte erfolgt. Man unterscheidet drei Arten von Mikrofinanzinvestmentfonds: Mikrofinanz-Entwicklungsfonds, quasi-kommerzielle und kommerzielle Mikrofinanzinvestmentfonds. Bei Mikrofinanz-Entwicklungsfonds stehen soziale Aspekte im Vordergrund. Sie sind in erster Linie an der Unterstützung der Mikrofinanzinstitution interessiert und weniger an einer hohen finanziellen Rendite. Sie bieten ihren Anlegern (Donatoren, Hilfsorganisationen, Privatanleger und -unternehmen) daher keine finanzielle Rendite, die über die Inflationsrate hinausgeht. Investoren in quasi-kommerzielle Fonds, z. B. Donatoren und Hilfsorganisationen, erhalten zusätzlich eine gewisse finanzielle Rendite. Kommerzielle Mikrofinanzinvestmentfonds liefern eine finanzielle Rendite und behalten Entwicklungsziele dennoch im Auge. Vorwiegend Privatanleger und institutionelle Anleger investieren



3 *Direkte und indirekte Investitionskette.* Bei der direkten Anlage wird unmittelbar in das Eigen- oder Fremdkapital von Mikrofinanzinstitutionen investiert. Die indirekte Form der Investition erfolgt über ein Investmentvehikel. Die Mikrofinanzinstitution vergibt anschließend Kleinstkredite.

in kommerzielle Fonds. Ein Anleger kann sich basierend auf seinen Präferenzen hinsichtlich sozialer und finanzieller Gesichtspunkte für die jeweilige Art von Fonds entscheiden. Ein weiterer Vorteil von Mikrofinanzinvestmentfonds ist, dass sie auch Privatanlegern zugänglich sind. Neben den reinen Mikrofinanzinvestmentfonds gibt es auch konventionelle Fonds, die in Mikrofinanzierung investieren.

Strukturierte Mikrofinanzprodukte sind direkte oder indirekte Verbriefungen des Kreditportfolios von Mikrofinanzinstitutionen. Bei einer Verbriefung werden Kredite verkauft. Der Kauf wird durch die Ausgabe von Wertpapieren finanziert, die gehandelt werden und in die somit investiert werden kann. Bei direkten Verbriefungen wird das Mikrokreditportfolio selbst verbrieft. Häufiger erfolgen jedoch indirekte Verbriefungen. Hier werden Kredite an Mikrofinanzinstitutionen verbrieft. Oft gibt es bei Verbriefungen verschiedenen Tranchen mit unterschiedlicher Risiko-Rendite-Struktur. Fällt keiner der verbrieften Kredite aus, so werden alle Tranchen in vollem Umfang bedient. Fallen Kredite aus, wird erst die sicherste Tranche bedient. Die Investoren in diese Tranche erhalten im Gegenzug dafür die geringste Rendite. Sind danach noch finanzielle Mittel übrig, werden die nachfolgenden Tranchen bedient. Da die letzte Tranche somit am riskantesten ist, erhalten diese Investoren auch die höchste Rendite.

Am Lehrstuhl für Finanzierung wurde ein Modell entwickelt, das die Bewertung solcher strukturierter Instrumente zur Refinanzierung von Mikrofinanzinstitutionen ermöglicht. Dabei müssen eventuelle Ausfälle und vor allem deren Abhängigkeit mathematisch beschrieben werden. Spezi-

elle Berücksichtigung finden die Besonderheiten der Mikrofinanzierung, wie etwa die Abhängigkeit vom Wetter. Bei Mikrofinanzinstitutionen, die hauptsächlich an Kleinbauern in derselben Region Kredite vergeben, entsteht eine Abhängigkeit zwischen den einzelnen Krediten. Ist das Wetter schlecht, erleiden alle Kleinbauern Ernteaufschläge und haben dadurch Schwierigkeiten, ihre Kredite zurückzuzahlen.

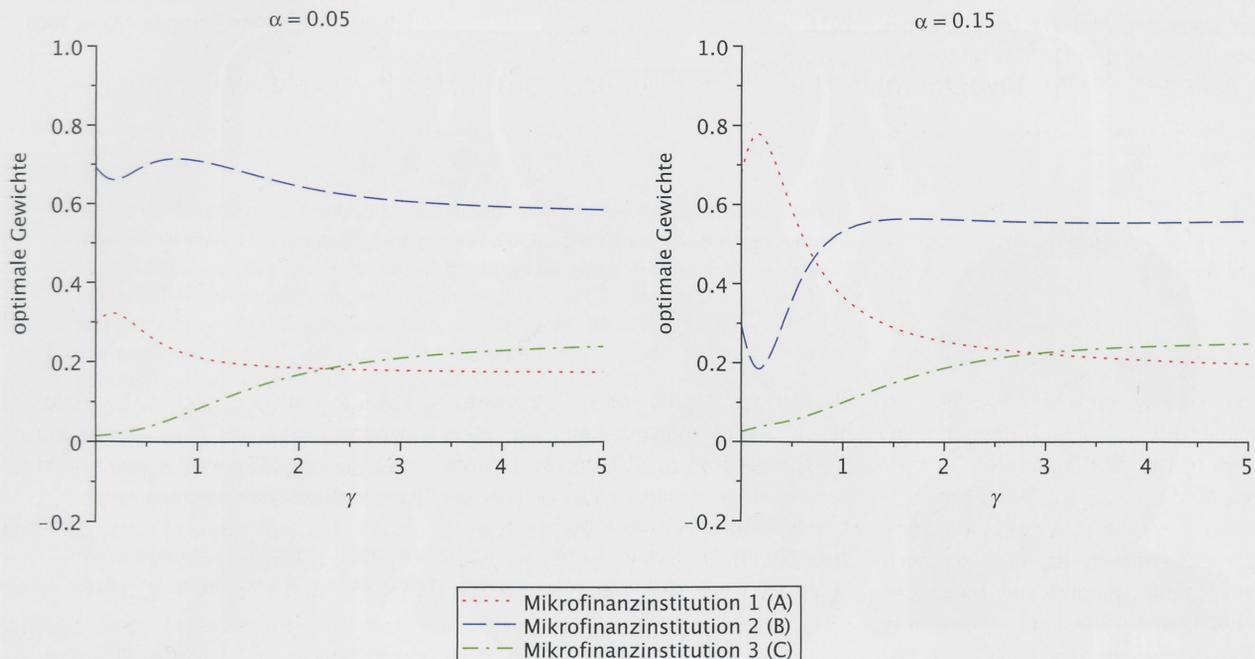
Ein Modell zur Berücksichtigung der „sozialen Rendite“

Da, wie bereits angedeutet, ein rein finanzielles Renditedenken weder der Fortentwicklung der Mikrofinanzierung dient, noch erklärtermaßen für die einschlägigen Investoren typisch ist, wurde in einem weiteren Forschungsprojekt am Lehrstuhl für Finanzierung die Portfoliotheorie von Nobelpreisträger Harry Markowitz weiterentwickelt. Bei der klassischen Portfoliotheorie geht es darum, wie ein Investor unter rein finanziellen Gesichtspunkten die Anteile der einzelnen Anlagen in seinem Portfolio optimal wählt. In der Mikrokreditbranche wird im Zusammenhang mit den positiven sozialen Auswirkungen häufig von einer „sozialen Rendite“ für die Investoren gesprochen. Der Regensburger Ansatz ergänzt die Portfoliotheorie daher um diese soziale Rendite, die prinzipiell eine messbare und quantifizierbare Größe darstellt. Dabei gehen auch die Präferenzen und Wertvorstellungen des Investors mit ein. Im Falle der Mikrofinanzierung gibt es allerdings schon eine lange Tradition, die soziale Auswirkung zu messen. Dies geschieht

etwa über die durchschnittliche Mikrokredithöhe. Hierbei wird davon ausgegangen, dass niedrige Mikrokredite vorwiegend an ärmere Menschen vergeben werden, was in einer höheren sozialen Rendite resultiert. Auch eine höhere Frauenquote oder ein höherer Anteil von Mikrokreditnehmern, die in ländlichen Gebieten leben, in denen es sonst keinen Zugang zu Finanzdienstleistungen gibt, liefert Anlegern eine höhere soziale Rendite. In dem Forschungsprojekt wird ein Index konstruiert, der die soziale Rendite pro investiertem Euro misst. Die durchschnittliche Kredithöhe wird im Index nicht direkt berücksichtigt, sondern über die Anzahl der Mikrokreditnehmer dividiert durch den Gesamtwert der Vermögensgegenstände einer Mikrofinanzinstitution. Diese Kennzahl entspricht annähernd dem Kehrwert der durchschnittlichen Kredithöhe, da Mikrokredite in der Regel den mit Abstand größten Posten der Vermögensgegenstände darstellen. Auch die Anzahl der weiblichen und die Anzahl der ländlichen Kreditnehmer werden mit dem Wert der Vermögensgegenstände ins Verhältnis gesetzt und im Index berücksichtigt. Wie auch die finanzielle Rendite wird die soziale Rendite als risikobehaftete Größe modelliert. Dies spiegelt die durchaus realistische Tatsache wider, dass für einen Investor im Voraus nie völlig klar ist, welchen sozialen Nutzen die von ihm durch die Investition unterstützte Mikrofinanzinstitution am Ende tatsächlich spendet.

Abbildung [4] zeigt optimale Gewichte, die sich als Ergebnis des Modells ergeben. Ein Gewicht von 0,4 für eine Mikrofinanzinstitution bedeutet z. B., dass 40% des gesamten Anlagebetrages in diese investiert werden soll. Die Gewichte sind dabei

Mikrofinanzinstitution	1	2	3
finanzielle Rendite	5.12%	2.24%	1.23%
finanzielle Standardabweichung	6.45%	3.26%	25.18%
soziale Rendite	9.12%	5.41%	7.04%
soziale Standardabweichung	14.91%	8.26%	14.00%



4 Optimale Portfoliogewichte bei einer Investition in drei reale Mikrofinanzinstitutionen (A, B und C), welche beispielhaft ausgewählt wurden, um zu verdeutlichen, wie sich die Gewichte abhängig von den Präferenzen des Anlegers verändern. Für A, B und C wurden finanzielle und soziale Renditen, finanzielle und soziale Standardabweichungen sowie Korrelationen ermittelt und daraus die Gewichte berechnet. Der Parameter γ misst die Bedeutung der sozialen Rendite im Vergleich zur finanziellen Rendite, während α die Risikoeinstellung widerspiegelt. Je niedriger der Wert für α ist, desto risikoscheuer ist der Investor. Bei $\alpha = 0,05$ und niedrigen γ -Werten ist der Investor sehr risikoscheu und soziale Aspekte spielen bei seiner Anlageentscheidung kaum eine Rolle. Daher wird am meisten in B investiert, wo das geringste finanzielle Risiko auftritt. In C wird am wenigsten investiert, da dort das höchste finanzielle Risiko vorliegt. Erst mit steigenden γ -Werten wird mehr in C angelegt. Für hohe Werte von γ wird entsprechend des sozialen Risikos in A, B und C investiert. Bei $\alpha = 0,15$ ist der Investor weniger risikoscheu. Dies zeigt sich vor allem für niedrige Werte von γ , da hier nicht mehr der größte Anteil in B, die Mikrofinanzinstitution mit dem geringsten finanziellen Risiko, investiert wird, sondern in A, die Institution mit der höchsten finanziellen Rendite. Da C die niedrigste finanzielle Rendite bietet, wird am wenigsten in diese Mikrofinanzinstitution investiert.

stark von den Präferenzen der Anleger hinsichtlich sozialer Aspekte und deren Risikoeinstellung abhängig.

Ausblick

Investitionen in Mikrokredite haben in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Kleinstkredite sind allerdings weder ein Allheilmittel gegen Armut, noch generell für sämtliche armen Menschen die passende Finanzdienstleistung zur Verbesserung ihrer Lage. Für viele sind unter Umständen die Angebote Mikrosparen oder Mikroversicherungen, wie beispielsweise der Abschluss einer Krankenversicherung, hilfreicher als das Aufnehmen eines Kredits.

Viele Mikrofinanzinstitutionen agieren in einer Umgebung, in der keine mit westlichen Industrieländern vergleichbare Infrastruktur existiert. Aus diesem Grunde können Mikrokreditnehmer oftmals nur dann erfolgreich sein, wenn sie neben dem Kredit auch noch eine Schulung in finanziellem und betriebswirtschaftlichem Basiswissen erhalten. Viele Mikrofinanzinstitutionen bieten entsprechende Programme an.

Um verschiedene Probleme im Zusammenhang mit der Mikrokreditvergabe einzudämmen, ist es zudem erforderlich, Mikrofinanzinstitutionen weltweit besser zu regulieren. Zudem liegt auch bei den Investoren eine gewisse Verantwortung, darüber zu wachen, was mit ihrem Geld passiert. Investitionen, die aus entwickelten Ländern kommen, sind für bestimmte Pha-

sen im Lebenszyklus der Mikrofinanzinstitution sehr sinnvoll. Sie sollten aber auf lange Sicht durch Refinanzierung in lokaler Währung, etwa durch Spar-Einlagen, ergänzt oder ganz ersetzt werden.

Die finanzielle Nachhaltigkeit von Mikrofinanzinstitutionen ist grundsätzlich eine gute Sache. Dies schafft Vertrauen für Investoren, die für das weitere Wachstum der Institution wichtig sind. Mithilfe dieser Investoren können finanziell nachhaltige Mikrofinanzinstitutionen unabhängig vom Wohlwollen der Donatoren Gutes tun. Jedoch sollten Mikrofinanzinstitutionen aus Investorensicht nicht ausschließlich nach finanziellen Gesichtspunkten beurteilt werden. Kleine Kredite, große Rendite gilt nur dann, wenn Investoren auch die soziale Wirkung berücksichtigen.

Literatur

Gregor Dorfleitner, Michaela Leidl, Christopher Priberny, Microcredit as an asset class. Structured microfinance. In: Doris Köhn (Hrsg.), Mobilising capital for emerging markets. What can structured finance contribute? Berlin: Springer, 2011, S. 137–154.

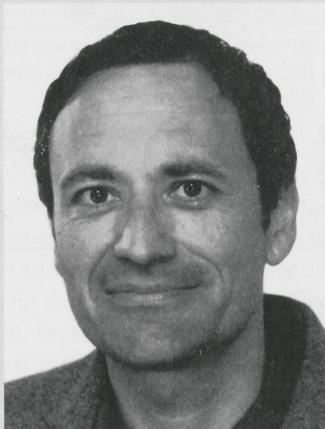
Gregor Dorfleitner, Michaela Leidl, Johannes Reeder, Theory of social returns in portfolio

choice with application to microfinance. Regensburger Diskussionsbeiträge zur Wirtschaftswissenschaft Nr. 455, 2011.

Gregor Dorfleitner, Jakob von Mosch, Explaining microcredit interest rates. An empirical investigation. Arbeitspapier an der Universität Regensburg, 2011.

Joanna Ledgerwood, Victoria White, Transforming microfinance institutions. Providing full financial services to the poor. Washington D.C.: World Bank Publishing, 2006.

Michaela Leidl, Gregor Dorfleitner, Investitionen in Mikrokredite. Die Entwicklung einer neuen Assetklasse. Saarbrücken: Verlag Dr. Müller, 2008.



Prof. Dr. **Gregor Dorfleitner**, geb. 1967 in Traunstein. Studium der Elektrotechnik an der Berufsakademie Ravensburg, Diplom 1990. Studium der Mathematik mit Nebenfach Betriebswirtschaftslehre an der Universität Augsburg, Diplom 1995. Ab 1996 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Augsburg, Promotion ebendort 1998 über Index-Futures, Habilitation in Betriebswirtschaftslehre 2003. Ab 2004 Professor an der Wirtschaftsuniversität Wien, ab 2005 Leiter der Abteilung (entspricht Lehrstuhl) für Financial Engineering und Derivate ebendort. 2007 Wechsel an die Universität Regensburg als Inhaber des Lehrstuhls für Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Finanzierung. Seit 2008 zusätzlich Leiter des Center of Finance ebendort, gleichzeitig bis 2010 Gastprofessor an der Wirtschaftsuniversität Wien. Seit 2010 als erster Deutscher Associate Researcher des Centre for European Research in Microfinance (CERMI) in Brüssel, der führenden europäischen Forschungseinrichtung auf dem Gebiet der Mikrofinanzierung.

Forschungsschwerpunkte: Quantitatives Risikomanagement, nachhaltiges Investment, Mikrofinanzierung, Kreditrisikomodelle, Unternehmensbewertung, Bewertung von Derivaten.



Dipl.-Kffr. **Michaela Leidl**, geb. 1984 in Deggendorf. Studium der Betriebswirtschaftslehre an der Universität Regensburg, Diplom 2008 (Christa-Lindner-Preis für Diplomarbeiten). 2009–2011 Graduiertenstipendiatin gemäß dem Bayerischen Elitförderungsgesetz. Seit 2011 wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Finanzierung.

Forschungsschwerpunkte: Mikrofinanzierung, nachhaltiges Investment.

E-CADEMIC
Das wissenschaftliche E-Book-Portal

www.e-cademic.de



Leidenschaft für Strom?

Premium-Zulieferer für die Transformatorenindustrie. Garant für zuverlässige Stromversorgung. Weltmarktführer. Das alles sagt nicht halb so viel über uns wie diese 3 Worte: Wir lieben Strom. Wir sind fasziniert von seinen Möglichkeiten und wir arbeiten am liebsten mit Menschen, die diese Faszination teilen. Talente fördern wir ganz individuell. Du kannst mit uns dynamisch und nachhaltig wachsen. Und du darfst dich bei einem Global Player mit familiärem Charakter auch wohlfühlen. Trotz permanenter Hochspannung.

Schon unter Strom? Dann bewirb dich beim Weltmarktführer für Stufenschalter unter www.leidenschaft-fuer-strom.de



Bildnachweis

Autorenfotos

Universität Regensburg, Referat Kommunikation, Susanne Goldbrunner: Susanne Goldbrunner: S. 10 (Julia Böttcher), S. 20 (Harald Garcke), S. 33 (Michael Melter, Thomas S. Weiß), S. 40 (Martin Ransberger), S. 46 (Gregor Dorfleitner, Michaela Leidl)

Alle übrigen Fotos:
Privatarchiv der Autoren

Von dummen Blondinen und jähzornigen Rothaarigen

- 1 Gaspard Isenmann (1430–1480), *Die Verhaftung Christi und der Kuss des Judas* (Ausschnitt), © Musée d'Unterlinden, Colmar
- 2 Johannes Baptista Porta: *Die Physiognomik des Menschen*, Radebeul/Dresden: Dr. Madaus, 1930, S. 327, 328, 332.
- 3 Luchino Visconti: *Der Leopard*. München: Süddeutsche Zeitung. Cinemathek, 2005, Min. 21'35.
- 4 <http://highplainsthifter.net/2010/05/page/2/>.
- 5 Coverbild von Natalia Ilyin: *Blonde like me. The Roots of the Blond Myth in Our Culture*, New York usw.: Touchstone, 2000 (eigenes Archiv).

Der Wald wie er im Buche steht

Walter Ziegler, Universität Regensburg

Kepler, Kristalle und Computer

- 1 Sternwarte Kremsmünster, Foto: P. Amand Kraml
- 2 http://de.wikipedia.org/wiki/Hexagonales_Kristallsystem
- 3 Max Wardetzky
- 4 Felix Finster
- 5 Wilson A. Bentley, <http://snowflake-bentley.com/WBsnowflakes.htm>
- 6 Kenneth G. Libbrecht
- 7–11 Fotografien (Kenneth G. Libbrecht), *Computersimulation* (John W. Barrett, Harald Garcke, Robert Nürnberg)
- 12 Robert Nürnberg
- 13 John W. Barrett, Harald Garcke, Robert Nürnberg
- 14 Rainer Schwab, Hochschule Karlsruhe
- 15–18 Britta Nestler, Harald Garcke
- 19 John W. Barrett, Harald Garcke, Robert Nürnberg

Die RNA Synthesemaschinerie von Archaeen

- 1–8 Archiv der Autoren

Krankheiten ohne Altersgrenzen

- 1–2 Darstellung der Verfasser
- 3 Fotos: Dr. Birgit Knoppke, Universitätsklinikum Regensburg

Optimieren wie die Weltmeister

- 1–5 Archiv der Autoren

Kleine Kredite, große Rendite?

- 1–4 Archiv der Autoren

Blick in die Wissenschaft – Bestellkarte

Bitte ausfüllen und einsenden oder kopieren und faxen an
(0941) 78785 16

Ja, ich möchte **Blick in die Wissenschaft**
ab Heft _____ / _____ bestellen!

Abonnement

Ich erhalte **Blick in die Wissenschaft** zweimal jährlich zum günstigen Abopreis von € 10,00 (statt € 14,00) zzgl. Versandkosten € 1,64 (Inland) pro Ausgabe. Ich spare damit ca. 28% gegenüber dem Bezug von Einzelheften.

Studentenabonnement

Ich bin Student/in und erhalte **Blick in die Wissenschaft** zweimal jährlich zum günstigen Abopreis von € 9,00 (statt € 14,00) zzgl. Versandkosten € 1,64 (Inland) pro Ausgabe. Ich spare damit ca. 35% gegenüber dem Bezug von Einzelheften. Eine Immatrikulationsbescheinigung lege ich bei.

Probeheft

Ich erhalte 1 Heft kostenlos. Wenn ich **Blick in die Wissenschaft** anschließend nicht weiterbeziehen möchte, teile ich Ihnen das innerhalb von 10 Tagen nach Erhalt der Ausgabe schriftlich mit. Wenn Sie nichts von mir hören, erhalte ich **Blick in die Wissenschaft** künftig zweimal pro Jahr zum Abopreis von € 10,00 (statt € 14,00) zzgl. Versandkosten € 1,64 (Inland) pro Ausgabe.

Absender/in

Name

Vorname

Straße

PLZ / Ort

Datum/Unterschrift ^x Bitte unbedingt hier unterschreiben

Widerrufsrecht: Ich bin darüber informiert, daß ich diese Bestellung innerhalb von 14 Tagen nach Absenden der Bestellkarte schriftlich beim Verlag widerrufen kann. Zur Wahrung der Frist genügt die rechtzeitige Absendung des Widerrufs. Dies bestätige ich mit meiner zweiten Unterschrift.

zweite Unterschrift ^x

Das Abonnement soll ein Geschenk sein. Bitte liefern Sie an

Name

Vorname

Straße

PLZ / Ort

Ja, ich möchte **Blick in die Wissenschaft**
ab Heft _____ / _____ bestellen!

Abonnement

Ich erhalte **Blick in die Wissenschaft** zweimal jährlich zum günstigen Abopreis von € 10,00 (statt € 14,00) zzgl. Versandkosten € 1,64 (Inland) pro Ausgabe. Ich spare damit ca. 28% gegenüber dem Bezug von Einzelheften.

Studentenabonnement

Ich bin Student/in und erhalte **Blick in die Wissenschaft** zweimal jährlich zum günstigen Abopreis von € 9,00 (statt € 14,00) zzgl. Versandkosten € 1,64 (Inland) pro Ausgabe. Ich spare damit ca. 35% gegenüber dem Bezug von Einzelheften. Eine Immatrikulationsbescheinigung lege ich bei.

Probeheft

Ich erhalte 1 Heft kostenlos. Wenn ich **Blick in die Wissenschaft** anschließend nicht weiterbeziehen möchte, teile ich Ihnen das innerhalb von 10 Tagen nach Erhalt der Ausgabe schriftlich mit. Wenn Sie nichts von mir hören, erhalte ich **Blick in die Wissenschaft** künftig zweimal pro Jahr zum Abopreis von € 10,00 (statt € 14,00) zzgl. Versandkosten € 1,64 (Inland) pro Ausgabe.

Absender/in

Name

Vorname

Straße

PLZ / Ort

Datum/Unterschrift ^x Bitte unbedingt hier unterschreiben

Widerrufsrecht: Ich bin darüber informiert, daß ich diese Bestellung innerhalb von 14 Tagen nach Absenden der Bestellkarte schriftlich beim Verlag widerrufen kann. Zur Wahrung der Frist genügt die rechtzeitige Absendung des Widerrufs. Dies bestätige ich mit meiner zweiten Unterschrift.

zweite Unterschrift ^x

Das Abonnement soll ein Geschenk sein. Bitte liefern Sie an

Name

Vorname

Straße

PLZ / Ort

Blick in die Wissenschaft



Forschungsmagazin der
Universität Regensburg

im Abonnement – Vorteile, die überzeugen:

- ✓ günstiger Abopreis (€ 10,00 statt € 14,00 für zwei Hefte im Jahr)
Sie sparen ca. 28% gegenüber dem Einzelbezug
- ✓ Sie versäumen keine Ausgabe
- ✓ Für Studierende noch günstiger (€ 9,00 für zwei Hefte im Jahr)



Entgelt
zahlt
Empfänger

Blick in die Wissenschaft



Forschungsmagazin der
Universität Regensburg

Antwort

Universitätsverlag Regensburg GmbH
Leibnizstraße 13

D-93055 Regensburg

Telefon: (09 41) 7 87 85-0

Telefax: (09 41) 7 87 85-16

E-Mail: bestellung@univerlag-regensburg.de

Internet: www.univerlag-regensburg.de



Entgelt
zahlt
Empfänger

Blick in die Wissenschaft



Forschungsmagazin der
Universität Regensburg

Antwort

Universitätsverlag Regensburg GmbH
Leibnizstraße 13

D-93055 Regensburg

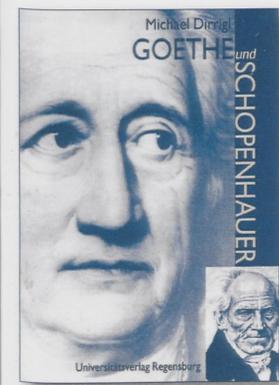
Telefon: (09 41) 7 87 85-0

Telefax: (09 41) 7 87 85-16

E-Mail: bestellung@univerlag-regensburg.de

Internet: www.univerlag-regensburg.de

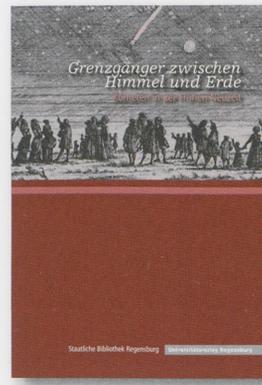
PHILOSOPHIE - THEOLOGIE



Michael Dirrigl
Goethe und Schopenhauer
 Mit zwei Exkursen: Giacomo Leopardi - August Graf von Platen-Hallermünde

210 Seiten, 17 x 24 cm, Broschur, klebegebunden

ISBN 978-3-930480-72-2
 früher ~~€ 32,-~~
 jetzt nur **€ 16,95**
 Nur noch wenige Exemplare vorrätig!



Staatliche Bibliothek Regensburg · Christoph Meinel · Bernhard Lübbers (Hrsg.)

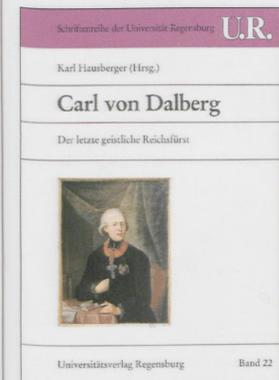
Grenzgänger zwischen Himmel und Erde

Kometen in der Frühen Neuzeit

148 Seiten, 38 s/w-Abbildungen, 17 x 24 cm, Broschur, fadengeheftet

ISBN 978-3-86845-037-8
€ 12,90

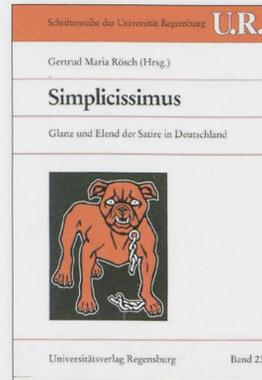
SPRACHEN - KULTUREN - GESCHICHTE



Karl Hausberger (Hrsg.)
Carl von Dalberg
 Der letzte geistliche Reichsfürst

224 Seiten, 27 s/w-Abbildungen, 17 x 24 cm, Broschur, klebegebunden

ISBN 978-3-930480-40-1
 früher ~~€ 15,-~~
 jetzt nur **€ 5,-**
 Nur noch wenige Exemplare vorrätig!



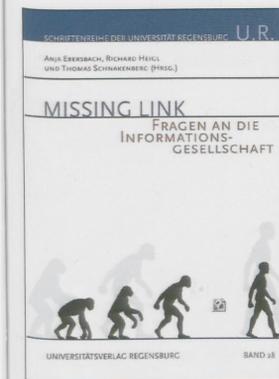
Gertrud Maria Rösch (Hrsg.)

Simplicissimus
 Glanz und Elend der Satire in Deutschland

216 Seiten, 34 s/w-Abbildungen, 17 x 24 cm, kartoniert

ISBN 978-3-930480-41-8
 früher ~~€ 22,90~~
 jetzt nur **€ 14,95**
 Nur noch wenige Exemplare vorrätig!

SOZIALWISSENSCHAFTEN - WIRTSCHAFT - RECHT

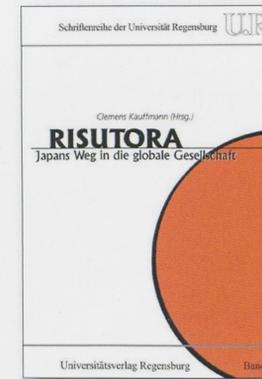


Anja Ebersbach · Richard Heigl (Hrsg.)

Missing Link
 Fragen an die Informationsgesellschaft

172 Seiten, 10 s/w-Abbildungen, 17 x 24 cm, Broschur, fadengeheftet

ISBN 978-3-930480-45-6
€ 22,90



Clemens Kaufmann (Hrsg.)

Risutora
 Japans Weg in die globale Gesellschaft

117 Seiten, 8 Diagramme und Tabellen, 17 x 24 cm, Broschur, fadengeheftet

ISBN 978-3-930480-44-9
 früher ~~€ 22,-~~
 jetzt nur **€ 12,95**
 Nur noch wenige Exemplare vorrätig!

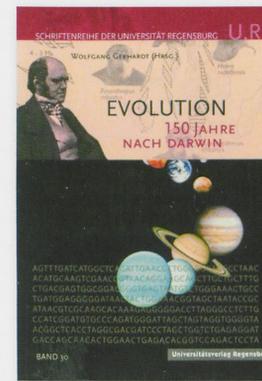
NATURWISSENSCHAFTEN - MATHEMATIK - MEDIZIN



Erwin Rutte
Land der neuen Steine
 Auf den Spuren einstiger Meteoriteneinschläge in Mittel- und Ostbayern

112 Seiten, 54 s/w-Abbildungen, 16,5 x 24 cm, Broschur, klebegebunden

ISBN 978-3-930480-77-7
 früher ~~€ 14,90~~
 jetzt nur **€ 9,95**
 Nur noch wenige Exemplare vorrätig!



Wolfgang Gebhardt (Hrsg.)

Evolution
 150 Jahre nach Darwin

156 Seiten, 13 Farb-, 25 s/w-Abbildungen, 11 Graphiken, 17 x 24 cm, Broschur, klebegebunden

ISBN 978-3-86845-003-3
€ 19,90

BMW
Werk Regensburg



www.bmw-werk-regensburg.de

Freude am Fahren!



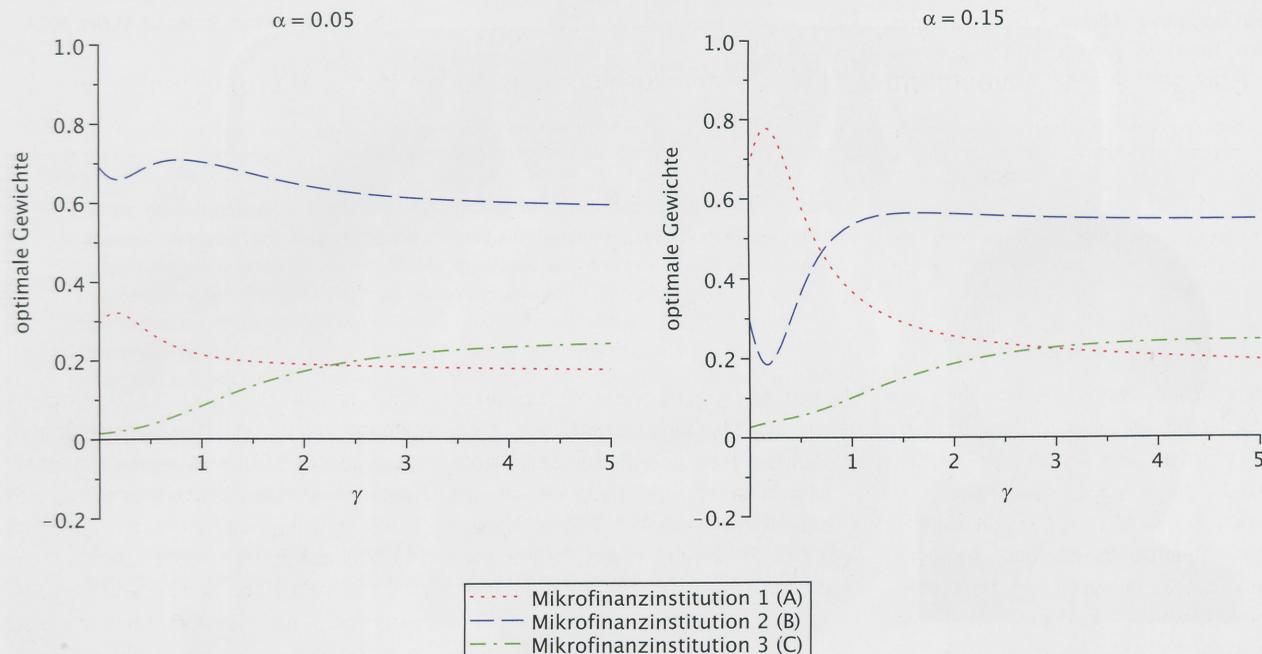
25 JAHRE TRAUMAUTOS AUS REGENSBURG.

Wir sind stolz auf unsere Leistung in den vergangenen 25 Jahren. Seit 1986 haben wir mehr als 4,5 Millionen Kunden auf der ganzen Welt Freude bereitet. Und täglich geben unsere 9.000 Mitarbeiter ihr Bestes, um weit über 1.000 neue Kundenwünsche zu erfüllen. Mit Investitionen von rund 3,5 Milliarden Euro ist das BMW Werk Regensburg maßgeblich am Erfolg des Wirtschaftsstandorts Oberpfalz beteiligt. Unser Engagement für Kunst und Kultur, Sport, Bildung, Umwelt sowie Soziales sorgt für eine hohe Lebensqualität der Menschen in der Region.

Besichtigen Sie unsere Produktion oder besuchen Sie uns im Internet unter www.bmw-werk-regensburg.de. Wir freuen uns auf Sie!

**DER NEUE BMW 1er -
GEBAUT IN REGENSBURG.**

Mikrofinanzinstitution	1	2	3
finanzielle Rendite	5.12%	2.24%	1.23%
finanzielle Standardabweichung	6.45%	3.26%	25.18%
soziale Rendite	9.12%	5.41%	7.04%
soziale Standardabweichung	14.91%	8.26%	14.00%



4 Optimale Portfoliogewichte bei einer Investition in drei reale Mikrofinanzinstitutionen (A, B und C), welche beispielhaft ausgewählt wurden, um zu verdeutlichen, wie sich die Gewichte abhängig von den Präferenzen des Anlegers verändern. Für A, B und C wurden finanzielle und soziale Renditen, finanzielle und soziale Standardabweichungen sowie Korrelationen ermittelt und daraus die Gewichte berechnet. Der Parameter γ misst die Bedeutung der sozialen Rendite im Vergleich zur finanziellen Rendite, während α die Risikoeinstellung widerspiegelt. Je niedriger der Wert für α ist, desto risikoscheuer ist der Investor. Bei $\alpha = 0,05$ und niedrigen γ -Werten ist der Investor sehr risikoscheu und soziale Aspekte spielen bei seiner Anlageentscheidung kaum eine Rolle. Daher wird am meisten in B investiert, wo das geringste finanzielle Risiko auftritt. In C wird am wenigsten investiert, da dort das höchste finanzielle Risiko vorliegt. Erst mit steigenden γ -Werten wird mehr in C angelegt. Für hohe Werte von γ wird entsprechend des sozialen Risikos in A, B und C investiert. Bei $\alpha = 0,15$ ist der Investor weniger risikoscheu. Dies zeigt sich vor allem für niedrige Werte von γ , da hier nicht mehr der größte Anteil in B, die Mikrofinanzinstitution mit dem geringsten finanziellen Risiko, investiert wird, sondern in A, die Institution mit der höchsten finanziellen Rendite. Da C die niedrigste finanzielle Rendite bietet, wird am wenigsten in diese Mikrofinanzinstitution investiert.

stark von den Präferenzen der Anleger hinsichtlich sozialer Aspekte und deren Risikoeinstellung abhängig.

Ausblick

Investitionen in Mikrokredite haben in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Kleinstkredite sind allerdings weder ein Allheilmittel gegen Armut, noch generell für sämtliche armen Menschen die passende Finanzdienstleistung zur Verbesserung ihrer Lage. Für viele sind unter Umständen die Angebote Mikrosparen oder Mikroversicherungen, wie beispielsweise der Abschluss einer Krankenversicherung, hilfreicher als das Aufnehmen eines Kredits.

Viele Mikrofinanzinstitutionen agieren in einer Umgebung, in der keine mit westlichen Industrieländern vergleichbare Infrastruktur existiert. Aus diesem Grunde können Mikrokreditnehmer oftmals nur dann erfolgreich sein, wenn sie neben dem Kredit auch noch eine Schulung in finanziellem und betriebswirtschaftlichem Basiswissen erhalten. Viele Mikrofinanzinstitutionen bieten entsprechende Programme an.

Um verschiedene Probleme im Zusammenhang mit der Mikrokreditvergabe einzudämmen, ist es zudem erforderlich, Mikrofinanzinstitutionen weltweit besser zu regulieren. Zudem liegt auch bei den Investoren eine gewisse Verantwortung, darüber zu wachen, was mit ihrem Geld passiert. Investitionen, die aus entwickelten Ländern kommen, sind für bestimmte Pha-

sen im Lebenszyklus der Mikrofinanzinstitution sehr sinnvoll. Sie sollten aber auf lange Sicht durch Refinanzierung in lokaler Währung, etwa durch Spar-Einlagen, ergänzt oder ganz ersetzt werden.

Die finanzielle Nachhaltigkeit von Mikrofinanzinstitutionen ist grundsätzlich eine gute Sache. Dies schafft Vertrauen für Investoren, die für das weitere Wachstum der Institution wichtig sind. Mithilfe dieser Investoren können finanziell nachhaltige Mikrofinanzinstitutionen unabhängig vom Wohlwollen der Donatoren Gutes tun. Jedoch sollten Mikrofinanzinstitutionen aus Investorensicht nicht ausschließlich nach finanziellen Gesichtspunkten beurteilt werden. Kleine Kredite, große Rendite gilt nur dann, wenn Investoren auch die soziale Wirkung berücksichtigen.

