



# Blick in die Wissenschaft | 29

Forschungsmagazin der Universität Regensburg

## Spin, Spin, Spin Around

Der Sonderforschungsbereich 689

## Nierenforschung in Regensburg

Was gibt es Neues vom Sonderforschungsbereich 699 ?

## Wahrnehmungslernen: Wie erlernt das Gehirn Neues?

Sehen lernen

## 100 Jahre Altheim

Ein jungneolithisches Grabenwerk in Niederbayern

## Digital Humanities: Buzzword oder Strukturwandel der Geisteswissenschaften?

Stand und Perspektiven anhand Regensburger Beispiele

Heft 29 | 23. Jahrgang 2014 | € 7,00 | ISSN 0942-928-X



229  
AZ  
28441  
-29

229/AZ 28441-29

# 15 Jahre BioPark Regensburg



## ERFOLGREICHES INNOVATIONSZENTRUM AN DER DONAU



Univ-Bibliothek  
Regensburg

### Gesundheitsbranche in Regensburg

- 1,4 Mrd. Euro Umsatz
- 15.500 Beschäftigte

### Cluster BioRegio Regensburg

- 48 Firmen (Lebenswissenschaften)
- 3.369 Beschäftigte

### BioPark Regensburg

- 36 Mieter
- 600 Beschäftigte
- auf 18.000 m<sup>2</sup> hochwertige Büros & Labore (S1&S2)
- flexible Mieteinheiten & Einzelbüros
- umfangreiche Technik & Service vor Ort
- persönliche Beratung und Atmosphäre
- unmittelbarer Autobahnanschluss
- direkt auf dem Uni-Campus (Infrastruktur)
- eigene Kindertagesstätte
- über 40 Firmengründungen seit 1999
- Hörsaal & Konferenzräume auch für Externe
- kurze Wege zu den wichtigsten Netzwerken
- aktives Standortmarketing

Mitglied von CLUSTER  
BIOTECHNOLOGIE  
BAYERN



UBR 069037857809



Ein Unternehmen der Stadt Regensburg

**BIO****PARK**  
REGENSBURG GMBH



**Blick in die Wissenschaft**

**Forschungsmagazin  
der Universität Regensburg**

ISSN 0942-928-X, Heft 29/23. Jahrgang

**Herausgeber**

Prof. Dr. Udo Hebel  
Präsident der Universität Regensburg  
und Prof. Dr. Christoph Wagner  
Vizepräsident für Netzwerke, Transfer und  
Öffentlichkeit 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

**Abonnementsservice**

Bastian Graf  
b.graf@univerlag-regensburg.de

**Anzeigenleitung**

Sabrina Hoffmann  
s.hoffmann@univerlag-regensburg.de

**Herstellung**

Universitätsverlag Regensburg GmbH  
info@univerlag-regensburg.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.

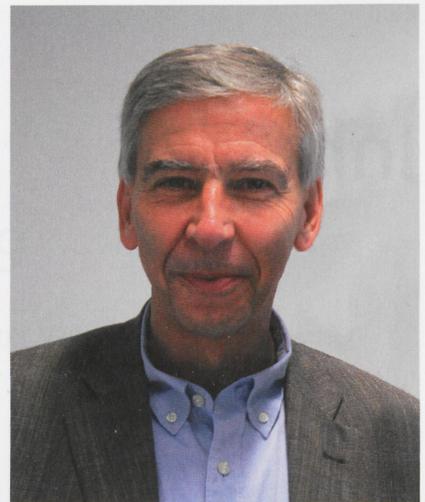
**Liebe Leserinnen und Leser,**

das Forschungsmagazin der Universität Regensburg unternimmt einmal mehr einen Gang durch die Vielfalt der Forschungsprojekte, die auf dem Campus aktuell verfolgt werden und sowohl auf die Stadt und die Region ausstrahlen, wie auch einen bedeutenden Beitrag zur nationalen und internationalen wissenschaftlichen Diskussion leisten. Die über längere Zeiträume bereits mit großem Erfolg vorangetriebenen Vorhaben stehen dabei neben neuen, noch im Entstehen begriffenen Initiativen.

Die Grundlagenforschung im Fachgebiet Physik spiegelt der Beitrag „Spin, Spin, Spin Around“ wider. Die starke Wechselwirkung zwischen der Bahn und dem Spin (Drehimpuls) der Elektronen führte zur Entdeckung der sogenannten topologischen Isolatoren, in denen das Innere isolierend und die Außenfläche leitfähig ist und die vor allem die Halbleitertechnologie zu revolutionieren versprechen. Der seit 2006 von der DFG geförderte Sonderforschungsbereich 689 „Spinphänomene in reduzierten Dimensionen“ zielt darauf ab, nicht nur das Zusammenspiel zwischen Spin und Ladung besser zu verstehen, sondern auch neue Funktionalitäten für die Anwendung zu erschließen, von der Rasterkraftmikroskopie über die Solarzelle bis hin zum Aufbau von Transistoren.

Die Lebenswissenschaften sind mit dem Beitrag „Nierenforschung in Regensburg“ vertreten. Der ebenfalls 2006 von der DFG eingerichtete Sonderforschungsbereich 699 „Strukturelle, physiologische und molekulare Grundlagen der Nierenfunktion“ bündelt verschiedene Fachkompetenzen, um das Verständnis der Pathophysiologie der Niere zu vertiefen und effizientere Therapien von Nierenkrankheiten zu ermöglichen. Untersucht werden hier sowohl die interzelluläre Kommunikation der Niere und die kompensatorische Nierenhypertrophie, etwa im Zuge der Nierenentnahme für eine Nierentransplantation, als auch genetisch bedingte Störungen der Niere und Nierenfibrose.

Die Brücke zwischen den Natur- und den Kulturwissenschaften schlägt mit seiner kognitionswissenschaftlichen Schwerpunktsetzung der Beitrag „Wahrnehmungslernen: Wie erlernt das Gehirn Neues?“ Der seit dem Jahr 2008 bestehende interdisziplinäre Forschungsverbund „Sehen und Verstehen“ hat die Erforschung des menschlichen Sehens im Fokus. Jede Beschäftigung mit der Wahrnehmung berücksichtigt heute immer auch die Ergebnisse der Hirnforschung, wie



sie in die Untersuchung der menschlichen Lernfähigkeit exemplarisch eingebunden werden.

Zurück in die jüngere Steinzeit verweist der Beitrag „100 Jahre Altheim – Ein jungneolithisches Grabenwerk in Niederbayern“ aus dem Fachbereich Vor- und Frühgeschichte. Die im Sommer 2013 im Erdwerk von Altheim (nordöstlich von Landshut) durchgeführten Grabungen untersuchen ein rätselhaftes prähistorisches Denkmal und einen offenbar zentralen Ort für die Region, welcher in seinen tatsächlichen Funktionen bis heute nicht mit letzter Gültigkeit erschlossen werden konnte.

Dagegen blickt der Beitrag „Digital Humanities: Buzzword oder Strukturwandel der Geisteswissenschaften?“ in die nähere und fernere Zukunft. Vorgestellt werden einige ausgewählte Digital Humanities-Projekte, deren thematisch überaus breites Spektrum von der Visualisierung von Shakespeare-Dramen über die Analyse von Tatort-Tweets bis hin zur 3D-Rekonstruktion des Regensburger Ballhauses am Ägidienplatz und zum Crowdsourcing von Streetart-Bildern im Großraum Regensburg reicht.

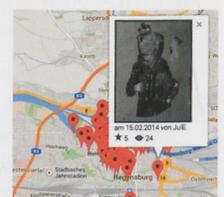
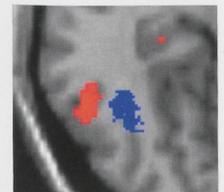
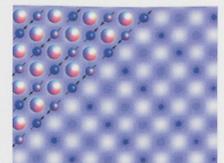
Ich danke allen Autorinnen und Autoren für ihre Beiträge, Frau Dr. Andrea Richter vom Lehrstuhl für Kunstgeschichte und Frau Elisabet Petersen M.A. vom Universitätsverlag für das Lektorat, Herrn Gerald Dagit M.A. (Lehrstuhl für Kunstgeschichte) für die redaktionelle Betreuung des Satzes sowie allen voran Herrn Vizepräsidenten Prof. Dr. Christoph Wagner für die Gesamtkoordination. Allen Leserinnen und Lesern von „Blick in die Wissenschaft“ wünsche ich eine erkenntnisreiche Lektüre.

Prof. Dr. Udo Hebel  
Präsident der Universität Regensburg

G14

# Inhalt

- |  |    |   |
|--|----|---|
| <b>Physik</b>  | 3  | <p><b>Spin, Spin, Spin Around</b><br/>         Der Sonderforschungsbereich 689<br/> <i>Christian Back, Jaroslav Fabian,<br/>         Franz Giessibl, Klaus Richter<br/>         und Dieter Weiss</i></p>  |
| <b>Biologie und vorklinische Medizin</b>                             | 12 | <p><b>Nierenforschung in Regensburg</b><br/>         Was gibt es Neues<br/>         vom Sonderforschungsbereich 699 ?<br/> <i>Armin Kurtz, Matthias Mack,<br/>         Markus Reichold, Jörg Reinders,<br/>         Frank Schweda, Charlotte Wagner<br/>         und Ralph Witzgall</i></p> |
| <b>Psychologie</b>   | 22 | <p><b>Wahrnehmungslernen:<br/>         Wie erlernt das Gehirn Neues?</b><br/>         Sehen lernen<br/> <i>Mark W. Greenlee, Katharina Rosengarth,<br/>         Markus Goldhacker, Sebastian M. Frank,<br/>         Tina Plank</i></p>  |
| <b>Vor- und Frühgeschichte</b>                                       | 29 | <p><b>100 Jahre Altheim</b><br/>         Ein jungneolithisches Grabenwerk<br/>         in Niederbayern<br/> <i>Thomas Saile</i></p>   |
| <b>Fakultät für Sprach-,<br/>Literatur- und Kulturwissenschaften</b> | 39 | <p><b>Digital Humanities:<br/>         Buzzword oder Strukturwandel<br/>         der Geisteswissenschaften?</b><br/>         Stand und Perspektiven<br/>         anhand Regensburger Beispiele<br/> <i>Manuel Burghardt, Christian Wolff</i></p>  |



# Spin, Spin, Spin Around

## Der Sonderforschungsbereich 689

Christian Back, Jaroslav Fabian, Franz Giessibl, Klaus Richter und Dieter Weiss

### Der Sonderforschungsbereich 689 zum Thema „Spinphänomene in reduzierten Dimensionen“

wird seit 2006 von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert. Derzeit sind 23 Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen als Projektleiter am SFB beteiligt, davon 22 Mitglieder der Fakultät Physik der Universität Regensburg und ein Kollege der LMU München. Der Sonderforschungsbereich ist in insgesamt 17 Einzelprojekte untergliedert, in deren Rahmen derzeit 7 Postdocs und 23 Promovierende finanziert werden. Der SFB 689 wurde zuletzt 2013 von der DFG begutachtet und um weitere vier Jahre verlängert.

Jedes Elektron trägt neben der Elementarladung auch einen Drehimpuls, der Spin genannt wird. Der Name leitet sich vom englischen Wort *spin* ab, das mit Drehung oder Drall übersetzt werden kann und die klassische Vorstellung verkörpert, dass sich das Elektron, wie ein Eiskunstläufer bei einer Pirouette, um die eigene Achse dreht und dass diese Bewegung mit einem Drehimpuls verknüpft ist. Allerdings ist der Spin eines Elektrons (und auch der anderer Elementarteilchen) nur im Rahmen einer mit der Relativitätstheorie kompatiblen Quantenmechanik zu begründen. Der Spin des Elektrons ist weiterhin mit einem magnetischen Moment  $\mu_B$  verknüpft und hat damit ähnliche Eigenschaften wie ein miniaturisierter Stabmagnet mit Nord- und Südpol. Der Spin kann daher in einem Magnetfeld, das z. B. in die z-Richtung zeigt, aufgrund seiner Quanteneigenschaften nur zwei Einstellmöglichkeiten annehmen, nämlich in oder entgegengesetzt zur Richtung des angelegten Magnetfelds. Man spricht dann von *Spin-up* (parallel) und *Spin-down* (anti-parallel) Elektronen. Die Größe der Elektronenspins ist quantisiert und beträgt  $\frac{1}{2} \hbar$ , wobei  $\hbar$  das (reduzierte) Plancksche Wirkungsquantum ist. Die Größe des ma-

gnetischen Momentes ist wie der Drehimpuls quantisiert und wird durch das Bohrsche Magneton beschrieben, welches, wie das Plancksche Wirkungsquantum, eine Naturkonstante ist. Der Elektronenspin und das damit assoziierte magnetische Moment sind für die magnetischen Eigenschaften vieler Materialien verantwortlich, unter anderem für die ferromagnetischen Eigenschaften von Materie. Ferromagnete werden in vielen Bereichen des täglichen Lebens eingesetzt, sei es im Kompass, als Magnet am Kühlschrank oder als Speichermedium in der Festplatte eines Computers.

Obwohl Elementarladung und Spin untrennbar miteinander verknüpft sind, waren Elektronik, welche ausschließlich die elektrische Ladung nutzt, und Magnetismus weitgehend disjunkte Gebiete. Die Ladung des Elektrons wird in elektronischen Bauelementen, wie z. B. Transistoren, genutzt, um logische Operationen durchzuführen, wohingegen der Spin der Elektronen, z. B. in magnetischen Festplatten, zur Datenspeicherung eingesetzt wird. Die Entdeckung des Riesenmagnetowiderstandes Ende der 1980er Jahre hat die Verschmelzung der beiden Bereiche beflügelt

und ein neues Arbeitsgebiet eröffnet, das als Magnetoelektronik, Spinelektronik oder kurz als Spintronik bezeichnet wird. Weiteren Auftrieb bekam das Gebiet durch die Entdeckung, dass auch konventionelle Halbleitermaterialien wie Galliumarsenid (GaAs), das vor allem in optoelektronischen Bauelementen wie Halbleiterlasern und Leuchtdioden eingesetzt wird, durch die Zugabe geeigneter Elemente wie Mangan ferromagnetisch werden können. Zwischenzeitlich wird das Zusammenspiel von Spin und Elementarladung nicht nur in Halbleitern, sondern auch in vielen Materialsystemen wie zum Beispiel Graphen (eine atomlagendicke Schicht aus Kohlenstoff), Kohlenstoffnanoröhren, organischen Halbleitern und selbst an einzelnen Molekülen erforscht. Auf diesem Gebiet ist der Sonderforschungsbereich 689 mit dem Titel „Spinphänomene in reduzierten Dimensionen“ angesiedelt, an dem 22 WissenschaftlerInnen der Fakultät für Physik der Universität Regensburg als Projektleiter beteiligt sind. Da eine Darstellung aller Projekte und Ergebnisse den Rahmen dieses Artikels sprengen würde, sind im Folgenden vier charakteristische Resultate unserer Arbeit exemplarisch herausgegriffen.

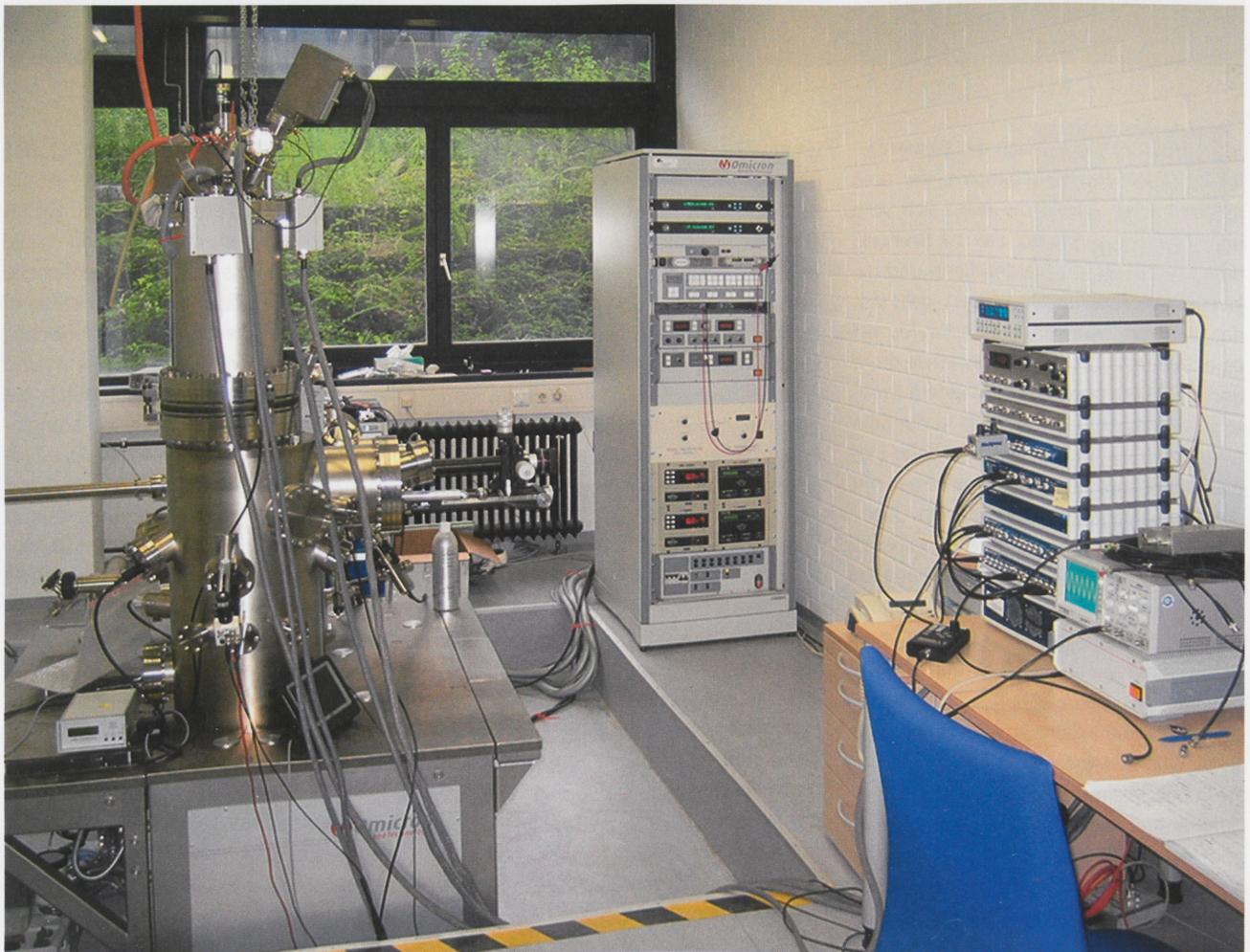
## Antiferromagnetismus auf atomarer Skala

Ferromagnetismus bedeutet, dass benachbarte Spins parallel zueinander, Antiferromagnetismus, dass benachbarte Spins einander entgegengesetzt ausgerichtet sind. Dafür verantwortlich ist ein nur quantenmechanisch verständlicher Mechanismus, die sogenannte Austausch-Wechselwirkung (WW). Diese Austausch-WW kann man sich als Kraft vorstellen, welche die Spins dazu zwingt, sich parallel bzw. anti-parallel auszurichten. Im Rahmen dieses Projektes ist es erstmals gelungen, diese mit der Austausch-WW verknüpfte Kraft atomar aufgelöst zu messen, ohne ein äußeres Magnetfeld anzulegen. Für diese Experimente wurde ein Rasterkraftmikroskop eingesetzt. Rasterkraftmikroskope tasten Oberflächen mit im Idealfall atomarer Auflösung ab. Dazu muss man zunächst in der Lage sein, atomar saubere Oberflächen herzustellen. Oberflächen an Umgebungs-

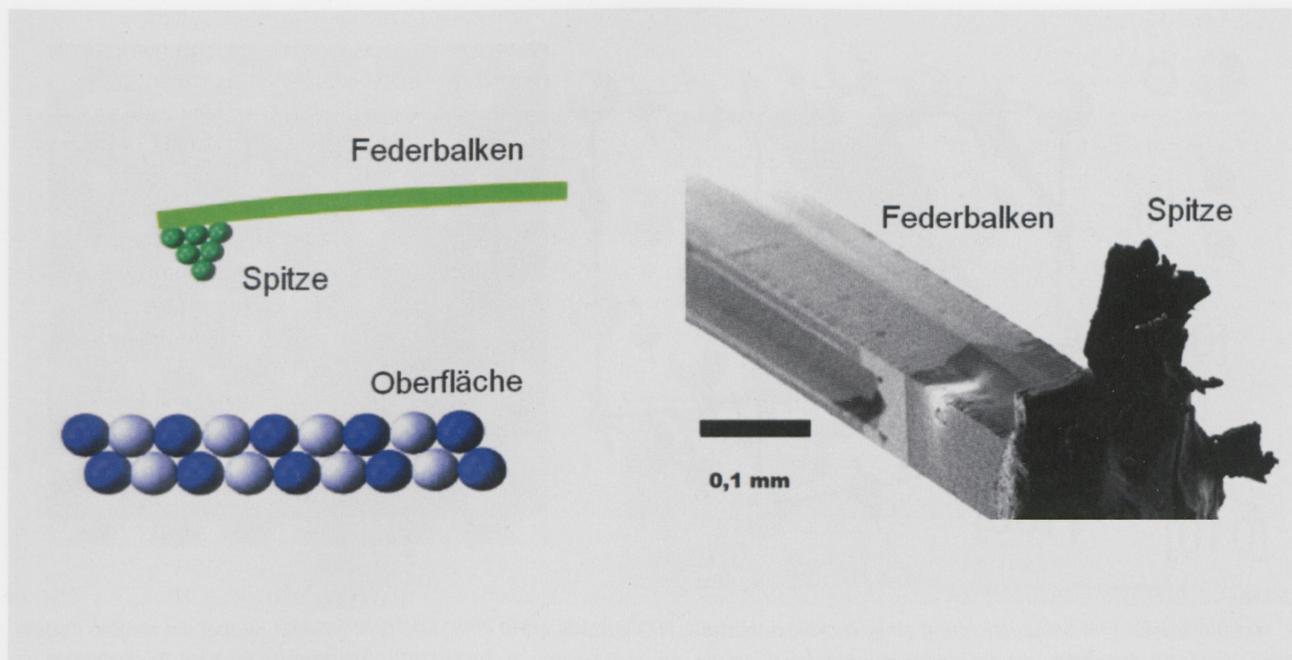
luft sind stets von einem Adsorbatfilm bedeckt. Dieser Film kann alle Luftbestandteile, Staubteilchen, Kohlenwasserstoffe usw. enthalten. Wenn man etwa einen Kochsalzkristall mit einer Rasierklinge in zwei Hälften spaltet, dauert es nur etwa eine Milliardstel Sekunde (also eine Nanosekunde), bis die im Moment des Spaltens sauberen Oberflächen eine Atomlage „Schmutz“ aufweisen. Eine Ultrahochvakuumkammer [1] erlaubt es, Oberflächen für lange Zeiten sauber zu halten. In unserer Atmosphäre beträgt die Dichte der Gasteilchen etwa ein Tausendstel der maximal möglichen Dichte, aufgrund der drei Raumdimensionen enthält ein Würfel mit der Kantenlänge eines zehnfachen Atomdurchmessers etwa ein Gasteilchen. Würde man etwa ein Atom auf die Größe eines Apfels „aufblasen“, so befände sich in einem Würfel der Kantenlänge 70 cm im Mittel ein Atom (bei einem Apfeldurchmesser von 7 cm). Im Ultrahochvakuum müsste der Würfel eine Seitenlänge von etwa 30 km haben, um im Mittel einen Apfel (als

Atommodell) zu enthalten. Derart reine Umgebungen lassen sich nur mit aufwändigen Pumpen erzeugen. Außerdem benötigt man sehr tiefe Temperaturen, um die winzigen Kräfte, die durch Elektronenspins verursacht werden, messen zu können. Das Innere der Ultrahochvakuumkammer ist auf  $-269^{\circ}\text{C}$  abgekühlt. Die Kühlung erfolgt durch flüssiges Helium, welches in der Fakultät für Physik der Universität Regensburg durch eine Heliumverflüssigungsanlage gewonnen wird.

In dieser Anlage wurde in der Gruppe um Franz Giessibl Nickeloxid untersucht. Nickeloxid ist ein Antiferromagnet, bei dem die Gesamtspins (Spins aller Elektronen im Atom) benachbarter Nickelionen entgegengesetzt ausgerichtet sind. Die Nickeloxidproben werden in der Vakuumkammer gespalten, um eine saubere und glatte Oberfläche ohne angelagerte Gas- oder Wassermoleküle zu erhalten. Dann wird die Oberfläche durch die Sonde des Rasterkraftmikroskops abgetastet. Diese Sonde besteht aus einer von zwei Zinken



1 Tieftemperatur-Ultrahochvakuumanlage (links) mit eingebautem Rasterkraftmikroskop, Pumpensteuerung (hinten) und Mikroskop-Steuerelektronik (rechts).



**2a** Prinzip der Frequenzmodulations-Rasterkraftmikroskopie: ein Federbalken mit einer scharfen Spitze schwingt nahe an der Oberfläche der zu untersuchenden Probe. Die Kräfte, die zwischen Spitze und Probe wirken, verursachen eine Frequenzänderung des Balkens und können so mit höchster Präzision gemessen werden.

**2b** Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der frei schwingenden Zinke eines Quarz-Kraftsensors. Am Ende (unten Mitte) befindet sich eine aufgeklebte Spitze aus ferromagnetischem Material, hier dem kräftigen Permanentmagneten Samarium-Kobalt.

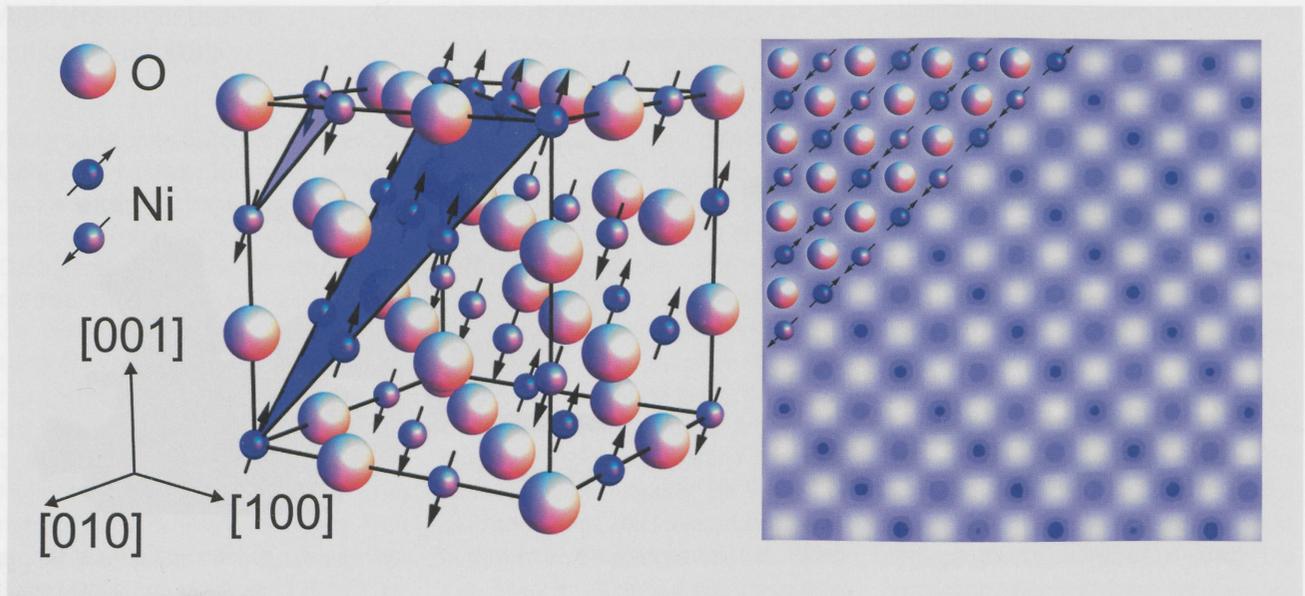
einer Quarzstimmgabel, wie sie in handelsüblichen Quarzuhren verwendet werden. Eine Zinke der Stimmgabel wird festgeklebt, die andere trägt eine magnetische Spitze und kann frei schwingen. Diese Spitze schwingt mit einer Schwingungsweite von deutlich weniger als einem Atomdurchmesser und spürt durch die Veränderung der Schwingungsfrequenz die wirkenden Kräfte.

Das Prinzip der Rasterkraftmikroskopie ist in [2a] gezeigt. Um magnetische Austauschkräfte messen zu können, ist eine Präzision besser als ein Piconewton erforderlich, also ein Millionstel eines Millionsfels der Gewichtskraft einer Tafel Schokolade. Diese Präzision lässt sich nur schwer durch die direkte Biegung eines Federbalkens erreichen. Weit präziser ist es, den Balken in Schwingungen zu versetzen und seine Frequenzänderung zu messen. Von allen physikalischen Größen lassen sich Frequenzen mit Abstand am präzisesten messen. Die hier verwendeten Federbalken gehen auf die Stimmgabeln aus Quarzuhren zurück, damit lässt sich die nötige Präzision mit relativ geringem Aufwand erreichen. Für die Messungen der Austauschkraft wurden für dieses Experiment Spitzen aus dem hartmagnetischen Material Samarium-Kobalt (SmCo) hergestellt. [2b]

Abbildung [3] zeigt das Bild, das der Sensor aus Abbildung [2] von der Nickeloxidoberfläche erzeugt. Der unterschiedliche Kontrast benachbarter blauer Punktzeilen zeigt, dass jedes zweite Nickelatom tiefer zu liegen scheint als der jeweils direkte Nachbar. Der Grund liegt in dem entgegengesetzten Spin der Elektronen zweier Nickelatome. Der scheinbare Höhenunterschied, der ein Maß für die Austauschkraft ist, beträgt lediglich einen Pikometer, also ein Milliardstel eines Millimeters – hohe Präzision ist also erforderlich. Die Rasterkraftmikroskopie erlaubt aber nicht nur die Abbildung von Oberflächen, sondern auch den Bau von Strukturen auf Oberflächen aus einzelnen Atomen. Die Atome können durch die Abtastspitze auf der Oberfläche an einen Ort freier Wahl verschoben werden. Interessant wäre hier der Bau von kleinstmöglichen Speicherelementen oder sogar Qbits, sogenannten Quantenbits – das sind quantenmechanische Speicherelemente, die nicht nur Null und Eins als Schaltzustände kennen. Viele der Ziele sind derzeit Zukunftsmusik, die Fortschritte in den letzten Jahren lassen allerdings hoffen, dass zum Ende der Förderperiode des Sonderforschungsbereiches wichtige weitere Schritte in diese Richtung erreicht sein werden.

## Die Spin-Solarzelle

Eine der großen Herausforderungen für die Bereitstellung von sinnvollen Elektronikbauteilen, die auch den Spinfreiheitsgrad ausnutzen können, ist die Verbindung von Halbleitermaterialien, wie z. B. Silizium oder Galliumarsenid, mit Materialien, die auch bei Temperaturen deutlich oberhalb der Raumtemperatur ferromagnetische Ordnung aufweisen. Ziel ist es hier, aus ferromagnetischen Injektorelektroden Elektronen mit definierter und kontrollierbarer Spinausrichtung in Halbleiter zu injizieren. Die Elektronenspins sollen dann im Halbleitermaterial transportiert und manipuliert werden und schließlich in einer Detektorelektrode nachgewiesen werden. Die rein elektrische Injektion und Detektion der Spins hat sich in den letzten Jahren als sehr schwierig herausgestellt, so dass auch alternative Methoden der Spininjektion untersucht werden. Eine seit langem bekannte Methode der Herstellung einer Spinpopulation im Halbleiter ist das sogenannte optische Pumpen. Bei dieser Methode wird ein spezieller Halbleiter (z. B. Galliumarsenid) mit Licht einer wohl definierten Polarisation (rechts- oder linkszirkular) und wohldefinierter Photonenenergie (in der Nähe der Bandlücke) beleuchtet, um



**3** Kristallstruktur und Spinausrichtung eines Nickeloxidkristalls. NiO kristallisiert in einer Kochsalz-Struktur, wobei die weißen Kugeln den O-Ionen entsprechen und die blauen Kugeln den Ni-Ionen. (rechts) Austausch-Rasterkraftmikroskopieaufnahme der NiO(001) Oberfläche, d.h. der Deckfläche des linken Würfels. Jede zweite Ni-Ionenreihe zeigt einen etwas schwächeren Kontrast und scheint etwa einen Pikometer tiefer zu liegen als die benachbarte Ni-Reihe. Dies liegt an der unterschiedlichen Spinausrichtung, welche zu einer kleinen Änderung in der Spitzen-Proben-Wechselwirkung führt. Die Differenz in der Austauschkraft kann so direkt gemessen werden.

spinpolarisierte Elektronen optisch zu erzeugen. Die Methode funktioniert aber leider nur bei einer gewissen Auswahl an Halbleitern und zum Beispiel nicht in den technologisch wichtigen Halbleitern Silizium und Germanium.

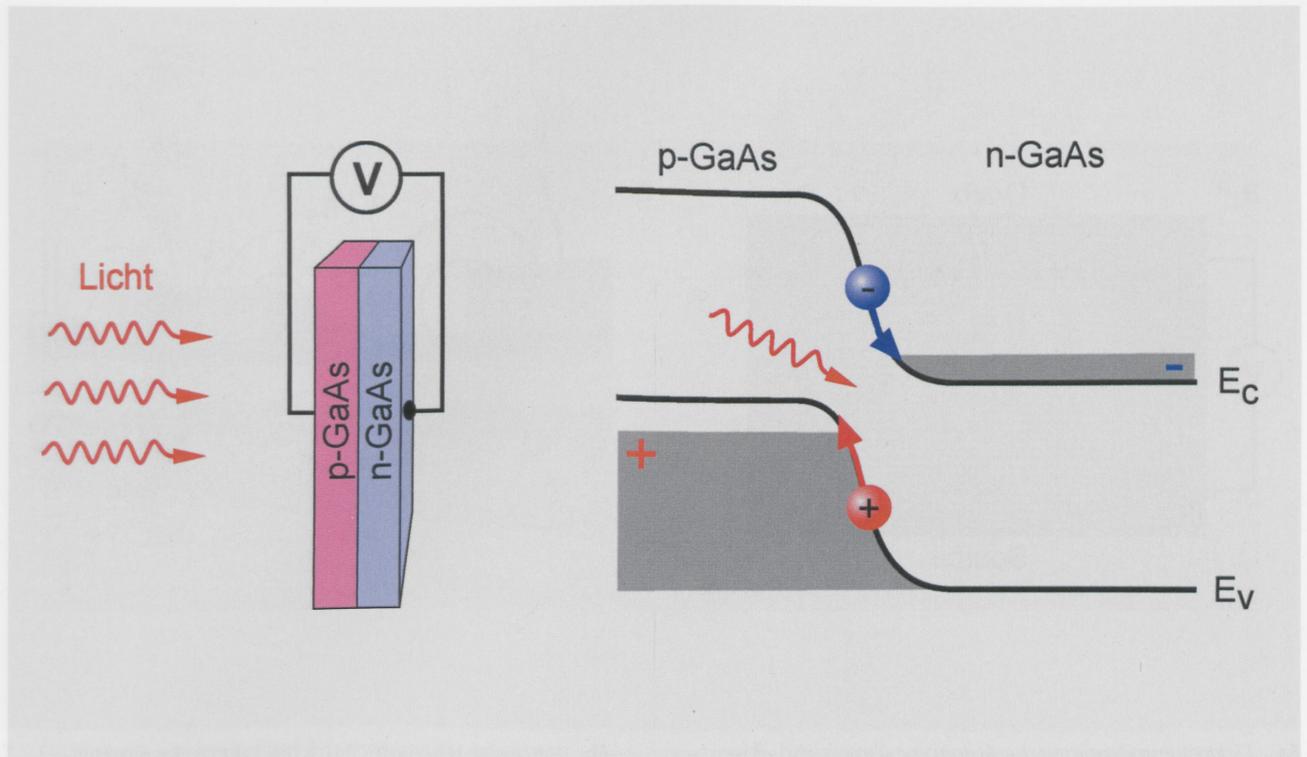
Ein bekanntes Bauelement, das verwendet wird um Ladungsträger in Halbleitern zu generieren, ist die Solarzelle. In ihrer einfachsten Bauart, skizziert in [4], wird ein sogenannter p-n-Übergangsbereich beleuchtet, also ein Übergang zwischen einem Halbleiter, bei dem Elektronen für den Ladungstransport verantwortlich sind (n-Leiter) und einem Halbleiter, bei dem fehlende Elektronen, die Löcher, für den Ladungstransport verantwortlich sind (p-Leiter). Durch Einstrahlen von Licht, dessen Photonenenergie größer ist als die Bandlücke des Halbleiters, werden Elektron-Loch-Paare generiert und im Bereich des p-n-Übergangs separiert. Der so entstandene Ladungsstrom wird in herkömmlichen Solarzellen ausgenutzt. In den Arbeitsgruppen um Christian Back, Dieter Weiss und Dominique Bougeard wurde die herkömmliche Solarzelle insofern abgewandelt, als der p-dotierte Bereich durch den ferromagnetischen Halbleiter (Ga,Mn)As ersetzt wurde [5]. In diesem Material sind ebenfalls Löcher für den Ladungstransport verantwortlich (p-Halbleiter), zusätzlich tragen die Löcher aber auch eine hohe

Spinpolarisation, da das Material ferromagnetisch geordnet ist. Wird nun der p-n-Übergang beleuchtet, kommt es wieder zur Trennung der Ladungsträger. In der speziellen Solarzelle, die in den Experimenten verwendet wurde, ist der Übergangsbereich so dünn, so dass einige Ladungsträger aus dem n-Bereich wieder zurück tunneln können. Da bei diesem Tunnelprozess in einen Ferromagneten eine Spinausrichtung bevorzugt wird, bleibt eine Elektronendichte mit hoher Spinpolarisation auf der n-Seite zurück. Die erfreuliche Neuigkeit an dieser Vorgehensweise ist, dass weder definierte Photonenenergien noch speziell polarisiertes Licht notwendig sind, um eine Spinpolarisation im n-Halbleiter zu erzeugen. Damit sollte dieses Konzept auch auf die technologisch wichtigen Halbleiter Silizium und Germanium übertragbar sein.

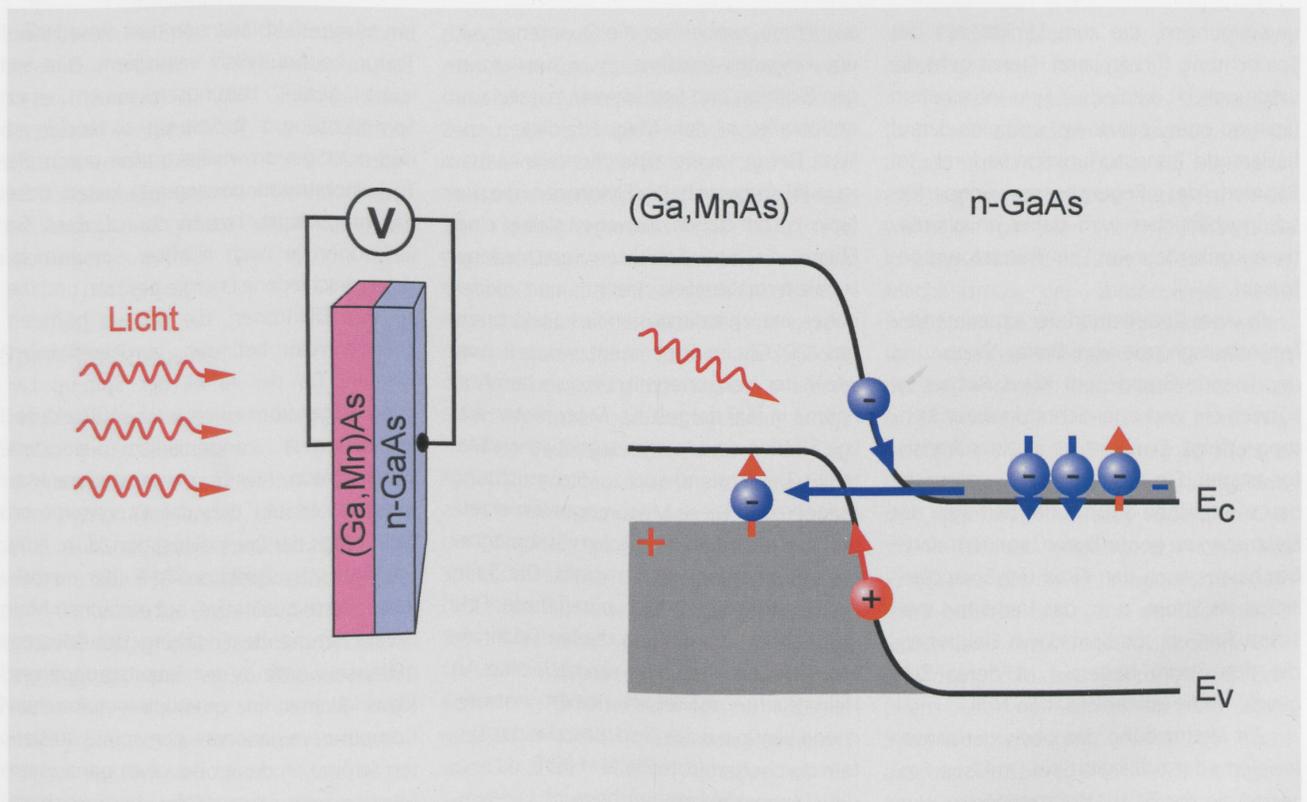
### Spin-Transistoren

Die Basis heutiger konventioneller Elektronik bilden Transistoren. Diese inzwischen extrem miniaturisierten und auf Chips integrierten Bauelemente beruhen darauf, dass ein elektrischer Strom von Elektronen durch elektrische Felder an- und ausgeschaltet werden kann; die Regelung des Ladungsflusses geschieht dabei durch eine

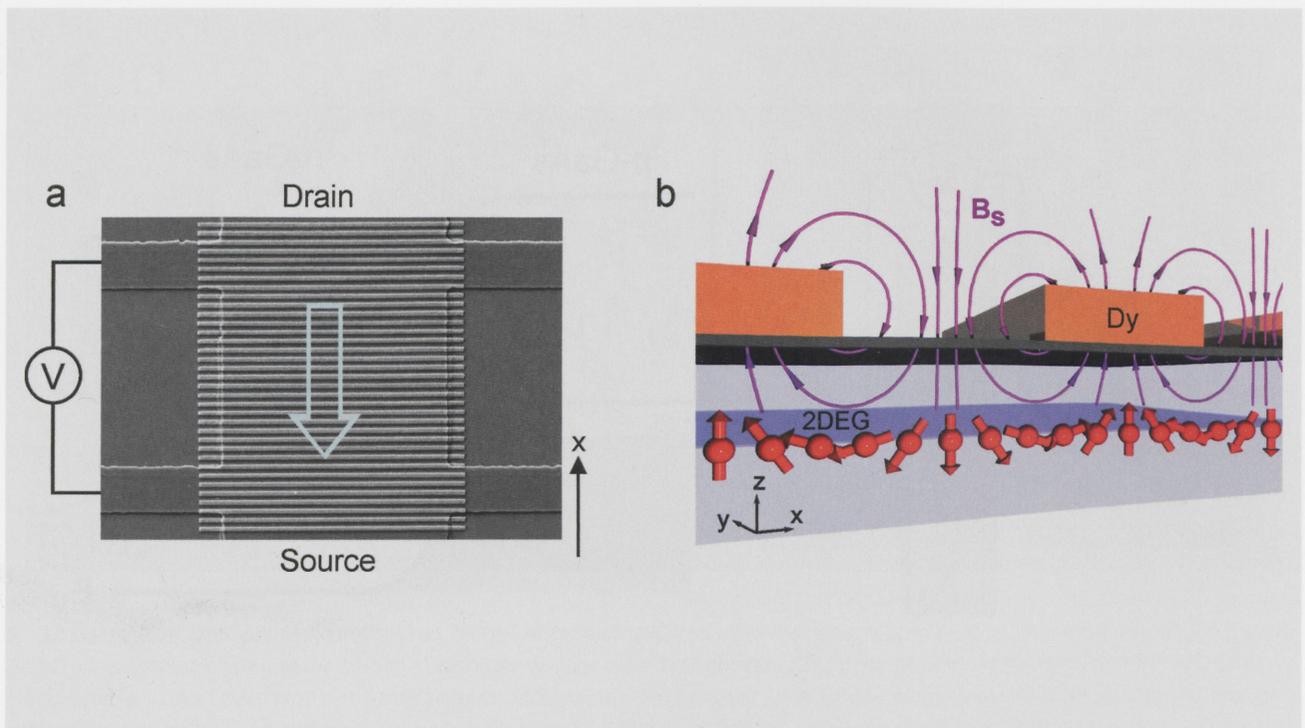
Spannung, die an eine Gate-Elektrode angelegt wird. In der Spin-Elektronik geht es, wie oben erwähnt, nun darum, neben der Ladung insbesondere den Spin der Elektronen auszunutzen. Mit Blick auf die zentrale Bedeutung von Transistoren in der herkömmlichen Elektronik stellt sich die naheliegende Frage, ob man den elektrischen Strom auch in Transistor-artigen Strukturen mit Hilfe des Elektronenspins kontrollieren kann; beispielsweise dadurch, dass polarisierte Elektronen mit Spin-up durchgelassen werden und Spin-down Elektronen blockiert werden. Ein solches Konzept erfordert jedoch drei Zutaten: die Erzeugung spinpolarisierter Ladungsträger, die Verwendung von Materialien, in denen ein spinpolarisierter Strom seine Polarisation beibehält, und schließlich Möglichkeiten der gezielten Kontrolle der Spinausrichtung und damit verbundener Ströme. Während die Generierung spinpolarisierter Ladungsträger mit Hilfe von Magnetfeldern (beispielsweise in Ferromagneten) Usus ist, leiden frühere Vorschläge für Spintransistoren am gleichzeitigen Erfüllen der anderen beiden Grundvoraussetzungen: In den Halbleiter-Materialien, in denen eine Spin-Kontrolle mit Hilfe von angelegten Spannungen im Prinzip möglich ist, verlieren selbst in sehr reinen Materialien die Elektronen zu schnell ihre Spinpolarisation aufgrund von Streuung an verbleibenden Ver-



4 Schemazeichnung einer Solarzelle auf Basis eines p-n-Übergangs aus dem Halbleitermaterial Galliumarsenid. Der p-dotierte Bereich befindet sich auf der linken Seite, der n-dotierte Bereich auf der rechten Seite. Durch Beleuchten des Übergangs werden durch Absorption von Licht mit Photonenenergie oberhalb der Bandlücke Elektronen-Loch-Paare erzeugt, indem Elektronen in energetisch höher liegenden Niveaus angeregt werden (blaue Kugel) und Löcher (rote Kugel) zurück bleiben. Im Bereich des Übergangs werden Elektronen und Löcher getrennt, d.h. Elektronen laufen nach rechts und Löcher nach links, so dass sich eine elektrische Spannung aufbaut.



5 Schemazeichnung der Spin-Solarzelle auf Basis eines p-n-Übergangs aus dem Halbleitermaterial Galliumarsenid und dem ferromagnetischen Halbleiter Galliummanganarsenid. Ein Tunnelstrom (angedeutet durch den blauen Pfeil) führt zu einer hohen Spinpolarisation im Halbleiter.



**6a** Elektronenmikroskopische Aufnahme (Draufsicht) einer quasi-zweidimensionalen Halbleiterstruktur (Cadmium-Mangan-Tellurid), auf die quer zur (Spin-)Stromrichtung mikromagnetische Streifen (aus Dysprosium) aufgebracht sind. Der Pfeil illustriert die Richtung des Stromflusses.

**6b** Vertikaler schematischer Schnitt durch die Struktur: Die Spins (rote Pfeile) der Elektronen, die sich durch die Halbleiterschicht bewegen, werden im helixartigen Magnetfeld der Mikromagnete mitgeführt und lassen sich in ihrer Ausrichtung steuern. Darüber lassen sich spinpolarisierte Ströme manipulieren.

unreinigungen, die zum Umlappen der Spinrichtung führen kann. Damit geht die ursprünglich kodierte Spin-Information (Spin-up oder Spin-down) und eine darauf basierende Transistorfunktion verloren. Im Rahmen des Regensburger Sonderforschungsbereiches wird daher an alternativen Konzepten von Spin-Transistoren geforscht.

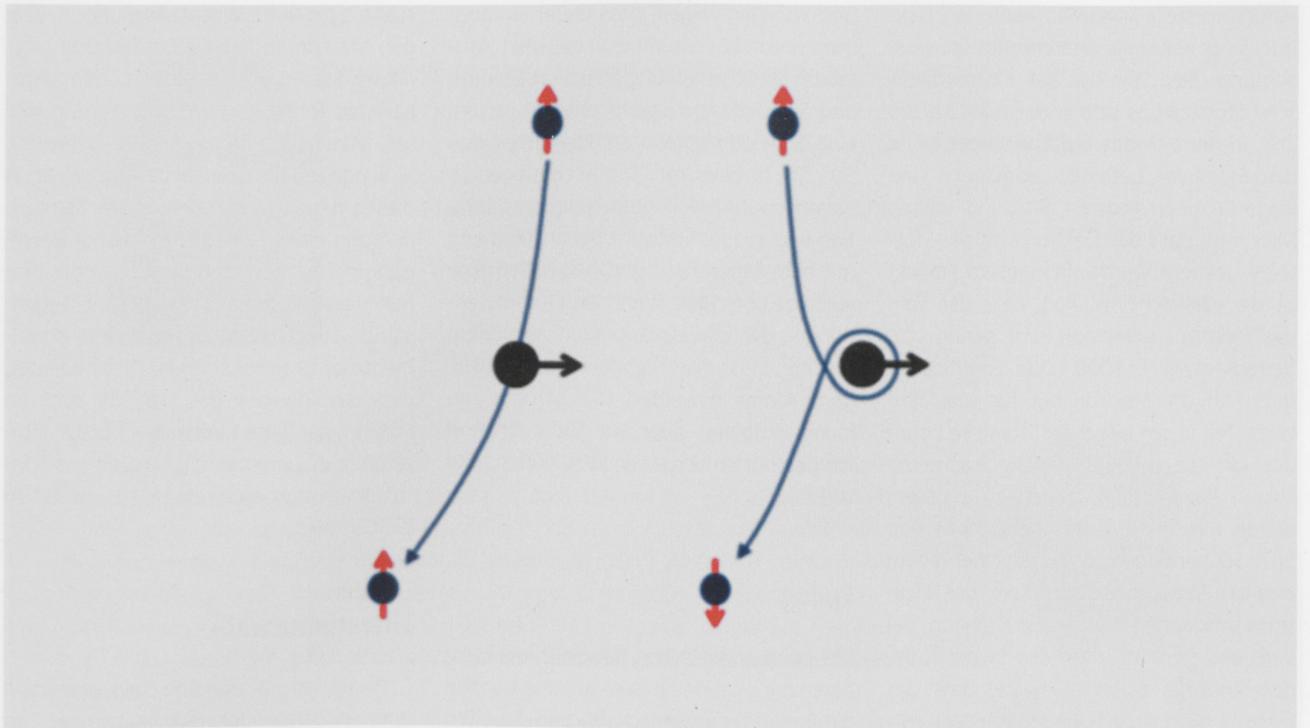
In einer Kooperation der experimentellen Arbeitsgruppe von Dieter Weiss und der Theorie-Gruppe um Klaus Richter ist kürzlich ein wichtiger Schritt in diese Richtung erfolgt. Dabei ist es in einer Transistor-artigen Struktur nicht nur gelungen, den elektrischen Strom über den Spin der Elektronen zu kontrollieren, sondern darüber hinaus auch den Grad der Spinpolarisation im Strom, d. h. das Verhältnis zwischen Spin-up und Spin-down Elektronen, die den Strom tragen – ist deren Zahl gleich, ist die Spinpolarisation Null.

Zur Vermeidung des oben genannten Problems der zufälligen Spin-Umklapp-Prozesse, die die Polarisation zerstören, wurden im Regensburger Experiment Magnetfelder erzeugt, entlang derer sich die Elektronenspins wie klassische Kompassnadeln

ausrichten, wobei hier die Quantenphysik, wie eingangs erwähnt, zwei Ausrichtungen (Spin-up und Spin-down), parallel und antiparallel zu den Magnetfeldlinien, zulässt. Der genauere experimentelle Aufbau ist in [6] dargestellt. Die Elektronen, die den (Spin-)Strom tragen, bewegen sich in einer Ebene, die zwei Schichten verschiedener Halbleitermaterialien trennt, und bilden daher ein zweidimensionales Elektronengas (2DEG). Im Experiment wurden nun, wie in der elektronenmikroskopischen Aufnahme in [6a] dargestellt, Mikrometer-skalige Streifen eines stark magnetischen Materials (Dysprosium) quer zur Stromrichtung aufgebracht. Diese Mikromagneten erzeugen wie beim herkömmlichen Stabmagneten ein inhomogenes Streufeld. Die Spins der Elektronen im 2DEG spüren dieses Feld und richten sich entlang dessen Feldlinien aus. Da diese Feldlinien räumlich eine Art Helixstruktur aufweisen, rotiert entsprechend der Spin eines Elektrons, das das System durchquert (rote Pfeile in [6b]), da er in dem Magnetfeld mitgeführt wird. Die Spinausrichtung ist dadurch vor den zufälligen Umklapp-Prozessen geschützt. Mit einem weiteren von außen angelegten senkrecht-

ten Magnetfeld lässt sich nun diese Helix-Textur kontinuierlich verändern. Das erlaubt, gezielt Leitungselektronen einer Spin-Richtung, z. B. Spin-up, zu blockieren und nur Spin-down Elektronen durch die Transistorstruktur passieren zu lassen. Dass das möglich ist, beruht darauf, dass die Elektronen je nach relativer Spinausrichtung verschiedene Energie besitzen und die Spin-up Elektronen, die sich im höheren Energieniveau befinden, zurückreflektiert werden. Da der Anteil der Spin-up Ladungsträger über einen solchen Blockade-Mechanismus kontinuierlich verändert werden kann, hier durch das äußere Magnetfeld, erlaubt dies das Durchstimmen des Grades der Spinpolarisation, d. h. eine Spin-Transistor-Funktionalität par excellence. Diese qualitative, auf einfachen Modellen beruhende Erklärung der Messergebnisse wurde in der Arbeitsgruppe um Klaus Richter in quantenmechanischen Computersimulationen der spinpolarisierten Ströme, in denen die oben genannten Mechanismen quantitativ berücksichtigt wurden, bestätigt.

Dieser auf quantisierten Energieniveaus der Elektronen beruhende Transistor-Effekt



7 Ein Elektron mit einem Spin (roter Pfeil) wird an einer Störstelle (schwarze Kugel), welche ein magnetisches Moment trägt (schwarzer Pfeil), gestreut. Bei einem normalen Streuvorgang, links dargestellt, ist das Elektron nur kurz im Bereich der Störstelle und ändert nur seine Flugrichtung. Während dieser kurzen Zeit wirkt die Austauschwechselwirkung zwischen Elektronenspin und Störstellen-spin. Die Zeit ist aber im Allgemeinen zu kurz, um den Spin umzuklappen. Im resonanten Fall, rechts skizziert, bleibt das Elektron genügend lange im Einflussbereich der Störstelle, so dass der Spin des Elektrons vollständig umklappen kann. In der Sprache der Quantenmechanik hat der Elektronenspin bei einem resonanten Streuvorgang die gleiche Wahrscheinlichkeit umgeklappt zu werden oder in gleicher Richtung orientiert zu bleiben.

funktioniert im Regensburger Experiment bisher nur bei sehr tiefen Temperaturen (unter 1 Kelvin, d. h.  $-269^{\circ}\text{C}$ ). Im Rahmen der neuen Förderperiode des Sonderforschungsbereiches sollen andere Materialien mit dem Ziel untersucht werden, dieses Konzept auf höhere Temperaturen zu übertragen.

### Spin-Flip Streuung

Das Umklappen des Spins aufgrund von Streuung der Elektronen, z. B. an Defekten, ist weiter vorne schon erwähnt worden. Dieses Umklappen des Elektronenspins, auch als Spinrelaxation bezeichnet, wird im SFB 689 beispielsweise an Graphen untersucht. Graphen besteht aus einer Atomlage Kohlenstoff und ist der Inbegriff eines zweidimensionalen Materials. Neben den Halbleitern steht im Rahmen des SFB 689 der Elektronenspin in diesem erst seit kurzem verfügbaren Material im Mittelpunkt. Eigentlich sollte Graphen ein ideales Material für den ungestörten Spintransport sein und lange Spinrelaxationszeiten aufweisen, gleichbedeutend damit,

dass der Spin sehr selten umklappt. Theoretisch werden Spinrelaxationszeiten von etwa einer Mikrosekunde erwartet, d. h. Zeiten, die rund 1000-mal länger sind als in Halbleitern. Solche langen Spinrelaxationszeiten benötigt man für eine zuverlässige Spin-Informationsverarbeitung und machen Graphen daher zu einem idealen Material, einen Spintransistor zu realisieren. Überraschenderweise sind die experimentell gemessenen Zeiten, auch solche die in Regensburg beobachtet wurden, sehr viel kürzer und betragen nur einige hundert Pikosekunden. Diese große Diskrepanz zwischen Theorie und Experiment zählt immer noch zu den großen Fragen der Graphen-Spintronik. Warum ist die Spin-Lebensdauer in Graphen so kurz? Unbestritten ist, dass die sogenannte Spin-Bahn-Wechselwirkung, welche ursächlich für das Umklappen von Spins verantwortlich ist, in Graphen um 10- bis 100-mal schwächer ist als in typischen Halbleitern wie GaAs und Silizium. Trotzdem ist die Spinrelaxationszeit in Graphen sogar kürzer als in diesen Materialien. Welche bislang unentdeckten Ursachen für die Spinrelaxation gibt es in Graphen? Im Rahmen

unseres SFB glauben wir, eine Antwort darauf gefunden zu haben.

Elektronen verlieren ihre Spinausrichtung (und damit die Information, die sie tragen) durch Umklappen. Ein Mechanismus, der zum Umklappen führt, ist wie erwähnt die Spin-Bahn-Wechselwirkung, die in allen Materialien auftritt. Ein anderer Mechanismus, der üblicherweise keine Rolle spielt, beruht auf der oben erwähnten Austausch-Wechselwirkung und tritt nur auf, wenn sich magnetische Störstellen (z. B. Atome, die einen Spin, d. h. ein magnetisches Moment besitzen) im Material befinden. Es hat sich nun herausgestellt, dass Leerstellen (fehlende Atome im Graphen-Film) und angelagerte Atome wie Wasserstoffatome ein magnetisches Moment besitzen und somit als magnetische Störstellen wirken. Deren Austausch-Wechselwirkung mit den Elektronen des Graphens ist viel stärker als die Spin-Bahn-Wechselwirkung, reicht aber nicht aus, um den Spin so effektiv wie im Experiment beobachtet, umzuklappen. In [7] ist dargestellt, wie man sich die Wechselwirkung zwischen einem Elektron und dem magnetischen Moment einer magneti-

schen Störstelle vorstellen kann: Ein Elektron fliegt mit einer bestimmten Spinausrichtung (hier Spin-up) auf die magnetische Störstelle zu und wird in der kurzen Zeit, in der sich das Elektron in der Nähe der Störstelle befindet, abgelenkt und fliegt in einer anderen Richtung weiter. Man sagt, dass das Elektron von der Störstelle gestreut wurde. Bei diesem Prozess ist die Wahrscheinlichkeit, dass der Spin des Elektrons umklappt, sehr gering und beträgt etwa 1 : 1000. Dies liegt daran, dass sich das Elektron nur für eine sehr kurze Zeit in der Nähe der Störstelle befindet. Um die experimentell beobachteten kurzen Spinrelaxationszeiten zu erklären, würde man eine Wahrscheinlichkeit von 50 : 50 benötigen, d. h. dass bei jedem zweiten Streuprozess der Spin des Elektrons umklappen müsste. Ein Szenario, bei dem das Elektron mehr Zeit in der Nähe der Störstelle verbringt, wäre, dass das Elektron nicht einfach an der Störstelle vorbeifliegt, sondern diese ein paar Mal umrundet, bevor es weiterfliegen kann. [7] zeigt auf der rechten Seite, wie wir uns diesen Vorgang vorstellen. Das Elektron verhält sich wie ein Komet, der sich einem Planeten nähert, von diesem angezogen wird und ein paar Runden dreht, bevor er wieder entfliehen kann. Genau dieser Mechanismus wird von der Gruppe um Jaroslav Fabian für die Streuung von Elektronen in Graphen mit magnetischen Störstellen vorhergesagt. In der Quantenmechanik laufen die Elektronen zwar nicht, wie in [7] skizziert, auf klassischen Bahnen, aber es gibt einen dem „Kometeneinfang“ analogen Mechanismus, welcher als resonante Streuung bezeichnet wird. Von magnetischen Störstellen in Graphen weiß man, dass sie resonante Streuer sind und Elektronen eine kurze Zeit einfangen, ehe sie wieder freigegeben werden. In entsprechenden Rechnungen konnten J. Fabian

und Kollegen zeigen, dass dieser Einfangmechanismus, zusammen mit der Austausch-Wechselwirkung zwischen Elektron und Störstelle, genügend effizient ist, um eine Spin-Umklappwahrscheinlichkeit von 50 : 50 zu bewirken. Die Rechnungen zu diesem neuen Mechanismus zur Spinrelaxation sind in quantitativer Übereinstimmung mit dem Experiment und beinhalten eine wichtige Botschaft: Wenn man für Anwendungen die Spinrelaxationszeit vergrößern möchte, muss man Leerstellen und angeregte Atome loswerden. Dies ist keine einfache Aufgabe, aber wir (oder andere) werden hoffentlich einen Weg finden, dies zu tun.

## Epilog

Die oben angeführten Beispiele repräsentieren nur eine kleine Auswahl und können die Breite der wissenschaftlichen Arbeiten im Rahmen des SFB 689 nur ansatzweise vermitteln. Unsere Arbeiten sind vorwiegend im Bereich der Grundlagenforschung angesiedelt, mit dem Ziel, das Zusammenspiel zwischen Spin und Ladung besser zu verstehen und, wenn möglich, neue Effekte und Funktionalitäten für die Anwendung zu erschließen. Viele der Untersuchungen betreffen auch die oben angesprochene Spin-Bahn-Wechselwirkung: Ein Elektron, das sich in einem elektrischen Feld bewegt, z. B. in der Nähe eines Atomkerns, verspürt ein magnetisches Feld, welches mit dem Spin des Elektrons wechselwirkt. Durch diese Spin-Bahn-Wechselwirkung können elektrische und magnetische Eigenschaften miteinander verknüpft werden: Elektrische Ströme können reine Spinströme erzeugen, bei denen anstelle von Ladung nur ein Magnetisierungsstrom fließt und umgekehrt können Spinströme elektrische Ströme erzeugen. Die sehr

starke Spin-Bahn-Wechselwirkung in einigen Materialien hat zur Entdeckung einer neuen Materialklasse geführt, den sogenannten topologischen Isolatoren. In diesen Materialien ist das Innere isolierend, wohingegen die Oberfläche leitfähig ist. In diesen neuen Materialien ist die Spinausrichtung eines Elektrons mit seiner Bewegungsrichtung verknüpft. Die Implikationen dieser Kopplung sind derzeit Gegenstand vieler neuer Konzepte und experimenteller Untersuchungen. Dies bedeutet, dass die Thematik des SFB 689 auch im Hinblick auf diese Materialien höchst aktuell ist und auch über die Laufzeit des Sonderforschungsbereiches hinaus bestehen bleiben wird.

## Literaturauswahl

F. Pielmeier, F.J. Giessibl, *Spin resolution and evidence for superexchange on NiO(100) observed by force microscopy. Physical Review Letters 110, 266101 (2013)*

B. Endres, M. Ciorga, M. Schmid, M. Utz, D. Bougeard, D. Weiss, G. Bayreuther, C.H. Back, *Demonstration of the spin solar cell and spin photodiode effect. Nature Commun. 4, 2068 (2013)*

R. Jansen, *Solar spin devices see the light. Nature Mater 12, 779 (2013)*

C. Betthausen, T. Dollinger, H. Saarikoski, V. Kolkovsky, G. Karczewski, T. Woitowicz, K. Richter, D. Weiss, *Spin-transistor action via tunable Landau-Zener transitions. Science 337, 324 (2012)*

D. Kochan, M. Gmitra, J. Fabian, *Spin relaxation mechanism in graphene: resonant scattering by magnetic impurities. Physical Review Letters 112, 116602 (2014)*



Prof. Dr. **Christian Back**, geb. 1966 in München. Studium der Physik an der TU München und der RWTH Aachen (Diplom 1992). Promotion 1995 an der ETH Zürich. Von 1995 bis 1997 Postdoc an der Stanford University und bei IBM in San Jose. 1998–2001 Wiss. Assistent an der ETH Zürich. Seit 2001 Lehrstuhl für Experimentalphysik an der Universität Regensburg.

**Forschungsschwerpunkte:** Magnetismus, Spindynamik.

Prof. Dr. **Jaroslav Fabian**, geb. 1967 in Spisska Nova Ves, Slowakei, 1985–1990 Studium der Physik an der Comenius Universität, Bratislava, Slowakei. 1991–1993 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Comenius Universität. Anschließend Promotion mit Fulbright Stipendium an der State University of New York in Stony Brook (USA). 1997–2000 Wiss. Assistent an der University of Maryland in College Park (USA). 2000 Wiss. Assistent am Max-Planck-Institut für komplexe Systeme in Dresden. 2001–2004 Assistenzprofessor an der Karl Franzens Universität in Graz, Österreich. 2004 Habilitation an der Karl Franzens Universität, Graz. Seit 2004 Universitätsprofessor am Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg.

**Forschungsschwerpunkte:** Theoretische Spintronik, Graphen, Quantenpunkte.



Prof. Dr. **Franz Giessibl**, geb. 1962 in Amerang. Von 1982 bis 1987 Physikstudium an der TU München und an der ETH Zürich. 1988 Diplom an der TU München. Promotion 1991 an der LMU München über Tieftemperatur-Rasterkraftmikroskopie. Nach einer Tätigkeit als Berater bei McKinsey 1995/1996 Wiss. Assistent an der Universität Augsburg. Habilitation 2001. Seit 2006 Lehrstuhl für Experimentalphysik an der Universität Regensburg.

**Forschungsschwerpunkt:** Rasterkraftmikroskopie.

Prof. Dr. **Klaus Richter**, geb. 1962 in Kiel. Physikstudium in Kiel und Freiburg. 1991 Promotion an der Universität Freiburg. 1992–1994 Auslandsaufenthalt als Postdoc an der Universität Paris Sud, danach wissenschaftlicher Assistent an der Universität Augsburg, dort 1998 Habilitation. Von 1996 bis 2001 Leiter einer Arbeitsgruppe am MPI für Physik Komplexer Systeme in Dresden. Seit 2001 Lehrstuhl für Theoretische Physik an der Universität Regensburg.

**Forschungsschwerpunkte:** Theorie der Kondensierten Materie, Mesoskopische Physik, Spin-Elektronik, Komplexe Quantensysteme.



Prof. Dr. **Dieter Weiss**, geb. 1955 in Günzburg/Donau. Physikstudium in Ulm und an der LMU München. 1987 Promotion an der TU München. Von 1987 bis 1995 wissenschaftlicher Mitarbeiter am MPI für Festkörperforschung in Stuttgart, unterbrochen von einem einjährigen Auslandsaufenthalt als Postdoc bei Bellcore, New Jersey. 1993 Habilitation an der Universität Stuttgart. Seit 1995 Lehrstuhl für Experimentalphysik an der Universität Regensburg.

**Forschungsschwerpunkte:** Halbleiterphysik, Mesoskopische Physik, Spintronik, Quantentransport.

# Nierenforschung in Regensburg

## Was gibt es Neues vom Sonderforschungsbereich 699 ?

Armin Kurtz, Matthias Mack, Markus Reichold, Jörg Reinders, Frank Schweda, Charlotte Wagner und Ralph Witzgall

### Der Sonderforschungsbereich 699

#### „Strukturelle, physiologische und molekulare Grundlagen der Nierenfunktion“

wurde im Jahre 2006 von der Deutschen Forschungsgemeinschaft an der Universität Regensburg eingerichtet und befindet sich derzeit in der letzten Förderperiode, die mit dem Jahr 2017 ausläuft. Ziel des SFB 699 ist es durch Bündelung verschiedener Fachkompetenzen das Verständnis der Nierenfunktion auf molekularer, zellulärer und organintegrativer Ebene voranzutreiben, um damit eine verbreiterte Basis für das kausale Verständnis der Pathophysiologie der Niere und damit für Nierenfehlfunktionen und Nierenerkrankungen zu schaffen. Die einzelnen der derzeit 16 Teilprojekte des SFB 699 werden in Ansätzen angegangen, die sich jeweils vom Gen über das Protein, die Funktion in Zelle und Organ bis hin zur Funktion der Niere im intakten Organismus erstrecken. Die Brücke zur Pathophysiologie wird durch die Generierung und den Einsatz gentechnisch veränderter Tiere sowie durch die Analyse menschlichen Gewebes geschlagen.  
<http://www.sfb699.uni-regensburg.de/>



*„Ich, der Herr, bin es, der das Herz erforscht und die Nieren prüft ...“*

Jer 17,10

Der Vers des Propheten zeigt uns, dass bereits vor über zweitausend Jahren die Nieren als zentrale und wichtige Organe angesehen wurden. Unsere Nieren sind paarig angelegte Organe mit einem Einzelgewicht von ca. 150 g. Sie sind stark durchblutet und sie reinigen das Blut von wasserlöslichen Stoffwechselendprodukten wie z. B. Kreatinin, Harnstoff oder Harnsäure. Daneben sind unsere Nieren zentral eingebunden in die Aufrechterhaltung einer ausgeglichenen Elektrolyt-, Mineral- und Wasserbilanz des Körpers. So können wir stark schwankende Salz- und Wassermengen zu uns nehmen, ohne dass unser Körper wie ein Schwamm quillt und schrumpft. Die Nieren bilden auch wichtige Hormone wie

Vitamin D<sub>3</sub> oder Erythropoietin, über welche sie den Kalziumhaushalt oder die Bildung der roten Blutkörperchen im Knochenmark regulieren. Schließlich sind die Nieren elementar an der Regulation des Blutdruckes beteiligt.

Genetische, entzündliche oder degenerative Erkrankungen wie Bluthochdruck oder Diabetes führen zu Funktionsverlusten des Nierengewebes, wobei die spezifischen Nierenzellen zunehmend von Bindegewebszellen ersetzt werden. Eine Entwicklung der Nierenfibrose ist in der Regel unumkehrbar und führt auf Dauer zum chronischen Nierenversagen, welches durch den Ausfall der beschriebenen speziellen Nierenfunktionen gekennzeichnet ist. Patienten mit chronischem Nierenversagen haben eine deutlich verkürzte Lebenserwartung. Sie weisen im Blut erhöhte Konzentrationen an körpereigenen Giftstoffen

auf, sie sind blutarm, haben einen hohen Blutdruck und leiden an deutlichen Störungen des Kalium-, Kalzium- und Wasserhaushaltes. Diese Symptomatik kann durch regelmäßige Blutwäsche (Dialyse) und begleitende Gabe von Medikamenten gebessert werden. Eine Heilung im eigentlichen Sinne kann derzeit nur durch eine Nierentransplantation erreicht werden.

Der im Jahre 2006 an der Universität Regensburg eingerichtete Sonderforschungsbereich 699 „Strukturelle, physiologische und molekulare Determinanten der Nierenfunktion“ hat sich zum Ziel gesetzt, kausale Mechanismen für Veränderungen der Nierenstruktur und -funktion aufzuklären, um so einen rationalen Ansatz zur Behandlung von Nierenfehlfunktionen zu ermöglichen. Dies soll im Folgenden auszugshaft an Beispielen der insgesamt 16 Teilprojekte veranschaulicht werden.



1 Das linke Bild zeigt eine gesunde Niere, wie sie gerade bei der Lebendspende für eine Transplantation entnommen wurde. Das rechte Bild zeigt Nieren mit genetisch bedingten polyzystischen Veränderungen, die letztlich zu einer funktionslosen Niere führen

## Genetisch bedingten Störungen der Niere auf der Spur

Genetisch bedingte Defekte der Niere können zunächst die Nierenstruktur betreffen, was dann sekundär die Nierenfunktion verschlechtert. Beispiele hierfür sind die polyzystischen Nierenerkrankungen, die sowohl autosomal dominante wie auch autosomal rezessive Erbgänge aufweisen [1].

Bei der autosomal dominanten polyzystischen Nierenerkrankung liegen die Defekte in den Genen für die Proteine Polyzystin-1 und Polyzystin-2. Wie Veränderungen dieser Proteine zur zystischen Degeneration der Nieren führen, ist noch weitgehend unklar und wird deshalb auch in Projekten des SFB 699 untersucht.

Andere genetische Defekte können auch primär spezifische Transportprozesse in der Niere betreffen. Ein Beispiel hierfür ist das Fanconi-Syndrom, benannt nach dem Schweizer Kinderarzt Guido Fanconi (1892–1979).

Die Nieren erfüllen ihre Ausscheidungsfunktion, indem sie zur Urinproduktion in den ca. 2 Millionen Nierenkörperchen (Glomeruli) zunächst Flüssigkeit aus dem Blutplasma abfiltrieren. Anschließend wird dann in einem System von Harnkanälchen die Menge und Zusammensetzung des primären Filtrats durch ein Wechselspiel von kontrollierter Sekretion und Resorption modifiziert. Abbauprodukte, die der Körper ausscheiden muss, werden im Urin angereichert. Glucose, Aminosäuren, Phosphat

und andere Stoffe, die der Körper noch benötigt, werden unter Energieverbrauch aus dem Urin rückresorbiert [2]. Beim sogenannten „renalen Fanconi-Syndrom“ ist diese Rückresorption beeinträchtigt und die Patienten verlieren diese wichtigen Nährstoffe mit dem Urin. Dies führt zu einer Rachitis-ähnlichen Symptomatik. Die Ursachen für die Transportdefekte beim Fanconi-Syndrom sind vielfältig. Das Krankheitsbild kann durch Nieren-schädigende Substanzen, z. B. Pharmaka, welche bei der HIV-Therapie eingesetzt werden, ausgelöst werden oder durch eine Reihe erblicher Gendefekte.

Es hat sich nun herausgestellt, dass bei der erblichen Form des Fanconi-Syndroms, welche im SFB 699 in Zusammenarbeit mit einer Londoner Arbeitsgruppe untersucht wurde, ein völlig neuartiger Krankheitsmechanismus vorliegt. Die betroffenen Patienten zeigen eine Mutation im Gen von EHHADH, einem Protein, das in sogenannten Peroxisomen lokalisiert und dort am Abbau von Fettsäuren beteiligt ist. Überraschenderweise führt das völlige Fehlen von EHHADH zu keiner Nierenfunktionsstörung. Dies legte die Vermutung nahe, dass die Erkrankung bei den betroffenen Patienten nicht durch einen einfachen Funktionsverlust von EHHADH bedingt sein konnte und es stellte sich die Frage nach der eigentlichen Ursache der Erkrankung.

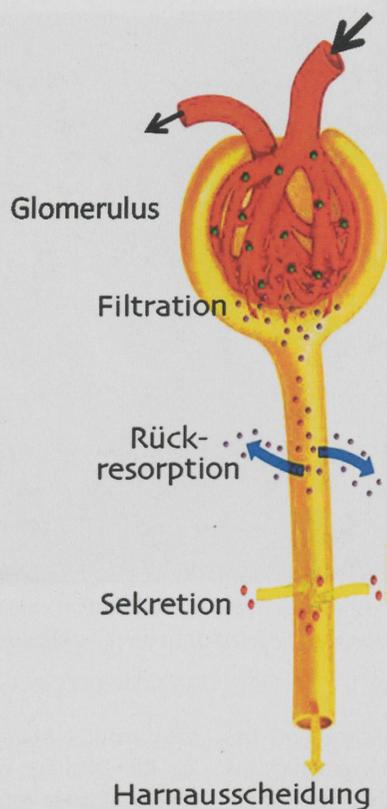
Damit die Nierenzellen korrekt funktionieren können, müssen die verschiedenen Bausteine der Zelle nicht nur vorhanden, sondern auch an der richtigen Stelle plat-

ziert sein. Die Mutation von EHHADH, die bei den Patienten gefunden worden war, führt zu einer falschen „Adressierung“: Das mutierte Protein gelangt durch den Adressierungsfehler in die Mitochondrien, in Organellen, die als Kraftwerke der Zelle funktionieren [3]. Ins Mitochondrium fehlgeleitet, führt EHHADH dort, wie ein falsches Zahnrad in einem Getriebe, zu einer Störung der Energieproduktion. In der Folge fehlt es den Nierenzellen an der nötigen Energie, um Substrate vollständig aus dem Urin rückzuresorbieren, und es kommt zum Verlust derselben mit dem Urin.

Bei den Formen des renalen Fanconi-Syndroms, die durch erbliche Gendefekte verursacht werden, ist es nach heutigem Wissensstand nicht möglich, die betroffenen Patienten dauerhaft zu heilen. Allerdings kann das bessere Verständnis der Krankheitsentstehung dazu beitragen, symptomatische Therapien zu entwickeln, die im Sinne einer personalisierten Medizin den spezifischen genetischen Ursachen der einzelnen Patienten gerecht werden.

## Interzelluläre Kommunikation als Grundlage für die renale Blutdruckkontrolle

In speziellen Zellen der Nierenrinde wird die Protease Renin gebildet, in großen Vesikeln gespeichert und daraus bei Bedarf kontrolliert in den Blutkreislauf freigesetzt.



**2** Die beiden Nieren werden täglich von ca 1400 Liter Blut durchspült, wovon ca. 180 Liter als Primärharn in den Glomeruli abfiltriert werden. Die im Primärharn enthaltenen wertvollen Stoffe wie Glukose, Aminosäuren, Mineralien, Salze und Wasser werden im Nierentubulussystem rückresorbiert, während Abfallstoffe zusätzlich zur Filtration auch noch aktiv in den Harn sezerniert werden.

Renin steuert die Aktivität des Renin-Angiotensin-Aldosteron Systems (RAAS), welches ganz wesentlich unseren Blutdruck kontrolliert [4]. So sind Hemmstoffe des RAAS die wirksamsten und am häufigsten verordneten Medikamente zur Blutdrucksenkung. Im Sinne eines physiologischen Regelkreises führt ein Blutdruckabfall zu einer Steigerung der Reninfreisetzung aus der Niere, während eine Blutdruckerhöhung über die Norm die Reninfreisetzung unterdrückt. Eine unangemessen erhöhte Reninfreisetzung ist eine bekannte Ursache für Bluthochdruck beim Menschen.

Wie die reninbildenden Zellen den Blutdruck „fühlen“ und darauf adäquat reagieren, war lange Zeit hypothetisch-spekulativ. Im Rahmen der Reninforschungsprojekte im SFB 699 zeigte sich, dass die Fähigkeit der reninbildenden Zellen angemessen auf Blutdruckänderungen zu reagieren, entscheidend von der Kopplung mit Nachbarzellen abhängt. Solche in vielen Körperzellen auftretenden Zell-Zell-Kopplungen werden über große Kanäle,

sogenannten *gap junctions* vermittelt, über welche Zellen elektrische und chemische Informationen miteinander austauschen [5]. Solche *gap junctions* sind aus jeweils sechs Connexinproteinen aufgebaut, wobei es beim Menschen 20 verschiedene Connexintypen gibt. Für die reninbildenden Zellen ist allein das Connexin 40 ausschlaggebend. Jeglicher Defekt von Connexin 40 und die damit verbundene Einschränkung der *gap-junction*-Funktion in reninbildenden Zellen führt zum selektiven Verlust der „Druckempfindung“ und damit zur Hypersekretion von Renin, was einen deutlichen Bluthochdruck zur Folge hat.

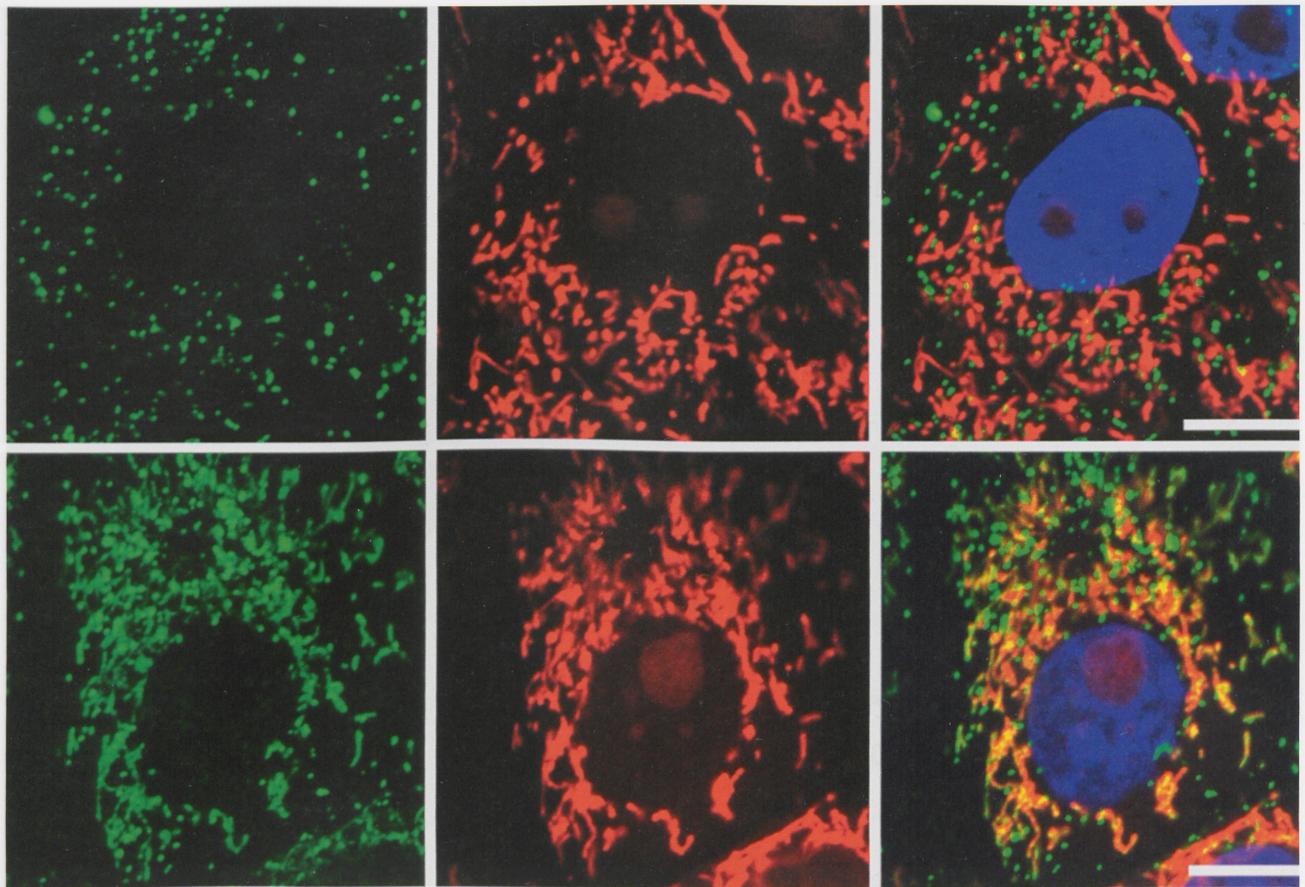
Die Bedeutung dieser ursprünglich an Mäusen erhobenen Befunde für den Menschen liegen darin, dass mittlerweile auch beim Menschen funktionseinschränkende Mutationen der relevanten *gap-junction*-Proteine bekannt geworden sind, und dass die Ausbildung von *gap junctions* bei Stoffwechselstörungen, wie z. B. Diabetes oder Hypercholesterinämien, verändert sein kann.

## Kompensatorische Nierenhypertrophie als Voraussetzung zur Nierenlebenspende

Etwa 10 % der Bevölkerung leiden an einer chronischen Niereninsuffizienz, einer meist langsam progredienten Verschlechterung der Nierenfunktion. Im Endstadium der Erkrankung sind die Patienten auf eine Nierenersatztherapie in Form von einer Dialyse oder einer Nierentransplantation angewiesen. Aufgrund der bekannten Organknappheit hat in den letzten Jahren die Bedeutung der Nierenlebenspende deutlich zugenommen, so dass mittlerweile etwa die Hälfte der jährlich weltweit rund 70.000 Spendernieren von Lebend Spendern stammt.

Auf den ersten Blick mag es verwundern, dass man im Rahmen der Nierenlebenspende einem gesunden Menschen eine seiner beiden Nieren entnehmen kann, da man dadurch ja dessen Nierenfunktion halbiert. Erstaunlicherweise kommt es aber nach der Entfernung einer Niere sehr rasch zu funktionellen Anpassungsvorgängen der verbliebenen Niere, so dass diese den Verlust ihres Gegenstücks zum Teil ausgleicht. So steigt die glomeruläre Filtrationsrate (GFR) der verbliebenen Niere, ein Maß für ihre Filtrations- und Entgiftungsleistung, um bis zu 60 % an. Die Gesamt-GFR des Nierenspenders beträgt daher nicht wie zu erwarten wäre 50 %, sondern bis zu 70–80 % des Ausgangswertes vor der Nierenentnahme und bleibt auch langfristig konstant. Interessanterweise findet der größte Teil der Anpassungsvorgänge sehr schnell, innerhalb der ersten Tage nach Nierenentnahme statt. Beispielfhaft sei hier der Verlauf der glomerulären Filtrationsrate nach Nierenentnahme bei Mäusen gezeigt [6], beim Nierenspende findet sich ein vergleichbarer Verlauf.

Neben der funktionellen Adaptation kommt es auch zu einem deutlichen Wachstum der verbliebenen Niere, so dass man die renalen Anpassungsvorgänge nach Verlust von Nierengewebe als renale kompensatorische Hypertrophie bezeichnet [6]. Trotz der großen medizinischen Bedeutung dieses Phänomens ist bis heute unklar, wodurch das Wachstum und v. a. auch die funktionellen Anpassungsvorgänge ausgelöst werden. Neben der speziellen Situation beim Nierenlebenspende oder bei Patienten, denen eine Niere



**3** Intrazelluläre Immunlokalisation des normalen und des mutierten EHHADH Proteins (in Grün) in Nierentubuluszellen zusammen mit einem Marker für Mitochondrien (in Rot) und Zellkerne (Blau). Bei normalen EHHADH Protein (obere Bildreihe) gibt es keine Überlagerung des Proteins mit den Mitochondrien, was an einer gelben Mischfarbe erkennbar wäre (Bilder rechts außen). Bei mutiertem EHHADH (untere Bildreihe) hingegen gibt es eine ganz deutliche Überlagerung mit Mitochondrien, was dafür spricht, dass das mutierte EHHADH Protein fälschlicherweise in die Mitochondrien gelangt ist.

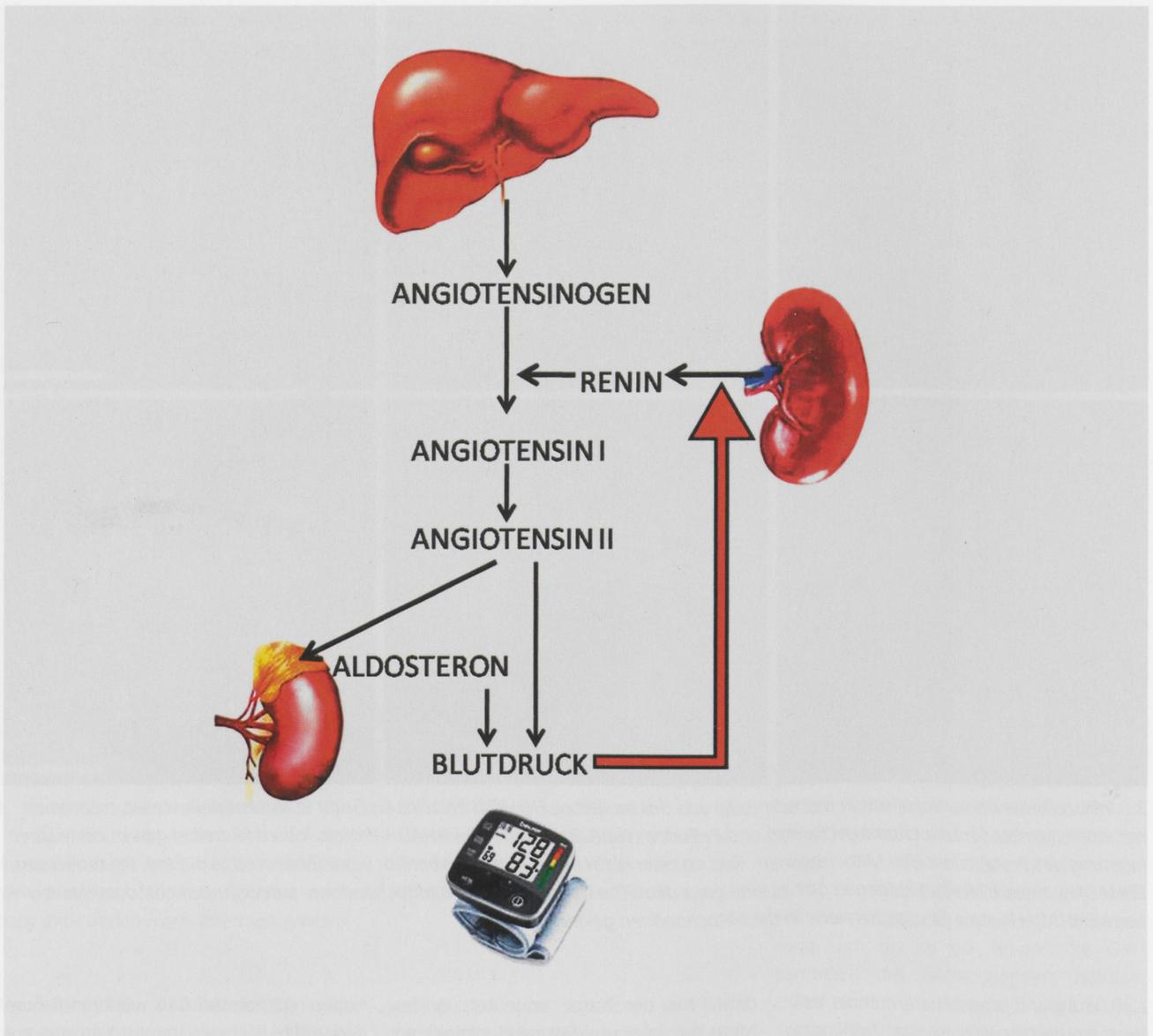
z. B. aufgrund eines Nierentumors entfernt werden musste, ist das Verständnis der Prozesse, die die renale kompensatorische Hypertrophie auslösen, auch von weitergehendem medizinischen Interesse. So könnte der auslösende Faktor, der ja offenbar in der Lage ist, die Funktion der Nieren dauerhaft über den Ausgangswert zu steigern, möglicherweise bei Patienten mit eingeschränkter Nierenfunktion therapeutisch genutzt werden. Die Identifizierung dieser Kontrollfaktoren der kompensatorischen Hypertrophie ist das Ziel eines der Teilprojekte des SFB 699. Als ein ganz wesentliches Ergebnis konnten hier kardiale natriuretische Peptide als Vermittler der schnellen Funktionsanpassung der Niere an den Verlust von Nierengewebe ausgemacht werden.

Neben seiner Pumpfunktion ist das Herz auch ein endokrines Organ. So setzt es die natriuretischen Peptide atriales natriuretisches Peptid (ANP) und B-Typ natriuretisches Peptid (BNP) in den Blutkreislauf frei. Beide Hormone för-

dern, wie der Name andeutet, in der Niere die Salz- und Wasserausscheidung und beide wirken dadurch und durch weitere Mechanismen blutdrucksenkend. Darüber hinaus sind beide Hormone in der Lage, die glomeruläre Filtrationsrate in der Niere zu steigern. Während das ANP unter physiologischen Bedingungen an der Kontrolle des Salz- und Wasserhaushalts beteiligt ist, nimmt die Bedeutung des BNPs in krankhaften Zuständen, wie der Herz- und Niereninsuffizienz, zu. Auch nach Nierenentnahme scheint das BNP das entscheidende Hormon zu sein, das die schnelle Anpassung der glomerulären Filtrationsrate vermittelt: Die BNP-Konzentration im Blut steigt nach Nierenentnahme an und BNP steigert in relevanten Konzentrationen die glomeruläre Filtrationsrate. Schließlich ist der rasche Anstieg der glomerulären Filtrationsrate nach Nierenentnahme bei Mäusen, bei denen aufgrund einer genetischen Veränderung die natriuretischen Peptide wirkungslos sind, aufge-

hoben. Aus diesen und weiteren Befunden ergibt sich ein neues Konzept zur funktionellen und morphologischen Anpassung der Niere [7].

Nach der Nierenentnahme kommt es zu einem raschen Anstieg natriuretischer Peptide im Blut, welche ihrerseits die glomeruläre Filtrationsrate steigern. In den Nierenkörperchen (Glomeruli) wird nun also mehr Flüssigkeit aus dem Blut in die sich anschließenden Nierenkanälchen (Tubuli) abfiltriert [2]. In den Tubuli werden unter anderem alle Substanzen, die in den Glomeruli in den Harn filtriert werden, aber nicht im Urin ausgeschieden werden sollen, aus dem Harn rückresorbiert und wieder dem Blut zugeführt. Eine Zunahme der glomerulären Filtrationsrate und die damit verbundene Mehrbelastung der Tubuli erfordert also eine Steigerung der Resorptionsleistung der Nierentubuli. Im Sinne einer Belastungshypertrophie wird dadurch schließlich das Wachstum der Tubuli und damit der Niere ausgelöst.



**4** Die Leber sezerniert das Protein Angiotensinogen in den Blutkreislauf. Von diesem spaltet das aus der Niere freigesetzte Renin das Dekapeptid Angiotensin I ab. Dieses wird durch Angiotensin-Conversion-Enzym (ACE) zum Oktapeptid Angiotensin II verkürzt. Angiotensin II stimuliert die Bildung von Aldosteron in der Nebenniere und fördert zusammen mit diesem die Salz- und Wasseraufnahme im Körper und erhöht zusätzlich den Kreislaufwiderstand. Insgesamt resultiert aus der Aktivierung des Renin-Angiotensin-Aldosteron-Systems ein Blutdruckanstieg, der im Sinne einer negativen Rückkopplung wiederum die Freisetzung von Renin aus der Niere hemmt.

## Was hat das Knochenmark mit der Nierenfibrose zu tun – Neue Ansätze zur Behandlung der Nierenfibrose

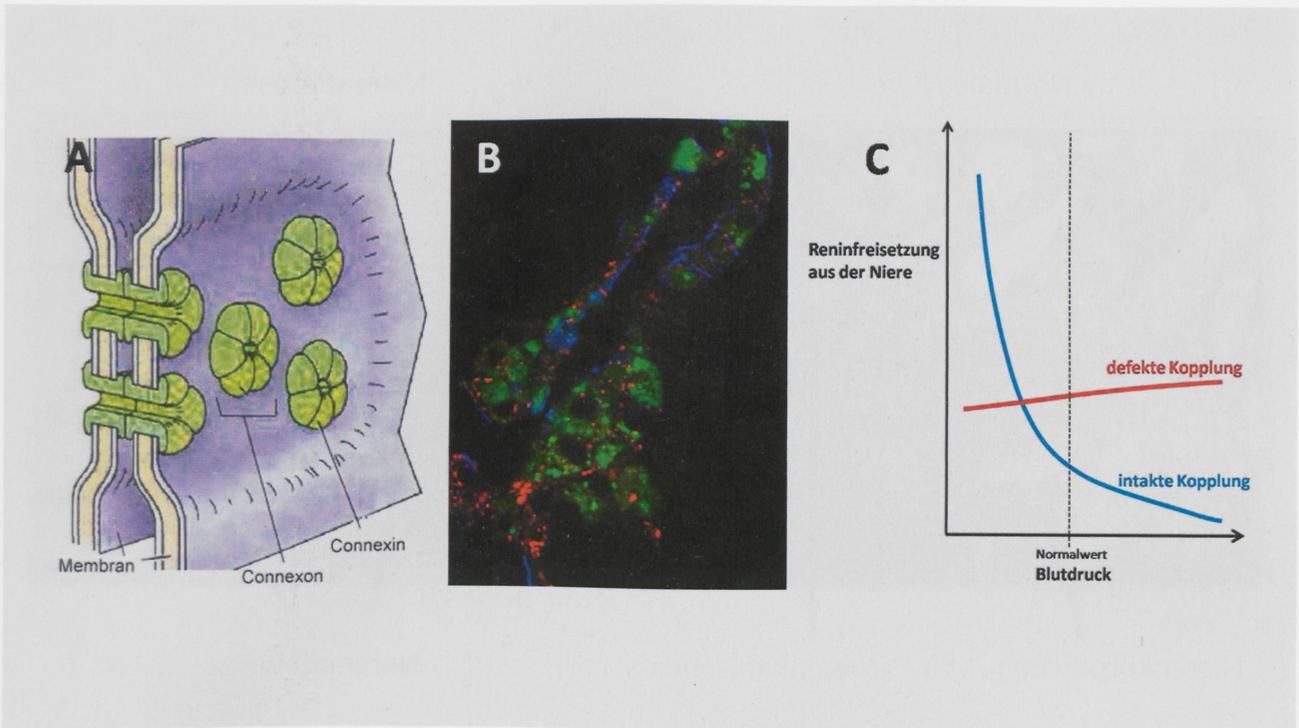
Die Nierenfibrose, die das Endstadium der meisten Nierenerkrankungen darstellt, ist durch eine exzessive Ansammlung von Narbengewebe in der Niere gekennzeichnet [8]. Das Narbengewebe besteht aus verschiedenen Matrixproteinen, insbesondere Kollagen Typ I. Die Vernarbung der Niere ist nicht nur Folge von Nierenerkrankungen, sondern führt auch unabhängig von der zu-

grunde liegenden Erkrankung zur weiteren Verschlechterung der Nierenfunktion.

Die Aufklärung der für die Nierenfibrose und den Funktionsverlust verantwortlichen molekularen und zellulären Mechanismen ist für die Entwicklung neuer Therapieansätze entscheidend, stellt jedoch gleichzeitig eine große Herausforderung dar, da unterschiedlichste Zellpopulationen am Prozess der Fibrose beteiligt sind und möglicherweise miteinander interagieren. Kollagen-produzierende und aus dem Knochenmark stammende Zellen, sogenannte Fibrozyten, wurden nicht nur mit Nierenfibrose, sondern mit vielen anderen

fibrotischen Erkrankungen assoziiert. Zahlreiche *in vitro*-Studien legten bisher nahe, dass Fibrozyten aus Monozyten entstehen. Kürzlich konnte in Projekten des SFB 699 erstmals gezeigt werden, dass Fibrozyten nicht aus klassischen Monozyten entstehen, sondern einen eigenen bereits im Blut nachweisbaren Zelltyp darstellen und wesentlich zur Entwicklung einer Nierenfibrose beitragen [9].

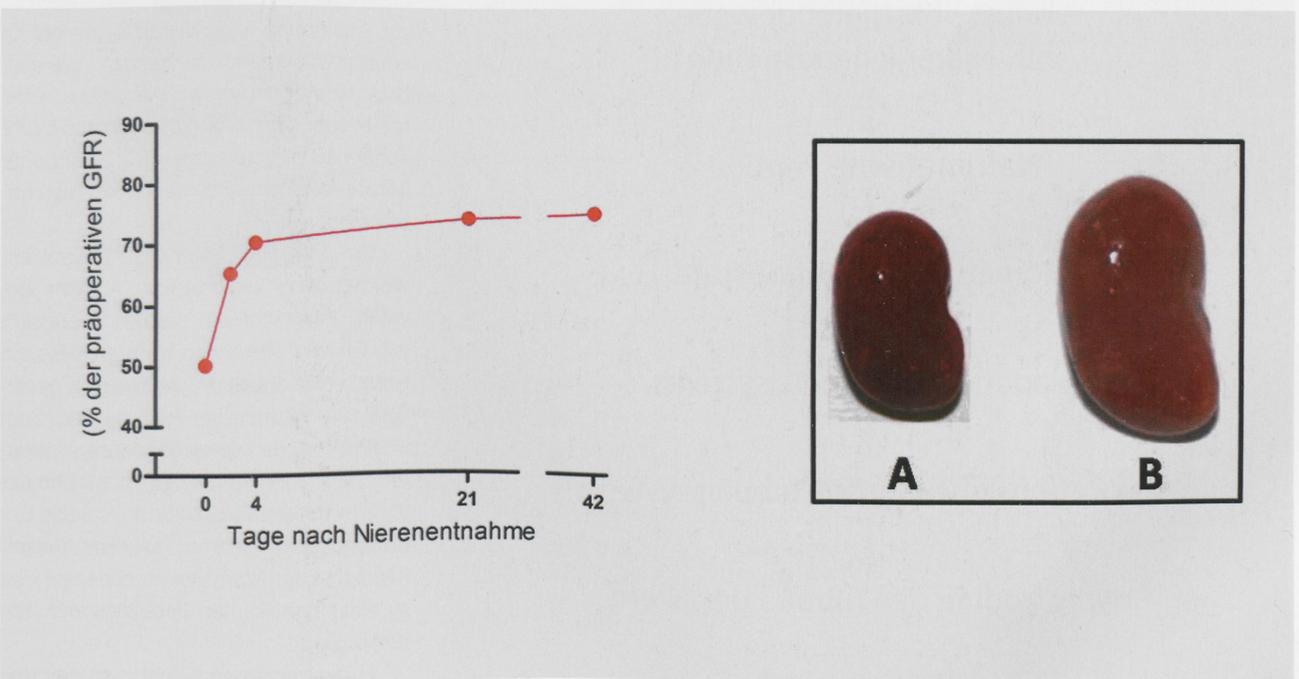
Die genaue Charakterisierung der Kollagen-produzierenden Zellen in einem Nierenfibrose-Modell der Maus ergab, dass sich Fibrozyten in ihren Oberflächenmarkern deutlich von Monozyten und anderen



**5a** Funktionelle gap junctions entstehen durch den Verbindungsanschluss von Halbkanälen (Connexon), die von direkt benachbarten Zellen gebildet werden. Jedes Connexon ist in typischer Struktur aus sechs Connexinproteinen aufgebaut. Gap junctions ermöglichen den Austausch elektrischer Signale und chemischer Botenstoffe zwischen benachbarten Zellen und dienen damit dem interzellulären Informationsaustausch.

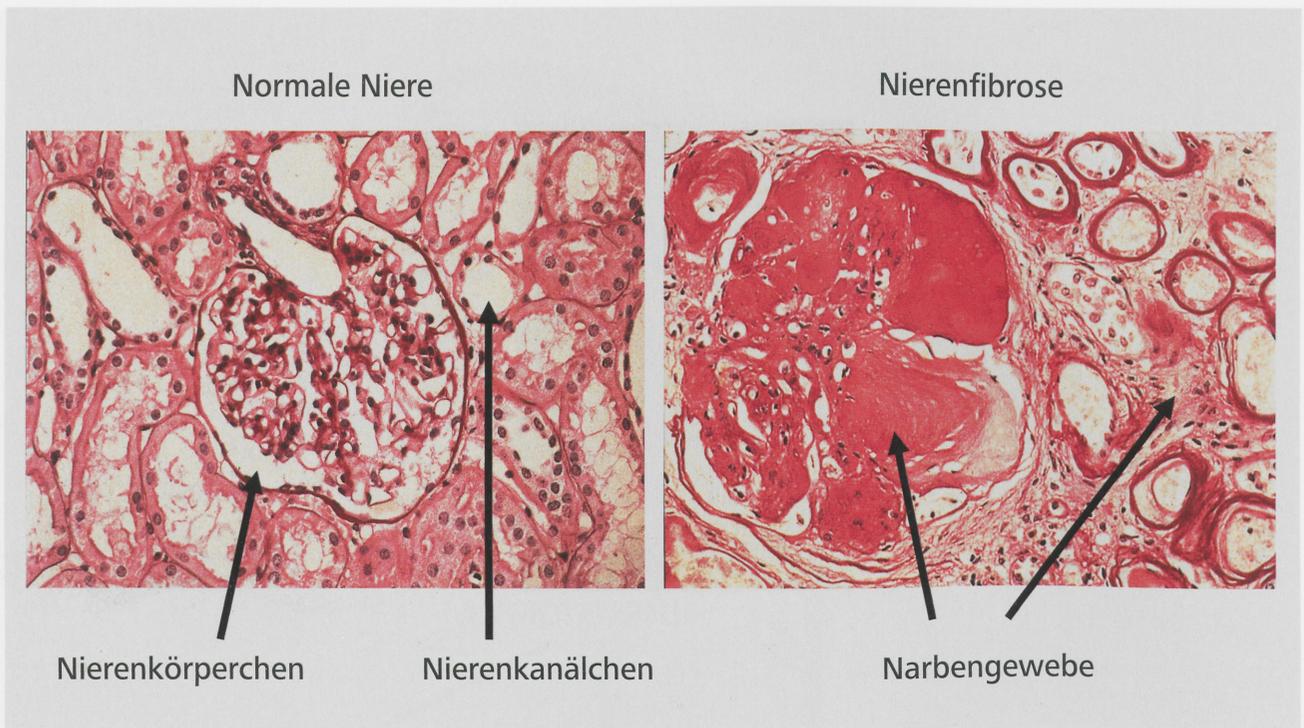
**5b** Immunhistochemische Darstellung reninbildender Zellen (in Grün) zusammen mit dem Connexin 40 Protein (in Rot). Zu beachten ist die „masernartige“ Rot-Tüpfelung der grünen Reninzellen, welche auf eine selektive Clusterung von Connexin 40 zu gap junctions zurückzuführen ist.

**5c** Aus der negativen Rückkopplung der renalen Reninfreisetzung durch den Blutdruck (hier gemessen in der isoliert perfundierten Mausniere) resultiert eine inverse Beziehung zwischen Blutdruck und Reninfreisetzung (blaue Kurve). Wenn die Zell-Zell-Kopplung durch einen Defekt des Connexin 40 gestört ist, geht die Kontrolle der Reninfreisetzung durch den Blutdruck verloren (rote Kurve) und die Nieren sezernieren zu viel Renin, was zu Bluthochdruck führt.



**6, linkes Bild** Zeitlicher Verlauf der glomerulären Filtrationsrate der verbleibenden Niere nach Entfernung der zweiten Niere

**6, rechtes Bild:** A: rechte Niere einer Kontrollmaus; B: rechte Niere einer Maus 6 Wochen nach Entnahme der linken Niere



8 Beispiel einer normalen Niere (links) mit dem gut erkennbaren Nierenkörperchen in der Mitte, umgeben von eng aneinandert liegenden Nierenkanälchen. Bei der Nierenfibrose (rechts) kommt es sowohl im Nierenkörperchen als auch zwischen den Nierenkanälchen zu ausgeprägter Narbenbildung mit Funktionseinschränkung.

weißen Blutkörperchen unterscheiden. Während Monozyten den M-CSF Rezeptor CD115 homogen und stark exprimieren, findet sich bei Fibrozyten keine Expression von CD115. Auch eine Reihe weiterer

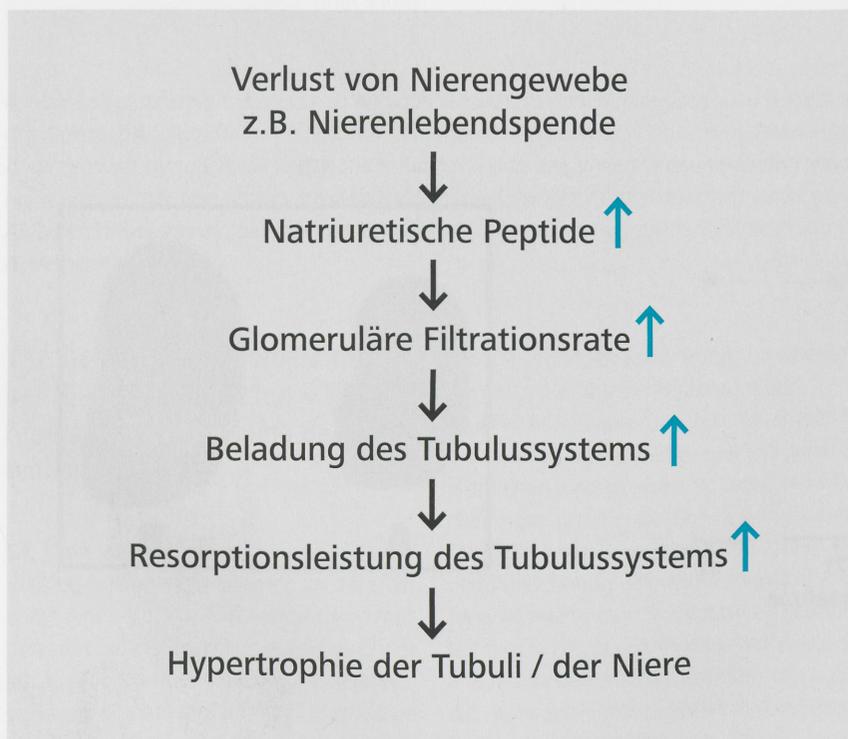
Oberflächenmarker grenzt die Kollagen-produzierenden Fibrozyten eindeutig von Monozyten ab.

Um herauszufinden, ob Fibrozyten *in vivo* aus Monozyten entstehen, wurden

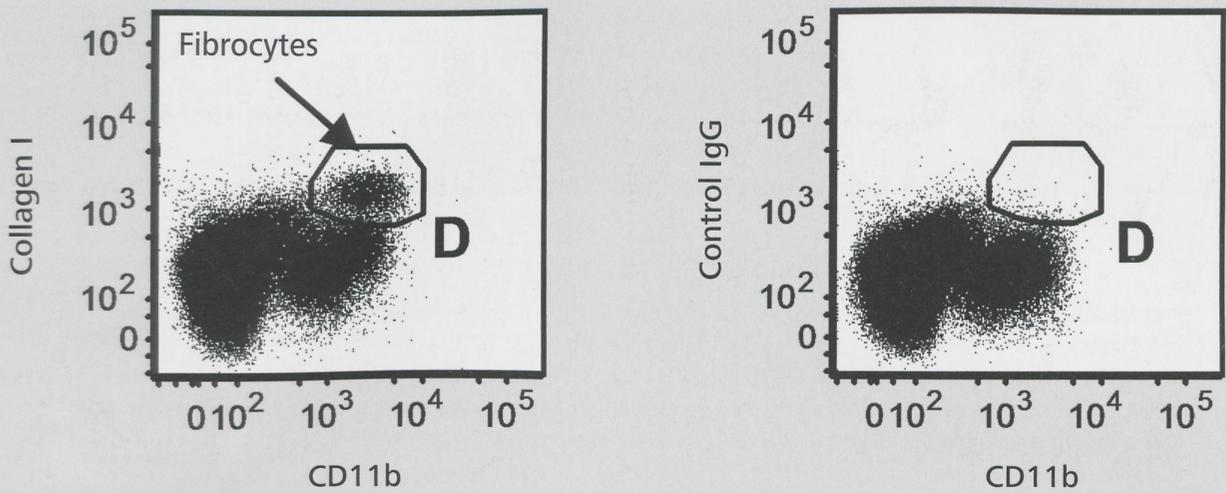
Monozyten spezifisch mit einem monoklonalen Antikörper eliminiert (depletiert), was nicht zur Verringerung der Fibrozyten in der erkrankten Niere oder zur Reduktion der Nierenfibrose führte. Interessanterweise finden sich Fibrozyten selbst bei gesunden Tieren im peripheren Blut. Kommt es zu einer Nierenerkrankung, wandern diese Zellen in die Niere ein und tragen so zur Entstehung einer Nierenfibrose bei. Es konnte diesbezüglich gezeigt werden, dass die Wanderung der Fibrozyten in die Niere von dem Chemokinrezeptor CCR2 abhängig ist, so dass CCR2-defiziente Mäuse eine deutlich geringere Nierenfibrose aufweisen.

Um Fibrozyten direkt zu depletieren, wurden zwei verschiedene Ansätze gewählt. Aufgrund der starken Expression von Gr-1 auf Fibrozyten konnten diese mit einem monoklonalen Antikörper gegen Gr-1 sehr effizient beseitigt werden. Zum anderen wurden spezielle Mäuse verwendet, bei denen Fibrozyten mit Diptherietoxin eliminiert werden konnten. Beide Depletionsansätze führten zu einer starken Reduktion der Fibrozyten in der Niere und zu einer signifikanten Reduktion der Nierenfibrose.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Fibrozyten nicht aus infiltrierenden Monozyten entstehen, sondern ver-



7 Postulierter Ablauf der Ereignisse, die zur Hypertrophie der intakten Niere nach einseitigem Ausfall der Nierenfunktion führen.



9 Nachweis von Fibrozyten in der fibrotischen Mausniere mittels Durchflusszytometrie. Fibrozyten exprimieren CD11b und Kollagen I (links). Kontrollfärbung mit einem Isotyp-Kontroll-Antikörper (rechts).

mutlich nur aus einer gemeinsamen Vorläuferzelle im Knochenmark hervorgehen. Weiterhin ist es erstmals gelungen, Fibrozyten mithilfe von extrazellulären Oberflä-

chenantigenen zu charakterisieren und zu depletieren. Zudem wurde gezeigt, dass Fibrozyten einen signifikanten Beitrag zur Entstehung der renalen Fibrose leisten.

Diese Ergebnisse dienen als Grundlage für weiterführende Studien und sind gleichzeitig Basis für die Entwicklung neuer antifibrotischer Therapien.



Prof. Dr. **Armin Kurtz**, geb. 1955 in Straubing/Niederbayern. Studium der Humanmedizin an der Universität Regensburg und der TU München. 1980 Staatsexamen und Approbation. Seit 1991 Lehrstuhl für Physiologie an der Universität Regensburg.  
**Forschungsschwerpunkte:** Nierenfunktion; Blutdruckregulation.

Prof. Dr. **Matthias Mack**, Studium der Humanmedizin an der Ludwig-Maximilians-Universität München. 1996 Staatsexamen. Seit 2004 Professur für Innere Medizin und Nephrologie am Universitätsklinikum Regensburg.

**Forschungsschwerpunkte:** Organfibrose bei entzündlichen Erkrankungen und Transplantation, Regulation der Immunantwort durch Basophile Granulozyten und Interleukin-3; Bedeutung von Chemokinrezeptoren für die Entstehung von Entzündung und Autoimmunität.





Prof. Dr. **Frank Schweda**, geb. 1968 in Seesen am Harz, Studium der Humanmedizin und Promotion an der Georg-August-Universität Göttingen, klinische Ausbildung an der Universitätsklinik Regensburg, seit 2008 Professor für Physiologie an der Universität Regensburg.

**Forschungsschwerpunkte:** Steuerung der Nierenfunktion und des Nierenwachstums, Blutdruckregulation.

PhD **Markus Reichold**, geb. 1977 in Marktredwitz. Studium der Pharmazie an der Universität Regensburg. Seit 2004 Approbation als Apotheker. 2004-2008 Promotion am Institut für Physiologie an der Universität Regensburg. Seit 2008 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Molekulare Medizin an der Universität Regensburg.

**Forschungsschwerpunkte:** Untersuchung von erblichen Nierenerkrankungen mit Schwerpunkt auf das renale Fanconi-Syndrom, Mitochondrienfunktion, Elektrophysiologie und Transportphysiologie.



Dr. **Jörg Reinders**, geb. 1976 in Bottrop, Studium der Biochemie an der Ruhr-Universität Bochum, Abschluss 2002 als Dipl.-Biochem. Promotion an der Julius-Maximilians-Universität Würzburg 2005. Habilitation an der Medizinischen Fakultät der Universität Regensburg 2014. Derzeit Gruppenleiter „Proteomics“ im Institut für Funktionelle Genomik der Universität Regensburg.

**Forschungsschwerpunkte:** Einsatz der Proteom-Analyse zur Aufklärung molekularer Pathomechanismen, mitochondriale Proteom-Analyse, Kombination verschiedener OMICS-Ansätze in der Systembiologie.

Prof. Dr. **Charlotte Wagner**, geb. 1964 in Pleinting/Niederbayern. Studium der Biologie an der Universität Regensburg. Seit 1994 wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Physiologie der Universität Regensburg. 2004 Habilitation im Fach Physiologie. 2009 außerplanmäßige Professur am Institut für Physiologie.

**Forschungsschwerpunkte:** Regulation des Reninsystems und der Rekrutierung reninbildender Zellen, Nierenentwicklung.



Prof. Dr. **Ralph Witzgall**, geb. 1964 in Hof. Studium der Humanmedizin an den Universitäten Regensburg und Würzburg. 1990 Staatsexamen und Promotion zum Dr. med. Seit 2002 Ordinarius für Molekulare und Zelluläre Anatomie an der Universität Regensburg.

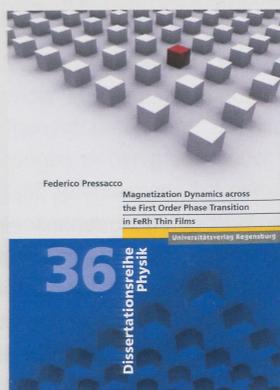
**Forschungsschwerpunkte:** Pathogenese podozytärer Erkrankungen am Beispiel des Nagel-Patella-Syndroms, Pathogenese zystischer Nierenerkrankungen.

# Universitätsverlag Regensburg

Die Dissertationsreihen Physik und Chemie präsentieren die Veröffentlichungen der aktuellen und ehemaligen Doktoranden der Fakultät Physik und der Fakultät Chemie der Universität Regensburg. Diese Veröffentlichungsmethode verbindet open access und professionelle Verlagsarbeit auf innovative Weise.

## DISSERTATIONSREIHE PHYSIK

Herausgegeben von Prof. Richter, Prof. Schäfer, Prof. Weiß und Prof. Wegscheider, Präsidium des Alumnivereins der Fakultät Physik der Universität Regensburg



Federico Pressacco  
**Magnetization Dynamics across the First Order Phase Transition in FeRh Thin Films**

1. Auflage 2014, 100 Seiten, 36 Farb-, 19 s/w-Abbildungen, 17 x 24 cm, Broschur, klebegebunden

ISBN 978-3-86845-104-7  
€ 19,95 [D] / SFr 26,90



Thomas Hofmann  
**Hochauflösende Rasterkraftmikroskopie auf Graphen und Kohlenmonoxid**

1. Auflage 2014, 138 Seiten, 238 Farb-, 8 s/w-Abbildungen, 17 x 24 cm, Broschur, klebegebunden

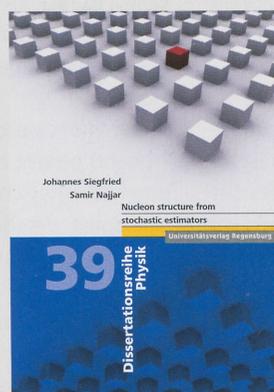
ISBN 978-3-86845-106-1  
€ 24,95 [D] / SFr 33,90



Tobias Dollinger  
**Spin transport in Two-Dimensional Electron and Hole Gases**

1. Auflage 2014, 162 Seiten, 31 Farb-, 4 s/w-Abbildungen, 17 x 24 cm, Broschur, klebegebunden

ISBN 978-3-86845-107-8  
€ 29,95 [D] / SFr 38,90



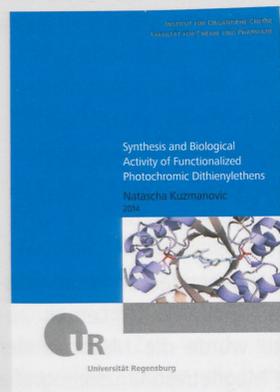
Johannes Siegfried Samir Najjar  
**Nucleon structure from stochastic estimators**

1. Auflage 2014, ca. 170 Seiten, ca. 68 Farb-, 5 s/w-Abbildungen, 17 x 24 cm, Broschur, klebegebunden

ISBN 978-3-86845-109-2  
€ 29,95 [D] / SFr 38,90

## DISSERTATIONSREIHE CHEMIE

Herausgegeben vom Alumniverein Chemie der Universität Regensburg e.V. in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Burkhard König, Prof. Dr. Joachim Wegener, Prof. Dr. Arno Pfitzner und Prof. Dr. Werner Kunz.



Natascha Kuzmanovic  
**Synthesis and Biological Activity of Functionalized Photochromic Dithienylethenes**

1. Auflage 2014, 140 Seiten, 19 Farb-, 116 s/w-Abbildungen, 17 x 24 cm, Broschur, klebegebunden

ISBN 978-3-86845-105-4  
€ 24,90 [D] / SFr 33,90

Diese Dissertation umfasst neue Konzepte zur biologischen Anwendung von funktionalisierten photochromen Dithienylethenen, die als lichtabhängige Schalter für Enzymaktivität und Peptide agieren. Es wird die Entwicklung von Dithienylcyclopenten basierten Enzyminhibitoren berichtet, die die Aktivität des metabolischen Schlüsselenzyms mtPriA reversibel durch Licht kontrollieren können. Die gewonnenen Erkenntnisse besitzen besondere Relevanz im Hinblick auf die Entwicklung von neuartigen molekularen Hilfsmitteln um zelluläre Abläufe durch Licht zu kontrollieren.

# Wahrnehmungslernen: Wie erlernt das Gehirn Neues?

## Sehen lernen

Mark W. Greenlee, Katharina Rosengarth, Markus Goldhacker, Sebastian M. Frank, Tina Plank

### Einführung

Wie erlernt das Gehirn Neues? Wie kommt es, dass wir durch Erfahrung neue Aspekte der Wahrnehmung erlernen können? Diese Fragestellungen bilden die Grundlage für Experimente, die bei gesunden Probanden durchgeführt werden, während sie neue Aufgaben mit neuen Reiz-Konstellationen lernen.

Eine besondere Form des Lernens stellt das Lernen auf der Wahrnehmungsebene dar (perzeptuelles Lernen). Es ist abzugrenzen von anderen Formen des Lernens, wie z. B. dem expliziten Erlernen von Fakten oder neuen Englischvokabeln und dem prozeduralen Erlernen von Regeln und Handlungsabläufen (z. B. Grammatikregeln, Klavierspielen, Fahrradfahren). Was kann man sich also unter Lernen auf der Wahrnehmungsebene vorstellen? Ein Beispiel wird im Rahmen eines Lernexperiments bei der Suche nach einem bestimmten Zielreiz unter Distraktoren (Frank et al. 2013) deutlich. **[1]** zeigt die Reizanordnung und die Ergebnisse dieser Untersuchung. Die Probanden werden aufgefordert, ohne die Augen zu bewegen, eine rot-grüne Scheibe unter lauter grün-roten Scheiben zu finden. Die Scheiben sind in Form von vier konzentrischen Ringen radial angeordnet. Die Größe der Scheiben nimmt mit der Entfernung zum Mittelpunkt zu, um die Aufgabe auch bei weiterer Entfernung der Reize vom Bildschirmzentrum gleich schwer zu halten. Wie in **[1a]** ersichtlich, ist die Aufgabe zu Beginn des Trainings schwer, wenn auch nicht unmöglich. Die rot-grüne Scheibe ist von den grün-roten Scheiben zunächst nicht leicht unterscheidbar. Doch wird die Aufgabe mit Training für die Probanden einfacher.

Die Probanden lernen, die rot-grüne Scheibe unter den grün-roten Distraktoren schneller zu entdecken. Nach einer Woche täglichen Trainings sind die Zielscheiben sofort erkennbar, was man an einer Zunahme der Entdeckungsrate und an einer Abnahme der Reaktionszeiten erkennen kann **[1b, 1c]**. Der wahrgenommene Zielreiz springt einem regelrecht ins Auge. In der Wahrnehmungspsychologie spricht man dabei von einem „Pop-out-Effekt“. Dieser Effekt stellt sich dann ein, wenn der Proband gelernt hat, Zielreize von Distraktoren zu unterscheiden. Perzeptuelles Lernen spielt demnach eine entscheidende Rolle, um aus einem Laien einen Experten zu machen. Eine derart erlernte Fähigkeit bleibt längere Zeit erhalten. Nach neun Monaten ohne weiteres Training wurden die Probanden erneut in der Aufgabe getestet, um zu überprüfen, wie langanhaltend die Lerneffekte sind. Obwohl das ursprüngliche Training nur neun Tage dauerte, waren die Probanden nach neun Monaten immer noch in der Lage, die Aufgabe effizient zu lösen.

### Verhaltensexperimente zum Wahrnehmungslernen

Um die Mechanismen und Hintergründe des perzeptuellen Lernens in der Forschung näher zu untersuchen, sollen naive Probanden wiederholt (meist an mehreren Tagen) eine bestimmte Aufgabe lösen. Dabei lernen die Probanden im Laufe des Trainings, einzelne Reize zu erkennen und zu unterscheiden, die ihnen zu Beginn des Lernprozesses noch identisch schienen. Häufig werden dazu visuelle Reize verwen-

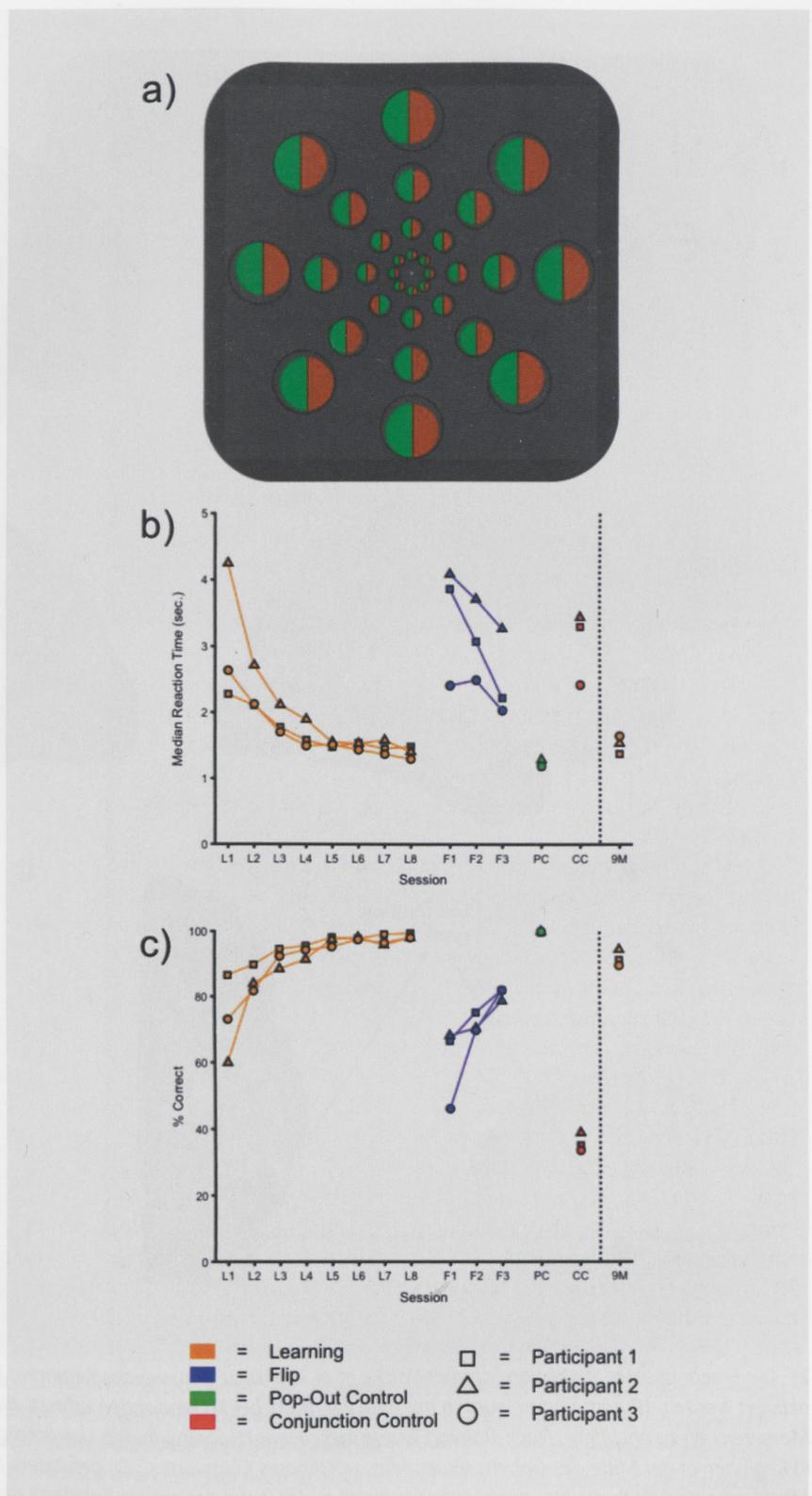
det, obwohl Wahrnehmungslernen ein Phänomen darstellt, das bei jedem Sinnesystem beobachtet werden kann. Die Probanden lernen zu unterscheiden, ob beispielsweise an einem bestimmten Ort in ihrem Gesichtsfeld (z. B. im linken oberen Gesichtsfeld) Linien senkrecht oder waagrecht dargeboten werden. Der Reiz wird allerdings nur sehr kurz präsentiert (13 ms) und kann kaum bewusst wahrgenommen werden. Zu Beginn des Trainings kann der Proband die Orientierung der Linien nur raten. Aber bereits nach wenigen Trainingseinheiten lernt der Proband, diese Unterschiede zu erkennen. Über mehrere Messzeitpunkte hinweg wird die Schnelligkeit, mit der ein Reiz klassifiziert werden kann, aufgezeichnet. Typischerweise zeigt sich, dass die Probanden mit zunehmender Erfahrung schneller und sicherer bei solchen Entscheidungsprozessen werden (Karni/Sagi 1991, S. 4966–4970). Eine besondere Eigenschaft des perzeptuellen Lernens ist, dass die erlernte Fähigkeit spezifisch für den Ort im Gesichtsfeld ist. Das bedeutet, der Proband ist nach dem Training nur in der Lage, Reize im trainierten Gesichtsfeldbereich sicherer und schneller zu unterscheiden als vor dem Training. Auf einen anderen Gesichtsfeldbereich wirkt sich das Lernen kaum oder gar nicht aus (Fahle 2005, S. 154–160).

### Funktionelle Magnetresonanztomografie des lernenden Gehirns

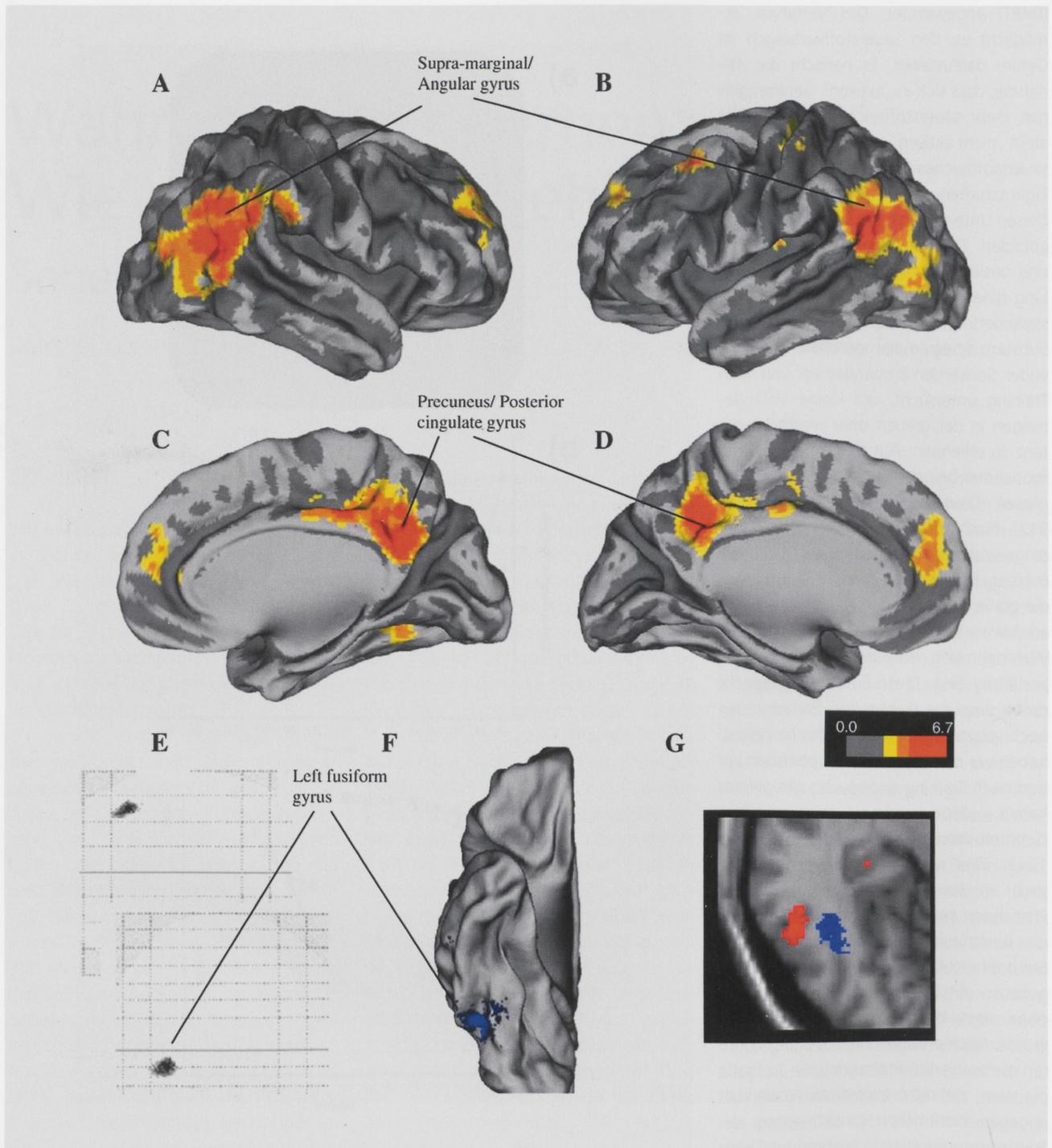
Mit Hilfe von bildgebenden Verfahren können wir dem Gehirn beim Lernen zuschauen. Dazu wurde die Methode der funktionellen Magnetresonanztomografie



(fMRT) angewendet. Das Verfahren ermöglicht es, den Sauerstoffverbrauch im Gehirn darzustellen. Es herrscht die Annahme, dass sich in „aktiven“ Gehirnregionen mehr sauerstoffreiches Blut befindet als in „nicht aktiven“ Regionen. Zudem hat sauerstoffreiches Blut andere magnetische Eigenschaften als sauerstoffarmes Blut. Diesen Unterschied kann man mittels fMRT abbilden. Das Verfahren ist nicht invasiv und basiert nicht auf ionisierender Strahlung (wie z. B. die Computertomografie). Veränderungen in der Dicke der grauen Substanz spiegeln die neuronale Plastizität wider. So werden Probanden vor und nach Training untersucht, um kleine Veränderungen in der grauen oder weißen Substanz zu erkennen. Auf diese Weise wurde Probanden beigebracht, drei Bälle zu jonglieren (Draganski et al. 2004, S. 311–312). Nach drei Monaten täglichen Trainings wurden ihre Gehirne nochmals gemessen. Die Autoren fanden heraus, dass die graue Substanz in Arealen des Gehirns an Masse zugenommen hat, die für die Wahrnehmung von visueller Bewegung zuständig sind. Diese Entdeckung spricht dafür, dass das Gehirn von Erwachsenen noch plastisch ist. Auf ähnliche Weise haben wir die Gehirne von Probanden vor und nach Training untersucht, die gelernt haben, Morsezeichen zu entziffern (Schmidt-Wilcke et al. 2010, S. 1234–1241). Drei Morsezeichen wurden akustisch im Scanner dargeboten, und die Probanden mussten entscheiden, ob die drei Buchstaben ein deutsches Wort bildeten oder nicht. Eine Kontrollgruppe wurde genauso mit fMRT mehrmals untersucht, ohne dass bei ihnen Morsen trainiert wurde. Nach erfolgreichem Training konnten die trainierten Probanden die Aufgabe meistern, die nicht trainierten Probanden dagegen nicht. Die Hirnaktivierung der Trainingsgruppe stieg in bestimmten Teilen des Gehirns an, die an der akustischen Aufgabe beteiligt waren [2]. Bei der Kontrollgruppe gab es dagegen keine erkennbaren Veränderungen zwischen der ersten und zweiten Messung. Bei einem Vergleich zwischen den Gehirnen der Trainings- und Kontrollgruppe fanden wir ebenfalls eine Zunahme an grauer Substanz im fusiformen Kortex der linken Hemisphäre. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass das Lernen von Morsezeichen eine Veränderung sowohl in der Aktivierung als auch in der Struktur des Gehirns herbeigeführt hat. In der letzten Zeit wurde kritisch bemerkt, dass viele Studien, die behaupten, Ände-



1 Die Ergebnisse eines Experiments, bei dem Probanden lernen, neue Suchaufgaben zu meistern. a) Beispiel einer Reizpräsentation. Der Proband hat die Aufgabe, einen rot-grünen Kreis unter lauter grün-roten Kreisen zu finden. b) die mittleren Reaktionszeiten (orange für Teilnehmer 1 bis 3) für die Lernsitzungen 1 bis 8 (d. h. L1–L8, durchgeführt an separaten Tagen). Die blauen Punkte geben die Ergebnisse einer pop-out Kontrollbedingung wieder, die nicht gelernt werden muss. Die roten Punkte zeigen die Werte einer non-pop-out Kontrollbedingung, die erst gelernt werden muss. Die orangen Datenpunkte rechts geben die Werte an, die nach einem zeitlichen Abstand von neun Monaten (9 m) in der ursprünglichen Lernaufgabe (d. h. rot-grün unter grün-rot) erzielt wurden. c) wie in Abb. 1b, aber jetzt für die Performanz (Prozent richtig).



2 Die Ergebnisse der Studie von Schmidt-Wilcke et al. (2010) zeigen, welche Regionen im Gehirn durch die Morseaufgabe aktiviert werden. Hirnantworten wurden mit Hilfe von fMRT bei 16 Probanden erfasst, die gelernt haben, akustisch präsentierte Morsezeichen zu entziffern. Nach Training wurde mehr Hirnaktivierung in den supramarginalen und angularen Gyri (A, B) sowie in Regionen in der Mitte des Gehirns (Präcuneus, posteriores Cingulum; C, D) gefunden. Die Ergebnisse der voxel-basierten Morphometrie (VBM), die hier nach Veränderungen in der Dicke der grauen Substanz gesucht hat, geben signifikante Unterschiede wieder und sind in blau dargestellt (E, F). Die anatomischen Veränderungen liegen nah an der Aktivierungsstelle im fusiformen Kortex (G).

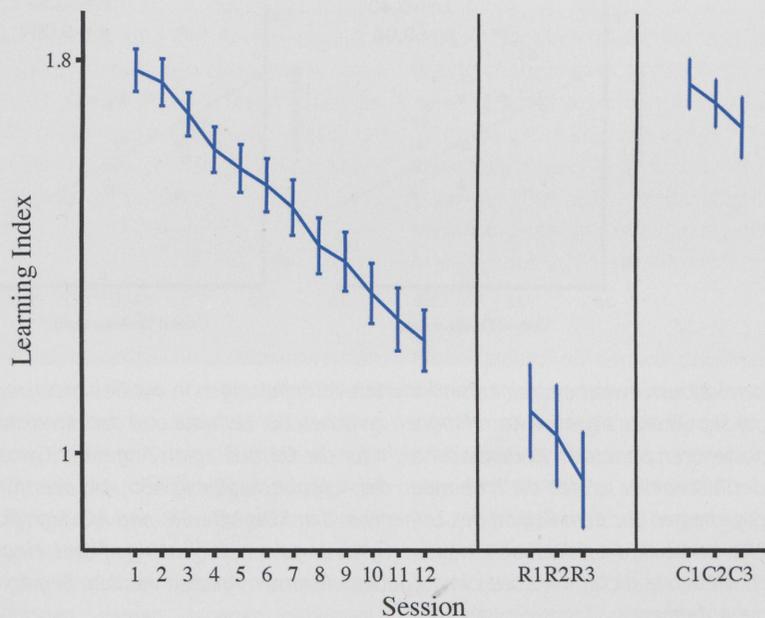
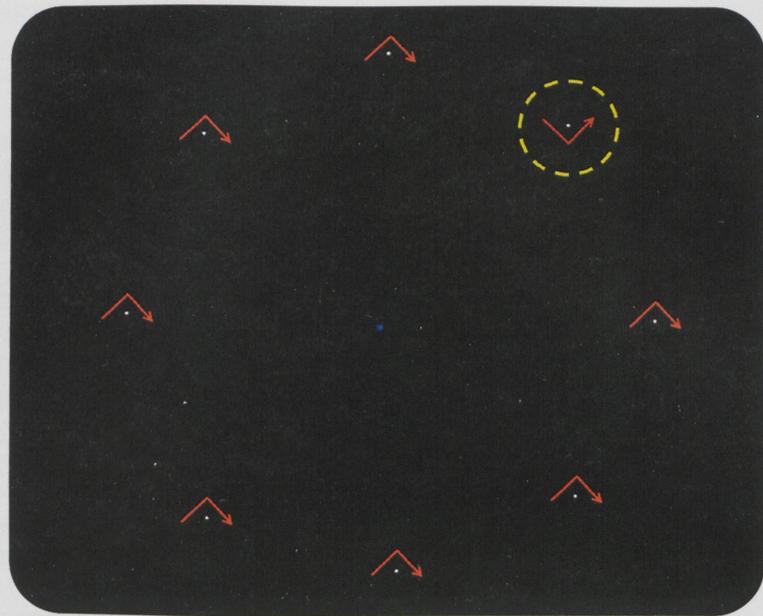
rungen im Gehirn nach Training entdeckt zu haben, statistisch nicht korrekt durchgeführt worden seien (Thomas/Baker 2013, S. 225–236). Viele Aspekte der Durchführung der Experimente oder der Auswertung der Daten können dazu füh-

ren, dass nur scheinbar signifikante Ergebnisse vorliegen, die dann fälschlicherweise als solche bewertet werden. Daher muss man große Sorgfalt bei der Auslegung solcher Befunde aufwenden, um zu vermeiden, voreilige Entscheidungen zu treffen.

### Die Rolle von Feedback beim Wahrnehmungslernen

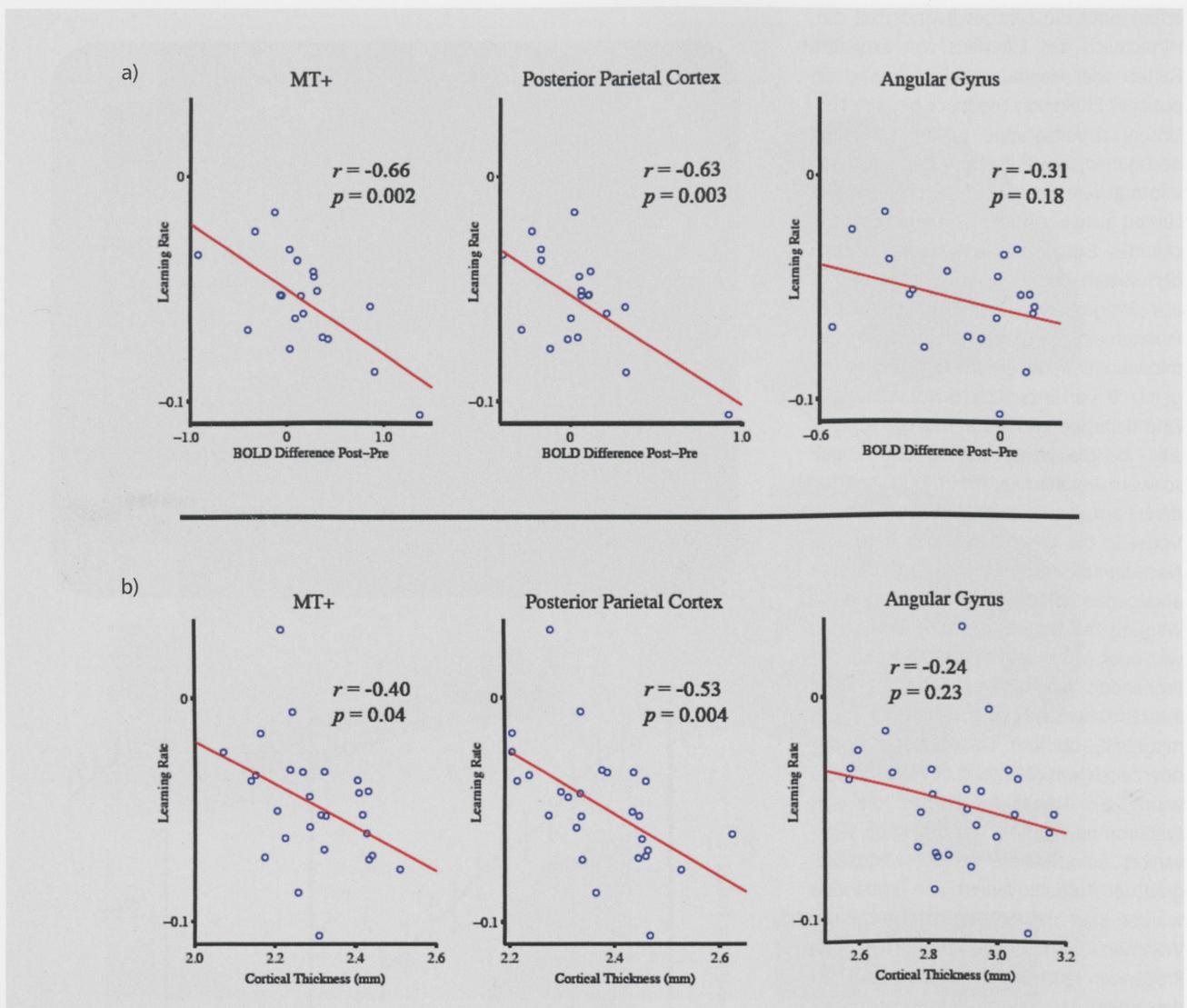
In Bezug auf ein optimales Umfeld für das Lernen stellt sich immer wieder die Frage, ob Feedback einen Einfluss auf den Lern-

erfolg oder die Lerngeschwindigkeit hat. Hinsichtlich des Erlernens von expliziten Fakten oder Handlungsabläufen wird ein positiver Effekt von Feedback beschrieben. Unsere Arbeitsgruppe wollte der Frage nachgehen, inwiefern sich die Gabe von informativem Feedback auf perzeptuelles Lernen auswirkt. Dazu wurde ein entsprechendes Experiment entwickelt: Probanden sollten angeben, ob in einer Wolke aus sich größtenteils zufällig bewegenden Punkten einige Punkte dabei sind, die sich miteinander in die gleiche Richtung bewegen (z. B. von links nach rechts) oder nicht. Eine derartige synchrone Bewegung ließe sich beispielsweise mit einem Vogelschwarm vergleichen, der im Flug verschiedene Formationen erzeugt, indem sich alle Vögel in die gleiche Richtung bewegen. Nachdem die Probanden ein Urteil darüber abgegeben hatten, ob nun synchrone Bewegung in der Punktwolke vorhanden war oder nicht, bekam nur die Hälfte der Probanden informatives Feedback über ihre Entscheidung, d. h. es wurde ihnen mitgeteilt, ob ihre Entscheidung richtig oder falsch war. Während des Experiments wurde die Anzahl der Punkte, die sich synchron bewegten – von gering bis viel – variiert. Somit wurde der Schwierigkeitsgrad der Aufgabe variiert. Die Probanden wurden über mehrere Tage trainiert, diese Wahrnehmungsaufgabe zu meistern. Alle Probanden lernten die Aufgabe und wurden durch das Training besser. Allerdings zeigte sich ein starker Effekt hinsichtlich des Feedbacks. Im Gegensatz zu den Annahmen, dass das Verabreichen von Feedback den Lernerfolg erhöht, machten die Probanden, die Feedback erhielten, hier bedeutend mehr Fehler als die Probanden, die kein Feedback erhielten. Es zeigte sich, dass sich die Probanden ohne Feedback „konservativer“ verhielten: Sie gaben nur dann an, synchrone Bewegung gesehen zu haben, wenn sie sich sehr sicher waren – im Gegensatz zu den Probanden mit Feedback, deren Entscheidung öfter nur durch Raten zustande kam. Lediglich bei Reizen, die stark über der Wahrnehmungsschwelle lagen (d. h. die Hälfte der dargebotenen Punkte bewegte sich synchron) profitierten die Probanden vom Feedback. Ein weiteres interessantes Ergebnis zeichnet sich in der Geschwindigkeit ab, mit der die Entscheidungen getroffen wurden (synchrone Bewegung gesehen oder nicht). Die Gruppe mit Feedback machte zwar mehr Fehler, konnte sich aber schneller entscheiden als die Gruppe ohne Feed-



**3a** Schematische Darstellung der Bewegungsreize, die bei der Lernaufgabe eingesetzt wurden. Acht weiße Punkte werden kreisförmig präsentiert. Alle Punkte bewegen sich nach rechts (rote Pfeile geben die Bewegungsform und -richtung wieder). Sieben von acht Punkten bewegen sich nach oben und dann nach unten. Dies sind die Distraktoren. Einer der Punkte bewegt sich zuerst nach unten und dann nach oben (im Bild gelb umkreist). Er ist der Zielreiz, der entdeckt werden muss. Der Zielreiz wird nur in der Hälfte der Durchgänge präsentiert. Die Aufgabe des Probanden ist es, zu erkennen, ob ein Zielreiz vorhanden ist oder nicht.

**3b** Lernraten von 27 Probanden, die in zwölf Sitzungen diese Aufgabe trainiert haben. Alle Probanden lernen die Aufgabe (quantifiziert durch die Reaktionszeit geteilt durch die Performanz) und werden besser. Beim Retest (R1 – R3) hält die gute Leistung an. Tauscht man dagegen die Bewegungsrichtung zwischen Distraktoren und Zielreiz aus (d. h. jetzt bewegt sich der Zielreiz nach oben und dann nach unten, die Distraktoren dagegen bewegen sich nach unten und dann nach oben), so übertragen sich die Lerneffekte nicht, und die Aufgabe muss neu gelernt werden.



4 Korrelationen zwischen trainingsinduzierten Veränderungen in der Gehirnaktivität und der nativen kortikalen Dicke in definierten ROIs. a) Signifikante negative Korrelationen zwischen der Lernrate und der Hirnaktivität (BOLD Differenz prä-post) für MT+ und den posterioren parietalen Kortex, aber nicht für die Kontrollregion Angularer Gyrus. Je größer der Anstieg von Aktivität post vs. prä, desto schneller lernten die Probanden die Aufgabe. b) Wie in Abb. 4A, aber für die Korrelation zwischen Lernrate und kortikaler Dicke (gemessen vor dem Beginn des Lernens) in den ROIs MT+, PP, und AG. Signifikante Korrelationen sind für die Regionen MT+ und PP erkennbar, die Korrelation mit dem Gyrus angularis ist nicht signifikant. Negative Lernraten (y-Achse) geben schnelleres Lernen wieder. Je dicker der Kortex in aufgabenrelevanten Arealen vor dem Beginn des Trainings, desto schneller lernen die Probanden die Aufgabe.

back. Dies war unabhängig davon, ob die Entscheidung richtig oder falsch war.

Zusätzlich sollte in dieser Studie untersucht werden, inwiefern sich das Verhalten der Probanden abhängig vom Feedback im Gehirn widerspiegelt. Unter Verwendung der fMRT zeigte sich, dass sowohl in der Gruppe mit Feedback als auch in der Gruppe ohne Feedback nach dem Training weniger neuronale Ressourcen (Aktivierung in Gehirnarealen, die mit visueller Wahrnehmung und Aufmerksamkeit in Verbindung stehen) beansprucht wurden als vor dem Lernen. Dieser Effekt war allerdings in der Gruppe, welche

Feedback erhielt, signifikant stärker ausgeprägt. Der höhere Lernerfolg in der Gruppe ohne Feedback geht dementsprechend auch mit einer höheren geistigen Anstrengung (d. h. *cognitive load*) einher. Die Ergebnisse dieser Studie deuten darauf hin, dass im Falle von Wahrnehmungslernen unmittelbares informatives Feedback den Lernerfolg eher hemmt und die Probanden dazu verleitet, riskanter zu antworten. Dies steht in Zusammenhang mit einer mit dem Lernen einhergehenden effizienteren neuronalen Verarbeitung, was sich auch in einem schnelleren Reaktionsverhalten widerspiegelt.

## Individuelle Unterschiede der Lernfähigkeit

Die Lernfähigkeiten von Menschen variiert: Manche Personen lernen schnell, manche brauchen mehr Zeit, dieselbe Aufgabe zu erlernen. Worauf beruhen solche interindividuellen Unterschiede in der Fähigkeit, Neues zu lernen? Dieser Fragestellung gingen wir in einem Experiment nach, bei dem Probanden unterscheiden sollten, ob sich weiße Punkte auf einem dunklen Hintergrund alle in gleicher Weise bewegten oder ob ein Punkt sich anders bewegte. Die Reizanordnung bestand aus acht wei-

ßen Punkten, die radial in einer Entfernung von zehn Grad vom Zentrum angeordnet waren [3]. Alle Punkte bewegten sich in einer v-förmigen Bahn nach rechts. Sieben der acht Punkte nahmen einen umgekehrten v-Verlauf an (d. h. zuerst geht er nach oben, dann nach unten), ein Punkt bewegte sich in einer regulären v-Form [3a]. Es galt, diesen abweichenden Verlauf zu entdecken. Das Lernen über mehrere Trainingssitzungen ist in [3b] dargestellt. Es wird durch einen Wert, den sogenannten Inverse Efficiency Score (IES), wiedergegeben. Trägt man den IES-Wert gegen die Zeit auf, so gibt die Steigung dieser Funktion die Schnelligkeit des Lernens an. Über die zwölf Trainingssitzungen lernen alle Probanden die Aufgabe, sie werden schneller und akkurater mit zunehmender Erfahrung ( $t(26) = -9.24, p < 0.001$ ). Die Trefferrate nahm zu (von 50 % – was der Ratewahrscheinlichkeit entspricht – bis 77 %), und die Reaktionszeiten nahmen ab (von 3,6 Sekunden bis 2,2 Sekunden) (Frank et al. 2014).

Durch die gleichzeitig aufgenommenen anatomischen Bilder des Gehirns konnten wir die kortikale Dicke und die Gehirnaktivierung an bestimmten Stellen – sogenannten „Regions-of-Interest (ROI)“ – berechnen, die an der Lösung der Aufgabe beteiligt sind. Zwei Regionen sind besonders wichtig für Bewegungswahrnehmung und Aufmerksamkeits-/Entscheidungsprozesse: die Areale MT+ (*medial temporal*) und der posteriore parietale Kortex (PP: [4]). Zwischen diesen beiden Kortextarealen befindet sich der angulare Gyrus, der nicht direkt an diesen Prozessen beteiligt ist. Diese Region dient als Kontrollregion, da wir hier keinen Zusammenhang mit dem Wahrnehmungslernen erwarteten. Abbildung [4] präsentiert die Ergebnisse dieser Analyse: Korrelationen mit Verhaltensdaten (d. h. dem „Lernen“) sind in Form von Streudiagrammen dargestellt. Abbildung [4a] zeigt den Zusammenhang zwischen dem Lernzuwachs und der hämodynamischen Antwort (genannt BOLD: *blood oxygen level dependent*), die ein Indikator neuronaler Aktivität ist. Probanden, die langsam lernten,

zeigten geringere BOLD-Antworten als Probanden, die schneller lernten. Diese Korrelationen sind hoch signifikant in den ROIs MT+ und PP, nicht aber im angularen Gyrus. In Abbildung [4b] wird der Zusammenhang zwischen dem Lernzuwachs und der kortikalen Dicke (gemessen vor dem Beginn des Trainings) dargestellt. Hier finden wir ebenfalls einen signifikanten Zusammenhang mit der Lerngeschwindigkeit. Die Korrelationen zwischen Lernrate und kortikaler Dicke sind nur für die ROIs MT+ und PP signifikant, für den angularen Gyrus dagegen nicht. Probanden, die mehr graue Substanz an diesen Stellen (MT+ und PP) aufwiesen, bevor sie überhaupt mit dem Lernen der Aufgabe begonnen hatten, lernten die Aufgabe schneller. Fasst man den Einfluss beider Faktoren in einer multiplen Regression zusammen, so kann man etwa die Hälfte der interindividuellen Varianz des Lernzuwachses bei dieser Bewegungsaufgabe durch Unterschiede in der funktionellen BOLD-Antwort und der kortikalen Dicke des Kortex in aufgabenrelevanten Arealen erklären. Dieses Ergebnis zeigt, dass die anatomische und funktionelle Variabilität des Gehirns die Lernfähigkeit von Menschen stark beeinflusst.

## Sehen Lernen

Der Forschungsverbund an der Universität Regensburg „Sehen und Verstehen“ setzt einen zentralen Fokus auf die Erforschung des menschlichen Sehens. Das Sehen muss erlernt werden. Reizkonfigurationen, die häufig vorkommen, werden gelernt. Durch Lernprozesse werden bestimmte Verbindungen im Gehirn verstärkt, andere Verbindungen werden dagegen gehemmt. Die Methode der funktionellen Magnetresonanztomografie erlaubt uns, in das Gehirn von Probanden hineinzuschauen, während sie eine neue Aufgabe erlernen. Dabei können wir sowohl den Einfluss der Reizkonfiguration als auch die Auswirkung von Feedback auf das Verhalten und die Hirnaktivität analysieren. Wir sind in der Lage, auch anspruchsvolle Sehleistungen

zu erlernen. Der Lernzuwachs variiert über die Probanden, und diese Variation hängt von der Dicke der grauen Substanz bei wichtigen kortikalen Regionen ab. Durch die Methode der funktionellen Magnetresonanztomografie können wir das Gehirn beim Erlernen von neuer Information beobachten, um z. B. auf diese Weise optimale Lernumgebungen zu definieren.

## Literatur

- B. Draganski, C. Gaser, V. Busch, G. Schuerer, U. Bogdahn und A. May, *Neuroplasticity: Changes in grey matter induced by training. Nature*, 427 (6972) 2004, p. 311–312; doi :10.1038/427311a
- M. Fahle, *Perceptual learning: specificity versus generalization. Current Opinion in Neurobiology*, 15 (2) 2005, p. 154–160; doi :10.1016/j.conb.2005.03.010
- Sebastian Frank, Eric Reavis, Peter U. Tse und Mark W. Greenlee, *Neural mechanisms of feature conjunction learning: Enduring changes in occipital cortex after a week of training. Human Brain Mapping*, 2013; doi :10.1002/hbm.22245
- Sebastian Frank, Eric Reavis, Mark W. Greenlee, Peter U. Tse, *Pre-training cortical thickness predicts subsequent perceptual learning rate*, 2014 (submitted for publication).
- A. Karni und D. Sagi, *Where practice makes perfect in texture discrimination: evidence for primary visual cortex plasticity. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 88 (11) 1991, p. 4966–4970
- T. Schmidt-Wilcke, K. Rosengarth, R. Luerding, U. Bogdahn und Mark W. Greenlee, *Distinct patterns of functional and structural neuroplasticity associated with learning Morse code. NeuroImage*, 51 (3) 2010, p. 1234–1241; doi :10.1016/j.neuroimage.2010.03.042
- C. Thomas und C. I. Baker, *Teaching an adult brain new tricks: a critical review of evidence for training-dependent structural plasticity in humans. NeuroImage* 73 (2013), p. 225–236; doi :10.1016/j.neuroimage.2012.03.069



Prof. Dr. **Mark W. Greenlee** wurde im Oktober 2003 zum Lehrstuhlinhaber der Experimentellen Psychologie und Methodenlehre nach Regensburg berufen. Zuvor war er Professor für Kognitive Neuropsychologie an der Universität Oldenburg von 1999 bis 2003, während dieser Zeit war er Mitglied der Forschungsgruppe „Neurokognition“ (SFB 517). Greenlee studierte Psychologie an der Wayne State University (Detroit, Michigan/USA) und der Universität Freiburg und erhielt sein Diplom 1984. 1986 folgten sein Doktorgrad und 1989 seine Habilitation an der Medizinischen Fakultät der Universität Freiburg. Er arbeitete als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Freiburg, als Feodor-Lynen-Stipendiat der Humboldt-Stiftung an der Universität Oslo und 1994 als Gast-Stipendiat der University of London, Institut für Psychologie, Royal Holloway. Von 1995 bis 1999 war er Herrmann und Lilly Schilling-Professor. Sein Forschungsschwerpunkt liegt auf der funktionalen Anatomie des menschlichen visuellen Systems.

Dr. **Katharina Rosengarth** studierte Allgemeine Sprachwissenschaft an der Universität Regensburg und der University of York. 2009 promovierte sie zu dem Thema Dysgrammatismus bei Kindern. Von 2006 bis 2008 forschte sie am Institut für Hals-Nasen-Ohrenkunde des Universitätsklinikum Regensburg zu dem Thema „Neuronale Korrelate des Tinnitus“. Seit 2009 arbeitet sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Experimentelle Psychologie und Methodenlehre unter anderem im Rahmen des BMBF geförderten Projekts „Brain plasticity and perceptual learning: Experimental analysis and computational modeling“ und der DFG-Forschergruppe „Regulation und Pathologie von homöostatischen Prozessen der visuellen Funktionen“.



Dipl. Phys., Dipl. Psych. **Markus Goldhacker** ist seit Mai 2012 Doktorand im Fachbereich Physik und seit Juli 2010 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Experimentelle Psychologie und Methodenlehre. Er studierte Psychologie und Physik an der Universität Regensburg und erhielt sein Diplom in Physik 2010 und sein Diplom in Psychologie 2012. In seiner Doktorarbeit beschäftigt er sich mit funktioneller Konnektivität und *brain states*.

Dipl. Psych. **Sebastian Frank** ist seit September 2012 Doktorand im Labor von Prof. Dr. Peter U. Tse am Dartmouth College, New Hampshire USA. Er war studentischer Mitarbeiter am Lehrstuhl für Experimentelle Psychologie und Methodenlehre. Er studierte Psychologie an der Universität Regensburg und erhielt sein Diplom 2012. In seiner Doktorarbeit beschäftigt er sich mit den neuronalen Korrelaten von perzeptuellem Lernen.



Dr. **Tina Plank** studierte Volkswirtschaftslehre und Psychologie an der Universität Regensburg. 2005 promovierte sie im Fach Psychologie zu einem Thema der Psychoakustik. Nach der Promotion forschte sie im Rahmen eines Postdoc-Stipendiums zu neuronalen Korrelaten audiovisueller Reizverarbeitung. Seit 2007 ist sie wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Experimentelle Psychologie und Methodenlehre unter anderem im Rahmen des BMBF geförderten Projekts „Brain plasticity and perceptual learning: Experimental analysis and computational modeling“ und der DFG-Forschergruppe „Regulation und Pathologie von homöostatischen Prozessen der visuellen Funktionen“.

# 100 Jahre Altheim

## Ein jungneolithisches Grabenwerk in Niederbayern

Thomas Saile

Das Neolithikum bildet im Rahmen der Geschichte Europas eine der größten historischen Formationen. Die jüngere Steinzeit umfasst im südlichen Mitteleuropa etwa 35 Jahrhunderte von der Mitte des 6. bis zum Ende des 3. Jahrtausends v. Chr. Erfolg und Wachstum der frühbäuerlichen Gesellschaften schufen das Fundament der nachfolgenden alteuropäischen Kulturentwicklung, führten aber zugleich zu Umweltveränderungen in bislang unbekanntem Ausmaß. Die zunehmende gesellschaftliche Differenzierung der neolithischen Ranggesellschaften lässt sich exemplarisch am Aufwand für Kultmonumente ablesen. Das Forschungsfeld der Vor- und Frühgeschichte beschäftigt sich mit der Rekonstruktion dieser kulturhistorischen Zusammenhänge und Entwicklungsprozesse über den zeitlichen Rahmen der schriftlichen Überlieferung hinaus. Die Analyse vergangener Kulturen zeigt die Möglichkeiten der handelnden Gruppen und die Auswirkungen ihrer ökonomischen, sozialen beziehungsweise ideologischen Handlungsstrategien.

Erdwerke gehören zu den eindrucksvollsten Befundgattungen des 4. vorchristlichen Jahrtausends. Das Fundmaterial des nordöstlich von Landshut gelegenen Erdwerkes von Altheim wurde namensgebend für den Altheimer Formenkomplex des späten Jungneolithikums. Ein Jahrhundert nach der großen Grabung von 1914 stellen sich angesichts der intensiv genutzten Agrarlandschaft Niederbayerns unter denkmalpflegerischen Gesichtspunkten zunehmend Fragen zum Erhaltungszustand der Anlage. Aus kulturhistorischer Perspektive bleiben die Motive, die zur Errichtung des Erdwerkes führten, im Fokus des Interesses.



1 Keramische Klassifikationseinheiten in Mitteleuropa in der ersten Hälfte des 4. Jahrtausends v. Chr. L = Lech-Gruppe der Altheimer Kultur, PA = Pfyn-Altheim

Neben dem späten Michelsberg im Nordwesten sowie Baalberge im Norden und Nordosten wurden in Südmitteleuropa die kleinräumigen archäologischen Klassifikationseinheiten Pfyn, Altheim und

Mondsee gebildet [1]. Die Siedlungen der Altheimer Kultur sind an günstige Agrarstandorte im südöstlichen Bayern gebunden. Zu ihrer Ortsform lassen sich bislang keine konkreten Aussagen treffen. Erd-

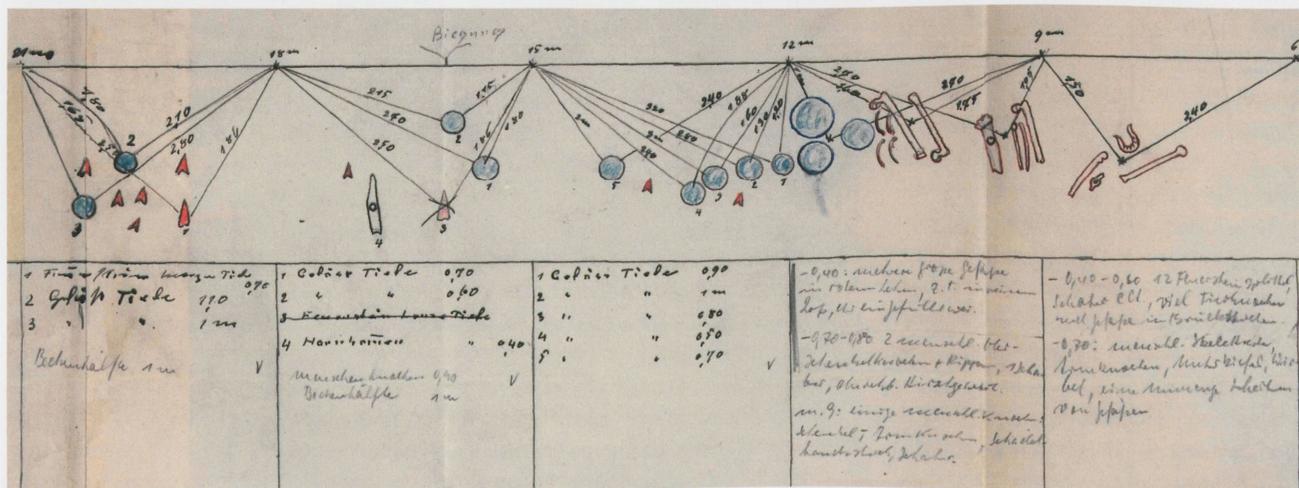


2 Altheim, Markt Essenbach, Ldkr. Landshut, Niederbayern. Blick in einen 1914 ausgehobenen Grabenabschnitt im östlichen Bereich des Erdwerkes

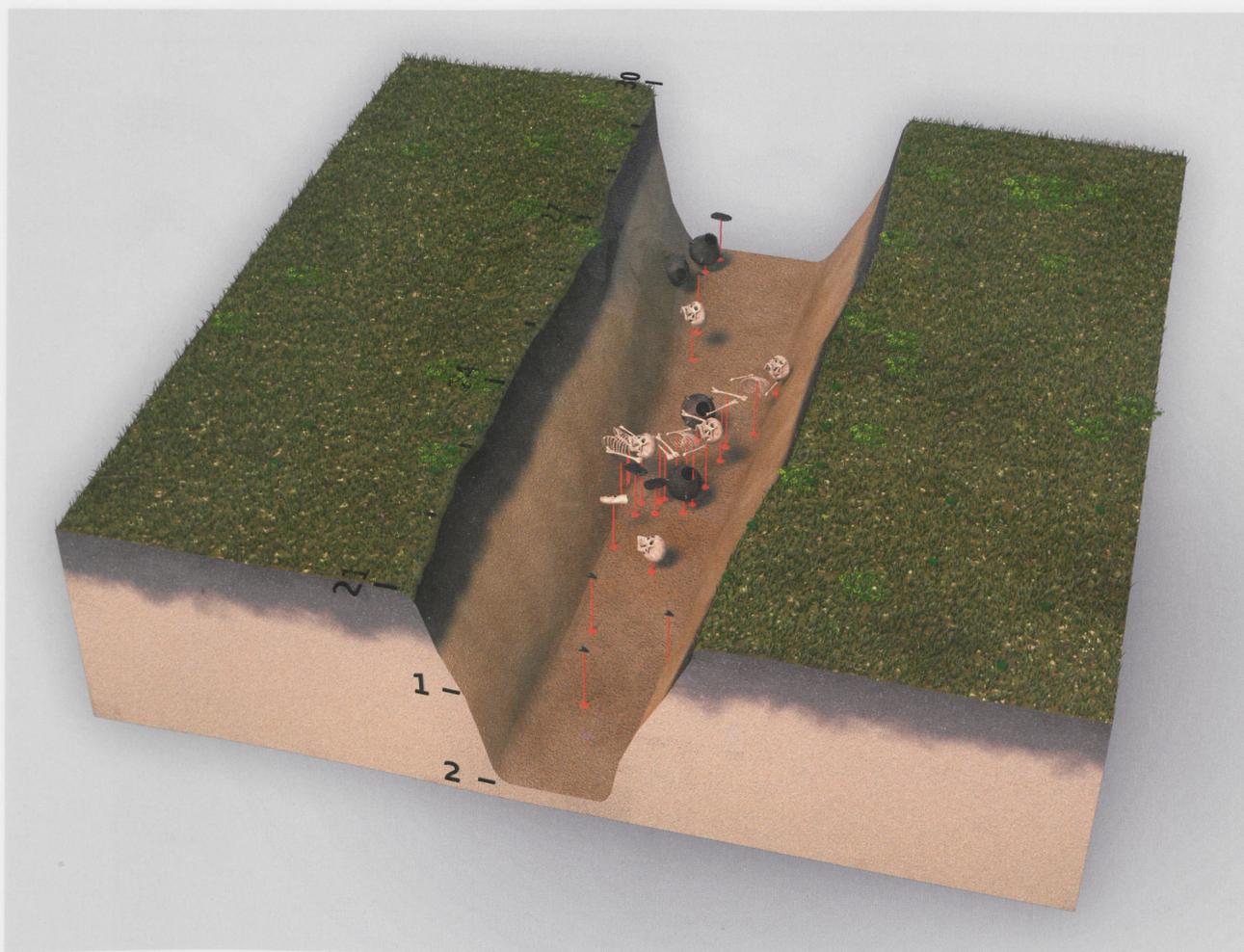
werke wurden auf etwa 20 der ungefähr 300 bekannten Altheimer Fundstellen nachgewiesen. Der Bau kleiner Grabenwerke unterscheidet Altheim von westlich benachbarten Gruppen, aber auch von der späten Michelsberger und der Trichterbe-

cher Kultur mit ihren Monumentalerdwerken. Der Totenkult entzieht sich weitgehend dem archäologischen Nachweis. Die schmucklose, zuweilen mit Arkadenrändern und Schlickauftrag versehene Keramik der Altheimer Kultur setzt sich deutlich

vom mittelnolithischen Geschmack ab. Ein charakteristisches Silexgestein ist der Baidersdorfer Plattenhornstein, aus dem halbmondförmige Sichelblätter und trianguläre Geschossbewehrungen gefertigt wurden. Kupfergegenstände sind selten;



3 Altheim, Markt Essenbach, Ldkr. Landshut, Niederbayern. Ausschnitt der Planskizze des inneren Grabens II Süd von Josef Maurer aus dem Mai 1914



4 Altheim, Markt Essenbach. Visualisierung der Fundverteilung im inneren Graben II Süd Strecke 21–30 m nach Angaben von Josef Maurer.

vereinzelt sind Belege eigenständiger Metallurgie. Jedoch „ist der Begriff Altheim gleich einem Nimbus vom Kupfer umgeben“ (DRIEHAUS 1960, 75). Das spröde Fundmaterial der vom 38. bis 34. Jahrhundert v. Chr. bestehenden Kulturtradition entzieht sich bislang einer überzeugenden feineren zeitlichen Untergliederung.

Das Erdwerk von Altheim liegt im Übergangsbereich von tertiärem Hügelland zu lössbedeckter Isar-Hochterrasse am Ausgang des Holzener Tälchens auf einem nach Südwesten zum Eichelbach ausstreichenden Unterhang. Es wurde durch dunkle Bodenverfärbungen entdeckt, die von der in unmittelbarer Nähe in leicht erhöhter Streckenführung verlaufenden Bahnlinie aus gut zu erkennen waren. Unter Leitung von Paul Reinecke fanden im Frühjahr und Frühsommer 1914 zwei Grabungskampagnen im südöstlichen Teil des Erdwerkes statt [2]. Die seinerzeit von Joseph Maurer angefertigten, in der Folgezeit aber unbeachtet gebliebenen Planskizzen [3] zeigen hinsichtlich der Fundverteilung

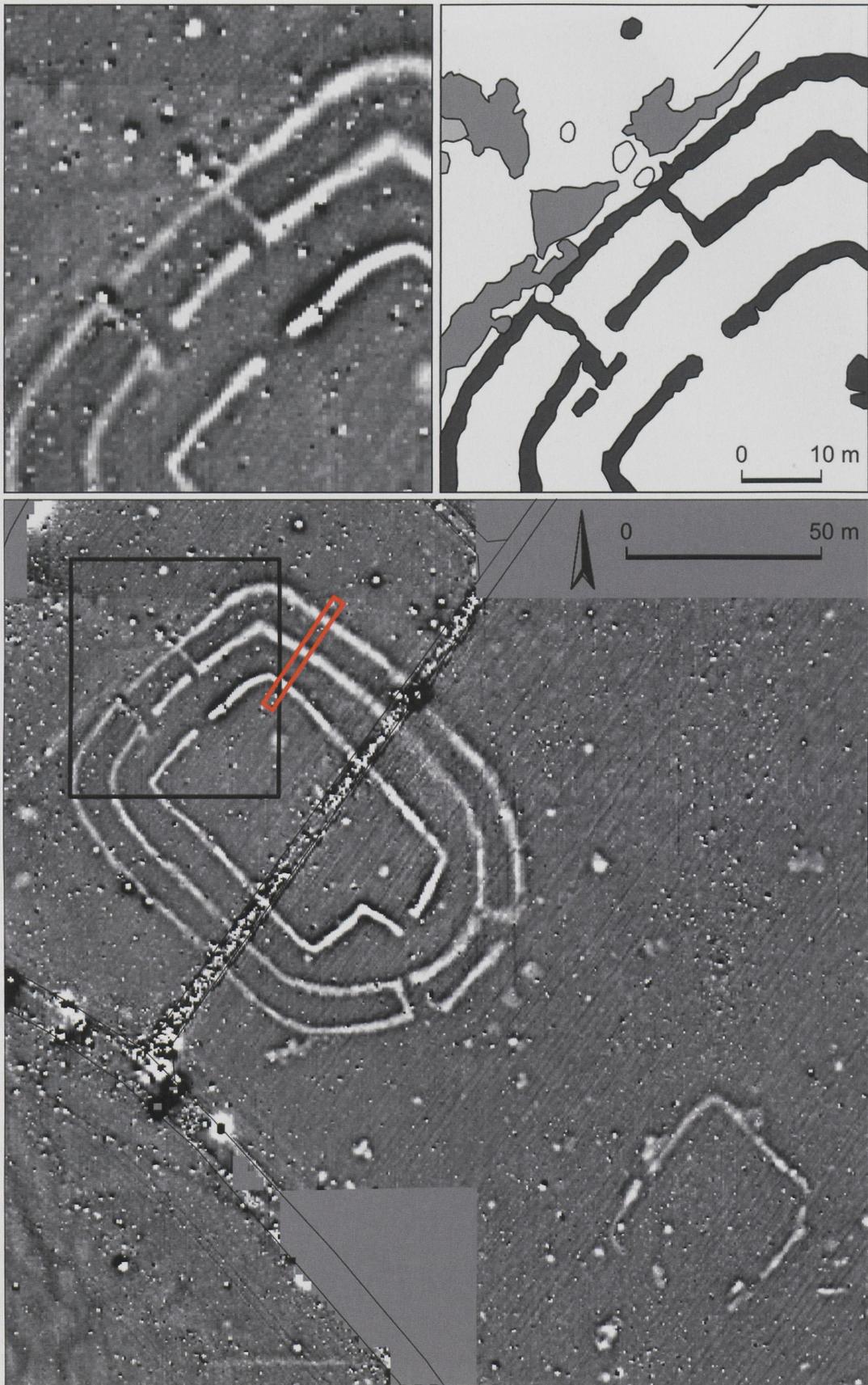
in den Grabenabschnitten auffällige Details; sogar eine dreidimensionale Visualisierung ist möglich [4]. Während man 1914 die Gräben ausschälte und auf diese Weise ihre einstige Form wiedergewann, öffnete man 1938 im Nordwesten des Erdwerkes zwei 6 m breite und maximal 120 m lange Flächen.

Im August 2012 hat der Lehrstuhl für Vor- und Frühgeschichte unter Leitung von Martin Posselt begonnen, die bekannte Anlage und ihr weiteres Umfeld magnetisch zu prospektieren [5]. Der umhegte Raum wird von drei Grabenringen eingefasst, die in Abständen von 7 bis 10 m aufeinander folgen. Die äußeren Abmessungen der Grabenanlage betragen etwa 117 x 88 m (ca. 1 ha). Das Verhältnis Innenfläche zu Grabenfläche beträgt ungefähr 1:4. Der Verlauf des inneren Grabens scheint im Süden durch Rücksichtnahme auf eine unbekannte Struktur bestimmt worden zu sein. Der äußere Graben des Erdwerkes weist im Nordwesten – entgegen bisherigen Annahmen – keine Erdbrücken auf.

Auch waren hier die kurzen Verbindungsgräben, die äußere und mittlere Grabensegmente zu zwei Doppelhalbringen verbinden, nur schwach ausgebildet; im Gegensatz zur Situation im Südosten.

Die Längsachse der Anlage ist nahezu exakt Nordwest-Südost ausgerichtet. Dies könnte Zufall sein. Vermutlich erfolgte die Einrichtung des Bauwerkes jedoch nach einem durchdachten Plan. Die Bestimmung der Haupthimmelsrichtungen, die durch keine astronomischen Elementarerscheinungen angezeigt werden, war offenbar geläufige Praxis; beispielsweise durch Anwendung des Prinzips des „Indischen Kreises“.

Bemerkenswert ist eine weitere Grabenanlage, die etwa 60 m entfernt gegenüber dem südöstlichen Zugangsbereich des bekannten Erdwerkes festgestellt werden konnte. Die etwa 40 x 40 m große rechteckige Einhegung weist zwei gegenüberliegende Eingänge auf, die als Erdbrücken ausgebildet sind. Fehlende Anomalien im Bereich des zu erwartenden



5 Altheim, Markt Essenbach. Magnetogramm. Schwarz = Ausschnittsvergrößerung, Rot = Grabung 2013. – Oben: Je dunkler die Grautöne in der interpretierenden Umzeichnung des nördlichen Zugangsbereiches, desto sicherer ist ihre Deutung als archäologische Struktur. – Fluxgate-Gradiometer Förster Ferex 4.032 DLG 4-fach CON650, Raster 0,5 x 0,2 m; Dynamik der Messwerte: -4/+4 nT/m, Skala: 256 Graustufen linear. [Breite 107 mm]



6 Altheim, Markt Essenbach. Im Luftbild sind die drei Gräben der nordöstlichen Längsseite des Erdwerkes als Grabungsbefund und als Bewuchsmerkmal im Zuckerrübenfeld deutlich zu erkennen.

südwestlichen Grabens deuten auf einen stärkeren Bodenabtrag hin; vielleicht wurde die Anlage aber auch nie fertiggestellt. Beide Grabenwerke nehmen offenbar aufeinander Bezug. Es erscheint daher naheliegend, auch für die jüngst entdeckte Anlage eine altheimzeitliche Datierung zu erwägen. Es könnte sich jedoch auch um einen hallstattzeitlichen Herrenhof handeln; das Magnetogramm gestattet keine eindeutige Entscheidung.

Im Spätsommer 2013 wurde unweit der nördlichen Ecke des Erdwerkes unter Leitung von Bernhard Zirngibl eine Fläche von 31 x 3 m geöffnet [6]. Drei Gräben zeichneten sich im Baggerplanum als deutliche Verfärbungen ab. Die drei Gräben des Erdwerkes sind als Sohlgräben bis in den anstehenden Löss eingetieft worden [7–8]. Die während der Ausgrabung festgestellte Tiefe der Gräben beträgt von innen nach

außen 1,5 m, 1,8 m und 1,9 m unter Geländeoberfläche. Die Breite der Gräben unter dem Pflughorizont beläuft sich von innen nach außen auf 2,1 m, 3,3 m und 3,2 m. Berücksichtigt man die Beobachtungen zum Bodenabtrag – teilweise steht carbonathaltiger Löss direkt unter dem Pflughorizont an –, so waren die Gräben ursprünglich wohl bis zu 4 m breit und etwa 3 m tief. Der innere Graben unterscheidet sich vom mittleren und äußeren durch eine geringere Größe sowie steiler ausgeformte Wandverläufe. Der mittlere Graben fällt durch eine schwankende Sohlbreite auf [7b und 8b], der äußere scheint streckenweise spitzgrabenartig ausgeführt worden zu sein [8a]. Diese leichten Unregelmäßigkeiten könnten auf eine Errichtung des Erdwerkes durch mehrere Baugruppen hinweisen. Es kann davon ausgegangen werden, dass die untersten gebänderten Ablagerungen di-

rekt oberhalb der Grabenbasis aus der Errichtungszeit des Erdwerkes stammen. Weiterer Materialeintrag folgte während der Nutzungsphase des Grabensystems bis zur Höhe der dunkel gefärbten Humusanreicherungszone, die in die Zeit der Auflassung gehört. Nach einer längeren Ruhephase, in der die Gräben noch obertägig sichtbar waren, kam es zur Verfüllung der verbliebenen Hohlform durch humoses Erdmaterial im Gefolge intensiver Landwirtschaft.

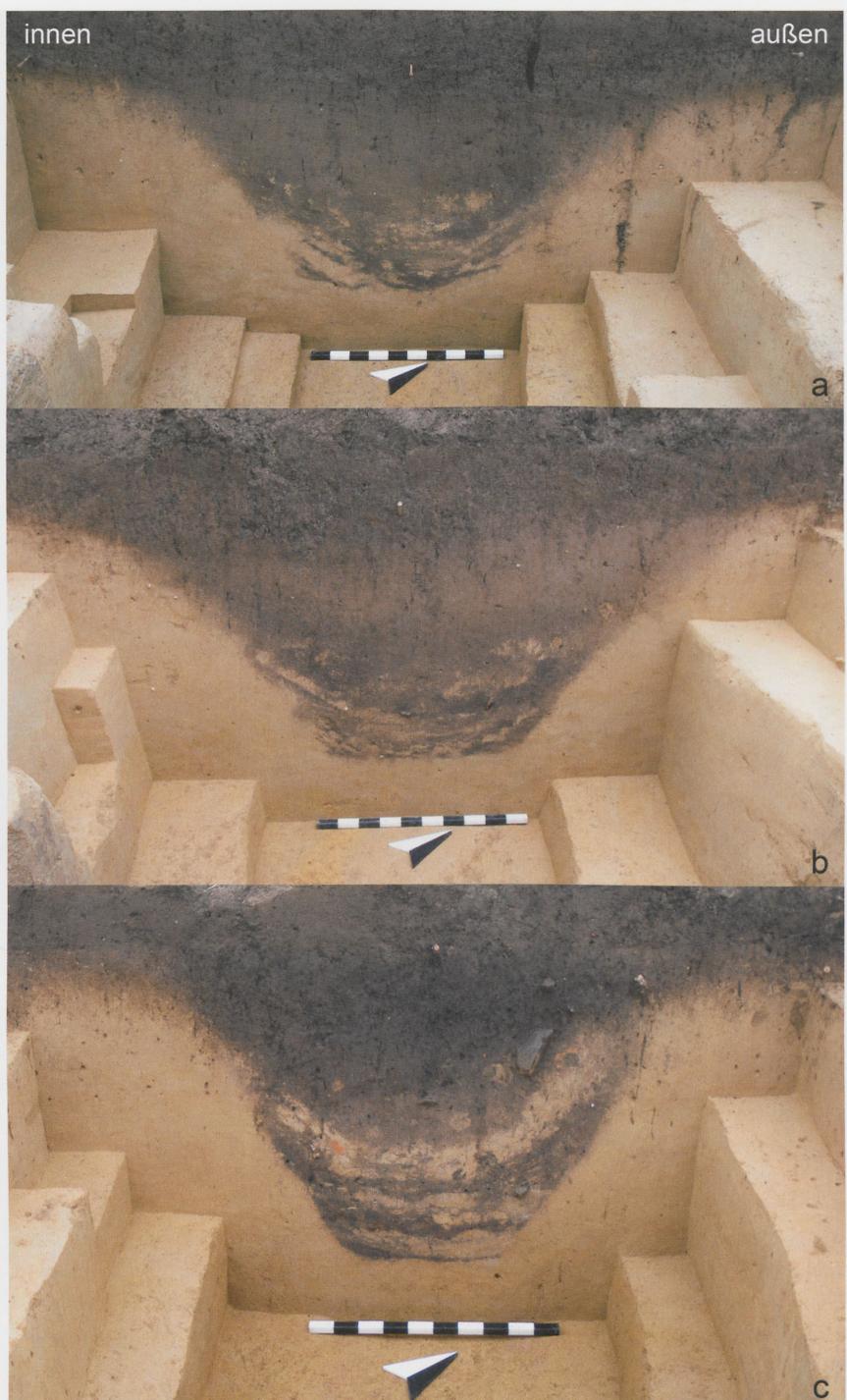
In den Gräben des Altheimer Erdwerkes finden sich gehäuft und offenbar in chaotischer Streulage Menschen- und Tierknochen sowie Kulturschutt; ein Verweis auf rätselhafte Umstände. Dies unterscheidet die Anlage von anderen Erdwerken der Altheimer Kultur. Die zahlreichen Funde der Gräben stehen dabei in merkwürdigem Gegensatz zur Fundleere des Innenraumes.

Menschliche Knochen, die in die Erdwerkgräben gelangten, befanden sich vielfach nicht mehr in anatomischem Zusammenhang [9]. Zumindest bei einem Teil der offenbar nur in Auswahl in den Gräben eingelagerten Knochen könnte es sich um Überreste mehrstufiger Bestattungsrituale handeln. Bemerkenswert sind auch in größerer Zahl gefundene Schädel, deren unregelmäßige Verteilung eine besondere Behandlung nahelegt. Aus dem inneren Graben stammen allein 14, davon fünf aus dem nördlichen Grabenende. Der erhaltene Schädel eines adulten Mannes weist mehrere charakteristische Lochfrakturen auf, die von Schlägen mit stumpfen Waffen verursacht worden sein könnten.

Das 2013 geborgene Fundmaterial wird maßgeblich durch Keramikfragmente und Tierknochen geprägt. Der weit überwiegende Teil der Funde stammt aus dem inneren Graben. Hier konzentrieren sie sich teils nestartig und repräsentieren offenbar einzelne Einfüllungsereignisse. Dies gilt nicht nur für die Keramik, sondern insbesondere für die Tierknochen, die sich in einem von der Innenseite des inneren Grabens in den Sohlgraben erstreckenden Band in auffälliger Weise häufen [8c].

Die Keramik macht einen stark fragmentierten Eindruck. Allerdings waren auch größere Gefäßbruchstücke und Arkadenrandpartien in einiger Zahl zu beobachten; vollständige Profile ließen sich auf den ersten Blick nicht erkennen. Dies muss aber kein Widerspruch zu den 1914 gemachten Beobachtungen darstellen. Denn damals musste fast die Hälfte der später in der nachmaligen Archäologischen Staatssammlung inventarisierten Gefäße stark oder sehr stark ergänzt werden.

Mit über 2.000 Tierknochen liegt aus dem inneren Graben ein erstaunlich großer Fundkomplex vor. Nach einer ersten Durchsicht des Materials durch Reinhold Schoon ist etwa ein Viertel taxonomisch beziehungsweise tierartlich bestimmbar. Nahezu alle Skelettreste sind mehr oder weniger stark zerschlagen; dies kennzeichnet sie als Schlacht-, Zubereitungs- und Essensabfälle. Knochen aus Körperpartien minderer Fleischqualität überwiegen. Vor ihrer offenbar schnellen Einbettung in den Graben waren die Skelettreste keinen größeren mechanischen Belastungen ausgesetzt. Nur etwa 3 % der Tierknochen stammen von Wildtieren (Wildrind, Rothirsch, Reh u. a.). Jagdliche Aktivitäten spielten in der Umgebung von Altheim offenbar nur eine geringe Rolle. Unter den Haustieren

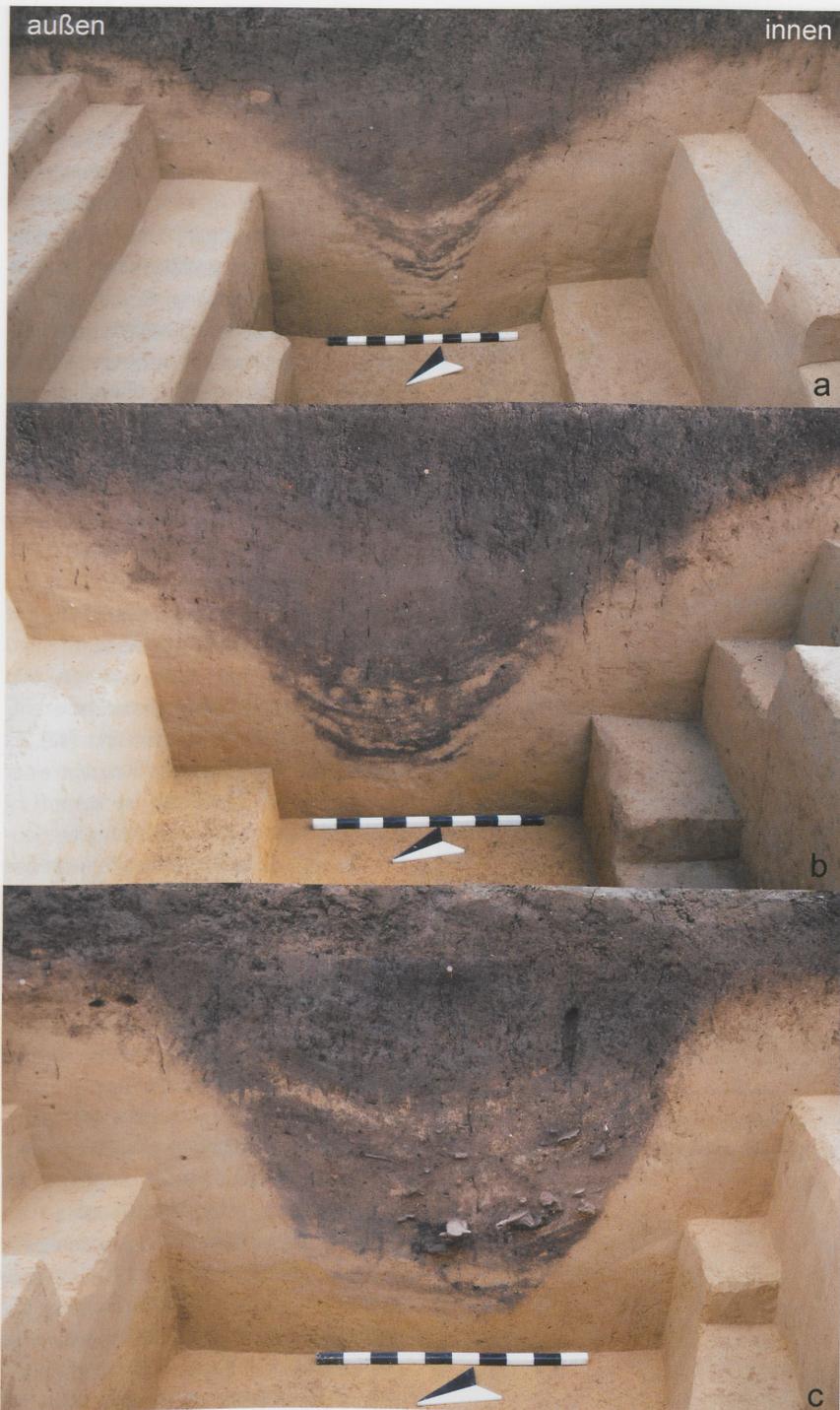


7 Altheim, Markt Essenbach. Querprofile des äußeren (a), mittleren (b) und inneren (c) Grabens von Südost

steht das Rind an erster Stelle (70 %), es folgen Schaf/Ziege und Schwein. Diese Mengenverhältnisse verweisen auf eine erhebliche Bedeutung der Groß- und Kleinviederkäuerhaltung. Es ist daher von einer weitgehend offenen Landschaft mit hohem Grünlandanteil auszugehen.

Aus dem mittleren Graben, der bereits das bekannte Altheimer Kupferbeil erbrachte, stammt ein 6,3 cm langes und 3,7 cm breites plattenförmiges Kupfer-

blech mit an beiden Schmalseiten eingewinkelten Enden [10]. Der mutmaßliche Anhängler besitzt Parallelen im Umfeld des Bodensees sowie in den etwas älteren Schmuckinventaren von Brześć Kujawski, Jordansmühl und Baalberge. Das Rohmaterial, sogenanntes Mondseekupfer, stammt vermutlich aus einem im Salzachtal zu lokalisierenden Vorkommen. Zur Gruppe prestigeträchtiger Objekte dürfen neben den Kupferfunden der durchbohrte



8 Altheim, Markt Essenbach. Querprofile des äußeren (a), mittleren (b) und inneren (c) Grabens von Nordwest

Eckzahn eines Braunbären, der wohl als Schmuck oder Amulett Verwendung fand, sowie die schon lange bekannten Scheibenkeulen gezählt werden.

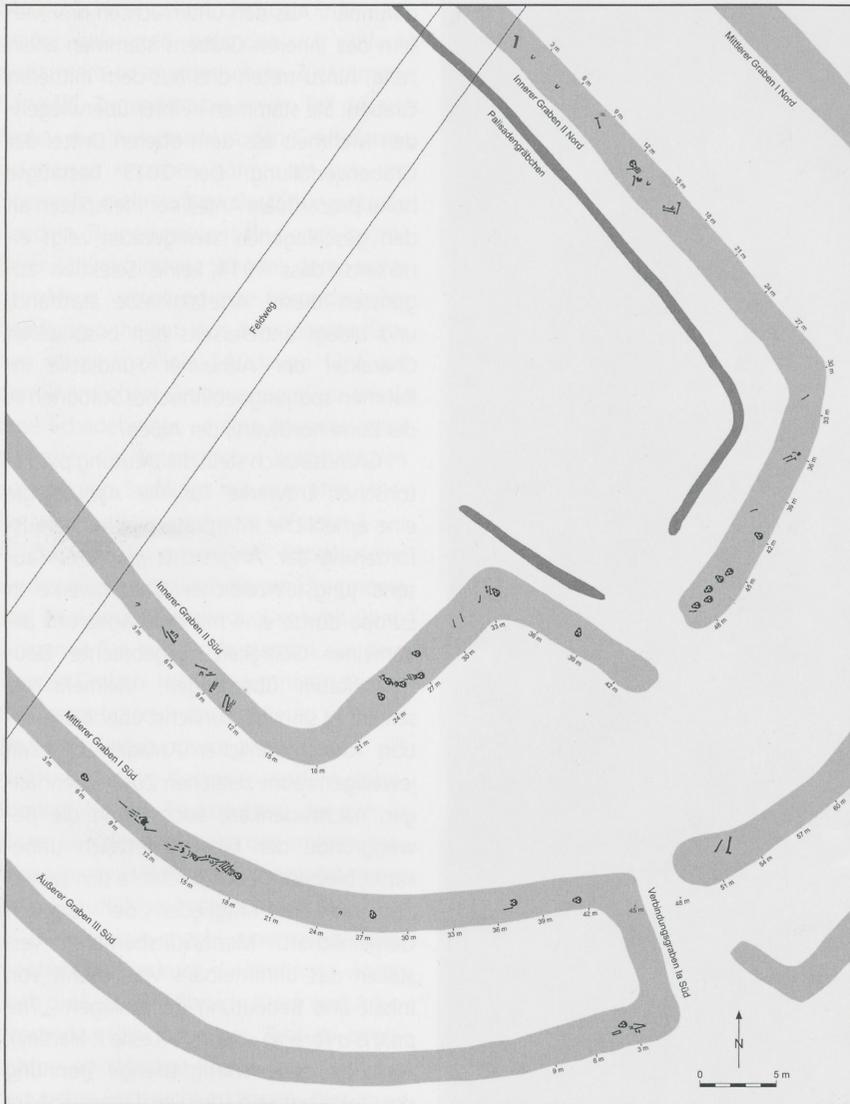
Die etwa 200 Altheimer Pfeilbewehrungen erfreuen sich seit ihrer Auffindung fortwährend besonderer Beachtung; viele zeigen Beschädigungen der Spitzen, manche Nachretuschierungen, andere Brandspuren beziehungsweise Anhaftungen von Schäftungsmitteln. Ihre vermeint-

lich große Anzahl diene verschiedentlich als Beleg für einen besonders kriegerischen Charakter der Epoche. Sie stammen aus dem inneren und mittleren Graben und konzentrieren sich an den südlichen Grabenköpfen [11]: In einem Bereich von 10 m beiderseits der Erdbrücken wurden etwa 60 Geschossbewehrungen dokumentiert, zwei Fünftel der Gesamtzahl. In dem kurzen Schnitt des Jahres 2013 wurden insgesamt 14 Pfeilspitzenfragmente

gefunden: Aus den untersuchten drei Metern des inneren Grabens stammen allein zehn, hinzu treten drei aus dem mittleren Graben. Sie stammen in ihrer überwiegenden Mehrheit aus dem oberen Drittel der Grabenverfüllung. Der 2013 bestätigte hohe prozentuale Anteil der Pfeilspitzen an den geschlagenen Steingeräten zeigt einerseits, dass 1914 keine Selektion zugunsten dieser Artefaktklasse stattfand, und belegt andererseits den besonderen Charakter der Altheimer Fundstelle im Rahmen spätjungneolithischer Stationen in der Zone nordwärts der Alpen.

Grundsätzlich stellt die Deutung prähistorischer Erdwerke für die Archäologie eine erhebliche interpretatorische Herausforderung dar. Angesichts mehrerer Tausend jungsteinzeitlicher Grabenwerke in Europa dürfte eine mit dem Anspruch allgemeiner Gültigkeit vorgebrachte Deutung kaum überzeugen. Vielmehr erscheint es sinnvoll, zunächst über die Funktion formal ähnlicher Anlagen in ihren jeweiligen raum-zeitlichen Zusammenhängen nachzudenken, auch wenn die Beweggründe der Erbauer letztlich unbekannt bleiben. Der Bau richtete sich seinerzeit an die Mitglieder der eigenen Gemeinschaft. Mentalitätsbarrieren verstellen das unmittelbare Verständnis von Inhalt und Bedeutung der Anlagen: „*The past is a foreign country*“ (Leslie P. Hartley). Auch die gegenwärtig strenge Trennung der sakralen von der profanen Sphäre scheint in der Vorgeschichte ihre Gültigkeit zu verlieren; sie ist vielmehr Resultat eines langen Rationalisierungsprozesses, der zur „Entzauberung der Welt“ (Max Weber) führte. Aus Form und Struktur von Erdwerken lassen sich ihre einstige Zweckbestimmung, Funktion und Bedeutung also nicht eindeutig ableiten. Denn es gibt keinen kausalgenehtischen Zusammenhang zwischen Elementen der materiellen Kultur und der Sphäre der Weltanschauung; zumal die Multifunktionalität der Handlungen, Rollen und Institutionen zu den Grundprinzipien archaischer Gesellschaften gehören.

Die Diskussion über die einstige Zweckbestimmung des Altheimer Erdwerkes wird seit seiner Entdeckung kontinuierlich, aber gleichwohl nicht sehr intensiv geführt. Dies mag auch in den inzwischen als unzureichend empfundenen seinerzeitigen Grabungsmethoden und einem allgemein unbefriedigenden Publikationsstand begründet sein. Schon Moritz Hoernes hob 1923 die „Lichtschwäche und Lückenhaf-



9 Altheim, Markt Essenbach, Ldkr. Landshut, Niederbayern. Verteilung der menschlichen Knochen in den 1914 freigelegten Grabenabschnitten (nach Planskizzen von Joseph Maurer)



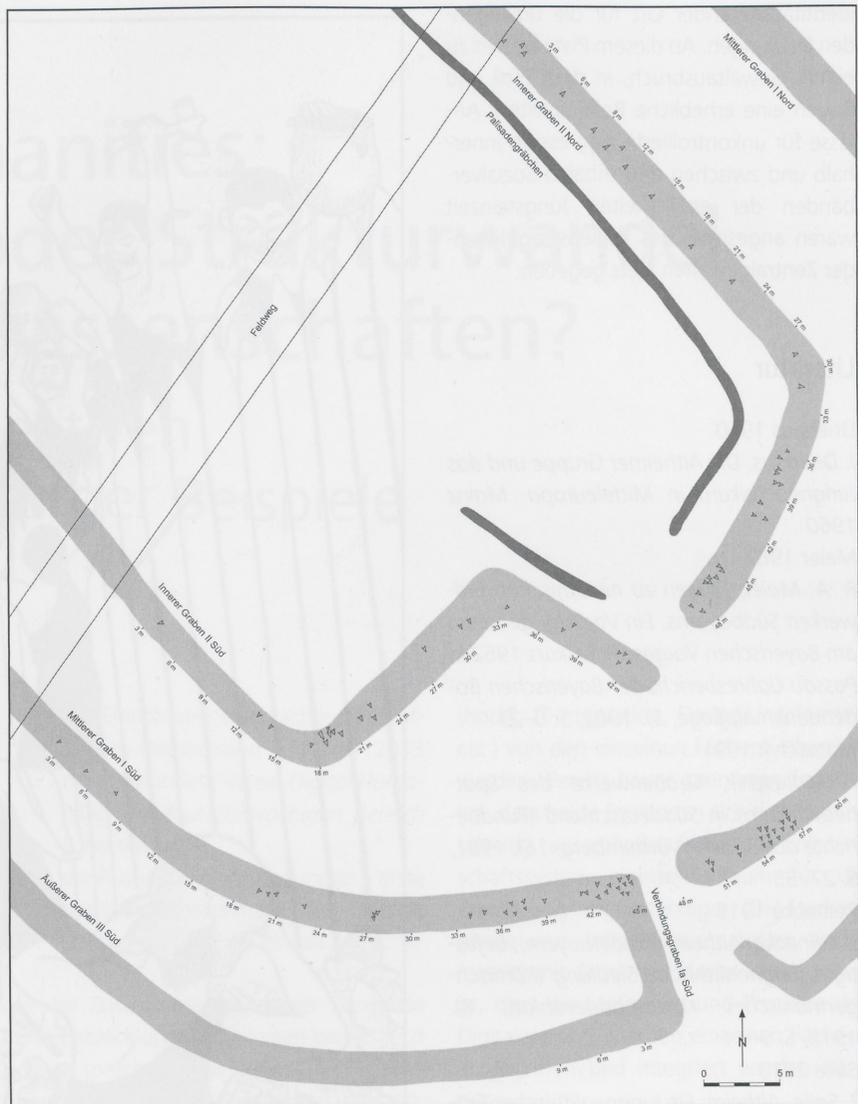
tigkeit“ suggestiver Lebensbilder hervor, die in schöpferischem Akt auf archäologische Quellen gegründet worden seien; fantasie-geleitete Narrative böten „der Skepsis breite Angriffsflächen“. Denn ein Satz archäologischer Beobachtungen passt in der Regel zu mehreren alternativen Theorien. Es verwundert daher nicht, dass oftmals im Rahmen popularisierender Darstellungen auf unsicheren Grundlagen widersprüchliche Deutungsvorschläge unterbreitet wurden. Paul Reinecke sah 1915 im Erdwerk von Altheim einen Einzelhof, der zum stummen Zeugnis eines Dramas aus grauer Vorzeit wurde. Um die kleine Befestigung habe vor ihrer Zerstörung ein heftiger Kampf getobt, bei dem mit Pfeil und Bogen geschossen wurde, Schleudersteine zum Einsatz kamen, zumindest Teile der Anlage abbrannten und schließlich selbst Tongefäße auf den anstürmenden Feind geworfen wurden. Damit war ein Bild jungsteinzeitlicher Lebensverhältnisse entworfen, das bis heute nachwirkt [12]. Es wurde aber auch über das Konzept einer Herrenburg diskutiert, die im Kampf ihr Ende gefunden habe. Auch an eine Seuche wurde gedacht: Die Überlebenden hätten nach ihrer Rückkehr den inneren Graben mit Siedlungsschutt und Skelettresten verfüllt und eine neue Verteidigungsanlage errichtet. Schließlich vermutete man hinsichtlich der Struktur des Ortsplanes Ähnlichkeiten zwischen der Feuchtbodensiedlung Pestenacker und Altheim. Aber auch die sozio-kulturelle Zentralortfunktion der Siedlungen mit Grabenwerk wurde betont, und man erkannte in den Altheimer Erdwerken Mittelpunkte von Siedlungsgemeinschaften. Andererseits erwog Ulrich Fischer bereits 1961, ob man vielleicht doch eine rituelle Deutung der Altheimer Graben- und Palisadenanlage nicht außer Acht lassen dürfe, und Rudolf Albert Maier (1962) fand den seinerzeit vorzugsweise angenommenen Befestigungscharakter nicht bestätigt; er sah im Altheimer Erdwerk einen Kultbau im weitesten Sinne, eine Kultanlage mit Funeralmomenten. Mehrfach wurde ein Funktionswandel des Erdwerkes erwogen. Möglicherweise werden sich künftig sogar auf einer durch Geländearbeiten noch erheb-

10 Altheim, Markt Essenbach, Ldkr. Landshut, Niederbayern. Kupferblech aus dem mittleren Graben nach seiner Restaurierung in der Archäologischen Staatssammlung, München

lich zu verbessernden Datengrundlage verschiedene Sichtweisen des Erdwerkes von Altheim behaupten können.

Auch wenn mit den zur Verfügung stehenden Kategorien die einstige Funktion der Anlage derzeit offenbar nicht überzeugend zu erklären ist und der Befund im Verbreitungsgebiet der Alheimer Kultur bislang singular blieb, mehren sich die Hinweise auf einen Platz, der in verschiedenen Sphären des seinerzeitigen Lebens Bedeutung besaß:

- Auf eine möglicherweise zeitlich voraufgehende Siedlungsstelle verweisen die zahlreichen Gefäßbruchstücke, der vom Rind dominierte Haustierbestand, der Nachweis einer Grundformproduktion sowie zahlreiche Kratzer, Sicheln und Mahlsteinfragmente.
- Gleichzeitig kennzeichnet die Errichtung des Erdwerkes den Platz als eine Stätte besonderer Bedeutung innerhalb des Alheimer Siedlungssystems, als einen Ort verdichteter Kommunikation. Die Arbeit stellte in jedem Falle eine große Gemeinschaftsleistung dar, die in der geistigen Welt der spätjungneolithischen Gesellschaft ihre Inspiration fand. Denkbar erscheint eine enge inhaltliche Bezogenheit zwischen gemeinsamer Arbeit und anschließendem Fest. Rituelle Inszenierungen festigten die Gruppenidentität und verstetigten über die Weitergabe gruppenspezifischen Wissens das kulturelle Gedächtnis der schriftlosen Gesellschaften. Möglicherweise spielten regelmäßig wiederkehrende Übergangsrituale eine Rolle; auch ist an enge Zusammenhänge zwischen Bestattung und Trauer sowie Wettspiel und Fest zu denken. In dieser Hinsicht auffällig sind nicht mehr im anatomischen Verband überlieferte menschliche Knochengruppen, die besondere Behandlung der Schädel (Trophäen, Ahnenkult?) sowie eine möglich erscheinende intentionale Deponierung vollständiger Gefäße in den Gräben.
- Spuren äußerer perimortaler Gewalt einwirkung und Brandhorizonte im inneren Graben, vor allem aber die hohe absolute Zahl an Pfeilspitzen sowie ihre deutliche Überrepräsentanz im Silexartefaktbestand können als Hinweise auf einen Ausbruch organisierter Gruppengewalt verstanden werden. Dabei wurde Altheim sicher nicht vorrangig als Befestigung geplant; dagegen spricht schon die unter taktischen Gesichtspunkten ungünstige Lage. Die Verteilung der Pfeilspitzen erinnert andererseits an einen als „Schlacht von Crickley Hill“ gedeuteten Befund des 35. Jahrhunderts v. Chr. aus Gloucestershire, bei dem sich die Pfeilbewehrungen im Bereich der Zugänge auffällig konzentrieren. Auch in Cornwall waren offenbar Bogenschützen in einem Konflikt benachbarter Zentren an der Eroberung und Zerstörung einer befestigten Höhensiedlung beteiligt; darauf deuten die bei Ausgrabungen in Carn Brea gefundenen etwa 800 Pfeilspitzen und die festgestellten Brandspuren hin. Unter den chaotischen Zuständen akephaler Gesellschaften war der Feind nicht vorrangig ein jenseits ausgedehnter Grenzzonen lebendes Volk, sondern bereits das benachbarte Dorf, die nächste Sippe desselben Stammes.



11 Altheim, Markt Essenbach, Ldkr. Landshut, Niederbayern. Verteilung der Pfeilspitzen in den 1914 freigelegten Grabenabschnitten (nach Planskizzen von Joseph Maurer)

Angesichts potentieller Langlebigkeit von Grabenstrukturen dürfte auf lange Frist gesehen ein Wandel in der Bedeutungszuordnung des Alheimer Erdwerkes in Erwägung zu ziehen sein: Schließlich ist die Lebensdauer von Gräben erheblich, hölzerne Baustrukturen überdauern sie allemal. Aber auch unter zeitlich kürzerer Betrachtungsperspektive dürfte das Erdwerk einer segmentären Gesellschaft des späten Jungneolithikums seine soziale beziehungsweise rituelle Funktion als Versammlungsort verstreut lebender Kleingruppen nur temporär wahrgenommen haben.

Als Arbeitshypothese wird von einem Siedlungsplatz ausgegangen, auf dem ein offenbar mehrphasiges Erdwerk errichtet wurde; dies stellte in jedem Fall eine große Gemeinschaftsleistung dar. Der umhagte Raum diente als Platz für Fest und Spiel, Ritual und Prozession; er war ein zentraler,

identitätsstiftender Ort für die umliegenden Siedlungen. An diesem Platz kam es zu einem Gewaltausbruch, in dem Pfeil und Bogen eine erhebliche Rolle spielten. Anlässe für unkontrollierte Aggression innerhalb und zwischen den tribalen Sozialverbänden der entwickelten Jungsteinzeit waren angesichts des Fehlens regulierender Zentralgewalten stets gegeben.

## Literatur

Driehaus 1960

J. Driehaus, *Die Altheimer Gruppe und das Jungneolithikum in Mitteleuropa*. Mainz 1960

Maier 1962

R. A. Maier, *Fragen zu neolithischen Erdwerken Südbayerns. Ein Vortrag, gehalten am Bayerischen Vorgeschichtskurs 1962 in Passau (Jahresbericht der Bayerischen Bodendenkmalpflege, 3)*. 1962, S. 5–21

Matuschik 1991

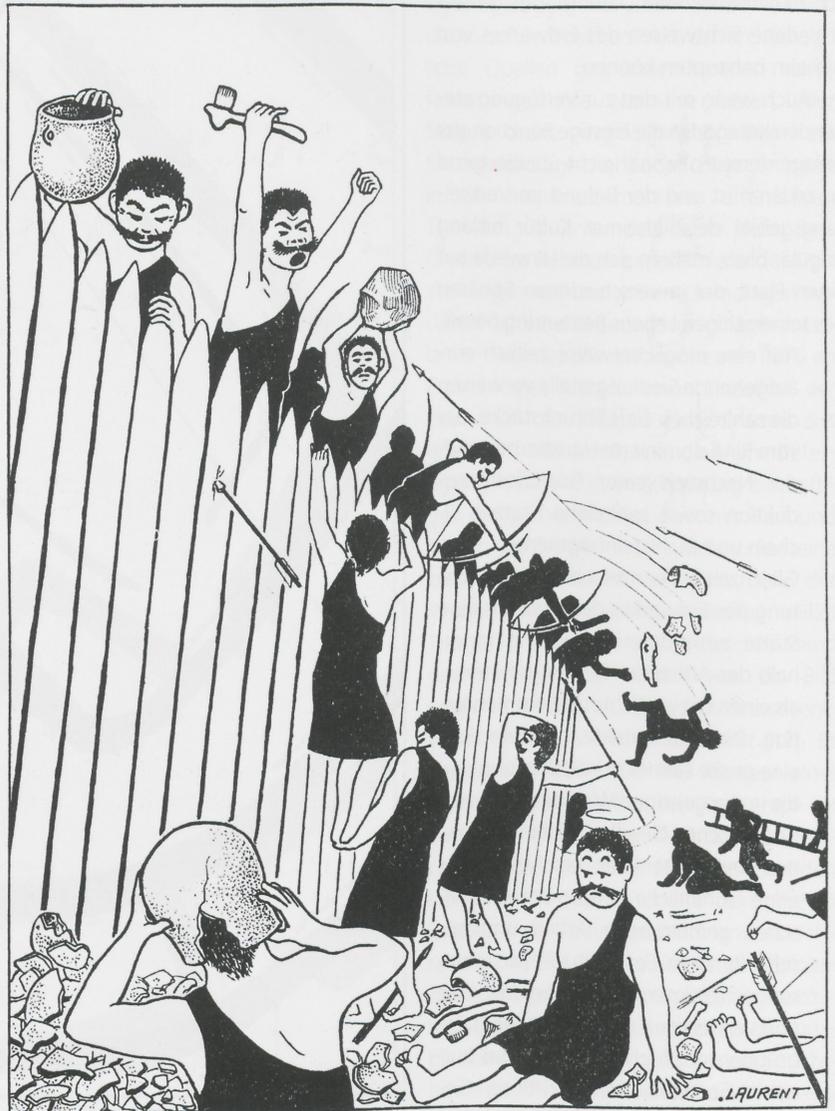
I. Matuschik, *Grabenwerke des Spätneolithikums in Süddeutschland (Fundberichte aus Baden-Württemberg, 16)*. 1991, S. 27–55

Reinecke 1915

P. Reinecke, *Altheim (Niederbayern). Befestigte jungneolithische Siedlung (Römisch-germanisches Korrespondenzblatt, 8)*. 1915, S. 9–11

Saile 2013

T. Saile, *Altheim: Ein jungneolithisches Erdwerk in Niederbayern*. In: H. Meller (Hrsg.), *3300 BC. Mysteriöse Steinzeitote und ihre Welt*. Halle (Saale) 2013, S. 216–221



12 Altheim, Markt Essenbach, Ldkr. Landshut, Niederbayern. Karikatur von Pierre Laurent, *Au Néolithique commença probablement la vraie civilisation*.



Prof. Dr. **Thomas Saile** studierte Vor- und Frühgeschichte, Mittlere und Neuere Geschichte sowie Bodenkunde an den Universitäten Frankfurt am Main, Marburg, Kiel und Dublin (UCD). Die Promotion erfolgte an der Goethe-Universität Frankfurt mit einer Dissertation über die ur- und frühgeschichtliche Besiedlung der Wetterau in Hessen. Als wissenschaftlicher Assistent am Seminar für Ur- und Frühgeschichte der Universität Göttingen arbeitete er auf dem Gebiet der slawischen Besiedlung des unteren Mittelberaumes. Die *venia legendi* für das Fach Ur- und Frühgeschichte wurde ihm 2006 verliehen. Seit 2010 ist Thomas Saile auf dem Lehrstuhl für Vor- und Frühgeschichte am Institut für Geschichte der Universität Regensburg tätig. Thomas Saile ist Korrespondierendes Mitglied des Deutschen Archäologischen Institutes.

**Forschungsschwerpunkte:** Siedlungs- und Landschaftsarchäologie der jüngeren Steinzeit Mitteleuropas.

# Digital Humanities: Buzzword oder Strukturwandel der Geisteswissenschaften?

## Stand und Perspektiven anhand Regensburger Beispiele

Manuel Burghardt, Christian Wolff

*Digital Humanities* ist ein derzeit viel gebrauchter Begriff, der das Aufgreifen von Informationstechnologie und digitalen Arbeitstechniken in den Geisteswissenschaften thematisiert. Im folgenden Beitrag gehen wir zunächst allgemein auf die Digital Humanities ein und versuchen deren aktuellen Stand, ihre Entwicklung und ihre Perspektiven aufzuzeigen. Im Anschluss stellen wir am Beispiel der Universität Regensburg im Umfeld der Medieninformatik und Informationswissenschaft in den letzten Jahren durchgeführte Projekte aus dem Bereich der Digital Humanities vor, um die thematische Bandbreite digital arbeitender Geisteswissenschaften zu illustrieren.

### Digital Humanities im Jahr 2014

Nicht zuletzt ausgelöst durch Förderprogramme des Bundesforschungsministeriums, die in den vergangenen Jahren unter dem Titel *Digital Humanities* gelaufen sind, lässt sich in Deutschland in den vergangenen Jahren eine Konjunktur dieses Themas und damit verbundener Initiativen beobachten. Dazu gehören unter anderem:

- Die Einrichtung entsprechender Infrastruktureinrichtungen (etwa in Göttingen, Trier oder Köln),
- die Initiierung und Koordinierung curriculärer Aktivitäten (Einrichtung von Studiengängen, Erarbeitung vergleichbarer Curricula),
- die Berufung von Professuren explizit mit der Denomination *Digital Humanities* (z. B. an der Universität Passau),

- die Einrichtung von Fachgesellschaften, in Deutschland z. B. der 2013 neu gegründete Verein *Digital Humanities im deutschsprachigen Bereich* (DHd e.V.) und
- die Ausrichtung von Tagungen – erste deutsche Konferenzen des DHd in Hamburg 2012 und Passau 2014.

In der Zusammenschau dieser Ereignisse und Entwicklungen kann man bereits jetzt davon sprechen, dass sich Digital Humanities erfolgreich im deutschen Wissenschaftssystem etabliert haben. Dabei gibt es durchaus sehr unterschiedliche Auffassungen von Status und Perspektiven dieses Forschungs- und Lehrfeldes.

Die Extrempositionen lassen sich wie folgt charakterisieren: Auf der einen Seite gibt es prominente Vertreter wie Patrick Sahle, Geschäftsführer des *Cologne Center for eHumanities*, der davon ausgeht, dass sich DH als eigenständige Disziplin neben den etablierten geisteswissenschaftlichen Fächern durchsetzen wird. In diesem Sinne wird es „digitale Humanisten“ geben, die das Fach, ggf. im Zusammenspiel mit anderen geisteswissenschaftlichen Fächern, studiert haben und so in besonderer Weise für die Durchführung von Projekten und Forschungsarbeiten im Bereich der Digital Humanities qualifiziert sind. Die Gegenposition geht davon aus, dass es sich bei den mit den DH verbundenen Phänomenen um allgemeine, fachübergreifende Trends der Digitalisierung handelt, die nicht nur die Wissenschaft betreffen und die als natürliche Weiterentwicklung (Me-

thodik, IT-Integration, Darstellungsformen etc.) von den einzelnen Fächern integriert werden. Bereits heute kann man feststellen, dass beide Positionen sich nicht wechselseitig ausschließen und das Wissenschaftssystem einerseits Raum für die Etablierung eigenständiger DH-Studiengänge und -Infrastrukturen bietet, andererseits mit Sicherheit davon auszugehen ist, dass die Methoden und Prozesse der Digitalisierung von den einzelnen Fächern aufgegriffen und integriert werden können.

### Was sind Digital Humanities?

Was ist konkret unter Digital Humanities zu verstehen? Durch welche Eigenschaften qualifiziert sich ein Projekt, ein Thema oder eine wissenschaftliche Arbeit als im Bereich der Digital Humanities anzusiedeln? Der Ausgangspunkt ist die zunehmende Durchdringung aller Lebensbereiche mit Informations- und Kommunikationstechnik (IKT), die längst auch den Wissenschaftsbetrieb prägt (und letztlich auch von diesem ausgegangen ist). Dabei fällt auf, dass experimentell und empirisch arbeitende Wissenschaften aufgrund der Notwendigkeit, große Datenmengen verarbeiten zu müssen, eher dazu neigen, von digitalen Arbeitstechniken und Werkzeugen Gebrauch zu machen als andere Disziplinen.

Bei weiteren Disziplinen liegt die Nähe zum Einsatz digitaler Techniken einerseits in der fachbedingten Auseinandersetzung mit computerbasierten Werkzeugen (Fachge-

33 619	Intensivkurs: Allgemeine Einführung in die Linguistische Datenverarbeitung und in die Handhabung des Regensburger Textauswertungsprogrammes T 4 H 11. - 14. Okt., täglich 9–12 und 14–15	J. Krause
33 620	Einführung in die Programmierung linguistischer Probleme (Fortran IV) - Keine Vorkenntnisse 3 st., Zeit und Ort nach Vereinbarung	J. Krause

33 618	Einführung in die französische Literaturwissenschaft 1. Semesterhälfte Gruppe A; 2. Semesterhälfte Gruppe B 3 st., Di, Mi, Do 13–14	Kapuste
33 619	Intensivkurs: Allgemeine Einführung in die Linguistische Datenverarbeitung und in die Handhabung des Regensburger Textauswertungsprogrammes T 4 H 11. - 14. Okt., täglich 9–12 und 14–15	J. Krause
33 620	Einführung in die Programmierung linguistischer Probleme (Fortran IV) - Keine Vorkenntnisse 3 st., Zeit und Ort nach Vereinbarung	J. Krause
33 663	Technik und Arbeitsformen bei der Fremdsprachenvermittlung im Sprachlabor 2 st., Do 9–11	Schenk

PERSONEN- UND VORLESUNGSVERZEICHNIS

WINTERSEMESTER 1971/72

1 Erste Digital Humanities-Veranstaltungen im Wintersemester 1971/1972 (dort Seite 192)

genstand: Medien, Information und Informatik), andererseits vielleicht auch an der Selbstverständlichkeit, mit der man in den letzten Jahren Computer und Internet in allen Bereichen des Alltags, sowohl privat als auch beruflich, einsetzt. Prenskys (2001) Konzept der *digital natives*, das eigentlich Personen bezeichnet, die im Umfeld aktueller IKT aufgewachsen sind und dieses deshalb als selbstverständlich an- und hinnehmen, kann durchaus auch auf einige jüngere wissenschaftliche Disziplinen übertragen werden. Ebenso finden sich sogenannte *digital immigrants* in der aktuellen Wissenschaftslandschaft, d. h. Disziplinen, die bereits vor dem Anbruch des Computer- und Internetzeitalters existiert und wissenschaftlich gearbeitet haben und parallel zum technischen Fortschritt bestimmte digitale Werkzeuge und Dienste für sich entdecken und in das eigene Methodenrepertoire aufnehmen (Beispiel: Corpuslinguistik).

Daneben gibt es allerdings auch Disziplinen, die weder „digital geboren“ noch erfolgreich in die digitale Arbeitswelt migriert sind. Die Gründe dafür mögen einerseits in den konkreten Fachkulturen und Arbeitsmethoden liegen und andererseits in den besonderen Anforderungen, die Wissenschaftler an digitale Werkzeuge haben. Digital Humanities-Tools müssen einerseits Arbeitstechniken und -praktiken aus dem nicht-digitalen Arbeitsalltag möglichst gut abbilden (etablierte Metaphern etc.) und andererseits ein hohes Maß an Benutzbarkeit und Benutzerfreundlichkeit aufweisen. Beide Anforderungen sind wichtig, um die Einstiegshürde zum Gebrauch solcher Tools möglichst niedrig zu halten. Die sprichwörtliche Kluft (Unsworth 2000), die zwischen Informatikern, also den Erstellern von digitalen Werkzeugen, und Geisteswissen-

schaftlern, also den tatsächlichen Anwendern dieser Tools, besteht, zeigt zwei wesentliche Perspektiven auf die Disziplin der Digital Humanities auf: Digital Humanities sind im Schnittpunkt von IKT (Informations- und Kommunikationstechnologie) und geistes-/ sozialwissenschaftlichen Methoden angesiedelt und sollen einerseits informationstechnische Grundlagen für Geisteswissenschaftler vermitteln, andererseits aber auch gelernte Informatiker für Anforderungen und Methoden von Geisteswissenschaftlern sensibilisieren. Dabei geht es aber nicht nur darum, bewährte Methoden und Verfahren unverändert ins digitale Medium zu transformieren. Durch die Verfügbarkeit digitaler Repräsentationen und die Möglichkeiten ihrer automatischen Verarbeitung mit dem Computer entstehen auch grundsätzlich neue Verarbeitungsergebnisse und Darstellungsformen. Franco Moretti (2013) bezeichnet dieses Phänomen mit dem prägnanten Begriff des *distant reading*, also des „Lesens aus der Distanz“ einer Vielzahl von Texten, anstelle des (traditionellen) *close reading* ausgewählter Passagen. Erwartet wird hier, dass grundsätzlich neue Methoden und Darstellungsformen auch zu neuen oder neuartigen Erkenntnissen führen.

Als Arbeitsgrundlage und Ausgangspunkt für die Betrachtung der Entwicklung der Digital Humanities an der Universität Regensburg gehen wir von einer inklusiven Position aus, die unterschiedliche Sichten auf die Digital Humanities integriert, was sich zu folgenden Annahmen zusammenfassen lässt:

1. Die Digital Humanities können sowohl die oben angesprochene Übertragung und Unterstützung bewährter wissenschaftlicher Methoden leisten

(Beispiel: Digitale Editionsphilologie), als auch neue Arbeitstechniken mit qualitativ neuartigen Ergebnissen begründen (*high end DH*, z. B. Text Mining großer Akten- bzw. Textbestände).

2. Ihr Bezugsbereich betrifft grundsätzlich den gesamten wissenschaftlichen Arbeitsprozess, also auch heute als Standard angesehene digitale Arbeitstechniken wie Textverarbeitung, Tabellenkalkulation oder E-Mail (*low end DH*).
3. Eine einfache Unterscheidung kann nach verarbeiteten Daten bzw. Medien (Text, Bild, Video, Multimedia) bzw. nach der Ergebnisdarstellung verwendeten Medien (Bild, Video, interaktive Plattformen) erfolgen.
4. Eine organisatorische Besonderheit ist die Möglichkeit, größere Personengruppen (Fachwissenschaftler und/oder interessierte Laien) durch *crowdsourcing* in den wissenschaftlichen Arbeitsprozess einzubinden, und so die intellektuelle Bearbeitung größerer Datenbestände (Erschließung, Erzeugung von Metadaten Klassifikation etc.) zu unterstützen.

## Digital Humanities an der Universität Regensburg

Ogleich es an der Universität Regensburg erst seit kurzer Zeit Projekte explizit unter der Bezeichnung Digital Humanities gibt, so kann sie doch auf eine relativ lange Geschichte in diesem Bereich zurückblicken. Bereits in den Anfangsjahren der Universität lassen sich Aktivitäten im Bereich der „nicht-numerischen Datenverarbeitung“ in Forschung und Lehre nachweisen. Abbildung [1] zeigt die ersten derartigen Lehrveranstaltungen aus dem WS 1971/1972 durch den späteren Professor für linguistische Informationswissenschaft Jürgen Krause.

Die Etablierung von Fächern mit Bezug zur angewandten Informatik hat insofern eine lange Tradition, die sich mit der Informationswissenschaft erst als Teilstudienfach, dann als eigenes Studienfach, fortgesetzt hat. Dieser Bereich wurde mit zunächst einer Professur für Medieninformatik (2000/2003) sowie entsprechenden Studiengängen (Medieninformatik B. A. seit 2011, Medieninformatik M. Sc. seit 2013) in den letzten Jahren kontinuierlich ausge-

Thema	Typ / Beschreibung	Fachliche Zuordnung
Digitale Arbeitspraktiken in den Regensburger Geisteswissenschaften	<i>Empirische Studie</i> (Fragebogen) unter ca. 400 Wissenschaftlern in den Geisteswissenschaften	Informationswissenschaft
Annotationspraktiken im akademischen Kontext	<i>Empirische Studie</i> zur Übertragung von Annotationspraktiken vom gedruckten Text auf digitale Endgeräte (Tablets)	Informationswissenschaft
<i>Tworpus</i>	<i>Digitale Tools und Ressourcen</i> : Aufbau eines Corpusmanagementsystems, mit dem Twitter-Corpora für die weitere Analyse aufgebaut werden können	Angewandte Linguistik und Wissenschaften, die Textcorpora aus den sozialen Medien verwenden (z. B. Soziologie oder Medienwissenschaft)
<i>WebNLP</i>	<i>Digitale Tools und Ressourcen</i> : Zusammenführung bewährter Tools für die automatische Sprachverarbeitung in einer einfach zu bedienenden webbasierten Oberfläche  Online: <a href="http://132.199.139.24/~poj29145/nltk">http://132.199.139.24/~poj29145/nltk</a>	Angewandte Linguistik und alle Wissenschaften, die große Textmengen verarbeiten müssen
<i>Research Sherlock</i>	<i>Digitale Tools und Ressourcen</i> : Smartphone-App, die Funktionen des Bibliophiemagements mit Bezug zu Regensburger Buchbeständen übernimmt, Koppelung von Literatur mit Arbeitsaufgaben, Integration von Bibtip-Empfehlungen, Export im Bibtext-Format	Informationswissenschaft
<i>Virtual Bookshelf</i>	<i>Digitale Tools und Ressourcen</i> : Prototyp eines virtuellen Bücherregals, das die gewohnte physische Ordnung von Büchern auch für eBooks generiert	Informationswissenschaft
Inhaltliche Analyse von Tatort-Tweets	<i>DH-Projekt Medienanalyse</i> : Auswertung eines Corpus an Tweets zu einer Tatort-Sendung, Phänomen des <i>second screen</i>	Medienwissenschaft, angewandte Linguistik
Facebook-Analyse „Dschungelcamp“	<i>DH-Projekt Medienanalyse</i> : Auswertung von Facebook-Posts zur Fernsehsendung „Dschungelcamp“, automatische Klassifikation von wertenden Aussagen ( <i>sentiment analysis</i> )	Medienwissenschaft, angewandte Linguistik
To See or Not to See	<i>DH-Projekt Visualisierung von Dramen</i> : Interaktive Visualisierung von Shakespeare-Dramen auf der Basis einer digitalen Edition	Literaturwissenschaft
Streetartfinder	<i>DH-Projekt Straßenkunst</i> : bildbezogenes Crowd-sourcing, offene Plattform zur Erfassung und Dokumentation von Straßenkunst	Kulturwissenschaft
Latrinalia-App	<i>DH-Projekt Latrinalia</i> : bildbezogenes Crowd-sourcing, offene Plattform zur Erfassung, Dokumentation und Transkription und Dokumentation von <i>toilet graffiti</i> (Latrinalia)  Online: <a href="http://latrinalia.de/">http://latrinalia.de/</a>	Sozialpsychologie, Medienwissenschaft, Linguistik
Metal-Bass Analyzer	<i>DH-Projekt Musikretrieval</i> : Bass-Läufe aus dem Musikgenre Metal werden als Corpus bereitgestellt und interaktiv recherchiert werden.	Musikwissenschaft / Musikpädagogik
Liedblattanalyse „Hoerburger“	<i>DH-Projekt Liedblätter</i> : Prototypische Digitalisierung und Aufbereitung von Liedblättern aus der Sammlung Hörburger mit Methoden der automatischen Text- und Notenerkennung und Repräsentation der Daten im MusicXML-Format und Prototyp für das Music Information Retrieval..	Kulturwissenschaft / Musikwissenschaft
Virtuelle Rekonstruktion des Regensburger Ballhauses	<i>DH-Projekt Augmented / Virtual Reality</i> : 3D-Rekonstruktion des früheren Regensburger Ballhauses auf der Basis architekturhistorischer Quellen.	Architekturgeschichte / Sozial- und Kulturgeschichte

2 Übersicht zu DH-Projekten der vergangenen Jahre

baut. Mit dem Institut für Information und Medien, Sprache und Kultur (I:ISMK) sowie durch das 2-Fach-BA-System sind sehr gute Voraussetzungen für interdisziplinäres Arbeiten in den digitalen Geisteswissenschaften gegeben. Diese wurden durch den Ausbau des I:ISMK seit 2006 durch weitere Professuren in den Bereichen Informationswissenschaft/Informationslinguistik verstärkt. Formal etabliert wurden die Digital Humanities durch ein entsprechend benanntes Studienmodul, das sowohl im Masterstudium der Informationswissenschaft als auch der Medieninformatik als Vertiefungsschwerpunkt gewählt werden kann, und sich seit 2012 starker Nachfrage erfreut.

Übersicht einschlägiger Arbeiten im Bereich der Digital Humanities

Abbildung [2] gibt einen kurzen Überblick zu Forschungsarbeiten, die im Rahmen der Digital Humanities-Aktivitäten im Bereich der Medieninformatik entstanden sind. Sie hat nicht den Zweck, vollständig alle DH-Aktivitäten in Regensburg zu dokumentieren, sondern soll vor allem das thematisch wie methodisch breite Spektrum heutiger DH-Projekte im konkreten Regensburger Kontext illustrieren. Selbstverständlich liegen auch in Regensburg zahlreiche weitere Arbeiten vor, z. B. die interdisziplinären Forschungsarbeiten zum *eye tracking*, die im Themenverbund

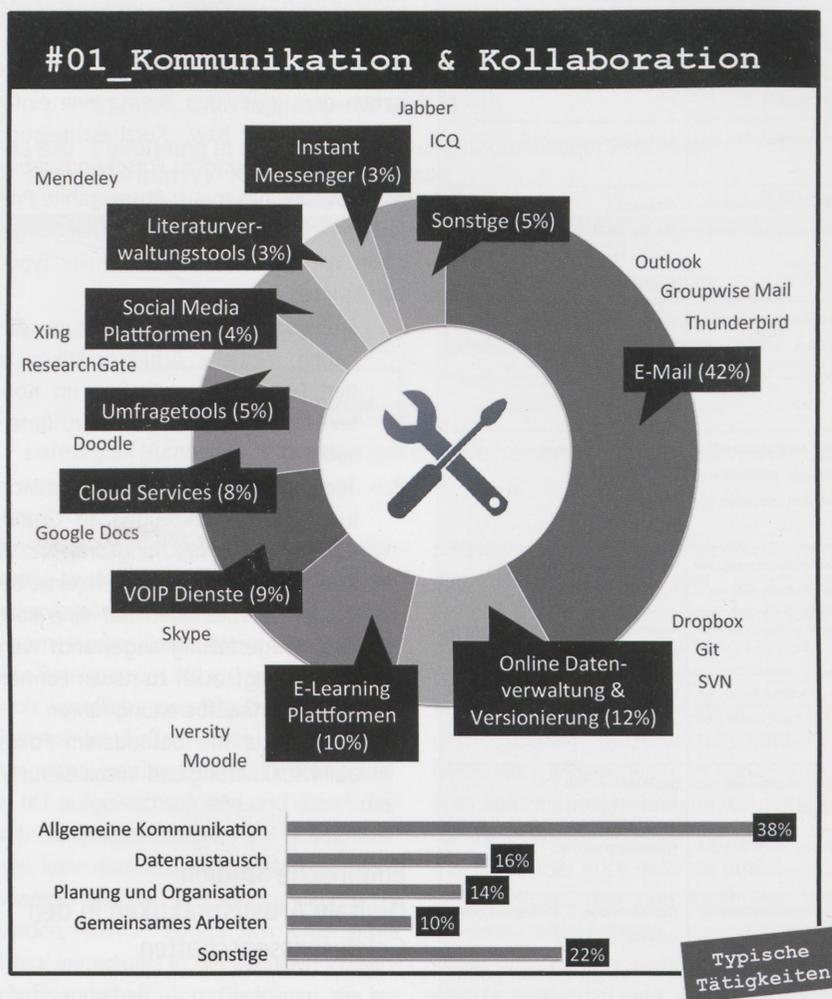
„Sehen und Verstehen“ vorangetrieben werden.

Die Übersicht in Abbildung [2] gibt neben dem jeweiligen Thema eine einfache Typisierung bzw. Kurzbeschreibung und eine Zuordnung zu Forschungsgebieten bzw. Disziplinen an. Ausgewählte Projekte werden im Anschluss näher vorgestellt. Wir unterscheiden dabei vier Typen von Studien:

1. Empirische Studien, die zum Ziel haben, aktuelle Arbeitspraktiken in den Geisteswissenschaften im Kontext der Digital Humanities zu untersuchen.
2. Toolentwicklung, d. h. die Entwicklung von IT-Werkzeugen als Grundlage künftiger Forschungsprojekte.
3. DH-Projekte i. e. S., d. h. Projekte, bei denen DH-Methoden auf eine konkrete Fragestellung angewandt werden und ggf. auch zu neuen Formen der Ergebnisaufbereitung führen.
4. DH-Projekte mit besonderem Fokus auf Visualisierung und Virtualisierung.

Empirische Studien: Digitale Arbeitspraktiken in den Geisteswissenschaften

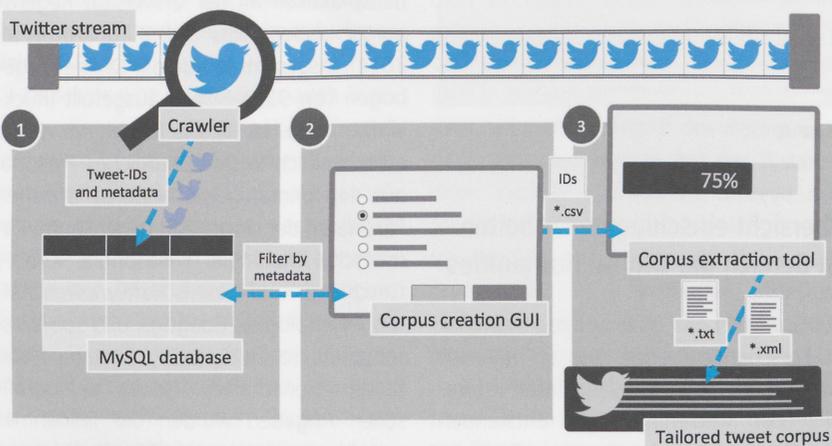
Im Zeitraum vom 25. März bis 1. Mai 2013 wurde eine umfangreiche Online-Umfrage durchgeführt, die Rückschlüsse über digitale, geisteswissenschaftliche Arbeitspraktiken an der Universität Regensburg erlauben sollte (vgl. Burghardt et al. 2014). Insgesamt wurde der Online-Fragebogen von 93 Personen ausgefüllt (Rücklaufquote ca. 18 %). Die Teilnehmer waren ausschließlich wissenschaftliches Personal aus den primär geisteswissenschaftlichen Fakultäten der Universität Regensburg: Katholische Theologie, Philosophie, Kunst-, Geschichts- und Gesellschaftswissenschaften, Psychologie, Pädagogik und Sportwissenschaft sowie Sprach-, Literatur- und Kulturwissenschaften. Neben demografischen Angaben wurden die Teilnehmer vor allem nach typischen Tätigkeiten während des Forschungsprozesses und ggf. der Verwendung digitaler Tools zur Unterstützung dieser Tätigkeiten befragt. Dabei kam ein standardisiertes Modell des wissenschaftlichen Arbeitsprozesses als Bezugsgrundlage zum Einsatz. Eine weitere Detailanalyse der Fragebogen-Ergebnisse und eine zweite Befragungsrunde mit vorgegebenen Auswahlmöglichkeiten,



3 Ergebnisse der Studie für den Bereich Kommunikation und Kollaboration

formations- und Nachrichtenquelle geworden und werden in den etablierten Medien etwa bei aktuellen politischen Ereignissen intensiv rezipiert (Wahlberichterstattung, *Arabellion*, etc.). Insofern sind die Tweets zu einer wichtigen Quelle für die Wissenschaft geworden, wobei ganz unterschiedliche Fächer auf solche Kurztexte zurückgreifen. Mit TWORPUS (Kofferwort aus Twitter und Corpus) wurde ein einfach zu benutzendes Tool zur Erstellung benutzerdefinierter Twitter-Corpora entwickelt (online: <http://132.199.139.24/tworpus/>). TWORPUS (vgl. Bazo et al. 2013) ermöglicht es Forschern (z. B. Sprach- oder Medienwissenschaftlern), Corpora aus Tweet-Texten zu erstellen, ohne sich mit den technischen Aspekten des Twitter *Application Programming Interface* (API) auseinandersetzen zu müssen. Gleichzeitig berücksichtigt TWORPUS die Nutzungsregelungen von Twitter, die genau vorgeben, in welcher Form Tweet-Daten genutzt und verbreitet werden dürfen. Mit TWORPUS können Corpora beliebiger Größe über eine grafische Benutzerschnittstelle anhand unterschiedlicher Parameter wie etwa Sprache und Zeitraum erstellt und heruntergeladen werden.

Abbildung [4] zeigt die grundsätzliche Architektur der Anwendung, [5] die leicht zu erfassende Bedienschnittstelle für den Corpus-Aufbau. Eine Erweiterung und Verbesserung des Corpus-Tools (TWORPUS 2.0) ist derzeit in Vorbereitung.



4 Architektur der TWORPUS-Anwendung

### DH-Projekt Medienanalyse: Inhaltliche Analyse von Tatort-Tweets

Diese Studie (vgl. Burghardt et al. 2013) widmet sich der Nutzung von Twitter als interaktive Erweiterung des statischen Mediums Fernsehen und geht dem Phänomen des *second screen* nach, bei dem Fernsehzuschauer mit einem zweiten Gerät (Tablet, Smartphone, Notebook) während einer Sendung diese kommentieren, bevorzugt über den Kurznachrichtendienst Twitter. Wir haben ca. 3.700 Live-Tweets zu einer Folge der deutschen Krimireihe *Tatort* nach Inhalt und Funktion kategorisiert und anschließend in Hinblick auf vornehmlich medienwissenschaftliche Erkenntnisinteressen untersucht. Die Studie liefert aufschlussreiche Ergebnisse zur Medienkonvergenz von Twitter und der Krimireihe *Tatort*. Dabei erfolgte zunächst eine Kategorienbildung

auch über die Grenzen der UR hinweg, ist geplant. Abbildung [3] zeigt Nutzungsangaben für den Bereich Kommunikation und Kollaboration.

### Digitale Tools und Ressourcen: Tworpus

Soziale Medien wie der Kurznachrichtendienst Twitter sind zu einer wichtigen In-

in Anlehnung an die *grounded theory*, im Anschluss wurden die vorliegenden Nachrichten klassifiziert.

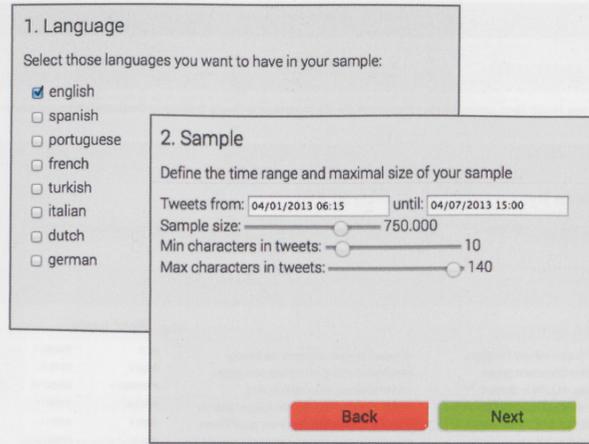
Abbildung [6] zeigt die Verteilung der Nachrichten auf die Kategorien, Abbildung [7] die Aktivitäten der tweetenden Zuschauer im Zeitverlauf (Kategorie: Kommentar zum Handlungsverlauf).

Für eine Weiterentwicklung des Ansatzes – der sich offensichtlich für eine Vielzahl von Sendungen nutzen ließe – liegen von anderen Universitäten Anfragen vor (ergänzende Analyse aus linguistischer Sicht; Weiterentwicklung des *code books* durch Soziologen).

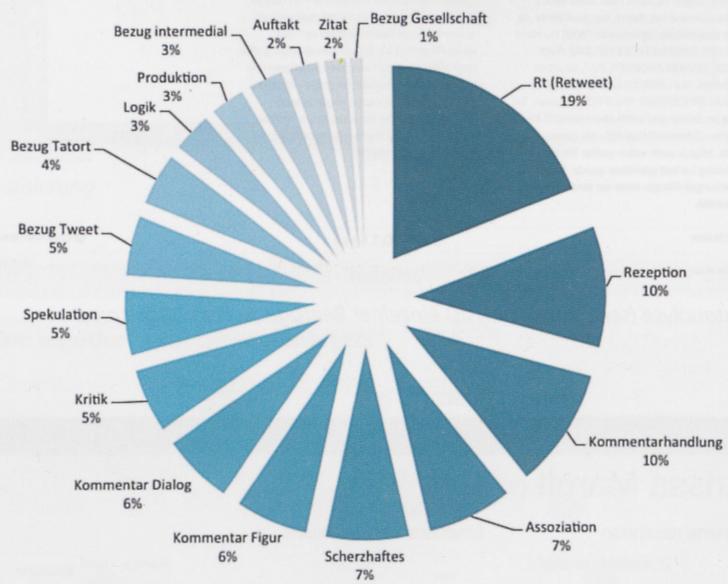
### DH-Projekt Medienanalyse: Facebook-Analyse „Dschungelcamp“

Facebook ist mit mittlerweile mehr als einer Milliarde Nutzer die mit Abstand mitgliederstärkste *social media*-Plattform, die zu unterschiedlichsten Zwecken genutzt wird. Bei dem hier vorgestellten Projekt wurde ebenfalls eine Fragestellung aus dem Bereich der Medienanalyse gewählt: Das Projekt analysiert die Facebook-Likepage der Reality-TV-Serie „Ich bin ein Star, holt mich hier raus (Dschungelcamp)“. Dabei wurde ein Tool erstellt (online: <http://dh.wappdesign.net/>), das über die Facebook-API alle Benutzer-Kommentare nach Kandidaten und „Dschungelprüfungen“ (regelmäßige Events/Prüfungen im Laufe der Sendung) gefiltert extrahiert und auf Basis eines frei verfügbaren Sentiment-Korpus (*BAWL, Berlin Affective Wordlist*) die Stimmung der Kommentare erfasst. Über eine Analyseschnittstelle kann betrachtet werden, welcher Kandidat zu welchem Zeitpunkt eher positiv oder eher negativ in den Kommentaren diskutiert wurde. Methodisch findet eine Verbindung von Medienanalyse mit Verfahren aus der Computerlinguistik (*sentiment analysis*) statt.

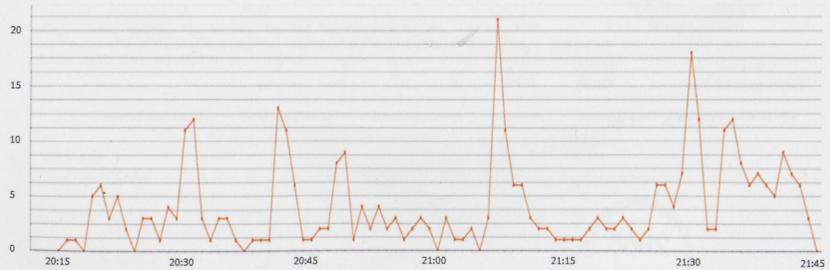
Die Ergebnisse der Analyse werden dabei sowohl textuell aufbereitet (Darstellung der Texte und der Emotionskategorien, [8]) als auch in Form von Informationsvisualisierungen grafisch dargestellt [9]. Dort wird beispielsweise die Entwicklung der Bewertungen (positiv – negativ) im Zeitverlauf gezeigt, man kann also leicht nachvollziehen, wie sich die Bewertung eines Darstellers durch die Zuschauer entwickelt hat.



5 Benutzerschnittstelle für die Einrichtung eines Tweetcorpus mit Hilfe von TWORPUS



6 Aufteilung der Tweets auf unterschiedliche Kategorien



7 Häufigkeit von Tweets aus der Kategorie Kommentar-Handlung im zeitlichen Verlauf

### DH-Projekt Dramenanalyse: Visualisierung von Shakespeare-dramen (To See or Not to See)

*To See or Not to See* (vgl. Wilhelm et al. 2013) beschreibt ein webbasiertes Interface, welches die Visualisierung und Ana-

lyse quantitativer Aspekte aus Shakespeare-Dramen erlaubt. Die Datengrundlage bilden die Texte aus der *Folger Digital Library*, eine Shakespeare-Edition, die vollständig mit strukturellem Markup (XML-Auszeichnung der Texte) nach den Regeln der *Text Encoding Initiative* (TEI) versehen ist. Auf

New Project IchBinEinStar

### Post (1334 comments)

Bittere Tränen bei Larissa Marolt: Beim großen Wiedersehen nimmt die #Dschungelcamp-Zweite Stellung zu Drogengerüchten und Lächer-Attacken gegen sie.

Sort comments by:

Date Likes Emotion Emotion Emotion Score Unknown words

**Elke Simon**

RTL hat in meinen Augen mit der heutigen Abschlusssendung ein Statement gegen Mobbing abgegeben. ALLEN in diesem MOBBING-CAMP wurde der Spiegel über ihre unmenschliche HÄSSLICHKEIT vor Augen geführt. Verschiedentlich hat man in deren Gesichtern ihr Entsetzen über ihr eigenes Fehlverhalten gesehen, bei der ein oder anderen Person auch eine gewisse Scham, aber auch nur lapidare Ausreden. Dieses Mobber-Camp hätte sich, um ihr eigenes Gesicht zu wahren, geschlossen bei Larissa entschuldigen müssen. Aber diese Größe hatte niemand von denen, nur Ausflüchte. Ja, - an diesem alten Sprichwort: "WAS DU NICHT WILLST, DASS MAN DIR TU", DAS FÜG AUCH KEINEM ANDEREN ZU.", ist soviel Wahrheit. Nur LARISSA kann diese Staffel HOCH ERHOBBENEN HAUPTES verlassen. So jung an Jahren und solch eine menschliche Größe - Chapeau!!! Das RTL das genauso sieht, zeigt ja auch welch großer Teil der Sendung Larissa gewidmet wurde. Selbst die "Dschungel-Königin hatte nur einen mageren Zeitanteil.

**Word types**

S:	2	VMNF:	1	ADJD:	3
PIAT:	3	KON:	3	PDAT:	6
PTKNEG:	1	ADJA:	12	NE:	32
VMFIN:	1	VVINF:	1	VVFIN:	5
PRF:	1	ART:	11	VAFIN:	8
PIS:	4	PPER:	1	PTKVZ:	1
APPR:	16	PDS:	1	ADV:	13
VPPP:	4	PPOSAT:	5	NE:	13

179 likes 15.9 | 10.1 | 5.8 0 unknown lemma(ta)

2014-02-02 22:17:37

8 Textanalyse (sentiment analysis) einzelner Beiträge zu Dschungelcamp

Basis dieser Daten wurde eine ganze Reihe von Visualisierungsformaten entwickelt. Im Zentrum steht dabei eine zweidimensionale Gesamtdarstellung des Stücks, bei dem die Zeitachse in der Horizontalen liegt und die einzelnen Darsteller jeweils einen Kanal bzw. eine Zeile belegen. Die Struktur des Stücks und die Aktivitäten der Darsteller werden somit auf einen Blick nachvollziehbar: Das Interface visualisiert, welcher Charakter was und wie viel zu einem bestimmten Zeitpunkt im Stück sagt [10]. Dabei handelt es sich um eine interaktive Visualisierung, mit der der Nutzer unmittelbar arbeiten kann (Fokussierung auf einzelne Charaktere, Detailanalyse von Szene etc.). Abbildung [11] zeigt eine grafbasierte Darstellung des „Beziehungsnetzwerkes einzelner Charaktere“ (hier: Ophelia), aus der deutlich wird, mit wem und wie intensiv die Rolle interagiert.

### DH-Projekt Crowdsourcing von Bildern: Streetartfinder

Mit dem *Streetartfinder* (online: <http://streetartfinder.de/>) liegt eine Web-Anwendung vor, die es ermöglicht, Streetart-Bilder auf eine gemeinsame Web-Plattform hochzuladen. Dabei werden Informationen zum Ort (*Geolocation*) erfasst, die es der Anwendung erlauben, eine interaktive Karte der hochgeladenen Streetart-Bilder zu erstellen. Insofern handelt es sich um ein Geoinformationssystem zur Straßenkunst. Die kartografische Darstellung lässt Schwerpunkte der Straßenkunst leicht erkennen [12]. Zusätzlich werden Informationen zum Uploader, zum Datum des Uploads sowie zur Streetart-Kategorie gespeichert. Das Ziel des Projektes ist der Aufbau eines umfangreichen digitalen Corpus zum Thema Streetart, das in Folgestudien mit kulturwissenschaftlichen, soziologischen oder kunsthistorischen Methoden näher untersucht werden kann.

New Project IchBinEinStar

### Larissa Marolt (97 Posts)

General reception

negative positive

74% 26%

Emotions per comment

positive negative score

01/17/2014 01/19/2014 01/20/2014 01/21/2014 01/22/2014 01/23/2014 01/24/2014 01/25/2014 01/26/2014 01/27/2014 01/28/2014 01/29/2014 01/30/2014 01/31/2014 02/01/2014

Sort posts by:

Date Likes Comments Shares Emotion/Comment Emotion/Comment Controversy/Comment

2856 4112 1256

Bittere Tränen bei Larissa Marolt: Beim großen Wiedersehen nimmt die #Dschungelcamp-Zweite Stellung zu Drogengerüchten und Lächer-Attacken gegen sie.

7,450 likes 1,334 comments 70 shares

2014-02-02 22:15:31

1090 1627 537

Winfried und Larissa sprechen sich im #Dschungelcamp-Baumhaus aus... Hier geht's zum Video: [www.clipfish.de/special/ich-bin-ein-star/video/4043922/](http://www.clipfish.de/special/ich-bin-ein-star/video/4043922/)

5,245 likes 643 comments 39 shares

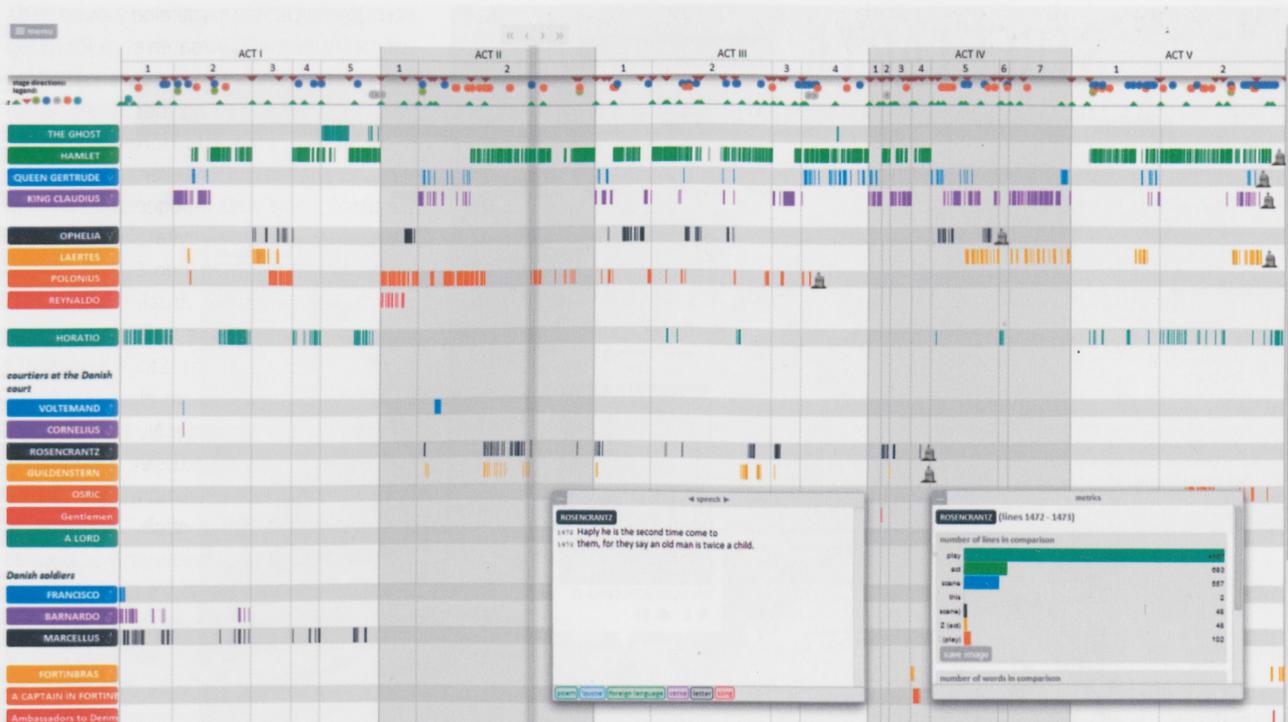
2014-02-02 20:53:13

1002 1747 745

9 Visualisierung der Gesamtbewertung und des zeitlichen Verlaufs der Bewertung einzelner Darsteller im Dschungelcamp

### DH-Projekt Musik-Retrieval: Metal-Bass Analyzer

Auf Basis von MusicXML-kodierten Bass-Tabaturen zahlreicher Songs aus dem Genre des „Metal“, wurde eine web-basierte Analyseumgebung entwickelt (online: <http://meincomputerhasstmich.de/metal/>). Das Tool erlaubt einerseits eine

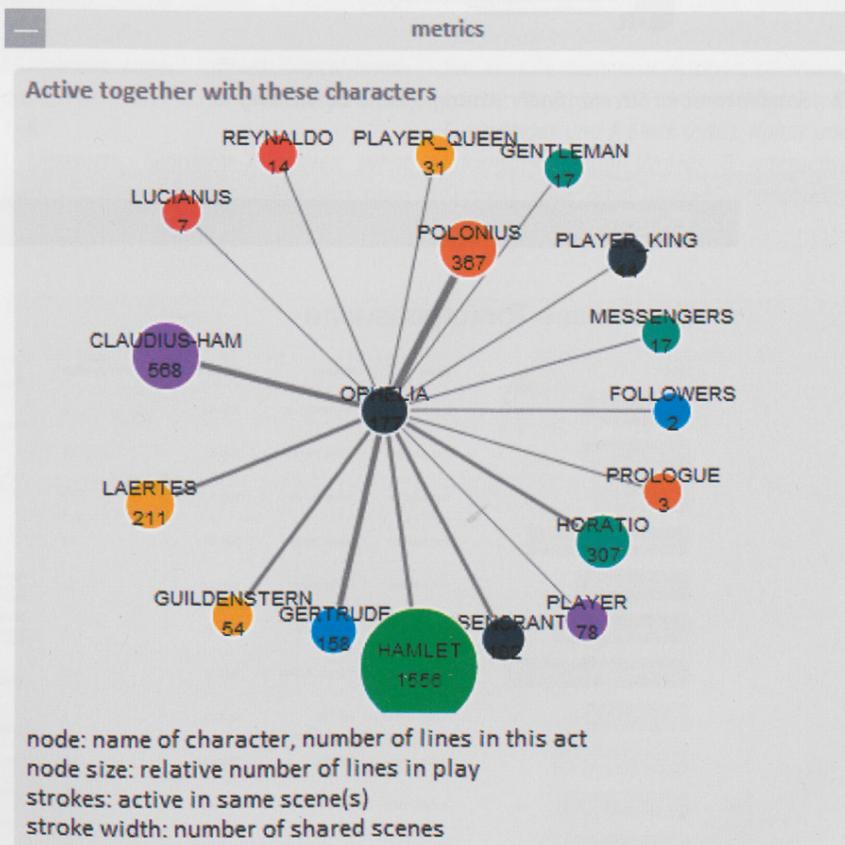


10 Gesamtüberblick zu Hamlet als interaktive Visualisierung

statistische Analyse (z. B. welche Tonart kommt wie oft vor), andererseits aber auch die Suche nach bestimmten Ton- oder Rhythmus-Patterns, um so etwa Gemeinsamkeiten bei unterschiedlichen Metal-Songs [13] aufzudecken. Die Anwendung deckt damit Aspekte des Musik-Retrievals ab, einer noch recht jungen Teildisziplin des Information Retrieval, die sich mit der Frage auseinandersetzt, wie musikalische Datenbestände in unterschiedlichen Repräsentationsformaten erschlossen und für Recherchen genutzt werden können.

### DH-Projekt Augmented/Virtual Reality: Regensburger Ballhaus

Auf Basis historischer Beschreibungen (Hofarchiv Thurn und Taxis) erfolgte eine Rekonstruktion des heute nicht mehr vorhandenen Regensburger Ballhauses am Ägidienplatz. Die 3D-Rekonstruktion modelliert einerseits das Innenleben des Ballhauses und liefert andererseits textuelle Informationen zu interessanten Objekten [14]. Die Rekonstruktion kann mit Hilfe der Virtual Reality-Brille *Oculus Rift* interaktiv exploriert werden, Techniken der 3D-Modellierung werden mit Verfahren der virtuellen Realität und neuen Interaktionsgeräten gekoppelt, um eine immersive Exploration der Rekonstruktion zu ermöglichen.

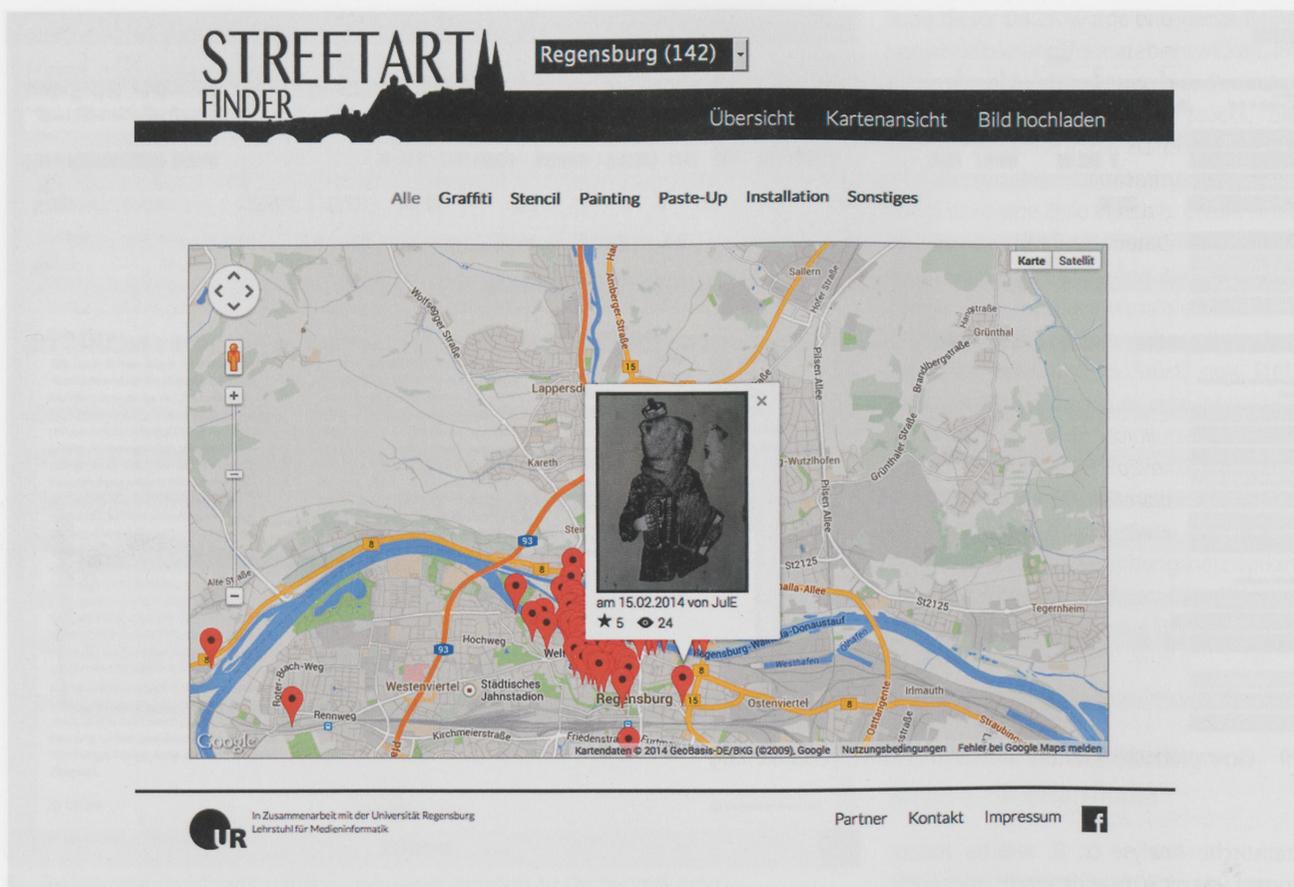


11 Interaktionsgraf für Ophelia

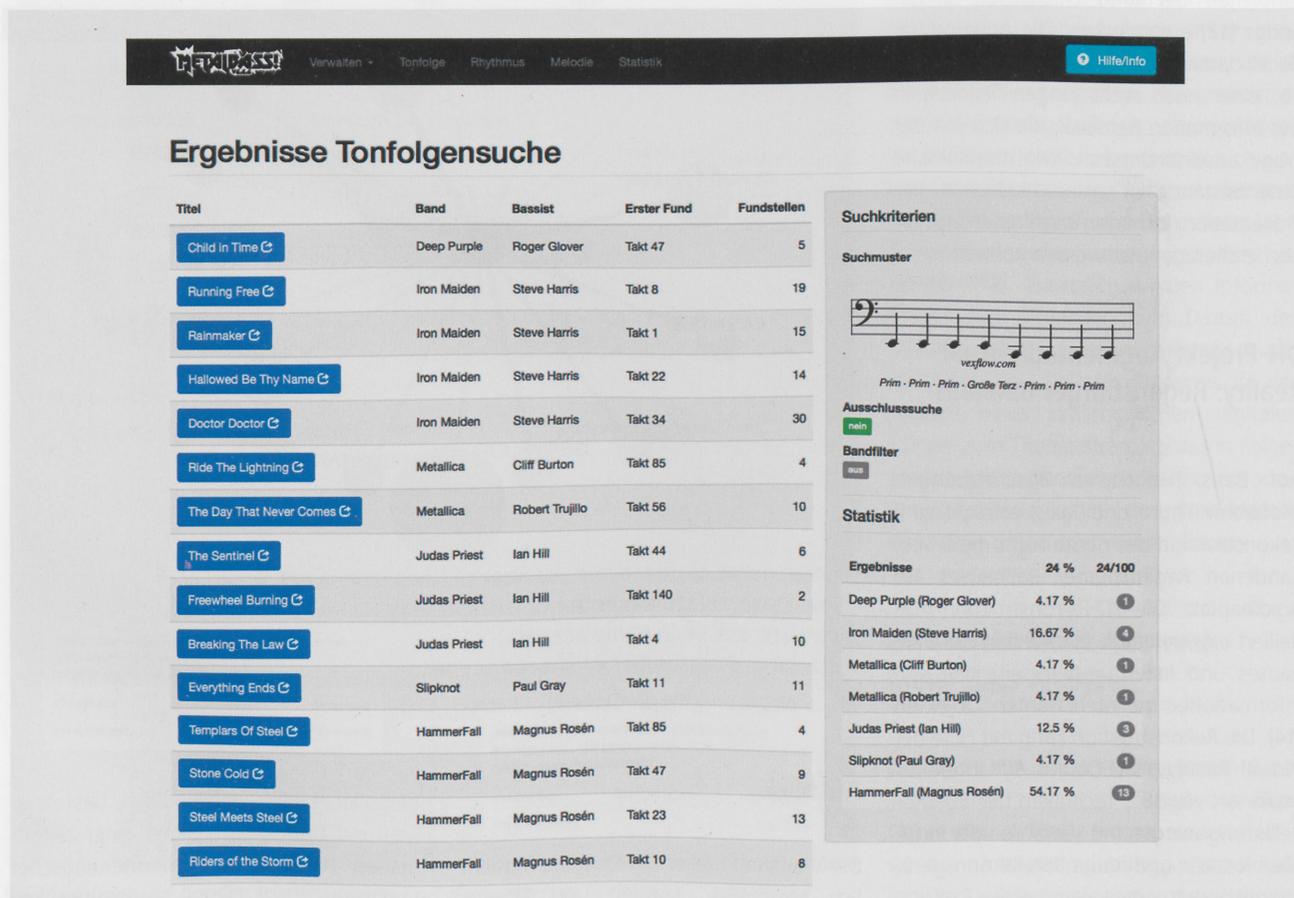
### Ausblick

Die Vielfalt aktueller DH-Projekte hinsichtlich Methoden, Medien und Themen sollte die vorangehende Übersicht aufzei-

gen. Dabei wird auch deutlich, dass Analyse und Deutung im Sinne einer zeitgemäßen Fortschreibung hermeneutischer Verfahren durch Digital Humanities keinesfalls ersetzt werden. Mit ihnen können



12 Straßenkunst im Streetartfinder: Kartografische Darstellung



13 Benutzerschnittstelle Metal-Bass Analyzer

aber neue Grundlagen der Interpretation geschaffen und neue Darstellungsmöglichkeiten für wissenschaftliche Ergebnisse genutzt werden. Einen wichtigen Beitrag leisten DH-Projekte zudem beim Aufbau der Infrastruktur für materialreiche Vorhaben, deren Quellen sich nur als digitalisierte Daten sinnvoll analysieren lassen.

## Literatur

A. Bazo, M. Burghardt und C. Wolff, *TWORPUS – An Easy-to-Use Tool for the Creation of Tailored Twitter Corpora*. In I. Gurevych, C. Biemann & T. Zesch (Eds.), *Language Processing and Knowledge in the Web (Lecture Notes in Computer Science, vol. 8105, pp. 23-34)*. Springer: Berlin und Heidelberg 2013

M. Burghardt, M. Traber, A. Schubert und C. Wolff, *Empirische Untersuchung zu digitalen, geisteswissenschaftlichen Arbeitspraktiken an der Universität Regensburg (Posterbeitrag)*. 1. Jahrestagung der „Digital Humanities im deutschsprachigen Raum“, Passau 2014

M. Burghardt, H. Karsten, M. Pflamming und C. Wolff, *Twitter als interaktive Erweiterung des Mediums Fernsehen: Inhaltliche Analyse von Tatort-Tweets*. In *Workshop Proceedings of the GSCL Darmstadt*



14 3D-Modell des ehemaligen Regensburger Ballhauses am Ägidienplatz

2013. Online: [http://gscl2013.ukp.informatik.tu-darmstadt.de/fileadmin/user\\_upload/Group\\_UKP/conferences/gscl2013/workshops/Long-Paper-Tatort-Tweets\\_resubmittedVersion.pdf](http://gscl2013.ukp.informatik.tu-darmstadt.de/fileadmin/user_upload/Group_UKP/conferences/gscl2013/workshops/Long-Paper-Tatort-Tweets_resubmittedVersion.pdf)

F. Moretti, *Distant Reading*. London: Verso 2013, p. 224

M. Prensky, *Digital Natives, Digital Immigrants Part I*. *On the Horizon*, 9(6) 2001, p. 1–6

J. Unsworth, *Scholarly Primitives: what methods do humanities researchers have in common, and how might our tools re-*

*flect this?* „Symposium on Humanities Computing: formal methods, experimental practice“, 2000 Online: <http://people.brandeis.edu/~unsworth/Kings.5-00/primitives.html>

T. Wilhelm, M. Burghardt und C. Wolff, „To See or Not to See“ – *An Interactive Tool for the Visualization and Analysis of Shakespeare Plays*. In: R. Franken-Wendelstorf, E. Lindinger und J. Sieck (eds.). *Kultur und Informatik: Visual Worlds & Interactive Spaces*. Verlag Werner Hülsbusch, Glückstadt 2013, S. 175–185



**Manuel Burghardt** M.A., geb. 1982 in Straubing. Studium der Informationswissenschaft und der Englischen Sprachwissenschaft an der Universität Regensburg. 2008 Abschluss als Magister Artium. Aktuell tätig als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Medieninformatik der Universität Regensburg.

**Forschungsschwerpunkte:** Digital Humanities, Corpuslinguistik, Analyse sozialer Medien, User Interface Design

Prof. Dr. **Christian Wolff**, geb. 1966 in München, ist Professor für Medieninformatik am Institut für Information und Medien, Sprache und Kultur der Universität Regensburg. Studium der Anglistik / Amerikanistik, allgemeinen Sprachwissenschaft, Geschichte und Informationswissenschaft in Regensburg und Bielefeld. Promovierter Informationswissenschaftler (1994, Universität Regensburg) und habilitierter Informatiker (2000, Universität Leipzig). Er ist Vorsitzender des Hochschulverbands Informationswissenschaft und Mitglied zahlreicher Fachverbände (u.a. ACM, ASIST, DHd, GI, IEEE CS). Weitere Informationen: <http://mi.ur.de>

**Forschungsschwerpunkte:** Mensch-Maschine-Interaktion, Software und Usability Engineering, Information Retrieval und digital humanities.



# Bildnachweis

## Spin, Spin, Spin Around

- 1 und 2a** Lehrstuhl Giessibl  
**2b-5** Archiv Weiss  
**6a und b** C. Betthausen et al.,  
*Science* 337, 324 (2012).  
**7** Lehrstuhl Fabian

## Nierenforschung in Regensburg

- 1** links: Deutsches Ärzteblatt vom 6. Oktober 2011,  
 rechts: CDC/Dr. Edwin P. Ewing, Jr.  
 Creation Date: 1972  
**2** Archiv Autor Kurtz  
**3** Archiv Autor Reichold  
**4 und 5** Archiv Autor Kurtz  
**6 und 7** Archiv Autor Schweda  
**8 und 9** Archiv Autor Mack

## Wahrnehmungslernen: Wie erlernt das Gehirn Neues?

- 1** Nach Frank et al. (2013)  
 mit Erlaubnis.  
**2** Nach Schmidt-Wilcke et al. (2010) mit Erlaubnis.  
**3 a und b** Nach Frank et al. (2014)  
 mit Erlaubnis.  
**4** Nach Frank et al. (2014)  
 mit Erlaubnis.

## 100 Jahre Alzheimer

- 1** Heiko Marx  
**2 und 3** Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege,  
 München  
**4** Andreas Hartmann  
**5** Martin Posselt  
**6** Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege,  
 München  
**7 und 8** Bernhard Zirngibl  
**9** Heiko Marx  
**10** Archäologische  
 Staatssammlung, München  
**11** Heiko Marx  
**12** aus: *Heureuse Préhistoire* (1965).

## Digital Humanities: Buzzword oder Strukturwandel der Geisteswissenschaften?

- 1-14** Institut für Information und Medien,  
 Sprache und Kultur

# Blick in die Wissenschaft – Bestellkarte

Bitte ausfüllen und einsenden oder kopieren und faxen an  
**(09 41) 7 87 85 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

X

Datum/Unterschrift

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.

X

zweite Unterschrift

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

X

Datum/Unterschrift

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.

X

zweite Unterschrift

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](mailto:bestellung@univerlag-regensburg.de)

Internet: [www.univerlag-regensburg.de](http://www.univerlag-regensburg.de)



Entgelt  
zahlt  
Empfänger

## Blick in die Wissenschaft



Forschungsmagazin der  
Universität Regensburg

### Antwort

Universitätsverlag Regensburg GmbH  
Leibnizstraße 13

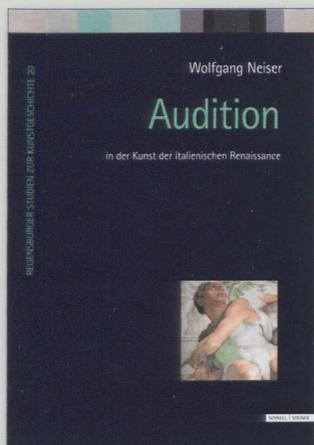
D-93055 Regensburg

Telefon: (09 41) 7 87 85-0

Telefax: (09 41) 7 87 85-16

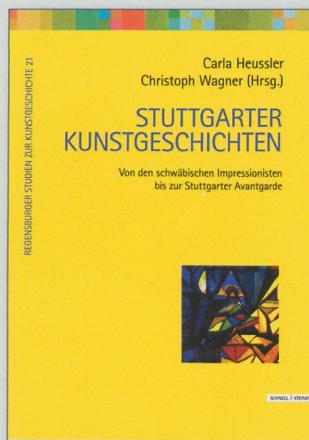
E-Mail: [bestellung@univerlag-regensburg.de](mailto:bestellung@univerlag-regensburg.de)

Internet: [www.univerlag-regensburg.de](http://www.univerlag-regensburg.de)



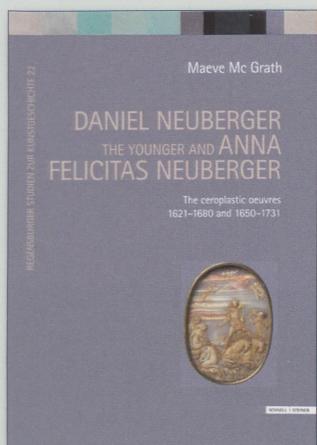
1. Auflage 2014,  
ca. 288 Seiten,  
zahlreiche Abbildungen,  
17 x 24 cm,  
Hardcover, fadengeheftet

ISBN 978-3-7954-2887-7  
ca. € 59,00



1. Auflage 2014,  
ca. 352 Seiten,  
zahlreiche Abbildungen,  
17 x 24 cm,  
Hardcover, fadengeheftet

ISBN 978-3-7954-2888-4  
ca. € 59,00



1. Auflage 2014,  
ca. 320 Seiten,  
zahlreiche Abbildungen,  
17 x 24 cm,  
Hardcover, fadengeheftet

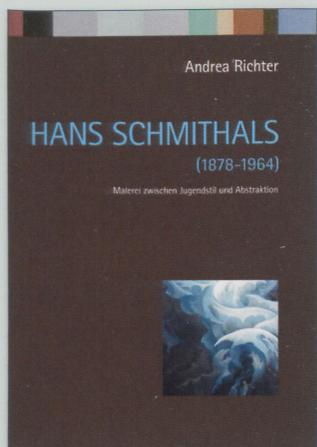
ISBN 978-3-7954-2889-1  
ca. € 59,00



1. Auflage 2014,  
ca. 176 Seiten,  
zahlreiche Abbildungen,  
17 x 24 cm,  
Hardcover, fadengeheftet

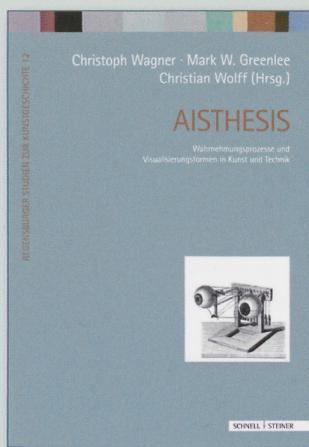
ISBN 978-3-7954-2890-7  
ca. € 39,95

Bereits erschienen:



1. Auflage 2014,  
352 Seiten, 79 Farb-, 105  
s/w-Abbildungen,  
17 x 24 cm,  
Hardcover, fadengeheftet

ISBN 978-3-7954-2886-0  
€ 59,00



1. Auflage 2013,  
352 Seiten,  
150 s/w-Abbildungen,  
17 x 24 cm,  
Hardcover, fadengeheftet

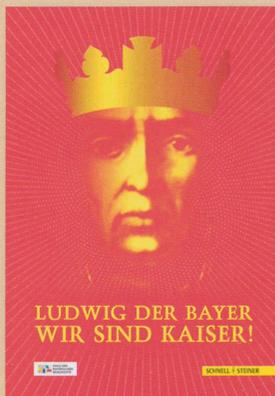
ISBN 978-3-7954-2241-7  
€ 59,00

Diese und weitere Bücher aus der Reihe „Regensburger Studien zur Kunstgeschichte“ finden Sie hier:  
[http://www.schnell-und-steiner.de/reihe\\_507.shtml](http://www.schnell-und-steiner.de/reihe_507.shtml)



# Neue Bücher zur Geschichte

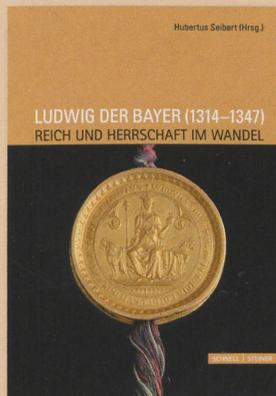
beim Verlag Schnell und Steiner



Peter Wolf u.a. (Hrsg.)  
**LUDWIG DER BAYER –  
WIR SIND KAISER!**

1. Auflage 2014, 368 Seiten,  
115 Farb-, 20 s/w-Abbildungen,  
20,5 x 29,7 cm, Hardcover,  
fadengeheftet

ISBN 978-3-7954-2836-5  
**€ 26,95 [D] / SFr 35,90**

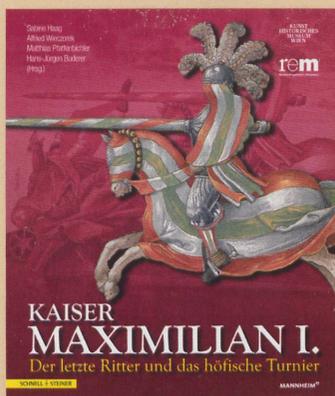


Hubertus Seibert (Hrsg.)  
**LUDWIG DER BAYER  
(1314–1347)**

*Reich und Herrschaft im Wandel*

1. Auflage 2014, 544 Seiten,  
21 Farb-, 25 s/w-Abbildungen,  
17 x 24 cm, Hardcover, fadengeheftet

ISBN 978-3-7954-2757-3  
**€ 39,95 [D] / SFr 50,50**



Sabine Haag u.a. (Hrsg.)

**KAISER  
MAXIMILIAN I.**

*Der letzte Ritter  
und das höfische Turnier*

1. Auflage 2014, 248 Seiten,  
293 Farb-, 1 s/w-Abbildungen,  
24 x 28 cm, Hardcover,  
fadengeheftet

ISBN 978-3-7954-2842-6  
**€ 34,95 [D] / SFr 44,90**



Clemens Unger u.a. (Hrsg.)

**Regensburg zur Zeit  
des Immerwährenden  
Reichstags**

*Kultur-historische Aspekte  
einer Epoche der Stadtgeschichte*

1. Auflage 2014, 328 Seiten,  
208 Farb-, 9 s/w-Abbildungen,  
24 x 28 cm, Hardcover, fadengeheftet

ISBN 978-3-7954-2807-5  
**€ 24,95 [D] / SFr 33,90**



Gerhard Seibold  
**HAINHOFERS  
»FREUNDE«**

*Das Beziehungsnetzwerk eines  
Augsburger Kunsthändlers im  
Spiegel seiner Stammbücher*

1. Auflage 2014, 456 Seiten,  
392 Farbabbildungen,  
21 x 28 cm, Hardcover,  
fadengeheftet

ISBN 978-3-7954-2869-3  
**€ 59,- [D] / SFr 73,90**



Stadt Rastatt (Hrsg.)

**Der Friede von Rastatt –  
„...dass aller Krieg eine Thorheit sey.“**

1. Auflage 2014, 208 Seiten,  
210 Farbabbildungen, 21 x 29,7 cm,  
Softcover, fadengeheftet

ISBN 978-3-7954-2740-5  
**€ 24,95 [D] / SFr 33,90**



Bernd Röder u.a. (Hrsg.)  
**2000 Jahre Schifffahrt  
auf der Mosel**

*Vom römischen Transportweg  
zum einenden Band Europas*

1. Auflage 2014, 432 Seiten,  
257 Farb-, 66 s/w Abbildungen,  
24 x 28 cm, Hardcover,  
fadengeheftet

ISBN 978-3-7954-2840-2  
**€ 34,95 [D] /  
SFr 44,90**



Gabriele Köster (Hrsg.)

**Geschichte  
und Kulturelles Erbe des  
Mittelalters**

*Umgang mit Geschichte in  
Sachsen-Anhalt und andernorts*

1. Auflage 2014, 216 Seiten,  
126 Farbabbildungen, 18 x 25 cm,  
Hardcover, fadengeheftet

ISBN 978-3-7954-2846-4  
**€ 34,95 [D] / SFr 44,90**

Weitere Titel aus unserem Programm finden Sie unter:  
[www.schnell-und-steiner.de](http://www.schnell-und-steiner.de)

SCHNELL + STEINER

aber neue Grundlagen der Interpretation geschaffen und neue Darstellungsmöglichkeiten für wissenschaftliche Ergebnisse genutzt werden. Einen wichtigen Beitrag leisten DH-Projekte zudem beim Aufbau der Infrastruktur für materialreiche Vorhaben, deren Quellen sich nur als digitalisierte Daten sinnvoll analysieren lassen.

## Literatur

A. Bazo, M. Burghardt und C. Wolff, *TWORPUS – An Easy-to-Use Tool for the Creation of Tailored Twitter Corpora*. In I. Gurevych, C. Biemann & T. Zesch (Eds.), *Language Processing and Knowledge in the Web (Lecture Notes in Computer Science, vol. 8105, pp. 23-34)*. Springer: Berlin und Heidelberg 2013

M. Burghardt, M. Traber, A. Schubert und C. Wolff, *Empirische Untersuchung zu digitalen, geisteswissenschaftlichen Arbeitspraktiken an der Universität Regensburg (Posterbeitrag)*. 1. Jahrestagung der „Digital Humanities im deutschsprachigen Raum“, Passau 2014

M. Burghardt, H. Karsten, M. Pflamming und C. Wolff, *Twitter als interaktive Erweiterung des Mediums Fernsehen: Inhaltliche Analyse von Tatort-Tweets*. In *Workshop Proceedings of the GSCL Darmstadt*



14 3D-Modell des ehemaligen Regensburger Ballhauses am Ägidienplatz

2013. Online: [http://gscl2013.ukp.informatik.tu-darmstadt.de/fileadmin/user\\_upload/Group\\_UKP/conferences/g scl2013/workshops/Long-Paper-Tatort-Tweets\\_resubmittedVersion.pdf](http://gscl2013.ukp.informatik.tu-darmstadt.de/fileadmin/user_upload/Group_UKP/conferences/g scl2013/workshops/Long-Paper-Tatort-Tweets_resubmittedVersion.pdf)

F. Moretti, *Distant Reading*. London: Verso 2013, p. 224

M. Prensky, *Digital Natives, Digital Immigrants Part I*. *On the Horizon*, 9(6) 2001, p. 1–6

J. Unsworth, *Scholarly Primitives: what methods do humanities researchers have in common, and how might our tools re-*

*flect this? „Symposium on Humanities Computing: formal methods, experimental practice“*, 2000 Online: <http://people.brandeis.edu/~unsworth/Kings.5-00/primitives.html>

T. Wilhelm, M. Burghardt und C. Wolff, *„To See or Not to See“ – An Interactive Tool for the Visualization and Analysis of Shakespeare Plays*. In: R. Franken-Wendelstorf, E. Lindinger und J. Sieck (eds.). *Kultur und Informatik: Visual Worlds & Interactive Spaces*. Verlag Werner Hülsbusch, Glückstadt 2013, S. 175–185



**Manuel Burghardt** M.A., geb. 1982 in Straubing. Studium der Informationswissenschaft und der Englischen Sprachwissenschaft an der Universität Regensburg. 2008 Abschluss als Magister Artium. Aktuell tätig als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Medieninformatik der Universität Regensburg.

**Forschungsschwerpunkte:** Digital Humanities, Corpuslinguistik, Analyse sozialer Medien, User Interface Design

Prof. Dr. **Christian Wolff**, geb. 1966 in München, ist Professor für Medieninformatik am Institut für Information und Medien, Sprache und Kultur der Universität Regensburg. Studium der Anglistik / Amerikanistik, allgemeinen Sprachwissenschaft, Geschichte und Informationswissenschaft in Regensburg und Bielefeld. Promovierter Informationswissenschaftler (1994, Universität Regensburg) und habilitierter Informatiker (2000, Universität Leipzig). Er ist Vorsitzender des Hochschulverbands Informationswissenschaft und Mitglied zahlreicher Fachverbände (u.a. ACM, ASIST, DHd, GI, IEEE CS). Weitere Informationen: <http://mi.ur.de>

**Forschungsschwerpunkte:** Mensch-Maschine-Interaktion, Software und Usability Engineering, Information Retrieval und digital humanities.

