

Verstehen wir uns noch?

Was verloren geht, wenn Sprachen sterben



Kaukasischer Rat der Alten in Tschetschenien: Hier entscheiden sich Lebensschicksale. So viele verschiedene Sprachen wie im Kaukasus, dem »Berg der Sprachen«, gibt es sonst fast nirgendwo auf der Welt in einem so kleinen Gebiet: In Georgien, Armenien und Aserbajdschan sowie den Kaukasus-Republiken Russlands werden heute noch rund 60 Sprachen gesprochen.

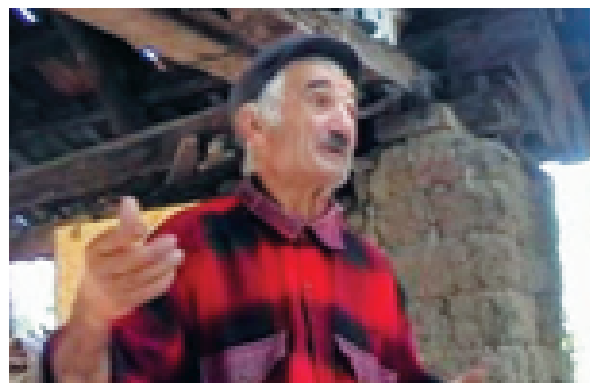
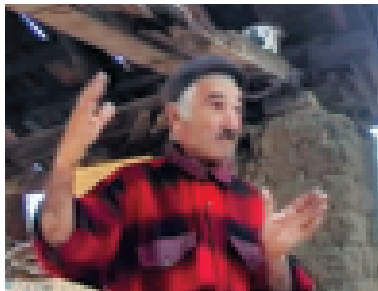
von Jost Gippert,
Manana Tandaschwili,
Rainer Vossen,
Marcel Erdal und
Bernd Nothofer

Noch nie haben vom Aussterben bedrohte Sprachen so sehr im Mittelpunkt linguistischer Forschung gestanden wie in den vergangenen zehn bis 15 Jahren. Seitdem sich die UNESCO das Thema zu Eigen gemacht hat, sind in Europa und Übersee verschiedene Förderprogramme ins Leben gerufen worden, die sich zum Ziel setzen, Bestandsaufnahmen, linguistische Dokumentationen und Initiativen zu unterstützen, um »endangered languages« zu bewahren oder sogar wiederzubeleben. Überall in der Welt sind seither Dutzende von Forscherteams unterwegs, um mit Computern, Tonbandgeräten und Video-Kameras Aufnahmen von Sprachen zu machen, von denen zu erwarten ist, dass sie das Ende dieses Jahrhunderts nicht »überleben« werden. Auch an der Universität Frankfurt stehen bedrohte Sprachen im Fokus linguistischer Forschung, wobei so unterschiedliche Weltgegenden wie der Kaukasus, Afrika, Sibirien und Südostasien im Mittelpunkt stehen.

Bei all den Bemühungen der jüngeren Zeit ist kurioserweise eines nach wie vor unklar: Wieviele Sprachen sind als »bedroht« anzusehen, und wie sind Sprachen überhaupt zu zählen? In der Tat ist es noch niemandem gelungen, eine eindeutige Definition dessen zu geben, was »eine Sprache« ausmacht, und im gleichen Maße fragwürdig sind Zahlenangaben wie die von 6500 heute noch gesprochenen Sprachen, die immer wieder durch die Medien geistern und sogar von der UNESCO selbst propagiert werden ¹¹.

Was ist eigentlich eine Sprache? Zum Beispiel: Deutsch

Worin das Problem besteht, lässt sich leicht allein am Beispiel des Deutschen vergegenwärtigen: Wenn wir heute von der (einen) deutschen Sprache sprechen, so sind wir uns gleichzeitig bewusst, dass diese Sprache eine große Menge lokaler und regionaler Varietäten aufzuweisen hat, die wir als »Dialekte« oder »Mundarten« einstufen und damit der »Standardsprache« gegenüberstellen. In linguistischer Hinsicht ist dies jedoch bei weitem nicht so eindeutig. Bezieht man die heute noch gesprochenen Reste des Nieder- oder Plattdeut-



schen in das Bild ein, so zeigt sich, dass die Unterschiede zwischen diesem und der Standardsprache systematisch wesentlich größer sind als die verschiedener anderer »Varietäten« des Deutschen; dies umso mehr, je mehr man historische Fakten berücksichtigt.

Historisch gesehen steht das Niederdeutsche tatsächlich dem Englischen näher als dem Hochdeutschen, auf dem die deutsche Standardsprache beruht. Aus dieser Sicht wäre es also angebracht, das Niederdeutsche nicht als eine Varietät des Deutschen, sondern als eine eigene Sprache zu zählen. Für seine Bedrohtheit bleibt all dies freilich ohne Belang – das Niederdeutsche, aber auch all die vielen »hochdeutschen« Lokalmundarten, denen man den Status einer eigenen »Sprache« vielleicht nicht zubilligen würde, verschwinden langsam, aber stetig. Wir können davon ausgehen, dass bis zum Ende dieses Jahrhunderts allenfalls noch regionale Färbungen der standardsprachlichen Norm in Deutschland existieren werden. Ebenso betroffen sind die anderen in Deutschland noch gesprochenen Sprachen, beispielsweise das slavische Ober- und Niedersorbische: Auch diese Sprachen werden dieses Jahrhundert wohl nicht mehr »überleben«.

Worauf gründet sich diese allgegenwärtige Bedrohung? Ein wesentlicher Faktor ist die Ausbreitung der Massenmedien, die es im Laufe des 20. Jahrhunderts vermocht haben, neben der bereits vorher verbreiteten

schriftsprachlichen Norm auch einen Standard der gesprochenen Sprache zu etablieren und zum Allgemeinut zu machen. Allein reicht das jedoch nicht aus, um zu erklären, warum Menschen ihre Muttersprache, die sie von ihren Eltern erlernt haben, aufgeben und durch eine übergeordnete »Norm« ersetzen. Was hinzukommt, ist unter anderem das höhere Prestige, das einer Standardsprache als »Hochsprache« gegenüber regionalen oder lokalen »Mundarten« zuerkannt wird – und dies gilt nicht nur für das Deutsche. Ein niedrigeres Prestige kann sogar zu einer Ablehnung der eigenen Sprache führen; die Linguisten sprechen dann von einer »negativen Sprechereinstellung«.



Vergegenwärtigen wir uns hierzu einige »exotischere« Fallbeispiele aus unserer täglichen wissenschaftlichen Praxis.

Sprachbedrohung in Afrika: »Wildbeutersprachen« auf dem Rückzug

In Afrika werden rund 2000 Sprachen gesprochen, von denen die meisten zusätzlich eine Reihe von Dialekten aufweisen. Und wenn auch niemand genauer zu sagen

Ein Ude aus Oktoberi (Georgien) erklärt in seiner Muttersprache, wie seit Jahrhunderten in seiner Umgebung Häuser gebaut werden. Wenn das Udische, eine ostkaukasische Sprache, weiter von den neuen Nationalsprachen der Region verdrängt wird, dann werden auch die kulturellen Traditionen verschwinden.



vermag, wie viele unter ihnen sich bereits im Prozess der Auflösung befinden, kann doch von mehreren Hundert ausgegangen werden, die bedroht sind. Im südlichen Afrika, dem vielleicht am stärksten von Sprachbedrohung gekennzeichneten Teil des Kontinents, werden heftig zwei nur scheinbar gegenläufige Hypothesen debattiert: Während die einen behaupten, dass eine negative Sprechereinstellung sich erst unter wirtschaftlichem (und sozialem) Druck entwickeln könne, sehen die anderen umgekehrt gesamtgesellschaftliche Umwälzungen als logische Konsequenz dessen, dass sich die Sprecher innerlich von den Werten und Normen der eigenen Sprache abwenden. Beide Positionen erscheinen allzu apodiktisch und – vor dem Hintergrund der derzeitigen Befundlage – zugleich als richtig und falsch.

Es ist deshalb wichtig zu wissen, dass sich die Kontroverse an den so genannten khoisansprachigen Wildbeuter-Populationen – in früherer Zeit gemeinhin bekannt unter der Bezeichnung »Buschmänner« – und ihrer Geschichte entzündet hat. Das tragische Schicksal der einstmaligen zahlreichen, überwiegend in Klein- oder Kleinstgruppen lebenden Wildbeuter, die den Subkontinent überspannend bevölkerten, ist unumstritten. Etwa seit der Ankunft der Europäer im 17. Jahrhundert, teils sogar bis in die Gegenwart hinein, waren »Buschleute« wie kaum eine andere Bevölkerungsschicht in Afrika von Vertreibung, Absorption, Marginalisierung oder Stigmatisierung betroffen ^{12/}.

Dass Sprachen der vom Jagen und Sammeln lebenden Gesellschaften potenziell einem höheren Risiko ausgesetzt sind als die produzierender Feldbauern oder gemischtwirtschaftlicher Farmer scheint in einer Welt zunehmender Globalisierung nachvollziehbar. Und dennoch stoßen wir gerade auch im südlichen Afrika auf sesshafte Ackerbauern wie etwa die bantusprachigen Yeyi im Norden der Republik Botswana, deren Sprache in hohem Maße in ihrer Existenz gefährdet ist; gerade so, wie es anderswo in Afrika noch Wildbeuter-Gesellschaften gibt, die ihre Sprache vor dem Verschwinden bewahren konnten.

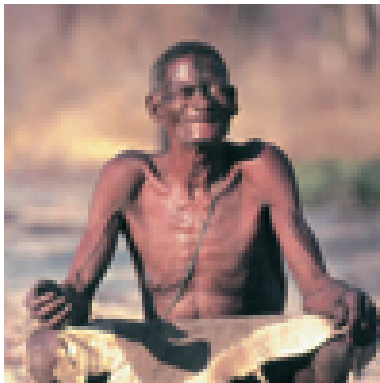
Die Größe der Sprechergemeinschaft – ein Kriterium?

Der Fall der Yeyi-Sprache ist dabei auch insofern interessant, als er der landläufigen Meinung zu widersprechen scheint, wonach Sprachen mit geringerer Sprecherzahl generell einer größeren Gefahr ausgesetzt seien als solche mit einem hohen Sprecheranteil.

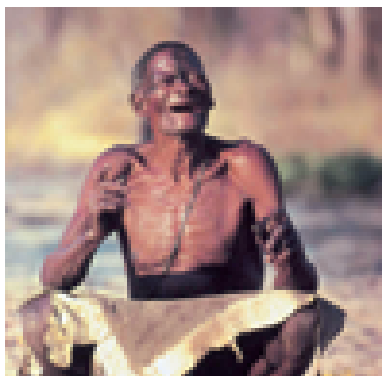
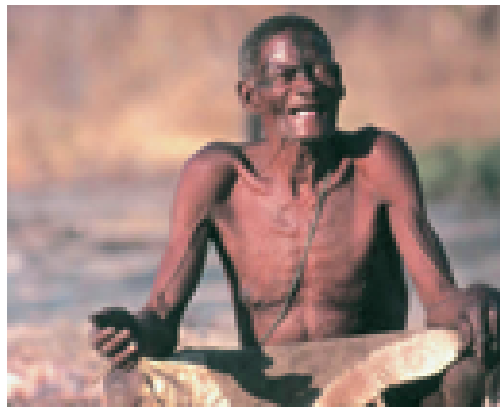
Das Volk der Yeyi umfasst geschätzte 30 000 Personen, von denen eigenen Untersuchungen zufolge kaum mehr als ein knappes Drittel – zumeist ältere Menschen – noch über eine Kenntnis der ethnischen Sprache verfügt. Gemessen an europäischen Verhältnissen dürfte diese Zahl vielleicht kaum Erstaunen auslösen; doch muss man wissen, dass wahrscheinlich über die Hälfte aller afrikanischen Sprachen nicht mehr, oftmals sogar deutlich weniger als 5000 Sprecher aufweist, sich das Yeyi also rein zahlenmäßig betrachtet keineswegs als Minderheitensprache präsentiert.

Die numerische Größe einer Sprechergemeinschaft kann demnach zwar ein die Sprachbedrohung begünsti-

Ein Drittel aller noch »lebenden« Sprachen werden in Afrika gesprochen. »Khoisan«-Sprachen der Wildbeuter in der Kalahari gehören zu den besonders auffälligen Sprachen: Khoisan schließt zahlreiche Schnalzlauten oder »Klicks« ein und repräsentiert vermutlich mit den ältesten Lautbestand menschlicher Sprache.



Der alte Kxyaro, Herr des Wohnplatzes von Bagani, Nordnamibia, erzählt von den Kxoe-»Buschleuten«, die als Wildbeuter im Süden Afrikas lebten. Einzig die Sprache konserviert noch ein wenig von dem, was einst ihre Welt in den Halbwüsten der Kalahari ausmachte, bevor die Ausdehnung der Weidewirtschaft und die Suche nach Öl und anderen Bodenschätzen ihre Traditionen zerstörte.



gendes Moment sein, muss es aber nicht. Zudem stellt sie nur einen der demographischen Faktoren dar, die für Situationen von Sprachbedrohung charakteristisch sind. Soziale Mobilität wie Urbanisierung und Wanderarbeit, ethnisch gemischte Ehen, gestreute Siedlungsweise, die geografische Nähe zum Zentrum der dominanten Nachbarsprache oder soziohistorische Gründe wie das Fehlen einer Zentralgewalt, Vertreibung oder Umsiedlung stehen in vorderster Front. Beispiele dafür finden sich nicht nur in Afrika.

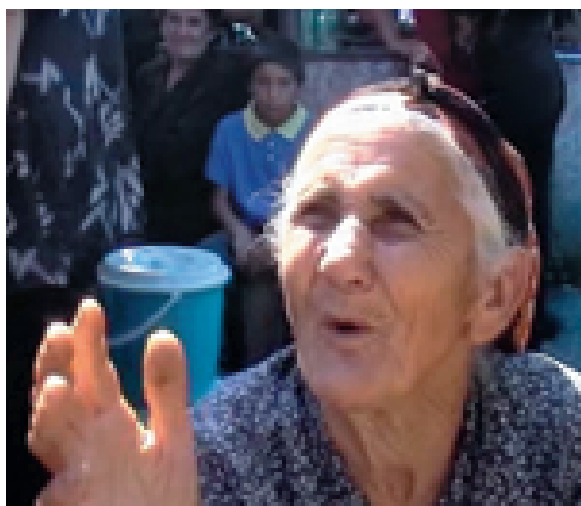
Der Kaukasus – ein »Berg der Sprachen«

Seit dem Altertum gilt der Kaukasus als ein Gebiet, das eine besonders hohe Dichte unterschiedlicher Völker und Sprachen aufzuweisen hat. Gegenüber den antiken Verhältnissen, von denen Autoren wie der Geograf Strabo berichten¹³⁾, dürfte sich der Bestand bis zur heutigen Zeit sogar noch erweitert haben: Zu den als alteingesessen (autochthon) geltenden Sprachen der süd-, nordwest- und nordostkaukasischen Familien sind indogermanische Sprachen wie das Russische oder das Kurdische, türkische Sprachen wie das Aserbajdschanische, das Kumykische oder das Balkarische, das mongolische Kalmykische und andere Sprachen hinzugekommen. Insgesamt werden in Georgien, Armenien und Aserbajdschan sowie den Kaukasusrepubliken Russlands heute zirka 60 Sprachen gesprochen, wobei die Sprecherzahlen zwischen wenigen hundert (vor allem

die Zahl ihrer Sprecher graduell abnimmt, sondern weil sich die Lebensumstände, die das gesamte Kaukasusgebiet in der postsowjetischen Zeit zu verzeichnen hat, drastisch verändert haben.

Die postsowjetische Gesellschaft – ein Sprachenkiller?

Von den Folgen des Zusammenbruchs der Sowjetunion sind im Kaukasus nicht nur die »kleinsten« Sprachen, sondern auch zahlreiche von weit mehr Sprechern gesprochene Sprachen wie das (iranische) Ossetische im



Alte Frau auf dem Markt von Oktomberi: In diesem 500 Einwohner zählenden Dorf wird noch überwiegend Udisch gesprochen, doch rundherum wird das öffentliche Leben allein durch das Georgische beherrscht. Die nächsten »Verwandten« der Uden finden sich erst jenseits der Grenze, in Aserbajdschan.



Norden oder das (mit dem Georgischen verwandte) Svanische südlich des Gebirges betroffen. Immer mehr Menschen wechseln seit dem Zerfall des Riesenstaats ihren Lebensmittelpunkt, um einen Arbeitsplatz zu finden; die Landflucht der Arbeitssuchenden führt zunächst meist dazu, dass die Bevölkerung der Verbreitungsgebiete »kleinerer« Sprachen überaltert. Kriegerische Auseinandersetzungen, die nicht selten ethnisch bedingt sind, bewegen viele zur Flucht und zersprengen ursprünglich einheitliche Siedlungs- und damit Sprachgebiete. So mussten viele Svanen aus dem Kodori-Tal in der Grenzregion Abchasiens im Zuge des georgisch-abchasischen Konflikts in die Nähe von Bolnisi in Süd-Georgien übersiedeln, und die zweitgrößte Sprechergemeinde des (zu den ostkaukasischen Sprachen gehörenden) Udischen in Vartašen in Nordwest-Aserbaj-

bei verschiedenen ostkaukasischen Sprachen Daghestans) und mehreren Millionen (etwa für das Georgische, Armenische und Aserbajdschanische) liegen.

Es gibt deutliche Anzeichen, dass auch diese bemerkenswerte Sprachenvielfalt mehr und mehr in Gefahr gerät. Tatsächlich müssen bereits jetzt zahlreiche der im Kaukasus gesprochenen Sprachen als bedroht eingestuft werden. Aus der Anzahl der heutigen Sprecher ergibt sich dies freilich meist ebenso wenig wie im Falle des afrikanischen Yeyi. Wenn für Sprachen wie das Didoische in Daghestan und das Krytsische oder Dzhekische in Aserbajdschan heute zirka 6000 bis 7000 Sprecher geschätzt werden, so können wir mit Sicherheit davon ausgehen, dass sich diese Zahl in den letzten fünfhundert Jahren nur unwesentlich geändert hat. Wenn wir dennoch annehmen, dass diese Sprachen recht bald aussterben werden, dann nicht deshalb, weil

Udinnen aus Oktomberi (Ostgeorgien) im Gespräch: Auch im »familiären« Gebrauch tritt immer mehr das Georgische in den Vordergrund. Um eine rein udische Unterhaltung zu führen, bedarf es bereits erheblicher Vorbereitungen; so bespricht man sich vorher und klärt Wörter ab, die manche schon nicht mehr kennen.





Eine Udin aus Oktomberi (Georgien) erläutert die Hochzeitsgebräuche (siehe nebenstehender Text): Zur Brautwerbung, für die traditionell die Männer verantwortlich sind, müssen die georgischen Uden sich heute nach Aserbajdschan begeben.

Vartašen-udischer Text aus Oktomberi

... ania ... **kaḳ** **ka**ria ra, **kaḳ** ai, **kaḳ** sṭrogi ani, očen sṭrogi.

Jesli **ḳ**to-ṭo ai voṭ devušḳa xaṭeli by - šinte buṭuxsa ṭe xinär aifestaḡo, sa lašḳona geräḡ taḡan.

Lašḳona čičaḡun xinära **sadḡac**, **eve** ṭḡaḳusunaxun, aitḡunexa ... **ho** xinärena oša

biṭpa eisa **to** ḳua ḡaṭo išḡarmux, **xo** da heḡunbesa, aitḡunexa **tuda-suda**, iräziḡunbaksa ...

Oša nišane eisa.

Nišan ... **ḳ**argi mia ... **exla** rogor ai nišani ...

a ḡar enesa **da** teli ma(**gida**) stolḡaiḡunexa ḡai ... **supra** ... ḡvelaperi ra ...

- Vartašen-udischer Text
- Elemente aus dem Nidž-Dialekt
- Elemente aus dem Georgischen

... sie also ... wie stark, ja, wie also, stark sie sind, sehr stark.

Wenn einer also da ein Mädchen wollen würde - wenn er das Mädchen heiraten will, muss er zur Hochzeit gehen.

Für die Hochzeit suchen sie ein Mädchen aus irgendwoher, sie gehen gemeinsam in das Haus, sprechen ... ja über das Mädchen dann, hm -

zu viert gehen sie in das Haus, unter die Männer, ja und knüpfen (an), sprechen (miteinander über) dies-und-das, vergnügen sich ...

Dann kommt die Verlobung.

Die Verlobung ... gut jetzt hier ... jetzt wie also die Verlobung ...

also der Bräutigam kommt, und einen ganzen Tisch Tisch eröffnen sie ... eine ganze Tafel ... alles, ja ...

- Elemente aus dem Aserbajdschanischen
- Elemente aus dem Russischen

Textbearbeitung von Manana Tandaschwili, Wolfgang Schulze und Jost Gippert

dschan wurde durch den aserbajdschanisch-armenischen Krieg zersprengt.

Zugleich nimmt auch im Kaukasus der Druck von Standardsprachen zu, die gegenüber den »regionalen« oder »lokalen« Varietäten ein höheres Prestige aufzuweisen haben. War es zu sowjetischen Zeiten allein noch das Russische, das in der höheren Schulbildung vorherrschte und durch die Massenmedien größere Verbreitung erlangte, so haben in den südkaukasischen Staaten jetzt die jeweiligen neuen »Staats Sprachen« Georgisch, Armenisch und Aserbajdschanisch diese Rolle übernommen; damit hat sich ihre Position insbesondere gegenüber Sprachen wie Svanisch, Buduchisch oder Zachurisch, die keine schriftliche Tradition aufzuweisen haben, wesentlich gestärkt.

In welcher Form sich das höhere Prestige der jeweiligen »Verkehrssprachen« auch innersprachlich auswirkt, lässt sich leicht an Textbeispielen illustrieren, die wir in einem Projekt zur Dokumentation des Svanischen, Udischen und Batsischen gesammelt haben^{4/}. So können wir in den sechs in wiedergegebenen Sätzen eines zirka 20-jährigen Muttersprachlers des Svanischen einen mehrstufigen georgischen Einfluss erkennen, wie er für dominante Sprachen typisch ist. Es beginnt mit der nahezu unveränderten Übernahme von Namen und Bezeichnungen aus dem Georgischen, die allenfalls noch nach den Regeln der svanischen Grammatik flektiert werden (tbilisi, Name der georgischen Hauptstadt, mit svanischer Dativ-Lokativ-Endung -s; der georgische Name der Staatlichen Universität Tbilisi, tbilisis sa-

»A World of Many Voices«

Sprachwissenschaftler aus dem Fachbereich Sprach- und Kulturwissenschaften stellen ihre Projekte und Aktivitäten rund um »bedrohte« Sprachen vor, wobei so unterschiedliche Weltgegenden wie der Kaukasus, Afrika, Sibirien und Südostasien in den Fokus treten. Gemeinsam mit verschiedenen Linguisten aus dem In- und Ausland veranstalten sie in diesem Jahr in Frankfurt die erste internationale Sommerschule zum Thema »Language Documentation: Methods and Technologies« (1. bis 11. September). In der Mitte der Sommerschule findet zudem die Konferenz »A World of Many Voices« (4. bis 5. September) statt. Beide Veranstaltungen, zu denen insgesamt rund 150 Teilnehmer aus aller Welt erwartet werden, fördert die Volkswa-

genstiftung im Rahmen des Programms »Dokumentation Bedrohter Sprachen« (vgl. http://www.volkswagenstiftung.de/foerderung/foerderinitiativen/merkblaetter/merkdoku_d.html) mit insgesamt rund 150 000 Euro.

Die Kooperation rund um die Sommerschule markiert zugleich den Einstieg in eine vertiefte Zusammenarbeit auch in der Lehre, deren Kernstück in Zukunft der fächerübergreifende BA-MA-Studiengang »Empirische Sprachwissenschaft« des Fachbereichs Sprach- und Kulturwissenschaften darstellen wird; hiermit wird ein die Sprachen der Welt umspannendes Studienangebot geschaffen, das in Deutschland ohne Beispiel sein wird.

xelmçipo universiṭeti, mit der svanischen Endung -s; der georgische Name des Studienfachs »Internationales Recht« und des »ersten Kurses« (Studienjahrs), »saertašoriso samartali« und »pīrveli kursori«, mit der svanischen Endung -ži »auf, in«). Die nächste Stufe zeigt sich in der Übernahme abstrakter Termini aus der Schriftsprache, deren svanische Äquivalente nicht auf der Hand liegen, »mzime mdgomareoba«, »schwierige Situation«.

Während alle diese Phänomene auch für das Deutsche (mit in den Jahrhunderten wechselnden Dominanzsprachen Latein/Griechisch sowie Französisch und Englisch) charakteristisch sind – man denke an den jetzt um sich greifenden Gebrauch von »Department« anstelle von »Abteilung«, »School« anstelle von »Schule«, »Law and Finance« anstelle von »Recht und Finanzen« beziehungsweise »Geldwirtschaft«, oder »Trouble« anstelle von »Problem« beziehungsweise »Schwierigkeit« –, überschreitet der svanische Sprecher eine entscheidende weitere Hürde bei der Verdrängung seiner eigenen Muttersprache, indem er mitten im Satz nach einem georgischen Abstraktum ganz in das Georgische wechselt und den Satz mit einem georgischen Verb abschließt (georgisch »monačileoba«, »Teilnahme« zieht die georgische Verbalform »miviḡe«, »ich habe genommen« nach sich); so weit geht das Deutsche bei seiner stetigen »Anglisierung« noch nicht (wir sagen noch nicht: »ich habe participation made« oder »ich habe participated«).

Ein noch weitaus drastischeres Beispiel für das so genannte »Code-Switching« von Sprechern bedrohter Sprachen im Kaukasus zeigt der Text einer Udin, den wir im Oktober 2002 in Oktomberi, einem Dorf in Ostgeorgien, aufgenommen haben. Die Sprecherin, die in der Sowjetzeit zur Eheschließung aus Nidsch in Aserbajdschan nach Oktomberi gekommen war, musste nicht nur ihren ursprünglichen Dialekt gegen den in Oktomberi vorherrschenden (Vartašen-Dialekt) austauschen, sondern auch die eine dominierende Sprache (Aserbajdschanisch) gegen die andere (Georgisch), wobei das Russische als gemeinsame »lingua franca« der Sowjetunion noch präsent blieb; das Resultat ist ein grotesk anmutendes Gemisch aus zwei verschiedenen udischen Varietäten (siehe »Vartašen-udischer Text aus Oktomberi«, Seite 32) »mit georgischen, aserbajdschanischen und russischen Elementen.

Auch postsowjetische »National-sprachen« können bedroht sein

Die postsowjetischen Zustände betreffen nicht nur die Kaukasusvölker. In dem großen eurasischen Steppengürtel, der sich von der Mongolei bis zur Ukraine erstreckt, sind seit dem frühen Mittelalter verschiedene andere Populationen in Erscheinung getreten, die die »Hochkulturen« in China, in Südasien, im Nahen Osten und in Osteuropa, wie auch die Waldvölker im sibirischen Raum, über Jahrhunderte hin dominiert haben: In den so entstandenen Strukturen haben die staatstragenden Elemente fast ausschließlich Türk-sprachen gesprochen^{15/}. Heute wohnen Türk-völker – also Ethnien, die Idiome der türkischen Sprachgruppe sprechen – zwischen der Mandschurei im Osten und Polen im Westen, zwischen der Taimyr-Halbinsel am Nördlichen Eis-meer und dem Persischen Golf. Es versteht sich, dass die Kulturen und Lebensstile dieser Völker und Gruppen

ganz verschieden sind. Was sie gemeinsam haben, sind grammatische Strukturen, das ererbte Lexikon, die Idiomatik, aber auch Sprichwörter oder Rätsel. Bei weitem nicht alle Türk-völker sind Muslime: Am östlichen Rand der Turcia, in China, in der Mongolei und in Sibirien, sind eine Anzahl Türk-völker Buddhisten oder Schamanisten (oder auch beides zugleich); am westlichen Rand, in Osteuropa, sind die Karaimen jüdischen Glaubens, während die Gagausen Christen sind.

In der Türkei, in Aserbajdschan, Türkmenistan, Kasachstan, Kirgisien und Ösbekistan sind türkische Sprachen heute Nationalsprachen; mit Ausnahme der Tür-



Unter den kaukasischen Bergvölkern sind die Svanen, deren Sprache mit dem Georgischen verwandt ist, für ihre Volksmusik berühmt. Im Zentrum steht die traditionelle Stockgeige (Tschonguri), zu der die Männer mehrstimmig singen.

Svanischer Text mit georgischen Elementen

1 xwitwri *tbilis*, *tbilis saxelmçipo universiṭeṭs*, *saertašoriso samartalži*, *pīrvel kursži*. 2 mi xwi dälxän i mi maḡw' ère dälä *ambāw* ežūmbwa atxe sgāy. 3 xwās xoxwra, xoxwray ešču lās w lišyāl, lišyāl lās w, lišyāl. 4 eščdoxwišd ləzāy xwāsw ečka, lašyāltē *monačileoba miwiḡe*. 5 xwizelāldās i suru garž i *mzime mdgomareoba* lās w ečkas ešču. 6 *mzime mdgomareoba* lās w ečka dāls.

1 Ich studiere in *Tbilisi*, an der *Staatlichen Universität Tbilisi*, im (Fach) *Internationales Recht*, im *ersten Studienjahr*. 2 Ich bin aus der Dal(-Schlucht), und ich will Ihnen jetzt *die Geschichte* der Dal(-Schlucht erzählen. 3 Ich war (noch) klein, klein, und da war der Krieg, es war Krieg, Krieg. 4 Ich war 15 Jahre alt damals, (als) ich am Krieg *teilnahm*. 5 Ich ging hin, und da war damals große Not und *eine schwierige Lage* dort. 6 *Eine schwierige Lage* war damals in der Dal(-Schlucht).

■ Svanisch ■ Elemente aus dem Georgischen

kei handelt es sich bei allen um Staaten, die vor wenigen Jahren aus Teilen der Sowjetunion entstanden sind. Obwohl sich diese Staaten von der Hegemonie Russlands losgesagt haben, dominiert das Russische immer noch und bedroht sogar die nationalen Sprachen. Hierzu nur drei Beispiele, für die Frankfurter Turkologen selbst Ohrenzeuge waren: Bei einer Feier am Grab des Nationaldichters von Kasachstan wollte es der Gattin des Präsidenten Nazarbajev nicht gelingen, den Docht am Monument anzuzünden; die präsidentielle Unge-duld prasselte darauf hin in reinstem Russisch auf sie nieder. Türkmenische Studenten reagierten befremdet



Schorische Kinder am Fluss: Die zirka 10 000 Schoren leben an den Flüssen Mrass und Kondoma. Sie haben ihren Schamanismus durch 70 Jahre Kommunismus hindurch retten können, obwohl der Schamane gemäß der Sowjetdoktrin als Scharlatan galt. Diese friedliche Naturreligion erlebt jetzt ein Come-back.

Internat in Tashtagol, Berg-Schorien: In dieser südsibirischen Region werden mindestens seit 1300 Jahren Türksprachen gesprochen, doch im Internat müssen die Kinder im Unterricht überwiegend Russisch sprechen; erst seit zehn Jahren wird Schorisch wie eine Fremdsprache unterrichtet. Die Sprache der Schoren ist noch bedrohter als die von anderen in Sibirien heimischen Völkern, weil sie nicht vermochten, den offiziellen Minderheitenstatus zu erlangen.



Dieses schorische Kind wohnt an den Nordhängen des Altai-Gebirges, unweit vom Grenzgebiet zwischen Russland, der Mongolei, China und Kasachstan entfernt. Hier war offenbar die Urheimat der Türken, doch der Schwerpunkt dieser Völkergruppe hat sich mittlerweile stark nach Süden und Westen, in den islamischen Raum, verlagert. Während andere Türkvölker in der Urheimat (Altaier, Tuviner, Chakassen) eigene Republiken haben, sind die Schoren eine Minderheit ohne territoriale Selbstverwaltung geblieben.

sel sowie zwischen Taiwan und Neuseeland erstreckt. Ursprünglich wurde Malaiisch im Osten Sumatras, auf der malaiischen Halbinsel, auf den Inseln südlich Singapurs und an den Küsten West-Borneos als Muttersprache gesprochen. Mit Beginn des 17. Jahrhunderts wurde es aufgrund des Gewürzhandels zur »lingua franca« des gesamten südostasiatischen Archipels. Anfang des 20. Jahrhunderts entwickelten sich auf der Basis des literarischen Malaiisch der Sultanate Riau und Johore (um Singapur) und unter dem Einfluss der Sprachen der Kolonialherren die Nationalsprachen Indonesiens (Bahasa Indonesia), Malaysias (Bahasa Malaysia oder Bahasa Melayu) und Brunei Darussalams (Bahasa Melayu); ihnen stehen insgesamt zirka 350 Regionalsprachen in diesen Ländern gegenüber.

auf die Frage, ob denn Shakespeare schon ins Türkmenische übersetzt worden sei. Sie meinten, das könne man doch auf Russisch lesen. In Kirgisien verordnete der Präsident seinen nur russisch-sprachigen Herausforderern eine Kirgisisch-Prüfung, um sie von der Kandidatur auszuschalten. Die kirgisischen Turkologie-Studierenden in Frankfurt sprechen jedoch auch miteinander Russisch, wenn sie denken, dass sie nicht von Dritten gehört werden – aus Gewohnheit, wie sie sagen. Diese Sprachen werden vermutlich trotzdem überleben, denn in Dörfern werden sie noch immer gesprochen, zudem werden sie staatlich gefördert. Wenn die Sowjetunion noch einige Jahrzehnte länger existiert hätte, wären sie vermutlich schwerer zu retten gewesen.

Bedrohung von Nationalsprachen – ein weltweites Phänomen?

Einer der größten Sprachräume dieser Erde ist der der austronesischen Sprachen, der sich – grob gesprochen – über das Gebiet zwischen Madagaskar und der Osterin-

Die Frankfurter Südostasienwissenschaften pflegen seit rund fünf Jahren eine enge Zusammenarbeit mit dem Nationalen Sprachenzentrum Malaysias (Dewan Bahasa dan Pustaka Malaysia), das sich zum Ziel gesetzt hat, die Bahasa Malaysia/Bahasa Melayu als Nationalsprache Malaysias zu pflegen und zu bewahren. Diese Institution betrachtet Malaysisch-Unterricht im Ausland als eine wichtige Maßnahme, um die Sprache als nationales Kommunikationsmittel zu erhalten. Bis heute wird das Malaysische trotzdem nur in wenigen Ländern intensiv unterrichtet. Das relative Desinteresse von Ausländern, das Malaysische zu erlernen, resultiert vermutlich daraus, dass in den oberen Schichten der malaysischen Gesellschaft Englisch fast ebenso verbreitet ist wie Malaysisch und sich die Regierung nur halbherzig oder sogar wankelmütig zur Zukunft des Malaysischen als Nationalsprache äußert. So finanziert die Regierung zwar die Unternehmungen des Sprachenzentrums, torpediert sie aber zugleich wieder, indem sie beispielsweise Englisch als Unterrichtssprache für naturwissenschaftliche Fächer einsetzt.

In Malaysia steht damit zwar nicht gleich der Tod des Malaysischen bevor; der Sprache droht jedoch ein Statusverlust, der weitreichende Folgen für ihre Verwendung in Malaysia hat. In einem Staat, in dem – neben einer Minderheit von austroasiatischen Gruppen – Malaien (57 Prozent), Chinesen (27 Prozent) und Inder (8 Prozent) miteinander leben, wäre die Aufgabe des Ma-

laysischen als Nationalsprache ein verheerender Schritt, der die ursprüngliche Bevölkerung zunehmend an den Rand der Gesellschaft rückt. In Indonesien ist demgegenüber der Status des Indonesischen als Nationalsprache ungefährdet. Nur eine kleine Minderheit der Einwohner Indonesiens spricht eine Fremdsprache, und auch das Englische ist nicht weit verbreitet, so dass das Erlernen der Bahasa Indonesia auch für in diesem Inselstaat arbeitende Ausländer in der Regel unabdinglich ist.

Was bringt die Beschäftigung mit bedrohten Sprachen?

Wozu lohnt eigentlich der Aufwand, sich mit »bedrohten Sprachen« auseinanderzusetzen, werden wir Linguisten häufig gefragt. Kann es wirklich sinnvoll sein, einem Kommunikationsmittel, das vielleicht lediglich von einer kleinen Gruppe von alten Leuten noch genutzt wird, die teure Arbeitskraft von Wissenschaftlern zu widmen? Ist es nicht vielmehr als ein Fortschritt anzusehen, dass an die Stelle von Minoritätensprachen und -dialekten, die von Ort zu Ort divergieren, heutzutage überall mehr und mehr vereinheitlichte Standardsprachen treten und der Siegeszug des Englischen sogar eine Kommunikation über fast alle Grenzen dieser Welt hinweg ermöglicht hat?

Dass weltweite Kommunikation auf der Grundlage des Englischen heute leichter ist als in früheren Zeiten, sei unbestritten. Aus der Sicht von Linguisten, die sich seit langem mit »exotischen Restsprachen« auseinandersetzen, bleibt dennoch entgegenzuhalten, dass das

den, und nicht zuletzt von sprachlichen Strukturen, die für sich faszinierend und erklärungsbedürftig sind oder sogar ihrerseits zur Erklärung all der vielen Fragen beitragen können, die die sie bedrohenden großen »Verkehrssprachen« auch nach jahrhundertelanger linguistischer Erforschung noch aufwerfen.

Ein abschließendes Beispiel mag genügen, um dies zu illustrieren: Zu den indonesischen Regionalsprachen gehört das Sasak, das auf der östlich von Bali liegenden Insel Lombok gesprochen wird. Sasak kennt – wie einige andere Sprachen Indonesiens auch – so genannte Höflichkeitsebenen: Für bestimmte Bedeutungen hat die Sprache mehrere Wörter, deren Verwendung vom Sozialstatus des Sprechers und des Angesprochenen beziehungsweise des Angesprochenen und einer dritten Person abhängt. So heißt zum Beispiel »essen«, wenn der Angesprochene von niedrigerem Status als der Sprecher oder ein sehr guter Freund desselben ist, »mangan«; ist der Angesprochene von etwa identischem Sozialstatus wie der Sprecher, so wird dieser statt dessen »medaran« verwenden, und wenn der Sprecher von sozial niedrigerem Status als der Angesprochene ist, sagt er »majengan«. Entsprechend ändern sich auch die Pronomina der zweiten Person: »du« heißt einmal »kamu«, einmal »side« und einmal »pelungguh«. Je nach der sozialen Stellung der Gesprächspartner wird die Frage »Hast Du schon gegessen?« also völlig unterschiedlich lauten: »wahm mangan kamu?«, »wahm medaran side?«, »sampunmajengan pelungguh?«

Dieses System entstand vor mehr als 1000 Jahren unter indischem Einfluss im Javanischen und wurde



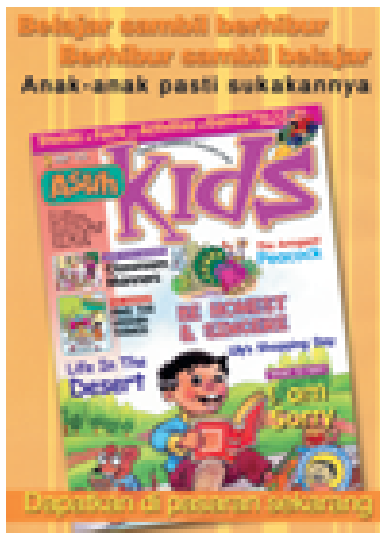
Das Logo des Nationalen Sprachzentrums Malaysias, der

Name in arabischer (Jawi) und lateinischer Schrift. Hier werden Programme entwickelt, um die Bahasa Malaysia/Bahasa Melayu als Nationalsprache Malaysias zu pflegen und zu bewahren. Die malaysische Regierung unterstützt zwar diese Bestrebungen, fördert aber andererseits Englisch als Unterrichtssprache in den Naturwissenschaften.

Aussterben einer Sprache, wo auch immer es geschieht, niemals nur den Ersatz eines Kommunikationsmittels durch ein anderes bedeutet; es markiert vielmehr immer auch den Verlust eines Teils der allgemein-menschlichen Kulturgeschichte: von Überlieferungsinhalten, die an die aussterbende Sprache gebunden waren und nicht übertragbar sind oder niemals übertragen wur-



Die letzte Generation von in traditionellen Urwaldlanghäusern lebenden Indonesiern auf einer Sumatra vorgelagerten Insel (Mentawai). Mit der durch die Regierung verordneten Zwangsumsiedlung in kleine Einfamilienhäuser verlieren die Mentawai allmählich ihre Kultur und Sprache. Diese Einfamilienhäuser werden in neu angelegten Küstendörfern errichtet, deren Einwohner größtenteils aus von Sumatra zugewanderten Beamten, Angestellten und Händlern bestehen.



Typisches Beispiel für die Vermengung des Malaysischen und des Englischen: Anzeige für die malaysische Kinderzeitschrift ASUH (Erziehung), die ausschließlich englischsprachige Texte enthält; die Werbetexte sind allerdings in Malaysisch- – »Belajar sambil berhibur« (»In der Freizeit lernen«), »Berhibur sambil belajar« (»Freizeit genießen, während man lernt«), »Dapatkan di pasaran sekarang« (»Jetzt in Geschäften erhältlich«).

von den benachbarten Sprachen übernommen. Waren bis vor 50 Jahren noch Abstammung und Landeigentum entscheidende Faktoren für die soziale Einstufung, so sind es heutzutage Bildungsniveau, Reichtum oder die absolvierte Hajj-Reise nach Mekka. Dieser Kriterienwandel hat in der Bevölkerung Lomboks zu einer öffentlichen Diskussion über Sinn und Zweck der Verwendung des Hierarchien-Systems geführt. Es ist durchaus vorstellbar, dass sich die geistige Elite Lomboks mit dem Ansinnen durchsetzt, den Umfang des als höflich betrachteten Vokabulars zu reduzieren oder gar vollends abzuschaffen. Die Lokalsprache wird durch diese Bewegung in ihrer Existenz nicht selbst gefährdet, aber ein essenzieller Bestandteil ihrer Struktur wird von den Sprechern infrage gestellt und vielleicht aussterben. ♦

Anmerkungen

^{1/1} Vgl. die »UNESCO Universal Declaration on Cultural Diversity« (2001) unter <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001271/127160m.pdf> sowie die UNO-Resolution 56/262 (2002) über Multilingualismus unter <http://ods-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N01/497/60/PDF/N0149760.pdf>. Ein »UNESCO Red Book of Endangered Languages« wird an der Universität Tokyo verwaltet; vgl. <http://www.tooyoo.l.u-tokyo.ac.jp/Redbook/index.html>. Die Zahl 6500 geht offenbar auf das von Barbara F. Grimes herausgegebene Kompendium »Ethnologue« zurück, das als Handbuch der Wycliffe Bible Translators (Dallas, Texas) die Sprachen der Welt im Hinblick auf den Bedarf an Bibelübersetzungen auflistet und schon in der 10. Auflage 1984 in einer Tabelle »Countries Ranked by Translation Need« (S. XI–XIV) insgesamt 6519 »Living languages« in 167 Ländern notiert. Für die neueste (14.) Auflage des Werks, das jetzt vom »Summer Institute of Linguistics«, einem Ableger der Wycliffe Society, publiziert wird, s. <http://www.ethnologue.com/>.

^{1/2} Vgl. hierzu »Von Schnalzen und anderen Zungenschlägen – Frankfurter Afrikanistik auf Spurensuche bei den »Buschleuten« der Kalahari«: *Forschung Frankfurt* 2/1997.

^{1/3} Vgl. Strabo, *Geographica* Buch 11, Kap. 2, Par. 16, wonach der kaukasische Isthmus zwischen 70 und 300 (!) verschiedene Völkerschaften zählte, die sämtlich unterschiedliche Sprachen verwendeten.

^{1/4} Teilnehmer des von der Volkswagen-Stiftung geförderten Projekts »Endangered Caucasian Languages in Georgia (ECLinG)« sind neben Jost Gippert und Manana Tandaschwili (Vergleichende Sprachwissenschaft, Universität Frankfurt) die Linguisten Wolfgang Schulze (Universität München), Maia Machavariani und Iza Chantladze (Institut für Sprachwissenschaft, Georgische Akademie der Wissenschaften) sowie der Ethnologe R. Topchishvili (Universität Tbilisi).

^{1/5} Vgl. hierzu »Textfragmente aus der Wüste – Ein elektronisches Korpus als Schlüssel zur Welt der alten Türken an der Seidenstraße«, *Forschung Frankfurt* 3–4/ 2003.

Die Autoren



Prof. Dr. Jost Gippert, 48, (rechts), studierte Vergleichende Sprachwissenschaft, Indologie, Japanologie und Sinologie an der Universität Marburg und an der Freien Universität Berlin. Nach der Habilitation an der Universität Bamberg (1991) übernahm er 1994 die Professur für

Vergleichende Sprachwissenschaft an der Universität Frankfurt. Zu seinen Arbeitsschwerpunkten gehören neben den indogermanischen Sprachen und ihrer Geschichte sowie der allgemeinen Sprachtypologie auch die Sprachen des Kaukasusraums, denen in der jüngeren Zeit verschiedene internationale Kooperationsprojekte unter seiner Leitung gewidmet sind.

Dr. Manana Tandaschwili, 44, studierte an der Staatlichen Universität in Tbilisi (Georgien) Kartvelologie (südkaukasische Sprachwissenschaft) und Kaukasologie. Nach dem Studium arbeitete sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Georgischen Akademie der Wissenschaften, wo sie promoviert und habilitiert wurde. Von 2000 bis 2002 war sie als Stipendiatin der Alexander-von-Humboldt-Stiftung an den Universitäten München und Frankfurt tätig; seit 2002 ist sie Lehrkraft in der Vergleichenden Sprachwissenschaft in Frankfurt und an mehreren kaukasusbezogenen Projekten beteiligt.

Prof. Dr. Rainer Voßen, 52, (links), studierte Afrikanistik, Völkerkunde, Geschichte sowie Ur- und Frühgeschichte in Köln, er habilitierte sich in Bayreuth. Seit November 1993 lehrt er an der Johann Wolfgang Goethe-Universität. In den vergangenen Jahren leitete und beteiligte sich Voßen an zahlreichen Forschungsprojekten im östlichen Afrika (Kenia, Tansania, Sudan), südlichen Afrika (Botswana, Namibia) und zuletzt – im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 268 »Westafrikanische Savanne« – in Westafrika (Burkina Faso). Er publizierte zur deskriptiven Linguistik, Komparatistik, Sprachtypologie, Sprachgeographie, Sozio- und Areallinguistik in den afrikanistischen Teildisziplinen Bantuistik, Berberologie, Khoisanistik, Mandeistik und Nilotistik.

Prof. Dr. Marcel Erdal, 58, (Zweiter von links) ist in Istanbul geboren, studierte Allgemeine und Indoeuropäische Sprachwissenschaft in Jerusalem, dann Turkologie und Altaistik in Kopenhagen. 1994 übernahm er die Professur für Turkologie in Frankfurt. Erdal ist Ehrenmitglied der Akademie der Türkischen Sprache und Empfänger ihrer Diensturkunde sowie Mitglied der Turfan-Kommission der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften. Er hat mehrere Forschungsreisen nach Zentralasien und Südsibirien unternommen und Kooperationsprojekte mit Südsibirien und Zentralasien geleitet. Sein Forschungsschwerpunkt ist die Grammatik älterer und neuerer Türkssprachen sowie Typologie und Sprachkontakt.

Prof. Dr. Bernd Nothofer, 62, (Mitte) ist seit 1981 Professor für Südostasienwissenschaften in Frankfurt. Er studierte an der Université de Besançon und promovierte in Linguistik an der Yale University. Nothofer hatte Gastprofessuren in Brunei Darussalam, Malaysia, Indonesien, Australien (Canberra, University of Melbourne) und den Vereinigten Staaten (University of Hawaii at Manoa) inne. Er ist Gutachter des Deutschen Akademischen Auslandsdiensts und Berater des Malaysischen Sprachenzentrums. Seine Forschungsschwerpunkte sind: malaiische Dialekte, Beschreibung von Regionalsprachen, Rekonstruktion des Proto-Austronesischen und anderer Ursprachen der austronesischen Sprachfamilie.

Freunde suchen Gleichgesinnte



Die Freunde und Förderer der Johann Wolfgang Goethe-Universität suchen Verbündete. Wir haben uns die ideelle und finanzielle Förderung der größten und wichtigsten Lehr- und Forschungsstätte im Frankfurter Raum zur Aufgabe gemacht. Wir bauen Brücken zwischen interessierten Bürgern und der Wissenschaft. Wir bieten ein Förderprogramm für Nachwuchsforscherinnen und -forscher und richten wissenschaftliche Stiftungen ein. Wir unterstützen Projekte der Universität, für die die Mittel der öffentlichen Hand nicht ausreichen. Wir schaffen Verbindung zwischen Studierenden und Ehemaligen.

Die Universität Frankfurt ist mit ihren über 600 Professorinnen und Professoren sowie ihren 38.000 Studierenden ein kraftvoller Motor für die Zukunft der Region. Ihr neuer attraktiver Campus Westend mit dem IG-Hochhaus sowie der im Ausbau befindliche naturwissenschaftliche Campus Riedberg sind sichtbare Zeichen für einen gelungenen Start ins neue Jahrtausend.

Helfen Sie mit, ein Stück Zukunft zu gestalten. Werden Sie ein Freund unter Freunden.

Für mehr Informationen rufen Sie bitte Frau Lentes (0 69) 798-2 82 85 oder Frau Dinges (0 69) 9 10-4 78 01 an.

FREUNDE  DER

 UNIVERSITÄT

Umzug des Fachbereichs Physik steht bevor

Das Stern-Gerlach-Zentrum für experimentelle Physik



■ Gedenktafel zum Stern-Gerlach-Experiment. Sie wurde im Jahr 2002 am Physikalischen Institut montiert.

Universität Frankfurt, vor allem das Stern-Gerlach-Zentrum, fließenden Drittmittel bei weitem die eines typischen Sonderforschungsbereichs. Neben dieser zukunftsweisenden Grundlagenforschung wird auch die Lehre an den Großgeräten eine wichtige Aufgabe im Stern-Gerlach-Zentrum sein. Hier lernen die jungen Wissenschaftler, mit Großgeräten umzugehen und neue Forschungsgeräte für die Großforschungszentren zu entwickeln. Diese hervorragend ausgebildeten Wissenschaftler sind die Zukunft der Großforschungszentren (siehe »Neubau für die Physik«, Seite 50).

Warum der Name Stern-Gerlach-Zentrum?

Im Fachbereich Physik war es lange Tradition, dass die einzelnen Institute oder Abteilungen Namen trugen, die direkt ihre Funktion im Fachbereich erkennen ließen. So bearbeitete das Institut für Angewandte Physik Fragen der Anwendung von physikalischen Eigenschaften für unsere technologisch orientierte Gesellschaft, oder das Institut für Kernphysik untersuchte die Struktur der Atomkerne. Demzufolge müsste die Theodor-Heuss-Allee »Zufahrt zur A66« heißen. Institutsnamen können aber auch an die Leistungen von bedeutenden Physikern erinnern, ohne die die heutige Forschung nicht denkbar wäre. Zu den großen Physikern, die die Welt veränderten, gehörten auch die Frankfurter Physiker Otto Stern und Walter Gerlach. Die deutsche physikalische Gesellschaft verleiht ihnen zu Ehren die Stern-Gerlach-Medaille als höchste Auszeichnung für Experimentalphysiker.

Stern und Gerlach haben im Jahre 1922 an der jungen »königlichen« Universität Frankfurt (ab 1932 Johann Wolfgang Goethe-Universität) ein Experiment durchgeführt, dessen Ergebnis einer der wichtigsten Meilensteine auf dem Weg zur modernen Quantenphysik darstellt. ■ Otto Stern ■ konzipierte das geniale Experiment, und Walter Gerlach realisierte es brillant. Der spätere Nobelpreisträger Otto Stern

Erfolgreiche Forschung in der experimentellen Physik erfordert heute Geräte, die meist sehr komplex und teuer sind. Es übersteigt fast immer die Leistungsfähigkeit einzelner Institute, eine dermaßen kostenintensive Ausstattung zu erwerben, sie leistungsfähig zu erhalten und somit auf längere Zeit effizient zu nutzen. Aus diesem Grunde hat sich der Fachbereich Physik entschlossen, den bevorstehenden Umzug im Herbst 2004 zum Campus in Niederursel zu nutzen, um ein Zentrum zu schaffen, das mit optimaler Synergie die im Fachbereich vorhandenen Großgeräte allen Wissenschaftlern, auch interdisziplinär, zur Verfügung stellt. Im Fachbereich Physik sind diese Großgeräte vor allem modernste Ionenanlagen und Laser sowie Nachweissysteme (Imagingsysteme), mit denen hier in einmaliger Weise »state-of-the-art«-Forschung des 21. Jahrhunderts betrieben werden kann. Das neue Zentrum wird damit unter anderem zu einer Art Außenstation für die Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI) in Darmstadt, die weltweit führende Experimentieranlage für Schwerionenphysik.

Das hochaktuelle, gemeinsame Forschungsziel zwischen den inter-

disziplinären Gruppen wird die Dynamik von Vielteilchensystemen wie Atome, Kerne, Moleküle, Biosysteme, Festkörper und Plasmen sein. In interdisziplinärer Zusammenarbeit können hier die Teilchen-, Festkörper- und Biophysiker sowie die Biochemiker den fundamentalen Fragen nachgehen, warum Vielteilchensysteme nicht einfach die Summe vieler Zweiteilchensysteme sind. Für diese Forschung ist die Zusammenarbeit mit Großforschungseinrichtungen in Deutschland von zentraler Bedeutung, wie der Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI) in Darmstadt, dem Deutschen Elektronensynchrotron (DESY) in Hamburg, der Elektronenspeicherung Synchrotronanlage (BESSY) in Berlin, sowie auf internationaler Ebene dem Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) in Berkeley, dem Center for European Nuclear Research (CERN) in Genf und dem Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC) in Brookhaven/USA. Die Zusammenarbeit mit diesen Großforschungszentren garantiert Internationalität und ist eine wesentliche Quelle für ein sehr hohes Drittmittelaufkommen. So übersteigen die durch die GSI-Forschung an die



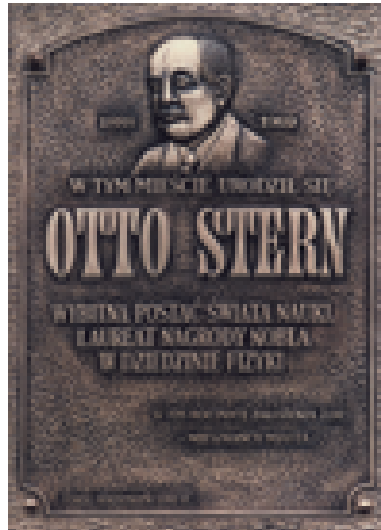
2 Otto Stern und Albert Einstein, zirka 1922. Otto Stern hatte bereits in Prag mit Albert Einstein zusammengearbeitet und habilitierte sich bei ihm 1913 in Zürich. Damit war Stern einer der wenigen direkten Einstein-Schüler.

Atome kontrolliert mit nahezu Schallgeschwindigkeit wie eine Geschwehrrugel auf ein Ziel geschossen werden konnten. Hatten diese Atome ein inneres magnetisches Moment, dann sollten sie in einem starken inhomogenen äußeren Magnetfeld je nach Raumorientierung der atomaren Momente unterschiedlich abgelenkt werden. Für Silberatome wurde nach damaliger Kenntnis erwartet, dass zwei Raumorientierungen und damit zwei Ablenkungswinkel vorkommen sollten.

Die apparativen Schwierigkeiten, die mit einem solchen Experiment verbunden waren, erschienen zu jener Zeit fast unlösbar und sind auch mit moderner Technik nur sehr schwer zu überwinden.

Stern hatte Glück: Walter Gerlach 3, ein begnadeter Experimentalphysiker, der seit 1920 in Frankfurt im experimentellen Institut un-

(1943), der 1888 in Sorau/Schlesien 4 geboren wurde und 1912 in Breslau in der theoretischen physikalischen Chemie promovierte, wurde 1912 Mitarbeiter von Albert Einstein in Prag. Er wechselte gemeinsam mit Einstein an die Eidgenössische Technische Hochschule Zürich und habilitierte sich dort 1913 mit einer zehnsseitigen Arbeit »Zur kinetischen Theorie des Dampfdrucks einatomiger fester Stoffe und über die Entropiekonstante einatomiger Gase«. Kurz nach Gründung der Frankfurter Universität (Wintersemester 1914) durch Frankfurter Bürger wechselte Otto Stern nach Frankfurt in die Arbeitsgruppe von Max von Laue (Nobelpreisträger 1914), der 1914 als erster theoretischer Physiker an die Universität Frankfurt berufen worden war. Nach Beendigung des Krieges »mutierte« der Theoretiker Otto Stern zum Experimentalphysiker. Auch nachdem Laue Frankfurt 1919 verlassen hatte – er ging nach Berlin –, blieb Stern unter dem neuen Institutsleiter Max Born (Nobelpreis 1954) in Frankfurt und begann mit seinen Vorüberlegungen für den experimentellen Nachweis der Raumquantelung der atomaren magnetischen Momente. Arnold Sommerfeld hatte eine halbklassische Theorie der atomaren magnetischen Momente aufgestellt, die voraussagte, dass diese Momente in einem äußeren Magnetfeld nur in bestimmten Raumrichtungen orien-



4 Gedenkplakette für Otto Stern am Rathaus in Zory, Polen, 1997 angebracht.

tiert werden, wohingegen klassische Magnete in jede Raumrichtung zeigen können. Diese Vorstellung war revolutionär, denn die neue Quantentheorie forderte, dass die Momente ohne Kraftereinwirkung nur in bestimmten Raumprojektionen beobachtet werden könnten. Fast alle berühmten Physiker jener Zeit, darunter Albert Einstein, Nils Bohr und Wolfgang Pauli, diskutierten diese Frage und kamen zu sehr unterschiedlichen Voraussagen. Otto Stern entwickelte eine Messmethode, die so genannte Molekularstrahlmethode, mit der einzelne

5 Das Geburtshaus von Otto Stern in Sorrau, Oberschlesien, heute Zory, Polen.





Walther Gerlach war von 1921 bis 1924 Professor für Experimentalphysik in Frankfurt. Mit Otto Stern gelang ihm im Februar 1922 der Nachweis der Richtungsquantelung von Silber-Atomen im inhomogenen Magnetfeld, der so genannte Stern-Gerlach-Versuch.

ter der Leitung von Richard Wachs-muth arbeitete, erklärte sich bereit, an dem Experiment mitzuarbeiten. Gerlach, der 1889 in Biebrich/Wiesbaden geboren wurde, hatte 1912 bei Friedrich Paschen in Tübingen promoviert und sich 1916 dort habilitiert. Nach vielen vergeblichen Versuchen gelang es in der Nacht vom 7. auf den 8. Februar 1922 endlich, die Aufspaltung des Silberstrahles in zwei Ablenkwinkel nachzuweisen. Gerlach informierte sofort den inzwischen nach Rostock berufenen Otto Stern sowie Nils Bohr. Alle großen Physiker jener Zeit erkannten, dass mit diesem Experiment ein neues Physikzeitalter begonnen hatte. Einstein bezeichnete es sogar als eines der wichtigsten, das zu Beginn des 20. Jahrhunderts durchgeführt wurde. Die Universität Frankfurt konnte damit einen zentralen Beitrag zur Geburt

der modernen Quantenphysik leisten. Der Name Stern-Gerlach ist seitdem in der Physik unsterblich. Der Fachbereich Physik ist stolz darauf, dass dieses wichtige Experiment in Frankfurt ausgeführt wurde; hier haben insgesamt sieben Physiker gearbeitet, die in Frankfurt oder nach ihrem Weggang den Nobelpreis erhielten. Auch aktuell belegen zahlreiche Preise an Frankfurter Physiker, andere Ehrungen, Rufe an andere Universitäten sowie die Mitarbeit der Hochschullehrer in vielen Gremien in Deutschland und im Ausland, dass die im Fachbereich Physik durchgeführte Forschung international erstklassig ist. ◆

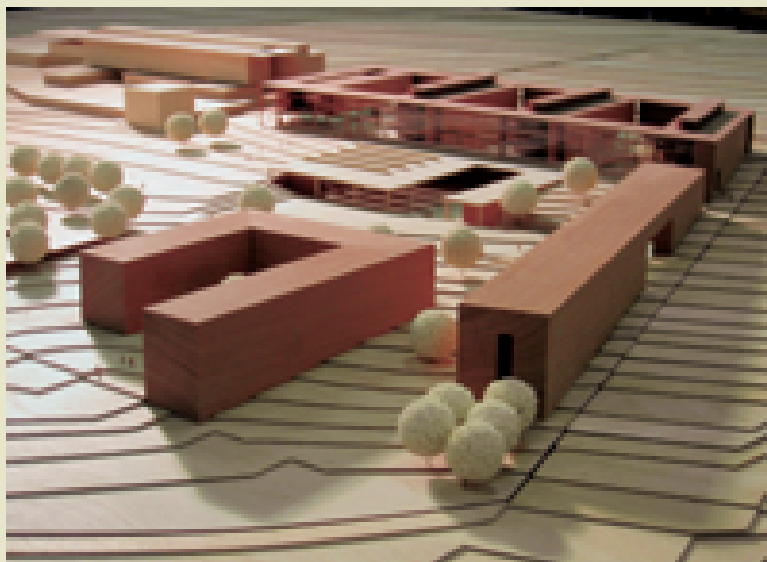
Der Autor

Prof. Dr. Horst Schmidt-Böcking studierte Physik an den Universitäten Würzburg und Heidelberg und promovierte 1969 im Bereich Kernphysik in Heidelberg. Von 1974 bis 1980 arbeitete er an der Universität Frankfurt, wo er sich habilitierte. Nach zweijähriger Forschungstätigkeit am Hahn-Meitner-Institut Berlin kam er 1982 als Professor für Schwerionenphysik an die Universität Frankfurt zurück, der er trotz verschiedener Rufe an andere Universitäten treu geblieben ist.

Neubau für die Physik

Das Stern-Gerlach-Zentrum ist integraler Bestandteil des Neubauvorhabens Physik. In prominenter Lage auf dem Campus Riedberg entsteht derzeit auf einem Baugrundstück von mehr als einem Hektar ein Gebäudekomplex von hoher architektonischer Qualität mit einer Brutto-Grundfläche von 31 000 Quadratmetern zur Unterbringung und räumlichen Konzentration sämtlicher Einrichtungen des Fachbereichs Physik. Den Auftakt macht ab Mitte November dieses Jahres der Umzug der Kernphysik. Die Verlagerung der anderen Einrichtungen beginnt im März 2005. Die veranschlagte Investitionssumme für die bauliche Reaktivierung sowie die Ersteinrichtung beträgt 70 Millionen Euro; die Kosten tragen das Land Hessen und der Bund jeweils zur Hälfte.

Die Anlage gliedert sich in einen nördlich platzierten Institutsbaukörper sowie dem südlich gelegenen Stern-Gerlach-Zentrum, einem Hallentrakt, das die Werkstatt- und Experimentierbereiche



aufnimmt. Allein die Experimentierhalle hat eine Nutzfläche von 1150 Quadratmeter, sie wird als eigener Baukörper den eigentlichen Institutsbereichen vorgelagert und in die Abwärtslinie des Hangs hineingeschoben. Dabei sind Hallendach und Erdgeschoss des Institutsteils niveaugleich ausgebildet, so dass sich der Hallenbau auf seiner Südseite mit einer eingeschos-

sigen Fassade präsentiert. Diese bauliche Anordnung betont den Charakter des Stern-Gerlach-Zentrums als interdisziplinäres Dienstleistungszentrum mit campusweiter Funktion.

Der Autor

Peter Rost ist Bevollmächtigter für die Standortneuordnung und -entwicklung der Universität Frankfurt.

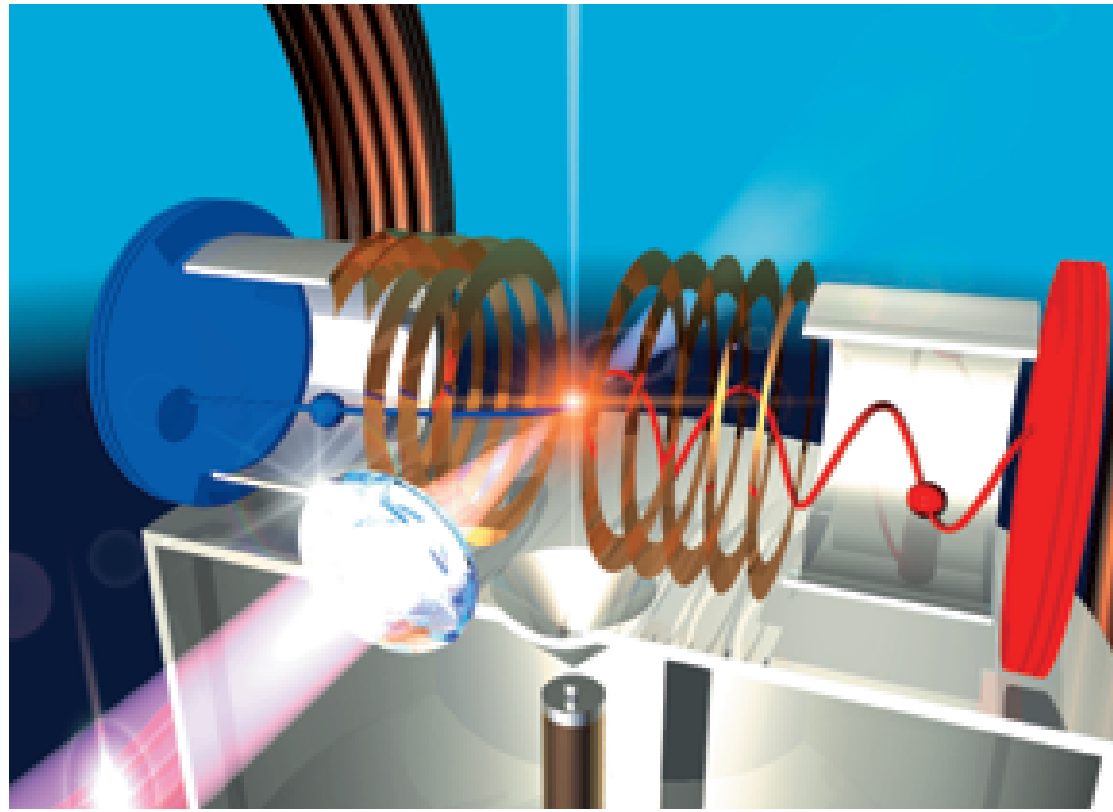
Bewegung in der Welt der Quanten

Was Murmeln und Elektronen miteinander verbindet

Wächst ein Tumor, oder bleibt das Gewebe gesund? Erscheint ein Stoff gelb oder rot? Warum brennt Benzin, Wasser aber nicht? So unterschiedlich diese Fragen auch erscheinen, aus der Perspektive des Physikers finden sich die Antworten alle auf der gleichen Ebene. Sie liegen in der Struktur und Dynamik der Elektronenhüllen der Atome und Moleküle, die die Erbsubstanz der Zellen bilden, aus denen Farbstoffe bestehen und aus denen sich Benzin- und Wassermoleküle zusammensetzen. Das Atom mit seinen Elektronenhüllen ähnelt, wie wir seit Niels Bohr und den Experimenten von Ernest Rutherford wissen, einem Mückenschwarm, in dessen Zentrum ein winziger Kern vibriert, der das vieltausendfache Gewicht der Elektronen hat. Aus der Größe und Struktur der Elektronenhülle resultiert das Periodensystem der Elemente und deren chemische und physikalische Eigenschaften, kurz die Vielfalt des Universums. Die zeitliche Entwicklung der Elektronenhülle, oder – bildlich gesprochen – die Bewegung dieser »Mückenschwärme«, ist es, die alles Werden und Vergehen in unserer Alltagswelt steuert. Diese Bewegung der Elektronen und ihr Wechselspiel untereinander direkt zu beobachten, ist der Traum der modernen Physik. Doch bis zur Erfüllung dieses Traums – einen Film in extremer Zeitlupe und mit extremem Zoom zu drehen, in dem die Bewegung der einzelnen Elektronen verfolgt und das Zusammenwirken beobachtet werden kann – ist noch viel zu tun. Erste vielversprechende Schritte sind in den letzten Jahren jedoch erfolgreich gemacht worden.

Fliegende Elektronen sichtbar machen

Mit einer Technologie, bei deren Entwicklung die Physiker der Universität Frankfurt eine weltweit führende Rolle gespielt haben, kann man seit wenigen Jahren Richtung und Geschwindigkeit praktisch aller atomaren und molekularen Bruchstücke, die beim Aufbruch der Elektronenhülle entstehen, direkt sichtbar machen. Diese Technologie wird

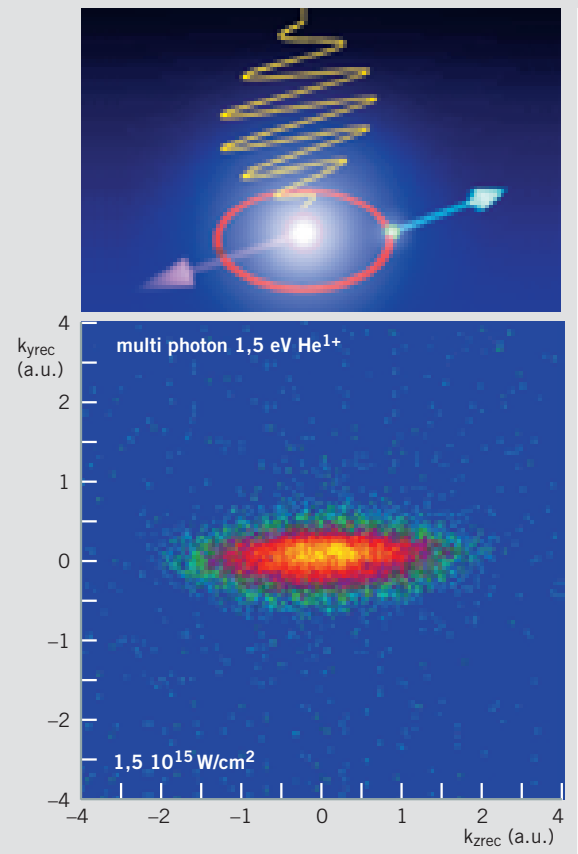


■ Mit Hilfe der COLTRIMS-Technologie dieses »Mikroskops« kann die Bewegung von Elektronen und geladenen Atomen sichtbar gemacht werden. Die Bruchstücke des Atoms oder Moleküls, das hier von einem Laserblitz in der Bildmitte aufgespalten wird (rote Kugel: Elektronen, blaue Kugel: Ionen), werden von elektrischen und magnetischen Feldern auf die hier blau und rot gezeigten Teilchendetektoren geleitet. Diese registrieren den Auftreffort und die Flugzeit auf eine milliardstel Sekunde genau und geben sie an einen Computer weiter, der dann ein vollständiges Bild der Fragmentation liefert.

weltweit mit dem Schlagwort COLTRIMS (Cold Target Recoil Ion Momentum Spectroscopy) bezeichnet ■. Die zugrunde liegende Idee ist einfach: Elektrische und magnetische Felder bewirken für frei fliegende Elektronen und geladene Atome das, was die Erdanziehung mit Steinen macht, die man von einem Turm wirft. Unabhängig von der Richtung, in die ein Stein geworfen wird, fällt er früher oder später auf die Erde zurück. Wenn man wissen will, in welche Richtung und mit welcher Geschwindigkeit der Stein losgeschleudert wurde, genügt es, den Auftreffort und die Zeit, die der Stein vom Abwurf bis zum Aufschlag benötigte, zu registrieren. Aus diesen Daten kann die Abwurfrichtung und -geschwindigkeit eindeutig ermittelt werden. Die Flugbahn selbst muss dafür nicht bekannt sein. In diesem Bild

entspricht die Emission eines Elektrons aus einem neutralen Atom dem Werfen des Steins. Die Erdanziehung beeinflusst Elektronen und geladene Atome zwar kaum, jedoch sorgen relativ schwache elektrische Felder sowie das Feld eines hinreichend großen Elektromagneten dafür, dass diese Teilchen auf einen entsprechenden Detektor »fallen« oder, besser gesagt, gelenkt werden. Diese Nachweisgeräte ermitteln den Auftreffort eines Elektrons mit der Genauigkeit eines zehntel Millimeters und erlauben es, die Auftreffzeit auf eine milliardstel Sekunde genau zu messen. Die Messdaten werden Elektron für Elektron von einem Computer erfasst. Der Rechner ermittelt dann die Flugbahnkoordinaten der Teilchen und rekonstruiert so das komplette Zerplatzen des Atoms. Die Bilder, die diese Technik generiert, erlauben Einblicke in die Bewegungsstruktur subatomarer Teilchen, die bis vor einigen Jah-

Linear polarisierter Laserblitz



2 Ein linear polarisierter Laserblitz (gelbe Linie) ionisiert ein Elektron aus einem Atom (oben). Das Elektron und der geladene Rest des Atoms fliegen in entgegengesetzte Richtung auseinander. Die Abbildung unten zeigt die gemessene Geschwindigkeitsverteilung der entstehenden Ionen, die in Richtung des Lichtfelds getrieben werden.

ren undenkbar waren. Dementsprechend hat die COLTRIMS-Technik einen Siegeszug in Physiklaboren rund um die Welt angetreten. Dies eröffnet Frankfurter Diplomanden und Doktoranden, die diese komplexe Technologie beherrschen, Auslandsaufenthalte in Labors in aller Welt, derzeit in Japan, USA, Kanada, Brasilien und Australien. Sie tragen dazu bei, die Methode zu verbreiten und das Anwendungs-Know-how zu vermitteln.

Messerscharfes Licht

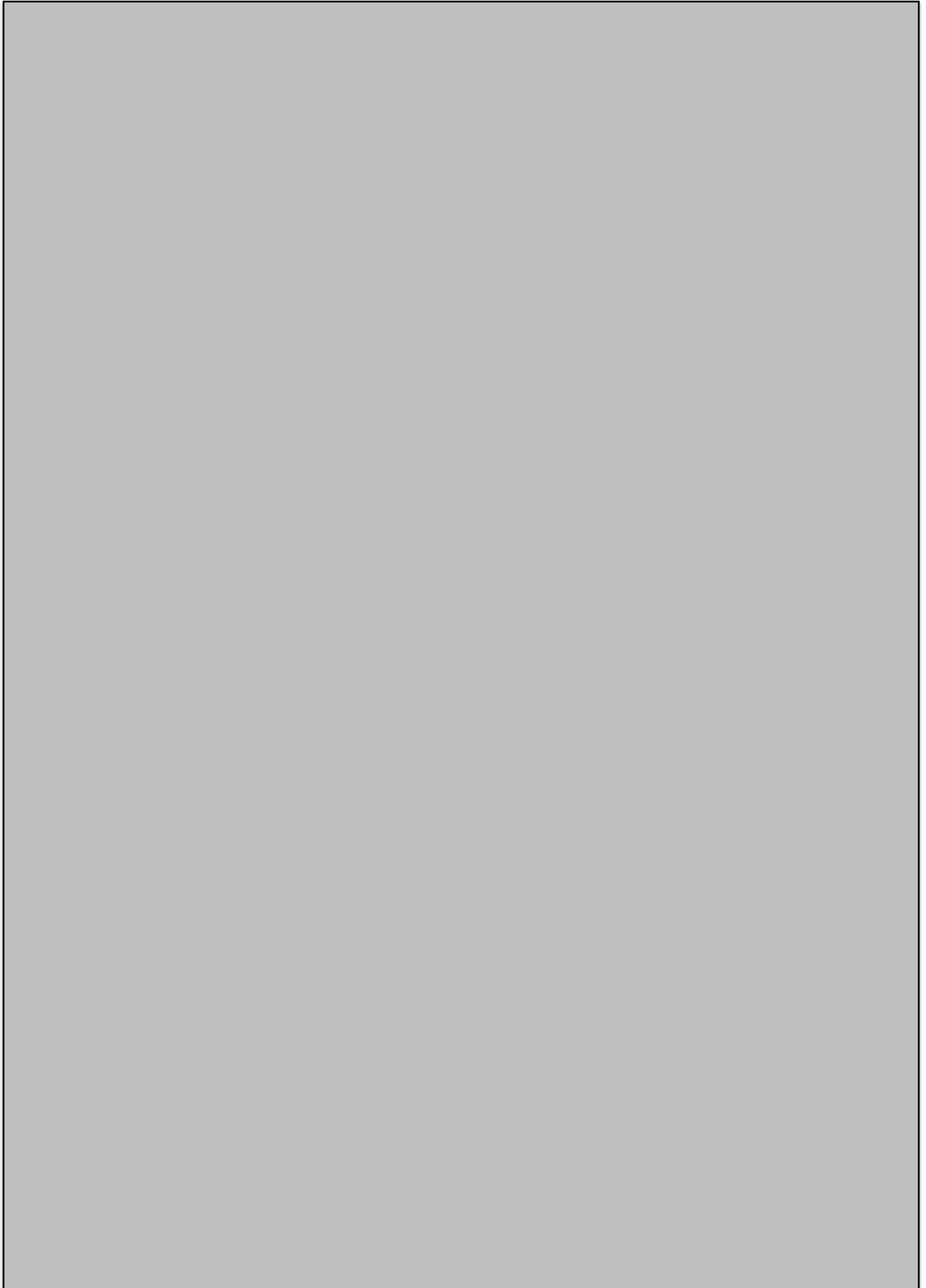
Um einen Eindruck von der Leistungsfähigkeit dieser Technologie zu gewinnen, hier ein Beispiel: Aus vielen Bereichen der Technik lassen sich heute Laser nicht mehr wegdenken, beispielsweise in der Medizin. Hier erlauben sie Operationen, die viel schonender sind, als es mit einem Messer möglich wäre. Dass man mit Licht überhaupt schneiden

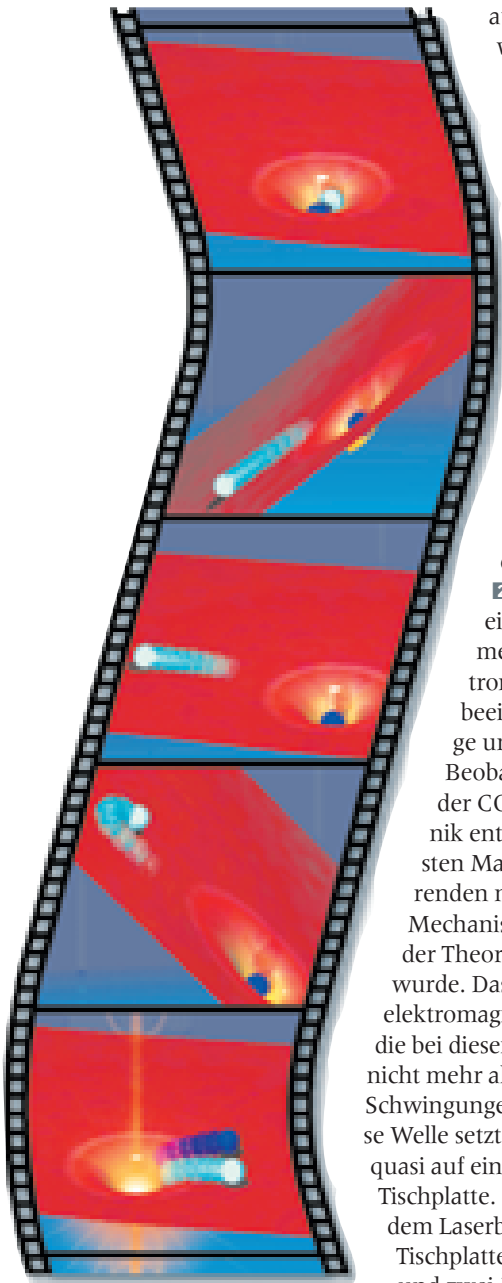
kann, liegt an den besonderen Eigenschaften des Laserlichts, seiner hohen Ordnung und Energiedichte. Mit gepulsten Lasern ist es heute möglich, unvorstellbar kurze Lichtblitze mit maximaler technisch machbarer Helligkeit zu erreichen. Werden diese superkurzen Lichtblitze mit einer Linse auf den Durchmesser eines Haars fokussiert, können für die unvorstellbar kurze Zeit von einer hundertstel millionstel millionstel Sekunde (eine 0,...1 mit 14 Nullen vor der 1) Lichtintensitäten erreicht werden, die der gesamten Sonneneinstrahlung auf die Erdoberfläche, auf einen Stecknadelkopf gebündelt, entsprechen. Das Verhalten von Materie unter solchen extremen Bedingungen ist ein hochaktuelles Forschungsgebiet.

Mit solchen Laserpulsen kann man Gewebe und selbst Metall schneiden, aber was liegt dem mikroskopisch zugrunde? Um dies

Anzeige







■ Wechselwirkung eines Atoms mit einem extrem starken Laserblitz: Die Elektronen sind durch Kugeln symbolisiert, die vom Laserlicht aufgrund des »Rückstreumechanismus« wie auf einer wippenden Tischplatte beschleunigt werden.

aufzuklären, werden einzelne Atome in den Brennpunkt eines solchen Laserblitzes gesetzt. Dabei entreißt der Lichtblitz dem Atom ein oder mehrere Elektronen, und zwar entlang der Richtung, in die das elektrische Feld des Lasers zeigt **■**. Wie jedoch ein Laserpuls mehr als ein Elektron gleichzeitig beeinflusst, war lange umstritten. Die Beobachtungen mit der COLTRIMS-Technik enthüllten zum ersten Mal einen faszinierenden mikroskopischen Mechanismus, der von der Theorie vorhergesagt wurde. Das Licht ist eine elektromagnetische Welle, die bei diesen Pulsdauern nicht mehr als drei bis vier Schwingungen ausführt. Diese Welle setzt die Elektronen quasi auf eine wippende Tischplatte. Zu Beginn – vor dem Laserblitz – ist die Tischplatte horizontal, und zwei Murmeln (die beiden Elektronen) liegen in einer Vertiefung auf dem Tisch. Die Mulde stellt die durch den Atomkern hervorgerufene Anziehungskraft dar. Die Elektronen sind im Atom gebunden, sie können von sich aus nicht aus der Mulde herausrollen. Der Laserblitz entspricht einigen starken Schwingungen der Tischplatte. Sie wippt mehrmals um die Mitte, in der sich die Vertiefung befindet. Die Neigung der Tischplatte entspricht der momentanen Stärke des elektrischen Felds. Wenn sie steil genug ist, kann eine der beiden Kugeln aus dem Loch heraus- und die Platte herunterrollen. Während dies in der makroskopischen Welt erst geschieht, wenn die Tischplatte so weit geneigt ist, dass die Murmel über den Rand der Mulde rollen kann, kommt in der mikroskopi-

schen, quantenmechanischen Welt der Atome ein weiterer Effekt hinzu. Schon bevor das Feld so stark ist, dass die Elektronen frei aus dem Atom herauslaufen können, entsteht quasi ein kleiner Tunnel, durch den die Elektronen vorzeitig entkommen können, das heißt, das Elektron kann sich kurzzeitig Energie borgen und über den Potenzialberg springen. Während die Kugel jetzt langsam auf der Tischplatte nach unten Geschwindigkeit aufnimmt, fängt die Wippe an zurück zu schwingen, bis sie schließlich in die andere Richtung steht. Die Kugel läuft bergauf, wird abgebremst und dreht schließlich wieder um. Jetzt rollt sie mit zunehmender Geschwindigkeit auf die Mulde zurück, in der sich noch eine zweite Murmel befindet. Wenn sie genug Schwung hat, kann sie diese Murmel aus der Vertiefung herausstoßen, wobei sie selbst abgebremst wird. Schließlich liegen beide Murmeln gleichzeitig nebeneinander frei auf der Platte und werden hin- und hergeschaukelt. Sie fallen am Ende auf der gleichen Seite von der Platte herunter.

Beschreibt dieses Szenario wirklich das, was in einem starken Laserfeld mit dem Atom geschieht? Zerschlägt das am Anfang freigesetzte Elektron sein eigenes Mutteratom? Die Antwort, die die COLTRIMS-Technik liefert, ist ein eindeutiges Ja. In den meisten Fällen rollen beide Elektronen mit etwa gleicher Geschwindigkeit in die gleiche Richtung, wie die beiden gelben Punkte zeigen **■**. Sie fallen also am Ende von der Platte, genau wie es aufgrund des Rückstreuzuszenarios zu erwarten ist. Doch leider ist es bis heute selbst mit den schnellsten Supercomputern nicht möglich, die quantenmechanische Bewegung dieser beiden Elektronen im Laserfeld zu berechnen. Die theoretischen Arbeiten, die dies näherungsweise versucht haben, bestätigen zwar die Richtigkeit des beschriebenen Rückstreumechanismus, ihnen gelingt es jedoch nicht, die experimentellen Ergebnisse im Detail zu

reproduzieren; denn im Gegensatz zu Murmeln bewegen sich in der Quantenwelt der Elektronen keine einfachen Kugeln, sondern Wellenpakete, die eher treibenden Wolkenfetzen als Murmeln gleichen.

Die COLTRIMS-Technik belegt zum einen, dass sich Bewegungen von Elektronen und Kernen mit Laserlicht gezielt auf mikroskopischem Niveau steuern lassen. Damit kommen Naturwissenschaftler ihrem Traum näher, nicht nur stille Beobachter der atomaren und molekularen Welt zu sein, sondern deren Ingenieure, indem sie mit Licht steuernd in Prozesse auf atomarem Niveau eingreifen können. Dies wäre ein erster Schritt auf dem Weg zur Kontrolle von chemischen Reaktionen mit Laserlicht. Zum anderen demonstrieren diese Experimente, dass man mit modernen bildgebenden Techniken und Lasern in einen neuen Bereich der Ultrakurzzeitphysik, den Attosekundenbereich, vorstoßen kann. In einer Attosekunde (10^{-18}) kommt Licht nur den millionsten Teil eines Haardurchmessers weit. Dies sind Zeiten, die kurz genug sind, um die Bewegung von Elektronen in Atomen und Molekülen zu studieren. Bis zu einem endgültigen Zeitlupenfilm muss jedoch noch viel Forschungsarbeit geleistet werden.

Das neue Stern-Gerlach-Zentrum bietet hierfür hervorragende Voraussetzungen (siehe Beitrag Seite 48). Mit dem modernen Kurzzeitlaserlabor, das dort eingerichtet wird, wird man zu noch kürzeren Zeiten vorstoßen können. Schritt für Schritt sollen dann elektronische Prozesse in größeren Strukturen wie Molekülen, Clustern und Oberflächen betrachtet werden. Das Kurzzeitlaserlabor ergänzt den zweiten Schwerpunkt des Stern-Gerlach-Zentrums, die Ionenstrahlanlagen. Durch die Vielfalt der wissenschaftlichen Möglichkeiten, die sich aus dem Zusammenspiel von Kurzzeitlaser, Ionenbeschleunigern und COLTRIMS-Technik ergeben, spielt das Stern-Gerlach-Zentrum auf dem Gebiet der Quantendynamik weltweit in der Spitzenliga. ◆

Der Autor

Prof. Dr. Reinhard Dörner studierte Physik und Philosophie in Aachen und Frankfurt. Seit 2002 ist er Professor für Experimentalphysik am Institut für Kernphysik der Universität Frankfurt. Seine Arbeitgebiete sind die Atom- und Moleküldynamik, die er mit Hilfe von Schwerionen, Synchrotronstrahlung und ultrakurzen Laserpulsen untersucht.

Kurze Wellen, lange Wellen, Terawellen

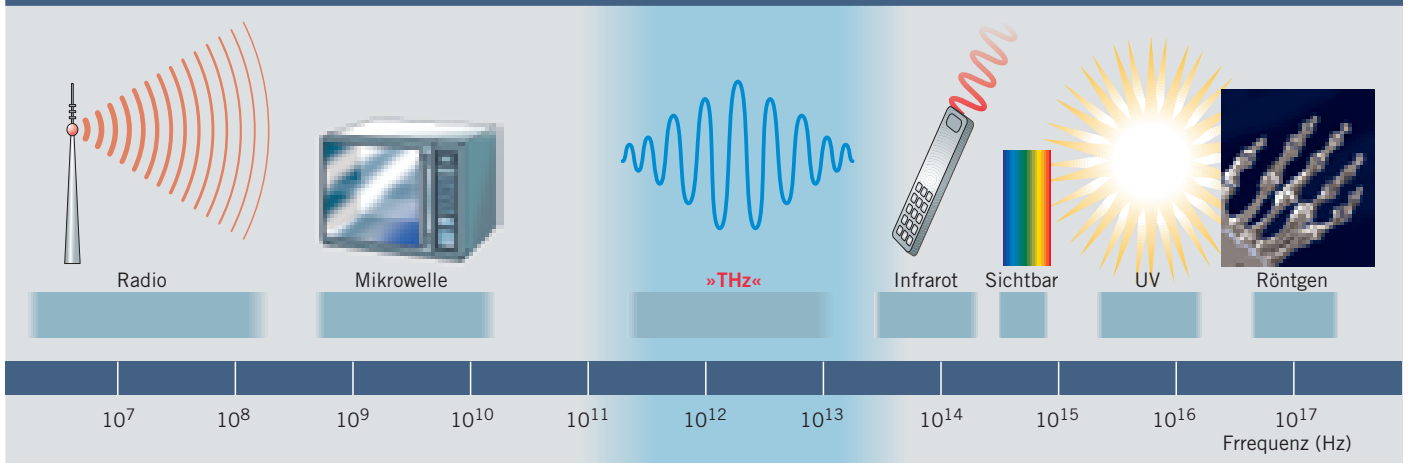
Elektromagnetische Strahlung im Terahertz-Frequenzbereich erobert neue Anwendungsfelder

Als Terahertz-Strahlung bezeichnet man die elektromagnetische Strahlung im Frequenzbereich zwischen den Millimeter- und Mikrowellen einerseits und der Infrarotstrahlung andererseits. Erstere

im Takt der Differenzfrequenz, die im THz-Frequenzbereich liegt, ein- und ausgeschaltet. Wenn man den so erzeugten Laserstrahl auf eine Substanz richtet, die immer dann Strom leitet, wenn sie beleuchtet

Antenne wird, und eine Spannung angelegt werden. Es fließt dann ein THz-Wechselstrom, und die Antenne strahlt eine THz-Welle ab. Obwohl die Strahlung nicht sehr intensiv ist, kann sie – ähnlich wie

Darstellung des elektromagnetischen Spektrums mit dem Terahertz-Frequenzbereich in der Mitte



werden beispielsweise von Radios, Mikrowellen-Öfen und Handys genutzt, letztere von Wärmebildkameras und Wärmestrahlern. Genauer gesagt handelt es sich bei der Terahertz-Strahlung um den Frequenzbereich zwischen 300 Gigahertz (GHz) und zehn Terahertz (THz) **1**. Lange hat man diesen Bereich auch als »Terahertz-Lücke« des Spektrums bezeichnet – Lücke deshalb, weil man hier bis vor wenigen Jahren nur unter großem Aufwand nutzbare Strahlung erzeugen beziehungsweise detektieren konnte. Ein Terahertz (1 THz) entspricht 10^{12} Hertz, also 1 000 000 000 000 (oder eine Million mal eine Million) Schwingungen in der Sekunde.

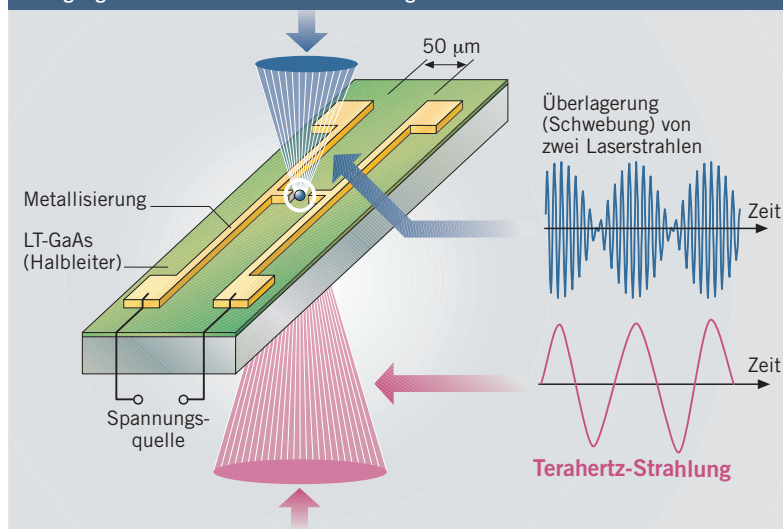
Zur Erzeugung und Detektion von THz-Strahlung verwenden wir in Frankfurt so genannte Fotomischverfahren, bei denen Laser, die im Sichtbaren arbeiten, eine zentrale Rolle spielen. Dies sei am Beispiel von Dauerstrich-Strahlung erläutert, bei der das Konzept der Schwebung verwendet wird **2**. Eine solche entsteht, wenn man zwei Laserstrahlen leicht unterschiedlicher Farbe (Frequenz) überlagert. Das resultierende Laserlicht wird dann

wird, und immer dann isolierend wirkt, wenn sie nicht beleuchtet wird, dann erhält man einen Schalter, der im THz-Takt ein- und ausschaltet. Um damit Strahlung zu erzeugen, muss der Schalter nur noch in eine Mikro-Antenne eingebaut werden, die so zur fotoleitenden

beim Radio – mit Hilfe einer zweiten Antenne detektiert werden. Das Besondere des Fotomischverfahrens liegt in seiner hohen Messempfindlichkeit, die darauf beruht, dass sich Störeffekte mit dieser Methode außerordentlich gut unterdrücken lassen. Andere Methoden der THz-

1 Der sichtbare Spektralbereich befindet sich zwischen 375 THz (entsprechend einer Wellenlänge von 800 nm) und 750 THz (400 nm).

Erzeugung von Dauerstrich-Terahertzstrahlung

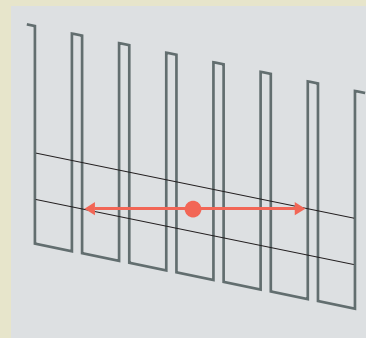


2 Die Dauerstrich-Terahertzstrahlung entsteht durch die Überlagerung von zwei Laserstrahlen verschiedener Farbe in einer Fotomischantenne, die ausgehend von LT-GaAs (bei niedriger Temperatur (englisch Low Temperature) gewachsenes Gallium-Arsenid) hergestellt wird.

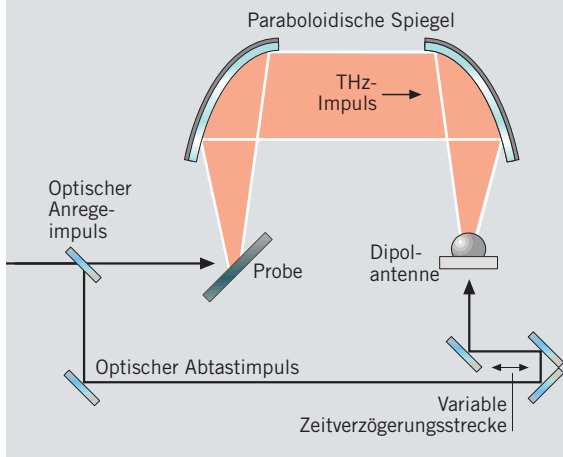
THz-Emissions-Spektroskopie von Elektronen in Halbleiter-Übergittern

Eine besondere Variante der Anrege-/Abfrage-Spektroskopie mit THz-Impulsen ist die THz-Emissions-Spektroskopie, die insbesondere bei der Untersuchung quantenmechanischer Wellenpakete in der Physik eine Rolle spielt. Wir setzen sie zum Studium von Elektronen in Halbleiter-Quantentrogstrukturen ein. Dies sei am Beispiel eines Halbleiter-Übergitters erläutert **1**. Es besteht aus einer Abfolge dünner Schichten verschiedener Halbleitermaterialien, die mit Hilfe von Molekularstrahlverfahren als perfekte Kristalle gewachsen werden. Wären die Elektronen klassische Teilchen, dann könnten sie zwischen den Barrieren des einen Halbleitermaterials eingesperrt werden. Die Wellennatur der Elektronen erlaubt es ihnen aber nun, durch die Barrieren, sofern diese nur dünn genug sind, hindurch zu treten, zu »tunneln«. Dieses Phänomen, für das es in der klassischen Physik

kein Analogon gibt, ist nun für einige Überraschungen gut. Legt man elektrische Spannung an, um die Elektronen zum positiv geladenen Kontakt zu ziehen, so stehen dem die Regeln der Quantenmechanik entgegen. Diese besagen,



1 Energieschema einer Übergitterstruktur, bestehend aus dünnen Schichten zweier Halbleitermaterialien: Die Neigung der Struktur ist die Folge einer elektrischen Spannung, die von links nach rechts über die Struktur anliegt. Ein Elektron (als roter Punkt gekennzeichnet) ist auf Grund seiner Wellennatur zu einer oszillierenden Bewegung durch die Energiebarrieren hindurch gezwungen (Bloch-Oszillationen).

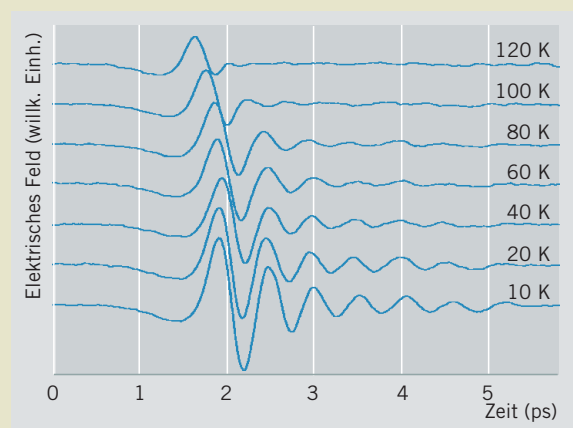


2 Messaufbau der THz-Emissions-Spektroskopie: Ein im Bild von links kommender gepulster Laserstrahl wird auf zwei Pfade aufgeteilt. Ein Teilstrahl dient der Anregung der Probe (des Übergitters), der andere Teilstrahl aktiviert eine fotoleitende Antenne, mit der die rot eingezeichnete THz-Strahlung aus der Probe detektiert wird.

nen nur um ihre Ruhelage herum vor und zurück laufen dürfen. Wir können diese oszillierende Bewegung, als Bloch-Oszillationen bekannt, mit Hilfe der THz-Emissions-Spektroskopie nachweisen **2**. Dabei verwendet man zunächst einen Femtosekunden-Laserimpuls, um Elektronen in das relevante Energieband anzuheben, sie also dort quasi zu »erzeugen«. Im elektrischen Feld beginnen die Elektronen nun ihre Vorwärts- und Rückwärts-Bewegung. Weil sie elektrische Ladung tragen und alle im Takt »tanzen«, strahlen sie elektromagnetische Strahlung ab, die wir mit einer fotoleitenden Antenne empfangen. Die Oszillationen klingen schnell ab, und es braucht tiefe Temperaturen, um sie deutlich sehen zu können **3**. Stöße der Elektronen untereinander und der Einfluss von Schwingungen der Kristallatome lassen die Elektronen außer Takt geraten. Es sind auch solche Störeffekte, die dann doch ermöglichen, dass die Elektronen zum elektrischen Kontakt wandern. Dies ist ein Glück für die Alltagswelt, denn sonst würden wir die Elek-

tronentechnik und Elektronik in der uns vertrauten Form nicht kennen, bestehen doch deren Materialien zumindest teilweise aus kristallinen, also periodisch geordneten Materialien, und mehr als die periodische Ordnung braucht es letztlich nicht für Bloch-Oszillationen. Ohne Stoßprozesse würden die Elektronen nur oszillierende Bewegungen vollführen, aber einen kontinuierlichen Stromfluss gäbe es nicht!

Das Verhalten von Elektronen in Halbleiter-Übergittern bietet noch viele Überraschungen. Zur Zeit studieren wir den Einfluss magnetischer Felder, die eigenartige Bewegungsformen der Elektronen hervorrufen. Des Weiteren versuchen wir, einen Übergitter-THz-Laser zu entwickeln; nicht praktischer Zwecke wegen, sondern um herauszufinden, ob die kuriose Vorhersage, dass ein solcher Laser ohne Verstärkung im herkömmlichen Sinne arbeiten könne, stimmt.



3 THz-Strahlung aus der Probe bei verschiedenen Proben-temperaturen: Die Anregung der Probe erfolgt unmittelbar vor dem Auftreten des Signalanstiegs der THz-Strahlung. Die Oszillationen der Strahlung stammen von der periodischen Bewegung der Elektronen im Übergitter. Mit zunehmender Temperatur klingen die Oszillationen immer schneller ab, weil es in der Probe immer mehr Stoßprozesse gibt, die die Elektronen außer Takt bringen.

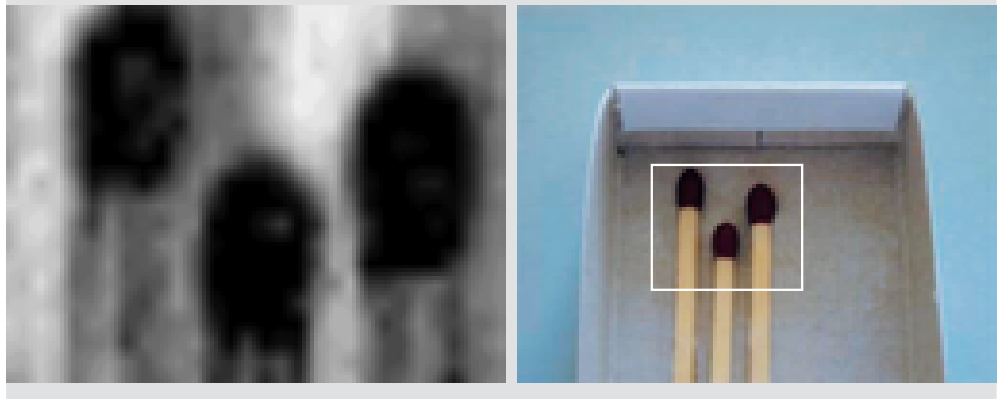
Strahlungserzeugung und -detektion basieren auf intensiven Laserimpulsen. Mit deren Hilfe ist es heute möglich, THz-Impulse mit einer Bandbreite zu erzeugen und zu detektieren, die weit in den infraroten Spektralbereich reicht.

Anwendungsmöglichkeiten der THz-Strahlung

Das Anwendungspotenzial von THz-Strahlung ist groß. In der Grundlagenforschung wird sie insbesondere dazu genutzt, die Eigenschaften von niederenergetischen Anregungen zu vermessen. Bei Molekülen sind dies beispielsweise Gerüstschwingungen und Dreh-schwingungen, bei Festkörpern Gitterschwingungen, Plasmaschwingungen und Supraleiter-Anregungen. In Verbindung mit ultrakurzen Laserimpulsen findet die THz-Spektroskopie Anwendung in der Anrege-/Abtast-Spektroskopie, die es erlaubt, die zeitliche Entwicklung von Anregungen zu untersuchen (siehe »THz-Emissions-Spektroskopie von Elektronen in Halbleiter-Übergittern«, Seite 46). Die Spektroskopie mit THz-Strahlung ist inzwischen in der Physik etabliert. Sie wird nun allmählich auch in anderen Naturwissenschaften, der pharmazeutischen und medizinischen Forschung und in den Ingenieurdisziplinen angewendet. Große Publizität hat die Aussicht auf praktische Anwendungen mit sich gebracht. So sind – außerhalb Deutschlands – die ersten Firmen entstanden, die die Tatsache kommerziell nutzen wollen, dass viele elektrisch nichtleitende Materialien wie Papier, Kunststoffe und Kompositmaterialien für THz-Strahlung durchlässig sind, also durchleuchtet werden können, um beispielsweise die Materialbeschaffenheit oder Grenzflächen zu analysieren. Darüber hinaus ist es möglich, wie mit Röntgenstrahlen auch in geschlossene Behälter und Verpackungen hineinzusehen **3**.

In Anlehnung an Röntgenstrahlen (englisch: X-Rays) hat die Terahertzstrahlung im englischen Sprachraum deshalb die Bezeichnung T-Rays (deutsch: Terawellen) gefunden. Es wird berichtet, dass ein Lebensmittelhersteller in den USA derzeit untersucht, ob THz-Strahlung nicht für die Kontrolle der korrekten Abfüllung von Lebensmittelpackungen eingesetzt

Durchleuchtung einer geschlossenen Streichholzschatel mit Terahertz-Strahlung



3 Links: Durch eine geschlossene Streichholzschatel hindurch mit Strahlung bei 0,5 THz aufgenommenes Transmissionsbild. Dunkle Farben bedeuten geringe THz-Durchlässigkeit. Rechts: Fotografie der offenen Streichholzschatel mit Darstellung des Bildausschnitts der THz-Aufnahme. Das THz-Bild wurde erzeugt, indem das Objekt mäanderförmig durch den Brennpunkt eines THz-Strahls bewegt wurde.

werden könne. Wieso wird hier keine Röntgenstrahlung eingesetzt? Der Grund hierfür liegt in der ionisierenden Wirkung und den sich daraus ergebenden möglichen gesundheitlichen Risiken der Röntgenstrahlung. Im Gegensatz zu dieser hat THz-Strahlung eine extrem niedrige Photonenenergie. Es besteht daher nicht die Gefahr, mit Hilfe von THz-Strahlung chemische Bindungen aufzubrechen und damit das untersuchte Material chemisch zu verändern. Da auch die Strahlleistung sehr niedrig ist – sie liegt im Nanowatt-Bereich –, erfolgt auch keine nennenswerte Erwärmung. Damit steht dem prinzipiellen Einsatz im Lebensmittelbereich nichts entgegen.

Noch Zukunftsmusik: Anwendung in der Biomedizin

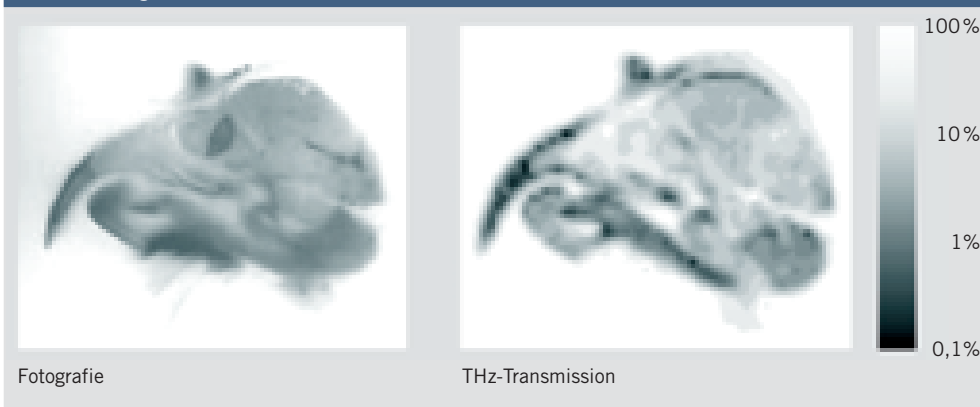
Aus diesen Gründen scheint die THz-Strahlung prädestiniert für Anwendungen im Bereich der Biomedizin zu sein. Leider sind hier aufgrund der starken Absorption durch das Wasser im Gewebe enge Grenzen gesetzt. Das Durchleuchten größerer Strecken von organischem, wasserhaltigem Material ist unmöglich. Allerdings sind Messungen an dünnen Proben ebenso möglich **4** wie Untersuchungen an Oberflächen und oberflächennahen Bereichen von Geweben. So wird zur Zeit in Großbritannien eine erste größere vorklinische Studie zur Diagnose von Hautkrebs durchgeführt. Auch Karies-Frühestadien in Zähnen wird man in Zukunft vielleicht mit Hilfe der THz-Reflektometrie identifizieren können. Spannend sind darüber hinaus Ansätze,

mit THz-Techniken die DNA-Analytik in der Gentechnologie zu verbessern oder neue Verfahren des Wirkstoff-Screenings in der Pharmazie zu entwickeln.

Vielversprechend: Berührungslose Sensorik und Anwendungen in den Materialwissenschaften

Näher an der praktischen Umsetzung dürften aber Anwendungen sein, die die radarähnlichen Eigenschaften der THz-Strahlung ausnutzen und auf Konzepte der Radartechnologie zurückgreifen können. THz-Strahlung hat eine viel kürzere Wellenlänge als die für Radar genutzte Hochfrequenzstrahlung. Sie ermöglicht damit eine bessere Ortsauflösung um den Preis einer geringeren Reichweite. THz-Strahlung eignet sich somit für die berührungslose hochauflösende Abtastung der Oberfläche von Objekten. Auf dieser Basis befassen wir uns beispielsweise mit der Analyse von Metalloberflächen. In Zusammenarbeit mit einem Wissenschaftler der Firma Nippon Steel, Japan, haben wir vor kurzem eine Methode gefunden, mit der millimetergroße, aber nur einige zehn Mikrometer tiefe beziehungsweise hohe Fabrikationsfehler an der Oberfläche von Walzstahl mit Hilfe von THz-Strahlung mit hoher Empfindlichkeit entdeckt werden können. Diese von Gas- oder Fremdstoffeinschlüssen herrührenden Oberflächendefekte müssen in der Produktion entdeckt werden, weil sie später die Angriffspunkte für Rost sein können. Versuche, Kameras, die mit sichtbarem Licht arbeiten, zu verwenden,

Durchleuchtung eines Gewebedünnschnitts



4 Die Abbildung zeigt die Transmission bei 1,0 THz durch einen drei Millimeter dicken Dünnschnitt eines dehydrierten Kanarienvogelkopfes eingebettet in Parafin-Wachs. Es handelt sich um eine archivierte Probe der Veterinärmedizin, Universität Gießen. Im Bild bedeuten dunkle Farben geringe THz-Durchlässigkeit. Das THz-Bild wurde erzeugt, indem das Objekt mäanderförmig durch den Brennpunkt eines THz-Strahls bewegt wurde.

scheiterten, weil die Stahloberflächen nach dem Walzprozess rau sind und das Licht stark streuen. Im Gegensatz dazu ist die THz-Strahlung blind für die Grundrauigkeit und »sieht« nur die Fabrikationsfehler der Werkstücke.

Eine andere Form der Materialanalyse, für die sich THz-Strahlung hervorragend eignet, ist die Durchleuchtung von Kunststoffen. In diesem Bereich findet sich auch der spektakulärste und kommerziell bisher größte Erfolg der praktischen Anwendung von THz-Strahlung. Er geht auf den Absturz des Space Shuttle Columbia der NASA (National Aeronautics and Space Administration) am 1. Februar 2003 zurück. Die wahrscheinlichste Ursache des Unglücks war Isolierschaum, der sich beim Start von den Booster-Raketen löste und mit hoher Geschwindigkeit auf den Flügel des Shuttles prallte. Dabei wurden offenbar Kacheln des Hitzschildes so stark geschädigt, dass das Shuttle beim Wiedereintritt in die Erdatmosphäre verglühte. In der Folgezeit suchte die NASA nach Methoden, mit denen die Verklebung des

Isolierschaums zuverlässig überprüft werden kann. Es zeigte sich, dass die Durchleuchtung der Isolations-schicht mit THz-Strahlung für die Fehleranalyse besonders gut geeignet ist. Auch in der immer wichtiger werdenden Sicherheitstechnik kann die THz-Forschung Beiträge liefern. So ist Kleidung im Gigahertzbereich und bei niedrigen THz-Frequenzen genügend transparent, um Waffen zu detektieren. Sogar bestimmte Sprengstoffe und Drogen in Briefen und Verpackungen lassen sich mit THz-Spektroskopie identifizieren.

Das Hauptproblem, mit dem die Anwendung von THz-Strahlung zu kämpfen hat, ist die geringe Strahlleistung. Die Ausgangsleistungen von kompakten THz-Quellen reichen nicht aus, um Objekte großflächig zu durchleuchten. THz-Bilder werden daher rasternd, Pixel für Pixel, aufgenommen, wenn man nicht auf sehr große, raumfüllende Maschinen zurückgreift.

In den letzten Jahren haben sich die Entwicklungen in der THz-Forschung aber sehr beschleunigt, was nicht zuletzt auf die zunehmende Kooperation über die Fachgrenzen

hinweg zurückzuführen ist. Bisheriger Höhepunkt und zugleich Anstoß für zahlreiche neue Aktivitäten war ein Durchbruch, den ein Forscherteam aus Pisa und Cambridge vor zwei Jahren erzielte: Ihnen gelang unter Verwendungen des so genannten Quantenkaskadenprinzips die Realisierung eines leistungsfähigen und kompakten THz-Halbleiterlasers. Obwohl solche Laser noch auf tiefe Temperaturen gekühlt werden müssen, um funktionstüchtig zu sein, besteht die Hoffnung, bald bei Raumtemperatur arbeiten zu können. Neben dem Quantenkaskadenlaser gibt es noch einige andere interessante Ansätze zur Erzeugung intensiver THz-Strahlung bei Raumtemperatur. Wir selbst verfolgen in enger Kooperation mit Kollegen der TU Darmstadt ein Mischkonzept, bei dem ein Hochleistungs-Halbleiterlaser auf zwei Farben läuft und diese Strahlung im Laser selbst durch Mischprozesse in THz-Strahlung konvertiert wird.

Der Zukunft kann man mit Spannung entgegen sehen. Die THz-Forschung und die daraus entstehenden Anwendungsmöglichkeiten haben heute einen Stand erreicht wie die Laserphysik und -technologie vor etwa 25 Jahren. In diesem Stadium bietet die THz-Forschung stimulierende Möglichkeiten gerade für das universitäre Umfeld, da Grundlagenforschung und anwendungsorientierte Forschung noch Hand in Hand gehen und die Chance besteht, mit Erkenntnisfortschritten Türen zu neuen Anwendungen in den verschiedensten Disziplinen aufzustoßen. Ein englischer Kollege, der vor einigen Jahren neu zur THz-Forschung stieß und heute eine führende Rolle darin spielt, umschrieb diesen Reiz des Arbeitsgebiets mit den Worten: Hier bietet sich die einmalige Gelegenheit, an der Erschließung des letzten brachliegenden Bereichs des elektromagnetischen Spektrums teilzuhaben. ♦

Die Autoren

Prof. Dr. Hartmut Roskos studierte in Karlsruhe und München Physik. Nach der Promotion an der Technischen Universität München und Zwischenstationen bei den AT&T Bell Laboratories, USA, und der RWTH Aachen wurde er 1997 Professor für Physik in Frankfurt. Seine Arbeitsgruppe befasst sich neben der THz-Physik und -Technologie mit der Femtosekunden-Laserspektroskopie von Festkörpern.

Dr. Torsten Löffler studierte von 1990 bis 1996 Physik an der RWTH Aachen und der Universität Liverpool. Nach einer dreijährigen Industrietätigkeit promovierte er an der Universität Frankfurt über die Erzeugung von THz-Strahlung aus lasererzeugten Gasplasmen. Zur Zeit beschäftigt er sich als Post-Doktorand in der Arbeitsgruppe von Hartmut Roskos mit Anwendungen und Systemen der optoelektronischen THz-Technologie.

»Gehabte Schmerzen, die hab' ich gern«

Besonderheiten der Schmerztherapie

(Wilhelm Busch)



Schmerz ist ein Faktor, der Lebensqualität und Wohlbefinden beeinträchtigt. Schmerz ist aber auch ein sehr individuelles Erlebnis, das gerade Künstler immer wieder aufgreifen. Seit 1996 präsentieren zeitgenössische Künstler ihre eigenen Schmerzerfahrungen und -empfindungen im Rahmen der Thomapyrin »Schmerztransformation«. Hier das Bild »Kopfschmerz« von Corneille, Dezember 2003.

Schmerz ist eines der häufigsten Symptome einer lokalen Gewebsschädigung oder einer Krankheit und ist auch der Hauptgrund für einen Besuch beim Arzt. Zwar übt Schmerz, speziell akuter Schmerz, eine nützliche Warnfunktion aus, er kann aber auch, besonders wenn er chronisch wird, ohne physiologischen Nutzen selbst zur Krankheit werden. Die Gefahr einer Chronifizierung von Schmerzen besteht besonders dann, wenn Schmerz bei seinem ersten Auftreten nicht ausreichend behandelt wird.

Nach ihrer Ursache und Pathophysiologie können drei Schmerztypen unterschieden werden **1**: Der physiologische Nozizeptorschmerz entsteht als Warnsignal bei Einwirkung mechanischer, thermischer, chemischer oder elektrischer Reize auf gesundes Gewebe. Die Schmerzreaktion wird durch die Erregung sensorischer Nervenendigungen, der so genannten Nozizeptoren (»Schmerzrezeptoren«), ausgelöst und führt meist zu Reflexreaktionen, wie zum Beispiel das Wegziehen der Hand, um eine Gewebsschädigung zu vermeiden.

Der pathophysiologische Nozizeptorschmerz entsteht bei Gewe-

beschädigungen oder -entzündungen und kann sich als Ruheschmerz, Hyperalgesie (verstärkte Schmerzhaftigkeit auch sonst schon schmerzhafter Reize) oder Allodynie (Schmerzempfindlichkeit normalerweise nicht schmerzhafter Reize, wie zum Beispiel Berührungsschmerz bei Sonnenbrand) äußern.

Neuropathische Schmerzen entstehen, wenn Nerven durch Quetschung, Durchtrennung, Entzündung oder eine Stoffwechsellstörung, wie zum Beispiel Diabetes, geschädigt werden. Diese Schmerzen haben einen abnormalen Charakter und können lang anhaltend und sehr quälend sein. Wenn infolge von Chronifizierungsvorgängen der Schmerz seinen Warncharakter verloren hat, wird er pathologisch.

Pharmakologische Schmerztherapie

Für die pharmakologische Therapie von Schmerzzuständen werden im Wesentlichen zwei Gruppen von Analgetika eingesetzt:

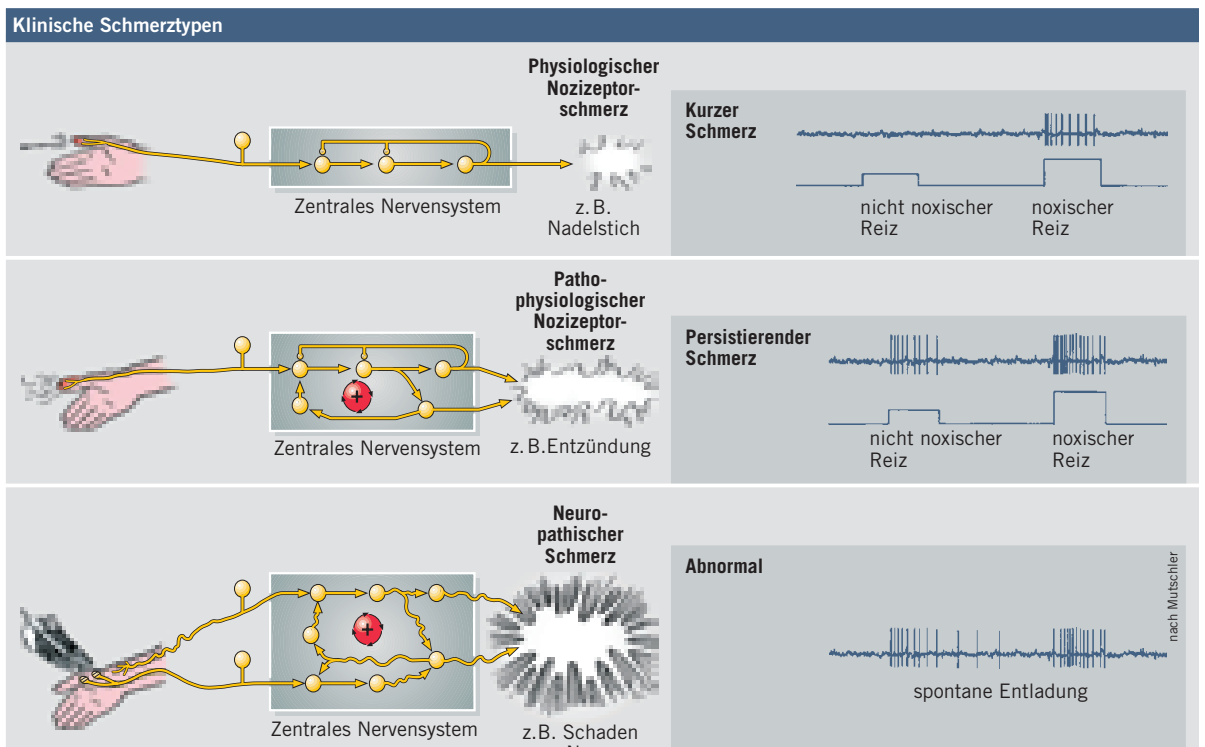
– Nicht-Opioid-Analgetika, die gleichzeitig fiebersenkende (antipyretische) und vielfach auch entzündungshemmende (antiphlogi-

stische) Eigenschaften besitzen und deshalb »Nicht-steroidale Antiphlogistika« (NSAIDs: non steroidal antiinflammatory drugs) genannt werden.

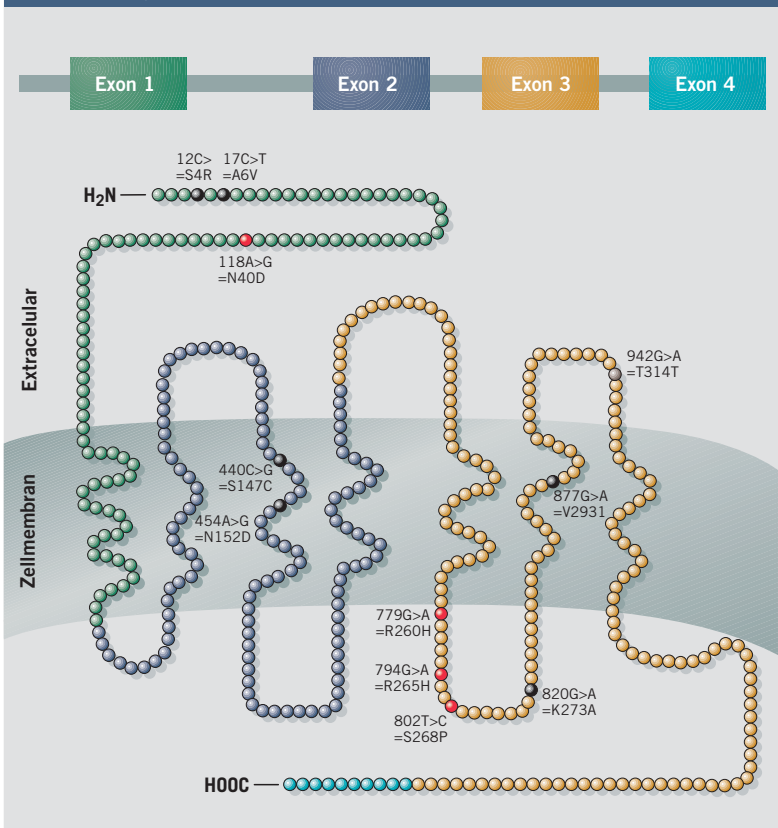
– Opioid-Analgetika, die an Opioidrezeptoren, vorzugsweise im zentralen Nervensystem, schmerzlindernd wirken.

Schmerzmittel gehören weltweit zu den am häufigsten eingesetzten Pharmaka. In Deutschland werden pro Jahr zirka 900 Millionen Tagesdosen NSAIDs und rund 140 Millionen Tagesdosen Opioide verordnet. Beide Substanzgruppen können jedoch mit prinzipiellen Problemen behaftet sein. NSAIDs sind zwar bei entzündlich bedingten Schmerzen sehr gut wirksam; sie können aber, besonders wenn sie über längere Zeit eingenommen werden müssen, zu schwerwiegenden Magen-Darm-Komplikationen führen. US-amerikanischen Daten zufolge sterben jedes Jahr mehr als 16 000 Patienten an Magen-Darm-Nebenwirkungen von herkömmlichen NSAIDs; in Deutschland, so Schätzungen, sind es pro Jahr etwa 1500 Patienten. Opioide wirken hervorragend analgetisch, sie können aber auch unerwünschte Reaktionen, wie zum Bei-

1 Einteilung klinischer Schmerztypen nach Ursache und Pathophysiologie.



Mutationen im μ -Opioidrezeptor



2 Mutationen im μ -Opioidrezeptor. Die Farben zeigen die von den vier Exonen des *OPRM1*-Gens kodierten Rezeptorabschnitte an.

dann schlecht therapierbar. Opioidanalgetika, wie zum Beispiel Morphin, wirken – wenn sie rechtzeitig gegeben werden – der zentralen Sensibilisierung und damit der Ausbildung des Schmerzgedächtnisses entgegen. Allerdings reagieren Schmerzpatienten auf eine Therapie mit Morphin oder anderen Opioidanalgetika sehr unterschiedlich, wie die klinische Erfahrung zeigt.

Folgendes Fallbeispiel soll dies erläutern: Zwei Patienten mit chronischen Schmerzen wurden pro Tag mit 30 Milligramm eines Morphin-Retardpräparats behandelt. Bei beiden Patienten waren die schmerzlindernden (analgetischen) Wirkungen zufriedenstellend. Einer der Patienten wurde jedoch unter der Morphintherapie so schläfrig und apathisch, dass das Morphin abgesetzt werden musste. Der andere Patient berichtete über keine nennenswerten Nebenwirkungen. Welchen Grund gab es für die unterschiedliche Reaktion auf die Morphintherapie? Genauere Untersuchungen ergaben, dass die Konzentration von Morphin im Blutplasma bei beiden Patienten unmittelbar vor der geplanten Einnahme der nächsten Dosis sehr niedrig (10 beziehungsweise 12,3 ng/ml), die des ebenfalls wirksamen Morphin-Abbauprodukts Morphin-6-Glucuronid dagegen sehr hoch war; bei dem Patienten mit Nebenwirkungen jedoch nur etwa halb so hoch wie bei

spiel Müdigkeit und Benommenheit, Verstopfung oder Atemdepression verursachen.

Schmerzen frühzeitig behandeln

Die wiederholte Reizung von Schmerzrezeptoren führt zu deren Sensibilisierung (periphere Sensibi-

lisierung) und zu Veränderungen im Rückenmark (zentrale Sensibilisierung). Werden die Mechanismen der Sensibilisierung nicht frühzeitig durch eine adäquate Schmerztherapie unterbrochen, können Schmerzen chronifizieren, und es kann sich ein so genanntes Schmerzgedächtnis ausbilden. Der Schmerz wird

dem ohne Nebenwirkungen (436 ng/ml beziehungsweise 804 ng/ml). Ursache dieser hohen Morphin-6-Glucuronid-Konzentrationen war bei beiden Patienten eine verminderte Nierenfunktion, in deren Folge sich das normalerweise über die Niere ausgeschiedene Morphin-6-Glucuronid im Körper anhäufte. Trotzdem verursachten die hohen Morphin-6-Glucuronid-Konzentrationen nur bei einem der beiden Patienten Nebenwirkungen. Warum? Genetische Untersuchungen zeigten, dass der Patient ohne Nebenwirkungen eine Mutation des μ -Opioidrezeptors hatte, während der Patient mit Nebenwirkungen diese spezielle Mutation nicht aufwies. Der μ -Opioidrezeptor ist der Hauptangriffspunkt von Opioidanalgetika wie Morphin und Morphin-6-Glucuronid **2**. Möglicherweise schützt die Mutation den Patienten vor zu starken Nebenwirkungen einer Morphinthherapie. Diese und andere pharmakogenetische Modulatoren der klinischen Wirkung von Opioiden wie Morphin, Morphin-6-Glucuronid, Methadon und Alfentanil werden am Institut für Klinische Pharmakologie der Johann Wolfgang Goethe-Universität untersucht. Zu den zurzeit untersuchten Genen gehören unter anderem 26 Mutationen des μ -Opioidrezeptor-Gens sowie Gene, die die Transportproteine kodieren, die die Opioidmoleküle im Körper verteilen oder aus dem Nervensystem beziehungsweise dem Körper insgesamt eliminieren. Dazu kommen Gene, die Enzyme kodieren, die Opioidmoleküle verstoffwechseln, sowie Gene, die Strukturen kodieren, die an der Schmerzempfindlichkeit (Nozizeption) oder -verarbeitung beteiligt sind.

Ergänzt werden diese genetischen Techniken mit Methoden, die Aussagen über die Wirkungen von Opioiden sowie über deren Verstoffwechslung zulassen, so dass Pharmakokinetik (Zeitverlauf der Konzentrationen eines Arzneistoffs im Organismus), Pharmakogenetik (Auswirkungen der Erbsubstanz auf die Wirkungen eines Arzneistoffs) und Pharmakodynamik (spezifische Wirkung von Arzneimitteln und Giften) des applizierten Opioids detailliert charakterisiert werden können **3**. Damit rückt das Ziel näher, jedem Patienten eine auf ihn speziell zugeschnittene Schmerztherapie zu verabreichen.

3 Mit Hilfe von genetischen Techniken und Methoden, die Aussagen über die Wirkungen von Opioiden sowie über deren Verstoffwechslung zulassen, kann die Pharmakokinetik, Pharmakogenetik und Pharmakodynamik des applizierten Opioids detailliert erfasst werden.

Methoden zum Nachweis der individuellen Wirkung von Opioiden

- Erfassung der Wirkung von Opioiden am Menschen (Pharmakodynamik)
 - Schmerzkorrelierte evozierte Potenziale zur Quantifizierung der anti-nozizeptiven Wirkung von Opioiden
 - Elektrischer experimenteller Schmerz, bestehend aus harmlosen Reizen einer Stromstärke bis zu 20 Milli-Ampère
 - Pupillendurchmesser als verlässlicher Surrogatparameter der zentralnervösen Opioidwirkung
 - Atemantwort auf langsam ansteigende CO₂-Konzentration in der Atemluft als Maß der atemdepressiven Wirkung von Opioiden
- Bestimmung der Plasmakonzentrationen durch LC-MS/MS (Liquid chromatography tandem mass-spectrometry) (Pharmakokinetik)
- Genetik der für die Wirkung von Opioiden relevanten Zielstrukturen wie Enzyme, Transporter und Rezeptoren (Pharmakogenetik)
 - Genotypisierung
 - Zelluläre Mechanismen der Auswirkung von Mutationen
- Identifizierung und Quantifizierung der Einflussfaktoren mit Hilfe von Differentialgleichungssystemen und multivariater nichtlinearer Regressionsanalyse
- Untersuchung der gewonnenen Erkenntnisse hinsichtlich ihrer klinischen Relevanz

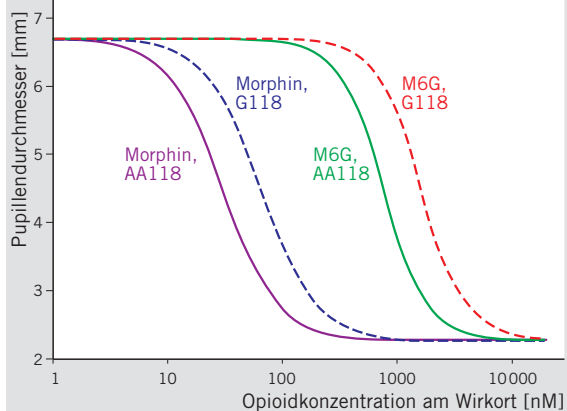
Konsequenzen von Mutationen des μ -Opioidrezeptors

Mutationen des μ -Opioidrezeptors können sich auf die Wirksamkeit (Potenz) oder auf die maximale Wirkstärke von Opioiden auswirken. Bei verminderter Potenz ist die Konzentrations-Wirkungskurve nach rechts verschoben. Das heißt, es müssen mehr Opioidmoleküle in den Geweben, die die Opioidrezeptoren enthalten, vorliegen, um die gleiche Wirkung zu erzeugen wie an nicht-mutierten Rezeptoren **4**. Dies könnte klinisch einerseits bedeuten, dass Schmerzpatienten mit der Mutation im μ -Opioidrezeptor schlechter mit Opioiden therapierbar sind, weil sich keine ausreichende Schmerzstillung erzeugen lässt.

Es könnte aber auch bedeuten, dass bei diesen Patienten weniger Nebenwirkungen einer Opioidtherapie auftreten. Zur Klärung dieses Sachverhalts konnten wir zeigen, dass sich bei Trägern einer Mutation im μ -Opioidrezeptor eine ausreichende Analgesie (Schmerzstillung) erzeugen lässt, dazu jedoch höhere Opioid-Dosen erforderlich sind. Trotz dieser höheren Opioid-Dosen hatten die Träger der Mutation jedoch signifikant weniger Nebenwirkungen. Das heißt also, Mutationen im μ -Opioidrezeptor können den Patienten vor Opioidnebenwirkungen schützen, ohne dass sie eine ausreichende analgetische Therapie verhindern. Damit ist auch geklärt, warum bei den beschriebenen Patienten der

4 Die Verminderung der Opioidpotenz äußert sich in einer Rechtsverschiebung der sigmoidalen Konzentrations-Wirkungs-Beziehung.

Methoden zum Nachweis der individuellen Wirkung von Opioiden



Träger der Mutation des μ -Opioidrezeptors hohe Plasmakonzentrationen von Morphin-6-Glucuronid verfrug, während der Patient ohne diese spezielle Mutation über Nebenwirkungen berichtete – beide Patienten jedoch eine ausreichende Analgesie unter der Morphintherapie hatten.

Genetische Polymorphismen können somit einen Teil der individuell unterschiedlichen Schmerztherapierbarkeit von Patienten erklären. Weitere Erkenntnisse in diesem Bereich können in Zukunft dazu beitragen, dass eine Opioid-Therapie besser individualisiert werden kann, um den Behandlungserfolg zu verbessern und Nebenwirkungen

zu vermindern. Die systematische Untersuchung derartiger genetischer Faktoren zielt auf die Identifizierung von klinisch relevanten Parametern, die eine Optimierung der Schmerztherapie beeinflussen.

Neue »Targets« für die Schmerztherapie

Der Schmerzmittelmarkt ist ein Wachstumsmarkt. Einem Bericht aus »Nature Reviews Drug Discovery« (Vol. 2, März 2003, S. 176) zufolge wurden im Jahr 2001 weltweit zirka 25 Milliarden US-Dollar mit Analgetika umgesetzt. Im Jahr 2005, so wird erwartet, werden es 32,9 Milliarden US-Dollar sein, und 2010 soll der Umsatz rund 41,5 Milliarden US-Dollar betragen. Die Probleme, die die zurzeit eingesetzten Schmerzmittel besonders bei längerer Anwendung mit sich bringen, wurden bereits beschrieben. So ist zum Beispiel bei der Osteoarthritis das Hauptsymptom, weshalb die Patienten ihren Arzt aufsuchen, der Schmerz. Die Osteoarthritis ist die häufigste chronisch degenerative Gelenkerkrankung, an der weltweit etwa 500 Millionen Patienten leiden. Die pharmakologischen Behandlungsmöglichkeiten des Hauptsymptoms Schmerz sind gegenwärtig unzureichend, weil die zur Verfügung stehenden Mittel entweder eine zu geringe schmerzlindernde Wirkung haben oder bei chronischer Anwendung häufig ernste Nebenwirkungen auslösen. Im Rahmen der *Frankfurter Schmerzplattform* ist deshalb ein weiterer Arbeitsschwerpunkt des Instituts für Klinische Pharmakologie die Erforschung von analgetisch wirksamen Substanzen bei der Osteoarthritis. Die Frankfurter Schmerzplattform ist eine seit dem Jahr 2001 beste-

hende bilaterale Kooperation zwischen dem Pharmaunternehmen Aventis und dem *pharmazentrum frankfurt* der Universität. In Bezug auf die Entwicklung neuer Wirkprinzipien wurden bereits erste gemeinsame richtungsweisende Publikationen veröffentlicht. Eingebettet sind diese Forschungsaktivitäten in das universitäre Forschungszentrum für Arzneimittel-Forschung, -Entwicklung und -Sicherheit, kurz ZAFES genannt. Der Weg zu einem innovativen Arzneimittel ist komplex. Er verläuft von der Suche nach einem geeigneten Wirkstoff über die Testung einer Entwicklungssubstanz in präklinischen und klinischen Studien bis hin zur Marktzulassung und dauert im Durchschnitt zehn bis 15 Jahre. Nahezu diese gesamte Wertschöpfungskette einer Arzneimittelentwicklung wird an der Universität Frankfurt über das ZAFES funktionsübergreifend und projektorientiert verknüpft. So können komplexe Problemstellungen effizient gelöst werden, die eine Institution allein nicht bewältigen könnte – zum Nutzen von Hochschule, Industrie und Biotechnologie. ZAFES ist eine logische Weiterentwicklung bisheriger Aktivitäten und Kooperationen innerhalb der Universität Frankfurt sowie mit Industriepartnern. Und es ist eine von drei neuen Säulen, die das Denker-Cluster der Rhein-Main-Region in Sachen innovative Arzneimittel tragen sollen. Die anderen beiden sind das Frankfurter Innovationszentrum Biotechnologie (FIZ, www.zafes.de/partner/index-fiz.html) sowie das im ZAFES integrierte Klinische Studienzentrum Rhein-Main (www.zafes.de/partner/index-klinisches-studienzentrum.html). ◆



Die Autoren

Professor Dr. Dr. Gerd Geißlinger ist seit 1999 Direktor des Instituts für Klinische Pharmakologie der Johann Wolfgang Goethe-Universität. Er ist Geschäftsführender Direktor des *pharmazentrum frankfurt* und Sprecher des ZAFES-Vorstands. Wissenschaftlich beschäftigt er sich hauptsächlich mit der Neurobiologie und -pharmakologie des Schmerzes und der Entzündung.

Privatdozent Dr. Jörn Lötsch ist Facharzt für Klinische Pharmakologie und leitet am Institut für Klinische Pharmakologie des Frankfurter Universitätsklinikums eine Arbeitsgruppe mit dem Schwerpunkt Wirkungen und Pharmakogenetik von Analgetika. Zwischen 1992 und 1998 war Lötsch an der Universität Erlangen tätig, bevor er nach einem einjährigen Studienaufenthalt an der Stanford University in den USA 1999 nach Frankfurt kam, wo er sich im Jahre 2001 im Fach Klinische Pharmakologie habilitierte.

Literatur

Lötsch J., Skarke C., Grösch S., Darimont J., Schmidt H. and Geisslinger G. The polymorphism A118G of the human mu-opioid receptor gene decreases the clinical activity of morphine-6-glucuronide but not that of morphine. <i>Pharmacogenetics</i> Jan. 2002; 12(1): S. 3–9.	Lötsch J., Zimmermann M., Darimont J., Marx C., Dudziak R., Skarke C. and Geisslinger G. Does the A118G polymorphism of the mu-opioid receptor gene protect against morphine-6-glucuronide toxicity? <i>Anesthesiology</i> 2002; 97(4): S. 814–819.	Skarke C., Kirshhof A., Geisslinger G. and Lötsch J. Comprehensive mu-opioid-receptor genotyping by pyrosequencing. <i>Clin. Chem.</i> March 2004; 50(3): S. 640–4.	Tegeder I., Niederberger E., Schmidt R., Kunz S., Gühring H., Ritzler O., Michaelis M., Geisslinger G.	Specific inhibition of I-kappaB kinase (IKK) reduces hyperalgesia in inflammatory and neuropathic pain models in rats. <i>J Neurosci</i> 2004; 24(7): S. 1637–45.	Kunz S., Niederberger E., Ehnert C., Coste O., Pfenniger A., Kruip J., Wendrich T.M., Schmidtko A., Tegeder I., Geisslinger G. The calpain inhibitor MDL 28170 prevents inflammation-induced neurofilament light chain (NFL) breakdown in the spinal cord and reduces thermal hyperalgesia. <i>Pain</i> 2004 (in press).	Tegeder I., Del Turco D., Schmidtko A., Sausbier M., Feil R., Hofmann F., Deller T., Ruth P., Geisslinger G. Reduced inflammatory hyperalgesia with preservation of acute thermal nociception in mice lacking cGMP-dependent protein kinase I. <i>Proc. Natl. Acad. Sci. USA</i> , March 2, 2004; 101(9): S. 3253–7.
---	---	---	--	---	--	--

Virtuelle Börsen im Marketing

Wie Erkenntnisse aus der Finanzmarktforschung Marketingprobleme lösen können

Das Parkett hat längst ausgedient, an die digitale Börse und ihre Spielregeln haben sich Broker und Analysten inzwischen gewöhnt. Doch die Börse und ihre Platzierung im Internet stimuliert zu weiteren spannenden Anwendungsideen: Mit der virtuellen Börse lassen sich nicht nur Wahlergebnisse mit einer hohen Trefferquote prognostizieren; sie könnte auch eine Rolle spielen, wenn es darum geht, politische Risiken abzuschätzen. Darüber hinaus beleuchtet unser Team, welches Potenzial virtuelle Börsen als innovative und kostengünstige Alternative zu traditionellen Methoden der Marktforschung in sich bergen.

In einer Volkswirtschaft haben Märkte die Aufgabe, knappe Ressourcen ihrer optimalen Verwendung zuzuführen. Im Idealzustand bieten dabei die Marktpreise das korrekte und ausreichende Signal für die ökonomischen Entscheidungen der Marktteilnehmer. Das heißt: Die Preise spiegeln die relevanten Informationen im Markt wider. Folglich können auf dem Kapitalmarkt in diesem Idealzustand Unternehmen Investitionsentscheidungen und Investoren Anlageentscheidungen nur auf Basis der Preise für Wertpapiere treffen. Dieser Idealzustand eines Kapitalmarkts wird als »Informationseffizienz« bezeichnet ^{1/1}.

Ein informationseffizienter Kapitalmarkt ist dadurch gekennzeichnet, dass Aktienpreise jederzeit alle verfügbaren Informationen korrekt widerspiegeln: Alle Marktteilnehmer reagieren mit entsprechenden Handlungsentscheidungen ohne zeitliche Verzögerung auf neue Informationen. Gehandelte Wertpapiere wie Aktien verbriefen dabei

einen zustandsabhängigen Restanspruch auf die Vermögenswerte des Unternehmens. Daher reflektiert der Aktienkurs die zukünftigen Gewinnerwartungen des Unternehmens.

Die theoretische Begründung für die Informationseffizienz liefert die vom Nobelpreisträger Friedrich August von Hayek aufgestellte Hypothese, dass durch den Wettbewerb auf einem Markt die unterschiedlich verteilten Informationen der Marktteilnehmer am effizientesten aggregiert werden können ^{1/2}. Dabei übernimmt der Preismechanismus auf einem Markt diese Aggregationsfunktion und kann auch im Extremfall, in dem jeder Marktteilnehmer nur seine privaten Informationen kennt, informationseffiziente Preise erzielen. Die Handlungen aller Marktteilnehmer beeinflussen dann den Preis, so dass der Preis alle Informationen reflektiert.

Was sind virtuelle Börsen?

Wir definieren virtuelle Börsen (»Virtual Stock Markets«) als Aktienmärkte, die in einer virtuellen Umgebung realisiert werden, ohne signifikante Finanzbeträge einsetzen zu können. Basierend auf der Effizienztheorie der Märkte besteht die Grundidee einer virtuellen Börse darin, die Erwartungen bezüglich zukünftiger Marktzustände handelbar zu machen, indem sie als »virtuelle Aktien« dargestellt werden. Eine bestimmte virtuelle Aktie beschreibt dabei einen zukünftigen Marktzustand, beispielsweise den Absatz eines spezifischen Produkts im nächsten Monat.

Da der Endwert einer virtuellen Aktie – analog zu den Gewinnerwartungen an den Kapitalmärkten – von dem tatsächlichen Wert des zukünftigen Marktzustands abhängt, bilden die Teilnehmer an einer virtuellen Börse Wertschätzungen für Aktien, die ihren Erwartungen über den zukünftigen Marktzustand entsprechen. Durch diesen Zusammenhang kann aus dem Marktpreis für die virtuelle Aktie die Prognose des zukünftigen Markt-



da dieser Preis die aggregierten Erwartungen der Börsenteilnehmer widerspiegelt.

Wahlforschung und Prognose zu politischen Risiken mit »Political Stock Markets«

Virtuelle Börsen sind als so genannte Wahlbörsen (»political stock markets«) bereits im Jahr 1988 in der politischen Wahlforschung eingesetzt worden und haben sich dort als eine Möglichkeit zur Prognose von Wahlergebnissen bewährt ^{1/3/14/15/}. Auf diesen Wahlbörsen werden Kandidaten- oder Parteiaktien gehandelt (zum Beispiel »Bush« und »Dukakis«), deren Auszahlung der Wahlerfolg des Kandidaten bestimmt und deren Preis eine Erfolgsprognose bei einer Wahl widerspiegeln soll. Die Endauszahlung für die Aktie »Bush« betrug 1988 bei einem Stimmenanteil von 52 Prozent beispielsweise 0,52 Cent, und dementsprechend für »Dukakis« 0,48 Cent. Die Ergebnisse solcher Wahlbörsen sind viel versprechend, da sie sich häufig durch eine bessere Prognosegüte als professionelle Umfragen oder Experteneinschätzungen ausgezeichnet haben ^{14/}. Neben den politischen Wahlbörsen finden sich heute im Internet zahlreiche weitere virtuelle Börsen aus den Bereichen Sport, Entertainment oder Wissenschaft.



Wie funktionieren virtuelle Börsen?

1

Ein Börsenteilnehmer glaubt, dass die CDU bei der nächsten Wahl 45% und die FDP 9,6% erreichen wird.

CDU 45,0%
FDP 9,6%



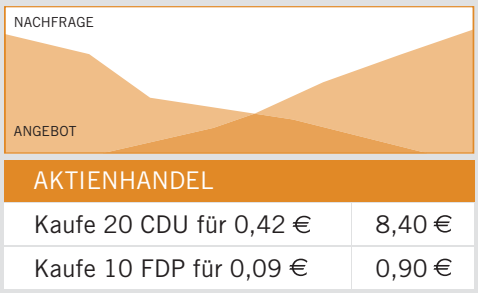
2

Die aktuellen Kurse für die CDU und die FDP liegen unterhalb des erwarteten Wertes.

AKTUELLER KURS	
CDU	42,0%
SPD	32,5%
Grüne	11,1%
FDP	9,0%
Andere	

3

Deshalb ordert der Teilnehmer 20 CDU-Aktien und 10 FDP-Aktien zum aktuellen Kurs. Aufgrund der erhöhten Nachfrage steigt der Kurs der Aktien.



4

Kurz vor dem Ende der tatsächlichen Wahl endet die virtuelle Börse. Das vorläufige amtliche Endergebnis lautet: (Hessenwahl 2003)

ERGEBNIS	
CDU	48,8%
SPD	29,1%
Grüne	10,1%
FDP	7,9%
Andere	4,1%

AUSSCHÜTTUNG			
CDU	20 x 0,488 €	9,76 €	↑1,36 €
SPD	0 x 0,291 €		
Grüne	0 x 0,101 €		
FDP	10 x 0,079 €	0,79 €	↓0,11 €
Andere	0 x 0,041 €		

5

Dem Teilnehmer wird sein Portfolio ausgezahlt. Mit der CDU-Aktie konnte er Gewinn machen; bei der FDP hat er leider verloren, weil der Wahlausgang schlechter war als sein Einkaufspreis.

läufig gestoppt. Dennoch kann dieser Versuch als ein deutlicher Indikator dafür gewertet werden, dass selbst das Pentagon Vorteile beim Einsatz virtueller Börsen sieht.

Warum funktionieren virtuelle Börsen?

Teilnehmer einer virtuellen Börse leiten aus ihren individuellen Einschätzungen, wie sich der zukünftige Marktzustand ausprägt, eine individuelle Erwartung über die Auszahlung der virtuellen Aktien ab. So können sie ihre erwartete Aktienauszahlung mit den aggregierten Erwartungen der virtuellen Börse vergleichen. Auf diese Weise können Teilnehmer ihre individuellen Einschätzungen handeln. Beispielsweise kann ein Teilnehmer einer virtuellen Börse für ein bestimmtes Produkt, wie ein Automodell, einen Absatz von 100 000 Einheiten im nächsten Quartal erwarten. Die Auszahlung einer Aktie würde folglich 100 Euro entsprechen, falls je abgesetztem Auto eine Auszahlung von 0,001 Euro erfolgt (100 Euro = 100 000 Einheiten x 0,001 Euro pro Einheit). Im Falle eines aktuellen Preises von 95 Euro (105 Euro) entspricht das 95 000 (105 000) Absatzeinheiten, so dass diese Aktie nach Einschätzung des Teilnehmers unterbewertet (überbewertet) wäre. Dieser könnte folglich durch Kauf (Verkauf) von Aktien versuchen, einen erwarteten Gewinn von 5 Euro pro Aktie zu erzielen.

Teilnehmer offenbaren mit ihren Handelstransaktionen ihre wahre Einschätzung der zukünftigen Marktzustände. Dies wird bei virtuellen Börsen dadurch erreicht, dass Anreize gesetzt werden, die Teilnehmer für die Abgabe wahrheitsgemäßer Einschätzungen und damit der besten Prognosen belohnen. Als Anreizinstrumente können der Einsatz von kleinen Geldbeträgen oder Sachgeschenke und Gutscheine dienen. Zudem ist der persönliche Ehrgeiz im Wettbewerb der Teilnehmer eine Triebkraft, um an der virtuellen Börse gut agieren zu wollen.

Die Verlässlichkeit der Prognose hängt nicht davon ab, ob die Auswahl der Teilnehmer repräsentativ ist, das zeigen sowohl Untersuchungen virtueller Börsen zu Wahlen als auch zu Konsummärkten. Denn im Unterschied zu Umfragen lassen Teilnehmer nicht ihre individuellen Präferenzen erkennen, sondern

Funktionsweise einer virtuellen Börsen am Beispiel einer Wahlbörse.

Den größten Presserummel hat aber zweifelsohne das vom amerikanischen Verteidigungsministerium im August 2003 propagierte Projekt einer virtuellen Börse zur Prognose politischer Risiken ausgelöst. Dabei sollten an dem »Policy Analy-

sis Market« neben politischen Stabilitätsindizes auch die Wahrscheinlichkeit von Ereignissen wie beispielsweise eines Staatsstreichs in bestimmten Ländern gehandelt werden. Aufgrund starker politischer Kritik wurde das Projekt zwar vor-

Literatur

^{1/1} Fama, Eugene F. (1970), Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work, Journal of Finance, 25, S. 383–417.

^{2/2} Hayek, Friedrich August von (1945), The Use of Knowledge in Society, American Economic Review, 35, S. 519–30.

^{3/3} Forsythe, Robert / Nelson, Forrest / Neumann, George R. / Wright, Jack (1992), Anatomy of an Experimental Political Stock Market, American Economic Review, 82, S. 1142–1161.

^{4/4} Forsythe, Robert / Rietz, Thomas A. / Ross, Thomas W. (1999), Wishes, Expectations and Actions: A Survey on Price Formation in Election Stock Markets, Journal of Economic Behavior & Organization, 39, S. 83–110.

^{5/5} Nelson, Forrest / Tietz, Reinhard (2002), Expectations and Rational Actions in an Experimental Financial Market, Bolle, Friedel / Lehmann-Waffenschmidt, Marco (Hrsg.), Surveys in Experimental Economics, Bargaining, Cooperation and Election Stock Markets, Heidelberg, S. 193–227.

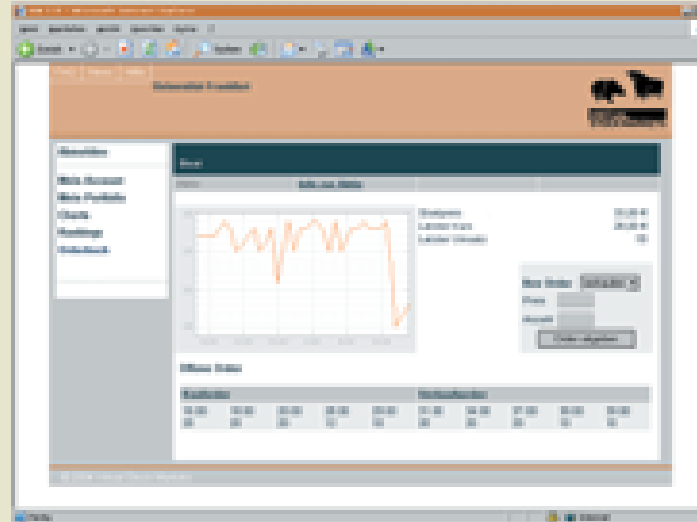
DFG-Projekt »Internetbasierte virtuelle Börsen«

Erste Erkenntnisse zum Einsatz virtueller Börsen im Marketing sammelte Dr. Martin Spann, der im Team von Prof. Dr. Bernd Skiera forscht. Er beschäftigte sich in seiner Dissertation insbesondere mit Absatzprognosen und führte dazu empirische Projekte mit Unternehmenspartnern wie UCI Kinowelt, T-Mobile und Sony Music durch¹⁹⁾. Dafür wurde er mit dem Dissertationspreis der Industrie- und Handelskammer Frankfurt am Main 2003 und dem Erich-Gutenberg-Preis 2003 ausgezeichnet.

Um dieses Potenzial virtueller Börsen weiter auszuschöpfen, wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) das Projekt »Marktforschung durch Informationsgewinnung auf internetbasierten virtuellen Börsen« finanziert, das weitere Einsatzmöglichkeiten der Informationsgewin-

nung durch virtuelle Börsen in der Betriebswirtschaftslehre erforscht und mit Hilfe einer neu entwickelten Software-Lösung empirisch überprüft. Zurzeit werden Experimente zur Erfolgsprognose von Neuproduktkonzepten durchgeführt. Anwendungen zur Generierung und Bewertung von Ideen sind in Vorbereitung.

Um sehr unterschiedliche Experimente in virtuellen Börsen durchzuführen, müssen internetbasierte Börsen mit einer flexiblen und erweiterungsfähigen Software installiert werden. Für die Architektur der auf Microsoft.NET basierten Plattform sind eine Vielzahl von Designmöglichkeiten und -variablen zu berücksichtigen und empirisch zu überprüfen. Bei der Entwicklung der Software wird deshalb großer Wert auf die flexible Anpassbarkeit gelegt: Neben der Mehrsprachigkeit wird die Software auch verschiede-



ne, gleichzeitig handelnde Benutzergruppen und unterschiedliche Marktmechanismen unterstützen. In einer weiteren Stufe soll die gemeinsame, weltweite Nutzung der Plattform von mehreren Forschern ermöglicht werden.

Virtuelle-Börsen-Software (www.vsm-demo.com): Benutzeroberfläche der Software im Handelsmodul. Sie kann für alle Fragestellungen eingesetzt werden.

handeln nach ihren Einschätzungen des Wahlausgangs und der allgemeinen Marktentwicklung.

Anwendungsbereiche im Marketing

Seit Ende der 1990er Jahre setzt unsere Arbeitsgruppe die Idee der Wahlbörsen auch bei betriebswirtschaftlich geprägten Fragestellungen ein, beispielsweise zur Prognose von Absatzzahlen^{16/17/18/19)}. Im Marketing bietet sich der Einsatz von virtuellen Börsen neben der Absatzprognose insbesondere an, um die Entwicklung neuer Produkte zu unterstützen. Dies ist für den Erfolg eines Unternehmens ein entscheidender Bereich, da immer kürzer werdende Lebenszyklen von Produkten es zwingend notwendig machen, dass kontinuierlich neue Produkte kreiert werden. Trotz hoher Investitionen in die Innovationsforschung liegen die Misserfolgsquoten bei Einführung neuer Produkte oftmals zwischen 50 und 70 Prozent¹⁷⁾.

Virtuelle Börsen können an mehreren Stellen dieses Prozesses wichtige Informationen für das Innovationsmanagement liefern: Der Preismechanismus einer virtuellen Börse bietet den Vorteil gegenüber anderen Marktforschungsverfahren, dass dabei unterschiedliche In-

formationen und interdisziplinäre Meinungen der Beteiligten durch den Marktmechanismus und damit vergleichsweise objektiv aggregiert werden. Bei Befragungen oder Expertenurteilen ist dagegen eine subjektive Gewichtung der einzelnen Urteile, zum Beispiel hinsichtlich der Erfolgswahrscheinlichkeit eines Neuprodukts, notwendig.

Außerdem ist die Teilnahme an einer virtuellen Börse für Experten und Konsumenten vermutlich attraktiver und stimuliert neue Ideen eher als das Ausfüllen eines Fragebogens. Bedürfnisse und Präferenzen für Neuprodukte, die Kunden selbst generieren, können sie an einer virtuellen Börse einbringen und

bewerten lassen. So können innovative Kunden, so genannte »Lead User«, identifiziert und später gebeten werden, die Entwicklung neuer Produkte zu unterstützen. Kurz vor der Produkteinführung können über die virtuelle Börse Absatzzahlen und Marktanteile prognostiziert werden, so dass Informationen für Marketing- oder Vertriebsmaßnahmen gewinnbar sind. Auch wenn es in Unternehmen darum geht, abteilungsübergreifend Ideen auszuwählen und zu bewerten, lässt sich die virtuelle Börse hervorragend einsetzen, um Experten eindeutig zu identifizieren¹⁹⁾. ♦

Weitere Informationen unter www.virtualstockmarkets.com



Die Autoren

Prof. Dr. Bernd Skiera ist seit 1999 Inhaber der Professur für Electronic Commerce. Seine Forschungsschwerpunkte sind neben virtuellen Börsen Preisgestaltung in digitalen Welten und Customer Management. Er ist Co-Projektleiter dieses DFG-Projekts, im Vorstand des »E-Finance-Lab« tätig und Sprecher des vom BMBF geförderten Forschungsschwerpunkts »PREMIUM: Preis- und Erlösmodelle im Internet – Umsetzung und Marktchancen«.

Dr. Martin Spann ist wissenschaftlicher Assistent an der Professur für Electronic Commerce. Er promovierte über »Virtuelle Börsen als Instrument zur Marktforschung« und beschäftigt sich in seiner Habilitation mit dem Thema »Online Pricing«. Er ist Co-Projektleiter dieses DFG-Projekts und Leiter des im Forschungsschwerpunkt »PREMIUM« angesiedelten Projekts »Reverse Pricing«.

Christoph Kepper, Diplom-Medienwirt (FH), und Arina Soukhoroukova, Diplom-Kauffrau, sind seit Oktober 2003 Mitarbeiter am DFG-Projekt und beschäftigen sich mit dem Einsatz virtueller Börsen, insbesondere zur Neuproduktentwicklung und Ideen-generierung sowie mit der Entwicklung einer flexiblen Software-Plattform.