

Physik Journal

Schwerpunkt Reaktorunfälle:
Tschernobyl und Fukushima
Fusionsexperiment ITER





UNTERNEHMENSBERATER (M/W)



d-fine ist ein im europäischen Raum tätiges Beratungsunternehmen mit Fokus auf Projekte rund um die Themen Risikomanagement und Finanzsteuerung. Weit über 500 hochqualifizierte Consultants unterstützen unsere Kunden insbesondere bei quantitativen und technischen Fragestellungen im Risikomanagement, bei Bewertungen und System-einführungen. Als wachstumsstarkes Unternehmen mit hohem Qualitätsanspruch braucht unser Team ganzjährig und **bundesweit Verstärkung**. Wir suchen daher **Consultants (m/w) in Festanstellung und in Vollzeit**.

Welche Aufgaben erwarten Sie?

Zu Ihren Aufgaben im Bereich Handel und Risikomanagement zählen unter anderem:

- Entwicklung von Strategien und die fachliche Konzeption der zugehörigen Methoden und Prozesse bis hin zur professionellen Implementierung
- Erstellung finanzmathematischer Modelle bis zur Umsetzung von real-time Schnittstellen
- Beratung zu Themen wie beispielsweise Kredite und Derivate, Ratingsysteme und Portfoliosteuerung, IFRS und Solvency II

Ihre Kompetenz:

- Exzellenter Universitätsabschluss (Diplom/ Master/Promotion) in Physik, (Wirtschafts-) Mathematik, (Wirtschafts-)Informatik, (Wirtschafts-)Ingenieurwesen oder weiterer Natur- und Wirtschaftswissenschaften mit entsprechend quantitativ ausgerichteten Vertiefungsrichtungen
- Sehr gute Deutsch- und Englischkenntnisse
- Weit überdurchschnittliche mathematische Fähigkeiten, idealerweise in den Bereichen Statistik, Numerik und Finanzmathematik
- Sehr gute IT-Kenntnisse
- Gerne auch bereits (erste) Berufserfahrung

Ihre Softskills:

- Analytisches Denken
- Ergebnisorientiertes Vorgehen
- Exzellente Kommunikationsfähigkeiten und Teamgeist
- Sehr schnelle Auffassungsgabe von komplexen Inhalten
- Beratungstalent sowie hohe Einsatzfreude
- Hohes Maß an Flexibilität und Belastbarkeit aufgrund der wechselnden Einsatzorte in Deutschland und weltweit

Wir bieten Ihnen:

- Intensive Einführungsschulungen in Ihr zukünftiges Aufgabenfeld
- Anspruchsvolles Weiterbildungsprogramm auf höchstem Niveau in Zusammenarbeit mit führenden internationalen Universitäten wie z.B. der University of Oxford oder ausgewählten Business Schools
- Die Möglichkeit, einen Master of Science (MSc) in Finanzmathematik, einen (Executive) MBA oder einen Abschluss als Chartered Financial Analyst (CFA) zu erwerben

Wenn Sie in einem Team hoch begabter und hoch motivierter Kollegen/-innen mitarbeiten wollen, große individuelle Freiräume, viel Eigenverantwortung sowie hervorragende Entwicklungsperspektiven suchen, freuen wir uns auf Ihre Bewerbung. Und durch unser flexibles Wohnortkonzept können Sie sogar Ihren jetzigen Wohnort beibehalten.

Sie sind interessiert?

Dann freuen wir uns auf Ihre Bewerbung unter Angabe der Kennziffer PJ2016B an: careers@d-fine.de

d-fine. Die Spezialisten für Risk&Finance.

Verantwortungsvoller Umgang

Auch wenn Nuklearkatastrophen extrem selten eintreten, ist es dringend erforderlich, Schutzmaßnahmen für den Katastrophenfall zu ergreifen.

Wolfgang Weiss

Tschernobyl, Fukushima, Sellafield, Hiroshima, Nagasaki – wir blicken auf 70 Jahre Erfahrung im Umgang mit Nuklearkatastrophen zurück. Da stellt sich die Frage, wie wir mit solchen Situationen verantwortungsvoll umgehen – wir, die Repräsentanten der Physik, die wesentlichen Anteil hatten und haben an den Entwicklungen nuklearer Technologien.

Nuklearkatastrophen treten extrem selten auf. Deshalb mag die Frage erlaubt sein, ob es überhaupt nötig ist, Vorsorge zu treffen, die Schutz und Sicherheit der im Katastrophenfall betroffenen Menschen „garantiert“. Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass Nuklearkatastrophen passieren können. Allein diese Tatsache begründet die Notwendigkeit zur Vorsorge, auch wenn diese Schutz und Sicherheit nicht „garantieren“ kann. Ziel muss es vielmehr sein, im Ereignisfall die Konsequenzen auf ein akzeptables Maß zu reduzieren. Dies setzt einen aktiven Dialog zwischen den verantwortlichen Organisationen, der Wissenschaft, der Industrie und der Bevölkerung voraus sowie die Bereitschaft jedes Einzelnen, angemessenen Vorbereitungen für den eigenen Schutz zu treffen.

Die Auswirkungen von Nuklearkatastrophen auf die menschliche Gesundheit und die Gesellschaft beschränken sich nicht auf die Wirkung ionisierender Strahlung: Die Situation in Japan hat in den letzten Jahren erneut gezeigt, dass auch die Angst vor möglichen Gefahren der Strahlung krank machen und den gesellschaftlichen Zusammenhalt destabilisieren kann.

Diese negativen Erfahrungen sind wesentlich auf mangelnde Vorsorge und Planung von Schutzmaßnahmen sowie die begrenzte psychische Widerstandsfähigkeit unserer Gesellschaft zurückzuführen. In der Folge wurden die

Grundlagen menschlichen Lebens und sozialer Strukturen immer wieder nachhaltig erschüttert und das Vertrauen in Wissenschaft, Industrie und in die politisch Verantwortlichen massiv gestört.

Die fachlichen Grundlagen zum Schutz von Mensch und Umwelt bei Nuklearkatastrophen liegen vor. Die praktische Umsetzung verlangt, dass menschliche und technische Ressourcen verfügbar sowie die für die Gefahrenabwehr etablierten Organisationseinheiten erfahren sind. Zudem muss die betroffene Bevölkerung bereit und in der Lage sein, bei der Bewältigung der Katastrophensituation mitzuwirken.

Obwohl umfangreiche Maßnahmen getroffen wurden, zeigten sich immer wieder Defizite:

- Schutzmaßnahmen wie die schnelle Evakuierung großer Menschenmengen sind mit Mortalitätsrisiken verbunden – in Fukushima starben nach der Evakuierung viele ältere Menschen, für die aufgrund ihres Alters ein strahlenbedingtes Krebsrisiko nicht gegeben war.
- Dekontaminationsmaßnahmen in hoch exponierten Lebensbereichen produzieren Abfälle – ein fundiertes Konzept zum Umgang mit solchen radioaktiv belasteten Materialien besteht aber nicht.
- Die vorliegenden Schutzkonzepte sehen vor, dass die aus hoch exponierten Gebieten umgesiedelten Menschen nach erfolgter Dekontamination in ihre Heimat zurückkehren dürfen – verbindliche Strahlenschutzkriterien hierfür fehlen jedoch.
- Die über ihre Gesundheit besorgten Menschen konsultieren Ärzte ihres Vertrauens – leider fehlt es bei vielen von ihnen aber an hinreichendem Fachwissen über die Risiken ionisierender Strahlung.

Die derzeit laufenden Vorbereitungen zur Umsetzung einer EU-Richtlinie zur „Festlegung grund-



Meinung von **Wolfgang Weiss**, ehemaliger Vorsitzender des wissenschaftlichen Komitees der Vereinten Nationen UNSCEAR (Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation)

legender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung“ in nationales Recht sowie die vielfältigen fachlichen Empfehlungen der Strahlenschutzkommission bieten die einmalige Gelegenheit, um die bestehenden Defizite zu beheben.

Was bleibt zu tun? Wir müssen akzeptieren, dass Nuklearkatastrophen geschehen können. Das gilt auch für Staaten, die kein Nuklearprogramm haben oder einen Ausstiegsbeschluss gefasst haben. Man stelle sich ein solches Ereignis in Europa mit seinen vielen nationalstaatlich unterschiedlichen Regularien zum Schutz der Menschen vor! Dennoch sollte man nicht in Panik oder Depression verfallen, sondern sich auf allen Handlungsebenen mit den denkbaren Gefahren solcher Ereignisse und den Schutzmöglichkeiten auseinander setzen und entsprechend Vorsorge treffen. Hier sind die etablierten Stellen der Gefahrenabwehr, die Wissenschaft und die Gesellschaft insgesamt gefordert. Wir müssen Methoden entwickeln, um radiologische Situationen charakterisieren und korrekt einschätzen zu können. Als Physiker sollten wir die zuständigen Organisationen fachlich unterstützen und die Menschen in unserem Umfeld kompetent beraten. Damit können wir einen wichtigen Beitrag zum verantwortlichen Umgang mit künftigen Nuklearkatastrophen leisten.

Aktuell

Empfehlungen für Exzellenz

Ende Januar hat die internationale Expertenkommission ihre Empfehlungen zur Fortsetzung der Exzellenzinitiative vorgestellt.

■ Seite 6

High-Tech

Molekularer Fitness-Tracker

Ein Multisensor-Armband erfasst Signalstoffe im Schweiß.

■ Seite 14



Brennpunkt

Reibung unter Zugzwang

Die Geometrie ineinandergeschlagener Buchseiten verstärkt Reibungskräfte bei Zugbelastung.

■ Seite 16

Forum

Von der Vision zur Fusion

In Südfrankreich entsteht das Fusionsexperiment ITER. Nach vielen Meldungen zu Kostensteigerungen und Verzögerungen hat der derzeitige Generaldirektor Bernard Bigot die Organisationsstrukturen vereinfacht. Neue Kosten- und Zeitpläne sind im Sommer zu erwarten.

■ Seite 25



MEINUNG

- 3 Verantwortungsvoller Umgang
Wolfgang Weiss

AKTUELL

- 6 Empfehlungen für Exzellenz
7 ESA: Datenautobahn im All
8 LISA Pathfinder: Die Würfel sind gefallen
10 Planetenjagd live verfolgen ■ Europäische Forschungsförderung: Rückblick und Ausblick
11 Wissenschaftsrat: Der Kern der Sache
12 Energiewende im Norden angekommen ■ USA: Forschung im Vergleich ■ Was machen Physik-Doktoren? ■ Keplers zweites Leben

HIGH-TECH

- 14 Photovoltaik mit Durchblick ■ Molekularer Fitness-Tracker ■ Wirkstoffe gezielt freisetzen ■ Kontrolleur im Tank

BRENNPUNKT

- 16 Reibung unter Zugzwang
Lars Pastewka
17 Gravitationswellen: Nachweis nach 100 Jahren
18 Carnot im Nanomaßstab
Ferdinand Schmidt-Kaler und Eric Lutz
20 Quantenmechanik mit leichten Quetschungen
Markus Aspelmeyer
22 Den Maxwellschen Dämon bannen
Sebastian Deffner

FORUM

- 25 Von der Vision zur Fusion
Kerstin Sonnabend

SCHWERPUNKT

- 30 Folgenreiche Katastrophen
31 Tschernobyl – 30 Jahre danach
Clemens Walther, Peter Brozynski und Sergiy Dubchak
39 Fukushima – fünf Jahre danach
Georg Steinhauser und Akio Koizumi

FORUM

- 44 „Fukushima ist mehr als dieser Unfall.“
Interview mit zwei Teilnehmern des
Fukushima Ambassador Program
Maike Pfalz

GESCHICHTE

- 47 Lange nach Newton
Herbert Pfister

PHYSIK IM ALLTAG

- 52 Ein Teppich aus Licht *Michael Vogel*

MENSCHEN

- 55 Personalien
58 „Mit meinem blauen NASA-Overall war ich der
Held!“ Interview mit Bernd Rohwedder

BÜCHER/SOFTWARE

- 60 *Naoto Kan*: Als Premierminister während der
Fukushima-Krise ■ *G. Ludwig, M. Gorbat-
schow*: Der lange Schatten von Tschernobyl

DPG

- 38 Plakat: DPG Mentoring-Programm
54 Ausschreibung: WE-Heraeus-Klausurtagungen
62 DPG Mentoring-Programm: **Im Tandem zum
Traumjob**
64 **50 Jahre DPG-Tagungen auf einen Klick**
65 jDPG-Theoretikerworkshop: **Informative Physik**
70 Physikschule: Extrasolar Planets: Formation
and Dynamics
96 Bewerberliste

Weitere Rubriken

- 66 Tagungen
68 Tagungskalender
69 Notizen
72 Firmenprofile
84 Neue Produkte
94 Stellenmarkt
A1 Service
U3 Impressum
U3 Inserentenverzeichnis

Aktuelle Nachrichten, alle Artikel im Volltext und
durchsuchbar sowie Stellenanzeigen und Produkte-
und Anbieterverzeichnis unter

www.physik-journal.de

Schwerpunkt Reaktorunfälle

Folgenreiche Katastrophen



In diesem Frühjahr jähren sich die
Reaktorunfälle von Tschernobyl und
Fukushima zum dreißigsten bzw.
fünften Mal. Bis heute ist die Explo-
sion des Reaktorblocks 4 im Kraft-
werk Tschernobyl vom 26. April 1986
der schlimmste Unfall in der Ge-
schichte der friedlichen Nutzung der
Kernenergie. Auch wenn der nukleare

Unfall im japanischen Kernkraftwerk Fukushima Daiichi nach
dem 11. März 2011 medial große Aufmerksamkeit
erlangte, lassen sich dessen Auswirkungen
nicht mit denen in Tschernobyl
vergleichen. Dennoch leben
in Japan bis heute Menschen
in Notunterkünften. Das
Gebiet um den Reaktor von
Tschernobyl hat sich seit dem
Unfall so gut erholt, dass dort
ein einzigartiges Ökosystem
entstanden ist.

■ ab Seite 30



Geschichte

Lange nach Newton

Warum es sich lohnt, das Trägheitsgesetz genauer unter
die Lupe zu nehmen.

■ Seite 47

Physik im Alltag

Ein Teppich aus Licht

Den Boden direkt neben einem Fahr-
zeug zu beleuchten, ist schwieriger
als man denkt. Wenn konventionelle
Optiken nicht infrage kommen, sind
Mikrolinsen die Lösung.

■ Seite 52



Titelbild

Rund um das Gelände des Kernkraft-
werks Fukushima Daiichi laufen im-
mer noch die Aufräumarbeiten (Bild:
K. Shozogawa / U Tokio, vgl. S. 39)

Empfehlungen für Exzellenz

Ende Januar hat die internationale Expertenkommission ihre Empfehlungen zur Fortsetzung der Exzellenzinitiative vorgestellt.

+) Weitere Artikel zur Exzellenzinitiative in unserem Dossier www.prophysik.de/phy/physik/dossier.html?qid=1158815

#) Der Bericht findet sich unter www.gwk-bonn.de/fileadmin/Papers/Imboden-Bericht-2016.pdf

Wohl kaum ein Förderprogramm hat die deutschen Universitäten dermaßen in Aufruhr versetzt wie die Exzellenzinitiative.^{+) Bund und Länder haben stolze 4,6 Milliarden Euro für 12 Jahre zur Verfügung gestellt und die Universitäten dazu aufgerufen, ihr Profil zu schärfen und sich fachlich auszudifferenzieren. Inzwischen ist klar, dass die Exzellenzinitiative nicht 2017 enden wird. Um aber zu entscheiden, wie genau es danach weitergehen soll, haben Bund und Länder im Herbst 2014 eine internationale Expertenkommission eingesetzt, um die Exzellenzinitiative zu evaluieren. Ende Januar hat die Kommission, die der emeritierte Physikprofessor von der ETH Zürich, Dieter Imboden, zusammengestellt und geleitet hat, ihren mit Spannung erwarteten Bericht vorgelegt.^{#)}}

Die Kernbotschaft lautet: Die Exzellenzinitiative hat ihr wichtigstes Ziel, nämlich eine neue Dynamik in das deutsche Universitätssystem zu bringen, erreicht. Die Kommission empfiehlt daher, die Exzellenzinitiative mindestens wie bisher fortzusetzen, d. h. mit rund 500 Millionen Euro pro Jahr zu finanzieren. Dies deckt sich mit dem Beschluss der Gemeinsamen Wissenschaftskonferenz (GWK) vom 11. Dezember 2014. Dieter Imboden hebt aber hervor: „Die Exzellenzinitiative hat das



Die LMU München ist eine der Universitäten, die mit ihrem Zukunftskonzept schon 2006 in der ersten Antragsrunde der Exzellenzinitiative überzeugen konnten.

Bewusstsein gestärkt, dass die Universitäten sich bewegen müssen. Nun müssen die Universitäten diese Erkenntnis auch umsetzen.“ Der Weg in die Gruppe der globalen Spitzenuniversitäten sei daher noch lang. Insbesondere haben sich die deutschen Universitäten noch nicht genügend nach Forschungsschwerpunkten ausdifferenziert. Dies erfordere unter anderem eine größere universitäre Autonomie mit starken Führungsstrukturen („Governance“) – auch hier sieht die Kommission Nachholbedarf. „Für mich der wichtigste Punkt ist, dass die Universitäten anfangen, sich als Einheit zu begreifen, und dies auch nach außen vertreten“, empfiehlt Imboden.

Im Zuge des Wettbewerbsföderalismus kann die Exzellenzinitiative nun auf die Landeshochschulgesetze einwirken und dadurch die institutionellen Rahmenbedingungen des gesamten deutschen Universitätssystems verbessern, so der Bericht. Auch die Internationalisierung kann die Initiative positiv beeinflussen. Die Situation für den wissenschaftlichen Nachwuchs habe sich allerdings eher verschärft, da er durch die zahlreichen neuen befristeten Postdoc-Stellen länger an der Uni bleiben könne. „Die Weichen für eine Karriere in der Wissenschaft oder eben in der Industrie müssen früher gestellt werden“, ist Dieter Imboden überzeugt. „Beim Ballett gibt es eine ebenso starke Selektion, dort findet das aber niemand ungerecht.“

Für die Fortsetzung der Exzellenzinitiative empfiehlt die Kommission zunächst, die laufenden Projekte bis 2019 zu fördern. Das mildert den Zeitdruck auf Seiten der Universitäten und gibt ausreichend Zeit, um die Vorschläge der Kommission auszugestalten. Einer davon ist es, künftig nur noch zwei statt drei Förderlinien anzubieten: Die Exzellenzcluster bleiben erhalten, sollen vom Zuschnitt her risikofreudiger und offener im Hinblick auf Thematik und finanzia-

KURZGEFASST

Lehrerbildung im Quadrat

Das KIT und die PH Karlsruhe erhalten für das Verbundprojekt MINT²KA in den nächsten fünf Jahren bis zu zwei Millionen Euro vom Wissenschaftsministerium Baden-Württemberg. Damit wird u. a. ein gemeinsames fachdidaktisches Promotionskolleg eingerichtet.

Kurzbefristungen unterbinden

Mit dem „Ersten Gesetz zur Änderung des WissZeitVG“ steuert die Bundesregierung Fehlentwicklungen in der Befristungspraxis entgegen. Die Befristungsdauer soll künftig nur von der angestrebten Qualifikation oder dem

Projektzeitraum bei Drittmittelfinanzierung abhängen. Damit erhält der wissenschaftliche Nachwuchs mehr Planbarkeit.

Transistoren mit einem Elektron

Das Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf erforscht mit dem EU-Projekt Ions4Set die Möglichkeit, Transistoren massenweise zu produzieren, die mit einem Elektron geschaltet werden. Ihr Einsatzgebiet ist das rasant wachsende „Internet der Dinge“. Mit Partnern aus fünf europäischen Ländern stehen in vier Jahren insgesamt vier Millionen Euro zur Verfügung.

ellen Umfang sein und eine Laufzeit von sieben bis acht Jahren haben. In der zweiten Förderlinie „Exzellenzprämie“ sollen die zehn besten Universitäten über einen Zeitraum von ebenfalls sieben bis acht Jahren eine Jahresprämie von 15 Millionen Euro erhalten. Damit können die Universitätsleitungen beispielsweise bestehende oder im Aufbau befindliche vielversprechende Forschungsgebiete nach eigener Auswahl stärken.

Diese Empfehlungen stehen im Einklang mit Vorschlägen des Deutschen Hochschulverbandes (DHV) oder der German U15, einem Zusammenschluss von 15 forschungsstarken Universitäten in Deutschland. Beide hatten beispielsweise gefordert, die Förderzeiträume zu verlängern, innovative Governance-Modelle zu unterstützen und zehn Spitzenstandorte

zu schaffen und längerfristig zu fördern. Der Evaluationsbericht ist auf viel positives Echo gestoßen. So begrüßte DHV-Präsident Bernhard Kempen insbesondere die unmissverständliche Empfehlung, weiterhin auf die Förderung universitärer Spitzenforschung zu setzen und das Programm nicht auszuweiten, um Fachhochschulen oder Spitzenregionen zu fördern. „Wissenschaftliche Exzellenz muss sich in erster Linie nach Leistung und nicht nach regionalem Proporz bemessen“, ist er überzeugt. Auch der Präsident der Helmholtz-Gemeinschaft, Otmar Wiestler, freute sich über das positive Zeugnis für die Exzellenzinitiative, die in seinen Augen essenziell sei, um den Wissenschaftsstandort Deutschland zu sichern und voranzubringen. „Wir benötigen starke und wettbewerbsfähige Universitäten“, sagte Wiestler.

Wie die Empfehlungen der Expertenkommission konkret umgesetzt werden, muss sich zeigen. Plan ist, in der GWK-Sitzung im April eine neue Bund-Länder-Vereinbarung der Exzellenzinitiative zu beschließen und sie den Regierungschefs von Bund und Ländern im Juni zur Entscheidung vorzulegen. Bleibt zu hoffen, dass das Nachfolgeprogramm der Exzellenzinitiative dabei hilft, den erfolgreich eingeschlagenen Weg fortzusetzen und das Bewusstsein für diese Veränderungen weiter zu stärken. Denn ein weiteres Defizit zeigte sich bei der Evaluation, wie Dieter Imboden verdeutlicht: „Der Funke ist noch nicht übergesprungen auf diejenigen Professoren und Studierenden, die nicht direkt von der Exzellenzinitiative profitiert haben. Das soll sich ändern!“

Maika Pfalz

■ Datenautobahn im All

Optische Laserverbindungen sollen Satellitendaten schneller zur Erde leiten.

Satelliten in niedriger Erdumlaufbahn können ihre Daten erst zur Erde senden, wenn sie in Reichweite einer Bodenstation gelangen. Für zeitkritische Daten ist diese Wartezeit von bis zu neunzig Minuten oft zu lang. Daher hat die europäische Weltraumorganisation ESA im Rahmen einer öffentlich-privaten Partnerschaft mit Airbus Defence and Space das ehrgeizige Telekommunikationsprogramm European Data Relay Satellite System (EDRS) ins Leben gerufen: Bis 2017 sollen zwei Laserterminals auf geostationären Bahnen die Daten mit Geschwindigkeiten von 1,8 Gbit/s und nahezu in Echtzeit zur Erde leiten. Am 29. Januar ist das erste Terminal, EDRS-A, an Bord einer Proton-Rakete von Baikonur in Kasachstan gestartet.

Ein Objekt auf einer geostationären Bahn in einer Höhe von rund 36 000 Kilometern scheint am Himmel still zu stehen, wenn es exakt die gleiche Winkelgeschwindigkeit besitzt wie die Erde. Die Laserterminals sind daher ständig



Die Laserterminals an Bord der EDRS-Satelliten entwickelte und baute das DLR. Sie ermöglichen die Übertragung von Daten in Echtzeit mit Raten bis zu 1,8 Gbit/s.

in Kontakt mit einer der Bodenstationen von EDRS.¹⁾ Wenn sie einen erdnahen Kommunikationssatelliten lokalisieren, stellen sie zu nächst eine Verbindung her. Dann schickt der Satellit seine Daten an das EDRS-Modul, das sie über eine Hochgeschwindigkeitsfunkverbindung an die Bodenstationen weiterleitet. Von dort aus werden die Daten den Nutzern zur Verfügung gestellt.

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) entwickelte und baute die Laserterminals der EDRS-Knoten. Zudem ist das Deutsche Raumfahrtkontrollzentrum des DLR in Oberpfaffenhofen dafür zuständig, sie zu kontrollieren. Dazu investierte das DLR aus Forschungsmitteln 8,7 Millionen Euro; das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie stellte weitere

DLR

¹⁾ Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt betreibt zwei Bodenstationen in Weilheim. In Redu (Belgien) und Harwell (England) befindet sich jeweils eine Bodenstation der ESA.

7,5 Millionen zur Verfügung. „Damit leistet Deutschland einen wesentlichen Beitrag für diese Mission“, unterstreicht die Vorstandsvorsitzende des DLR, Pascale Ehrenfreund.

Das erste Laserterminal EDRS-A befindet sich als „Gast“ an Bord des französischen Satelliten Eutelsat 9B. Seine allgemeine Funktionsfähigkeit wird seit Ende Februar überprüft. Nach Abschluss der Tests wollen ESA, Airbus und DLR die Verbindung zu den ersten Nutznießern, den Sentinel-Satelliten des Copernicus-Programms, aufbauen. Die Kommunikationssatelliten

Sentinel-1, -2A und -2B sammeln Daten, die zur Beobachtung von Umwelt, Verkehr und Wirtschaft sowie der Sicherheitslage dienen.

Mit Sentinel-3A startete der vierte Satellit am 16. Februar vom russischen Kosmodrom Plessezk aus. An Bord befinden sich mehrere Instrumente, um speziell Meere und Ozeane zu beobachten. Daten zur Atmosphäre ergänzen die Informationen von Sentinel-1, während die Beobachtung von Landflächen die Satelliten von Sentinel-2 unterstützt. Sobald sich der Satellit Sentinel-3A von der Trägerrakete trennt, führen Spezialisten der

ESOC in Darmstadt die ersten Tests zum Datentransfer aus.

Für das Laserterminal EDRS-A plant Airbus, die Dienste ab Sommer kommerziell freizugeben. Das zweite Terminal soll 2017 starten, sodass ab 2018 auch die Internationale Raumstation über EDRS mit der Erde kommunizieren kann. Um eine komplette weltweite Abdeckung zu ermöglichen, soll ab 2020 ein drittes Terminal über der asiatisch-pazifischen Region die Erweiterung zu „GlobeNet“ starten und die Datenmenge pro Tag auf mehr als 50 Terabyte steigern.

Kerstin Sonnabend

■ Die Würfel sind gefallen

Die Mission LISA Pathfinder hat ihren Zielpunkt erreicht und wichtige Systeme erfolgreich getestet.

Der erste Nachweis von Gravitationswellen ist kein Endpunkt, sondern erst der Anfang einer neuen Art der Astronomie. Wichtige Voraussetzung dafür ist die Mission LISA Pathfinder, welche die Technik für das geplante Gravitationswellen-Observatorium eLISA im All testen soll. Während LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) Gravitationswellen mit Wellenperioden von Millisekundendauer nachweisen kann, soll eLISA (evolved Laser Interferometer Space Antenna) in den Sekunden- bis Minutenbereich vorstoßen. Hier kommen super-schwere Schwarze Löcher, wie man sie im Zentrum von Galaxien findet, ins Blickfeld.

LISA Pathfinder startete am 3. Dezember 2013 ins All und erreichte am 22. Januar sein Ziel, den Lagrange-Punkt L1 in 1,5 Millionen Kilometern Entfernung von der Erde. Dafür genügte eine einzige, statt der ursprünglich zwei geplanten Zündungen des Antriebsmoduls, das anschließend abgetrennt wurde. Für die Stabilisierung und weitere Lageregelung des Satelliten kamen die Kaltgas-Mikronewton-Triebwerke von LISA Pathfinder zum Einsatz.

Zwischen dem 11. und 13. Januar diesen Jahres wurden erste Kom-



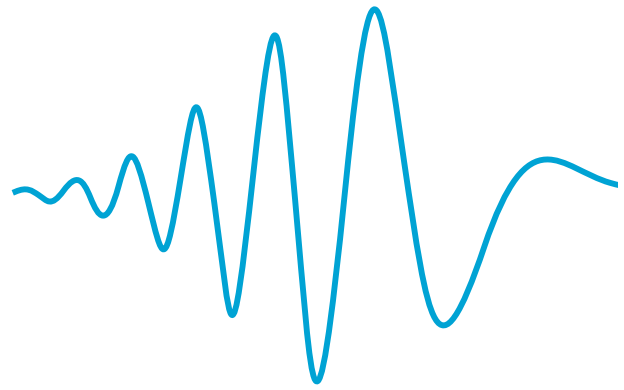
LISA Pathfinder hat sich mittlerweile von seiner Antriebseinheit getrennt.

ponenten der wissenschaftlichen Nutzlast erfolgreich getestet, die maßgeblich das Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik entwickelt und gebaut hat: das Lasersystem, das Datenmanagement und einige der Trägheitssensoren. Am 15. Februar lösten sich die beiden Testmassen des Experiments erfolgreich aus ihrer Verankerung. Dabei handelt es sich um zwei Würfel aus einer speziellen Gold-Platin-Legierung, die sich in separaten, etwa 40 Zentimeter voneinander entfernten Vakuumtanks befinden. Während des Missionsbetriebs sollen diese nahezu frei von inneren und äußeren Störkräften schweben und so die präzise Vermessung einer kräftefreien Bewegung im

Raum demonstrieren. Mit einem ausgeklügelten Laserinterferometer sollen die Positionen und die Ausrichtung der beiden Testmassen relativ zum Satelliten und zueinander mit bisher unerreichter Genauigkeit von etwa 10 Pikometern gemessen werden. „Ich bin sehr froh und zufrieden, dass die ersten Tests so gut gelaufen sind. Dies sind die ersten Schritte auf dem Weg zu dem einzigartigen Weltraumlaboratorium“, sagte Karsten Danzmann, Direktor am MPI für Gravitationsphysik und Co-Principal Investigator der wissenschaftlichen Nutzlast. Diese soll nach letzten Checks ab 1. März ihren regulären Betrieb aufnehmen.

Alexander Pawlak

New 600 MHz AWG



Arbitrary Waveform Generator Includes

- 2 Channels, 1.8 GSa/s, 14 bit
- 128 MSa waveform memory
- Efficient waveform programming
- Fast feed-forward (< 150 ns) for sequence branching
- AWG amplitude modulation

Choose your detection scheme



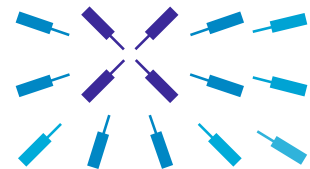
Pulse counter



Demodulation



Digitizer



Find out more today.
www.zhinst.com

Zurich
Instruments

■ Planetenjagd live verfolgen

Astronomen suchen einen Planeten um den sonnennächsten Stern, und die Öffentlichkeit ist Zeuge.

1) Die Homepage des Projekts findet sich auf palereddot.org.

In der Astronomie ist die Entdeckung von Exoplaneten mittlerweile Routine. Bislang ließen sich über 2074 Planeten in rund 1321 extrasolaren Systemen nachweisen. Bis Anfang April kann die Öffentlichkeit die Suche nach einem erdähnlichen Exoplaneten um unseren nächsten Sonnennachbarn Proxima Centauri mitverfolgen. Die Beoberkungskampagne, die seit Mitte Januar läuft, wird von Blogs und Sozialen Medien begleitet. Tägliche Updates geben der breiten Öffentlichkeit die Gelegenheit, sich über den Fortschritt der Beobachtungen und Ereignisse an den beteiligten Observatorien zu informieren.¹⁾

„Wir gehen das Risiko ein, die Öffentlichkeit zu beteiligen, noch bevor wir überhaupt wissen, was uns die Beobachtungen sagen werden“, sagt Guillem Anglada-Escude, der Projektkoordinator. Eine erfolglose Suche ist also nicht ausgeschlossen. Doch die Astronomen sind optimistisch: Frühere Beobachtungen ergaben vielversprechende, wenn auch noch zu schwache Hinweise auf einen kleinen Begleiter, der diesen roten Zwergstern umkreisen könnte.



Proxima Centauri ist rund 4,2 Lichtjahre von unserer Sonne entfernt.

Die Beobachtungen werden mit dem „High Accuracy Radial velocity Planet Searcher“ (HARPS) durchgeführt, der am 3,6-Meter-Teleskop der ESO am La Silla-Observatorium befestigt ist. Zwei Teleskopnetzwerke (BOOTES und LCGOT) unterstützen die Suche, indem sie die Helligkeit von Proxima Centauri in jeder Nacht des auf zweieinhalb Monate angesetzten Projekts messen. Mit diesen Beobachtungen entscheiden die Astronomen, ob Schwankungen der Sternbewegung auf Eigenschaften seiner turbulenten Oberfläche

beruhen oder durch einen umlaufenden Planeten verursacht sind.

Sobald die Daten von den verschiedenen Teleskopen vorliegen, können die Astronomen ihre Analysen starten. In den darauf folgenden Monaten geht es darum, die Untersuchungsmethoden und die Schlussfolgerungen in einem Fachartikel zu beschreiben. Die Veröffentlichung bildet den Abschluss des publikumswirksamen Projekts. Die Öffentlichkeit kann neben der wissenschaftlichen Beobachtung verfolgen, wie Forschung an modernen Observatorien betrieben wird und wie Astronomen kooperieren, um Daten zu sammeln, zu analysieren und zu interpretieren.

Der Name der Kampagne wurde vom berühmten „Pale Blue Dot“-Bild der Erde inspiriert, das die Sonde Voyager 1 im Jahr 1990 auf Anregung von Carl Sagan aus einer Entfernung von etwa sechs Milliarden Kilometern aufgenommen hat. Da Proxima Centauri ein roter Zwergstern ist, erwarten Astronomen, dass ein Exoplanet, der ihn umläuft, rötlich erscheint.

ESO / Alexander Pawlak

■ Europäische Forschungsförderung: Rückblick und Ausblick

Evaluation des 7. Forschungsrahmenprogramms und Szenarien für 2050

Die Europäische Union hat ihr 7. Forschungsrahmenprogramm (FP7), das von 2007 bis 2013 lief und inzwischen von Horizon 2020 abgelöst wurde, evaluieren lassen.⁺⁾ Eine unabhängige „High Level Expert Group“ unter Leitung von Louise O. Fresco (Universität Wageningen, Niederlande) und André Martinuzzi (Wirtschaftsuniversität Wien, Österreich) hat die Evaluation mit dem Ergebnis durchgeführt, dass die Auswirkungen der eingesetzten Forschungsgelder zwar sehr positiv waren, gleichzeitig aber z. B. die Strukturen des Programms zu komplex.

Insgesamt flossen im FP7 bisher 55 Milliarden Euro – erst 2018 werden die letzten Maßnahmen abgeschlossen sein. Obwohl dies nur drei Prozent der gesamten europäischen Forschungs- und Entwicklungsausgaben im fraglichen Zeitraum waren, spricht der Evaluationsbericht den FP7-Maßnahmen eine entscheidende Wirksamkeit zu. So schätzt er den „Return“ in neuen Produkten und Technologien und das „ökonomische Potenzial“ auf bis zu 500 Milliarden Euro. Die FP7-Projekte führten zu 1700 Schutzrechtsanmeldungen (Intellectual Property Registrations), 125

Spin-off-Gründungen, 165 000 wissenschaftlichen Veröffentlichungen und allein 2014 zu einem Nobelpreis und zwei Fields-Medaillen. Universitäten erhielten 44 Prozent, Forschungsorganisationen 27 Prozent, Großkonzerne 11 Prozent und kleine und mittlere Unternehmen (KMU) 13 Prozent der Mittel. Bei den Universitäten waren britische, niederländische und deutsche Hochschulen am erfolgreichsten. Allerdings wurden in Deutschland viele geförderte Projekte nicht universitär, sondern über die Max-Planck- und die Fraunhofer-Gesellschaft organisiert. Süd- und

+) ec.europa.eu/research/evaluations/index_en.cfm

&) ec.europa.eu/research/foresight/pdf/knowledge_future_2050.pdf

osteuropäische Universitäten waren infolge der Finanzkrise aufgrund zu geringer Eigenmittel nur relativ schwach vertreten – dieser Trend hat sich im Nachfolgeprogramm Horizon 2020 noch verstärkt.

Die Evaluierungsgruppe kritisiert neben der zu komplexen Struktur der verschiedenen Förderprogramme auch die zu geringe Zahl außereuropäischer Teilnehmer, die ineffektiven internen Evaluierungen und vor allem den nach wie vor zu niedrigen Frauenanteil. So stieg der Anteil der Projektkoordinatorinnen zwischen 2006 und 2012 nur von 16 auf 19 Prozent.

Etwa gleichzeitig mit der FP7-Evaluation erhielt die Europäische Kommission den Bericht „The Knowledge Future: Intelligent policy choices for Europe 2050“ von der Kommission KT2050.⁸⁾ Diese 18-köpfige unabhängige Expertengruppe von EU-Befürwortern und -Skeptikern aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik unter der Leitung des US-amerikanischen Wissenschaftsjournalisten Richard L. Hudson entwarf zwei Szenarien für das Jahr 2050, in denen Europa entweder Forschung, Innovation und Hochschulen erfolgreich reformiert und weltweit vernetzt hat oder aber von globalen Megatrends fremdgesteuert wird.

Um nicht in das zweite Szenario zu gelangen, sei es laut Hudson wichtig, eine offene Wissensgesellschaft zu gestalten, regional verteilte, autonom agierende Innovationszentren zu schaffen und in ganz Europa politisch und wissenschaftlich zu kooperieren. Eine entscheidende Voraussetzung dafür sei eine ausreichende öffentliche Finanzierung: „Wissen ist nicht billig.“ Dies gelte insbesondere für Themen der Grundlagenforschung wie Kosmologie oder Quantenphysik, die von der privatwirtschaftlich organisierten Forschung nicht abgedeckt werden. Daher ist für KT2050 ein „Worst-case-Szenario“ für die Wissensgesellschaft, wenn es Konzernen und großen Privatvermögen weiterhin gelingt, Steuerzahlungen weitgehend zu vermeiden.

Matthias Delbrück

■ Der Kern der Sache

Der Wissenschaftsrat präsentiert eine Vorgabe zur Erhebung von Forschungsdaten.

Für Hochschulen und andere Forschungseinrichtungen gehört es zum Alltag, Berichte über ihre Forschungsaktivitäten zu verfassen. Drittmittelgeber wie die DFG oder das BMBF holen zur Evaluation der Projekte Daten ein, die ähnliche Inhalte betreffen. Dennoch mangelte es bisher an einheitlichen Definitionen und einem Standard, welche Daten den Kern eines Forschungsberichts bilden sollen. Mehr als zwei Jahre nach der Empfehlung des Wissenschaftsrats (WR), einen „Kerndatensatz Forschung“ zu entwickeln, gibt es nun eine Vorgabe, die unter Federführung des Deutschen Zentrums für Hochschul- und Wissenschaftsforschung entstand.¹⁾

Danach sollen die Kerndaten die sechs Bereiche Beschäftigte, Nachwuchsförderung, Drittmittel und Finanzen, Patente und Ausgründungen, Publikationen sowie Forschungsinfrastrukturen abdecken.

Die einheitlichen Definitionen erlauben es, die Daten einmal für alle Berichte zu erstellen, sodass der Aufwand aufseiten der Berichten kleiner wird. Gleichzeitig liefert der Standard vergleichbarere Daten als bisher. Ein Beispiel aus dem Bereich Beschäftigte: Der Kerndatensatz unterscheidet zwischen der Anzahl der Personen (Kopfzahlen) und den Vollzeitäquivalenten. Aus dem Vergleich der Daten ergibt sich direkt ein Maß für Teilzeitverträge, ohne dass diese im Detail aufgeführt sind.

Damit die Vorgabe breite Zustimmung und später auch Anwendung findet, prüften zunächst einige Pilotenrichtungen ihre Praxistauglichkeit. Anschließend hatten alle Forschungseinrichtungen die Möglichkeit, Verbesserungsvorschläge zu machen. Etwa 1800 Rückmeldungen gingen in die nun vorliegende Version 1.0 ein.²⁾ Um Veränderungen im Wissenschaftssystem zu berücksichtigen, plant der WR, den Kerndatensatz alle fünf Jahre zu analysieren und weiterzuentwickeln.

WR / Kerstin Sonnabend

1) Vollständiger Text unter www.wissenschaftsrat.de/download/archiv/5066-16.pdf

2) Spezifikation des Kerndatensatz Forschung, www.kerndatensatz-forschung.de

GRÜNER WÜRFEL



G. Otto/GSI

Mit dem Green IT Cube wurde eines der leistungsfähigsten wissenschaftlichen Rechenzentren der Welt auf dem Gelände des GSI Helmholtzzentrums für Schwerionenforschung in Darmstadt eröffnet. Die Anlage spart Energie und Kosten: Die Rechner werden nicht mit Luft, sondern mit Wasser gekühlt und sind platzsparend auf

sechs Stockwerken angeordnet. Das innovative Konzept der Anlage, die Volker Lindenstruth (FIAS) federführend entwickelt hat, wurde bereits mehrfach ausgezeichnet, unter anderem mit dem „Green IT Best Practice Award“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. (KS)

■ Energiewende im Norden angekommen

Eine forsa-Umfrage belegt ein Nord-Süd-Gefälle bei der Akzeptanz in der deutschen Bevölkerung.

Eine forsa-Umfrage im Auftrag des Clusters Erneuerbare Energien Hamburg (EEHH) ergab, dass die Energiewende in den nördlichen Bundesländern Bremen, Hamburg, Niedersachsen und Schleswig-Holstein mehr Fürsprecher besitzt (80 Prozent) als in den südlichen Bundesländern Baden-Württemberg und Bayern (72 Prozent) und in der Mitte Deutschlands (73 Prozent). Eine mögliche Ursache sieht Jan Rispens, Geschäftsführer des EEHH, in der langjährigen Erfahrung der Menschen im Norden



mit Infrastrukturprojekten wie Windparks. Der Süden sei dagegen sensibler für die Kostendiskussion und skeptischer gegenüber dem Flächenbedarf, z. B. für den Bau von Stromtrassen.^{#)}

Bundesweit betrachtet sind die Befragten im Alter von 18 bis 29 Jahren gegenüber dem Bau von Windenergieanlagen oder Stromtrassen in Wohnortnähe am aufgeschlossensten. Die Gruppe der 45- bis 59-Jährigen ist am ehesten bereit, Strom aus Windenergieanlagen zu nutzen. Für Rispens zeigt die Umfrage vor allem, dass es wichtig ist, die Menschen in Bezug auf erneuerbare Energien aufzuklären, um eine breite Akzeptanz der Maßnahmen zu schaffen.

EEHH / Kerstin Sonnabend

#) Der Cluster EEHH setzt sich in der Metropolregion Hamburg für Erneuerbare Energien ein: www.eehh.de

USA

Forschung im Vergleich

Alle zwei Jahre veröffentlicht die National Science Foundation die „Science and Engineering Indicators“, die viele statistische Informationen über wissenschaftliche und technologische Entwicklungen in den USA und anderen Ländern enthalten.¹⁾ Noch liegen die USA in der Forschung unangefochten in Führung. Doch der Konkurrent China kommt mit Riesenschritten näher, was die Ausgaben für Forschung und Entwicklung (F&E) angeht. Wenn der gegenwärtige Trend anhält, wird China die USA 2022 überholen. Während in den USA der Anteil der F&E-Ausgaben am Bruttoinlandsprodukt von 2011 zu 2013 bei 2,73 Prozent auf hohem Niveau stagnierte, hat China ihn deutlich auf 2,08 Prozent gesteigert

– zusätzlich zu einer ohnehin starken Zunahme seiner Wirtschaftsleistung. Auch die anderen asiatischen Industrienationen haben kräftig zugelegt, sodass sich die weltweiten F&E-Ausgaben immer mehr nach Asien verschieben. Die starke Beschränkung der Staatsausgaben lässt den USA wenig Spielraum, auf diese Entwicklung zu reagieren.

Im Rahmen der „Indicators“ wurde zudem die Forschungsliteratur ausgewertet. Weltweit wurden 2013 etwa 2,2 Millionen wissenschaftliche Veröffentlichungen gezählt, von denen 18,8 Prozent aus den USA kamen, 18,2 Prozent aus China und 27,5 Prozent aus den EU-Staaten. In der Physik gab es 2013 rund 203 000 Veröffentlichungen – daran hatten die USA einen Anteil von 21,0 Prozent, China 21,6 Prozent und die EU-Staaten 44,1 Prozent. Ein Blick auf die Autorenlisten aller Artikel zeigt, dass die Zahl der internationalen Kooperationen zunimmt, wobei Wissenschaftler aus kleineren Ländern häufiger mit Kollegen aus größeren kooperierten. Der Anteil der wissenschaftlichen Veröffentlichungen mit internationaler Autorenliste betrug 2013 weltweit 19 Prozent – 2000 waren es noch 13 Prozent. Veröffentlichungen

aus China waren zu rund 16 Prozent international, aus den USA zu 33 Prozent, während die Quote für Deutschland, Frankreich und Großbritannien mit etwa 50 Prozent deutlich größer war. Unter den Fachdisziplinen lag die Astronomie vorn, bei der die Veröffentlichungen zu 53 Prozent eine internationale Autorenschaft hatten. Bei der Physik waren es ca. 24 Prozent.

Was machen Physik-Doktoren?

Eine Studie des American Institute of Physics untersucht, was die Physik-Doktoren von 2013 und 2014 ein Jahr nach ihrer Promotion beruflich machten.²⁾ Eine ähnliche Studie gab es kürzlich auch zu den Master-Absolventen.³⁾ In den beiden Jahren gab es insgesamt 3546 PhD-Absolventen in der Physik (Ausländeranteil 48 Prozent), von denen 48 Prozent an der Befragung teilnahmen. Nach ihrer Promotion hatten acht Prozent der US-Amerikaner und 23 Prozent der Ausländer die USA verlassen, meist um eine Postdoktorandenstelle anzutreten. Von den in den USA gebliebenen Doktoren hatten 40 Prozent der US-Bürger eine voraussichtlich dauerhafte Stelle gefunden, aber nur 35 Prozent der Ausländer. Als Postdokto-

1) www.nsf.gov/statistics/2016/nsb20161

2) www.aip.org/statistics/reports/physics-doctorates-one-year-after-degree

3) Physik Journal, Februar 2016, S. 15

Kennzahlen zu F&E-Ausgaben 2013

Land/Region	Ausgaben in Mrd. \$ (Änderung zu 2011)	globaler Anteil in %	Anteil am BSP in %
Asien-5*	632 (+35,9 %)	37,8	–
EU	342 (+6,9 %)	20,5	1,91
USA	457 (+6,5 %)	27,3	2,73
China	336 (+61,6 %)	20,1	2,08
Japan	160 (+9,4 %)	9,6	3,47
Deutschland	101 (+8,6 %)	6,0	2,85
Südkorea	69 (+15,0 %)	4,1	4,15
Frankreich	55 (+5,8 %)	3,3	2,23
Großbritannien	40 (+0,6 %)	2,4	1,63

* Asien-5: China, Indien, Japan, Südkorea und Taiwan

randen arbeiteten 43 Prozent der US-Amerikaner und 52 Prozent ihrer ausländischen Fachkollegen. Andere befristete Stellen (z. B. als Gastdozenten, Lehrbeauftragte oder Forscher) hatten 11 Prozent der US-Bürger und neun Prozent der Ausländer, arbeitslos waren sechs bzw. fünf Prozent.

Welcher Beschäftigung die Physiker nachgingen, hing stark von dem Gebiet ab, in dem sie promoviert hatten. Kamen sie aus der Angewandten Physik oder der Optik und Photonik, hatten 55 Prozent von ihnen eine Dauerstelle und 37 Prozent waren Postdoktoranden. Anders sah es z. B. bei den Kernphysikern aus, von denen nur 20 Prozent dauerhaft beschäftigt waren, aber 70 Prozent als Postdoktoranden arbeiteten. Als häufigste Gründe, warum sie eine Postdoktorandenstelle angenommen hatten, nannten die Physiker, dies sei nötig, um zukünftig eine gewünschte Dauerstelle zu bekommen oder um mehr Erfahrung in ihrem Forschungsgebiet zu sammeln.

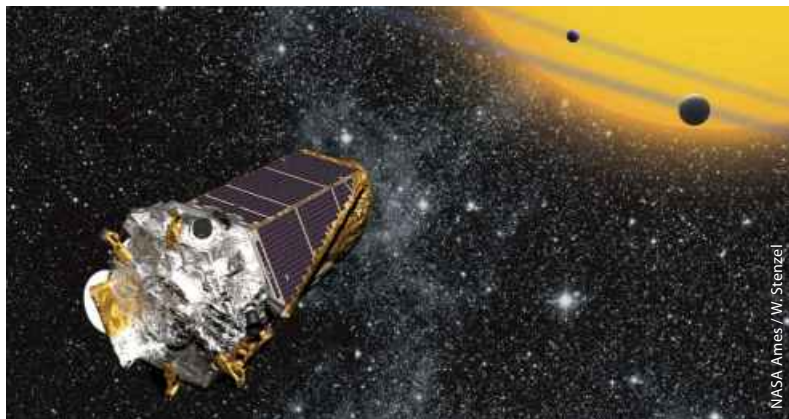
Keplers zweites Leben

Das Kepler-Weltraumteleskop der NASA hat von 2009 bis 2013 ein bestimmtes Himmelsgebiet im Sternbild Schwan nach erdähnlichen extrasolaren Planeten abgesucht und dabei mindestens 1030 Exoplaneten und weitere 4600 Kandidaten entdeckt. Doch dann führte ein irreparabler technischer Defekt dazu, dass sich das Teleskop nicht mehr mit der erforderlichen Präzision

ausrichten ließ. Bei der NASA fand man indes eine Lösung. Im Rahmen der neuen K2-Mission erhielt das Teleskop 2014 die Aufgabe, in einem anderen Himmelsabschnitt nach helleren Exoplaneten zu suchen, die sich mit kürzerer Beobachtungszeit und weniger präziser Ausrichtung aufspüren lassen.

Anfang Januar zog die American Astronomical Society auf einer Konferenz eine positive Zwischenbilanz. Demnach hatte K2 im ersten Jahr mehr als 100 extrasolare Planeten und weitere 200 Kandidaten entdeckt. Darunter waren 28 Exoplaneten, die mit mindestens einem weiteren Planeten ihren Stern umkreisen, 14 gehörten zu einem Sternsystem mit drei Planeten. Die von K2 entdeckten Exoplaneten sind heller und meist auch nicht so weit von der Erde entfernt wie die von der ursprünglichen Kepler-Mission aufgespürten. Dadurch ist es möglich, diese Exoplaneten auch mit anderen Teleskopen von der Erde aus oder aus dem Weltraum weiter zu beobachten. Bisher hat K2 nach Sternen gesucht, deren Licht durch einen umlaufenden Planeten vorübergehend abgeschwächt wird. Ab April wird K2 seine Jagdstrategie ändern und drei Monate lang danach Ausschau halten, ob kosmische Objekte vorübergehend heller werden, weil nicht nur ein Stern, sondern zusätzlich ein vorbeiziehender Planet als Gravitationslinse ihr Licht ablenkt. Die Astronomen erwarten, dabei 85 bis 120 von solchen planetaren Mikrolinsen zu finden.

Rainer Scharf



Nach einem irreparablen technischen Defekt des Stabilisationssystems hat das Weltraumteleskop Kepler eine neue Aufgabe bekommen.



Dr. Felix Rohde, Product Management

Select any Wavelength!

Frequency combs are an ideal solution for tasks that require a precise reference for optical frequencies. Typical applications are high-resolution spectroscopy, optical clocks for precision-time keeping, navigation, OPCPA seeding, dimensional metrology and communications.

TOPTICA offers complete solutions including the frequency comb, wavelength conversion, beat detection and stabilization units for cw-lasers. The fiber-based systems provide the convenience of fiber lasers and achieve an ultra-low noise performance that outpaces titanium-sapphire technology. This comb creates a completely new laser experience to **lock around the clock!**

Frequency Combs @ TOPTICA

- ▶ All-fiber-based offset-free frequency comb
- ▶ Passive phase-stability by difference frequency generation
- ▶ 4 outputs @ 1560 nm (ν_{CEO} -free)
- ▶ Frequency conversion (420 - 2200 nm)



■ Photovoltaik mit Durchblick

Aus Oxiden einfach verfügbarer Metalle lassen sich transparente Solarzellen herstellen.

Bislang sind Solarzellen vor allem für den sichtbaren Spektralbereich ausgelegt. Wenn sich das ändern

Ladungsträger, indem die Löcher aus der ZnO- in die NiO-Schicht wandern.

Im sichtbaren Spektralbereich erreicht die Zelle eine durchschnittliche Transmission von 46 Prozent. Dieser Wert dürfte problemlos zu steigern sein, wie Messungen an transparenten Transistoren mit NiO-Gate zeigen (Transmission um 80 Prozent). Die externe Quantenausbeute der Zelle liegt bei maximal 55 Prozent. Allerdings erreicht der elektrische Wirkungsgrad über das gesamte Spektrum aufgrund des hohen Innenwiderstands der Zelle nur 0,1 Prozent, bezogen auf den UV-Bereich immerhin 3,1 Prozent.

lässt sich zum Beispiel am Handgelenk tragen und detektiert die Signalstoffe mit einer Anordnung aus funktionalisierten Elektroden. Die Signale gelangen per Bluetooth zu einer App.

Schweiß enthält hunderte unterschiedliche Teilchen – von einfachen Natrium- und Kalium-Ionen bis zu komplexen organischen Molekülen wie Glukose und Laktat. Ihr Anteil gibt Auskunft über die Verfassung der Person. Für jede Substanz ist bei dem neuartigen Fitness-Tracker jeweils eine andere Elektrode zuständig. Zur Messung des Glukose- und Laktat-Spiegels sind auf den Elektroden jeweils spezifische Enzyme aufgebracht. Um Kalium- und Natrium-Ionen zu registrieren, befindet sich auf der jeweiligen Elektrode eine spezifische ionenselektive Schicht. Da alle Messungen temperaturabhängig sind, erfasst ein Widerstandssensor kontinuierlich die Temperatur an der Hautoberfläche des Trägers.

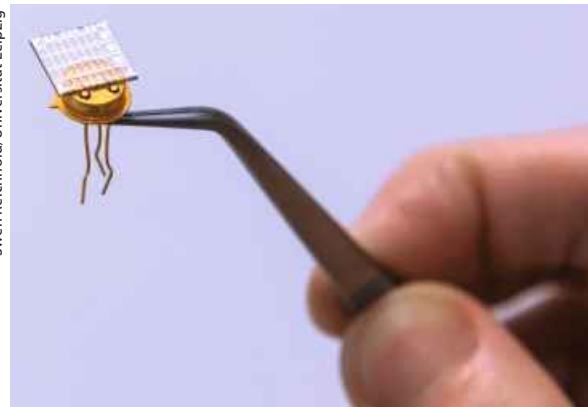
Die Wissenschaftler haben ihr Multisensor-Armband an einigen Dutzend Personen getestet. Interessant könnte die Technologie für die Diagnose von Krankheiten, im Leistungssport oder bei Drogen-tests werden.

■ Wirkstoffe gezielt freisetzen

Ein hydrodynamisches System erzeugt Tropfen, die Substanzen getrennt transportieren.

Bei heutigen Chemotherapien gelangt meist nur ein kleiner Teil des Wirkstoffs zum Tumor, der Großteil wird auf dem Weg dorthin von anderen Organen aufgenommen und schädigt diese. Schon länger denken Wissenschaftler daher über Verfahren nach, um Wirkstoffe möglichst nebenwirkungsfrei an ihren Einsatzort zu befördern. Forscher der University of Science and Technology of China in Hefei und der Ohio State University in Columbus haben gemeinsam ein Verfahren entwickelt, das auf einem hydrodynamischen Ansatz beruht.³⁾

Sie verwenden ein System aus zwei feinen Nadeln, die sich in



Das Labormuster der transparenten Metalloxidsolarzelle besitzt noch einen eher kleinen Wirkungsgrad.

ließe, wären neue Anwendungen möglich. Zum Beispiel könnte man Fenster und Glasdächer zur Stromerzeugung nutzen. Auch Displays bekämen so neben ihrer Aufgabe als Benutzerschnittstelle eine zweite Funktion, etwa in Smartphones. Geeignete Solarzellen müssten aber nicht nur im UV- oder IR-Bereich Photonen absorbieren, sondern gleichzeitig im visuellen Spektrum transparent bleiben. Bisher schienen dafür vor allem organische Materialien geeignet. Wissenschaftler um Marius Grundmann von der Universität Leipzig haben nun Solarzellen aus Zink- und Nickeloxiden entwickelt.¹⁾

Die Herausforderung bestand darin, einen transparenten pn-Heteroübergang zu entwickeln, der nicht nur als Photodetektor funktioniert, sondern tatsächlich Photonen in elektrischen Strom umwandelt. Der Heteroübergang der Leipziger Forscher besteht aus einer n-leitenden Schicht ZnO und einer p-leitenden Schicht NiO, die physikalisch aus der Gasphase auf ein Substrat abgeschieden wurden. Die Zelle besitzt eine Absorptionskante bei 380 nm und ist daher nur für UV-Licht empfindlich. Die UV-Photonen werden in der ZnO-Schicht absorbiert. Der ZnO/NiO-Übergang trennt die durch die Photonen erzeugten überschüssigen

■ Molekularer Fitness-Tracker

Ein Multisensor-Armband erfasst Signalstoffe im Schweiß.

Die Auswahl an Fitness-Trackern für die Überwachung von Bewegung und Herzschlag wächst rasch. Wissenschaftler der University of California in Berkeley und der Stanford University haben nun ein Konzept vorgestellt, bei dem ein vollintegriertes, drahtloses Sensorarmband die Verfassung eines Menschen auf molekularer Ebene überwacht.²⁾ Dazu werden Signalstoffe im Schweiß analysiert, die über den physiologischen Zustand und Stoffwechsel des Trägers Auskunft geben.

Die Auswertelektronik des Sensors befindet sich auf einer elastischen Platine, die auf einem Kunststoffband befestigt ist. Das Band

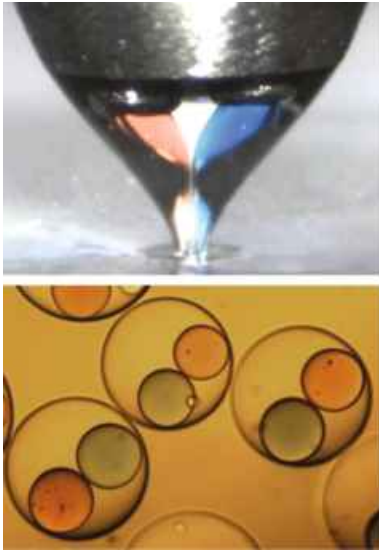


Der Tracker der US-Forscher sitzt am Handgelenk und analysiert den Schweiß.

1) R. Karsthoft et al., Phys. Status Solidi A 213, 30 (2016)

2) W. Gao et al., Nature 529, 509 (2016)

3) T. Si et al., Appl. Phys. Lett. 108, 021601 (2016)



Aufnahme des Flüssigkeitsstroms beim Austritt durch die Öffnung (oben). Die Paraffintropfen bleiben im Hüll-Tropfen erhalten (unten).

einer etwas dickeren Nadel befinden. Alles zusammen ist in einer Gaskammer montiert. Durch die beiden inneren Nadeln lassen sich zwei unterschiedliche Flüssigkeiten leiten. Eine weitere Flüssigkeit strömt durch die äußere Nadel und bildet später die Transporthülle. Wenn alle drei Substanzen die Kammer durch eine gemeinsame Öffnung verlassen, zwingt der Gasstrom sie in einen schmalen Strahl, der in einzelne Hüll-Tropfen zerfällt. Anhand der relativen Strömungsgeschwindigkeiten der beteiligten Substanzen lässt sich einstellen, ob jeder Hüll-Tropfen zwei oder mehr Tröpfchen mit den Substanzen aus den feinen Nadeln enthält.

Die Wissenschaftler testeten ihr System mit rotem und blauem Paraffin als Ersatz für medizinische Wirkstoffe sowie einer Substanz als Hüllmaterial, die gallertartig wird, wenn die Tropfen in eine Kalziumchloridlösung fallen. Derzeit kann das System 1000 bis 100 000 Tropfen pro Sekunde erzeugen, die jeweils 100 µm groß sind. Die kleinen Paraffintropfen im Innern behalten wegen ihrer hohen Oberflächenspannung ihre Form bei. Erst durch eine äußere Einwirkung wie Vibration vermischen sie sich. Durch die chemische Auflösung der äußeren Hülle konnten die Forscher die Paraffintropfen später freisetzen.

■ Kontrolleur im Tank

Die dielektrische Spektroskopie verrät Kältestabilität und Alter eines Kraftstoffs.

Die Fließfähigkeit von Kraftstoffen hängt von der Temperatur ab. Den Toleranzbereich dafür regeln Normen. Messtechnisch lässt sich die Temperaturabhängigkeit mit einer etablierten Labormethode überprüfen, die auf einer Filterung beruht. Diese Methode ist aber relativ langsam und erfordert verhältnismäßig große Kraftstoffmengen.

Forscher der Hochschule Coburg haben nun ein alternatives Verfahren entwickelt, das auf der dielektrischen Spektroskopie beruht. Dabei kommt der zu analysierende Kraftstoff mit einer meanderförmigen Elektrodenstruktur in Kontakt, einem „Interdigitalkondensator“. Wirkt auf die Moleküle des Kraftstoffs ein äußeres elektrisches Wechselfeld, ändert sich die Orientierung ihres Dipolmoments. Da es bei sinkenden Temperaturen jedoch zur Kristallisation im Kraftstoff kommt, reagieren die Moleküle zunehmend träger, was sich im elektrischen Signal bemerkbar macht. Das Verfahren erwies sich bei Vergleichsmessungen als mindestens ebenbürtig zur etablierten Labormethode, teilweise war es ihr überlegen. Außerdem lässt sich das neue Verfahren miniaturisieren – bis hin zur chipintegrierten Lösung.

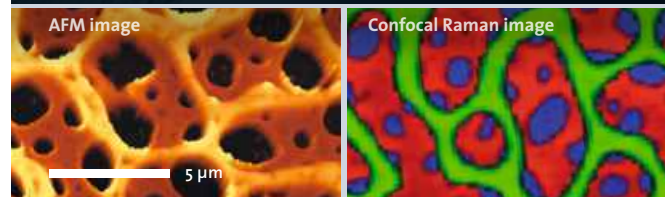
Das ist interessant, weil die dielektrische Spektroskopie auch in der Lage ist, die Kraftstoffalterung zu untersuchen: Durch Oxidation entstehen im Kraftstoff größere Moleküle, die sich träger im Polarisationsfeld ausrichten als die kleineren Moleküle in frischem Kraftstoff. Die zunehmende Verbreitung von Hybridfahrzeugen macht dies zum Alltagsproblem: Solche Fahrzeuge kommen für die Fahrt zur Arbeit und zum Einkaufen allein mit Strom aus. Der Kraftstoff im Tank wäre nur noch für die längere Urlaubsfahrt erforderlich. Bis dahin ist der Kraftstoff aber womöglich bereits deutlich oxidiert und damit weniger leistungsfähig.

Michael Vogel

WITec
focus innovations

PIONEERS BY PROFESSION

The Apollo and Soyuz spacecraft met, combining their efforts for the first time on 17 July 1975.



Polymer blend on glass

WITec's Raman AFM combines the materials analysis capability of confocal Raman imaging with the ultra-high topographic and lateral resolution of an AFM. These two complementary techniques are available in a single instrument for more flexible and comprehensive sample characterization.

Combine techniques and the sky is no limit with WITec's pioneering technology.



Microscopy
TODAY
INNOVATION AWARD



alpha300 AR
First fully integrated
Raman Imaging/AFM
combination

■ Reibung unter Zugzwang

Die Geometrie ineinander geschlagener Buchseiten verstärkt Reibungskräfte bei Zugbelastung.

#) Das Video findet sich unter bit.ly/20VsERo

+) www.discovery.com/tv-shows/mythbusters/videos/phone-book-friction

Reibung zwischen Festkörpern hält die Welt um uns herum zusammen. Sie sorgt dafür, dass wir laufen können, dass Schraubverbindungen halten und dass Dünen nicht in sich zusammen fallen. Eine Reibungskraft F_R entsteht, wenn zwei Körper mit einer endlichen Normalkraft F_N gegeneinander drücken. Die Normalkraft heißt auch Last und hat unterschiedliche Ursprünge: Bei Schraubverbindungen wandelt die wendelförmige Geometrie die Kraft beim Verschrauben in Normal- und Axialkraft um. Bei trockenen Dünen entsteht die Normalkraft zwischen den Sandkörnern durch das Gewicht der weiter oben liegenden Körner. Wenn wir am Strand eine Burg aus feuchtem Sand bauen, bilden sich Kapillarbrücken zwischen den Körnern aus, die anziehend und daher wie Normalkräfte wirken.

Erste systematische Studien der Reibung hat bereits Leonardo da Vinci vor mehr als fünfhundert Jahren durchgeführt [1]. Etwa zweihundert Jahre später formulierte Amontons die mathematische Formel $F_R = \mu \cdot F_N$. Reibungskraft F_R und Normalkraft F_N sind über den Reibungskoeffizienten μ miteinander verknüpft – diese Formel begegnet uns bereits in der Schule. Das Erstaunliche am Amontonschen Gesetz ist, dass die Reibungskraft nicht von der scheinbar kontaktierenden Fläche abhängt. Heute wissen wir, dass dies auf mikroskopische Oberflächenrauigkeit zurückzuführen ist [2]: Lediglich ein paar Rauheitsspitzen der kontaktie-

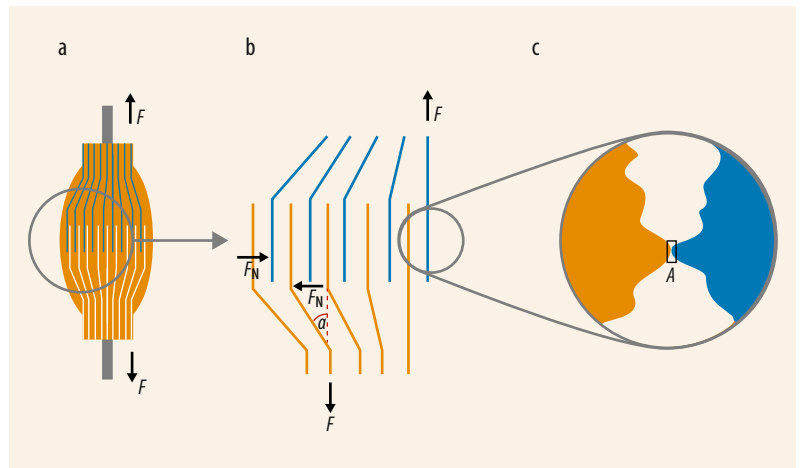


Abb. 1 Legt man die Seiten zweier Bücher ineinander, sind diese dicker als jeder Einband (a). Die Buchseiten liegen dann nicht parallel aufeinander, sondern in einem nach außen größer werdenden

renden Flächen sind in atomarem Kontakt, als ob zwei Berglandschaften kopfüber aneinander drücken würden (Abb. 1). Nimmt die Last F_N zu, wird die Oberfläche elastisch deformiert: Die Rauheitsspitzen nehmen ab, und die Fläche A , an der sich die Körper tatsächlich berühren, steigt proportional zu F_N an [3]. Wenn eine konstante mechanische Spannung τ nötig ist, um zwei sich berührende Festkörper gegeneinander zu bewegen, ergibt sich eine Reibungskraft $F_R = \tau \cdot A$. Weil die Fläche A proportional zur Last F_N ist, folgt wiederum das Amontonssche Gesetz.

Ohne eine Normalkraft oder Last gibt es daher keine oder nur geringe Reibungskräfte. Legt man die Seiten zweier Telefonbücher nach und nach ineinander und versucht dann, die Bücher an ihren

Winkel α . Eine Zugkraft F spaltet geometrisch in zwei Komponenten auf (b). Der Kontakt der Seiten erfolgt nur über die Spitzen der rauhen Oberfläche und ist auf die Fläche A beschränkt (c).

Buchrücken auseinanderzuziehen, ist dafür aufgrund der Reibung eine endliche Kraft nötig. Nicht nur ihre eigene Gewichtskraft presst die einzelnen Seiten dabei unter Zug zusammen, denn diese vermeintlich lose Verbindung hält enormen Kräften stand: In Fernsehensendungen wie den französischen Cobayes^{#)} und den amerikanischen Mythbusters⁺⁾ halten zwei Telefonbücher beispielsweise das Gewicht eines Autos (Abb. 2). Hector Alarcón und Kollegen zeigten nun in systematischen Studien, dass Bücher mit fünfzig bis hundert Seiten Kräfte halten können, die weit größer als Kilonewton sind [4].

Die enormen Kräfte entstehen durch die Geometrie des Versuchs und lassen sich durch das Amontonsche Gesetz erklären. Zwei Bücher, deren Seiten ineinander verzahnt sind, sind dicker als ihr jeweiliger Einband (Abb. 1). Zieht man nun an den Buchrücken, werden die einzelnen Seiten nicht parallel zu dieser Kraft, sondern unter einem Winkel α aus dem Verbund gezogen. Damit spaltet sich die aufgebrachte Kraft – ähnlich der schiefen Ebene oder der Schraubverbindung – geometrisch zu einer Tangentialkraft und einer Normalkraft auf (Abb. 1). Die Geometrie des Buchs macht also einen

Abb. 2 In der französischen Fernsehensendung „On n'est pas que des cobayes!“ hängt ein Auto an der vermeintlich losen Verbindung zweier Telefonbücher.



Teil der Zugkraft F zu einer Last F_N , welche die einzelnen Buchseiten sogar zusammenpresst. Dabei pressen die außenliegenden Seiten die inneren Seiten stärker zusammen, sodass die inneren Seiten einen größeren Teil der anliegenden Zugkraft tragen. Je stärker die Zugkraft, desto stärker drücken die Seiten aufeinander. Damit wächst die Normalkraft an und nach dem Amontonschen Gesetz auch die Reibungskraft, die nun zu überwinden ist – die Kraft verstärkt sich selbst. Alarcón und Kollegen zeigten, dass die Geometrie tatsächlich entscheidend ist: Liegen die Buchseiten genau parallel zum Buchrücken, sind die auftretenden Kräfte verschwindend klein.

Nach dem Amontonschen Gesetz ergibt sich keine Reibungskraft, wenn die Normalkraft verschwindet. Damit der selbstverstärkende Mechanismus funktioniert, muss auch bei verschwindend kleiner Normalkraft F_N noch eine endliche Reibungskraft $F_{R,0}$ zwischen zwei Buchseiten wirken – sonst gleiten die Seiten immer reibungsfrei aneinander vorbei. Alarcón und Kollegen präsentieren eine mathematische Lösung des Problems, in der die endliche Reibungskraft $F_{R,0}$ als Randbedingung auftaucht. In ihrer Analyse ist wichtig, dass die Geometrie der ineinander geschobenen Bücher die Randbedingung verstärkt. Weil innen- und außenliegende Seiten unterschiedlich beitragen, hängt der Verstärkungsfaktor näherungsweise exponentiell vom Reibungskoeffizienten μ und der Anzahl der Buchseiten im Quadrat ab. So verstärken hundert Buchseiten eine minimale Kraft $F_{R,0}$ von einem Hundertstel Newton um mehrere Größenordnungen bis zu Kilonewton.

Die Autoren spekulieren, dass sich die minimale Kraft $F_{R,0}$ daraus ergibt, wie die einzelnen Buchseiten auf ihr Verbiegen elastisch reagieren. Sie folgern, dass dadurch sehr kleine Zugkräfte eine kleine, aber nicht verschwindende Last zur Folge haben. Kräfte in dieser Größenordnung können aber auch anderen Ursprungs sein: Beispielsweise wirkt Adhäsion wie eine zusätzliche

Normalkraft und führt damit zu endlicher Reibung auch ohne Normalkraft. Der Zusammenhalt durch Adhäsion ist für viele Materialien nicht vernachlässigbar.

Mechanismen der Kraftverstärkung finden sich auch in Seilwinden oder -spillen: Die Leine lässt sich durch kleine Kräfte aufwickeln. Um sie rutschend von Winde oder Spill zu ziehen, sind aber enorm große Kräfte nötig. Mit ihrem Experiment ist es Alarcón und Kollegen gelungen, mittlere Reibungskoeffizienten zu messen. Für Papier zeigt sich dabei, dass die Proportionalität des Amontonschen Gesetzes nicht exakt gilt: Werden die Lasten immer kleiner, ergeben sich höhere Reibungskoeffizienten. Diese Beobachtung ist konsistent mit

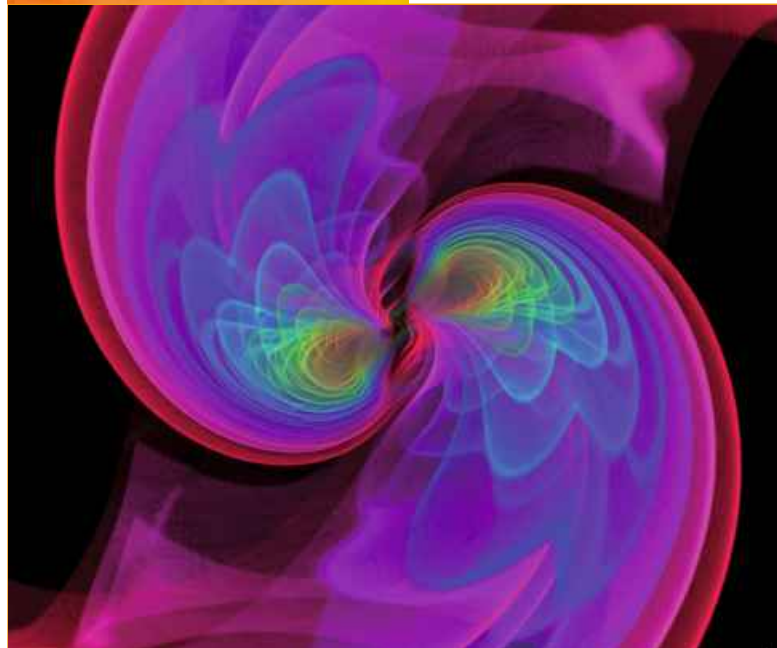
einem Reibungsgesetz der Form $F_R = F_{R,0} + \mu \cdot F_N$. Hier divergiert der Reibungskoeffizient $\mu = F_R / F_N$ bei kleinen F_N , sodass Reibung auch ohne Last möglich ist. Reibungsgesetze diese Art gelten auch für andere Materialien wie z. B. Metalle. Die gewagte Spielerei, ein Auto an zwei Telefonbüchern in die Luft zu ziehen, lässt sich mit der Physik der Reibung recht einfach erklären.

Lars Pastewka

- [1] A. A. Piteris, D. Dowson und W. G. Sawyer, *Tribol. Lett.* **56**, 509 (2014)
- [2] F. P. Bowden und D. Tabor, *The Friction and Lubrication of Solids*, Oxford University Press (1950)
- [3] B. N. J. Persson et al., *J. Phys. Condens. Matter* **17**, R1 (2005)
- [4] H. Alarcón et al., *Phys. Rev. Lett.* **116**, 015502 (2016)

Dr. Lars Pastewka,
Institut für Ange-
wandte Materialien,
Karlsruher Institut
für Technologie,
Engelbert-Arnold-
Str. 4, 76131 Karlsruhe

NACHWEIS NACH 100 JAHREN



Num.-rel. Simulation: S. Ossokine, A. Buonanno (MPI für Gravitationsphysik),
Wiss. Visualisierung: W. Bengler (Airborne Hydro Mapping GmbH)

Genau hundert Jahre, nachdem Albert Einstein die Existenz von Gravitationswellen vorhergesagt hat, ist es mit den beiden LIGO-Detektoren in den USA gelungen, sie erstmals direkt nachzuweisen. Dies gab die LIGO-Kollaboration am 11. Februar 2016 in einer Pressekonferenz bekannt. Das beobachtete Signal hat eine statistische Signifikanz von 5,1 Standardabweichungen. Es stammt von zwei Schwarzen Löchern mit 29 bzw. 36 Sonnenmassen, die vor 1,3 Milliarden Jahren zu einem einzigen Schwarzen Loch verschmolzen sind. Die Masse des neuen Schwarzen Lochs beträgt etwa 62 Sonnenmassen. Demnach ist im Bruchteil einer Sekunde die Energie von etwa drei Sonnenmassen

in Form von Gravitationswellen abgestrahlt worden.

Der Weg zum Nachweis war weit: Bereits in den 1980er-Jahren schlugen Rainer Weiss, Kip Thorne und Ronald Drever LIGO als Detektor für Gravitationswellen vor. Heute gehören mehr als tausend Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus 15 Ländern zu der Kollaboration, darunter viele deutsche Forscher, ohne deren technologische Entwicklungen dieser Nachweis nicht möglich gewesen wäre.

Ein ausführlicher Artikel folgt in der Aprilausgabe des *Physik Journal*. (MP) B. P. Abbott et al. (LIGO Sci. Coll. und Virgo Coll.), *Phys. Rev. Lett.* **116**, 061102 (2016)

■ Carnot im Nanomaßstab

Bei einer winzigen Wärmekraftmaschine bestimmen Fluktuationen die thermodynamischen Größen.

Wärmekraftmaschinen begegnen uns praktisch überall. Die Umwandlung von Wärmeenergie in mechanische Arbeit ist schließlich Basis für die meisten Antriebsarten wie Dampfmaschinen, Automotoren und Flugzeugtriebwerke. Ein typischer Automotor bringt eine Leistung von 100 Kilowatt und wiegt etwa hundert Kilogramm. Das Arbeitsmedium umfasst dabei eine sehr große Zahl von Molekülen in der Größenordnung von 10^{24} . Seit den bahnbrechenden Arbeiten von Sadi Carnot (1796 – 1832) sind die Grundprinzipien dieser makroskopischen Wärmekraftmaschinen gut verstanden. Betragen die Ausmaße der Maschinen aber nur Mikrometer oder gar Nanometer, ergeben sich völlig neuartige Eigenschaften: Statt allein durch Mittelwerte von Messgrößen wie Arbeit, Wärme und Druck sind mikroskopische Maschinen auch von den Fluktuationen dieser Größen bestimmt. Der relative Einfluss der Fluktuationen steigt stark an, wenn das Arbeitsmedium nur noch aus wenigen oder sogar nur noch aus einem einzigen Molekül besteht. Aus der Sicht der klassischen Wärmelehre überrascht es besonders, dass sowohl die abgegebene Leistung als auch der Wirkungsgrad einer mikroskopischen Maschine fluktuierende Größen werden.

Um solche Effekte genauer zu studieren, ist es sinnvoll, Wärmekraftmaschinen mit Abmessungen von wenigen Mikrometern zu bauen und zu betreiben. Dafür haben Forscher einer Kollaboration von Instituten in Spanien, Frankreich und Deutschland nun ein in Wasser befindliches Kolloidteilchen mit einem Mikrometer Durchmesser in einem stark fokussierten Laserstrahl gefangen [1]. Die optische Kraft und damit das einschließende harmonische Potential, in dem sich das Kolloidteilchen befindet, stellten sie über die Intensität des Laserlichts ein. Ändert man das Potential schnell, führt dies zu

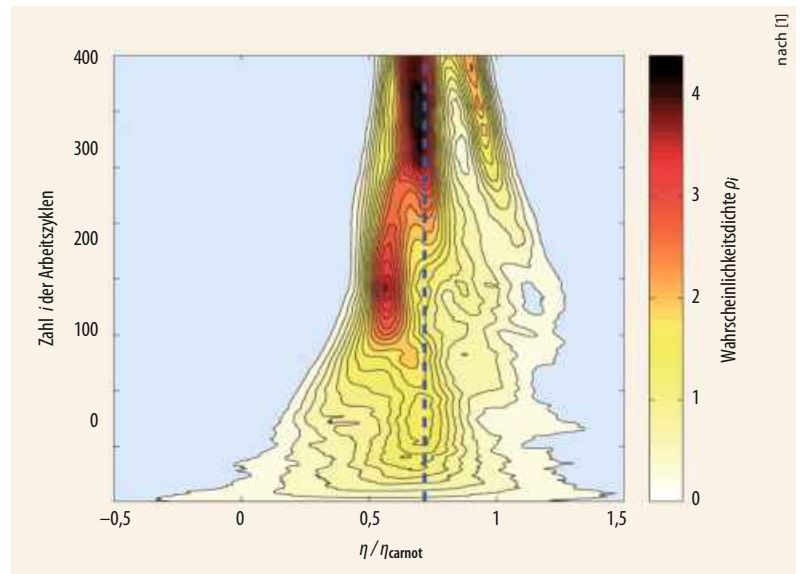


Abb. 1 Der Wirkungsgrad einer Wärmekraftmaschine im Mikrometermaßstab fluktuiert bei maximaler Leistung deutlich. Das zeigt der Konturplot für die Wahrscheinlichkeitsdichte bis 400 Taktzyklen. Selbst nach 400 Zyklen ist die

Verteilung noch breit. Erst über sehr lange Zeit und viele Taktzyklen gemittelt erreicht der Wirkungsgrad einen festen Grenzwert (blaue Linie).

einem adiabatischen Prozess. Bei langsamer Variation arbeitet die Maschine in einem isothermen Takt. Solche Experimente, bei denen Laser ein Glaskügelchen in Wasser kontrollieren, dienten bereits dazu, den Stirling-Kreisprozess zu demonstrieren [2]. Das Forscher-Team hat damit nun einen Carnot-Kreisprozess realisiert. Der mikroskopische Kolben durchläuft also die wohlbekannte Abfolge von isothermer Kompression, adiabatischer Kompression, isothermer Expansion und adiabatischer Expansion. Der besondere Trick ist dabei eine maßgeschneiderte Temperatur des mikroskopischen Wärmebades. Dafür verwendeten die Forscher elektrisch geladene Kolloide, die sie mit einem veräuschten elektrischen Antriebsfeld anregten. Dadurch konnten sie eine erheblich höhere Temperatur von bis zu 1000 °C erreichen, als dies in Wasser möglich gewesen wäre. Um die Bewegung des Mikrokolbens im Arbeitstakt zu messen, verfolgten die Forscher die periodische Auslenkung der Kolloidkugel mit einem Mikroskop, um

daraus die geleistete Arbeit sowie den Wirkungsgrad des Prozesses zu bestimmen. Der Wirkungsgrad bei maximaler Ausgangsleistung beträgt nach Frank Curzon und Boyle Ahlborn $\eta_{CA} = 1 - \sqrt{T_k/T_w}$ und hängt vom Verhältnis der Temperaturen des warmen und kalten Bades ab. Im Experiment erreichte der Wirkungsgrad bei einer Zyklusdauer von 40 Millisekunden, also bei 15 000 Umdrehungen pro Minute, 57 Prozent der maximal möglichen Carnot-Effizienz – in guter Übereinstimmung mit theoretischen Erwartungen.

Martínez und Kollegen wiesen erstmals die Fluktuationen beim Wirkungsgrad nach (Abb. 1). Die Daten zeigen eindrucksvoll, dass der gemessene Wirkungsgrad dieser Mikromaschine eine breite Verteilung aufweist. Mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit liegt der Wirkungsgrad über oder auch unter dem Langzeit-Mittelwert, der sich über sehr viele Zyklen ergibt. Verblüffend ist dabei, dass in manchen Realisierungen die gemessenen Eigenschaften der Maschine deutlich besser sind als die klassischen

Gesetze der Thermodynamik eigentlich zulassen! Solche Fluktuationen des Wirkungsgrades sind ein hochaktuelles Forschungsthema [3]. Das vorgestellte Experiment erlaubt es, die Theorien der Nichtgleichgewichtsthermodynamik zu überprüfen. Im Langzeit-Mittel gelten aber auch für diese Mikromaschine die Hauptsätze der Thermodynamik, und ihr Wirkungsgrad nimmt den klassisch erwarteten Wert an.

In Zukunft könnten Experimente wie dieses dabei helfen, Maschinen zu konstruieren, die auf der molekularen Skala nützliche Arbeit verrichten. Eine faszinierende Aussicht sind mechanische Nano-Roboter, die auf solchen Prozessen basieren und wichtige Transportaufgaben innerhalb der Zellen übernehmen könnten. Obwohl das sehr nach Science-Fiction klingt, gibt es dazu bereits erste erfolgreiche Experimente [4].

Ein weiterer Aspekt zukünftiger Forschung liegt in der Untersuchung von Wärmekraftmaschi-

nen in der Quantenphysik. In theoretischen Arbeiten wurde vorgeschlagen, die Leistung einer Wärmekraftmaschine durch die Kopplung an ein Quantenbad zu steigern. Dies können etwa kohärente, gequetschte oder nichtklassisch-korrelierte Bäder [5] sein, die z. B. überlagerte oder verschränkte Zustände aufweisen. So bieten sich vielfältige Möglichkeiten, über die Paradigmen der klassischen Thermodynamik hinauszugehen und neuartige Motoren zu bauen.

Quantenbäder zwingen uns ebenfalls, einen genaueren Blick auf die Grundlagen thermodynamischer Größen zu werfen, insbesondere die der Entropie. Eine interessante Verbindung zwischen Thermodynamik und Quantenfehlerkorrektur ist das algorithmische Kühlen, bei dem einem System Entropie entzogen wird [6]. Für eine experimentelle Umsetzung von Quanten-Wärmekraftmaschinen ist eine ausgezeichnete Kontrolle von System und Bad unabdingbar.

Daher eignen sich dafür vermutlich Ionenkristalle in Paul-Fallen [7] oder nanomechanische Oszillatoren höchster Güte [8] besonders gut.

**Ferdinand Schmidt-Kaler
und Eric Lutz**

Prof. Dr. Ferdinand Schmidt-Kaler, QUANTUM, Institut für Physik, Universität Mainz und **Prof. Dr. Eric Lutz**, Institut für Theoretische Physik II, Uni Erlangen-Nürnberg

- [1] *I. A. Martínez et al.*, *Nature Phys.* **12**, 67 (2015)
- [2] *V. Blickle und C. Bechinger*, *Nature Phys.* **8**, 143 (2012)
- [3] *G. Verley et al.*, *Nature Comm.* **5**, 4721 (2014); *M. Polettini, G. Verley und M. Esposito*, *Phys. Rev. Lett.* **114**, 050601 (2015)
- [4] *S. M. Douglas, I. Bachelet und G. M. Church*, *Science* **335**, 831 (2012)
- [5] *M. O. Scully et al.*, *Science* **299**, 862 (2003); *J. Roßnagel et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **112**, 03602 (2014); *R. Dillenschneider und E. Lutz*, *Europhys. Lett.* **88**, 50003 (2009)
- [6] *J. Baugh et al.*, *Nature* **438**, 470 (2005)
- [7] *D. Leibfried et al.*, *Rev. Mod. Phys.* **75**, 281 (2003); *O. Abah et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **109**, 203006 (2012)
- [8] *M. Aspelmeyer, T. J. Kippenberg und F. Marquardt*, *Rev. Mod. Phys.* **86**, 1391 (2014); *A. Dechant, N. Kiesel und E. Lutz*, *Phys. Rev. Lett.* **114**, 183602 (2015)



Unsere Produkte für Ihre Anwendungen

Profitieren Sie von unserer Fachkenntnis



- **Materialwissenschaften**
Systeme zur Messung magnetischer, mechanischer, optischer und thermischer Materialeigenschaften
- **Spektroskopie**
Spektrometer, modulare optische Spektroskopie und Komponenten
- **Imaging**
Imaging Systeme und wissenschaftliche Kameras von Röntgen bis IR
- **Kryotechnologie**
Heliumverflüssiger, Kryostate und kryogene Kontrollsysteme
- **Optiken**
Größte Bandbreite von optischen Filtern und Komponenten
- **Licht & Laser**
Wissenschaftliche Lichtquellen und Lichtmessgeräte
- **Life science**
Systeme und Komponenten zur Untersuchung von biophysikalischen Phänomenen
- **Elektronenmikroskopie**
Desktop SEM, In-situ Probenstische für EM/TEM/CT, Probenpräparation, Detektoren und Zubehör

LOT-QuantumDesign GmbH. Im Tiefen See 58. 64293 Darmstadt. Telefon:06151 8806-0. E-mail: info@lot-qd.de



www.lot-qd.com

Quantenmechanik mit leichten Quetschungen

Drei Forschergruppen haben erstmals gequetschte Quantenzustände von mikromechanischen Resonatoren erzeugt.

Quantenphysiker sind bekannt für kreative Namensgebung. Ein wunderbares Beispiel ist das „Quetschen“ von Quantenfluktuationen, etwa bei Bewegungsgrößen wie Ort und Impuls. Der Hintergrund ist folgender: Auch nahe des absoluten Nullpunkts kommt ein harmonischer Oszillator nicht ganz zum Stillstand. Vielmehr dominiert die Nullpunktsenergie $\hbar\omega/2$ die Bewegung, sodass die Erwartungswerte von Orts- und Impulsmessungen mit einer Varianz $\Delta x = \sqrt{\hbar/(2m \cdot \omega)}$ und $\Delta p = \sqrt{\hbar \cdot m \cdot \omega/2}$ fluktuieren. Das Produkt $\Delta x \cdot \Delta p = \hbar/2$ erfüllt die Heisenbergsche Unschärferelation exakt – die Bewegungszustände besitzen minimale Unschärfe. Soll ein Oszillator als Sensor dienen, bestimmen die Quantenfluktuationen die Messgenauigkeit. Außer es gelingt, die Fluktuation einer der beiden Größen unter die Unschärfe der Nullpunktsfluktuation zu reduzieren, idealerweise zu beliebig kleinen Werten. Da die Unschärferelation nach wie vor gilt, kann das nur auf Kosten der anderen Größe geschehen – wie bei einem Luftballon, der beim Zusammendrücken in der einen Richtung kleiner wird, in der anderen größer. Dieser Vorgang heißt Quetschen („Squeezing“).

Seinen modernen Ursprung hat das Quetschen in der Quantenoptik [1], wo es u. a. darum geht, laserba-

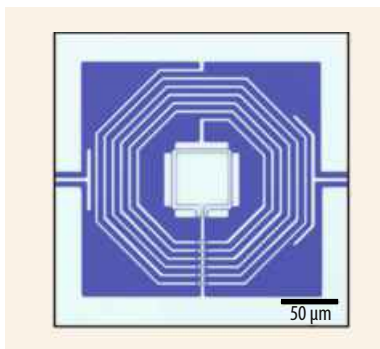


Abb. 2 Lichtmikroskopische Aufnahme des Schwingkreises (grau Aluminium, blau Siliziumsubstrat). Der mikromechanische Plattenkondensator in der Mitte ist von einem Spiralinduktor und weiteren Kondensatoren umgeben.

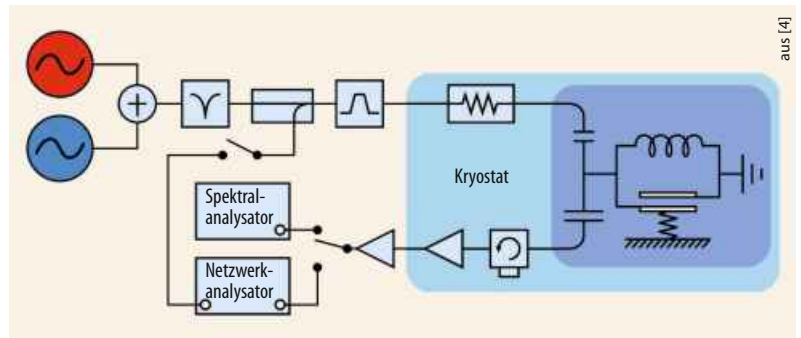


Abb. 1 Im Experiment werden die rot und blau verstimmt Pumpfelder bei Raumtemperatur herausgefiltert und bei tiefen Temperaturen so abgeschwächt, dass nur noch das Schrotrauschen eine

sierte Interferometer zur Beobachtung von Gravitationswellen noch genauer zu machen [2]. Die mechanischen Bewegungsgrößen sind im Fall von Laserlicht Amplitude und Phase. Experimentell entsteht ein gequetschter Zustand durch nicht-lineare optische Prozesse, bei denen die Phase des Lichts intensitätsabhängig wird [3]. Formal entspricht das der Kopplung zwischen Erzeugungs- und Vernichtungsoperator des Strahlungsfeldes.

Nun konnten drei Forscherteams vom Caltech, von der Aalto University in Finnland und vom NIST erstmals gequetschte Quantenzustände der Bewegung von mikromechanischen Resonatoren erzeugen [4 – 6]. Die Resonatoren sind mechanisch schwingende Membrane, die nur 100 Nanometer dick sind und einen Durchmesser von mehreren 10 Mikrometern haben. Aus Sicht der Quantenphysik sind das makroskopische Systeme, bei denen etwa 10^{12} Atome kollektiv zur Bewegung des Schwerpunkts beitragen. Durch Kopplung an optische oder Mikrowellenfelder, beispielsweise indem das mechanische Element Teil eines Resonators für das Strahlungsfeld wird, lassen sich die mechanischen Systeme mit etablierten Methoden der Quanten- und Atomoptik manipulieren. Dadurch ist es in den letzten zehn Jahren gelungen, die Kontrolle über mikromechanische

Rolle spielt. Der optomechanische Schwingkreis ist thermisch mit einem Mischkryostaten verbunden. Die Signale werden verstärkt und mit einem Spektral- oder Netzwerkanalysator gemessen.

Systeme bis in das Quantenregime auszudehnen [7].

In den jüngsten Experimenten ist die mechanische Membran jeweils Teil eines Kondensators in einem supraleitenden Mikrowellen-Schwingkreis (Abb. 1). Die mechanische Bewegung moduliert die Resonanzfrequenz des Schwingkreises ω_c , die in zwei der Experimente bei 6 GHz liegt [5, 6]. Dadurch entstehen Seitenbänder bei der mechanischen Frequenz ω_m , die hier 4 bis 15 MHz beträgt. Im Photonenbild sind die Seitenbänder äquivalent zur Stokes- und Anti-Stokes-Raman-Streuung in der Atomphysik, bei der das einfallende Strahlungsfeld durch Kopplung an Bewegungszustände unelastisch gestreut wird und dem System Energie zu- oder abführt. Treibt ein externes Mikrowellenfeld, das um die mechanische Frequenz negativ verstimmt ist ($\omega_c - \omega_m$), den Schwingkreis an, verstärkt dies die Anti-Stokes-Raman-Streuung resonant. Das Strahlungsfeld führt in dem Fall mehr mechanische Energie ab, als der Stokes-Prozess zuführt. Dieser Vorgang ist äquivalent zur Seitenband-Laserkühlung von Ionen, die seit den 1970er-Jahren bekannt ist.

Alle drei Experimente nutzen diesen Effekt und zeigen – ausgehend von einer Umgebungstemperatur von 10 bis 30 mK bzw. von einer thermischen Besetzungszahl

des mechanischen Oszillators von 40 bis 50 Phononen – eine Laserkühlung auf etwa 0,1 bis 0,2 Phononen, also in den Quantengrundzustand der mechanischen Bewegung. Da das in den Resonator gestreute Strahlungsfeld Information über die mechanische Bewegung enthält, lassen sich daraus – unter Kenntnis der Systemdynamik – die Varianzen Δx und Δp rekonstruieren und indirekt die minimalen Unschärfen des Grundzustands bestimmen. Der zweite wichtige Prozess ist die resonante Erhöhung der Stokes-Raman-Streuung durch Treiben des Schwingkreises bei $\omega_c + \omega_m$. Dadurch kommt es zu korrelierten Anregungen von Photonen des Resonatorfelds und Phononen der mechanischen Bewegung. In der Quantenoptik ist diese Wechselwirkung als „Down-Conversion“ bekannt und dient beispielsweise zur Erzeugung von Verschränkung.

Laufen beide Prozesse gleichzeitig ab, d. h. pumpt man den Schwingkreis mit beiden verstimmt Mikrowellenfeldern gleichzeitig (Abb. 1), resultiert eine Wechselwirkung, die den mechanischen Erzeugungs- und Vernichtungsoperator miteinander koppelt. Das ist die Grundvoraussetzung für gequetschte Zustände. Allerdings „versteckt“ sich die Quetschung im Grundzustand dieser Wechselwirkung und kommt erst durch Laserkühlung ans Licht: Dazu muss das rot verstimmt Pumpfeld, das für die Laserkühlung verantwortlich ist, eine höhere Leistung haben als das blau verstimmt Pumpfeld. In den Experimenten lag das Verhältnis bei 10:1 bis 1,5:1. In anderen Worten: Man kühlt das mechanische System in den gequetschten Grundzustand. Diese Idee des „Reservoir Engineering“ wurde vor über 20 Jahren zur Quantenkontrolle einzelner Ionen vorgeschlagen und realisiert [8]. Die Ausweitung auf mikromechanische Resonatoren [9] ist ein experimenteller Meilenstein in der Quantenkontrolle massiver Objekte.

Die beiden Forscherteams um Keith Schwab am Caltech und Mika Sillanpää in Aalto haben mit sehr ähnlichen experimentellen

Systemen eine Quetschung um jeweils rund 20 Prozent (1 dB) der Nullpunktsfluktuationen erzeugt. John Teufel und seine Kollegen am NIST erzielten vergleichbare Werte, konnten aber mit einer neuen Messmethode zudem die Nullpunktsfluktuationen messen und die Quetschung damit absolut kalibrieren. Sie erreichen dies durch einen zweiten Mikrowellenresonator mit Resonanzfrequenz ω_{c2} , der an denselben mechanischen Resonator gekoppelt ist. Zwei weitere, gleichstark verstimmt Mikrowellenfelder ($\omega_{c2} \pm \omega_m$) erzeugen ein Strahlungsfeld, das mit der mechanischen Frequenz amplitudenmoduliert und nur auf eine Quadratur der Bewegung sensitiv ist. Diese Realisierung einer zerstörungsfreien Quantenmessung erlaubt es, die minimale Unschärfe des Grundzustands der Bewegung direkt zu messen.

In der Optik gelingt es mittlerweile routinemäßig, Laserlicht um 90 Prozent bzw. 10 dB und mehr zu quetschen. Das sollte prinzipiell auch mit mikromechanischen Systemen möglich sein. Im Wesentlichen limitieren zwei Faktoren die Experimente: Zum einen wird ein Teil der Mikrowellenstrahlung im supraleitenden Material absorbiert, was die Strukturen bei zu großer Pumpleistung so sehr aufheizt, dass die Quetschung verloren geht. Zum anderen führt mangelnde Phasenstabilität zwischen den Pumpfeldern zu einer langsamen Rotation der Quetschung im Phasenraum, wodurch sich der Effekt

im Laufe einer längeren Messung herausmittelt. Beide Faktoren sind technischer Natur und sollten sich im Laufe der Zeit verbessern lassen.

Eine weitere Herausforderung besteht darin, die Methode auf optomechanische Systeme zu übertragen, die mit Laserlicht getrieben werden. Bei ihnen ist die Kopplung an die mechanischen Moden noch geringer. Allerdings gibt es vielversprechende Strategien, die Kopplung durch Strukturierung der mikromechanischen Elemente zu erhöhen. Dass gequetschtes Licht die Messempfindlichkeit eines Interferometers verbessert, zeigten Messungen an den Gravitationswellendetektoren GEO600 und LIGO [10].[§] Nach den Erfolgen dieser ersten drei Experimente ist es nur eine Frage der Zeit, bis auch quanten-„mechanische“ Quetschung zum Standardwerkzeug einer verbesserten Quantensensorik wird.

Markus Aspelmeyer

- [1] D. F. Walls, *Nature* **306**, 141 (1983)
- [2] C. Caves, *Phys. Rev. D* **23**, 1693 (1981)
- [3] R. E. Slusher et al., *Phys. Rev. Lett.* **55**, 2409 (1985)
- [4] E. E. Wollman et al., *Science* **349**, 952 (2015)
- [5] J.-M. Pirkkalainen et al., *Phys. Rev. Lett.* **115**, 243601 (2015)
- [6] F. Lecocq et al., *Phys. Rev. X* **5**, 041037 (2015)
- [7] M. Aspelmeyer, T. J. Kippenberg und F. Marquardt, *Rev. Mod. Phys.* **86**, 1391 (2014)
- [8] J. I. Cirac et al., *Phys. Rev. Lett.* **70**, 556 (1993)
- [9] A. Kronwald et al., *Phys. Rev. A* **88**, 063833 (2013)
- [10] J. Abadie et al., *Nat. Phys.* **7**, 962 (2011)

Prof. Dr. Markus Aspelmeyer, Fakultät für Physik, Uni Wien, Boltzmann-gasse 5, 1090 Wien, Österreich

§) vgl. dazu den Bildkasten auf S. 17

KURZGEFASST

■ Von großen Zahlen

Wie viele Möglichkeiten gibt es, 128 Tennisbälle beliebig anzuordnen? Forscher aus Cambridge bestimmten die Antwort: etwa 10^{250} . Diese Zahl ist viel größer als die Zahl aller Teilchen im Universum. Wichtiger als der Wert ist die Tatsache, dass es überhaupt gelang, das Problem zu lösen. Es ist weder möglich, alle Kombinationen durchzuspielen noch sie zu speichern, sodass die Forscher Kombinatorik und Statistik einsetzen. Anwendungen finden sich z. B. in der granularen Physik zur Vorhersage von Lawinen. S. Martiniani et al., *Phys. Rev. E* **93**, 012906 (2016)

■ Von präzisen Uhren

Wissenschaftler der PTB haben zwei Weltrekorde aufgestellt: Sie senkten die Messunsicherheit $\Delta t/t$ einer Yb-Uhr auf $3 \cdot 10^{-18}$ und stabilisierten die Frequenz einer Sr-Uhr auf $\Delta f/f = 8 \cdot 10^{-17}$. Die Yb-Uhr basiert auf der extrem schmalen Resonanz eines einzelnen Yb^+ -Ions. Die Sr-Uhr funktioniert dank eines Lasersystems, das thermisch und mechanisch gegen seine Umgebung isoliert ist. Die hohe Genauigkeit ist z. B. nötig, um die Feinstrukturkonstante exakt zu bestimmen. N. Huntemann et al., *Phys. Rev. Lett.* **116**, 063001 (2016) und A. Al-Masoudi et al., *Phys. Rev. A* **92**, 063814 (2015)

■ Den Maxwell'schen Dämon bannen

Mit Hilfe supraleitender Elektronik ist nun der 100 Jahre alte Traum eines autonomen Maxwell'schen Dämons Realität geworden.

In der Frühzeit der Thermodynamik sorgten die Formulierungen des zweiten Hauptsatzes für einiges Kopfzerbrechen. Denn es war nicht ganz klar, ob diese allgemeingültig sind oder ob sich physikalische Systeme finden ließen, die den zweiten Hauptsatz verletzen. Um dieses Problem genauer zu verstehen, ersann James Clerk Maxwell ein Gedankenexperiment, das Lord Kelvin später den „Maxwell'schen Dämon“ taufte – ein Name, der sich bis heute gehalten hat. Maxwell betrachtete zwei Behälter mit einem gasförmigen Teilchengemisch, die durch eine Wand voneinander getrennt sind. Ein „geschicktes Wesen“, das die Geschwindigkeit jedes Teilchens bestimmen kann, sitzt an einer kleinen Tür in der Wand und sortiert die Teilchen, indem es die Tür so öffnet und schließt, dass schnelle Teilchen nur auf die eine Seite gelangen, langsame nur auf die andere. Dieser Sortiervorgang transportiert Wärme von einem kalten in ein heißes Reservoir.

Auf den ersten Blick scheint dieses Gedankenexperiment den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik zu verletzen. Aber dieses Paradoxon löst sich auf, wenn man realisiert, dass Arbeit am Dämon zu verrichten ist, damit dieser seine Aufgabe erfüllen kann. Zwangsläufig führt eine solche Deutung ein weiteres, nicht notwendigerweise physikalisches System ein, das die Arbeit am Dämon verrichtet. Gerade deswegen kann eine solche Erklärung nicht befriedigen. Jukka Pekola und seine Kollegen der Aalto University in Finnland haben nun eine Nanoapparatur gebaut, die äquivalent zu einem Maxwell'schen Dämon ist (Abb. 1), deren Funktion aber nicht durch externe Kontrolle getrieben wird [1]. Diese Apparatur ist damit vollständig in sich geschlossen und die erste Realisierung bisher rein theoretischer Modelle eines autonomen Dämons.

Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik besagt im We-

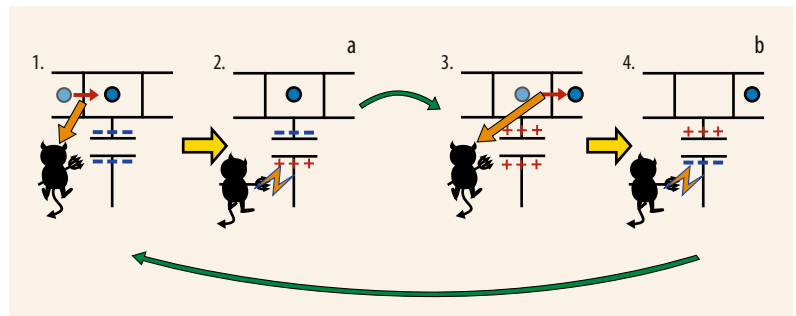


Abb. 1 Beim autonomen Maxwell'schen Dämon besteht das „System“ aus einer Zelle mit einem Elektron, die mit einem externen Potential verbunden ist. Der Dämon überwacht die Ladung in der Zelle. Wenn ein Elektron (blau) eintritt, fängt der Dämon es unverzüglich durch das Anlegen einer positiven Ladung ein

(a). Wenn ein Elektron die Zelle verlässt, stößt es der Dämon durch eine negative Ladung ab (b). Dabei handelt es sich um das elektronische Äquivalent zum Öffnen und Schließen der Tür in Maxwell'schen Gedankenexperiment.

sentlichen, dass die Entropie des Universums niemals abnimmt. Da diese sehr allgemeine Aussage nur schwerlich auf spezielle Situationen anwendbar ist, gibt es verschiedene andere Formulierungen. Dazu gehören die von Clausius, dass sich Wärme nicht von kalten zu warmen Regionen transportieren lässt, ohne Arbeit zu verrichten, oder die Aussage von Carnot, dass der maximale Wirkungsgrad einer Wärmemaschine durch den Carnot-Wirkungsgrad gegeben ist [2]. Jetzt stellt sich die Frage, ob diese Aussagen nur das mittlere Verhalten eines Systems beschreiben, dessen Eigenschaften vom Verhalten vieler Teilchen abhängen, oder ob diese Aussagen auch auf einzelne Teilchen anwendbar sind. Um diese Frage zu klären, schlug Maxwell 1867 sein Gedankenexperiment vor, das die Formulierung von Clausius verletzt [3].

Maxwell's Dämon war sofort eine Quelle der Faszination und führte zu vielen wichtigen Ergebnissen, darunter die Entwicklung der thermodynamischen Theorie der Information. In den 1960er-Jahren erkannte der IBM-Forscher Rolf Landauer, dass die zusätzliche Arbeit, die aus der Tätigkeit des Dämons erwächst, auf Kosten der Umgebung des gesamten Systems aus Gas und Dämon geht [4]. Ist das

Gedächtnis des Dämons endlich, kommt es am Ende zu einem Überfluss an angesamelter Information über die Geschwindigkeit jedes Teilchens. Dann muss der Dämon seinen Speicher löschen, um kontinuierlich weiterarbeiten zu können – eine Aktion, für die er Arbeit aufwenden muss. Diese Arbeit ist mindestens so groß wie die Wärme, die man aus dem Sortiervorgang gewinnt. In diesem Sinne ist der zweite Hauptsatz wieder vollständig gültig. Im Wesentlichen sagt Landauers Prinzip aus, dass Information eine physikalische Größe ist [5]. Unklar bleibt aber, wer oder was den Speicher überschreibt. Ist dazu ein weiterer Dämon erforderlich?

Forscher haben diese konzeptionellen Rätsel kürzlich wieder aufgegriffen und autonome Systeme, also in sich geschlossene Einheiten, vorgeschlagen [2, 6, 7]. Schon vor 80 Jahren fand Leo Szilard den Gedanken an eine metaphysische, menschenähnliche Gestalt, die den Maxwell'schen Dämon betreibt, unangenehm. Seiner Meinung nach sollte es möglich sein, ein mechanisches System zu finden, das wie ein Maxwell'scher Dämon funktioniert, aber den Gesetzen der Physik gehorcht [8]. In den letzten Jahren hat diese Idee viel Aufmerksamkeit erregt und zu einer Reihe theoretischer Modelle geführt [9, 10].

Pekola und Kollegen haben Szilards autonomen Dämon nun experimentell realisiert. Ihr Apparat besteht aus einer „Systemzelle“ und einer „Dämonenzelle“, in denen einzelne Elektronen enthalten sind (Abb. 1). Die Systemzelle besteht aus einem kleinen Metallstück aus Kupfer, das über supraleitende Aluminiumdrähte mit zwei metallischen Leitern verbunden ist. Mit ihrer Hilfe können die Elektronen auf das Metallstück tunneln und wieder herunter. Supraleitendes Material stellt dabei sicher, dass die Elektronen keine Wärme aus dem System entziehen. Die Systemzelle ist auf ähnliche Weise an die benachbarte Dämonenzelle angeschlossen. Diese registriert die Spannung, die ein Elektron erzeugt, wenn es die metallische Insel verlässt oder dort ankommt. Diese Spannung aktiviert wiederum den Dämon: Wenn ein Elektron auf die Insel tunnelt, fängt die Dämonenzelle das Elektron dort mit einer positiven Ladung ein. Wenn ein Elektron die Insel verlässt, stößt der Dämon es durch eine negative Ladung ab. Die induzierte Ladung zwingt die Elektronen, gegen ein Potential zu tunneln, wodurch sich das System abkühlt. Das System ist vollständig in sich geschlossen, und der Prozess gelingt durch eine geschickte Verdrahtung der beiden Zellen.

In Übereinstimmung mit den Vorhersagen theoretischer Modelle sinkt die Temperatur des Systems durch die Aktionen des Dämons, während dessen Temperatur ansteigt. Die Temperaturänderung wird durch die Transinformation, d. h. die Korrelationen zwischen System und Dämon, bestimmt. Diese Größe beschreibt also, wieviel der Dämon von dem System „weiß“.

Dieses Experiment ist sehr bedeutend, da wir nun zum ersten Mal ein vollständig autonomes System haben, das unserer alltäglichen Intuition entspricht – nämlich, dass wir unser Wissen um die mikroskopischen Eigenschaften und Dynamik dazu verwenden können, um makroskopisch mehr Arbeit zu gewinnen, als die ursprüngliche Formulierung des zweiten Hauptsatzes erlaubt. Das heißt aber nicht,

dass der Hauptsatz nicht gilt. Vielmehr bedeutet es, dass wir Physiker ihn so sorgfältig formulieren müssen, wie es die gegebene Situation erfordert. Im Fall des Maxwell'schen Dämons ist beispielsweise ein Teil der erzeugten Entropie mit der gewonnenen Information gleichzusetzen. Das Experiment der finnischen Forscher hat gezeigt, dass autonome Dämonen existieren können und nicht nur eine theoretische Spielerei sind. Das bietet die Möglichkeit, fundamentale Axiome der Thermodynamik oder die Beschreibung von Informationsverarbeitung zu prüfen. Damit sich Information mit hoher Effizienz schreiben und lesen lässt (z. B. bei der ferngesteuerten Bedienung eines Computers im All), ist es wichtig zu wissen, welchen Beitrag die Information zur Entropieerzeugung leistet.

Eines Tages haben wir vielleicht einen echten mechanischen Dämon, wie ihn sich Szilard [8] und jüngere theoretische Abhandlungen [10] ausgemalt haben. Mechanische Systeme sind sehr viel anschaulicher als ihre elektronischen Gegenstücke und im wahrsten Sinne des Wortes begreifbar. Daher könnten sie die fundamentalen Prinzipien der Thermodynamik besser verdeutlichen.

Sebastian Deffner

- [1] V. Koski et al., Phys. Rev. Lett. **115**, 260602 (2015)
- [2] S. Deffner und C. Jarzynski, Phys. Rev. X **3**, 041003 (2013)
- [3] H. S. Leff und A. F. Rex (Hrsg.), Maxwell's Demon 2: Entropy, Classical and Quantum Information, Computing, IOP Publishing, Bristol (2003)
- [4] E. Lutz und S. Ciliberto, Phys. Today **68**, 30 (2015)
- [5] R. Landauer, Phys. Today **44**, 23 (1991)
- [6] A. C. Barato und U. Seifert, Phys. Rev. E **90**, 042150 (2014)
- [7] J. M. R. Parrondo et al., Nature Phys. **11**, 131 (2015)
- [8] L. Szilard, Z. Phys. **53**, 840 (1929)
- [9] D. Mandal und C. Jarzynski, PNAS USA **109**, 11641 (2012)
- [10] Z. Lu et al., Phys. Today **67**, 60 (2014)

Fiber Optic Components and Fiber Coupled Laser Sources

polarization maintaining for wavelengths 370 – 1700 nm

Made in Germany

Laser Beam Coupler 60SMS-1-4-...

Laser Beam Coupler for Singlemode Fibers

Achromatic corrected fiber optics 400 - 660 nm

RGBV

Fiber collimator 60FC-...

Fiber Port Clusters for M ports

In global use

Austria	USA
France	Russia
Spain	PR China
Germany	India
Italy	Japan
UK	Republic of Korea
Switzerland	

Fiber Collimator 60FC-Q-...

integrated quarter-wave plate

Generation of circularly polarized laser radiation

Measurement System

Polarization Analyzer Series SK010PA-...

Interface: USB 2.0 · Multiple Wavelength Ranges 350 – 1600 nm

Made in Germany

Application:



Fiber Input Connector
Measurement of resulting Polarization Extinction Ratio
Connector key
Polarization Alignment

Interface: **USB 2.0**
Power supply via USB

Application:



Adjustment of left-handed and right-handed circular polarization.

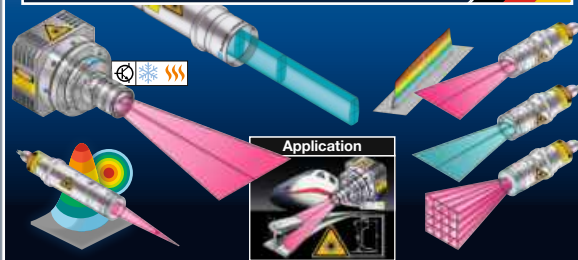


Besuchen Sie uns: 1. - 3. März 2016
Leibniz-Universität Hannover
Frühjahrstagung Hannover 2016

Laser Line, Micro Focus, Laser Pattern Generators

Wavelengths 405 – 2050 nm

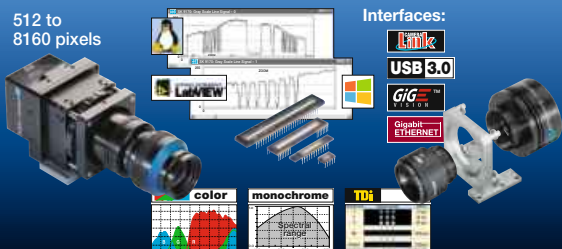
Made in Germany



Line Scan Cameras

512 to 8160 pixels. Color, monochrome, or TDi sensors.
www.SuKHamburg.com/linescan

Made in Germany

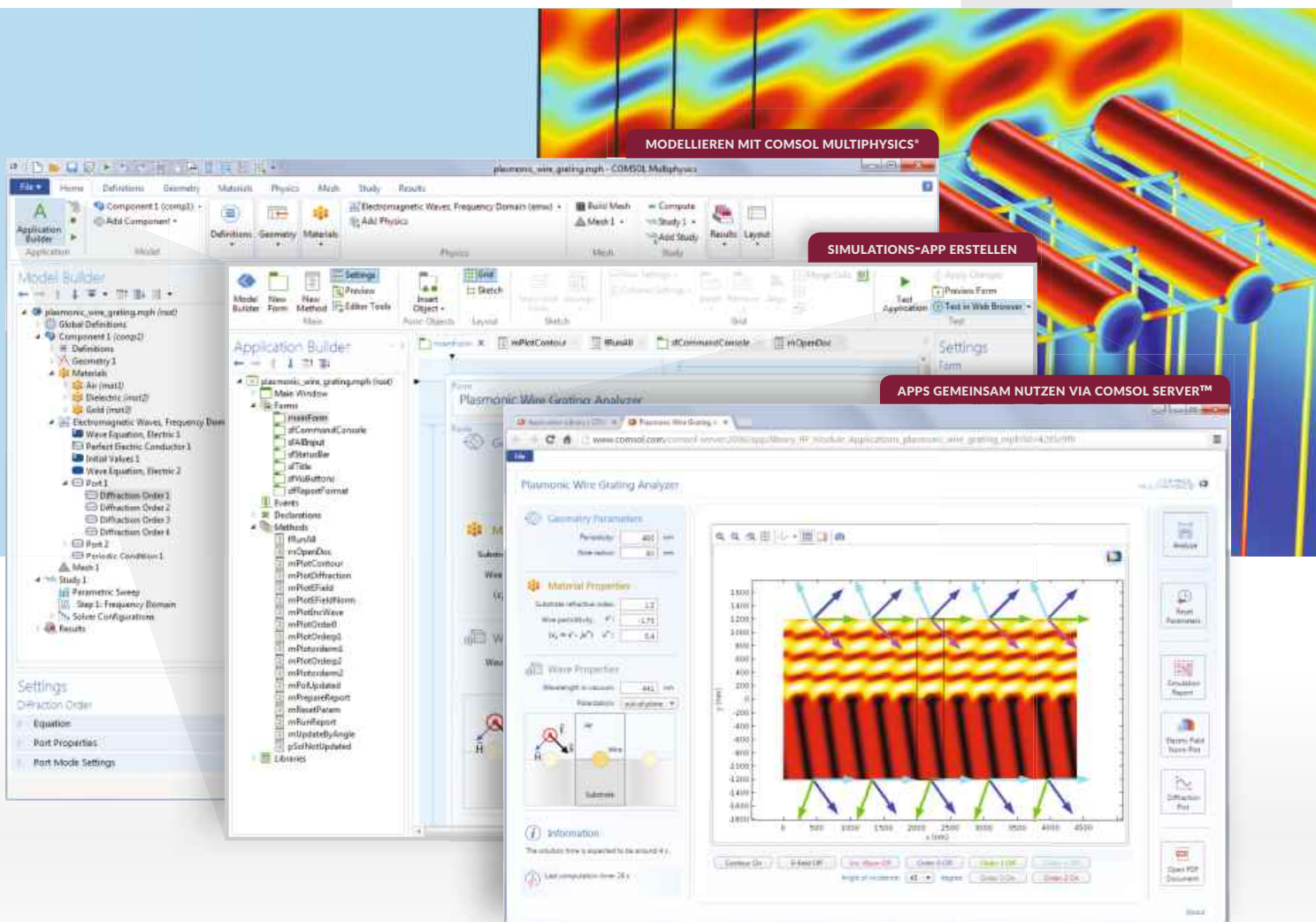


Schäfter + Kirchhoff

info@SuKHamburg.de

www.SuKHamburg.com

Schäfter+Kirchhoff develop and manufacture laser sources, line scan camera systems and fiber optic products for worldwide distribution and use.



Vom Modell zur App zum Server SO BRINGEN SIE SIMULATION ZU JEDERMANN

COMSOL Multiphysics® und der COMSOL Server™ bieten Ihnen die Möglichkeit, maßgeschneiderte Benutzeroberflächen für Ihre Multiphysik-Anwendungen zu erstellen. Nutzen Sie den COMSOL Server, um Ihre Apps Ihren Kunden und Kollegen weltweit zur Verfügung zu stellen.

Um mehr über Simulationsapps zu erfahren, besuchen Sie: comsol.de.

Von der Vision zur Fusion

In Südfrankreich entsteht das Fusionsexperiment ITER. Die Anlage ist für Generaldirektor Bernard Bigot mehr als ein internationales Großforschungsprojekt.

Kerstin Sonnabend

Die Provence im Süden Frankreichs ist vor allem bei Touristen bekannt: Die Kombination aus mildem mediterranen Klima und reizvollen Landschaften lockt jedes Jahr mehrere Millionen Besucher an. Seit mehr als zehn Jahren geht es auch im beschaulichen Ort Saint-Paul-lès-Durance immer internationaler zu. Allerdings sind es weniger Touristen als Physikerinnen und Physiker, die den Ort besuchen. Und sie kommen nicht zum Urlaub, sondern um die Fusionsforschung voranzutreiben. Denn unweit des französischen Kernforschungszentrums Cadarache, in dem sich etwa 5000 Mitarbeiter vor allem mit Kernspaltung beschäftigen, entsteht der International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER). Noch ist das Großexperiment nicht mehr als eine riesige Baustelle – mehrere hohe Baukräne in tief ausgehobenen Baugruben vermitteln einen Eindruck davon, wie aufwändig es ist, die Energiequelle unserer Sonne auf die Erde zu holen. Dass dies machbar ist, soll ITER zeigen. Dabei ist die Anlage nur ein Schritt zu nahezu unbegrenzt verfügbarer und „sauberer“ Energie aus Kernfusion – zahlreiche technische Herausforderungen warten auf dem langen Weg (lat. iter) vom Fusionsexperiment zum Fusionskraftwerk, das die neue Energiequelle auch kommerziell nutzen könnte.

Die Idee, die Fusion von Wasserstoff zu Helium als Energiequelle zu nutzen, stammt bereits aus den 1950er-Jahren. Etwa zeitgleich entwickelten Lyman Spitzer in den USA sowie Andrei D. Sacharow und Igor E. Tamm in der UdSSR Konzepte, um ein Plasma aus Deuterium und Tritium in einem Magnetfeld einzufangen. Ein toroidales und ein poloidales Feld halten die Teilchen auf geschlossenen



Im Zentrum der Baustelle von ITER wächst die Betonhülle in die Höhe, die später das Vakuumgefäß

des Fusionsexperiments umgibt. Das unterste der sieben Stockwerke wird gerade fertiggestellt.

Bahnen. Das poloidale Feld entsteht im Stellarator durch die Geometrie der Magnetspulen; im Tokamak wird es im Plasma induziert. Beide Konzepte werden heute noch verfolgt.¹⁾ Bei Temperaturen von 150 Millionen Kelvin – zehnmal heißer als im Innern der Sonne – entsteht durch Kernfusion Helium. Dabei wird Energie frei, die in Form von Wärme eine Dampfturbine mit Stromgenerator antreiben könnte. Der instabile Brennstoff Tritium soll direkt im Fusionsreaktor aus Lithium entstehen. Rechenbeispiele zeigen, dass das Deuterium aus einer Badewanne voll Wasser und das Lithium aus einer Laptop-Batterie ausreichen, um auf diese Weise genug Energie zu gewinnen, um eine Familie 50 Jahre lang mit Strom zu versorgen. Die technische Umsetzung ist aber anspruchsvoll – beispielsweise treten die hohen Plasmatemperaturen in unmittelbarer Nachbarschaft supraleitender Magnetspulen auf, die bei Tempera-

turen von wenigen Kelvin betrieben werden. Ob es mit ITER tatsächlich gelingt, zehnmal mehr Energie zu erzeugen, als zum Heizen des Plasmas nötig ist, bleibt abzuwarten.

Momentan entsteht auf dem 42 Hektar großen ITER-Gelände die nötige Infrastruktur, um die Komponenten des Tokamak zusammenzufügen. „Bei jedem Besuch sieht es hier anders aus“, stellt Sibylle Günter, Direktorin des Max-Planck-Instituts für Plasmaphysik (IPP), erfreut fest. Die Dimensionen des Großprojekts zeigen sich auf den ersten Blick: Eindrucksvoll ragt das Stahlskelett der 60 Meter hohen und fast 100 Meter langen Fertigungshalle auf, das teilweise schon mit einer spiegelnden Außenschicht verkleidet ist. In dieser Halle werden an die neun Teile des Plasmagefäßes jeweils zwei supraleitende Magnetspulen montiert, bevor ein Kran die vorinstallierten Teile in das benachbarte Tokamak-Gebäude zur endgültigen Montage

1) Das IPP betreibt als einziges Institut weltweit Anlagen beider Typen: Wendelstein 7-X und ASDEX Upgrade. Vgl. Dossier „Fusionsforschung“ www.pro-physik.de/phy/physik/dossier.html?qid=8688061



Abb. 1 Ein besonderes Verfahren garantiert, dass keinerlei Lufteinschlüsse im Mörtel zwischen Metallplatte und Beton-

heben soll.²⁾ Seine Bodenplatte ruht erdbebensicher auf 500 anti-seismischen Federungen (Abb. 1); nach und nach wachsen seine massiven Mauern aus Stahlbeton bis zur Bodenebene der Fertigungshalle.

Erst wenn das Plasmagefäß aufgebaut ist, wird das siebenstöckige Gebäude, das auch die komplette technische Versorgung des Fusions-experiments beherbergen soll, fertiggestellt. Daneben entstehen zahlreiche kleinere Gebäude auf dem Gelände wie die „Cleaning Facility“, in der die Komponenten von ITER nach ihrer teils langen Anreise vor der Montage gereinigt werden, oder das „Cryoplant Building“, das die Kryotechnik beherbergt, um die supraleitenden Magnetspulen mit flüssigem Helium und Stickstoff zu versorgen. Fertiggestellt

sockel die Qualität der 500 seismischen Federungen mindern, auf denen das Tokamak-Gebäude steht.

und seit Oktober 2012 bezogen sind das Büro- und Empfangsgebäude sowie die große Halle, in der die supraleitenden Magnetspulen gewickelt werden. Während Ingenieure und Management auf diese Weise sichtbar vor Ort wirken, scheinen sich Wissenschaftler noch gedulden zu müssen.

Bisher nur Virtual Reality

In der virtuellen Welt ist ITER dagegen längst in einer 3D-Simulation Realität geworden (Abb. 2). Für Jens Reich, der das Design der vielen tausend Komponenten des Fusions-experiments koordiniert, ist die Simulation unverzichtbares Werkzeug, um zu beurteilen, ob die geplanten Komponenten wirklich

zusammenpassen. „Es ist beeindruckend, welche Detailfülle die Visualisierung bietet“, sagt er begeistert. „Dabei ist nicht nur der fertige Aufbau entscheidend. Mit der Simulation prüfen wir auch, ob und wie wir die Komponenten zusammenfügen können.“ So lassen sich Arbeitsabläufe schon jetzt optimieren und Fehler beim tatsächlichen Aufbau vermeiden. Diese Arbeit hat aber auch ihre Tücken. „Nach zwei Stunden braucht man eine Pause – sonst wird man seekrank“, erklärt Jens Reich die Auswirkungen der Virtual Reality.

Obwohl Fusionsforscher, Ingenieure und Techniker zielstrebig an der Realisierung von ITER arbeiten, sind das Großprojekt und damit auch die Fusionsforschung in der Öffentlichkeit vor allem durch negative Schlagzeilen aufgrund von Verzögerungen und Preissteigerungen bekannt. Beides ist im Fall von ITER vor allem der Organisation des Projekts geschuldet, die historisch gewachsen ist. Im November 1985 schlugen Ronald Reagan und Michail Gorbatschow ein internationales Projekt vor, das die friedliche Nutzung der Fusionsenergie für die gesamte Menschheit als Ziel haben sollte. Zwei Jahre später starteten die USA, die Sowjetunion, Japan und die Europäische Union das gemeinsame Projekt ITER und präsentierten 1990 ein erstes technisches Design des Fusions-experiments. Kurz nachdem sich die Partner auf das finale Design einigten, stiegen die USA Ende 1998 aus dem Projekt aus, sodass weniger Geld zur Verfügung stand. Außerdem erforderten neue Kenntnisse zur Stabilität des Plasmaeinschlusses ein neues Design der Maschine, das 2001 fertig gestellt war.

Bis sich die Partner auf Cadarache als Standort einigen konnten, gingen vier Jahre ins Land. 2003 waren China und Korea dem Projekt beigetreten, und auch die USA beteiligten sich wieder an ITER. Als bisher letzter Partner folgte Indien 2005. Im Jahr darauf unterzeichneten die sieben Partner die ITER-Vereinbarung. Zu diesem Zeitpunkt erwartete man das erste Plasma im

2) Den geplanten Aufbau zeigt die Animation „World's Largest Puzzle“ unter bit.ly/1By1mUq

Beteiligung am Bau der Hauptkomponenten von ITER							
Hauptkomponente	EU	Russland	USA	Japan	China	Korea	Indien
Solenoid	–	–	x	x	–	–	–
Kryostat	–	–	–	–	x	–	x
Magnetspulen	x	x	x	x	x	x	–
Divertoren	x	x	–	x	–	–	–
Kühlwassersystem	–	–	x	–	–	–	x
Mantel Plasmagefäß	x	x	–	–	x	x	–
Heizsysteme Plasma	x	x	x	x	–	–	x
Vakuummkammer	x	x	–	–	–	x	x
Wärmeschild	–	–	–	–	–	x	–

Die Partner von ITER liefern ausschließlich Sachleistungen: Die Komponenten werden in der Regel von verschiedenen Nationalen Behörden in Eigenregie ge-

baut. Design und Qualitätsstandards gibt die ITER-Organisation vor; sie ist auch für den Aufbau und Betrieb des Fusions-experiments zuständig.

Fusionsreaktor für das Jahr 2016 und schätzte die Kosten des Aufbaus auf fünf Milliarden Euro ab.³⁾ Die Vereinbarung beschreibt die Aufgaben und regelt die Zusammenarbeit von ITER-Organisation, ITER-Rat und nationalen Behörden während der drei Abschnitte Bau, Nutzung und Stilllegung der Anlage (Abb. 3). Sie beruht auf dem Leitgedanken, dass alle Partner gleichberechtigt zu den wissenschaftlichen und technischen Entwicklungen beitragen und die Komponenten des Fusionsexperiments gemeinsam bauen (Tabelle). Dieser Leitgedanke und die vielstufigen Entscheidungsstrukturen zwischen den Institutionen verzögerten den Ablauf des Projekts nachhaltig und erhöhten die Kosten. Noch hat der ITER-Rat keinen neuen Zeit- und Kostenplan offiziell verabschiedet. Fusionsforscher wie Sibylle Günter halten 2025 für einen realistischen Zeitpunkt, zu dem die Anlage in Betrieb gehen könnte. Die Kosten sind noch schwerer einzuschätzen, weil jede nationale Behörde auf eigene Rechnung zu ITER beiträgt. Klar ist, dass jede weitere Verzögerung die Kosten in die Höhe treibt, allein weil die Preise für Baustoffe wie Beton und Stahl steigen. Der Anteil der Europäischen Union ergibt hochgerechnet Gesamtkosten zwischen 13 und 17 Milliarden Euro.

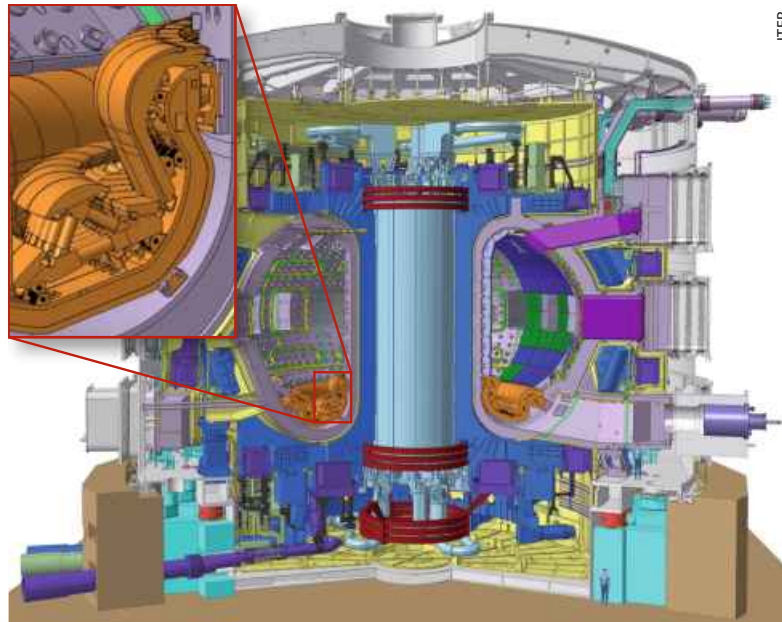


Abb. 2 Der fast 30 Meter hohe Tokamak ITER ist mit großer Detailfülle in einer

3D-Simulation realisiert, um u. a. Arbeitsabläufe beim Aufbau zu erproben.

tion, in dem er forderte, die Mittel sollten lieber der Entwicklung von Kernkraftwerken der vierten Generation zugute kommen.⁹⁾ Die eine Forschungsrichtung gegen die andere ausspielen will Matthias Bartelmann, Vorstandsmitglied der DPG, dagegen nicht: Über die Erforschung der Kernfusion sollte der Ausbau anderer Energiequellen wie Erdwärme oder Solarenergie nicht in Vergessenheit geraten. Er kritisiert vor allem, dass Fusionsforscher ihre Arbeiten als Entwicklung der Energiequelle von morgen an-

preisen, obwohl es sich dabei noch immer um zielgerichtete Grundlagenforschung handele.

Neben den gestiegenen Kosten erregte vor allem das Management des Projekts viel Unmut. Die in zweijährigem Rhythmus stattfindende Evaluation fiel 2014 so katastrophal aus, dass der ITER-Rat sie nur seinen Mitgliedern und den höchsten Management-Ebenen der ITER-Organisation zugänglich machte. Um die Fehlentwicklungen zu stoppen und das Vertrauen der Partner zurück zu gewinnen, wurde

3) Eine Liste aller Meilensteine von ITER findet sich unter www.iter.org/proj/itermilestones

4) www.gruene-europa.de/eu-atomforschung-6502.html

5) Vollständiger Text in französischer Sprache: bit.ly/1KtkC2i

Kritische Stimmen

Das ist viel Geld für ein Projekt, bei dem nicht feststeht, ob es wirklich den erhofften Durchbruch in der Fusionsforschung bringt. Kritische Stimmen drängen daher zum Abbruch: Die Fraktion der Grünen im EU-Parlament fordert in schöner Regelmäßigkeit, die Arbeiten an ITER einzustellen. In ihrer Argumentation schert die Fraktionsvorsitzende Rebecca Harms dabei allerdings gerne Kernspaltung und Kernfusion über einen Kamm.⁴⁾ Auch namhafte Physiker äußern sich kritisch. Der Physik-Nobelpreisträger Georges Charpak schrieb kurz vor seinem Tod 2010 einen offenen Brief in der französischen Tageszeitung Libéra-

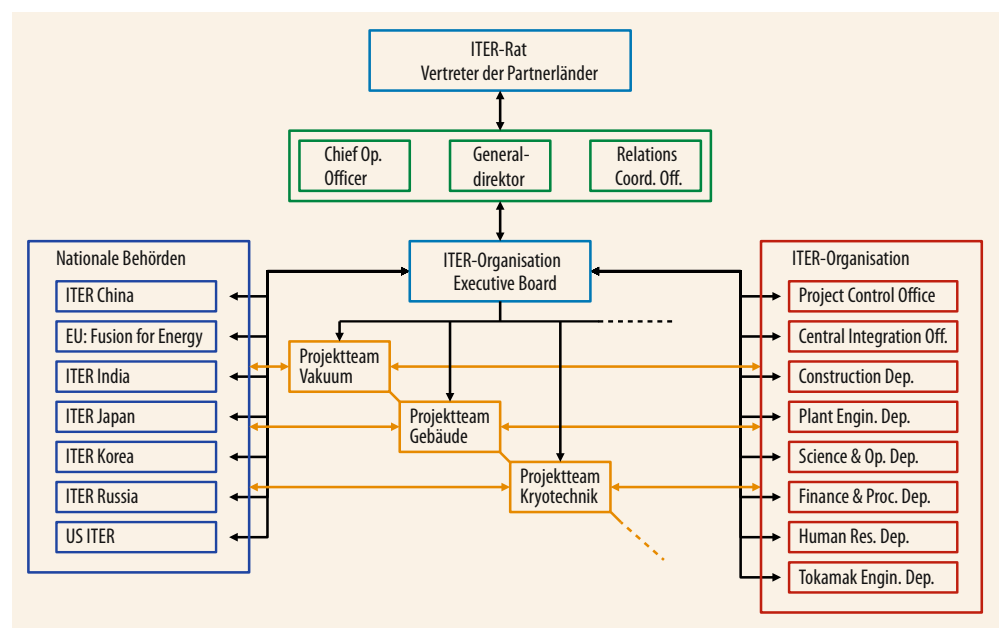


Abb. 3 Die Verwaltung des Großforschungsprojekts ITER ist kompliziert: Die ITER-Organisation arbeitet

eng mit den eigenständigen Nationalen Behörden zusammen. Entscheidungsträger ist der ITER-Rat.



Abb. 4 Bernard Bigot, Generaldirektor der ITER-Organisation, und Sibylle Günter, Direktorin des Max-Planck-Instituts für Plasmaphysik, schlossen am

11. November 2015 einen Kooperationsvertrag ab, um die Steuerungssoftware für das Fusionsexperiment ITER gemeinsam zu entwickeln.

Ein Profi am Werk

der erfahrene Wissenschaftsorganisator Bernard Bigot als Generaldirektor an die Spitze der ITER-Organisation gewählt (Abb. 4).

Der promovierte Chemiker und Physiker hatte zahlreiche führende Positionen in französischen Forschungseinrichtungen und Ministerien inne: Er war Kommissar für Atomenergie (2003 – 2009) und Vorsitzender des Verwaltungsrats (2009 – 2014) der französischen Atom- und Energiebehörde CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives), sodass er sich mit politischen Ränkespielen und bürokratischen Fallstricken auskennt. Für ihn ist ITER mehr als ein Großforschungsprojekt: „Damit alle gemeinsam von Globalisierung profitieren, müssen wir eine neue Form der Zusammenarbeit entwickeln und als internationale Gemeinschaft Lösungen finden. Das können wir an ITER lernen!“

Zum Amtsantritt bei ITER veröffentlichte er seine Meinung zum Status Quo und seine Agenda in einem Nature-Artikel.⁶⁾ Sein Ziel ist es, die Abläufe in der ITER-Organisation und mit den nationalen

Behörden zu beschleunigen. Dazu hat er Verwaltungsebenen ersatzlos gestrichen und neue effizientere Strukturen geschaffen. So gibt es nun Projektgruppen, die sich mit einem speziellen Aspekt wie dem Bau der Kryoplanen beschäftigen. In diesen arbeiten Ingenieure, Techniker und Wissenschaftler von ITER-Organisation und nationalen Behörden zusammen. Die Gruppen berichten an Direktorium und nationale Behörden. So will Bigot vermeiden, dass Entwicklungsarbeit mehrfach stattfindet und sich gute Ideen im Getriebe der Zuständigkeiten verlieren. Seine Umstrukturierungen stießen aber nicht bei allen Mitarbeitern auf Gegenliebe, und der anfängliche Optimismus flaute schnell wieder ab. „Es brauchte viele Gespräche, um alle davon zu überzeugen, dass

sie an einem der außergewöhnlichsten Abenteuer der Menschheit teilhaben“, erklärt Bigot, der aber inzwischen von der Akzeptanz seiner Maßnahmen überzeugt ist.

Außerdem möchte er für mehr Transparenz sorgen, damit ITER in Politik und Öffentlichkeit wieder in positives Licht rückt. So finden sich im Webauftreten von ITER nun Organigramme zum Management, eine ausführliche Zeitachse mit allen Meilensteinen des Projekts und Stellungnahmen zur bisherigen Entwicklung des Zeitplans und der Kosten. Die Leistung seiner Vorgänger im Amt des Generaldirektors, Osamu Motojima und Kaname Ikeda aus Japan, möchte Bernard Bigot nicht kritisieren: „Sie haben das Beste erreicht, was sie unter den schwierigen Umständen tun konnten“, ist er sicher und fügt hinzu, dass er seinen Nachfolgern weitgreifende Schritte als sich selbst zutraut. Innerhalb der Gremien von ITER müsse Schluss sein mit nationalem Taktieren.

Weil die fünfjährige Amtsperiode des Generaldirektors im Vergleich zu den Zeitplänen von ITER (Abb. 5) kurz ist, ist es Bigots wichtigstes Ziel, die Zukunft für seine Nachfolger bestmöglich vorzubereiten. Dabei denkt er nicht nur an die oberste Führungsebene: „Die gesamte Mannschaft muss vorbereitet werden, denn nach dem Bau der Anlage kommen neue Aufgaben wie Betrieb und Wartung auf uns zu.“ Hier sieht er auch die Wissenschaftler, die an ITER experimentieren werden, in der Pflicht. Sie müssten lernen, die Anlage möglichst effizient zu nutzen, um die offenen Fragen auf dem Weg zum Demonstrationskraftwerk schnell zu beantworten. Gleichzei-

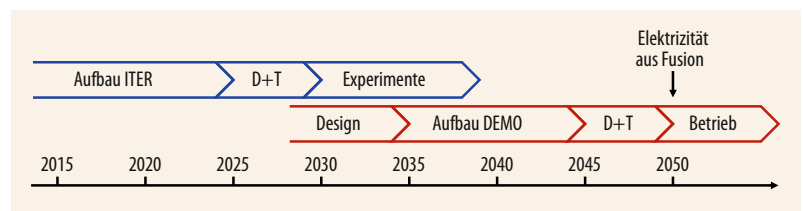


Abb. 5 Die Fusionsforscher hoffen, dass ITER bis 2025 in Betrieb geht. Die Fusion von Deuterium (D) und Tritium (T) sollte innerhalb von fünf Jahren gelingen. Zeitgleich mit den Experimenten kann das

Design des Demonstrationskraftwerks DEMO geplant und der Aufbau begonnen werden. Der Betrieb von DEMO – und damit Elektrizität aus Fusion – ist nicht vor 2050 zu erwarten.

6) www.nature.com/news/nuclear-physics-pull-together-for-fusion-1.17708

tig ist ihm klar, dass es schwierig ist, über die lange Zeitspanne mehrerer Jahrzehnte verlässlich zu planen. „Die Kontinuität eines Projekts zu garantieren, an dem mehrere Generationen unter immer neuen Voraussetzungen mitwirken, ist eine große Herausforderung“, erklärt er.

Seinen Zeitplan und eine Kostenabschätzung hat Bigot dem ITER-Rat Mitte November vorgestellt, der diese ausführlich diskutierte. In der mit Spannung erwarteten Pressemitteilung bewilligte das Gremium Bigots Vorschläge zunächst für 2016 und 2017. Darüber hinaus soll ein unabhängiges Gutachten bis Juni dieses Jahres prüfen, ob und wo es noch Potenzial für Optimierungen gibt.⁷⁾ Für Sibylle Günter ist das ein guter Kompromiss: „Natürlich hätten wir Forscher uns gewünscht, dass Bigots Pläne komplett akzeptiert und veröffentlicht werden. Stattdessen kann er für zwei Jahre weiterarbeiten, und die Partnerländer haben Zeit, sich zu einigen. Die schlimmsten Befürchtungen – das Projekt für

die Beratungszeit zu stoppen oder gar ganz einzustellen – sind nicht eingetreten.“ Sie sieht das Wirken des Franzosen positiv und hätte ähnliche Forderungen gestellt, um ITER neuen Schwung zu geben.

Erfolgsgeschichte Fusion?

Sibylle Günter hofft, dass die Neuerungen dafür sorgen, dass die Errungenschaften der Fusionsforschung anerkannt werden. Als Beispiel nennt sie den Lawson-Parameter: Das Produkt aus Teilchendichte, Temperatur und Einschlusszeit der Energie muss größer als ein gewisser Schwellenwert sein, damit ein Fusionsplasma zündet und Energie liefert. „Heute fehlt uns noch ein Faktor zehn – seit Beginn der Fusionsforschung haben wir aber schon einen Faktor 100 000 erreicht“, sagt sie stolz. Die spöttische Bemerkung, die einzige Konstante der Fusionsforschung sei die Zahl 50, weil es unabhängig vom Zeitpunkt der Fragestellung

noch 50 Jahre dauere, bis ein Kraftwerk möglich sei, findet sie unangebracht. Die Fusionsforschung sieht sie jetzt vor einem entscheidenden Schritt: „Wir verstehen, was im Plasma passiert. Jetzt müssen wir zeigen, dass Fusion mehr Energie bereitstellt, als das Heizen des Plasmas benötigt. Dafür brauchen wir ITER!“

Doch was ist ein realistischer Zeitplan auf dem Weg zum Fusionskraftwerk? Nach dem jetzigen Stand der Arbeiten könnte die Anlage in Südfrankreich bis 2025 in Betrieb gehen (Abb. 5). Dass ein Fusionskraftwerk wie DEMO Elektrizität ins Netz einspeist, ist nicht vor 2050 zu erwarten. „Diese Planung ist sehr spekulativ, weil wir nicht wissen, welche technischen oder politischen Schwierigkeiten uns noch erwarten“, will sich Sibylle Günter nicht festlegen lassen. Bernard Bigot, Jahrgang 1950, schätzt die Lage ähnlich ein: „Ich persönlich werde wohl nicht mehr erleben, wie ein Fusionskraftwerk ans Netz geht.“

7) Pressemitteilung unter bit.ly/ISKGelF

PI

Für die Forschung kennen wir keine Grenzen



PI – geprüft · belegt · verfügbar – immer die beste Lösung!

Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG · 76228 Karlsruhe · info@pi.de · www.pi.de

Besuchen Sie uns auf den DPG-Tagungen
Hannover 29.02.–04.03.16 · Regensburg 06.–11.03.16

BEWEGEN | POSITIONIEREN

REAKTORUNFÄLLE

Folgenreiche Katastrophen

In diesem Frühjahr jähren sich die Nuklearunfälle von Tschernobyl und Fukushima zum dreißigsten bzw. fünften Mal.

Die Redaktion

#) Zahlreiche Artikel, Nachrichten und Links zu Tschernobyl und Fukushima finden sich in unserem Dossier unter www.pro-physik.de/phy/physik/dossier.html?qid=8918341

Bis heute ist die Explosion des Reaktorblocks 4 im Kraftwerk Tschernobyl vom 26. April 1986 der schlimmste Unfall in der Geschichte der friedlichen Nutzung der Kernenergie.^{#)} Auch wenn der nukleare Unfall im japanischen Kernkraftwerk Fukushima Daiichi nach dem 11. März 2011 medial große Aufmerksamkeit erlangte, lassen sich die Auswirkungen des Nuklearunfalls nicht mit dem in Tschernobyl vergleichen. Das Erdbeben und der Tsunami, welche zum Reaktorunfall führten, verursachten verheerendere Zerstörungen und kosteten fast 16 000 Menschen das Leben.

Dreißig Jahre nach dem Unfall von Tschernobyl hat sich das Land um das alte Kraftwerk so gut erholt, dass sich dort inzwischen ein einzigartiges ökologisches Schutzgebiet entwickelt hat – unberührt vom Menschen. Bald wird über den Bäumen unübersehbar der neue Schutzschild über dem zerstörten Reaktorgebäude aufragen und an die schlimme Katastrophe erinnern, die das Gebiet in der heutigen Ukraine und im angrenzenden Belarus nachhaltig verändert hat. Radiologische Messungen zeigen, wie sich Radionuklide im Boden eingelagert haben. Der Anbau von Raps für Biodiesel soll helfen, den Boden zu dekontaminieren (vgl. den Artikel von C. Walther, P. Brozynski und S. Dubchak).



Auch fünf Jahre nach der Dreifachkatastrophe in Japan laufen die Aufräum- und Dekontaminationsarbeiten. Ein Zaun grenzt das Sperrgebiet um das ehemalige Kraftwerk Fukushima Daiichi ab, zahlreiche Ortschaften in Japan sind nach wie vor komplett zerstört und zum Teil unbewohnt. Obwohl die Strahlenbelastung kaum noch erhöht ist, leiden die Menschen rund um Fukushima weiterhin unter der Stigmatisierung und den psychischen Folgen des Unglücks. Immerhin zeigen die zahlreichen



P. Brozynski

Der Tsunami am 11. März 2011 hat unzählige Häuser und ganze Landschaften an der Ostküste Japans völlig zerstört.

Lebensmittelkontrollen, dass praktisch nur noch Pilze und Wildschweine kontaminiert sind (vgl. den Artikel von G. Steinhauser und A. Koizumi). Dennoch ist die Bevölkerung ähnlich verunsichert wie die Menschen in Europa nach dem Unfall von Tschernobyl.

Seit 2012 gibt es das Fukushima Ambassador Program, das ausländischen Studierenden zweimal im Jahr die Möglichkeit bietet, nach Fukushima zu reisen, mit Menschen in Notunterkünften zu sprechen, Freiwilligenarbeit zu leisten und hautnah mitzuerleben, mit welchen Herausforderungen die Menschen dort bis heute zu kämpfen haben (vgl. das Interview mit A. Wunnenberg und P. Brozynski).

Um die Folgen möglicher künftiger Nuklearkatastrophen so gering wie möglich zu halten, sollte man Schutzmaßnahmen treffen und sich auf solche Fälle vorbereiten (vgl. den Meinungsbeitrag von W. Weiss). Aber hundertprozentige Sicherheit wird es nie geben.



Tschernobyl – 30 Jahre danach

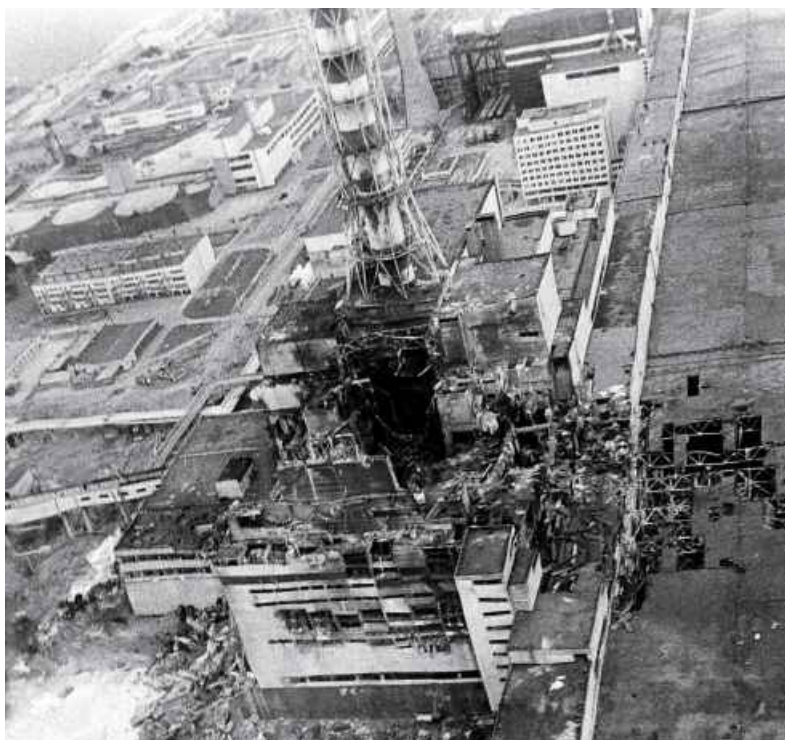
Ist eine Nutzung der kontaminierten Gebiete wieder möglich?

Clemens Walther, Peter Brozynski und Sergiy Dubchak

Die Auswirkungen der nuklearen Katastrophe von Tschernobyl sind auch heute noch zu spüren: Große Flächen um das ehemalige Kraftwerk weisen nach wie vor hohe Kontaminationen mit Radionukliden auf. Die Natur hat sich weitgehend von den akuten Schäden erholt, sodass ein einzigartiges Ökosystem ohne Einfluss des Menschen entstanden ist. In der Ukraine gibt es erste Versuche, die kontaminierten Gebiete wieder zu nutzen.

Am 26. April 1986 kam es in Reaktorblock 4 des Kernkraftwerks Tschernobyl in der heutigen Ukraine zum schwerwiegendsten Unfall in der zivilen Nutzung der Kernenergie [1]. In einem Test sollte geprüft werden, ob die Rotationsenergie der Turbinen zur Energieversorgung des Reaktors ausreicht, bis Notstromaggregate anspringen. Bei dem RBMK-Reaktor (Reaktor Bolschoi Moschtschnosti Kanalny – Hochleistungsreaktor mit Kanälen) handelt es sich um einen graphitmoderierten Siedewasserreaktor. Das Spaltmaterial befindet sich in Druckröhren, die das Kühlwasser durchströmt. Wechselnde Lastanforderungen im Vorfeld des Tests führten zu einem äußerst instabilen Zustand des Reaktors, der den Abbruch des Test erfordert hätte.

Um den Test fortzuführen, überbrückte das Personal aber vorsätzlich sicherheitsrelevante Einrichtungen. Fehleinschätzungen des unzureichend geschulten Personals sowie Designschwächen dieses Reaktortyps – insbesondere ein Ansteigen der Reaktorleistung bei Dampfblasenbildung und die Bauart der Abschalt- und Regelstäbe – führten zu einer sprunghaften Leistungsexkursion bis zum Sechzigfachen der Nennleistung innerhalb weniger Sekunden. Infolgedessen explodierte der Reaktor, sprengte die 3000 Tonnen schwere Reaktordeckplatte ab und fing Feuer. Durch eine fehlende weitere druckfeste Sicherheitsbarriere lag der zerstörte Reaktorkern frei, sodass es durch den Brand zu einem massiven Austrag radioaktiven Materials in bis zu mehrere Kilometer Höhe kam. Erst zehn Tage später gelang es, den Brand zu löschen und den Reaktor vorläufig abzudecken. In dieser Zeit wurden je nach Isotop zwischen ein und fünfzig Prozent des radioaktiven Inventars, insgesamt etwa 5300 PBq, freigesetzt. Der größte Anteil entfiel auf flüchtige Stoffe wie die Isotope der Edelgase Xenon und Krypton sowie ^{129m}Te und ^{132}Te , mehrere Iodisotope, ^{134}Cs und ^{137}Cs (Abb. 3



picture alliance / AP Images

Als der Brand im Reaktorblock 4 des Kernkraftwerks Tschernobyl nach zehn

Tagen gelöscht ist, zeigt sich das ganze Ausmaß der Zerstörung.

auf Seite 41). Vom radioaktiven Strontium wurden etwa drei bis fünf Prozent emittiert, von den schwer flüchtigen Elementen sowie den Actiniden Uran, Neptunium, Plutonium und Americium etwa ein Prozent. Wechselnde Winde verteilten die flüchtigen Stoffe über weite Teile Europas [2]. Regenfälle wuschen die radio-

KOMPAKT

- Die Nuklearkatastrophe von Tschernobyl führte zu Kontaminationen in großen Teilen Europas.
- Die Gebiete um das ehemalige Kernkraftwerk werden engmaschig überwacht. Die Daten helfen auch dabei, besser zu verstehen, wie sich Radionuklide langfristig in der Umwelt verhalten.
- Um eine Wiederbesiedelung der kontaminierten Gebiete vorzubereiten, laufen Pilotprojekte zur Erzeugung und Verarbeitung von Biokraftstoffen aus Raps.
- Die Einrichtung eines Biosphärenreservats soll garantieren, dass die vom Menschen seit dreißig Jahren unbeeinflusste Natur weiter erforscht wird, während sich die kontaminierten Gebiete von den akuten Auswirkungen des Unfalls erholen.

Prof. Dr. Clemens Walther, Peter Brozynski, Institut für Radioökologie und Strahlenschutz, Leibniz Universität Hannover, Herrenhäuser Str. 2, 30419 Hannover;
Dr. Sergiy Dubchak, State Ecological Academy of Postgraduate Education and Management, V. Lypkivsky Str. 35, 03035 Kyiv, Ukraine

aktiven Stoffe aus und kontaminierten eine Fläche von mehr als 190 000 km² mit Depositionsdichten von über 37 kBq/m² durch ¹³⁷Cs [3]. Davon lagen 45 000 km² außerhalb der damaligen Sowjetunion, wobei die höchsten Depositionsdichten in einigen Gebieten Skandinavien, Österreichs und des Bayerischen Waldes zu verzeichnen waren. Der bei weitem größte Teil der kontaminierten Flächen mit Depositionsdichten über 185 kBq/m² befand sich in den heutigen Staaten Ukraine, Belarus und Russland [4], darunter auch die hoch kontaminierten Gebiete mit über 1500 kBq/m². Mehr als 90 % der Actiniden sowie ⁹⁰Sr, ¹⁴¹Ce und ¹⁴⁴Ce wurden in Form von bis zu 10 µm großen Brennstofffragmenten freigesetzt. Da diese Partikel nicht in große atmosphärische Höhen gelangten, gingen sie meist in Entfernungen von bis zu 30 Kilometern um den Unglücksort nieder [5]. Diese Isotope haben also ausschließlich Gebiete in den heutigen Staaten Ukraine, Belarus und Russland kontaminiert.

Evakuierung nach dem Unfall

In den betroffenen Gebieten lebten rund fünf Millionen Menschen, von denen mehr als 350 000 aufgrund zu hoher zu erwartender Strahlungsdosen ihre Heimat verlassen mussten. Nur 116 000 Menschen wurden unmittelbar nach dem Unfall evakuiert, die restlichen zum Teil erst mit über einer Woche Verzögerung. Dies ist aus Sicht des Strahlenschutzes sehr bedenklich, da diese Menschen das kurzlebige Isotop ¹³¹I ($T_{1/2} = 8$ d) aufgenommen haben, wobei teils Schilddrüsendosen weit über 1 Gy die Folge waren (Infokasten „Einheiten der Dosimetrie“). Zu erklären ist diese schrittweise und zu langsame Evakuierung u. a. mit dem damaligen sowjetischen Schutzziel einer maximalen Lebenszeitdosis von 350 mSv. Nach dem Reaktorunfall wurde die zulässige Jahresdosis schrittweise reduziert: von 100 mSv im Mai 1986 zu 30 mSv im Jahr 1987 und schließlich auf 25 mSv im Jahr 1988. Diese Dosen rechtfertigten die späte Evakuierung, weil sie nur durch die erwartete Exposition mit dem langlebigeren ¹³⁷Cs und Ingestion dieses Isotops erreicht worden wäre.

EINHEITEN DER DOSIMETRIE

Die **Aktivität** bezeichnet die Zerfallsrate von Radionukliden und wird in Becquerel (Bq) gemessen, d. h. der Anzahl der Zerfälle pro Sekunde. Vor Einführung der SI-Einheiten war die Einheit Curie (Ci) gebräuchlich: $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$. Die **Flächendepositionsdichte** in Bq/m², also die flächenbezogene Aktivität der am Boden abgelagerten Radionuklide, ist ein Maß für den radioaktiven Fallout.

Die Wechselwirkung ionisierender Strahlung mit lebender Materie kann zu Zellschäden führen. Die Strahlenexposition wird als **Energiedosis**, also absorbierte Energie pro Masse, mit der Einheit Gray (Gy = J/kg) angegeben. Eine Exposition des menschlichen Körpers mit mehr als einem Gray löst akute Strahlenkrankheit aus. Um die Energiedosis, die Strahlenart sowie die unterschiedliche Strahlenempfindlichkeit unserer Organe oder Teilkörperexpositionen zu berücksichtigen, gibt es die **effektive Dosis**. Auch sie hat die SI-Einheit

DOSISWERTE

Menschen sollen vor den schädlichen Folgen ionisierender Strahlung geschützt werden. Geeignete Maßnahmen lassen sich anhand von Dosiswerten beurteilen. Dabei unterscheidet man verschiedene Größen.

Als **Eingreifrichtwert** wird ein Dosiswert (z. B. effektive Dosis) bezeichnet, bei dessen tatsächlicher oder prognostizierter Überschreitung eine Schutzmaßnahme für die Bevölkerung zu erwägen ist. Liegt eine Notfall-Expositionssituation (z. B. ein nuklearer Unfall) vor, gelten Expositionen oberhalb des **Referenzwerts** als unangemessen. Ein **Grenzwert** im engeren Sinn ist z. B. eine Dosis, die aufgrund von Vorgaben in Gesetzen oder Verordnungen insbesondere bei geplanten Expositionssituationen nicht überschritten werden darf. Ein Beispiel hierfür ist die jährliche maximale effektive Dosis von 20 mSv für beruflich strahlenexponierte Personen.

Später wurde die Jahresdosis auf 1 bis 5 mSv abhängig der Zone korrigiert. Diese Werte sind angelehnt an den in vielen westlichen Ländern gültigen Wert für die maximale Jahresdosis durch Emissionen kerntechnischer Anlagen – allerdings im Normalbetrieb und für Personen, die nicht beruflich strahlenexponiert sind (Infokasten „Dosiswerte“).

Generell ist eine Evakuierung bei der Gefahr stark erhöhter Folgedosen unvermeidlich. Aber wie hoch ist „hoch“? Die internationale Strahlenschutzkommission empfiehlt einen Referenzwert von 100 mSv für das erste Jahr nach einem Unfall [6]. Gleichzeitig ist zu berücksichtigen, dass eine Evakuierung einen massiven Eingriff in das Leben der Menschen bedeutet und gesundheitliche Folgen nach sich ziehen kann, die gegen potenzielle strahlenbedingte Erkrankungen abzuwägen sind. Dazu zählen stressbedingte Symptome, Depressionen und psychosomatische Erkrankungen, Hilflosigkeit, Ungewissheit der eigenen Zukunft und das Wahrnehmen einer Opferrolle. Verhaltensmuster reichen von extrem übervorsichtigem Verhalten und extrem hohen gesundheitlichen Bedenken bis hin zu Negieren der Realitäten und unkontrolliertem (illegalen) Konsum von Lebensmitteln aus hoch kontaminierten Gebieten. Untersuchungen ergaben, dass Personen, die in ihren Siedlungen verblieben oder nach kurzer Zeit

J/kg, wird aber mit Sievert (Sv) abgekürzt. Ein Sievert ist bereits eine sehr hohe Dosis, üblich sind daher mSv und µSv. So beträgt die mittlere effektive Dosis in Deutschland aufgrund natürlicher Quellen etwa 2 mSv pro Jahr.

Man unterscheidet verschiedene Arten der Exposition. Teilchenstrahlen haben eine sehr geringe Reichweite und schädigen hauptsächlich nach Aufnahme in den Körper (Inhalation und Ingestion). Wichtige Vertreter sind die Beta-Emitter ⁹⁰Sr ($T_{1/2} = 28,6$ a) und ²⁴¹Pu ($T_{1/2} = 14,3$ a) sowie die alpha-strahlenden Actiniden ²³⁸Pu ($T_{1/2} = 87,7$ a), ²³⁹Pu ($T_{1/2} = 24 100$ a), ²⁴⁰Pu ($T_{1/2} = 6560$ a) und ²⁴¹Am ($T_{1/2} = 432$ a). Durchdringende Strahlung (Gamma-Strahlung und Neutronen) schädigt auch bei externer Exposition, z. B. durch Aufenthalt auf kontaminiertem Boden. Dosisrelevant ist i. Allg. ¹³⁷Cs ($T_{1/2} = 30,2$ a; Beta- und Gammastrahler). Alle diese Radionuklide sollten nicht in die Nahrungskette gelangen.

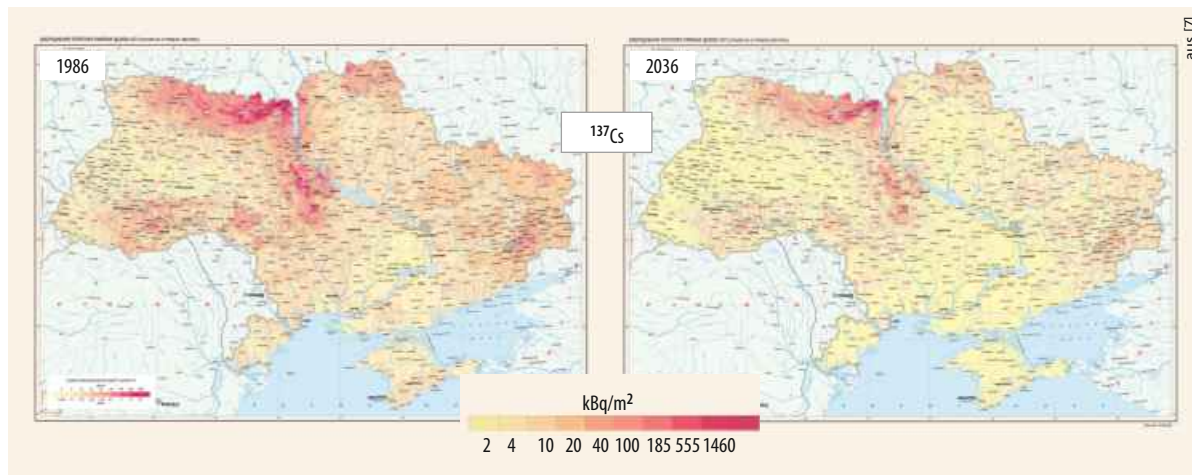


Abb. 1 Ein Vergleich der Kontamination mit dem Radionuklid ^{137}Cs in der Ukraine von 1986 mit der Prognose für 2036 zeigt,

dass die Aktivität in den betroffenen Gebieten deutlich zurückgehen wird.

zurückkehrten, mit den Folgen besser zurecht kamen. Daher ist es wichtig, die kontaminierten Gebiete bezüglich einer möglichen Rückkehr und erneuter Nutzung kontinuierlich zu beobachten und zu evaluieren.

Aktuelle Kontaminationen und Besiedelung

Die betroffenen Ökosysteme werden seit dem Unfall routinemäßig engmaschig überwacht und studiert. Das radiologisch sehr gefährliche ^{131}I ist aufgrund seiner kurzen Halbwertszeit bereits vollständig abgeklungen. Die Isotope ^{90}Sr ($T_{1/2} = 28,6$ a) und ^{137}Cs ($T_{1/2} = 30,2$ a) werden noch über viele Jahrzehnte eine Gefahr darstellen. Die Aktivitäten dieser Nuklide sinken ebenfalls, nicht nur durch den radioaktiven Zerfall, sondern auch durch Transport und Sedimentation (Abb. 1). Auch in Belarus geht der Anteil der Staatsfläche, die mit Depositionsdichten von über 37 kBq/m^2 durch ^{137}Cs kontaminiert ist, kontinuierlich zurück von 23 Prozent im Jahr 1986 auf heute 16 Prozent und voraussichtlich zehn Prozent bis 2046 [8].

Die im näheren Umkreis um das Kraftwerk deponierten Partikel (so genannte „hot particles“) verwitern. Das führt zu einer anhaltenden Freisetzung von z. B. ^{90}Sr über die nächsten zehn bis zwanzig Jahre [9, 10]. Noch länger werden die Actiniden eine Rolle spielen. Zwar ist zurzeit der Beitrag der Plutonium-Isotope zur radiologischen Gefährdung im Vergleich zu ^{137}Cs gering. Da diese Isotope aber noch über Tausende von Jahren vorhanden sein werden und durch den Beta-Zerfall des ^{241}Pu weiterhin ^{241}Am gebildet wird, ist das Maximum dieser Aktivität erst Mitte dieses Jahrhunderts zu erwarten.

In den Gebieten der früheren UdSSR war es nötig, etwa 8000 km^2 Fläche für die landwirtschaftliche Nutzung zu sperren (Ukraine: 2500 km^2). Außerdem gingen der Forstwirtschaft knapp 7000 km^2 Wald (Ukraine: knapp 3000 km^2) verloren [11]. Bis heute liegen diese Flächen brach. Lediglich Vorsorgemaßnahmen wie das Mähen von Wiesen, Aufforstung und die Errichtung von Brandschutzfluren um Waldgebiete

wurden durchgeführt, insbesondere um das erneute Aufwirbeln und damit eine weitere Verteilung kontaminierten Materials zu verhindern.

Die Ukraine ist nach wie vor in drei Zonen der Kontamination unterteilt (Abb. 2). Die innerste und am höchsten kontaminierte Zone ist die Chernobyl Exclusion Zone (CEZ) mit etwa 2200 km^2 Fläche. Im Süden der CEZ leben permanent 172 Personen (142 Personen in der Stadt Tschernobyl). Bereits 1987 begannen Bewohner, in die CEZ zurückzukehren. Die Population erreichte von 1987 bis 1988 mit rund 1200 Personen das Maximum und sank seitdem kontinuierlich aufgrund der Altersentwicklung: Das Durchschnittsalter in der CEZ liegt heute bei 63 Jahren. An die CEZ schließt sich Zone 2 mit 2230 km^2 an. Hier lebten 1991 rund 50 000 Personen. Ab 1992 wurden 35 500 von ihnen umgesiedelt. Zone 3 umfasst $23 300 \text{ km}^2$ und beinhaltet 841 Städte und Gemeinden, in denen Anfang 2012 etwa 619 500 Personen lebten.

Um die Möglichkeiten der künftigen Landnutzung zu beurteilen, sind einige Prozesse zu betrachten, welche die Kontamination beeinflussen. Dazu gehören

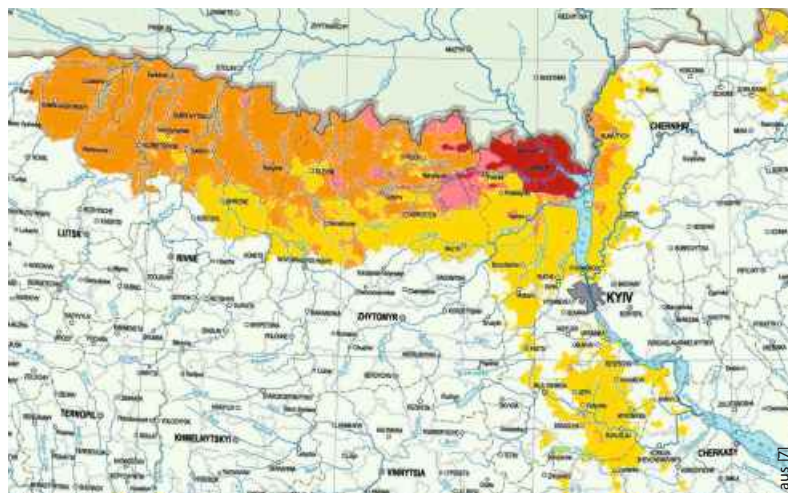


Abb. 2 Die kontaminierten Gebiete in der Ukraine sind in drei Zonen eingeteilt: die sog. Chernobyl Exclusion Zone (rot), Zone 2 mit einer Kontamination durch ^{137}Cs von über 555 kBq/m^2 (rosa) und Zone 3 (185 bis 555 kBq/m^2 , orange). Daneben wird die vormalige Zone 4 radioökologisch überwacht (gelb).

z. B. Verwitterung, radioaktiver Zerfall, Migration von Radionukliden in tiefere Bodenschichten und gegebenenfalls die Veränderung der Oxidationszustände, welche die Bioverfügbarkeit beeinflussen. Der folgende kurze Exkurs zeigt die Komplexität des Verhaltens von Radionukliden in der Umwelt und die Schwierigkeit, Mobilitäten und Bioverfügbarkeiten vorherzusagen.

Mobilität und Verfügbarkeit der Radionuklide

Durch die Analyse von Bodenproben aus Prypjat lassen sich Tiefenprofile von ^{137}Cs , ^{241}Am sowie Plutoniumisotopen erstellen (Abb. 3). Die Stadt liegt etwa vier Kilometer vom Kraftwerk entfernt mitten in der CEZ. Dennoch ist die Deposition der Radionuklide sehr inhomogen, wie der Vergleich zweier Proben mit etwa einem Meter Abstand zeigt. Die Proben werden zunächst gammaspektroskopisch auf ^{137}Cs und ^{241}Am untersucht. Der Gehalt an Plutonium folgt aus der Alpha-spektrometrie. Die ursprünglich hoch kontaminierten Böden sind mit weniger kontaminiertem Material bedeckt, und die anfangs nur oberflächliche Deposition ist bereits in tiefere Bodenschichten migriert. Dies gilt nicht nur für ^{137}Cs , sondern auch für Plutonium, dessen Isotope erwartungsgemäß alle gleich schnell migrieren. Aktuelle Arbeiten widmen sich der Frage, ob auch Kleinstbodenlebewesen die Bodenschichten verlagern können.

Eine zusätzliche Information ergibt sich aus dem Signal von ^{241}Am . Das dreiwertige Americium ist normalerweise mobiler als das unter Umweltbedingungen

vierwertige Plutonium und sollte schneller in tiefere Bodenschichten migrieren. Zur Americium-Aktivität in tieferen Bodenschichten tragen zwei Prozesse bei: die direkte Migration und die Nachbildung aus dem Beta-Zerfall von ^{241}Pu . Da mit tieferen Schichten das Verhältnis von Plutonium zu Americium abnimmt, überwiegt der zweite Prozess (Abb. 3). In tieferen Bodenschichten bildete sich viel weniger ^{241}Am nach, weil ^{241}Pu sehr langsam migriert und durch seine kurze Halbwertszeit von 14,3 Jahren der größte Teil auf dem Weg in tiefere Bodenschichten zerfällt. Dies gilt nicht für die langlebigeren Isotope ^{238}Pu , ^{239}Pu und ^{240}Pu .

Auch Verwitterung spielt eine wichtige Rolle: Plutonium lag im Brennstoff ursprünglich vierwertig vor. Diese Oxidationsstufe ist chemisch inert, kaum wasserlöslich und wenig mobil. Verwitterungsprozesse führen durch Oxidation zu fünf- und sechswertigem Plutonium. Unter Umweltbedingungen ist es nicht lange stabil, hat aber kurzfristig eine erhöhte Mobilität zur Folge, die auch größer sein kann als für das dreiwertige Americium.

In offenem Gelände wie Feldern und Wiesen führen Dekontaminationsmaßnahmen sowie die oben betrachteten Prozesse dazu, dass sich Radionuklide verlagern und immer weniger in Pflanzen und in die weitere Nahrungskette gelangen. Dadurch sinken die höchsten Beiträge zur effektiven Dosis, die sich aus der Aufnahme von ^{137}Cs über Milch, Fleisch und einige Gemüsesorten ergeben, in den meisten Gebieten unter die zulässigen Grenzwerte. Anders ist es bei in Wäldern geernteten Pilzen, Beeren sowie beim Fleisch dort lebender Wildtiere. Diese sind nach wie vor hoch

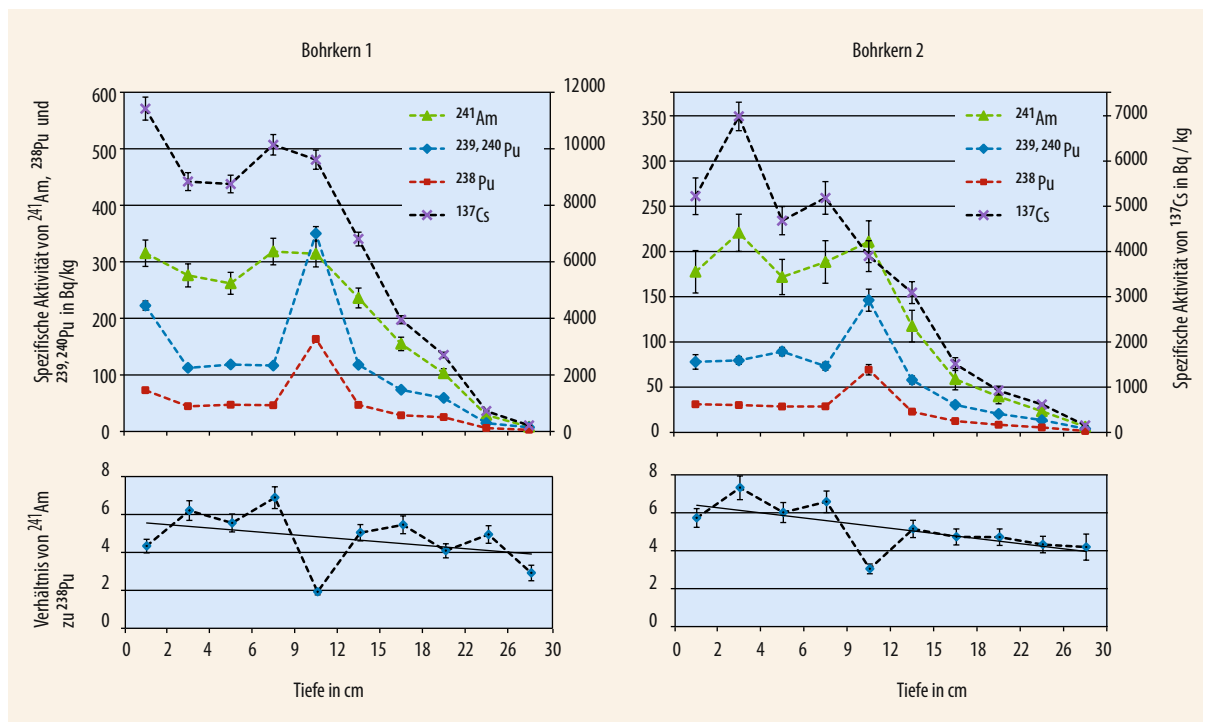


Abb. 3 Zwei Bohrkern, die eine Länge von 30 cm und einen Durchmesser von 3,8 cm haben, ergeben jeweils zehn Teilproben mit Dicken von 2 bis 4 cm. Vergleicht man die Aktivitäten der Teilpro-

ben aus beiden Bohrkernen, zeigen sich sehr heterogene Tiefenprofile für die Plutoniumisotope sowie ^{137}Cs und ^{241}Am . In den Teilproben aus 9 bis 12 cm Tiefe findet sich die maximale Aktivität aller

Plutoniumisotope: Diese Schicht entspricht wohl der Erdoberfläche vor 30 Jahren. Darüber liegt eine recht dicke Schicht organischen Materials, in der die Aktivität von ^{137}Cs erhöht ist.



Abb. 4 Der Blick von einer Straßenbrücke kurz vor Prypjat in Richtung des Reaktorblocks 4 zeigt, dass sich die Natur zwischen 1997 und 2014 deutlich erholt hat. Von der Anlage des

ehemaligen Kraftwerks ist aufgrund der hohen Bäume nur die die neu errichtete „Shelter“ zu erkennen, die sich noch neben dem zerstörten Reaktorblock befindet.

kontaminiert, da es praktisch nicht möglich ist, Waldgebiete zu dekontaminieren. Eine Abnahme ist nur durch den Zerfall und eine langsame Migration des ^{137}Cs zu erwarten.

Unmittelbar nach dem Unfall wurden in direkter Umgebung des Reaktors strahleninduzierte Krankheiten bei Tieren sowie das Absterben von Nadelbäumen (sog. roter Wald) beobachtet. Unter den heutigen Bedingungen in der CEZ entwickeln sich Pflanzen jedoch völlig normal [12]. Das jetzige Niveau der ionisierenden Strahlung schränkt die Wahl potenzieller Nutzpflanzen nicht ein. Allerdings sollte die Weitergabe von ^{137}Cs in die Nahrungskette möglichst gering sein.¹⁾ Etliche Maßnahmen eignen sich dazu: Erhöht man durch Düngung die Menge von Kalium im Boden, nehmen Pflanzen weniger des chemisch homologen ^{137}Cs auf. Der Übergang in die Milch verringert sich, wenn man das Tierfutter mit Cäsium-Bindemittel behandelt. Während diese Maßnahmen anfangs die Belastung von Lebensmitteln drastisch reduzieren konnten, ist dieser positive Trend seit Mitte der 1990er-Jahre – auch wegen ökonomischer Probleme – rückläufig.

Generell nimmt die Kontamination durch ^{137}Cs ab. Daher erwägen die betroffenen Länder, die Grenzen und die Nutzung der kontaminierten Gebiete neu zu organisieren. Etliche Gebiete, die wenige Jahre nach dem Unfall als gefährlich galten, sind heute wieder sicher genug, um sie zu besiedeln und zu nutzen. Die derzeit gültigen Abgrenzungen sind weit restriktiver, als es aus Sicht des Strahlenschutzes erforderlich wäre [13]. In der Ukraine wurde dem mit der Aufhebung von Zone 4 im Jahre 2015 Rechnung getragen (Abb. 2). Für Bewohner der Zonen 2 und 3 wurden einige Privilegien abgeschafft, weil sich die radiologische Belastung reduziert und es Anstrengungen gibt, ein normales Leben zu ermöglichen, wie folgende Beispiele zeigen.

Biokraftstoffe in Zone 2

Um Zone 2 erfolgreich wieder zu besiedeln, sind wirtschaftliche Projekte notwendig, die den Bewohnern Unabhängigkeit und Perspektiven eröffnen. Die vor 1986 überwiegend landwirtschaftliche Nutzung in

vollem Umfang wieder herzustellen, ist schwierig. Obwohl auch in einigen Teilen der Zone 2 die Produktion von Nahrungsmitteln möglich ist, geschieht dies ausschließlich zum privaten Gebrauch. Dabei mögen neben dem hohen Aufwand für die Kontrolle der Lebensmittel auch potenzielle Schwierigkeiten bei ihrer Akzeptanz und Vermarktung eine Rolle spielen. Einige innovative Projekte zur wettbewerbsfähigen Produktion von Gütern sollen die sozioökonomische Entwicklung anstoßen, die für eine Wiederbesiedlung notwendig ist. Eines davon ist der Anbau von Pflanzen für die Nutzung als Energieträger.

Seit 2007 gibt es in Zone 2 das Pilotprojekt „Raps für die Wiederbelebung des Distrikts Narodychi“. Auf Böden, die immer noch mit mehr als 555 kBq/m^2 durch ^{137}Cs kontaminiert sind, werden Nutzpflanzen für die industrielle Verwertung angebaut. Der Rapsanbau verfolgt zwei Ziele: Einerseits wird durch Aufnahme des ^{137}Cs in die Pflanze der Boden um einige Prozent pro Wachstumszyklus dekontaminiert (Phytoremediation). Andererseits dient der Raps dazu, Biodiesel und Biogas zu gewinnen.

In der Nähe des wiederbesiedelten Ortes Stare Sharne wachsen auf einer Fläche von 18 Hektar Plusnull-Raps und Winterraps, weil es dort noch nicht erlaubt ist, Nahrungsmittel anzubauen. Im Rahmen eines japanischen Hilfsprojekts entstand in Narodychi eine Anlage zur Produktion von täglich bis zu 450 Litern Biodiesel. Als Pilotanlage dient sie der Forschung und soll helfen, größere Anlagen zu entwickeln. In Lasky liefert eine Biogas-Anlage die Energie zur Warmwasserversorgung.

Im Rahmen des Versuchsbetriebs ist es möglich, verschiedene Parameter wie Art und Umfang der Düngung zu variieren und den Einfluss der Bodentypen zu untersuchen. Will man die Pflanzen später weiter nutzen, darf nur möglichst wenig Cäsium vom Boden in die Pflanze übergehen. Will man dagegen die Phytoremediation optimieren, sollte der Transfer in die Pflanzen so hoch wie möglich sein. Der Versuchsbetrieb zeigte, dass sich die im Distrikt Narodychi herrschenden Klimabedingungen für den Rapsanbau eignen und mit Hilfe von Kalkdüngung gute Ernten möglich sind. Auch über mehrere Jahre hinweg hat die

1) Als Abschätzung gilt, dass eine einmalige Zufuhr von $100 \text{ Bq } ^{137}\text{Cs}$ zu einer effektiven Ein-Jahres-Folgedosis von $1,3 \mu\text{Sv}$ führt. Nach einem Jahr ist das ^{137}Cs vollständig ausgeschieden. Eine einmalige Exposition bleibt daher höchstwahrscheinlich folgenlos. Gefährlich ist der dauerhafte Verzehr belasteter Lebensmittel.

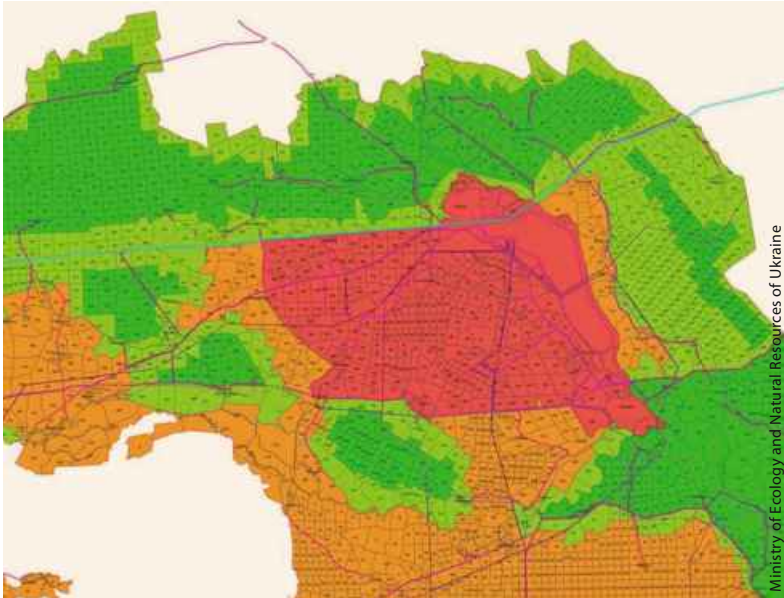


Abb. 5 Das geplante Biosphärenreservats spart u. a. Industriekomplexe des ehemaligen Kernkraftwerks aus (rot). Die „conservation area“ (dunkelgrün) dient allein der Forschung und ist von

Pufferzonen (hellgrün) umgeben. Wirtschaftliche Aktivitäten wie Forstwirtschaft oder Landnutzung sollen der Rehabilitation der kontaminierten Flächen dienen (orange).

Fruchtbarkeit des Bodens nicht abgenommen. In der oberen Bodenschicht verlagerte sich ^{137}Cs , während der wasserlösliche Anteil stark absank.

Im Rapssamen findet sich hauptsächlich ^{137}Cs , wohingegen ^{90}Sr eher in die restlichen Pflanzenteile übergeht. Für beide Isotope gelang es, die derzeitigen Grenzwerte zur Gewinnung technischer Produkte wie Öl einzuhalten und die Pflanzen ohne Einschränkung zu verwenden.²⁾ Nach der Ölproduktion verbleibt Schlamm, in dem sich Aktivitäten von knapp 600 Bq/kg durch ^{137}Cs und bis zu 67 Bq/kg durch ^{90}Sr finden. Dieses Material dient als Basis, um Biogas zu gewinnen. Bei gleichzeitiger Produktion von 800 bis 1000 kg Biodiesel und 3000 m³ Biogas pro Hektar und Jahr nimmt die gesamte Kontamination als Nebeneffekt um etwa 0,1 Prozent ab. Bezogen auf den für Pflanzen verfügbaren Teil des ^{137}Cs beträgt die Remediation immerhin rund 17 Prozent pro Jahr.

Bei diesen Arbeiten in Zone 2 ist es erforderlich, die Produkte zu überwachen und den Strahlenschutz der Beschäftigten sicherzustellen. Zur Erprobung werden weitere Nutzpflanzen angebaut, u. a. Silbergras, schnell wachsende Weidesorten und Artischocken.

Biosphäre in Reaktornähe

Eine Wiederbesiedlung oder landwirtschaftliche Nutzung der am höchsten kontaminierten Gebiete in der CEZ ist derzeit nicht geplant. Das Ministerium für Ökologie und natürliche Ressourcen der Ukraine erarbeitet dagegen seit 2013 gezielte Pläne, ein Biosphärenreservat in der CEZ einzurichten. In den kontaminierten Gebieten der CEZ haben sich Flora und Fauna nicht nur von den frühen Schädigungen durch lokal extrem hohe Strahlenbelastungen erholt.

So paradox dies erscheinen mag, entwickelt sich in der CEZ ein einzigartiges ökologisches Schutzsystem, weil der Mensch keinen Einfluss mehr nimmt (Abb. 4). Zahlreiche internationale Forschungsprojekte, auch außerhalb der Radioökologie, nutzen bereits diese „ungestörte“ Naturlandschaft.

Vor diesem Hintergrund erscheint es konsequent, ein offizielles Reservat einzurichten. Das Reservat soll knapp 2300 km² von CEZ und Zone 2 umfassen. Dabei bleiben die Industriekomplexe des ehemaligen Kernkraftwerks, der Abfallentsorgungskomplex „Vector“ sowie der Lagerbereich für radioaktive Abfälle „Buryakivka“ und einige weitere Komplexe mit über 320 km² ausgenommen (Abb. 5). Die Grenzen der heutigen CEZ bleiben erhalten; allerdings werden der rechtliche Status und der praktische Umweltschutz gestärkt.

Die Einrichtung des Biosphärenreservats soll helfen, die natürlichen Bedingungen des Ökosystems der Polissya Region zu bewahren und gleichzeitig die Barrierefunktion der CEZ zu erhalten und auszubauen. Ein weiteres Ziel besteht darin, das hydrologische Regime zu stabilisieren und die kontaminierten Gebiete zu rehabilitieren. Innerhalb des Biosphärenreservats ist geplant, das Umweltüberwachungssystem zu verbessern sowie nationale und internationale Forschungsvorhaben zu unterstützen.

Umgeben von Flächen des Biosphärenreservats befindet sich der Reaktorblock 4, den zukünftig der New Safe Confinement einhüllen soll. Massive ausländische Subventionen hauptsächlich von EU-Mitgliedsstaaten finanzieren zurzeit die Errichtung dieser „Shelter“. Sie soll den Reaktorblock 4 und den inzwischen maroden Sarkophag einschließen und langfristig einen Rückbau ermöglichen. Etwa 750 km² des Reservats bilden die sog. „Conservation Area“. Hier sollen Forschungsaktivitäten gemäß nationaler Gesetze stattfinden. Außerdem wird es möglich sein, Vorrichtungen zum Schutz vor Waldbränden und Löschwassertanks zu errichten und Schädlingsbekämpfung durchzuführen. Während Maßnahmen zum Schutz und zur Stabilisierung des Grundwassers gestattet sind, wird jegliche Art wirtschaftlicher Nutzung untersagt sein. Pufferzonen mit einer Fläche von etwa 700 km² umgeben diesen Bereich. Sie schützen vor Bränden und dienen der Forschung und Ausbildung. Darüber hinaus umfasst das Reservat Flächen für wirtschaftliche Aktivitäten, in denen Landnutzung, Forstwirtschaft und Wassernutzung möglich sind, die aber bei der Rehabilitation der kontaminierten Flächen helfen.

Mit dem Gesetz blickt das Ministerium in die Zukunft, indem es Maßnahmen zur potenziellen Wiederherstellung so genannter „anthropogener Landflächen“ des Biosphärenreservats zu einem späteren Zeitpunkt in Aussicht stellt. Zunächst aber soll gemeinsam mit Belarus unter Einbeziehung der dortigen kontaminierten Gebiete ein transnationales, insgesamt 5000 km² umfassendes Reservat entstehen. Dieses Reservat „Polesskiy“ soll Teil des UNESCO-Programms „Man and Biosphere“ sein, das zum Ziel hat, das Verhältnis von Menschen zu ihrer Umwelt zu verbessern.

2) Die Grenzwerte betragen für ^{137}Cs 600 Bq/kg und für ^{90}Sr 200 Bq/l. Zum Vergleich: Die EU empfiehlt als Grenzwert für die Aktivität von ^{137}Cs in Milchprodukten 350 Bq/kg und für alle anderen Erzeugnisse 600 Bq/kg [14]. Diese Werte dienen der Herstellung der Versorgungssicherheit bei großflächig kontaminierten Gebieten. Diese Gefahr hat in Deutschland zu keiner Zeit bestanden.

Literatur

- [1] Details zum Unfallablauf finden sich in Physik Journal, April 2006, ab S. 29
- [2] R. Michel und G. Voigt, Physik Journal, April 2006, S. 37
- [3] R. Michel, in: 20 Jahre nach Tschernobyl - Eine Bilanz aus der Sicht des Strahlenschutzes, Fachverlag H. Hoffmann GmbH, Berlin (2006)
- [4] Sources and effects of ionizing radiation, Vol. II, Annex D: Health effects due to radiation from Chernobyl accident, UNSCEAR Report (2008)
- [5] 20 years after Chernobyl Catastrophe. Future Outlook, National Report of Ukraine, Kyiv (2006)
- [6] The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103, Ann. ICRP 37 (2-4), (2007).
- [7] Atlas of Radioactive Contamination of Ukraine (2008), www.isgeo.com.ua/en/products/atlases/radatlas
- [8] Radiation conditions on the territory of the Republic of Belarus (Map), State Committee on Land Resources, Geodesis and Cartography of the Republic of Belarus, Minsk (2000)
- [9] S. V. Fesenko et al., J. Environ. Radioact. 34, 287 (1997)
- [10] V. A. Kashparov et al., J. Environ. Radioact. 72, 335 (2004)
- [11] Chernobyl's legacy: health, environmental and socio-economic consequences. The Chernobyl Forum 2003-2005. 2nd edition, www.iaea.org/sites/default/files/chernobyl.pdf
- [12] Sources, effects and risks of ionizing radiation, Vol. II, Annex B: Effects of radiation exposure of children, UNSCEAR Report (2013)
- [13] Chernobyl Nuclear Accident, In Focus, IAEA www.iaea.org/newscenter/focus/chernobyl
- [14] Verordnung (EG) Nr. 733/2008 des Rates vom 15. Juli 2008, beck-online.beck.de/?bcid=Y-100-G-EWG_VO_733_2008

DIE AUTOREN

Clemens Walther (FV Massenspektrometrie, Strahlen- und Medizinphysik) studierte Physik in Mainz und Seattle. Er promovierte 1998 und wechselte danach zum heutigen KIT, Institut für Nukleare Entsorgung (INE). 2008 habilitierte er sich in Kernchemie. Seit 2012 leitet er das Institut für Radioökologie und Strahlenschutz an der Universität Hannover. Er ist Mitglied des Ausschusses Radioökologie der Strahlenschutzkommission, stellv. Leiter der Fachgruppe Nuklearchemie der GDCh und war von 2012 bis 2015 Leiter des Fachverbands Massenspektrometrie der DPG.



Peter Brozynski hat in Hannover Physik studiert und arbeitet derzeit an seiner Masterarbeit zum Thema „Migration von Radionukliden in Bodenproben aus der nördlichen Ukraine“. Im Herbst 2014 hat er an einer Exkursion nach Tschernobyl teilgenommen, im Januar 2016 war er in Fukushima.



Sergiy Dubchak erwarb 1997 in Kiew, Ukraine, seinen Master in Festkörperphysik und Radioökologie. 2007 bis 2013 promovierte er am Institut für Umweltphysik in Krakau, Polen. 2014 wurde er zum Associate Professor in Kiew ernannt. Er befasst sich insbesondere mit der Migration von Radionukliden und der Artenbildung im Ökosystem der „Chernobyl Exclusion Zone“.

LAKE SHORE[®] MODELL 350 Temperaturregler

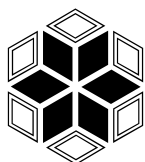
- Vier Sensoreingänge – bis 100 mK
- Besonders rauscharm – optimiert für Cernox Sensoren
- Vier PID geregelte Ausgänge
- Ethernet, USB und IEEE Schnittstellen

Informationen zu allen Produkten von Lake Shore und zu unserem aktuellen Lieferprogramm erhalten Sie unter

www.cryophysics.de

oder rufen Sie uns einfach an.

Cryophysics – Lake Shore Vertretung seit über 45 Jahren



Cryophysics

CRYOPHYSICS GMBH · DOLIVOSTR. 9 · 64293 DARMSTADT
TELEFON (06151) 8157-0 · FAX 8157-99 · info@cryophysics.de



Besuchen Sie uns am
Stand 36 auf der
DPG-Frühjahrstagung
in Hannover
(1.3. - 3.3.2016)



AVUS High Power fs OPA

Optimiert für Spektroskopie und bildgebende Anwendungen

Ausgangsleistungen von bis zu 5 W bei maximal 50 W Eingang

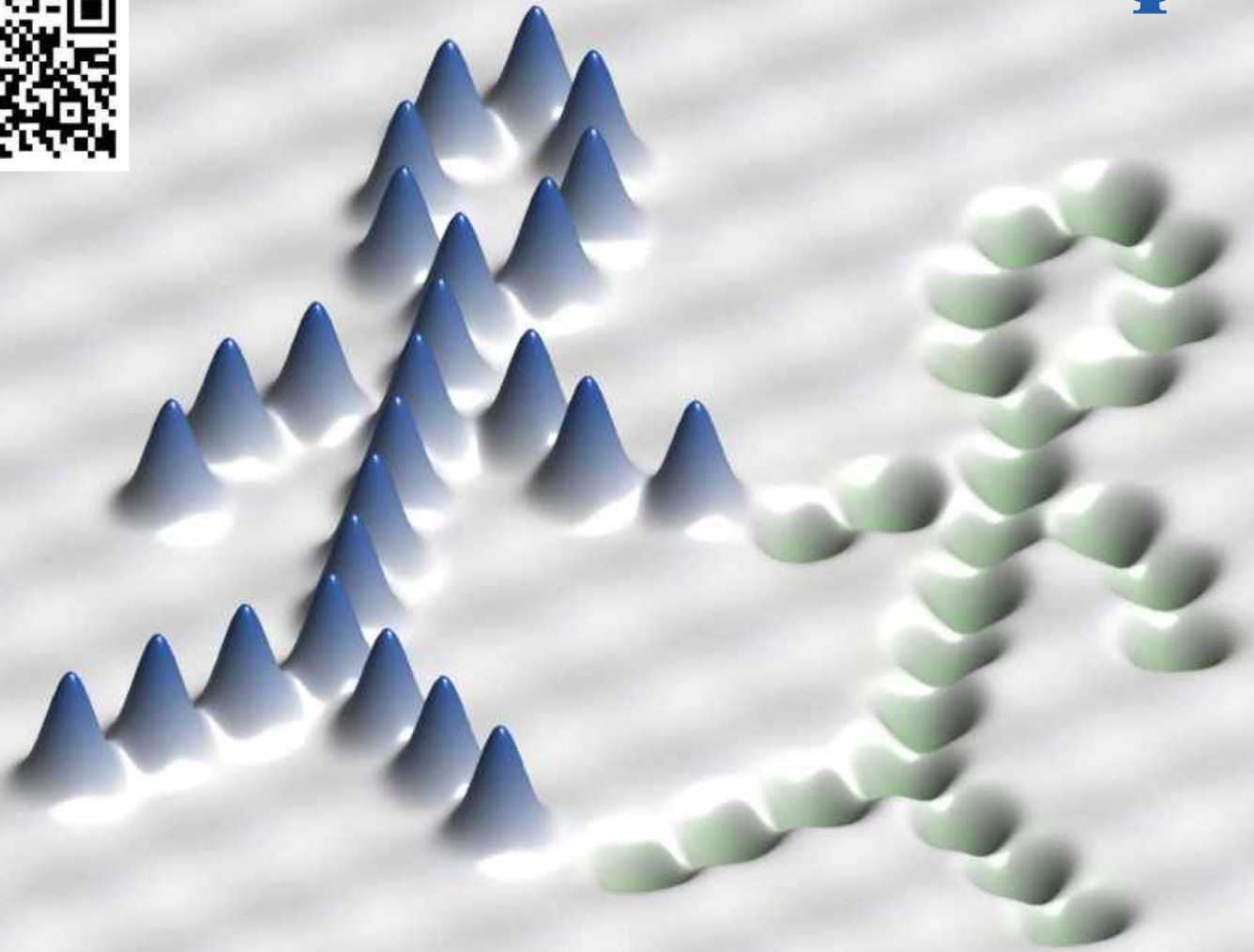
Wellenlängen von 210 nm bis 11 μm bei voller Automatisierung

Höchste Flexibilität durch 3 Eingangsports und die Möglichkeit mehrere AVUS OPAs parallel zu betreiben

Angewandte Physik & Elektronik GmbH

sales@ape-berlin.de

www.ape-berlin.de



DPG Mentoring- Programm

2016

Jetzt anmelden unter:
mentoring.dpg-physik.de
Anmeldeschluss: 30. April 2016

Begleiten Sie als
Mentor/in junge
Physiker/innen
beim
Berufseinstieg.

Profitiere als
Mentee von
erfahrenen
Physiker/innen
im Berufsleben.



REAKTORUNFÄLLE

Fukushima – fünf Jahre danach

Die radioökologische Perspektive der Nuklidfreisetzungen und der Strahlenbelastung von Lebensmitteln

Georg Steinhauser und Akio Koizumi

Knapp 25 Jahre nach Tschernobyl ereignete sich in Japan infolge eines schweren Erdbebens mit anschließendem Tsunami ein schwerer Nuklearunfall. Die radioaktiven Auswirkungen von Fukushima lassen sich jedoch nicht annähernd mit denen von Tschernobyl vergleichen. Heute gibt es in Japan zahlreiche Programme, um die Folgen der Nuklearkatastrophe genau zu charakterisieren und zu reduzieren.

Das schwerste Erdbeben seit Beginn der japanischen Geschichtsschreibung (Momenten-Magnitude 9,0 M_w) und ein gigantischer Tsunami verursachten am 11. März 2011 an der Ostküste der japanischen Hauptinsel Honshu Verwüstungen unvorstellbaren Ausmaßes. Die Flutwelle drang bis zu zehn Kilometer ins Landesinnere und zerstörte alles, was sich ihr in den Weg stellte. Ein Jahr nach der Katastrophe lag die Zahl der Toten bei 15 854, weitere 3155 galten als vermisst. Die Überflutungen zerstörten auch die Notkühlssysteme des Kernkraftwerks Fukushima Daiichi. Drei der sechs Blöcke (Abb. 1) des Kernkraftwerks waren zum Zeitpunkt des Erdbebens in Betrieb, wurden aber bei den ersten seismischen Anzeichen für ein Erdbeben dieser Größenordnung automatisch heruntergefahren. Durch den Tsunami, der das Kraftwerksgelände knapp eine Stunde nach dem Erdbeben erreichte, kam es zur Zerstörung der Dieselgeneratoren und zum Ausfall aller Nebenwasserkühlssysteme. Bedingt durch die Nachzerfallwärme insbesondere der kurzlebigen Spaltprodukte folgten Kernschmelzen in den drei Reaktoren, und zwar schneller als ursprünglich angenommen, wie aktuelle Arbeiten zeigen [1]. Ein Vorbeben vom 9. März mit einer Magnitude von 7,3 M_w war nicht stark genug, um die automatische Reaktorschnellabschaltung zu initiieren. Vermutlich hätte es sich auf den Unfallablauf positiv ausgewirkt, wären die Reaktoren zum Zeitpunkt des Kühlungsausfalls bereits zweieinhalb Tage „vorgekühlt“ gewesen.

Durch die hohen Temperaturen der Brennstäbe reagierte Wasserdampf mit der Zirkoniumlegierung der Hüllrohre und erzeugte beträchtliche Mengen Wasserstoff. Im Zuge des „Ventings“, also des Ablassens von Überdruck aus den Druckbehältern, entwich der Wasserstoff in den Servicebereich oberhalb der Reaktoren der Blöcke 1 und 3 und gelangte dort zur Explosion. Die Detonation in Block 3 war so heftig,



Thomas Johnson

Die Zerstörungen durch den Tsunami sind in der Sperrzone bis heute zu erkennen.

dass japanische Behörden zunächst sogar eine nuklear getriebene Explosion nicht ausschließen wollten. Die Explosion in Block 4 war zunächst eine große Überraschung, da der Druckbehälter zum Zeitpunkt des Unfalls leergeräumt war und sich der gesamte Brennstoff in den Lagerbecken befand. Die Vorstellung, dass es dort zu Schmelzvorgängen an den Brennelementen und folglich auch Wasserstoffentwicklung gekommen war, löste große Nervosität aus. Jedoch zeigte sich, dass der für die Zerstörung des Blocks 4 verantwortliche Wasserstoff aus Block 3 stammte und durch gemeinsame Rohrleitungen zum Abgaskamin in Block 4

KOMPAKT

- Im März 2011 kam es im japanischen Kernkraftwerk Fukushima Daiichi zu Kernschmelzen in drei Blöcken.
- Der Großteil der Kontamination durch Radionuklide kam durch Regen vier Tage nach dem Tsunami zustande und ist auf einen 40 km langen Streifen begrenzt.
- Mit dem Unfall von Tschernobyl ist der in Japan in puncto Radionuklid-Freisetzungen und gesundheitliche Auswirkungen nicht vergleichbar.
- Die Auswirkungen des japanischen „3/11“ sind häufig psychische und soziale Folgen des Traumas, der Stigmatisierung und des Verlusts von Menschen, Heimat und Arbeitsplatz.

Prof. Dr. Georg Steinhauser, Institut für Radioökologie und Strahlenschutz, Leibniz Universität Hannover; Prof. Dr. Akio Koizumi, Department of Health and Environmental Sciences, Kyoto University Graduate School of Medicine, Japan

gelangt war und dort zündete. Mittlerweile ist es gelungen, die Brennelemente aus dem Abklingbecken von Block 4 zu bergen. Zum überwiegenden Teil waren sie unbeschädigt.

In Block 2 kam es zu keiner außen sichtbaren Zerstörung des Reaktorgebäudes, auch deshalb, da es nicht möglich war, Überdruck abzulassen. Der Grund dafür war, dass bei der Explosion von Block 3 das Ablassventil der Venting-Leitung zur Kondensationskammer von Block 2 beschädigt worden war und sich nicht mehr öffnen ließ. Zusätzlich beschädigte ein Fassadenteil, das bei der Explosion des Blocks 1 herausgeschleudert wurde, die Gebäudehülle von Block 2, sodass Wasserstoff entweichen konnte. Am 15. März, fast zeitgleich mit der Zerstörung des Reaktorgebäudes von Block 4, war ein explosionsartiges Geräusch im Inneren des Reaktorgebäudes von Block 2 zu hören. Hier dürfte der Überdruck einen Schaden im Bereich der unterhalb des Druckbehälters befindlichen Kondensationskammer verursacht haben. Dabei kam es zur schlagartigen Druckentlastung.

Freigesetzte Radionuklide

Die im Unfall von Fukushima atmosphärisch freigesetzten Radionuklide wurden schlagartig im Zuge des Ventings sowie bei den Explosionen freigesetzt. Insgesamt betragen die in die Luft freigesetzten Aktivitäten (ohne Edelgase) schätzungsweise 520 Petabecquerel (PBq, **Infokasten**), wobei die Schwankungsbreite von 340 bis 800 PBq reicht. Das ist etwa ein Zehntel der Menge an freigesetzten Substanzen in Tschernobyl. Die Windbedingungen im Frühjahr 2011 waren zumeist günstig für das bewohnte Festland, sodass mehr als 80 Prozent der in die Atmosphäre entwichenen Radionuklide aufs Meer hinaus ge-

langten. Leider führte Niederschlag am 15. März 2011 dazu, dass beträchtliche Mengen an Radionukliden in einem ca. 40 km langen Streifen in nordwestlicher Richtung vom Kernkraftwerk aus der Atmosphäre ausgewaschen wurden und dort zu hohen Depositionen führten (**Abb. 2**). Neue Untersuchungen konnten anhand des $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ -Verhältnisses zeigen, dass dieser charakteristische Kontaminationsstreifen größtenteils auf Reaktor Nummer 2 zurückgeht [2]. Die Unterschiede in der $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ -Signatur ergeben sich aufgrund der unterschiedlichen Betriebsgeschichte der Reaktoren. Es entbehrt nicht einer gewissen Ironie, dass die medial überaus „wirksamen“ Wasserstoffexplosionen in den Blöcken 1, 3 und 4 nicht annähernd den Schaden angerichtet haben wie der äußerlich intakte Block 2.

Große Sorge bereitet den Behörden und der Bevölkerung bis heute die Kontamination des Pazifiks. Das United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) schätzt den Eintrag von Radionukliden in den Ozean für ^{131}I (Halbwertszeit 8 Tage) auf 10 bis 20 PBq (direkt) und 60 bis 100 PBq (indirekt) sowie für ^{137}Cs (Halbwertszeit 30 Jahre) auf 3 bis 6 PBq (direkt) und 5 bis 8 PBq (indirekt). Der direkte Eintrag bezieht sich auf das Einsickern oder Einleiten von kontaminiertem Wasser, der indirekte Anteil auf jenen Eintrag durch Deposition von radioaktiven Aerosolen auf die Wasseroberfläche, das Abregnen über dem Ozean sowie den Eintrag durch Flüsse. Diese Mengen sind ein Bruchteil dessen, was im Zuge der Atomwaffentests des 20. Jahrhunderts in den Pazifik gelangte. Dennoch ist es wichtig, die Freisetzung und den Eintrag durch kontaminiertes Grundwasser genau zu beobachten. Der Reaktorbetreiber TEPCO bemüht sich, durch eine Reihe von Brunnen oberhalb der Reaktoren hangabwärts fließendes Grundwasser vor dem Kontakt mit



Abb. 1 Das Kernkraftwerk Fukushima Daiichi besteht aus sechs Blöcken, von

denen die Blöcke 1, 2 und 3 zum Zeitpunkt des Erdbebens in Betrieb waren.

AKTIVITÄTEN IN RELATION

Aktivität wird in Becquerel (Bq) angegeben, wobei 1 Bq als 1 Zerfall pro Sekunde definiert ist. Die in Nuklearunfällen freigesetzten Aktivitäten sind häufig in der Größenordnung von Petabecquerel (10^{15} Bq). Um eine solche Aktivität zu veranschaulichen, sind folgende Vergleiche hilfreich:

- Die gesamte Aktivität im Körper eines Menschen beträgt ca. 10 000 Bq, mit beträchtlichen Schwankungen abhängig von Geschlecht, Alter, Gewicht, Physik etc. Das ist ähnlich viel wie die Aktivität eines Gramms ^{238}U , allerdings ohne die Folgeprodukte.
- Die Freigrenze von ^{60}Co beträgt 10^5 Bq; die von Tritium (^3H) 10^9 Bq.
- Ein Gramm ^{226}Ra hat eine Aktivität von ca. $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq, so war die inzwischen veraltete Einheit Curie definiert.
- Ein Liter der hochaktiven flüssigen Abfälle der Wiederaufarbeitung von nuklearem Brennstoff besitzt eine Aktivität von rund 10^{14} Bq.
- Die in den 1960er-Jahren häufig verwendeten thermoelektrischen Isotopenbatterien für Satelliten und Raumfahrtmissionen basierten unter anderem auf ^{238}Pu mit Aktivitäten von 10^{14} bis 10^{15} Bq.

dem Reaktor abzufangen. Weitere Brunnen unterhalb sollen höher kontaminiertes Grundwasser davon abhalten, weiter in den Pazifik zu sickern.

Charakteristische Signatur

Anders als im Fall von Tschernobyl, wo eine nuklear getriebene Leistungsexkursion den Reaktor thermisch zerstörte und freilegte, beschränken sich die Freisetzen in Fukushima zum überwiegenden Teil auf die Radionuklide leichtflüchtiger Elemente.¹⁾ Das sind einerseits die Edelgase Xenon und Krypton, andererseits Iod, Cäsium und Tellur. Sowohl mittelflüchtige Radionuklide wie ⁹⁰Sr als auch schwerflüchtige Actinide wie Plutonium ließen sich in der Umwelt zwar nachweisen, wohl aber zu einem sehr viel geringeren Ausmaß als nach dem Unfall von Tschernobyl (Abb. 3).

In Umweltproben lässt sich der Beitrag von Fukushima von anderen Quellen anthropogener Radionuklide derzeit noch relativ leicht durch die Anwesenheit des Gammastrahlers ¹³⁴Cs unterscheiden. Dieses relativ kurzlebige Reaktornuklid mit einer Halbwertszeit von zwei Jahren kommt im Kernwaffenfallout nicht vor. Radiocäsium aus Fukushima ist gekennzeichnet durch ein ¹³⁴Cs/¹³⁷Cs-Aktivitätsverhältnis von $0,98 \pm 0,01$ (zurückgerechnet zum 11. März 2011). Diese Isotopensignatur hat es erlaubt zu zeigen, dass aus dem Lagerbecken von Reaktorblock 4 keine signifikanten Mengen Cäsium in die Umwelt entwichen sind: Da Block 4 zum letzten Mal dreieinhalb Monate vor dem Unfall in Betrieb war, war der Anteil des kürzerlebigen ¹³⁴Cs im Brennstoff dieses Blocks rund zehn Prozent niedriger als in den anderen Reaktoren. Dennoch wurde nirgends Radiocäsium mit dieser niedrigeren ¹³⁴Cs/¹³⁷Cs-Signatur gefunden. Spuren von Reaktorplutonium tauchten in Umweltproben vereinzelt auf, meist in Kraftwerksnähe. Das aus Fukushima stammende Plutonium besitzt ein signifikant höheres ²⁴⁰Pu/²³⁹Pu-Atomverhältnis von etwas über 0,3 verglichen mit dem allgegenwärtigen Falloutplutonium der atmosphärischen Kernwaffenexplosionen von rund 0,18.

Gesundheitliche Auswirkungen

Noch am Abend des 11. März ordneten die japanischen Behörden die Evakuierung der Umgebung des Kraftwerks Fukushima Daiichi in einem Umkreis von 2 km an und weiteten sie in den Stunden und Tagen darauf kontinuierlich aus. Am 12. März riefen sie um 18:25 Uhr die Evakuierung in einem Radius von 20 km aus. Am 15. März – dem Tag der größten Freisetzen – durften darüber hinaus Personen, die 20 bis 30 km vom Kraftwerk entfernt wohnen, ihre Häuser nicht verlassen. Die Behörden haben angesichts des Chaos und der zerstörten Infrastruktur an der Ostküste vorbildlich gehandelt und insgesamt 110 000 Personen evakuiert. Durch den raschen Einsatz konnte der

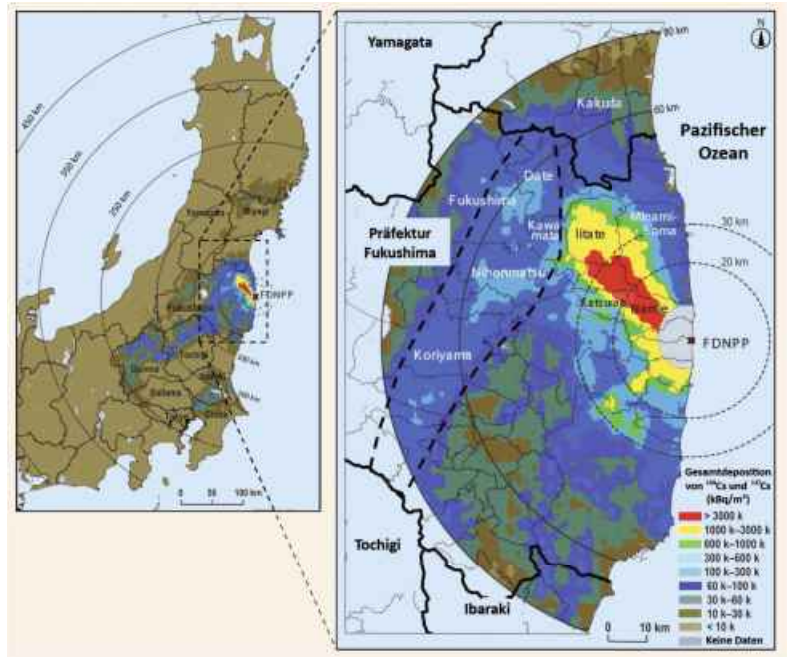


Abb. 2 Die Kontaminationen in Ostjapan sind entlang eines rund 40 Kilometer langen Streifens in nordwestlicher Richtung am größten. Dort wurden Radionuklide am 15. März 2011 durch Regen aus der Atmosphäre gewaschen.

Großteil der Bevölkerung noch vor den größten Radionuklidfreisetzen die Gefahrenzone verlassen.

Gleichzeitig mit der Evakuierung wurde die Ausgabe von Iodidtabletten und -pulver für rund 900 000 Personen vorbereitet. Bedingt durch die kurze Halbwertszeit von acht Tagen hat ¹³¹Iod eine sehr hohe spezifische Aktivität und reichert sich hochselektiv in der Schilddrüse an. Ein Sättigen der Schilddrüse mit stabilem Iod kann dies verhindern und die Schilddrüsenerkrankung beträchtlich reduzieren. Durch die effiziente Evakuierung war diese „Iodblockade“ jedoch nur bei wenigen Betroffenen notwendig, und nur diese erhielten tatsächlich Iodtabletten verabreicht.

Die gesundheitlichen Auswirkungen des Unfalls von Fukushima sind selbst bei konservativer Betrachtung – zumindest im direkten Vergleich mit Tschernobyl – als moderat einzustufen. Dies mag angesichts der Schwere

1) Leichtflüchtige Elemente gehen bereits bei geringfügiger Erhitzung in die Gasphase über. Mittelflüchtige Elemente werden freigesetzt, sobald der Brennstoff anfängt, thermischen Schaden zu nehmen. Schwerflüchtige Radionuklide werden erst bei Kernschmelze in die Gasphase überführt.

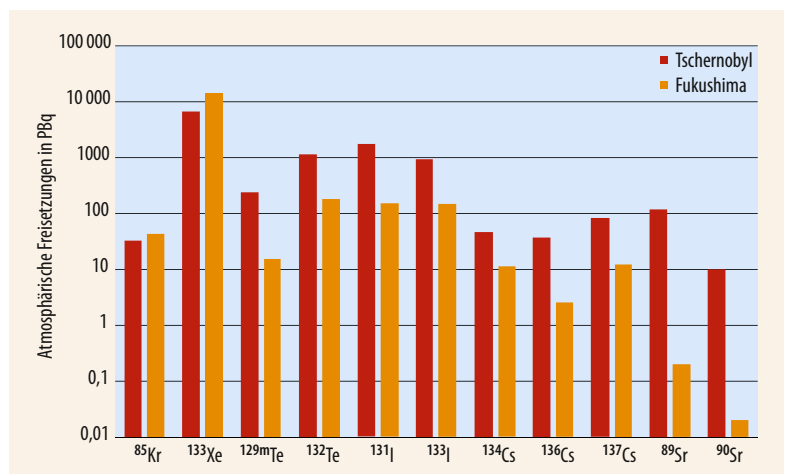


Abb. 3 Der Vergleich der Freisetzen von Radionukliden nach den Unfällen von Tschernobyl bzw. Fukushima zeigt deutlich, dass speziell weniger flüchtige Nuklide wie ⁹⁰Sr in Fukushima nur in sehr geringer Menge freigesetzt wurden.

2) vgl. die Infokästen auf S. 32 in diesem Heft

des Unfalls überraschen. Am deutlichsten zeigt sich der Unterschied beim Vergleich der akuten (deterministischen) Strahlenschäden der Arbeiter vor Ort: In Tschernobyl wurden 134 Personen mit Symptomen akuter Strahlenkrankheit diagnostiziert; 31 von ihnen starben noch 1986 infolge ihrer Exposition; 19 weitere verstarben zwischen 1986 und 2004. In Fukushima zeigte kein Arbeiter Anzeichen von Strahlenkrankheit. Die maximalen Strahlendosen der „Liquidatoren“ in Tschernobyl lagen bei 16 Gray ($1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$). In Fukushima erhielten zwei Arbeiter Dosen von über $0,6 \text{ Sv}$ ($1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$)²⁾. Für die allgemeine Bevölkerung der Präfektur Fukushima liegt die Strahlenbelastung, wie Messungen an drei exemplarischen Standorten gezeigt haben, im Wesentlichen innerhalb der Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition [5], wobei sowohl externe Exposition als auch Inkorporation von Radionukliden mit der Nahrung und der Atemluft berücksichtigt wurden. Die Median der Schilddrüsenäquivalentdosen der evakuierten Personen lag gemäß einer Studie von 2012 bei $4,2 \text{ mSv}$ (Kinder) bzw. $3,5 \text{ mSv}$ (Erwachsene) [6]. Die Maximalwerte erreichten dieser Untersuchung zufolge 23 mSv (Kinder) bzw. 33 mSv (Erwachsene). Die mittlere Schilddrüsendosis der Evakuierten nach dem Tschernobylunglück lag dagegen bei 490 mSv .

Alle Expertenberichte der Vereinten Nationen kamen daher zum Schluss, dass kein statistisch fassbarer Anstieg der Krebsfälle bedingt durch den Unfall in Fukushima zu erwarten wäre. Kürzlich kolportierte Medienberichte über einen „dramatischen“ Anstieg der Schilddrüsenkrebsrate bei Kindern und Jugendlichen in den betroffenen Gebieten haben daher für großes Aufsehen gesorgt, sind aber mit Vorsicht zu betrachten. Die Erfahrungen nach Tschernobyl zeigten, dass erste, vereinzelte Fälle von Schilddrüsenkrebs in der Bevölkerungsgruppe unter 18 Jahren frühestens drei

bis vier Jahre nach der Exposition auftreten. Angesichts der im Schnitt mehr als hundertmal höheren Organdosis in Tschernobyl lässt sich ein plötzliches Auftreten so vieler Krebsfälle in Fukushima noch vor Ablauf der vierjährigen Latenzzeit nicht erklären. Die Ergebnisse der Schilddrüsenuntersuchungskampagne in Japan mögen zwar histologisch glaubwürdig sein, jedoch ist die Verlinkung der Krebsfälle zum Reaktorunfall von Fukushima vorerst zu hinterfragen.

Auch eine aktuelle Studie nährt diese Zweifel: Sie ergab, dass die Mehrzahl der in Fukushima beobachteten Schilddrüsenkrebsfälle Mutationsarten aufwies, die auf ein anderes onkogenes Profil hindeuten als jene Fälle nach Tschernobyl [7]. Die Autoren schließen daraus, dass die beobachteten Krebserkrankungen eine andere Ursache haben müssen. Da nach Tschernobyl die Zahl der Schilddrüsenkrebsfälle nach der Exposition mit ^{131}I zunächst linear anstieg, werden Untersuchungen in den kommenden Jahren zeigen, ob ein Zusammenhang zwischen den Freisetzungen und der Krebsinzidenz in Fukushima besteht und wenn ja, welcher. Nach Tschernobyl gab es die meisten Neuerkrankungen 10 bis 12 Jahre nach dem Unfall.

Sichere Lebensmittel

Die japanischen Behörden widmeten unmittelbar nach dem Unfall ihre ganze Aufmerksamkeit der Lebensmittelsicherheit. Bis heute wurden weit mehr als eine Million Proben auf Radioaktivität getestet. In der Anfangsphase überschritten vor allem Gemüse und Rindfleisch die strengen japanischen Grenzwerte [8]. Mittlerweile beschränken sich Grenzwertüberschreitungen auf bekanntermaßen Cäsium akkumulierende Organismen wie Pilze oder Wildschweine. Das für Japan wichtige Lebensmittel Reis wird nicht stichprobenweise untersucht, sondern in eigens gebauten Detektoren Sack für Sack. Im Jahr 2012 überschritten von mehr als zehn Millionen gemessenen Säcken 71 den Grenzwert von 100 Bq/kg . Untersuchungen von zehntausenden Anwohnern mit Ganzkörperzählern zeigten, dass hohe Inkorporationen nur auftraten, wenn Personen die strengen Kontrollen durch eigenen Anbau von Feldfrüchten, das unkontrollierte Sammeln von Wildpilzen sowie durch Verzehr von privat erlegtem Wild bzw. selbst gefangenem Fisch umgangen. Eine Studie, bei der Duplikate der verzehrten Mahlzeiten auf ihren Kontaminationsgrad untersucht wurden, zeigte, dass der Median der Inkorporation im Dezember 2011 bei $4 \text{ Bq Radiocäsium pro Tag}$ lag mit einer Schwankungsbreite von rund $0,26$ bis 17 Bq/d [9]. Nach Tschernobyl lagen diese Werte in den hochkontaminierten Gebieten knapp drei Größenordnungen höher.



Abb. 4 In Solidaritäts-Supermärkten werden bewusst Produkte aus der Präfektur Fukushima angeboten – selbstverständlich unter strenger Kontrolle.



Abb. 5 Der Anblick von im Freien spielenden Kindern hat in der Präfektur Fukushima seit dem Unfall Seltenheitswert.

Trauma und Stigmatisierung

Die gravierendsten Auswirkungen des Unfalls von Fukushima sind nach Ansicht vieler Experten, darunter auch UNSCEAR [10], die psychischen und sozialen Folgen des Traumas vom März 2011. In diesem Teufelskreis paart sich die Angst vor den Folgen der unsichtbaren Strahlung mit der Stigmatisierung, aus einem „verseuchten“ Teil Japans zu stammen. Hinzu kommen der Verlust von Familienmitgliedern, Freunden und Nachbarn durch den Tsunami sowie der Verlust des eigenen Wohnsitzes und des Arbeitsplatzes durch die Evakuierung und die wirtschaftliche Misere der Region. Die Folgen sind vielfach Depression und soziale Isolation. Fukushima war bis zum Unfall ein beliebtes Erholungsgebiet für die Großstadtbewohner Japans, doch der Tourismus ist seit 2011 nicht wieder gänzlich in Schwung gekommen. Landwirtschaftliche Produkte aus der Präfektur Fukushima finden selbst innerhalb Japans immer weniger Käufer. Diesem unbegründeten Trend sollen „Solidaritäts-Supermärkte“ entgegenwirken, in denen es ausschließlich Produkte aus Fukushima zu kaufen gibt (Abb. 4).

Viele japanische Eltern lassen ihre Kinder aus Sorge vor der Strahlung nicht mehr ins Freie und suchen Indoor-Spielplätze auf. Generell sind Indoor-Aktivitäten beliebter als jene im Freien (Abb. 5). Amerikanisches Fast Food hat Hochsaison, da es höhere Sicherheit suggeriert. Der Mangel an Bewegung und die veränderten Lebens- und Essgewohnheiten haben in Fukushima und insbesondere innerhalb der Gruppe der Evakuierten zu einem schlagartigen Anstieg von Fettleibigkeit und Übergewicht geführt [11].

Die Bewohner Fukushimas müssen sich großen Herausforderungen stellen. Viele der Evakuierten

kehren an ihre Wohnorte zurück, obwohl die Arbeitsmarktgegebenheiten, die sozialen Netzwerke und die soziale Infrastruktur nicht wieder hergestellt sind. Viele Bewohner empfinden ihr Dasein wie ein Leben am Filmset: Sie spielen die Rolle als Fukushima-Opfer und werden dabei beobachtet. Lange wird es noch dauern, bis das Leben in Fukushima annähernd wieder die Qualität und Vitalität wie vor „3/11“ erreichen wird. Die Wissenschaft kann ihren Beitrag dazu leisten, indem sie unbegründeten Ängsten entgegentritt und zeitgleich Probleme sachlich aufzeigt. In unserer jüngsten Arbeit konnten wir zeigen, dass die Aufräumarbeiten am Kraftwerksgelände die Gefahr der Verfrachtung von radioaktivem Staub bergen [12]. Nicht alles, was zur Verbesserung der Lage gedacht war, eignet sich in seiner Umsetzung auch tatsächlich dazu.

Literatur

- [1] M. S. Snow et al., *Rapid Commun. Mass Spectrom.* **30**, 523 (2016)
- [2] J. Zheng et al., *Environ. Sci. Technol.* **48**, 5433 (2014)
- [3] N. Yoshida und Y. Takahashi, *Elements* **8**, 201 (2012)
- [4] G. Steinhauser, A. Brandl und T. E. Johnson, *Sci. Total Environ.* **470**, 800 (2014)
- [5] K. H. Harada et al., *PNAS USA* **111**, E914 (2014)
- [6] S. Tokonami et al., *Sci. Rep.* **2**, 507 (2012)
- [7] N. Mitsutake et al., *Sci. Rep.* **5**, 16976 (2015)
- [8] S. Merz, K. Shozugawa und G. Steinhauser, *Environ. Sci. Technol.* **49**, 2875 (2015)
- [9] K. H. Harada et al., *Environ. Sci. Technol.* **47**, 2520 (2012)
- [10] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR 2013 Report, Volume I. Report to the General Assembly, Scientific Annex A, www.unscear.org/docs/reports/2013/13-85418_Report_2013_Annex_A.pdf
- [11] T. Ohira et al., *Am. J. Prev. Med.* 2016, in Druck; DOI: 10.1016/j.amepre.2015.10.008.
- [12] G. Steinhauser et al., *Environ. Sci. Technol.* **49**, 14028 (2015)

DIE AUTOREN

Georg Steinhauser (FV Umweltpophysik, Strahlen- und Medizinphysik) wurde 2005 an der TU Wien in Radiochemie promoviert. 2007 absolvierte er ein Postdoc-Jahr als Erwin-Schrödinger-Stipendiat an der LMU München. Nach mehr als zehn Jahren am Atominstitut der TU Wien wurde er 2013 an die Colorado State University (USA) berufen. 2015 erhielt er einen Ruf an die Universität Hannover. Steinhauser hat mehr als 70 Originalpublikationen und sechs Buchbeiträge (mit-)verfasst. Seit 2011 beschäftigt er sich vorrangig mit den Umweltauswirkungen des Unfalls von Fukushima.



Akio Koizumi wurde 1978 in Medizin von der School of Medicine der Tohoku University promoviert und erhielt 1983 auch den Philosophical Doctor. Nach einem Studium in den USA wurde er 1987 als Associate Professor an die School of Medicine der Akita University berufen. 1993 wurde er zum Full Professor befördert. 2000 erhielt er den Ruf an die Graduate School of Medicine der Kyoto University. Seine Arbeitsgruppe widmet sich Fragen der Umweltradioaktivität in Fukushima.



„Fukushima ist mehr als dieser Unfall.“

Interview mit zwei Physikstudierenden der Leibniz Universität Hannover, die am Fukushima Ambassador Program teilgenommen haben.

Maike Pfalz

#) Informationen zum Fukushima Ambassador Program finden sich unter bit.ly/1NOqBVQ

Im Rahmen des Fukushima Ambassador Program^{#)} waren neun Studierende aus Deutschland und den USA im Januar zwei Wochen in Fukushima, darunter Annika Wunnenberg und Peter Brozynski von der Uni Hannover. Die Studierenden besuchten die von Tsunami und Nuklearkatastrophe betroffenen Gebiete und unterstützten ein Projekt zum Wiederaufbau.

Wie haben Freunde und Familie darauf reagiert, dass Sie nach Fukushima fahren?

Peter Brozynski: Meine Mutter hat sofort „nein“ gesagt! Viele wissen zu wenig darüber und stufen die Situation als gefährlich ein. Wir haben immer Dosimeter getragen. Deswegen konnte ich meine Mutter hinterher beruhigen: Während des Hin- und Rückflugs habe ich viermal mehr Dosis abbekommen als während des Aufenthalts!

Annika Wunnenberg: Wenn ich erzähle, dass ich in Fukushima war, werde ich häufig entsetzt angeschaut. Oder es kommen dumme Sprüche wie „ach, deswegen strahlst du heute so.“

Worum geht es beim Ambassador Program?

Brozynski: Studenten aus dem Ausland zusammen mit japanischen Studenten an die Orte zu bringen, die von dem Erdbeben, dem



Japanische Studierende begrüßen die ausländischen Teilnehmer (ganz links Peter Brozynski und Annika Wunnenberg).

Tsunami und dem Nuklearunfall betroffen waren. In Anlehnung an das amerikanische 9/11 sprechen die Japaner vom 3/11.

Was stand auf dem Programm?

Brozynski: Wir haben evakuierte und vom Tsunami zerstörte Ortschaften besucht. Außerdem waren wir in einem Zentrum, in dem Menschen ihr selbst geerntetes Gemüse radiologisch vermessen können. Es gibt zwar Kontrollen für Lebensmittel, aber die Selbstversorgung ist davon ausgenommen.

Wunnenberg: Wir waren auch in einer Notunterkunft, in der Menschen seit fünf Jahren auf engem Raum zusammenleben. Die Stu-

denten bringen dort Farbe in den Alltag. Wir haben mit den Menschen gespielt, uns ihre Geschichten angehört und von uns erzählt.

Wie leben die Menschen dort?

Wunnenberg: Das ist eine Containersiedlung, die speziell errichtet wurde und die mitten in einem Gewerbegebiet steht. Drumherum gibt es kaum Freizeitmöglichkeiten.

Brozynski: Familien haben aber eigene vier Wände und etwas Privatsphäre. Am Anfang waren die Menschen in Stadien untergebracht ohne fließendes Wasser...

Aber diese Menschen hausen dort seit fünf Jahren...

Wunnenberg: Ursprünglich sollten sie nur zwei Jahre in der Notunterkunft bleiben. Die Menschen hoffen, dass ihre Heimatstädte in diesem Jahr wieder freigegeben werden und sie zurückkehren dürfen. Viele müssen dann aber ihre Häuser abreißen und neu aufbauen.

Wie gehen die Menschen mit dieser Situation um?

Wunnenberg: Die sind sehr traurig. Ich habe mit einer Frau gesprochen, die im Tsunami ihren Mann und die Kinder verloren hat. Auch ihr Haus muss abgerissen werden, trotzdem blickt sie nach vorn.



Annika Wunnenberg spricht mit den Menschen in der Notunterkunft.

Brozynski: Ihnen hilft es, in Gesellschaft von Menschen zu sein, die ein ähnliches Schicksal ereilt hat. Ich denke, das gibt ihnen auch Kraft und Hoffnung, weiterzumachen und das durchzustehen.

Sie haben auch ein Projekt zum Wiederaufbau unterstützt?

Wunnenberg: Wir haben zwei Tage lang mitgeholfen, ein Gebiet für die Dekontamination vorzubereiten. Damit der Boden abgetragen werden kann, mussten wir eine große Wiese von Bambus befreien.

Muss man dabei noch Schutzkleidung tragen?

Wunnenberg: Nein, wir trugen normale Alltagskleidung und lediglich Handschuhe, um uns nicht zu verletzen.

Brozynski: Wir hatten Messgeräte dabei und die haben eine Umgebungsstrahlung registriert, die etwa vergleichbar ist mit Hannover.

Japan hat generell eine sehr geringe natürliche Umgebungsstrahlung und das Ziel ist es, praktisch alle Gebiete wieder in den Zustand vor dem Nuklearunfall zurückzuführen. Aber würde man sich daran orientieren, dürfte man Hannover oder einige skandinavische Länder nicht besiedeln, weil die Strahlenbelastung dort viel höher ist.

Haben Sie auch das zerstörte Kraftwerk gesehen?

Wunnenberg: Nein, etwa 5 bis 7 km entfernt davon steht ein Sperrzaun, an dem man nicht vorbeikommt.

Welchen Programmpunkt fanden Sie am spannendsten?



Peter Brozynski spielt mit einem japanischen Kind in einem Kindergarten in einer vom Tsunami betroffenen Region.

Wunnenberg: Jeden Tag gab es ein Highlight. Ich fand es sehr spannend, in der Notunterkunft mit den Leuten zu sprechen.

Brozynski: Für mich waren die Dekontaminationsarbeiten interessant. Die Japaner tragen die oberste Schicht des Bodens ab, weil sich das Radionuklid ^{137}Cs in der tonigen Erde anreichert. Die abgetragene Erde verpacken sie in heuballen-große schwarze Säcke.

Wunnenberg: Und die sieht man praktisch überall.

Liegen die einfach in der Gegend herum?

Brozynski: Hinter Zäunen. Geplant ist, diese Stapel mit einer Plane abzudecken und Erde und Gras darüber zu legen. Für die nächsten 100 bis 150 Jahre werden die so da liegen bleiben.

Die Japaner haben ein sehr strenges Schutzprogramm...

Brozynski: Ja, sehr streng und restriktiv. Deswegen warten die Menschen auch so geduldig darauf, dass sie wieder in ihre Heimatorte zurückkehren dürfen.

Was sind die größten Schwierigkeiten, mit denen die Leute zu kämpfen haben?

Brozynski: Vor allem die Stigmatisierung. Es gibt viele Vorurteile im In- und Ausland. Einige Menschen sind auch sehr unsicher. Eine Frau hat mich im Vertrauen gefragt, ob es nicht doch gefährlicher ist, als die Regierung sagt. Sie hatte gehört, dass eine Schulklasse aus Südkorea nicht nach Fukushima-City fahren durfte und dachte nun, die wüssten mehr als sie. Fukushima-City liegt rund 60 km vom Kraftwerk entfernt, dort ist die Strahlenbelastung nicht erhöht. Ich fand es traurig, dass den Menschen unberechtigte Sorgen so zu schaffen machen.

Wie haben Sie selbst während Ihres Besuchs gelebt?

Wunnenberg: Die meiste Zeit waren wir im Hotel in Fukushima-City untergebracht. Aber die zwei Tage, an denen wir die Freiwilligenarbeit geleistet haben, haben wir in Gastfamilien übernachtet.

Haben Sie dort etwas vom japanischen Alltag miterlebt?

Wunnenberg: Leider nicht. Wir haben nur morgens und abends



In schwarzen Säcken, die in mehreren Lagen übereinander gestapelt werden, lagert kontaminierter Boden am Wegesrand.

gemeinsam gegessen. In meiner Familie konnten die Leute auch wenig Englisch. Das war etwas mühselig. Die Leute haben vieles nicht verstanden, waren aber zu höflich, um das zuzugeben.

Haben Sie auch über den Tsunami gesprochen?

Wunnenberg: Sie haben erzählt, dass beim Erdbeben alles aus den Regalen gefallen ist, und der Vater meinte, dass es ihn sehr traurig macht, die zerstörten Häuser zu sehen. Es war aber sehr schwierig, das aus ihm herauszukriegen.

Gab es Dinge, die Sie überrascht haben?

Wunnenberg: Ich hatte nicht gewusst, dass es immer noch komplette Städte gibt, in denen niemand wohnt.

Brozynski: Dass seit 2014 kein einziger Sack Reis mehr den sehr niedrigen japanischen Grenzwert überstiegen hat, es wird nämlich jeder einzelne vermessen. Reis und Sake aus Fukushima kann man bedenkenlos konsumieren!

Gibt es für Sie ein persönliches Fazit dieser Reise?

Brozynski: Ich sehe immer noch die Betroffenheit im Gesicht einiger Leute, die stigmatisiert werden, nur weil sie noch in Fukushima leben. Seitdem weiß ich, dass Ignoranz diesen Leuten schadet. Auch Panikmache ist unbegründet.

Wunnenberg: Das sehe ich genauso. Fukushima ist mehr als dieser Unfall. Die Gegend dort ist schön und durchaus lebenswert. Abgesehen von dem abgesperrten Gebiet rund um das Kraftwerk ist es nicht gefährlich. Ich sehe es jetzt als unsere Aufgabe an, Vorurteile aus dem Weg zu räumen.

Ihr Kompletter Vakuumlieferant

Europäischer Hersteller von Vakuumkammern

Größtes Lager Europas für Vakuumkomponenten

VAT-Ventile sofort ab Lager

Dünnschichttechnologie

BESUCHEN SIE UNS!

DPG Tagung Regensburg

STAND H19

Seminargebäude

Recht und Wirtschaft

Kurt J. Lesker[®]
Company

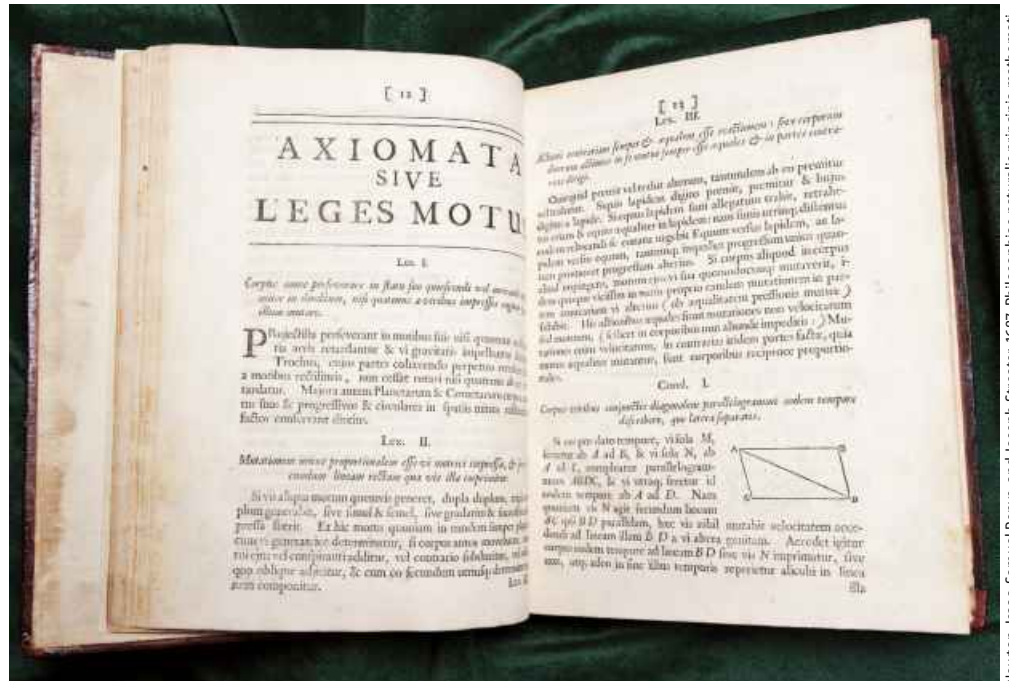
Lange nach Newton

Das schwer fassbare, aber außerordentlich reichhaltige Trägheitsgesetz

Herbert Pfister

Newton setzte für die ersten beiden seiner Axiome einen „absoluten Raum“ voraus. Das erste Axiom stellt das Phänomen der Trägheit fest, während das zweite Kräfte als Ursachen von Impulsänderungen identifiziert. Bei Verzicht auf den absoluten Raum muss man an seiner Stelle bevorzugte Bezugssysteme einführen, die Inertialsysteme. Ihre Definition erfordert große Sorgfalt, um experimentell belegbar, dabei aber nicht zyklisch zu werden. Erst die Allgemeine Relativitätstheorie lieferte eine befriedigende Alternative.

Das Trägheitsgesetz, das so grundlegend in die klassische Mechanik eingeht, ist erstaunlich schwer auf eine logisch befriedigende Weise zu fassen und wird auch in Lehrbüchern häufig unzureichend dargestellt. Schon die Entdeckung des Trägheitsgesetzes war ein mühsamer und langwieriger Prozess. Im alten Griechenland stellte man sich die Frage, ob es in der Natur besonders ausgezeichnete, „natürliche“ Bewegungsformen von materiellen Körpern gebe. Man vermutete diese meist in Kreisbahnen, angelehnt an die scheinbaren Bewegungen der Himmelskörper. Ab dem 16. Jahrhundert analysierten vor allem italienische Philosophen und Physiker auch geradlinig-gleichförmige Bewegungen im Hinblick auf diese Frage. Dabei waren natürlich die unausweichlichen Gravitations- und Reibungseffekte in irdischen Laboren die wesentlichen Hindernisse. Galileo Galilei hat sich nach 1610 immer wieder und anhand verschiedenster Beispiele intensiv mit dieser Frage befasst und im 1632 veröffentlichten „Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme“ Formulierungen gefunden, die als erster Schritt zur Erkenntnis eines



allgemeinen Trägheitsgesetzes gelten können. So lässt er sein *alter ego*, Salviati, am 2. Tag des Dialogs sagen, ein Schiff sei „daher bestrebt, nach Entfernung aller zufälligen und äußerlichen Hindernisse, mit der ihm einmal mitgeteilten Anfangsgeschwindigkeit unablässig und gleichförmig sich fortzubewegen.“ ([1], S. 155)

In der Folgezeit haben vor allem Descartes und Huygens das Trägheitsgesetz konkretisiert und die Vermutung geäußert, dass es sich um ein universelles Prinzip der Physik handele. Die explizite Formulierung des Trägheitsgesetzes als ein allgemeines und fundamentales Prinzip der Physik verdanken wir Isaac Newton, der 1687 in den *Principia* als Gesetz I feststellte: „Jeder Körper verharrt in seinem Zustand des Ruhens oder des Sich-geradlinig-gleichförmig-Bewegens, außer insoweit wie jener von eingepprägten Kräften gezwungen wird, seinen Zustand zu verändern.“ ([2], S. 33)

Dieses Gesetz ist fast zwei Jahrhunderte lang im Wesentlichen

unverändert überliefert worden. Zusammen mit den beiden anderen Newtonschen Axiomen hat es sich in unzähligen Anwendungen mit beispiellosem Erfolg bewährt. Trotzdem weist Newtons Formulierung wesentliche Mängel auf: Sie verrät nicht, bezüglich welcher Bezugssysteme das Gesetz gelte – sofern man nicht stillschweigend den im Scholion ([2], S. 28) eingeführten absoluten Raum zugrunde legt. So bleibt unklar, dass die eigentliche Aufgabe von Gesetz I die Einführung der Inertialsysteme ist, und was dabei Definition, was nichttriviales Faktum, wenn nicht sogar ein Wunder der Natur ist. Schließlich ist in Gesetz I von „eingepprägten Kräften“ die Rede, die aber erst in Gesetz II definiert sind, das schließlich nur in Inertialsystemen (gemäß Gesetz I) gültig ist. Newton selbst war sich zumindest pauschal dieser Mängel bewusst, wenn er im Vorwort zur *Principia* schreibt: „Ich möchte dringend darum bitten, daß alles unvoreingenommen gelesen wird und die Mängel bei

Diese beiden Seiten aus Newtons *Principia Mathematica* von 1687 enthalten die drei fundamentalen Axiome der Bewegung.

Prof. Dr. Herbert Pfister, Institut für Theoretische Physik, Universität Tübingen – Dieser Artikel kann dank der Mithilfe von Prof. Dr. Matthias Bartelmann (Universität Heidelberg) und Prof. Dr. Markus King (Hochschule Albstadt-Sigmaringen) nach Herbert Pfisters Tod erscheinen (Nachruf siehe Physik Journal, Januar 2016, S. 49).

Newton, Isaac, Samuel Pepys, and Joseph Streater, 1687, *Philosophiæ naturalis principia mathematica*. Londini: Jussu Societatis Regiæ ac Typis Josephi Streater, John J. Burns Library, Boston College

Ernst Mach (1838 – 1916), dessen hundertster Todestag sich am 19. Februar dieses Jahres jährte, war einer der schärfsten Kritiker von Newtons absolutem Raum.



einem so schwierigen Gegenstand nicht so sehr getadelt als vielmehr durch neue Bemühungen der Leser erforscht und wohlwollend ergänzt werden.“ ([2], S. 4) Albert Einstein schrieb dazu 340 Jahre später anerkennend, „dass Newton selbst die seinem Gedankengebäude anhaftenden schwachen Seiten besser kannte, als die folgenden Gelehrten-Generationen.“ [3]

Tatsächlich sind aber viele Behandlungen des Trägheitsgesetzes nach Newton und leider auch in den meisten modernen Lehrbüchern der logischen Konsistenz bei Newton deutlich unterlegen. Oft genug wird zwar auf den absoluten Raum verzichtet, aber kein adäquater Ersatz dafür bereitgestellt. Eine besondere konzeptionelle Schwierigkeit liegt darin, dass es letztlich nicht *ein* besonders ausgezeichnetes Bezugssystem gibt, sondern eine unendliche Vielfalt, die sich aus der 10-parametrischen Galilei-Gruppe ergibt. Oft treten Tautologien und Zirkelschlüsse auf, im Gegensatz zu Newton wird nicht konsequent zwischen Definitionen und nichttrivialen Fakten der Natur unterschieden. Zudem bleibt ungeklärt, dass Newtons Gesetze I bis III je eigene und nichttriviale Naturphänomene beschreiben. Zu den Schwierigkeiten, das Trägheitsgesetz zu vermitteln, bemerkte bereits Heinrich Hertz in seinem Mechanik-Lehrbuch von 1894 treffend (S. 8)¹⁾, dass es sehr schwer sei, „gerade die Einleitung in die Mechanik denkenden Zuhörern vorzutragen, ohne einige Verlegenheit, ohne das Gefühl, sich hier und

da entschuldigen zu müssen, ohne den Wunsch, recht schnell über die Anfänge hinwegzugelangen.“ Selbst in etablierten Lehrbüchern finden sich unhaltbare Aussagen derart, dass zumindest die Newtonschen Gesetze I und II nur Definitionen seien (z. B. [4], S. 58).

Langes vergessener Beitrag

Ab etwa 1870 haben einige Physiker substanzielle Kritik an Newtons absolutem Raum und der absoluten Zeit geübt und auch Ansätze für echte Klärungen präsentiert. Der schärfste Kritiker von Newtons absolutem Raum war sicher Ernst Mach, der Trägheit nur bezüglich anderer Massen konzipiert haben wollte. Ein charakteristisches Zitat aus seinem Buch „Die Mechanik in ihrer Entwicklung“ von 1883 lautet (S. 216)²⁾: „Die mechanischen Grundsätze können also wohl so gefasst werden, daß auch für Relativdrehungen Zentrifugalkräfte sich ergeben. Der Versuch Newtons mit dem rotierenden Wassergefäß lehrt nur, daß die Relativdrehung des Wassers gegen die Gefäßwände keine merklichen Zentrifugalkräfte weckt, daß dieselben aber durch die Relativdrehung gegen die Masse der Erde und die übrigen Himmelskörper geweckt werden. Niemand kann sagen, wie der Versuch quantitativ und qualitativ verlaufen würde, wenn die Gefäßwände immer dicker und massiver, zuletzt mehrere Meilen dick würden.“

Mach hat aber keine konkrete Alternative zu Newtons Formulierungen entwickelt. Einen ersten Schritt in diese Richtung verdanken wir dem Mathematiker Carl Gottfried Neumann, der mit der Bemerkung, wir könnten „nämlich jetzt gleiche Zeitintervalle als diejenigen definieren, innerhalb welcher ein sich selbst überlassener Punkt gleiche Wegabschnitte zurücklegt“ [5] Newtons absolute Zeit durch eine konkrete, experimentelle Anleitung ersetzt. Merkwürdigerweise hat Neumann nicht versucht, mit ähnlichen Analysen auch Newtons absoluten Raum zu eliminieren. Angeregt durch Neumann hat Ludwig

Lange (Infokasten) im Alter von 22 Jahren in mehreren Arbeiten, unter anderem in seiner Dissertation von 1886 an der Universität Leipzig, mit genialen Ideen einen echten Durchbruch erzielt. Er definierte erstmals die heutigen Standard-Begriffe „Inertialsystem“ und „Inertialzeit“ [6]:

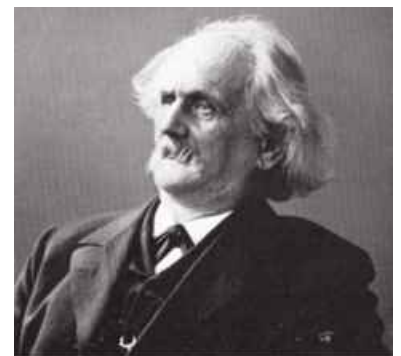
■ „Definition I. „Inertialsystem“ heißt ein jedes Koordinatensystem von der Beschaffenheit, daß mit Bezug darauf *drei* vom selben Raumpunkt projizierte und dann sich selbst überlassene Punkte P , P' , P'' – welche aber nicht in einer geraden Linie liegen sollen – auf drei beliebigen in einem Punkt zusammenlaufenden Geraden G , G' , G'' (z. B. auf den Koordinatenachsen) dahinschreiten.

■ Theorem I. Mit Bezug auf ein Inertialsystem ist die Bahn *jedes beliebigen vierten* sich selbst überlassenen Punktes gleichfalls geradlinig.

■ Definition II. „Inertialzeitscala“ heißt eine jede Zeitscala, in Bezug auf welche *ein* sich selbst überlassener auf ein Inertialsystem bezogener Punkt (etwa P) gleichförmig fortschreitet.

■ Theorem II. In Bezug auf eine Inertialzeitscala ist *jeder beliebige andere* sich selbst überlassene Punkt in seiner Inertialbahn gleichförmig bewegt.“

Lange bemerkte auch, dass diese beiden Theoreme im Wesentlichen dasselbe aussagen, einmal bezüglich des Raums, einmal bezüglich der Zeit, und sich zu einer kompakten vierdimensionalen Form zusammenfassen lassen. Das Trägheitsgesetz ist ohnehin eines der wenigen Gesetze, die in der nichtrelativis-



Der Mathematiker Carl Neumann (1832 – 1925) regte den Physiker Ludwig Lange (1863 – 1936) zu Überlegungen an, die zur Definition des Inertialsystems führten.

1) Online verfügbar auf bit.ly/1TntbKI

2) Online verfügbar auf bit.ly/1KUCu7U

tischen und in der relativistischen Physik gleich lauten! Es ist gewissermaßen die Basis für *alle* Physik, da fast alle physikalischen Gesetze nur in Inertialsystemen gelten oder jedenfalls dort ihre einfachste Form annehmen.

Die große Leistung von Lange ist bis etwa 1910 vielfach und prominent gewürdigt worden, etwa von Mach, vom Astronomen Hugo von Seeliger, vom Logiker Gottlob Frege und vor allem von Max von Laue. Danach ist sie offenbar in Vergessenheit geraten, ohne dass Langes Erkenntnisse Allgemeingut geworden wären.

Freie Teilchen und gerade Linien

Ludwig Langes Formulierung des Trägheitsgesetzes stellt gegenüber früheren Konzepten einen erheblichen Fortschritt dar. Doch ihr hafteten noch Mängel an, wie etwa Frege mit Recht monierte: Die Begriffe „sich selbst überlassener Punkt“ (oder freies Teilchen) und „gerade Linie“ sind konzeptionell und experimentell keineswegs so einfach festzulegen, wie es scheint, sondern sie sind fast ebenso schwer fassbar wie das Trägheitsgesetz selbst. Die auch in Lehrbüchern durchaus populäre Charakterisierung freier Teilchen als „kräftefrei“ beruht auf einem Zirkelschluss, weil Kräfte eben erst in Newtons Gesetz II definiert werden, das aber nur in Iner-

tialsystemen gemäß Gesetz I gilt. Auch die Charakterisierung von freien Teilchen als „weit entfernt“ von anderen Objekten ist nicht wirklich tragbar, da es unmöglich ist zu sagen, welcher Abstand jeweils genügend groß ist, zumal Gravitation und Elektromagnetismus im Prinzip unendliche Reichweite haben. Im Gegensatz zu diesen Versuchen, freie Teilchen durch äußere Bedingungen zu charakterisieren, habe ich vorgeschlagen, eine Charakterisierung durch innere Eigenschaften vorzunehmen [7]: „Freie Teilchen sind inaktive Testobjekte mit nur einer nichttrivialen Eigenschaft: Masse.“

Gerade Linien werden häufig durch starre Körper (Maßstäbe) repräsentiert. Das ist aber sicher kein geeigneter Ausgangspunkt für die Grundlagen der Physik, da starre Körper komplizierte, sekundäre Objekte der Mechanik (wenn nicht der Quantenmechanik) sind. Außerdem bricht in den Relativitätstheorien das Konzept eines starren Körpers weitgehend zusammen. Da die Bahnen von inaktiven Testobjekten durch Anfangsereignis und Anfangs- (Vierer-) Geschwindigkeit eindeutig bestimmt sind, genügen sie in einem beliebigen Koordinatensystem x^μ und mit der Eigenzeit τ den Differentialgleichungen 2. Ordnung $d^2x^\mu/d\tau^2 = f^\mu$ mit geeigneten Funktionen f^μ . Die einfachste Wahl $f^\mu \equiv 0$ führt zu geraden Linien.

Ludwig Lange, *Ueber das Beharrungsgesetz.*

I.

Bei einer planmässigen Untersuchung der dynamischen Principien tritt uns als erstes und oberstes Problem die Aufgabe entgegen, an Stelle der in mancher Hinsicht veralteten Galilei-Newton'schen Fassung des Beharrungsgesetzes eine zeitgemässe neue Fassung zu setzen. Seitdem Carl Neumann¹⁾ und Ernst Mach²⁾ die Unzulänglichkeit jener herkömmlichen Formulierung schlagend nachgewiesen haben, besteht kein Zweifel, dass man es hier nicht mit einem erdichteten, sondern mit einem wirklichen und durchaus berechtigten Bedürfnisse der Wissenschaft zu thun hat. In jüngster Zeit hat sich übrigens Streintz³⁾ das Verdienst erworben, auf die hervorragende Bedeutung des genannten Problems von Neuem hinzuweisen. Ich selbst habe dann an einem anderen Orte⁴⁾ den Gegenstand vorwiegend aus methodologischen Gesichtspunkten behandelt und will hier nun näher auf seine mathematisch-physikalische Seite eingehen.

Ludwig Lange setzte sich in dieser [6] und weiteren Arbeiten kritisch mit dem

Newtonschen Trägheitsgesetz und dem absoluten Raum auseinander.

pco.

on the cutting edge

pco.edge family

now with advanced sCMOS image sensor

up to 40 000:1 dynamic range

up to 82% quantum efficiency

CAMERA LinkHS™ available

www.pco.de
www.pco-tech.com

3) Viele der in diesem Beitrag behandelten Argumente sind mehr im Detail ausgeführt im kürzlich erschienenen Buch [15].

Diese Charakterisierung ist aber nicht invariant gegen beliebige Koordinaten- und affine Parameter-Transformationen, was Einstein meisterhaft herausgestellt hat. Galileis Trägheitsgesetz lautet „in ausführlicher Formulierung notwendig so: Voneinander hinreichend entfernte materielle Punkte bewegen sich geradlinig gleichförmig – vorausgesetzt, daß man die Bewegung auf ein passend bewegtes Koordinatensystem bezieht und daß man die Zeit passend definiert. Wer empfindet nicht das Peinliche einer solchen Formulierung? Den Nachsatz weglassen aber bedeutete eine Unredlichkeit.“ [8]

Eine nichtlineare Koordinatentransformation $x^\mu \rightarrow x'^\mu$ und eine affine Transformation der Zeit $\tau \rightarrow \sigma$ überführt die freie Bewegungsgleichung $d^2x^\mu/d\tau^2 = 0$ in die Geodätengleichung

$$\frac{d^2x'^\mu}{d\sigma^2} + \Gamma_{\nu\lambda}^\mu(x'^\rho) \frac{dx'^\nu}{d\sigma} \frac{dx'^\lambda}{d\sigma} = 0,$$

mit den Christoffel-Symbolen $\Gamma_{\nu\lambda}^\mu$. Die physikalische Bedeutung dieser Gleichung hat wieder Einstein glänzend charakterisiert [9]: „Die Einheit von Trägheit und Gravitation drückt sich formal dadurch aus, daß wohl die ganze linke Seite [der Geodätengleichung] Tensorcharakter hat (in bezug auf beliebige Koordinatentransformationen), nicht aber die beiden Glieder einzeln genommen, von denen man in Analogie zu den Newtonschen Gleichungen das erste als Ausdruck der Trägheit, das zweite als Ausdruck der Gravitationskraft zu betrachten hätte.“

Ein Vergleich der Geodätengleichung mit der ursprünglichen Gleichung $d^2x^\mu/d\tau^2 = 0$ zeigt, dass sich solche (Vierer-)Kräfte wegtransformieren lassen, die proportional zu $dx'^\mu/d\sigma$ oder bilinear in diesem Ausdruck sind. Bemerkenswert ist die Tatsache, dass die Lorentzkraft der Elektrodynamik die einfachste nicht-wegtransformierbare Kraft ist. Um der „Peinlichkeit“ der obigen koordinatenabhängigen Charakterisierung von geraden Linien zu entgehen (eine rein projektive Fassung des Bewegungsgesetzes findet sich in [7]), kann man sie auch invariant mithilfe der projektiven Geometrie charakterisieren [11]. Schon Lange meinte: „In Hinsicht auf die Eleganz der Systematik mag sich die Mechanik ein Beispiel an der projektiven Geometrie nehmen.“ Der wesentliche Inhalt des Trägheitsgesetzes ist dann gemäß obigen Analysen das folgende „Wunder der Natur“: Die einfachsten und elementarsten Objekte der Natur, die freien Teilchen, bewegen sich (bei Vernachlässigung der Gravitation) auf den mathematisch einfachsten Bahnen in der Raumzeit, den geraden Linien.

Trägheit allgemeinrelativistisch

Einstein erweiterte das Trägheitskonzept erheblich durch sein Äquivalenzprinzip von 1907: Trägheit und Gravitation bilden eine Einheit und sind zumindest lokal äquivalent. Außerdem tragen gemäß dem Gesetz $E = mc^2$ alle Energieformen zur Trägheit bei. Die obigen Definitionen von freien Teilchen und geraden Linien lassen sich auch auf die Physik in starken Gravitationsfeldern übertragen. Dann gibt es aber aufgrund der Raumzeit-Krümmung keine physikalischen Objekte mehr, die sich global auf geraden Linien bewegen, d. h. es gibt keine globalen Inertialsysteme mehr.

Für das Trägheits-Konzept von besonderer Bedeutung sind (nicht-Newtonsche) Mitführungseffekte, wie Einstein sie bereits 1913 in einer Vorläufer-Theorie der Allgemeinen Relativitätstheorie (ART) berechnet hatte: Beschleunigte Massen indu-

zieren für Testteilchen und Inertialsysteme parallele Beschleunigungen. So induziert eine rotierende Hohlkugel in ihrem Innern die aus der nichtrelativistischen Physik wohlbekannten Coriolis- und Zentrifugal-Kräfte [12]. Bemerkenswert ist aber, dass die rotierenden oder linear beschleunigten Hohlkugeln beliebig groß sein können und immer noch in ihrem ganzen Innern eine flache Raumzeit realisieren. Das hat in [12] Anlass dazu gegeben, ein quasiglobales Äquivalenzprinzip zu formulieren, das in Kurzform lautet: „Jedes Beschleunigungsfeld kann als Gravitationsfeld verstanden werden.“ Kurioserweise hat Einstein bereits 1912/13 in Diskussionen mit Paul Ehrenfest und Gustav Mie eine solche „Makro-Äquivalenz“ in Betracht gezogen, aber letztlich verworfen.

In irdischen Labors und Satelliten sind diese Mitführungseffekte meist sehr klein. Es gelang jedoch sie in jüngerer Zeit – neunzig Jahre nach ihrer theoretischen Voraussage durch Albert Einstein und Hans Thirring – an Satelliten auf Bahnen um die rotierende Erde erstmals zweifelsfrei zu bestätigen: Die LAGEOS-Satelliten erleiden eine kleine Präzession ihrer Knotenlinie von 0,031 Bogensekunden pro Jahr, die mit 10 Prozent Genauigkeit gemessen wurde [13]. Die Rotationsachsen von Kreiseln werden um 0,042 Bogensekunden pro Jahr nachgeführt, was mit 19 Prozent Genauigkeit gemessen wurde [14]. Diese Experimente bestätigen zugleich erstmals den nicht-Newtonschen „Gravitomagnetismus“, der durch Massenströme entsteht.

Ein kosmologischer Effekt?

Mach hat als erster und sehr deziidiert die „Quelle“ der Trägheit in den kosmischen Massen vermutet, etwa mit seinem berühmten Satz, den ich oben zitiert habe. Die Newtonsche Physik kann auf diese Machschen Fragen keine Antwort geben, da in ihr bewegte, beispielsweise rotierende Massen keine zusätzlichen Kräfte bewirken. Das leistet aber die ART mit ihren Phä-

LUDWIG LANGE

Ludwig Lange wurde am 21. Juni 1863 in Gießen als Sohn eines Universitätsprofessors geboren. Er lebte lange Jahre in Tübingen und Heilbronn und starb mit 73 Jahren in Weibenhof (Württemberg). Lange studierte Mathematik, Physik und weitere Fächer wie Psychologie in Leipzig und Gießen und promovierte 1886 zu den Prinzipien der Mechanik. Sein Leben war stark beeinflusst durch phasenweise Depressionen, verbunden mit mehreren Klinikaufenthalten. Trotz seiner Krankheit publizierte er neben zu Themen der Physik in Psychologie, Photochemie und der Astronomie und Kalenderkunde. Eine ordentliche Dauerstellung an einer Universität blieb dem „zu Unrecht vergessenen“ (Max v. Laue) Universalgelehrten jedoch zeitlebens verwehrt [10].

nomen der Mitführung und des Gravitomagnetismus. Tatsächlich lassen sich die oben besprochenen Modelle mit rotierenden Hohlkugeln von asymptotisch flachen Raumzeiten auf geeignete kosmologische Modelle verallgemeinern.

Bemerkenswert ist, dass der Zusammenhang zwischen den lokalen Trägheitseffekten und den fernen kosmischen Massen in der ART nicht auf kausalem Weg zustandekommt. Er wird stattdessen von den zeitunabhängigen Nebenbedingungen der Einsteinschen Feldgleichungen gesteuert, wie man zunächst an speziellen Modellen, später sehr allgemein beweisen konnte. Solange man sich auf Rotationsstörungen 1. Ordnung beschränkt, folgt das sogar ohne alle Rechnungen aus einem Symmetrie-Argument: Rotationsstörungen 1. Ordnung von kugelsymmetrischen Systemen haben grundsätzlich Dipolcharakter. In der ART gibt es aber keine kausalen Dipolsignale oder -wellen. Die experimentell überzeugendste Bestätigung des Zusammenhangs zwischen Trägheit und Kosmologie ist die „Nicht-Rotation“ der lokalen Inertialsysteme gegenüber dem kosmischen Hintergrund, was beispielsweise in den Lehrbüchern von Misner, Thorne, Wheeler (1973) als „miracle of miracles“ und von Weinberg (1972) als „remarkable coincidence“ bezeichnet wird. Tatsächlich lokale Geräte wie Laser-Kreisel erlauben es heute, dies mit einer Genauigkeit von 10^{-8} der Winkelgeschwindigkeit der Erde zu bestätigen. Bei einem mit GPS und VLBI realisierten erdbasierten Referenzsystem und vermutlich bald mit dem galaktischen Referenzsystem auf Basis des GAIA-Satelliten ist die Genauigkeit noch eine Größenordnung höher.

Unabhängig vom Ursprung der Trägheit zeigt die Diskussion des Trägheitsgesetzes und der Bezugssysteme, in denen es überhaupt gilt, dass das Phänomen der Trägheit eng mit unseren Konzepten von Raum und Zeit verbunden ist. So führt ein direkter Weg von der Newtonschen Annahme eines absoluten Raums zur vollständigen

Überwindung dieser Vorstellung in der Allgemeinen Relativitätstheorie. Dass diese den Begriff des Inertialsystems ersetzt, hat Einstein als ihre wesentliche Leistung bezeichnet.³⁾

Literatur

- [1] G. Galilei, Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme, Wiss. Buchgesellschaft, Darmstadt (1982); bit.ly/1Qh0IFY
- [2] I. Newton, Die mathematischen Prinzipien der Physik, übers. und hrsg. von V. Schüller, W. de Gruyter, Berlin (1999)
- [3] A. Einstein, Die Naturwissenschaften 15, 273 (1927)
- [4] J. B. Marion, Classical Dynamics of Particles and Systems, Academic Press, New York (1965), 4. Aufl.: J. B. Marion und S. T. Thornton, Harcourt Brace, Fort Worth (1995)
- [5] C. Neumann, Ueber die Principien der Galilei-Newton'schen Theorie, Teubner, Leipzig (1870); bit.ly/1LpLase
- [6] L. Lange, Berichte über Verhandl. der Königl. Sächs. Ges. der Wiss. (1885), S. 333; bit.ly/1QhwbBG; engl. übers. und komment. von H. Pfister in: Eur. Phys. J. H 39, 245 und 251 (2014)
- [7] H. Pfister, Found. Phys. Lett. 17, 49 (2004)
- [8] A. Einstein, Die Naturwissenschaften 8, 1010 (1920)
- [9] A. Einstein, Vier Vorlesungen über Relativitätstheorie, Vieweg, Braunschweig (1922)
- [10] M. v. Laue, Naturwissenschaften 35, 193 (1948)
- [11] U. Heilig und H. Pfister, J. Geom. Phys. 7, 419 (1990)
- [12] H. Pfister und K. H. Braun, Class. Quant. Grav. 2, 909 (1985)
- [13] I. Ciufolini und E. C. Pavlis, Nature 431, 958 (2004)
- [14] C. W. F. Everitt et al., Phys. Rev. Lett. 106, 221101 (2011)
- [15] H. Pfister und M. King, Inertia and Gravitation, Springer, Heidelberg (2015)

DER AUTOR

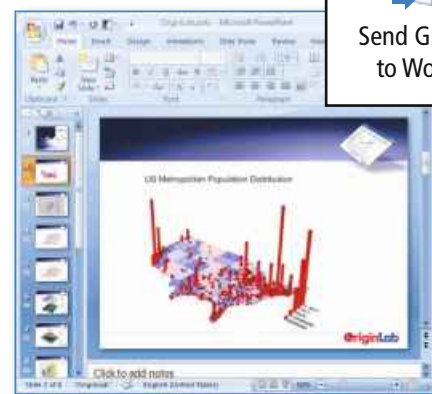
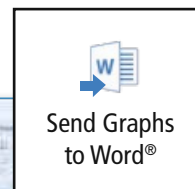
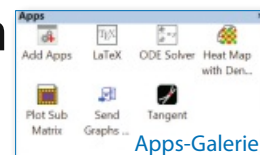
Herbert Pfister (1936 – 2015) war Professor für theoretische Physik an der Eberhard-Karls-Universität Tübingen. Er studierte Mathematik und Physik an der LMU München und promovierte nach seinem Staatsexamen in München bei Fritz Bopp in Theoretischer Physik. In den Assistentenjahren ab 1962 kam es zu ersten Kontakten mit der Einsteinschen Gravitationstheorie, der er sich ab 1977 intensiver zuwandte. 1979 wurde er in Tübingen Professor für Theoretische Physik und blieb es bis zu seiner Emeritierung 2001.



zur Analyse und Auswertung von großen Datenmengen

Neu in Origin 2016:

- Apps in Origin
- Zeichnen mit klonbaren Vorlagen
- Wordreports erzeugen
- Automation/Stapelverarbeitung
- Neue Statistikhilfsmittel: Dreifache ANOVA, Partielle Korrelation, Kreuztabelle



Mehr unter:
<http://www.additive-origin.de/2016>

Besuchen Sie uns auf der
DPG-Tagung in Regensburg!
08.03.-10.03.2016
Audimax Stand Nr. 44a



■ Ein Teppich aus Licht

Den Boden direkt neben einem Fahrzeug zu beleuchten, ist schwieriger als man denkt. Wenn konventionelle Optiken nicht infrage kommen, sind Mikrolinsen die Lösung.

Beim nächtlichen Ein- und Aussteigen auf einem schlecht ausgeleuchteten Parkplatz tritt man schon mal unbeabsichtigt in eine Pfütze oder stolpert über ein Hindernis. Daher gibt es bei manchen Fahrzeugen eine Art Außenbeleuchtung, die in Tür oder Außenspiegel integriert ist und den Boden erhellen soll. Allerdings wandert das Licht, wenn der Fahrer die Tür bewegt, oder ist mitunter gar nicht zu sehen, wenn die Tür geschlossen ist. Um das zu vermeiden, lässt sich neuerdings bei manchen Autos eine Umfeldbeleuchtung zuschalten, die gezielt den Boden vor den Türen erhellt. Optisch gesehen handelt es sich dabei um eine Projektion: Das Licht einer hellen Quelle durchstrahlt ein Dia, und ein Objektiv vergrößert das Bild, das auf einer Leinwand erscheint. Die Lichtquelle ist im Fall des Fahrzeugs eine leistungsfähige LED. Auf dem Dia ist die Struktur abgebildet, die später auf dem Boden – in diesem Fall die Leinwand – erscheinen soll.

Bei dieser Art der Umfeldbeleuchtung bringt ein klassischer Projektor mit einem Einzelobjektiv jedoch eine grundsätzliche Einschränkung mit sich: Wie hell die projizierten Bilder wirken, hängt von der Größe des Objektivs ab. Denn der Durchmesser des Objektivs skaliert mit seiner Baulänge, weil bei der Projektion das Licht unter einem gegebenen Öffnungswinkel auf das Objektiv trifft.



Mit Hilfe einer Umfeldbeleuchtung lässt sich der Boden entlang des Autos von den Fronttüren bis zum Heck erhellen.

Die Projektionseinheiten dafür befinden sich unter dem Türeinstieg an der Karosserie des Wagens.

Um ein größeres Objektiv auszuleuchten, muss es bei gleichem Öffnungswinkel in einer größeren Entfernung von der Lichtquelle stehen. Gleichzeitig bestimmt der Durchmesser des Objektivs den Lichtstrom, also die Lichtmenge, die pro Zeiteinheit durch das Objektiv tritt. Der begrenzte Platz im Schweller – dem Teil der Karosserie unter dem Türeinstieg – führt bei einem Einzelobjektiv dazu, dass der Lichtstrom nicht ausreicht, um das Umfeld ausreichend auszuleuchten.

Ein ähnliches Problem ist vom Gartenschlauch bekannt: Schrumpft sein Durchmesser, tritt eine geringere Menge an Wasser aus. Um die Wassermenge zu erhöhen, kann man viele dünne Schläuche aneinanderfügen. Ähnlich ist das Platzproblem auch bei der Umfeldbeleuchtung lösbar. An die Stelle eines großen Objektivs tritt eine Anordnung aus vielen kleinen Objektiven: Statt eines optischen Kanals gibt es viele Kanäle, deren Anzahl den Lichtstrom bestimmt. Die Optik des Projektors im Schweller besteht aus einem quadratischen Array, das eine Fläche von etwa 10 mal 10 Millimetern hat. Darin sind 150 Mikrolinsen matrixförmig angeordnet. Die Dicke des Arrays, also seine Baulänge,

beträgt nur wenige Millimeter, was den Platzbedarf im Vergleich zu einem klassischen Projektor um einen Faktor zwölf reduziert.

Solche Mikrolinsen-Arrays entstehen mit Hilfe von UV-Abformung (Abb. 1). Flüssiges Polymerharz härtet dabei unter UV-Licht zwischen einem Substrat (z. B. Glas) und einem transparenten Abformwerkzeug aus. Das Dia mit der Struktur der Umfeldbeleuchtung lässt sich auf der Rückseite des Substrats als dünne Schicht aufbringen. Jede Mikrolinse besitzt die gleiche Brennweite und erzeugt ein vergrößertes Bild des Dias. Alle Bilder überlagern sich auf dem Boden, der bezogen auf die Brennweite des Arrays im Unendlichen liegt, und sorgen so für eine ausreichende Bildhelligkeit.

Da jede einzelne Mikrolinse des Arrays weniger als einen Millimeter groß ist, tritt das Licht der LED nur unter kleinen Winkeln in sie ein, sodass die optischen Abbildungsfehler des Systems gut beherrschbar sind. Allerdings entsteht Streulicht, wenn Lichtstrahlen nicht vollständig parallelisiert sind und ein optisches Übersprechen der Kanäle hervorrufen. Um das Streulicht zu verringern, wird

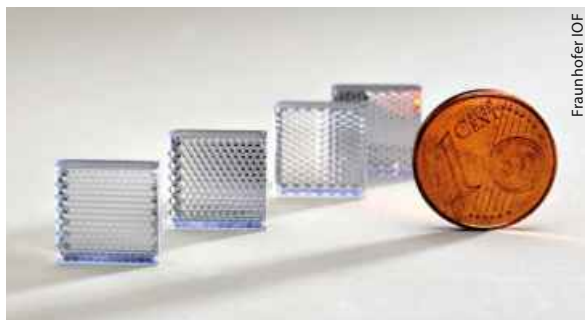


Abb. 1 Mikrolinsen-Arrays entstehen mittels UV-Abformungsverfahren mit Genauigkeiten von Mikrometern. Je mehr Mikrolinsen im Array enthalten sind, desto höher ist der Lichtstrom durch das System, ohne dass sich seine Baulänge verändert.

das Licht der LED kollimiert und beim Eintritt in die Projektionseinheit durch ein zweites, der LED zugewandtes Array aus Kondensator-Mikrolinsen nochmals „feinjustiert“. Zudem dient eine Absorptionsstruktur, die in das Bauteil integriert ist, als Blende.

Scharf projiziert

Die gewünschte Beleuchtung erfordert jedoch eine weitere Verfeinerung der Projektionseinheit (Abb. 2). Bei einem Abstand von weniger als 20 Zentimetern zwischen Schweller und Boden wäre der ausgeleuchtete Bereich extrem klein, wenn das Licht einfach senkrecht auf den Boden fallen würde. Daher ist die Projektionseinheit um einen Winkel von ungefähr 80° gegen den Boden geneigt: Die „Leinwand“ steht somit schräg zur Optik, wodurch die Schärfe des Bildes leidet. In einem Einkanalssystem bleiben zwei Möglichkeiten, die Schärfentiefe zu verbessern: Entweder blendet man das Objektiv ab und reduziert dadurch Lichtstrom und Bildhelligkeit. Oder man verwendet Freiformflächen, also nicht-symmetrische Flächen, für die Optik, das Dia oder beide und erhält ein sehr komplexes einkanaliges System.

Bei der mehrkanaligen Optik hängen dagegen Objektivdurchmesser, Baulänge und Lichtstrom nicht mehr voneinander ab. Im mehrkanaligen Projektionssystem

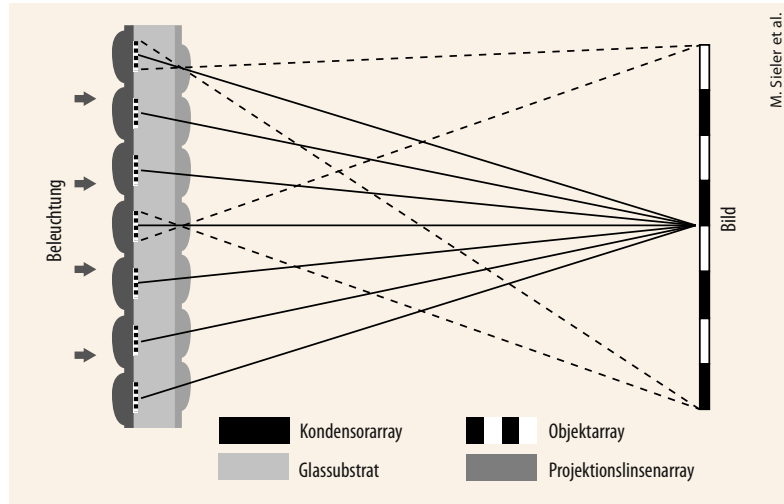


Abb. 2 Die Projektionseinheiten bestehen aus mehreren Schichten. Das Licht einer LED fällt von links ein und trifft zunächst auf ein Kondensatorarray aus Mikrolinsen. Hier wird das Licht homogenisiert und parallelisiert, sodass sich die Streulichtanteile verringern. Dann

hat jede Mikrolinse des Arrays aufgrund ihrer geringen Öffnung eine große Schärfentiefe. Dank der großen Zahl an Mikrolinsen bleibt der Lichtstrom hoch. So genügt es, das Dia jeder Mikrolinse leicht zu verändern, um für die Umfeldbeleuchtung eine scharfe Abbildung auf dem Boden zu erzielen. Die einzelnen Bilder der äquidistant angeordneten, identischen Strukturen auf den Dias werden auf der schräg stehenden „Leinwand“ zur Deckung gebracht, indem die Dias abhängig von der lateralen Position der Mikrolinse im Array etwas

folgt das Dia mit der abzubildenden Struktur, das auf einem Substrat aus Glas angebracht ist. Auf der anderen Seite befindet sich das Objektarray. Die mehrkanalige Projektion erzeugt ein vergrößertes, scharfes und helles Bild des Dias in kurzer Entfernung zur Lichtquelle.

seitlich verschoben werden. Das Resultat ist die scharfe Abbildung strukturierter Lichtteppiche mit mehreren Quadratmetern Fläche von der Fahrertür bis zum Heck. So lassen sich Pfützen und Steine beim Ein- und Aussteigen immer rechtzeitig erkennen!

Michael Vogel

*

Ich danke Andreas Bräuer vom Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik, Jena, für hilfreiche Erläuterungen.

Vakuumtechnik



Von PINK produzierte Experimentierkammer für das DynaMax-Projekt (BESSY II) mit Drehdurchführungen DN 800/850 COF und DN 160 CF. Sie dient der Grundlagenforschung mittels zeitaufgelöster Experimente im 100fs-Bereich (Winkelauflösung der Drehdurchführung: $\leq 0,001^\circ$ pro Motorschritt).



**Innovativ und intelligent.
Präzise und produktiv.
Zuverlässig und zukunftsweisend.**

PiNK, der Weltmarktführer für vakuumtechnische Sonderanlagen, produziert seit rund 30 Jahren Anlagen und Systeme nach Kundenanforderung. Zum umfassenden Produktspektrum zählen u.a. UHV-Systeme für Linearbeschleuniger, Ionenstrahl-Therapieanlagen, Präzisionsbeschichtungsanlagen, Dichtheitsprüfanlagen sowie Hochvakuum-Lötöfen.

Führende internationale Technologieunternehmen, u.a. aus der Halbleiter- und Elektronikindustrie, der Medizintechnik, der Luft- und Raumfahrt sowie der Wissenschaft und Forschung vertrauen auf die innovativen Produkte des Familienunternehmens aus Wertheim.

Besuchen Sie uns auf den DPG-Tagungen in Hamburg, Hannover, Regensburg und Darmstadt.

PiNK GmbH Vakuumtechnik · Gyula-Horn-Str. 20 · 97877 Wertheim · Germany
T +49(0)9342 872-0 · F +49(0)9342 872-111 · info@pink-vak.de · www.pink-vak.de



Ausschreibung

WE-Heraeus-Klausurtagungen („Hüttenseminare“)

In vielen wissenschaftlichen Arbeitsgruppen hat der mehrtägige Rückzug auf eine Hütte in den Bergen oder eine vergleichbare Einrichtung in schöner Umgebung Tradition. Er erlaubt den intensiven fachlichen Austausch ohne Zeitdruck, eingebettet in gemeinsame soziale Aktivitäten. Viele zündende Ideen und fruchtbare Kooperationen haben ihren Ursprung in solchen wissenschaftlichen Klausuren. Legendär sind die Berichte über angeregte Gespräche von Großen unseres Fachs, die sie mit ihren Kollegen oder Mitarbeitern auf ausgedehnten Spaziergängen führten.

Der fachliche und zwischenmenschliche Gewinn aus Gruppenklausuren ist so überzeugend, dass viele Gruppenleiter dafür die knappe Zeit investieren und Mittel und Wege der Finanzierung finden. Dennoch ist Letzteres, die Finanzierung, insbesondere für Arbeitsgruppen jüngerer Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bisweilen ein Problem: Entweder fehlen die Mittel generell, oder der Verwendungszweck „mehrtägige Klausurtagung“ wird nicht akzeptiert. Für solche Fälle hat die Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung das Förderprogramm „WE-Heraeus-Klausurtagungen“ aufgelegt. Es richtet sich vornehmlich an Arbeitsgruppen jüngerer Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die im Bereich der Physik forschen, gerne auch an mehrere, eng miteinander kooperierende Gruppen.

Die Stiftung finanziert die Unterkunft und Verpflegung aller Teilnehmer/innen im Rahmen der aktuellen Berghütten-Preise (<50€/Tag/Person) und einen „Heraeus-Abend“; An- und Abreise sowie Getränke sind als Eigenbeiträge der Teilnehmer zu leisten.

Gefordert wird ein strukturiertes wissenschaftliches Vortragsprogramm, an dem sich alle wissenschaftlichen Mitglieder einer Gruppe beteiligen, sowie ein kommunikationsförderndes Rahmenprogramm und ein Abschlussbericht.

Anträge können zweimal im Jahr zu den bekannten Sitzungsterminen der Stiftungsgremien eingereicht werden (Deadlines siehe www.we-heraeus-stiftung.de). Sie sind grundsätzlich formlos, müssen aber neben den Basisdaten Gruppenporträt, Ort und Dauer des Treffens auch eine Teilnehmerliste, vorläufige Tagesprogramme, CV des/der verantwortlichen Gruppenleiters/leiterin sowie eine Publikationsliste der Gruppe der letzten drei Jahre enthalten; ferner erwartet die Stiftung eine Erklärung, dass die Klausurtagung nicht aus anderen Mitteln der Arbeitsgruppe finanziert werden kann. Pro Gruppe sind maximal drei Förderungen möglich.

Die Auswahl der Unterkunft bleibt den Antragstellern überlassen. Sämtliche Absprachen mit den Betreibern einer Unterkunft sind von der Arbeitsgruppe zu leisten.

Hinweis: Die Stiftung vermittelt gerne auch einen Kontakt zur Hanauer Hütte in den Lechtaler Alpen (1922 m Höhe, nur Sommermonate geöffnet), die der Stifter Dr. Wilhelm Heinrich Heraeus häufig besucht und großzügig finanziell unterstützt hat.

Bitte richten Sie Anträge an:

Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung
Postfach 1553
D-63405 Hanau
Nächste Deadline: 1. April 2016

PREISE, AUSZEICHNUNGEN,
EHRUNGEN

Prof. Dr. Stephan Förster (U Bay-



Stephan Förster

reuth) wurde für sein Projekt zu Mikroformen für Mikrospritzgussverfahren mit einem Proof of Concept Grant des Europäischen

Forschungsrats (ERC) ausgezeichnet.

Prof. Dr. Sibylle Günter (MPI für Plasmaphysik, Garching/Greifswald) wurde in Anerkennung ihrer Vorreiterrolle bei der Untersuchung der Stabilität von Fusionsplasmen, ihre herausragende wissenschaftliche Erfolgsbilanz, ihre zahlreichen Führungsaufgaben sowie ihre Betreuung von Forschern und Studierenden mit dem Emmy-Noether-Preis für Frauen in der Physik der Europäischen Physikalischen Gesellschaft ausgezeichnet.

Dr. Simon Hettler (KIT, Karlsruhe) wurde für seinen Vorschlag zur Herstellung dreidimensionaler Phasenplatten für Transmissionselektronenmikroskope mit Hilfe des NanoFrazor mit dem zweiten Preis des Ideenwettbewerbs für Nachwuchswissenschaftler der SwissLitho AG, Zürich, ausgezeichnet.

Dr. Felix Holzner (SwissLitho AG, Zürich) wurde gemeinsam mit dem Team der SwissLitho AG für die Entwicklung des NanoFrazor mit dem 2015 R&D 100 Award ausgezeichnet.

Dr. Sebastian Knoche (TU Dortmund) wurde für seine Dissertation mit einem Dissertationspreis der TU Dortmund ausgezeichnet.

Prof. Dr. Laura Na Liu (MPI für Intelligente Systeme, Stuttgart) wurde für ihre Pionierarbeiten in der Nanophotonik und Nanoplasmonik mit dem Light 2015 Young Women in Photonics Award



Laura Na Liu

der European Optical Society ausgezeichnet.



Matthias May

Dr. Matthias May (Helmholtz-Zentrum Berlin) wurde für seine Promotionsarbeit, in deren Rahmen er sich mit Solarzellen, die

durch Sonnenlicht direkt Wasser spalten, beschäftigt hat, mit dem mit 5 000 Euro dotierten Doktorandenpreis der Helmholtz-Gemeinschaft ausgezeichnet.

Dipl.-Ing. Hinnerk Oßmer (KIT, Karlsruhe) wurde gemeinsam mit **Dipl.-Ing. Marcel Gültig (KIT, Karlsruhe)** für ihre Ausgründung „SMActuators – folienbasierte Aktoren aus Formgedächtnislegierungen“ im Rahmen des Förderprogramms „Helmholtz Enterprise“ der Helmholtz-Gemeinschaft ausgezeichnet.

Prof. Dr. Burkhard Priemer (HU Berlin) wurde gemeinsam mit **Prof. Dr. Lutz-Helmut Schön (U Wien)** für ihr Projekt „Vom Sehen zur Optik“ mit dem mit 15 000 Euro dotierten zweiten Polytechnik-Preis für die Didaktik der Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik (MINT) von der Stiftung Polytechnische Gesellschaft ausgezeichnet.

RUF, BERUFUNGEN,
ERNENNUNGEN, WAHLEN

Prof. Dr. Stefan Eisebitt (TU Berlin) wurde zum Direktor am Max-Born-Institut für Nichtlineare Optik und Kurzzeitspektroskopie in Berlin berufen.

Prof. Dr. Peter Gumbsch

(Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik, Freiburg) wurde für seine Arbeiten zur Multiskalenmodellierung, die dazu beitragen, das Bruch- und Ver-



Peter Gumbsch

formungsverhalten von Werkstoffen zu beherrschen, zum Mitglied der National Academy of Engineering der USA gewählt.

Prof. Dr. Bert Hecht (U Würzburg) wurde zum W3-Professor für Experimentelle Biophysik an der U Würzburg ernannt.

Prof. Dr. Thomas Ihle (North Dakota State University, USA) hat einen Ruf auf eine W2-Professur für Theoretische Physik an die U Greifswald angenommen.

Prof. Dr. Karin Jacobs (U Saarland) wurde für drei Jahre in den Wissenschaftsrat berufen.

Dr. Gregor Klatt (Laser Quantum GmbH, Konstanz) wurde zum Prokuristen mit Verantwortungsbereich Vertrieb und Marketing für Deutschland, Österreich



Gregor Klatt

und die Schweiz bei Laser Quantum GmbH bestimmt.

Dr. Georg Steinhauser (Colorado State University) hat den Ruf auf eine Professur für Physikalische Radioökologie an die Leibniz Universität Hannover angenommen.

HABILITATIONEN,
LEHRBEFUGNISSE

Dr. Stephan Dürr (U Wuppertal) Theoretische Physik

Dr. Christian Bobisch (U Duisburg-Essen) Experimentalphysik

GEBURTSTAGE

Prof. Dr. Jochen Albrecht (Berlin) 27. April, 83 Jahre

Prof. Dr. Ahmed Ali (Hamburg)

6. April, 70 Jahre

Prof. Dr. Gottfried Arlt (Aachen)

7. April, 90 Jahre

Dr. Gunther Bartholomäi (Freiburg) 30. April, 75 Jahre

Prof. Helmbrecht Bauer (Kornwestheim) 16. April, 81 Jahre

Dr. Gottfried Berthold (Reutlingen) 1. April, 80 Jahre

- Prof. Dr. Johann Bienlein** (Hamburg) 6. April, 86 Jahre
- Prof. Dr. Reiner Brehler** (Glinde) 14. April, 80 Jahre
- Prof. Dr. Rolf Brockmann** (Mainz) 12. April, 70 Jahre
- Dr. Jochen Bürger** (Halstenbek) 17. April, 70 Jahre
- Dr. Berthold Burghardt** (Waake) 20. April, 65 Jahre
- Prof. Dr. Dietrich Demus** (Halle) 12. April, 81 Jahre
- Prof. Dr. Paul Erdős** (Meggen) 6. April, 86 Jahre
- Dr. Josef Feldhaus** (Hamburg) 4. April, 65 Jahre
- Prof. Dr. Dieter Fischer** (Krefeld) 26. April, 75 Jahre
- Prof. Dr. Harald Fuchs** (Münster) 15. April, 65 Jahre
- Prof. Dr. Peter Fulde** (Dresden) 6. April, 80 Jahre
- Prof. Dr. Wolfgang Gebhardt** (Regensburg) 22. April, 86 Jahre
- Prof. Dr. Eberhard Gerdes** (Rostock) 6. April, 88 Jahre
- Dipl.-Phys. Wolfgang Giese** (Berlin) 16. April, 75 Jahre
- Prof. Dr. Claus Gößling** (Dortmund) 25. April, 65 Jahre
- Dr. Stefan Gottlöber** (Potsdam) 19. April, 65 Jahre
- Dr. Karl Edgar Hagedorn** (Düsseldorf) 17. April, 81 Jahre
- Prof. Dr. Artur Hahn** (Witten) 26. April, 83 Jahre
- Dr. Friedemann Haiber** (Sargans) 18. April, 70 Jahre
- Prof. Dr. Manfred Hannemann** (Mörfelden-Walldorf) 26. April, 65 Jahre
- Dr. Kurt Hartel** (Freising) 8. April, 70 Jahre
- Dr. Klaus-Friedrich Heidemann** (Ochsenfurt) 21. April, 75 Jahre
- Prof. Dr. Ulrich Heinzmann** (Bielefeld) 27. April, 70 Jahre
- Prof. Dr. Günter Helmig** (Merseburg) 24. April, 88 Jahre
- Prof. Dr. Klaus Hennig** (Pirna) 5. April, 80 Jahre
- Dr. Hinrich Henning** (Köln) 1. April, 82 Jahre
- Dr. Helmut Herrmann** (Krefeld) 5. April, 94 Jahre
- Dr. Horst Herrmann** (Berlin) 13. April, 83 Jahre
- Prof. Dr. Michael Hietschold** (Niederlungwitz) 4. April, 65 Jahre
- Dr. Hellmut Höche** (Halle) 17. April, 70 Jahre
- Dr. Roland Hoffmann** (Hünfelden) 18. April, 75 Jahre
- Dr. Manfred Höhne** (Berlin) 30. April, 83 Jahre
- Dr. Otto Holzinger** (Eschenbach) 3. April, 80 Jahre
- Dr. Hermann Hülsing** (Wiesbaden) 9. April, 65 Jahre
- Prof. Dr. Harald Ibach** (Aachen) 15. April, 75 Jahre
- Dipl.-Phys. Martin Junger** (Frankenthal) 21. April, 65 Jahre
- Prof. Dr. Egbert Kankeleit** (Darmstadt) 16. April, 87 Jahre
- Prof. Dr. Wilfried Kleinn** (Karlsruhe) 5. April, 88 Jahre
- Prof. Dr. Heinz-Jürgen Kluge** (Mainz) 25. April, 75 Jahre
- Dr. Götz Korf** (Hamburg) 30. April, 70 Jahre
- Prof. Dr. Wolf-Dietrich Kraeft** (Rostock) 12. April, 82 Jahre
- Dr. Karl Otfried Krafft** (Bochum) 23. April, 80 Jahre
- Prof. Dr. Karl-Ludwig Kratz** (Bad Homburg) 23. April, 75 Jahre
- Dipl.-Phys. Liselotte Krausbauer** (Geroldswil) 25. April, 84 Jahre
- Dipl.-Ing. Matthias Krause** (Kirchzarten) 16. April, 65 Jahre
- Dr. Alfred Küllmer** (Meckenheim) 4. April, 90 Jahre
- Dipl.-Phys. Hans Kuntzemüller** (Freiburg) 1. April, 65 Jahre
- Prof. Dr. Christof Kunz** (Emmendingen) 25. April, 80 Jahre
- Dr. Josef Lamprecht** (Frankenthal) 17. April, 75 Jahre
- Dr. Kurt Lassmann** (Stuttgart) 5. April, 80 Jahre
- Prof. Dr. Otfried Madelung** (Kronberg) 14. April, 94 Jahre
- Dr. Siegfried Martin** (Langenbernsdorf) 20. April, 75 Jahre
- Prof. Dr. Werner Meisel** (Klein-Winternheim) 10. April, 83 Jahre
- Dr. Helmut Müller** (Neu-Isenburg) 20. April, 86 Jahre
- Dr. Siegfried Müller** (Nürtingen) 5. April, 90 Jahre
- Dr. Ernst Müller** (Rösrath) 19. April, 81 Jahre
- Prof. Dr. K. Alex Müller** (Zürich) 20. April, 89 Jahre
- Ingrid Maria Neuburger-Kappis** (Karlsruhe) 14. April, 86 Jahre
- Dr. Anton Oed** (La Tronche) 21. April, 83 Jahre
- Dipl.-Phys. Karl-Heinz Oertel** (Dresden) 6. April, 88 Jahre
- Dr. Günter Pauli** (Unterhaching) 11. April, 70 Jahre
- Prof. Dr. Klaus Pinkau** (München) 3. April, 85 Jahre
- Dipl.-Phys. Armin Pöcker** (Bensheim) 15. April, 80 Jahre
- Prof. Dr. Dorin-M.-S. Poenariu** (Magurele) 9. April, 80 Jahre
- Prof. Dr. Peter Pokrowsky** (Zweibrücken) 12. April, 65 Jahre
- Dipl.-Phys. Heinrich Rackel** (Idstein) 12. April, 84 Jahre
- Dr. Horst Rammensee** (Nürnberg) 28. April, 82 Jahre
- Prof. Dr. Wolfgang Regensteiner** (Michendorf) 27. April, 75 Jahre
- Prof. Dr. Jürgen Reif** (Cottbus) 17. April, 65 Jahre
- Hermann Riemann** (München) 25. April, 70 Jahre
- Christian Roes** (Kiel) 7. April, 70 Jahre
- StD Jürgen Rohde** (Rösrath) 13. April, 83 Jahre
- Dipl.-Phys. Ehrenfried Rohde** (Berlin) 25. April, 80 Jahre
- Dipl.-Phys. Oswald Röhrig** (Königswinter) 12. April, 80 Jahre
- Klaus-Peter Rolff** (Berlin) 10. April, 82 Jahre
- Dr. Josef Rosenzweig** (Freiburg) 12. April, 70 Jahre
- Prof. Dr. Dieter Röß** (Hösbach) 6. April, 84 Jahre
- Prof. Dr. Hans-Ilja Rückmann** (Bremen) 1. April, 65 Jahre
- Prof. Dr. Wilhelm Sander** (Aachen) 4. April, 87 Jahre
- Prof. Dr. Dr. Werner Sandhas** (Bonn) 14. April, 82 Jahre
- Dr. Werner Schairer** (Stuttgart) 9. April, 75 Jahre
- Prof. Dr. Udo Scherz** (Berlin) 30. April, 82 Jahre
- Dr. Heinz Schmidt** (Berlin) 28. April, 82 Jahre
- Prof. Dr. Herbert Schramm** (Bruchköbel) 6. April, 83 Jahre
- Prof. Dr. Joachim Schröter** (Altenbeken) 23. April, 85 Jahre
- Dr. Hans-Dietrich Schulz** (Hamburg) 11. April, 85 Jahre
- Dipl.-Ing. Karl-Ernst Seifert** (Bonn) 13. April, 87 Jahre
- Prof. Dr. Otto Simmich** (Salzatal) 16. April, 81 Jahre
- Prof. Dr. Ferdinand Sommer** (Stuttgart) 28. April, 75 Jahre
- Dr. Rudolf Spiegel** (Köln) 14. April,


65 Jahre
Dr. Eberhard Spiller (Fremont, USA) 16. April, 83 Jahre
Horst Spinger-Bolk (Varel) 19. April, 65 Jahre
Prof. Dr. Wolfgang Stössel (Karlsruhe) 26. April, 86 Jahre
Dr. Hans-Waldemar Streitwolf (Berlin) 4. April, 83 Jahre
Dr. Wilfried Suhr (Münster) 12. April, 65 Jahre
Dr. Ernst Teloj (Freiburg) 9. April, 85 Jahre
Dr. Rudolf Thiele (Delmenhorst) 18. April, 85 Jahre
Prof. Dr. Friedrich-Karl Thielemann (Basel) 17. April, 65 Jahre
Prof. Dr. Peter E. Toschek (Hamburg) 18. April, 83 Jahre
Prof. Dr. Steffen Trimper (Leipzig) 5. April, 70 Jahre
Dr. Günter Urban (Essen) 15. April, 87 Jahre
Dipl.-Ing. Gerda Vornehm (Forchheim) 24. April, 82 Jahre
Prof. Dr. Herbert Wahl (Beilstein) 4. April, 80 Jahre
StD Dr. Joachim Michael Wallasch

(Alfter) 28. April, 70 Jahre
Prof. Dr. Klaus Weigle (Paderborn) 15. April, 83 Jahre
Dr. Norbert Weimann (Bergisch Gladbach) 19. April, 80 Jahre
Theodor Wendnagel (Frankfurt) 22. April, 85 Jahre
Prof. Dr. Helmut Werheit (Köln) 11. April, 82 Jahre
Prof. Dr. Ernst Werner (Pentling) 28. April, 86 Jahre
Prof. Dr. Jörg Willer (Erlabrunn) 2. April, 80 Jahre
Prof. Dr. Hans W. Wittern (Hannover) 25. April, 88 Jahre
Dr. Dr. Folker H. Wittmann (Unterengstringen) 20. April, 80 Jahre
StD Dr. Friedrich Woerlen (Aachen) 17. April, 70 Jahre
Prof. Dr. Christian Ythier (Nizza) 28. April, 90 Jahre


GESTORBEN

Nils Fromm (Wiesbaden) 24. Juni, 21 Jahre


Prof. Dr. Rudolf Haag (Schliersee-Neuhaus) 5. Januar, 93 Jahre
Knut Imhof (Uttenreuth) 10. Dezember, 70 Jahre
Dr. Peter Jansen (Lahnstein) 25. Dezember, 86 Jahre
Dipl.-Phys. Walter Kempf (Pforzheim) 24. Dezember, 87 Jahre
Dr. Klaus Werner Krygier (Dienheim) 7. Dezember, 55 Jahre
Marten Lefeldt (Bornhöved) 4. August, 34 Jahre
Dipl.-Phys. Wolfram Morgenstern (Schleswig) 21. Dezember, 91 Jahre
Prof. Dr. Thomas Pruschke (Göttingen) 12. Januar, 56 Jahre
Prof. Dr. Werner Riehemann (Clausthal-Zellerfeld) 3. Januar, 63 Jahre
Prof. Dr. Gerhard Wiech (Deisenhofen) 22. Januar, 84 Jahre



Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG



CUI THE HAMBURG CENTRE FOR ULTRAFAST IMAGING



JOACHIM HERZ STIFTUNG

Hamburger Preis für Theoretische Physik 2016

Das Hamburg Centre for Ultrafast Imaging (CUI) und die Joachim Herz Stiftung vergeben gemeinsam den „Hamburger Preis für Theoretische Physik 2016“ für Forschungsleistungen aus den Bereichen Atome, Moleküle und Quantenoptik sowie kondensierte Materie. Der Preis würdigt die international herausragenden Beiträge einer hochqualifizierten Wissenschaftlerin oder eines Wissenschaftlers mit einem persönlichen Preisgeld von 40.000 Euro; er wird während einer Feierstunde beim internationalen CUI-Symposium im November 2016 in Hamburg übergeben.

Bisherige Preisträger sind

- Prof. Maciej Lewenstein, ICFO Barcelona (2010)
- Prof. Peter Zoller, Universität Innsbruck (2011)
- Prof. Shaul Mukamel, University of California (2012)
- Prof. Chris H. Greene, Purdue University (2013)
- Prof. Antoine Georges, Collège de France, École Polytechnique, Universität Genf (2014)
- Prof. Dr. Ignacio Cirac, Max-Planck-Institut für Quantenoptik (2015)

Es wird erwartet, dass der/die Preisträger/in während eines oder mehrerer Besuche in Hamburg mit den Forschungsgruppen kooperiert, insbesondere mit den Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern des CUI (z.B. im Rahmen von Vorlesungen oder Seminaren). Hierfür stehen zusätzliche Mittel zur Verfügung.


Ziel des an der Universität Hamburg eingerichteten Exzellenzclusters CUI ist die Beobachtung und Untersuchung der ultraschnellen Dynamik physikalischer, chemischer und molekularbiologischer Prozesse.

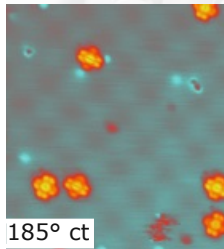
Nominierungen oder Eigenbewerbungen werden bis zum 31. März 2016 erbeten an:
 Preiskomitee des „Hamburger Preises für Theoretische Physik“
 z. Hd. Dr. Hans Behringer (hans.behringer@cui.uni-hamburg.de)
 The Hamburg Centre for Ultrafast Imaging
 Luruper Chaussee 149 – D-22761 Hamburg
www.cui.uni-hamburg.de; www.joachim-herz-stiftung.de

EFM

Electron Beam Evaporators

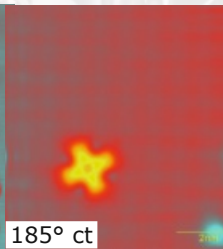
Deposition of discrete organic Molecules





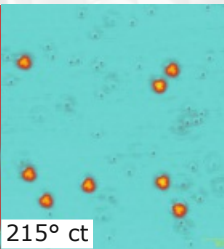
185° ct

STM image¹ of CuPc molecules (Copperphthalocyanine) on NaCl/ Cu (100)



185° ct

STM image¹ of CuPc molecule on NaCl/ Cu (100)




215° ct

STM image¹ of 1,5,9-trioxo-13-azatriangulene molecules (TOAT) on Cu (111)

Flux regulation down to 120° C crucible temperature (ct) with turn key recipe

¹ Prof. I. Swart, Debye Institute for Nanomaterials Science, Utrecht University, the Netherlands, measured with Omicron LT-STM



FOCUS GmbH
 D-65510 Huenstetten-Kesselbach
 Germany
 Tel.: +49 (0)6126-4014-0
 Web: www.focus-gmbh.com
 Mail: sales@focus-gmbh.com

■ „Mit meinem blauen NASA-Overall war ich der Held!“

#) Infos zum Mitflugprogramm unter www.dsi.uni-stuttgart.de/SGAP. Zum Flug mit SOFIA vgl. auch Physik Journal, Juli 2015, S. 24

Dr. Bernd Rohwedder (48) ist Physiklehrer am Carl-Bosch-Gymnasium in Ludwigshafen und hat als deutscher SOFIA Botschafter zwei Flüge an Bord des Stratosphären-Observatoriums für Infrarot-Astronomie (SOFIA) erlebt.

Woher kam die Idee, sich für einen Mitflug zu bewerben?

Meine Schule ist Partnerschule vom Deutschen SOFIA Institut der Universität Stuttgart, und einige Kollegen sind schon mitgeflogen, deswegen lag die Idee nahe. Für den Mitflug bewerben können sich aber Lehrer von allen Schulen.^{#)}

Dafür brauchten Sie ein eigenes Unterrichtskonzept, oder?

Genau, meins hatte ich an die 5. und 6. Klasse angepasst. Im Fach Naturwissenschaften behandeln wir die Sinne und speziell das Auge. An dem kann man gut die Beschränkungen unserer Sinne zeigen. Wilhelm Herschels Entdeckung der Infrarotstrahlung von 1800 hat erstmals gezeigt, dass es Realitäten gibt, die jenseits dessen liegen, was ein Mensch mit seinen Sinnen wahrnehmen kann.

Gab es auch ein Konzept für die Mittel- und Oberstufe?

Ja. In der Mittelstufe kann man Infrarotstrahlung erklären. In der 9. Klasse behandle ich zudem die Entwicklung von Sternen, was ein wichtiges Forschungsthema bei SOFIA ist. In der Oberstufe geht es um die Montage und Stabilisierung des Teleskops oder um Spektren.

Waren Sie gut vorbereitet auf den Flug?

Sehr gut sogar. Andere Lehrer haben mir viel von ihren Flügen erzählt. Und das Deutsche SOFIA Institut organisiert Monate vorher Treffen, um zu erklären, welches Beobachtungsgerät zum Einsatz kommen wird, was wir zu erwarten haben und welche Anforderungen wir erfüllen müssen, um mitfliegen zu dürfen. Beispielsweise müssen wir Englisch können, um die Kommandos der NASA-Leute zu verstehen.

Warum?

Die sind sehr streng. Uns wurde klipp und klar gesagt, dass wir



Zusammen mit drei anderen Lehrern flog Bernd Rohwedder (rechts) zweimal mit SOFIA.

Regeln ohne Rückfrage einhalten müssen, damit wir den Ablauf nicht stören. Auf der anderen Seite sind sie extrem freundlich und hilfsbereit.

Was hat Sie beeindruckt?

Neben der perfekten Organisation durch die NASA vor allem das Teleskop. Man sieht es wackeln, muss sich aber vor Augen führen, dass nicht das Teleskop wackelt, sondern das Flugzeug drumherum. Das Teleskop bleibt auf eine Bogensekunde genau stabilisiert.

Ein tolles Erlebnis, wenn man mitfliegen darf...

Ich empfinde das als großes Privileg. Ins Flugzeug passen 30 Personen, davon höchstens zehn Besucher. Als Wissenschaftler hätte ich die Chance vielleicht nicht bekommen.

Wie waren die Reaktionen der Schüler nach Ihrer Rückkehr?

Mit meinem blauen NASA-Overall war ich in der Klasse der Held. Ich wurde gleich am ersten Tag ausgequetscht. Da war ich so müde, dass ich diese Erlebnisse noch gar nicht verarbeitet hatte.

Wovon profitiert der Unterricht am meisten?

Von der Unmittelbarkeit. Ich hätte das alles auch im Film sehen und darüber reden können. Aber es ist natürlich etwas anderes, wenn man in diesem Film mitgespielt hat.

Was können Sie davon Ihren Schülern mitgeben?

Häufig glauben Schüler, Wissenschaft bestünde aus großen punktuellen Entdeckungen. Aber Forschung besteht im Wesentlichen darin, Gesetze aus kleinen Puzzlestücken zusammenzusetzen oder immer mehr Daten zu sammeln und statistisch auszuwerten. Ich möchte den Schülern vermitteln: Selbst wenn sie später Forschung betreiben, werden sie allein die Weltformel kaum entdecken.

Mit Bernd Rohwedder sprach Maike Pfalz

SOFIA

Das Stratosphären-Observatorium für Infrarot-Astronomie SOFIA ist ein Gemeinschaftsprojekt des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) und der NASA. Die Mittel für den Betrieb stammen vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, vom Land Baden-Württemberg und von der Universität Stuttgart. Den wissenschaftlichen Betrieb koordiniert auf deutscher Seite das Deutsche SOFIA Institut (DSI) der Universität Stuttgart, auf amerikanischer Seite die Universities Space Research Association. Die Entwicklung der deutschen Instrumente wird finanziert von der Max-Planck-Gesellschaft (MPG), der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und vom DLR.

An dieser Stelle beleuchten wir regelmäßig die vielfältigen Tätigkeiten und Talente von DPG-Mitgliedern.

Die Redaktion

Hochvakuumsysteme für Forschung und Labor

TURBOLAB



KOMPAKT • LEISTUNGSSTARK • INTELLIGENT • PLUG & PLAY

TURBOLAB - das neue Baukastensystem für Hochvakuum-Pumpsysteme.

Die Konfiguration erfolgt nach dem individuellen Bedarf aus bewährten Komponenten.

TURBOLAB Systeme werden vollständig montiert und betriebsbereit ausgeliefert. Sie bestehen aus einer Hochleistungs-Turbo-Molekularpumpe, Vorvakuumpumpe und der innovativen TPU Display-Steereinheit. Das Basismodell kann mit bis zu sechs Zubehörteilen und zwei Druckmessgeräten ausgestattet werden.

Highlights

- Ausgezeichnete Vakuumleistung
- Kompakte und mobile Einheit
- Wegweisende Funktionalität, Betriebssicherheit und Produktdesign
- Einfacher Standortwechsel der Pumpe in oder aus dem Rahmen
- Hintergrundbeleuchtetes Display der TPU Einheit
- Integrierter Datenlogger und Webserver zur Steuerung, Überwachung und Konfiguration
- Breites Anwendungsspektrum durch die große Auswahl an Hoch- und Vorvakuum Pumpen

Oerlikon Leybold Vacuum GmbH

Bonner Straße 498

D-50968 Köln

T +49 (0)221 347-0

F +49 (0)221 347-1250

info.vacuum@oerlikon.com

www.oerlikon.com/leyboldvacuum

oerlikon
leybold vacuum

■ Als Premierminister während der Fukushima-Krise

Das ist zweifelsohne der Albtraum jeder politischen Führungspersönlichkeit: ein Nuklearunfall im eigenen Land. Naoto Kan hat diesen Albtraum im Jahr 2011 durchlebt. Er ruft mit diesem Buch seine Erinnerungen an den Unfall von Fukushima wach und zieht zugleich seine politischen Schlüsse aus den gewonnenen Erfahrungen.



Naoto Kan: Als Premierminister während der Fukushima-Krise
Übersetzt von Frank Rövekamp, IUDICIUM-Verlag, München, 2015, 165 S., brosch., 14,80 Euro
ISBN 9783862054268

Besonders interessant ist der Umstand, dass Kan ein Physikstudium an der Technischen Hochschule Tokio absolviert hat. Dennoch ist sein Buch nicht als technischer Bericht zu verstehen. Kan stellt gleich zu Beginn klar, trotz Physikstudiums kein Kernkraftexperte zu sein. Wer sich also zahllose Insiderblicke in technische Details des Unfalls erhofft, dürfte von diesem Buch vielleicht enttäuscht werden. Dies ist nicht der Anspruch des ehemaligen Premierministers.

Kan legt in seinem durchaus spannenden Buch vielmehr Rechenschaft über seine politischen Entscheidungen ab.

Im ersten Teil erinnert er sich in ein- bis zweiseitigen tagebuchartigen Einträgen (Kurzkapiteln) an die Tage und Herausforderungen unmittelbar nach dem Unfall. Im zweiten Teil beleuchtet er die politischen Schlussfolgerungen aus dem Unfall, die Anordnung von Stress-tests, den angestrebten Ausstieg aus der Kernenergie, politischen Gegenwind sowie die Umstände seines Rücktritts. Im letzten, vergleichsweise kurzen Kapitel befasst sich Kan mit sozialpolitischen Herausforderungen und seiner neuen energiepolitischen Mission, die er seit dem Rücktritt verfolgt.

Er gibt unumwunden zu, seine Einstellung zur Kernkraft durch den Unfall um 180 Grad gedreht zu haben. An mehreren Stellen steht sein Buch daher auch als Rechtfertigung für sein neues energiepolitisches Bekenntnis. Dabei gibt Kan immer wieder glaubwürdige Einblicke in seine Gemütslage und wählt drastische Worte („es lief mir eiskalt den Rücken herunter“), mit denen er seinen „Albtraum“ und seine Angst vor dem vollständigen Kontrollverlust im Kernkraftwerk Fukushima und die daraus folgende Existenzbedrohung Ostjapans beschreibt. Wenn er jedoch schlussfolgert, Japan sei durch die jahrzehntelange Annahme, ein

schwerer Unfall sei ausgeschlossen, so verblendet gewesen, dass man tatsächlich „auf nichts vorbereitet“ gewesen sei, stellt sich die Frage nach der Glaubwürdigkeit einer solchen Aussage. Spiegeln Statements wie dieses Kans tatsächliche Empfindung wider oder sind sie doch eher seiner neuen energiepolitischen Überzeugung geschuldet?

Man mag angesichts der unbestreitbaren Leistungen und Anstrengungen Japans in den Tagen und Wochen nach dem Unfall anderer Meinung sein. Kans radikale neue Einstellung zur Kernenergie führt mitunter zu überaus kontroversen Mutmaßungen; etwa, dass seiner Meinung nach die Kernkraft für den Untergang der Menschheit verantwortlich sein könnte. Man möge ihm jedoch zugestehen, dass seine Sichtweise das Resultat eines wochenlangen, nicht endenwollenden Gefühls der Ohnmacht ist. Letztlich verdankt Japan Naoto Kan, dass er das Land aus der größten Katastrophe seiner jüngeren Geschichte geführt hat.

Georg Steinhauser

■ Der lange Schatten von Tschernobyl

Der renommierte Fotograf Gerd Ludwig hat Tschernobyl seit 1993 neun Mal besucht. Dabei hat er sich weiter als jeder andere Fotograf in

Prof. Dr. Georg Steinhauser, Institut für Radioökologie und Strahlenschutz, Leibniz Universität Hannover

ERNST-MACH-STUDIENAUSGABE

Ernst Mach, der vor hundert Jahren am 19. Februar 1916 starb, gehört sicher zu den prägenden Wegbereitern des modernen, naturwissenschaftlich geprägten Weltbildes. Er leistete nicht nur als Physiker Außerordentliches, sondern auch als Philosoph und Wissenschaftstheoretiker und übte großen Einfluss auf Zeitgenossen wie Albert Einstein oder Henri Poincaré aus.

Mach wurde bereits zu Lebzeiten zu einem viel diskutierten und anerkannten Philosophen, auch wenn er selbst bestritt, eine „neue“ Philosophie postuliert zu haben. Er gilt aber als Mitbegründer der empiristischen Erkenntnislehre bzw. Wissenschaftsauffassung. Im Bereich der Psychologie hat er sich als Wegbereiter der Gestaltpsycho-

logie bzw. Gestalttheorie einen Namen gemacht.

Seit 2008 erscheinen im xenomoi-Verlag die Bände einer Studienausgabe, die bis auf wenige Dopplungen in den



Veröffentlichungen und bis auf die wissenschaftlich irrelevanten Schriften alle von Mach publizierten Texte umfassen soll, auf Grundlage der jeweils maßgeblichen Auflage. Jeder Band enthält eine ausführliche Einleitung und Anmerkungen. Bislang sind folgende Bände erschienen: „Die Analyse der Empfindungen und das Verhältnis des Physischen zum Psychischen“, „Erkenntnis und Irrtum“, „Die Mechanik in ihrer Entwicklung“ und „Populärwissenschaftliche Vorlesungen“. Das gesamte Vorhaben wird von einem internationalen Herausgeber-Komitee begleitet. Mehr Informationen zum Editionsplan und den erschienenen Bänden finden sich auf www.xenomoi.de/philosophie/mach-ernst.

den „Bauch“ des Reaktorblocks 4 vorgewagt. Dort blieb ihm wegen der hohen Strahlenbelastung nur eine Viertelstunde, um zu fotografieren. Die dabei entstandenen Bilder finden sich mit vielen weiteren Fotos in diesem großformatigen Band. Das Vorwort stammt von niemand Geringerem als Michael Gorbatschow, der im April 1986 gerade 13 Monate als sowjetischer Staatspräsident im Amt war.

Diesen Band zu durchblättern ist beklemmend. Ich fühlte mich unweigerlich an die apokalyptischen Landschaften in Andrei Tarkowskis Film „Stalker“ erinnert, in dem sich ein Kundschafter seinen Lebensunterhalt mit Beutezügen in einer rätselhaften „Zone“ verdient bzw. damit, Leute illegal dort hinein zu schleusen. So etwas geschah auch in der evakuierten Zone um das Kernkraftwerk Tschernobyl. Die Plünderer wurden aber mit den Jahren von Katastrophen-Touristen abgelöst, die sich vom Verfall und der Rück-

eroberung der Geisterstadt Prypjat durch die Natur angezogen fühlen.

All das dokumentiert Gerd Ludwig mit seinen Fotografien. Sein Augenmerk gehört aber den Opfern der Katastrophe, sei es durch Strahlenschäden oder durch den Verlust der Heimat infolge der großangelegten Evakuierung. Das ist allerdings nicht unproblematisch. Viele der Bilder zeigen krebserkrankte Menschen oder verkrüppelte Kinder. Auch wenn in den Bildunterschriften oft betont wird, dass ein direkter Zusammenhang zwischen den gezeigten Leiden und der radioaktiven Belastung nicht immer herzustellen ist, haben die seitengroßen Bilder doch eine ungleich höhere Suggestivkraft als die wenigen einschränkenden Zeilen.

Von diesem außergewöhnlichen Bildband sollte man sich keine detaillierten Informationen über Unglückshergang, Rettungs- oder Evakuierungsmaßnahmen erwarten, sondern eher bedrückende



G. Ludwig, M. Gorbatschow: **Der lange Schatten von Tschernobyl**
Edition Lammerhuber 2014, 252 S., geb. mit Schubert, 75 €, ISBN 9783901753664

Einblicke, die einem die Tragweite des Unglücks vor Augen führen, aber auch die Bauarbeiten für den zweiten, milliarden teuren „Sarkophag“ dokumentieren. Unter der riesigen Konstruktion soll der zerstörte Reaktor für immer verschwinden. Das Buch ist nicht ganz billig. Dabei sollte man aber berücksichtigen, dass eine Crowdfunding-Kampagne für höchste Druck- und Papierqualität sowie Bindung gesorgt hat, ohne dass der Preis weiter steigen musste.

Alexander Pawlak

DER CALLISTER JETZT AUCH AUF DEUTSCH KANN'S

W. D. CALLISTER, D. G. RETHWISCH
Übersetzungsherausgeber: M. Scheffler

**Materialwissenschaften
und Werkstofftechnik**

Eine Einführung

ISBN: 978-3-527-33007-2
Nov. 2012 906 S.,
1200 Abb. (davon 800 farbig).
Gebunden € 79,-



Wiley-VCH
Tel. +49 (0) 62 01-606-400
E-Mail: service@wiley-vch.de
Irrtum und Preisänderungen vorbehalten.
Stand der Daten: Dezember 2013

WILEY-VCH

Piezo Stages
Positioning Technology

www.piezosystem.com

Z-Axis Fine Tuning for Microscopes

Piezo Objective Positioners Series MIPOS

- Step resolution < 1 nm
- Flexible use for all threading sizes
- Feed back sensor for closed loop control
- For standard and inverted microscopes



DE (+49) 36 41 66 880
US (+1) 508 634 - 6688
info@piezोजना.com

piezosystemjena
incredibly precise

Aussteller DPG-Tagung Universität Regensburg, Stand #4 im Lichthof Wirtschaft/Recht

■ Im Tandem zum Traumjob

Das DPG Mentoringprogramm geht in die siebte Runde.

Nach dem Physikstudium stehen einem praktisch alle Türen offen – so machen einem die eigenen Professoren meist vom ersten Semester an klar. Physiker sind gesuchte Fachkräfte und haben nur wenig Probleme mit Arbeitslosigkeit. Alles schön und gut. Doch wenn einem alle Türen offen stehen: Wie findet man dann für sich selbst die Richtige? Woher soll man als fertig ausgebildete Physikerin oder als Physiker wissen, ob der gewünschte Job zu einem passt, welche Stärken wo am meisten gefragt sind und was einem überhaupt jahrzehntlang Spaß machen könnte? In dieser Situation kann das DPG Mentoringprogramm helfen, das im Jahr 2010 als Gemeinschaftsprojekt von junger DPG, Arbeitskreis Industrie und Wirtschaft und Arbeitskreis Chancengleichheit ins Leben gerufen wurde und das in diesem Jahr bereits in die siebte Runde geht.

Das Programm richtet sich an alle Physikerinnen und Physiker, die kürzlich ihren Abschluss ge-



Fotos: M. Schlösinger

Im Herbst 2015 trafen sich in Berlin Mentees und Mentoren des fünften und

sechsten Jahrgangs, um sich kennenzulernen und Erfahrungen auszutauschen.

macht haben oder ihn im Mentoringjahr planen bzw. die seit höchstens drei Jahren in Industrie und Wirtschaft tätig sind. Ausschlaggebend für die Aufnahme in das Programm ist das Motivations schreiben, in dem die Mentees ihre Erwartungen und Ziele für das Mentoring formulieren müssen. Die Mentoren stammen aus den unterschiedlichsten Berufsfeldern – von Patentanwälten über Unternehmensberater oder Projektmanager bis hin zur Wissenschaftsjournalistin. „Das macht unser Programm so vielseitig, dass es für jeden eine persönlich interessante Erfahrung bieten kann“, freut sich Projektleiter Marcel Wunram.

Nach einem aufwändigen Matchingverfahren, das neben fachlichen Übereinstimmungen auch persönliche Interessen berücksichtigt, wird jedem ausgewählten Mentee für ein Jahr lang eine Mentorin bzw. ein Mentor zur Seite gestellt. Im derzeit laufenden Jahrgang fanden sich auf diese Weise 76 sog. Tandems bei insgesamt 121 Bewerbungen von Mentees und einem Pool aus 229 Mentoren – eine gewaltige Entwicklung angesichts von 14 Tandems im ersten Jahrgang.

Nach dem Kennenlernen auf einer der vier Auftaktveranstaltungen in Bad Honnef, Berlin, München oder Heidelberg hilft der Mentor

seinem Mentee bei Fragen zur Karriereplanung oder zu Bewerbungen weiter, er teilt seine Erfahrungen oder gibt Feedback zur persönlichen Entwicklung. Das Programm lebt vom offenen, intensiven Austausch – zum Gewinn für beide Seiten! „Für mich war der persönliche Austausch mit dem Mentee sehr bereichernd. Ich habe mich dabei häufig gedanklich in die Situation meines eigenen Berufseinstiegs zurückversetzt und kann persönliche Erfolge und bereits Geleistetes nun erkennen und mehr wertschätzen“, erklärt ein Mentor.

Die Vorteile für den Mentee liegen auf der Hand: Im Idealfall hat er einen Mentor an die Seite gestellt bekommen, der ähnliche Interessen hat und in einem Beruf arbeitet, für den man sich selbst interessiert. In dem Fall kann der Mentor kompetente Antworten auf branchenspezifische Fragen geben und dem Mentee dabei helfen, ein erstes berufliches Netzwerk aufzubauen. In jedem Fall kann man von den Erfahrungen des Mentors profitieren – und sei es, dass man vielleicht nicht die gleichen Fehler macht. Aber auch der Austausch mit den anderen Mentees – auf der Auftaktveranstaltung, beim Zwischentreffen oder der Abschlussveranstaltung – kann hilfreich sein, da man mit ihnen die aktuellen

MOTIVATION EINER MENTORIN

Noch gut erinnere ich mich an die Orientierungslosigkeit: Studium und der Großteil der Promotion lagen hinter mir, da hatte ich immer noch keine Idee, was ich beruflich machen will. Als ich mich aber ans Zusammenschreiben setzte, war mir plötzlich klar: Ich will journalistisch arbeiten! Während andere Doktoranden beim Zusammenschreiben nämlich stöhnten und am Ende des Tages oft keine Seite weitergekommen waren, hatte ich Spaß daran.

Auf die Schnelle habe ich Bewerbungen geschrieben – für Praktika, Volontariate und feste Redakteursstellen. Häufig kam allerdings die Rückfrage, wo denn meine Arbeitsproben seien. Aber die hatte ich nicht und auch keine Zeit, noch welche anzufertigen. Mit einer Portion Glück bin ich doch im Verlag gelandet und darf schreiben, mit Texten arbeiten, interessante Menschen kennenlernen, spannende Experimente besuchen und meinen Traumjob ausüben.

Ich möchte jungen Physikerinnen und Physikern, die sich für Wissenschaftsjournalismus interessieren, dabei helfen, dass sie ihre beruflichen Ziele nicht nur durch Glück erreichen, sondern durch rechtzeitige Vorbereitung und Orientierung. Diese Erfahrungen und das Wissen darüber, worauf es in dem Job ankommt, möchte ich weitergeben.

Mein jetziger Mentee ist noch offen für alle Bereiche, ist neugierig auf unterschiedliche Themengebiete und möchte wissen, worauf es ankommt, wie man leichter einen Einstieg findet und was er jetzt – noch während der Promotion – tun kann, um später leichter einen Job zu finden.

Maika Pfalz



Bei der Auftaktveranstaltung hatten die Tandems viel Zeit für persönliche Gespräche.

Fragen zur beruflichen Orientierung oder Probleme auf Augenhöhe besprechen kann.

Vorgegebene Regeln für das DPG Mentoringprogramm gibt es praktisch nicht, allerdings ein paar Empfehlungen: So ist es hilfreich, bereits auf der Auftaktveranstaltung eine gemeinsame Mentoringvereinbarung mit Zielen und Erwartungen zu formulieren. Denn Erwartungen, die man nicht kennt, kann man auch nicht erfüllen. Zudem sind mindestens drei persönliche Treffen während des

Jahres empfohlen. „Die Mentoringbeziehung lebt vor allem von der Neugier, dem Enthusiasmus und der Offenheit beider Tandempartner“, ist Marcel Wunram überzeugt. „Von dem Programm können alle Teilnehmer profitieren, wenn sie Initiative zeigen, Zeit mitbringen und offen sind für Neues.“

Im Herbst startet die siebte Runde des DPG Mentoringprogramms. Die Anmeldung dafür ist noch bis zum 30. April 2016 möglich.

Maike Pfalz

ERWARTUNGEN EINES MENTEES

Eines einte fast alle Teilnehmer des Mentoring-Programms, die ich bei der Auftaktveranstaltung in Heidelberg kennengelernt habe: Sie hatten sich „halt mal angemeldet, um zu schauen, ob das was ist.“ Der Tenor nach dem Auftakt: Das scheint was zu sein!

Viele finden den Übergang von der Universität in die Industrie respektvoll. Physik ist ein Fach, mit dem man Arbeit finden kann – aber wo suchen? Für solche Probleme hilft es, mit Menschen zu reden, die nach ihrem Physikabschluss nun im Beruf stehen.

Ich habe mich angemeldet, weil ich kurz vor dem Masterabschluss noch unsicher war, ob ich promovieren oder in die Industrie einsteigen sollte. Diese Entscheidung habe ich schon gefällt – ich promoviere. Dennoch hat mir das Programm geholfen. Ich würde später gerne in Wissenschaftsjournalismus oder -kommunikation arbeiten. Meine Mentorin stammt aus diesem Bereich

und konnte erzählen, wie der Arbeitsalltag aussieht, und Tipps geben, wie man an große Zeitungen und Zeitschriften herantritt oder worauf ich auch während der Promotion achten kann. Unsere bislang zwei Treffen halfen mir, genauer zu wissen und zu definieren, was ich wirklich will – und geben mir Mut, mich auf mein Wunschgebiet zu konzentrieren.

Während des Mentoringprogramms hat man zudem die Möglichkeit, mit anderen Mentoren zu reden, die auch helfen, ohne der Tandempartner zu sein. So bekommt man einen guten Überblick darüber, was sich mit einem Physikabschluss später anstellen lässt.

Bei der Auftaktveranstaltung hat jeder Mentee auf einem Zettel sein persönliches Ziel des Mentorings notiert. Ich bin gespannt, bei wie vielen die eilig notierten Ziele auf dem Papier tatsächlich wahr werden.

Dennis Schulz

Goodfellow

Für reine Metalle, Legierungen, Keramiken oder Polymere für Entwicklung und Industrie, schauen Sie auf Goodfellow's Webseite.

POWERFUL & EINFACH ZU BENUTZEN

Die richtigen Produkte zu finden ist einfach, klicken Sie den Artikel an und begeben Sie sich zum Checkout, (oder kaufen Sie weiter ein) mit der Gewissheit, dass Ihre Transaktion gesichert ist.

KEEP UP-TO-DATE UNVERZÜGLICH

Alle unsere Produkte und deren Spezifikationen sind on-line, alles nur mit einem Mausklick.

Goodfellow GmbH
Postfach 13 43
D-61213 Bad Nauheim
Tel : 0800 1000 579
Fax : 0800 1000 580
Email : info@goodfellow.com

**METALLE,
LEGIERUNGEN,
KERAMIKEN UND
POLYMERE FÜR
ENTWICKLUNG
UND INDUSTRIE.**

www.goodfellow.com

50 Jahre DPG-Tagungen auf einen Klick

Das Archiv der DPG-Verhandlungen ist jetzt online verfügbar.

Die „Verhandlungen“ sind das Synonym für die Programme der DPG-Frühjahrstagungen. Ihre Geschichte reicht bis ins 19. Jahrhundert zurück. Erst seit 1963, als sich diverse Vorgängerorganisationen zur DPG, wie wir sie heute kennen, zusammenschlossen, erscheinen sie unter dem Titel „DPG-Verhandlungen“. Die Ausgabe für die diesjährige Jahrestagung in Regensburg ist stolze 500 Seiten dick und enthält Zusammenfassungen von mehr als 3000 Vorträgen und die Ankündigung der Sessions für fast 1500 Poster. Die Mehrzahl der Teilnehmer kommt mittlerweile freilich ohne die großformatige gedruckte Fassung zur Tagung: Seit Jahren schon gibt es die Verhandlungen auch elektronisch, zum Herunterladen, online oder als App mit komfortablen Zusatzfunktionen.

Was bisher allerdings fehlte, war ein durchsuchbares elektronisches Archiv der Verhandlungen. „Wer war das noch, der vor ein paar Jahren so interessant über Skymionen gesprochen hat?“, „Wann hat Frau Prof. X., die jetzt verabschiedet wird, ihren ersten Vortrag gehalten?“, „Wann gab es den ersten Vortrag über Gravitationswellen?“ – solche Fragen konnte man bisher, wenn überhaupt, nur nach mühsamer Recherche beantworten.



Die DPG-Verhandlungen haben sich seit 1963 vielfach gewandelt. Nun lassen sich alle Jahrgänge online durchsuchen.

Das neue Online-Archiv liefert die Antwort dagegen in Sekunden: Unter dpg-verhandlungen.de lassen sich jetzt alle Tagungsprogramme seit 1963 bequem und jahrgangsübergreifend nach verschiedenen Kriterien durchsuchen.

Allerdings war es eine umfangreiche und anspruchsvolle Aufgabe, dieses Online-Archiv zu erstellen. Bis in die 1990er-Jahre entstanden die Druckvorlagen für die Verhandlungen nämlich noch ganz analog mit Schreibmaschine, Schere und Kleber. Ab 1997 geschah die Datenerfassung zwar elektronisch, allerdings änderte sich das Datenformat im Laufe der Jahre ständig. Erst seit 2009 liegt den Verhandlungen

eine einheitliche und moderne Datenbankstruktur zugrunde. Daher war es für die Jahrgänge von 1963 bis 1996 notwendig, alle Plenar- und Hauptvorträge nachträglich elektronisch zu erfassen. Die nachfolgenden Jahrgänge mussten in teils mühevoller Arbeit in ein einheitliches elektronisches Format gebracht werden. Zahlreiche Sonderfälle erschwerten die Arbeit: So fusionierten im Jahr 2000 zwei ältere Fachverbände zum heutigen Fachverband „Chemische Physik und Polymerphysik“. Solche Entwicklungen galt es zu berücksichtigen, damit jede Suchanfrage auch möglichst alle relevanten Funde liefert. Auch die Bezeichnungen von Haupt-, Plenar- und eingeladenen Vorträgen waren über die Jahre und die einzelnen Fachverbände nicht immer konsistent, von den entsprechenden englischen Begriffen ganz zu schweigen. Im digitalen Tagungsgarchiv steckt also eine Menge Arbeit.

Besonderer Dank gilt Götz Gehrcke für die nachträgliche Erfassung der Daten bis 1996, Harald Däubler für die Hilfe bei der Rekonstruktion der Daten zwischen 1997 und 2008 und vor allem André Wobst für die hervorragende und zuverlässige Betreuung der Verhandlungen seit 2004 und die Implementierung des Online-Archivs.

Georg Düchs



Wer Gravitationswellen sucht, findet sie über die konferenzübergreifende Suche in den DPG-Verhandlungen bereits im Jahr 1970.

■ Informative Physik

Der 7. jDPG-Theoretikerworkshop widmete sich der Physik der Information.

In bewährter Tradition begann das Veranstaltungsjahr 2016 für die junge DPG am zweiten Januarwochenende mit dem Theoretikerworkshop. Bereits zum siebten Mal trafen sich Theorie interessierte Bachelor- und Masterstudierende sowie Doktoranden, um an drei Tagen Vorträge zu hören, zu diskutieren und sich auszutauschen. In diesem Jahr stand der Workshop unter dem Motto Information in

biologischer Systeme Anwendung finden.

Anschließend widmeten sich die Teilnehmer der Quantenphysik und der Gravitation. Am Vormittag stellte Otfried Gühne (Uni Siegen) Grundlagen der Quanteninformationstheorie vor und erklärte, wie man durch Quantenzustandstomographie Information über den Zustand von Quantensystemen gewinnen kann. Im Anschluss

Markus Schmitt



Der diesjährige Theoretikerworkshop fand in Bad Hersfeld statt.

der Physik und Physik der Information. „Während in den letzten Jahren oft Methoden im Mittelpunkt standen und Ausgangspunkt waren, um verschiedene Fachrichtungen der theoretischen Physik zusammenzubringen, konnten wir in diesem Jahr lernen, auf wie vielen verschiedenen physikalischen Gebieten das Konzept von Information eine wichtige Rolle spielt“, unterstrich Ko-Organisator Johannes Knörzer.

Zu Beginn des Workshops erklärte Rüdiger Reischuk (Uni Lübeck) grundlegende Konzepte der Informationstheorie und präsentierte sein Forschungsgebiet, die algorithmische Verarbeitung von Information. Am Nachmittag gab Filipe Tostevin (TU München) einen ersten Vortrag mit physikalischem Hintergrund. Eindrucksvoll legte er am Beispiel der Informationsverarbeitung in Zellen dar, wie die zuvor kennengelernten informationstheoretischen Konzepte in der Physik

sprach Claus Kiefer (Uni Köln) über den Informationsverlust in Schwarzen Löchern.

Den Abschluss des Workshops bildete der Vortrag von Andre Cardoso Barato (MPIKS Dresden). Er erklärte, wie die Grundlagen von Statistischer Physik und Thermodynamik mit Informationstheorie verknüpft sind und stellte Beispiele für Feedback-getriebene Systeme aus seiner Forschung vor.

Bereichert wurde der Workshop durch Vorträge, in denen die Teilnehmer Ergebnisse ihrer eigenen Forschungsprojekte vorstellten. Wie üblich wurden die Pausen und gemütlichen Abende für viele Diskussionen über physikalische sowie nicht-physikalische Themen genutzt. Das Organisationsteam bedankt sich hiermit bei allen Referenten und Teilnehmern für ein gelungenes Wochenende.

Markus Schmitt und Thomas Kotzott

PFEIFFER  **VACUUM**



SERVICE- LÖSUNGEN

**Erstklassiger Service
für hochwertige Produkte.
Schnell. Zuverlässig.
Wirtschaftlich.**

Sie suchen eine
perfekte Vakuumlösung?
Sprechen Sie uns an:

Pfeiffer Vacuum GmbH
Headquarters/Germany
T +49 6441 802-0
F +49 6441 802-1202
info@pfeiffer-vacuum.de
www.pfeiffer-vacuum.com

DNA Nanotechnology meets Plasmonics

601. WE-Heraeus-Seminar

Die Nanophotonik hat zum Ziel, das Verständnis der Licht-Materie-Wechselwirkung zu verbessern und neuartige optische Komponenten zu entwickeln, z. B. logische Gatter, die statt herkömmlicher Elektronik photonische Interaktionen nutzen. Neben Halbleitern und Dielektrika eignen sich für solche Untersuchungen insbesondere Metalle und metallische Nanopartikel aufgrund der starken Kopplung ihrer Oberflächenplasmonen an das elektromagnetische Feld. Um Licht gezielt beeinflussen zu können, sollten die Materialien auf einer Längenskala strukturiert werden, die etwa eine Größenordnung kleiner als die Wellenlänge des zu manipulierenden Lichts ist, für sichtbares Licht also unter 50 nm. Zur Ergänzung herkömmlicher Lithographiemethoden bieten sich für diese Aufgabe Selbstassemblierungsmechanismen an. Die erfolgreichste und vielseitigste dieser „bottom-up“-Methoden ist die DNA-Nanotechnologie, die auf dem selektiven Erkennungsmechanismus komplementärer DNA-Stränge beruht, die sich durch geschickte Wahl ihrer Sequenzen in beliebige Formen falten lassen. Dank der „DNA-Origami-Methode“ hat die DNA-Nanotechnologie in den letzten Jahren gewaltige Entwicklungen durchlebt. Heute nutzen weltweit mehr als 100 Gruppen diese Methode, um Designer-3D-Nanostrukturen herzustellen und so unter anderem plasmonische Nanopartikel und -stäbchen mit Nanometerpräzision im Raum anzuordnen.

Im 601. WE-Heraeus-Seminar kamen renommierte Vertreter der teilweise sehr unterschiedlichen Felder Plasmonik und DNA-Nanotechnologie zum ersten Mal in einem gemeinsamen Workshop zusammen. Dabei wurden die aktuellen Entwicklungen der DNA-Selbstassemblierungsmethoden im Wechsel mit den interessantesten Fragen der Plasmonik in Vorträgen und zwei Postersitzungen behandelt. Besonders erfreulich war, dass bereits gut die Hälfte der Vorträge und der Großteil der Poster die Kombination der beiden Felder zum Thema hatten. Da die vielen ausgezeichneten Beiträge hier nicht einzeln gewürdigt werden können, sei nur das besondere Engagement von Nadrian (Ned) Seeman hervorgehoben, der als Gründer des DNA-Nanotechnologiefeldes nach seinem Eröffnungsvortrag den gesamten Workshop aktiv unterstützt und die sehr unterhaltsame und einsichtsreiche abschließende Podiumsdiskussion bereichert hat.^{#)}

Neben allen Teilnehmern, die den Workshop durch die vielen lebhaften Diskussionen zu einem großem Erfolg gemacht haben, wollen wir nicht zuletzt der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung

und allen Mitarbeitern für die großartige Unterstützung dieses neuen, vielversprechenden Themas danken.

Laura Na Liu und Tim Liedl

Magnonics: Spin Waves Connecting Charges, Spins and Photons

603. WE-Heraeus-Seminar

Magnonen sind kollektive Anregungen des Elektronensystems und lassen sich als die Präzession der Elektronenspins verstehen, losgelöst von jeglichem Ladungstransport. Die kollektive Natur wird durch die Austausch- sowie die Dipol-Dipol-Wechselwirkung getragen, was zu einer Kohärenz der Magnonen auf mesoskopischen bis hin zu makroskopischen Längenskalen führt und deren Potenzial als Transportmedium für Spin-Information unterstreicht. Genau damit beschäftigt sich die Magnonik, wobei der Name an die Begriffe „Spintronik“ und „Photonik“ angelehnt ist, nur dass hier die Übertragung und Verarbeitung von Informationen mit Magnonen realisiert wird und nicht mittels Ladungs- oder Lichtquanten. Neue Erkenntnisse der Spintronik sowie der Photonik haben den Weg der Magnonik als Brückentechnologie geebnet, die auf der Zeit- und Längenskala die Lücke zwischen der Physik der Ladungs- und Lichtquanten schließen kann.

Ziel des Seminars, das vom 6. bis 8. Januar 2016 im Physikzentrum Bad Honnef mit mehr als 80 Wissenschaftler/innen stattfand, war es, diese enge Verstrickung zwischen Magnonen, Elektronen und Photonen zu diskutieren, neueste Forschungsergebnisse vorzustellen und ausreichend Raum für Diskussionen zu schaffen. Der Schwerpunkt lag dabei auf den Fragen: Was sind die Transporteigenschaften von Magnonen in Nanostrukturen? Welche neuen Materialsysteme sind besonders vorteilhaft für den Magnon-Transport? Wie lassen sich Magnonen auf kurzen Längenskalen mit Spinströmen anregen und verstärken? Wie können wir Femtosekunden-Laser nutzen, um Spinströme zu erzeugen und diese mit Magnonen zu kombinieren? Wie eröffnet THz-Spektroskopie einen

neuen Zugang zur Messung und Manipulation von Magnonen, und welche Quantenphänomene sind bei nichtlinearer Anregung über Spinströme zu erwarten? Insgesamt widmeten sich diesen Fragen 27 halbstündige Vorträge (16 davon eingeladen), überwiegend gehalten von Nachwuchsgruppenleiter/innen und Doktorand/innen, begleitet durch zwei lebhaft Postersitzungen, bei denen die drei besten Poster mit Geldpreisen ausgezeichnet wurden.

Wir bedanken uns bei der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung und insbesondere bei Martina Albert für die finanzielle und organisatorische Unterstützung.

Helmut Schultheiß und Andrii Chumak

Hybrid Systems for Quantum Optics

604. WE-Heraeus-Seminar

Die Quantentechnologie könnte in Zukunft die etablierten Ansätze in der Elektronik, Informatik, Metrologie und Kommunikationstechnik von Grund auf revolutionieren. Daher wird weltweit versucht, skalierbare Plattformen für Quantentechnologien zu entwickeln, in China, Großbritannien und z. T. in den USA mit umfangreichen Förderprogrammen. Bisher lag der Fokus hierbei auf jeweils einem spezifischen Quantensystem, z. B. Halbleiter-Quantenpunkten, ultrakalten Atomen oder Defekzentren. In den einzelnen Gebieten gelang es in den letzten Jahren, Verschränkung, einfache Quantenalgorithmen und Quantenkommunikation experimentell zu testen. Trotz dieser beeindruckenden Fortschritte ist bis heute kein Weg zu einer echten Quantentechnologieplattform sichtbar, die auf einem einzigen Quantensystem basiert. Zum Beispiel eignen sich organische Moleküle sehr gut als Einzelphotonenquellen, können Quanteninformationen aber nicht speichern. Im Gegensatz dazu lassen sich ausgezeichnete Quantenspeicher in Ensembles aus ultrakalten Atomen implementieren. Diese eignen sich aber weniger zur effizienten Erzeugung einzelner Photonen. Aus diesen Widersprüchen entstand die Idee von Quantenhybridsystemen.

Wie sich das Beste aus den verschiedenen Welten der Quantenphysik in einer hybriden Quantentechnologieplattform verbinden lässt, wurde in dem 604. WE-Heraeus-Seminar erörtert, das vom 10. bis 13. Januar stattfand. Über 80 Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus 14 Ländern diskutierten bis in die späten Abendstunden intensiv über aktuelle Resultate und neuste Ideen. Als vielversprechender Ansatz kristallisierten sich hierbei heterogene Quantennetze heraus. In solchen Netzwerken werden verschiedene Funktionen wie Einzelphotonenerzeugung, Speicherung von

Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung
Deadline für Anträge zur nächsten Sitzung der Stiftungsgremien:

1. April 2016
(zur Sitzung Ende April 2016)

Bitte nehmen Sie schon vor der Deadline Kontakt mit der Stiftung auf.

Prof. Dr. Laura Na Liu, Universität Heidelberg
Prof. Dr. Tim Liedl, LMU München

Dr. Helmut Schultheiß, Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf
Dr. Andrii Chumak, TU Kaiserslautern

#) Das vollständige Programm ist auf www.dna-plasmonics.de zu finden.

Quanteninformationen, Quantengatter usw. in dem jeweils geeignetsten System implementiert und dann über optische Glasfasernetze und Wellenlängenkonverter zu einem funktionalen Gesamtsystem gekoppelt. Ob dieser Ansatz praxistauglich und skalierbar ist, wird sich in den nächsten Jahren zeigen. Sicher ist jedoch, dass hierfür ein konzertiertes Zusammenwirken unterschiedlicher Fachgebiete nötig sein wird. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bedauerten, dass in Deutschland bislang kein designiertes Förderprogramm für hybride oder überhaupt für Quantentechnologien existiert. Dadurch könne leicht der Anschluss an die bereits existierenden internationalen Aktivitäten verloren gehen.

Ausschlaggebend für den Erfolg des Seminars war neben dem Engagement aller Teilnehmerinnen und Teilnehmer auch die hervorragende Umgebung des Physikzentrums Bad Honnef, das den wissenschaftlichen Austausch gerade auch zwischen jungen Forscher/innen und Expert/innen optimal fördert. Wir danken der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung für ihre Unterstützung.

Janik Wolters, Andreas Schell
und Oliver Benson

Element Specific Structure Determination in Materials on Nanometer and Sub-Nanometer Scales using modern X-Ray and Neutron Techniques

588. WE-Heraeus-Seminar

Thematisch standen bei diesem Seminar vor allem neuere Entwicklungen und Forschungsergebnisse aus dem Bereich der atomar auflösenden Röntgen- und Neutronenholographie sowie der anomalen Röntgenstreuung im Zentrum. Zusätzlich wurden aber auch jüngere Anwendungsverfahren und Ergebnisse aus anderen atomar auflösenden Synchrotron- und Neutronentechniken sowie aus unterschiedlichen theoretischen Herangehensweisen vorgestellt. Insgesamt lockte das Seminar 46 Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus neun Nationen an, von denen 19 eingeladene Redner waren. Darüber hinaus hatten sechs jüngere Wissenschaftler die Gelegenheit, ihre Arbeiten in Form von Kurzvorträgen vorzustellen. 20 Teilnehmer konnten ihre Forschungsergebnisse mit Postern präsentieren.

Das Seminar begann mit zwei Übersichtsvorträgen, welche die historische und technische Entwicklung der anomalen Röntgenstreuung (J. F. Berar) und der atomar auflösenden Holographie (M. Tegze) rekapitulierten. Weitere Übersichts- und Forschungsberichte zur Holographie folgten am Montag, während der Dienstag den theoretischen Methoden und den

Forschungsberichten zur anomalen Röntgenstreuung vorbehalten war. Der Mittwoch stand ganz im Zeichen thematisch verwandter Forschungsmethoden, wobei vornehmlich über atomar aufgelöste Strukturresultate aus der Neutronen-Isotopen-Substitution, der Röntgen-Feinstrukturanalyse (XAFS) und der Photoelektronen-Spektroskopie berichtet wurde.

Zum Abschluss gab es Preise für die informativsten Posterpräsentationen. Sie gingen an Janis Timoshenko von der Universität Riga in Lettland, Karol Dabrowski von Jagiellonischen Universität Krakau in Polen und an Annalisa Polidori von der Universität Bath in England.

Insgesamt war das Seminar thematisch sehr breit konzipiert, was die Teilnehmer durchweg als positiv und fachlich bereichernd empfanden. Insbesondere wurde die angenehme und motivierende Atmosphäre des Physikzentrums gelobt, die das Seminar zu einem großartigen Erlebnis machte und damit einen äußerst intensiven wissenschaftlichen Austausch ermöglichte. Unser Dank gilt der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung für ihre großzügige finanzielle wie auch organisatorische Unterstützung des Seminars.

Wolf-Christian Pilgrim, Pawel Korecki
und K. Hayashi

Dr. Janik Wolters, Universität Basel;
Dr. Andreas W. Schell, Kyoto University;
Prof. Dr. Oliver Benson, HU Berlin

Prof. Dr. Wolf-Christian Pilgrim, U Marburg;
Dr. Pawel Korecki, U Krakau/
Polen und Prof. K. Hayashi, Sendai/Japan



PHOTON
ENERGY

ps laser CEPHEUS

12 W · < 15 ps

- aircooled
- compact
- reliable
- high pulse energy



meet us:



8. – 9. MÄRZ 2016
FÜRTH · GERMANY



15. – 17. MÄRZ 2016
SHANGHAI · CHINA · STAND W5/5135

QUALITY
MADE IN
GERMANY



www.photon-energy.de



Physikum Bad Honnef

Das vollständige Veranstaltungsprogramm sowie die E-Mail-Adressen der Kontaktpersonen (K) sind unter folgenden Adressen erhältlich:

■ Physikum Bad Honnef, Hauptstraße 5, 53604 Bad Honnef, Tel.: 02224/90101-13, Fax: -50, E-Mail: gomer@pbh.de, www.pbh.de

■ Magnus-Haus Berlin, Am Kupfergraben 7, 10117 Berlin, Tel.: 030/201748-0, Fax: -50, E-Mail: magnus@dpg-physik.de, www.magnus-haus-berlin.de

■ WE-Heraeus-Stiftung, Postfach 1553, 63405 Hanau, Tel.: 06181/92325-11, Fax: -15, www.we-heraeus-stiftung.de

3. – 4. 3.16 DFG-Kolloquium im SPP 1538 „Spin Caloric Transport“, K: C. Back (U Regensburg)
4. – 5. 3.16 Haniel-Auswahlseminar der Studienstiftung, K: F. Habermann (Studienstiftung des Deutschen Volkes, Bonn)
6. – 11. 3.16 2nd MERCUR Winter School on Plasma-Astroparticle Physics, K: J. Becker Tjus (U Bochum), W. Rhode (TU Dortmund), G. Wurm (U Duisburg-Essen)
14. – 18. 3.16 609. WE-Heraeus-Seminar: Relativistic Geodesy: Foundations and Applications, K: D. Pützfeld, C. Lämmerzahl (U Bremen)
20. – 25. 3.16 Natur- und Ingenieurwissenschaftliches Kolleg der Studienstiftung, K: A. Wildfeuer (Studienstiftung des Deutschen Volkes, Bonn)
29. 3. – 1. 4.16 611. WE-Heraeus-Seminar: Mechanisms of Tribology, K: R. Bennowitz (INM Saarbrücken), A. Schirmeisen (U Gießen), M. Dienwiebel (KIT Karlsruhe)
1. – 3. 4.16 Auswahlseminar für Fachhochschulstudierende, K: C. Mäsgen (Studienstiftung des deutschen Volkes, Bonn)
3. – 6. 4.16 612. WE-Heraeus-Seminar: Electrons and Phonons: Interfaces and Interactions, K: G. Schierning (U Duisburg), R. Hermann (FZ Jülich), K. Nielsch (U Hamburg), C. Joß (U Göttingen)
6. – 8. 4.16 DFG-Begutachtungskolloquium im SPP 1929 „Giant Interactions in Rydberg Systems“, K: T. Pfau (U Stuttgart), A. Deschner (DFG Bonn)
7. 4.16 Bad Honnefer Industriegespräch: Simulationsgestützte Optimierung von Bauteilen mit Hilfe der Wachstumsregel von Bäumen und Knochen – ein Beispiel angewandter Bionik, K: L. Harzheim (Adam Opel AG, Rüsselsheim)
11. – 15. 4.16 613. WE-Heraeus-Seminar: Heat Transfer and Heat Conduction on the Nanoscale, K: A. Kittel, S. A. Biehs (U Oldenburg), P. Ben-Abdallah (LCF Palaiseau/F)
15. – 17. 4.16 Workshops des Arbeitskreises Chancengleichheit (AKC) der DPG, K: A. Hofmann (AKC)
18. – 20. 4.16 614. WE-Heraeus-Seminar: Few-body Physics: Advances and Prospects in Theory and Experiment, K: M. Efremov (U Ulm), E. Kuhnle (U Heidelberg), C. Forssén (Chalmers Univ. Göteborg)
21. – 22. 4.16 Frühjahrssitzung des Arbeitskreises Energie der DPG, K: M. Keilhacker (München)
22. – 24. 4.16 Wochenendseminar der Bonn-Cologne Graduate School of Physics and Astronomy (BCGS), K: F. Vewinger (U Bonn)
25. – 29. 4.16 615. WE-Heraeus-Seminar: How Primitive are Comets?, K: J. Blum (TU Braunschweig), M. Gudiapati (NASA Pasadena, USA)
2. – 4. 5.16 Workshop Software-Reengineering, K: V. Riediger (U Koblenz-Landau)
2. – 4. 5.16 Workshop der Arbeitsgruppe 2.1.4. der Gesellschaft für Informatik, K: J. Knoop (TU Wien)
6. – 8. 5.16 Wochenendseminar: PhysikerInnen im Beruf, K: M. Wollenhaupt (U Oldenburg), E. Oesterschulze (U Kaiserslautern)
9. – 13. 5.16 616. WE-Heraeus-Seminar: Ultracold Quantum Gases: Current Trends and Future Perspectives, K: A. Pelster (TU Kaiserslautern), C. Sá de Melo (Gatech, USA)
17. – 18. 5.16 Konferenz der Fachbereiche Physik, K: G.-L. Ingold (U Augsburg), G. Düchs (Bad Honnef)
19. – 20. 5.16 Quantum Repeater Statusseminar, K: D. Meschede (U Bonn)
20. – 21. 5.16 Auswahl- und Matching-Kommission des DPG Mentoring-Programms, K: M. Wunram (DPG Mentoring-Programm)
23. – 27. 5.16 617. WE-Heraeus-Seminar: Quantifying Complex Transport with Lévy Walks: From Cold Atoms to Humans and Robots, K: S. Denisov, P. Hänggi (U Augsburg), E. Barkai (U Bar-Ilan/ISR)
30. 5. – 3. 6.16 618. WE-Heraeus-Seminar: Extreme Events and Rouge Waves – 2016, K: N. Hoffmann (TU Hamburg), N. Akhmediev (ANU Canberra), H. Brand (U Bayreuth)



Magnus-Haus

8. 3.16 Physik im Alltag: Archäometrie: Neue Einblicke in Maltechniken vergangener Zeiten durch innovative physikalische Techniken, K: I. Reiche (Rathgen-Forschungslabor, Staatliche Museen zu Berlin)



WE-Heraeus-Stiftung

Veranstaltungen an anderen Orten

8. – 13. 5.16 WE-Heraeus Workshop (Les Houches, Frankreich): Ultrafast Phenomena at Nanostructures: Attosecond Physics Meets Plasmonics, K: P. Hommelhoff, S. Götzinger (U Erlangen-Nürnberg)
8. – 13. 7.16 International School of Physics „Enrico Fermi“ in collaboration with the WE-Heraeus Foundation (Varenna, Italy): Foundations of Quantum Theory, K: W. Schleich (U Ulm), E. Rasel (U Hannover), S. Wölk (U Siegen)
25. – 30. 8.16 Lehrerfortbildung (Florenz, Italien): Astronomy from Four Perspectives: The Origin of Stars and Planets, K: J. Staude (MPI für Astronomie, Heidelberg)
5. – 16. 9.16 WE-Heraeus Summer School for Graduate Students (Wolfersdorf/Thüringen): Foundations and New Methods of Theoretical Physics, K: O. Lechtenfeld (U Hannover), A. Hebecker (U Heidelberg), I. Sachs (LMU München), S. Theisen (AEI Potsdam), A. Wipf (U Jena)

Rudolf-Kaiser-Preis 2016

Zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses auf dem Gebiet der Experimentalphysik vergibt die Rudolf-Kaiser-Stiftung den Rudolf-Kaiser-Preis 2016. Der Preis ist mit 35 000 Euro dotiert und wird an einen deutschen Nachwuchswissenschaftler/eine Nachwuchswissenschaftlerin verliehen, der/die noch nicht auf einen Lehrstuhl berufen wurde. Er/Sie muss mehrere gute Arbeiten publiziert haben, von denen eine besonders herausragt. Nach dem Willen des Stifters soll es sich dabei nicht um Arbeiten handeln, die mit „großen Maschinen“ in Großforschungsanlagen entstanden sind.

Die Bewerbung kann als Vorschlag einer Hochschullehrperson oder als Eigenbewerbung erfolgen.

Über die Vergabe des Preises entscheidet das Kuratorium der Stiftung auf einen entsprechenden Vorschlag des aus drei Mitgliedern bestehenden Stiftungsbeirats, die der DPG angehören und vom Präsidenten der DPG benannt werden. Der Rechtsweg gegen die Entscheidung der Gremien ist ausgeschlossen.

Neben der herausragenden Arbeit sind einzureichen: Gutachten einer (bzw. der vorschlagenden) Hochschullehrperson; Curriculum vitae mit Lichtbild; Abschlusszeugnis(se) der Hochschule(n); Versicherung, dass zum Zeitpunkt der Bewerbung bzw. des Vorschlags kein Ruf an einen Lehrstuhl stattgefunden hat. Die Unterlagen sind in elektronischer Form sowie dreifach in Papierform bis zum **15. April 2016** einzureichen an die Rudolf-Kaiser-Stiftung im Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e.V.
z. H. Herrn Klaus Kuli
Postfach 16 44 60 · 45224 Essen
Tel.: (0201) 8401 -160 · Fax: -255
E-Mail: klaus.kuli@stifterverband.de
■ www.deutsches-stiftungszentrum.de

Deutscher Lehrpreis 2016

Dieser Preis wendet sich mit der Kategorie „Lehrer/innen: Unterricht innovativ“ an Lehrer und Lehrerinnen aus dem Sekundarbereich deutscher Schulen, die fächerübergreifend unterrichten und im Team zusammenarbeiten. Für ideenreiche, innovative Unterrichtskonzepte werden Preise im Gesamtwert von 13 000 Euro ausgeschrieben. Bewerbungsschluss ist der **15. April 2016**.

■ www.lehrerpreis.de

MetroSommer 2016

Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) ermöglicht im Rahmen des MetroSommers 2016 Studierenden ein zweimonatiges Forschungspraktikum. Vom 1. August bis zum 30. Sep-

tember 2016 können sie in aktuellen Forschungsprojekten mitarbeiten. Die technische Ausstattung der PTB und ihr breites Aufgabenspektrum bieten eine einmalige Basis für eigene Forschungserfolge. Das Angebot an Praktikumsprojekten reicht von der Herstellung und Charakterisierung magnetischer Nanostrukturen über die Verbesserung von Ultraschallmikrofonen und Laserspektroskopieverfahren bis zur Weiterentwicklung von optischen Uhren und ultrastabilen Lasern.

Bewerberinnen und Bewerber müssen an einer deutschen Universität ein MINT-Fach (Mathematik, Ingenieurwissenschaft, Naturwissenschaft oder Technik) studieren und zwischen dem dritten Semester und dem Antritt der Master- oder Diplomarbeit sein.

Die Bewerbungsfrist läuft bis zum **30. April 2016**.

■ www.ptb.de/metrosommer.if/ptb

AFM

Asylum Research

Success

When innovation and technology align



“ My AFM from Asylum Research allowed me to move fast in the 2-D materials field.”

Andras Kis
Associate Professor
EPFL Switzerland

Get a live **Cypher AFM** demonstration at DPG in booth 60

AFM.info.eu@oxinst.com
+49 612 2937 0
www.oxinst.com/AFM



The Business of Science®

Bad Honnef Physics School

Supported by the Wilhelm and Else Heraeus-Foundation

Extrasolar Planets: Formation and Dynamics

26 June – 1 July 2016, Physikzentrum Bad Honnef, Germany

Wilhelm Kley (Tübingen), Cornelis Dullemond (Heidelberg), Nader Haghighipour (Hawaii)

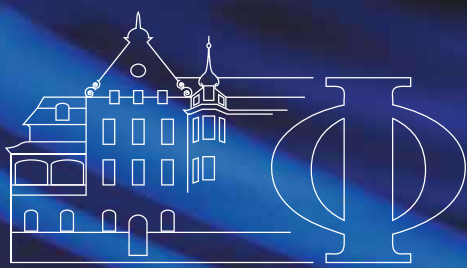
The goal of the school is to provide a solid pedagogical introduction into the general field of Planetary Formation with emphasis on the special requirement of extrasolar planets. The planet formation process will be presented starting from the very early phase of dust agglomeration up to the assembly of fully grown planets. Building upon the ideas on how to form the Solar System, the focus of the school will lie on the main theoretical foundations that have emerged after the detection of extrasolar planets. Lectures will be given by international experts in the field. In little projects the participants will have the opportunity to work on particular problems in the field.

Speakers:

Artie Hatzes (Tautenburg, D)
Alessandro Morbidelli (Nice, F)
Carsten Dominik (Amsterdam, NL)
Hubertus Klahr (Heidelberg, D)
Ravit Helled (Tel Aviv, IL)
Richard Nelson (London, UK)
Christoph Mordasini (Bern, CH)
Kevin Heng (Bern, CH)
Barbara Ercolano (München, D)
Hagai Perets (Haifa, IL)
Nader Haghighipour (Hawaii, USA)
Lisa Kaltenegger (Cornell, USA)
Cornelis Dullemond (Heidelberg, D)

Fees:

Covering full board and lodging at the Physikzentrum Bad Honnef
200 € (for DPG members 100 €).



Physikzentrum Bad Honnef

Application & more information:

www.pbh.de

Deutsche Physikalische Gesellschaft



Neugierig?



www.wiley-vch.de/sachbuch



Erlebnis Wissenschaft



ANDREAS HEUER
Der perfekte Tipp
Statistik des Fußballspiels

ISBN: 978-3-527-33103-1
2012 330 S. mit 101 Abb.
Gebunden € 24,90

Wie vorhersagbar ist ein Fußballspiel, was bringen Trainerwechsel, welche Rolle hat das Spielergelb? Andreas Heuer verblüfft und unterhält mit der Analyse von Fußballstatistiken und zeigt, dass sich manch liebgewonnene Fußballweisheit bei genauer Betrachtung in Luft auflöst.

„Heuer ist ein Statistiker, der beweist, dass sogar das Spaß machen kann.“

Aus einer Buchbesprechung in WESTFÄLISCHE NACHRICHTEN



WOLFGANG PÜSCHL
Physik des Segelns
Wie Segeln wirklich funktioniert

ISBN: 978-3-527-41106-1
2012 278 S. mit 164 Abb. und
4 Tab. Broschur € 24,90

Der erfahrene Autor und passionierte Segler Wolfgang Püschl beschreibt in diesem Buch die physikalischen Grundlagen des Segelsports. Für die an Naturwissenschaften interessierten Segler, die schon immer wissen wollten, wie sie schneller segeln können.

„Wer es noch genauer wissen will, die Praxis schon beherrscht, dem bietet Püschl vertieftes Wissen.“

Aus einer Buchbesprechung in EKZ PUBLIKATION



IVÁN EGRY
Physik des Golfspiels

Mit Newton zum Tee

ISBN: 978-3-527-41254-9
2014 198 S. mit 122 Abb. und
13 Tab.
Gebunden € 24,90

Iván Egrý ist Physiker und begeisterter Golfer – er kennt nicht nur Begriffe wie »Handicap«, »Chippen«, »Hook« oder »Putten«, er kann auch genau erklären, wie alles physikalisch funktioniert. Ob Ballflug oder Treffmoment, alles erklärt Egrý verständlich und mit so wenig Mathematik wie möglich und entmystifiziert, ganz nebenbei, auch noch den »perfekten« Golfschwung.



LEOPOLD MATHELITSCH
und SIGRID THALLER
Physik des Sports

ISBN: 978-3-527-41304-1
September 2015 198 S. mit
100 Abb. Gebunden € 24,90

NEU

Kenntnisse aus Physik und Sport haben zwar auf den ersten Blick nicht viel gemeinsam, sind aber bei genauerer Betrachtung untrennbar.

Für das Verständnis von sportlichen Bewegungen braucht man Wissen aus der Physik!

In diesem Buch werden die physikalischen Gesetzmäßigkeiten offenbart, die über Erfolg oder Misserfolg entscheiden. Folgende Sportarten werden behandelt: Fußball, Tennis, Golf, Volleyball, Baseball, Geräteturnen, Schwimmen, Tauchen, Skifahren, Skispringen, Eishockey, Kampfsport und Reiten.



Auch als
E-Books unter:
[www.wiley-vch.de/
ebooks/](http://www.wiley-vch.de/ebooks/)

WILEY-VCH

Wiley-VCH • Postfach 10 11 61 • D-69451 Weinheim
Tel. +49 (0)6201-606400 • Fax +49 (0)6201-60691400
e-mail: service@wiley-vch.de • www.wiley.vch.de

Die Euro-Preise gelten ausschließlich für Deutschland. Alle Preise enthalten die gesetzliche MwSt. Die Lieferung erfolgt zzgl. Versandkosten. Es gelten die Lieferungs- und Zahlungsbedingungen des Verlages. Irrtum und Preisänderungen vorbehalten. Stand der Daten: August 2015.

ADDITIVE

Soft- und Hardware für Technik und Wissenschaft GmbH
 Max-Planck-Str. 22b · 61381 Friedrichsdorf/Ts
 Tel.: +49 (0)6172 5905-0 · Fax: +49 (0)6172 77 613
 E-Mail: info@additive-net.de · Web: www.additive-net.de



ADDITIVE

Messen • Berechnen • Visualisieren • Automatisieren

Die ADDITIVE Soft- und Hardware für Technik und Wissenschaft GmbH ist seit über 25 Jahren ein Systemhaus mit individueller Ingenieurdienstleistung für Messtechnik und technisch-wissenschaftliche Computeranwendungen. Von der Softwarelösung per Standardprodukt über kleinere und mittlere Desktopapplikation bis hin zur kompletten Enterprise-Lösung entwickelt ADDITIVE die maßgeschneiderte Lösung.

Vermarktet werden die Produkte über vier Geschäftsbereiche - SOFTWARE, IT-SERVICE, MESSTECHNIK-SENSORIK und der ADDITIVE-ACADEMY - in unterschiedlichen Marktsegmenten in nahezu allen Branchen.



Die von ADDITIVE vermarkteten Premium-Produkte sind dabei: Mathematica, Origin, Minitab, ADDITIVE-Cloud-Services und BeanAir Wireless Sensornetzwerke.

Die Lösungsthemen von ADDITIVE liegen in den Bereichen:

- kabellose Messdatenerfassung und Sensorik
- **Datenanalyse** und Datenvisualisierung
- **Industrie 4.0-Integration**
- **Datamining**, Big Data
- **Predictive Analysis**, Predictive Maintenance
- **Berechnung**, Modellierung und Simulation
- **statistisches Qualitätsmanagement**
- **Computational Chemistry** und Chemie-Informatik
- **Workflow-Automatisierung**
- **Datenbankzugriff**
- **webbasierte Anwendungen**
- **Netzwerke**, Netzwerksicherheit, Internetintegration
- **Cloud-Services**, Cloud-Computing

APE Angewandte Physik & Elektronik GmbH

Plauener Strasse 163-165, Haus N · 13053 Berlin
 Tel.: +49 (0)30 986 011-30 · Fax: +49 (0)30 986 11-333
 E-Mail: sales@ape-berlin.de · Web: www.ape-berlin.de



APE ist ein weltweit operierender Entwickler und Hersteller von Geräten zur automatisierten Erzeugung von Wellenlängen weit durchstimmbarer, ultrakurzer Laserpulse, sowie zum Vermessen und Handhaben dieser Laserpulse. Das Unternehmen gehört zu den internationalen Marktführern im Bereich optisch parametrischer Oszillatoren und der Diagnostik von ultrakurzen Pulsen, sowie passendem Zubehör wie z. B. Pulspickern, Akustooptik und Frequenzvervielfachern.

APE-Geräte werden weltweit in wissenschaftlichen Einrichtungen und Forschungszentren eingesetzt, oft in der Grundlagenforschung der Physik, Chemie, Biologie und Medizin. In beinahe allen namhaften Instituten und Universitäten stehen die Geräte aus Berlin. Zunehmend werden APE-Geräte auch in der industriellen Fertigung und in der medizinischen Praxis angewendet.



APE beschäftigt ca. 70 Mitarbeiter. Ein Team aus Physikern, Elektronikern, Softwarespezialisten und Konstrukteuren entwickelt aus physikalischen Erkenntnissen marktfähige Geräte, die auch von Nichtphysikern zu bedienen sind. Diese Geräte werden in einer eigenen mechanischen und optischen Fertigung produziert. Der Vertrieb der Geräte erfolgt teils direkt, teils über Distributoren in über 40 Ländern. Seit 2010 existiert mit der APE Applied Physics & Electronics,

Inc. ein Partnerunternehmen in Fremont, Kalifornien, das den nord- und südamerikanischen Markt bedient.

Ultrakurzzeit-Lasertechnik ist ein Gebiet, das gerade den Schritt von der reinen Forschung zur industriellen Anwendung vollzieht und ein entsprechendes Wachstumspotential aufweist. Auf diese Chance reagiert APE mit deutlicher Schwerpunktsetzung im Bereich Forschung und Entwicklung, um schnell Wünschen und Anregungen des Marktes entsprechen zu können.

Die erstklassige Qualität der APE-Präzisionsgeräte sowie kompetente und zuverlässige Kundenbetreuung sind Standards, mit denen das Unternehmen den hohen Ansprüchen eines sich konstant in Bewegung befindenden Marktes begegnet. Es wird ein sehr enger Kontakt zu den Kunden gepflegt um die Produkte permanent zu verbessern und weiterzuentwickeln.

Basycon

Welserstr. 1 · 81373 München
 Tel.: +49 (0)89 890 671-00 · Fax: +49 (0)89 890 671-05
 E-Mail: jobs@basycon.com · Web: www.basycon.com

Basycon ist eine Unternehmensberatung, die im Spannungsfeld zwischen Business und IT tätig ist und die Professionalität klassischer Unternehmensberatungen mit fundiertem IT- und Fach-Know-how verbindet.

Diese besondere Positionierung erfordert gleichermaßen managementorientierte und fachlich-technische Kompetenz. Die Verbindung von beidem qualifiziert uns dazu, bei unseren Klienten mit kleinen, hochklassigen Teams Verantwortung an Schlüsselstellen wichtiger Projekte zu übernehmen. Dazu zählen:

- Aufbau neuer Geschäftsfelder oder Tochtergesellschaften, z. B. Strombörse Leipzig, Shared Service Center, Spezialbank
- Verbesserung bzw. Neuausrichtung geschäftskritischer Prozesse, z. B. Innovationsprozess, Vertriebssteuerung
- Projektmanagement von IT-Großprojekten, oft international
- Mathematisch anspruchsvolle Fragestellungen, z. B. in der Risikosteuerung



oder in der Optimierung komplexer Fertigungsprozesse

Unser Geschäftsmodell ist in jeder Hinsicht auf Langfristigkeit ausgelegt. Dies gilt sowohl für die Geschäftsbeziehungen mit unseren Klienten als auch für die Bindung zu unseren Mitarbeitern. Konkret bedeutet das: stetige persönliche und fachliche Weiterentwicklung ohne Up-or-Out-Prinzip, viel Raum für Ihren Elan und Ihre Individualität und eine unbürokratische und freundschaftliche Arbeitsatmosphäre auf höchstem professionellen Niveau.

Unsere Mitarbeiter haben mehrheitlich einen naturwissenschaftlichen oder ma-

thematischen Hintergrund und gehören alle zu den Besten ihres Jahrgangs. Viele haben Zusatzqualifikationen wie eine Promotion, ein Zusatzstudium oder vertiefte IT-Kenntnisse. Uns verbindet der Spaß an der Lösung immer neuer, herausfordernder Aufgaben. Zusammen bilden wir ein homogenes Team interessanter Persönlichkeiten – und ein inspirierendes Arbeitsumfeld, in dem es Spaß macht zu arbeiten.

Zu unseren Weiterbildungsangeboten gehören zahlreiche interne und externe Trainings, zum Beispiel zu BWL, Consulting-Methodik und Kommunikation, sowie international anerkannte Zertifizierungen.

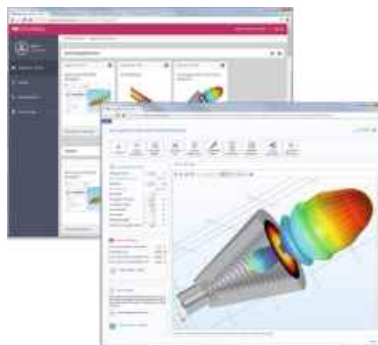
Wir unterstützen aktiv und individuell Ihre persönliche Weiterentwicklung. Durch das breite Spektrum an Projektaufgaben bietet Basycon Ihnen dabei einzigartige Perspektiven. Je nach individueller Neigung stehen Ihnen verschiedenste anspruchsvolle Spezialisierungsrichtungen offen.

Comsol Multiphysics GmbH

Robert-Gernhardt-Platz 1 · 37073 Göttingen
 Kurfürstenstraße 84 · 10787 Berlin
 Tel.: +49 (0)551 99 721-0 · Fax: +49 (0)551 99 721-29
 Tel.: +49 (0)30 3640 356-0 · Fax: +49 (0)30 3640 356-29
 E-Mail: info@comsol.de · Web: www.comsol.de

Die **Comsol Multiphysics GmbH** ist Teil der schwedischen COMSOL Gruppe, dem führenden Anbieter von multiphysikalischer Simulationssoftware. COMSOL wurde 1986 in Stockholm gegründet und besitzt mittlerweile weltweit 22 Niederlassungen, unter anderem in Deutschland, den Niederlanden, Großbritannien, den skandinavischen Ländern, Frankreich, Italien, der Schweiz, China, Indien und den USA.

Die Produkte COMSOL Multiphysics® und COMSOL Server™ sind CAE-Software-Entwicklungsumgebungen für die Modellierung und Simulation naturwissenschaftlich-technischer Systeme. Ihre besondere Stärke ist die Modellierung gekoppelter Phänomene. Eine große Anzahl von Zusatzmodulen bieten anwendungsspezifische Werkzeuge für Akustik, Batterie- und Brennstoffzellensysteme, chemische Verfahrenstechnik,



Geowissenschaften, Elektrodynamik, Strömungsmechanik, Wärmetransport, Mikrosystemtechnik, Plasma und Strukturmechanik, Mehrkörpersysteme sowie CAD-Interoperabilität.

Mit COMSOL Multiphysics sind Simulationen verschiedenster Phänomene aus Physik, Chemie und Ingenieurwis-

senschaften sowie die Erstellung von benutzerspezifischen Applikationen in ein- und derselben Benutzeroberfläche möglich. Damit ist numerische Simulation und Modellierung für jedermann auch ohne einschlägige Kenntnisse zugänglich.

Aus jedem COMSOL Multiphysics Modell lässt sich mit dem integrierten Application Builder eine individuell auf den Nutzer zugeschnittene App generieren, die dieser auch ohne besondere Simulationserfahrung ausführen kann. Mittels COMSOL Server™ kann diese dann weltweit auf verschiedenen Endgeräten oder in der Cloud ausgeführt werden, was insbesondere international agierenden Unternehmen dabei hilft, ihre Arbeitsabläufe zu optimieren und die Zusammenarbeit zwischen Anwendern verschiedener Abteilungen zu erleichtern.



Cryophysics GmbH

Dolivostraße 9 · 64293 Darmstadt
Tel.: +49 (0)6151 8157 0 · Fax: +49 (0)6151 8157 99
E-Mail: info@cryophysics.de · Web: www.cryophysics.de

Die Cryophysics GmbH wurde 1970 gegründet und entwickelte sich zu einer heute führenden unabhängigen Vertriebsorganisation für wissenschaftliche Geräte und Systeme für die Materialforschung, speziell im Bereich der Tieftemperaturphysik sowie der magnetischen und elektrischen Charakterisierung von Materialien.

Unsere Kunden profitieren von unserer langjährigen, vorwiegend über Jahrzehnte reichenden Zusammenarbeit mit technologisch weltweit führenden amerikanischen, japanischen und britischen Herstellern. Das Verkaufsterritorium der Cryophysics GmbH umfasst Deutschland, Österreich sowie für einzelne Produktlinien Schweden, Finnland und Luxemburg.

Die Cryophysics GmbH ist seit Anfang der siebziger Jahre u. a. die Vertretung der Firma LAKE SHORE, USA in Deutschland und Österreich - heute auch in Finnland und Schweden. Als führender Hersteller für präzise Tieftem-



peratursensoren (bis 20 mK), -monitore und -regler (bis 10 mK) erweiterte LAKE SHORE unsere Produktpalette im Laufe der Jahre um präzise Gaussmetersysteme, hochauflösende Magnetometer (VSM/AGM), High-End AC/DC-Hallmessplätze ($\mu=0,001 \text{ cm}^2/\text{Vs}$), State-of-the-Art kryogenische Spitzenmessplätze („Cryogen-Free“ oder „Wet“, mit/ohne Magnetfeld) sowie kryogenische Hochfeld-THz-Messplätze.



Zur Erzeugung tiefer und ultratiefer Temperaturen bietet die Cryophysics GmbH die Produkte des für 4K Kältemaschinen weltweit führenden japanischen Herstellers SUMITOMO HEAVY INDUSTRIES sowie die breite Kryostat-Produktpalette unseres amerikanischen Herstellers JANIS RESEARCH an. Unser Kryostat-Spektrum von Janis umfasst alle Typen von He-4-, He-3- oder Entmischungskryostaten (jeweils auch UHV und/oder „Cryogen-Free“). Gerne bieten wir kundenspezifische Systeme und Lösungen an.

Ergänzt wird unsere Produktpalette durch die ultrapräzisen Kapazitätsmessbrücken unseres Herstellers ANDEEN HAGERLING, USA (Auflösung: 0,5 Attofarad) und die Produkte unserer weiteren Hersteller zur Komplettierung unseres Angebots an kryogenischem Equipment (Arepec, Brooks Automation, Can Superconductors, Cryomagnetics, Horizon Technologies, Precision Cryogenics, Rol-Vac, Supercon, Wessington).

d-fine GmbH

An der Hauptwache 7 · 60313 Frankfurt am Main
Tel.: +49 (0)69 90737-555 · Fax: +49 (0)69 90737-201
E-Mail: careers@d-fine.de · Web: www.d-fine.de

Mit weit über 500 Consultants, die sich auf die Herausforderung des Finanz- und Risikomanagements bei Banken, Versicherungen, Industrieunternehmen oder Asset Managern spezialisiert haben, zählt d-fine zu den führenden Unternehmensberatungen in Europa.

Durch die internationale Präsenz mit Büros in Frankfurt, München, Zürich, Wien und London betreut d-fine globale Großbanken genauso wie mittelständische Industrieunternehmen, internationale Versicherungskonzerne oder kleine Hedge Fonds.

Mit der Erfahrung aus vielen hundert erfolgreichen Projekten, von der Strategieberatung über die Methodenentwicklung und dem Prozessdesign bis hin zur IT-technischen Umsetzung der Lösung, deckt d-fine das gesamte Leistungsspektrum ab, das die Kunden heute von einer Unternehmensberatung erwarten.



Der Erfolg von d-fine fußt auf der Expertise seiner Mitarbeiter/-innen. Die geforderten analytischen, mathematischen und technischen Fähigkeiten bauen auf einer starken naturwissenschaftlichen Prägung der Mitarbeiter/-innen auf: 50 % der Mitarbeiter/-innen verfügen über einen akademischen Abschluss in Physik, 35 % in Mathematik und 15 % in Informatik oder Wirtschaftswissenschaft.

d-fine

In Kürze:

- **Geschäftsfeld:** Consulting
- **Mitarbeiter/-innen:** weit über 500
- **Fachrichtungen:** Physik, Mathematik, Informatik, Natur-/Ingenieur- und Wirtschaftswissenschaften
- **Einsatzgebiete:** Beratungsprojekte mit strategischen, quantitativen und technischen Aufgabenstellungen
- **Einstiegsmöglichkeiten:** Direkteinstieg, Praktika
- **Standorte:** Frankfurt, München, London, Zürich und Wien
- **Informationen zur Bewerbung** unter <http://www.d-fine.com/karriere/>

Haben Sie Fragen oder möchten Sie uns kennenlernen? Rufen Sie uns an oder besuchen Sie uns auf einer der folgenden Veranstaltungen:

www.d-fine.com/karriere/recruiting-veranstaltungen

Dr. Eberl MBE-Komponenten GmbH

Josef-Beyerle-Str. 18/1 · 71263 Weil der Stadt
Tel.: +49 (0)7033 6937 0 · Fax: +49 (0)7033 6937 290
E-Mail: info@mbe-komponenten.de · Web: www.mbe-komponenten.de



Wir entwickeln und fertigen Molekularstrahlepitaxie (MBE) Anlagen und Komponenten zur Abscheidung atomar dünner Schichten im Ultrahochvakuum. Die Produkte finden Anwendung bei der Herstellung von Si-, GaAs- oder InP-basierten Heterostrukturen, der Präparation von Nanostrukturen, in der Oxid-MBE und bei der Abscheidung magnetischer Schichtstrukturen, topologischer Isolatoren, sowie von 2D-Materialien. Ferner werden unsere Produkte bei der Herstellung von optoelektronischen Bauelementen und Dünnschichtszellen eingesetzt.

Die Firma wurde von Dr. Karl Eberl 1990 als Spin-off des Walter-Schottky-Institutes der TU München gegründet und hat ihren Sitz in Weil der Stadt bei Stuttgart. Seit über 25 Jahren ist Dr. Eberl MBE-Komponenten ein Begriff für kompetente Beratung, kundenspezifische Lösungen, hochwertige Produkte, und



sehr guten Service. Unsere Kunden sind vorwiegend Universitäten, Forschungseinrichtungen und namhafte Firmen der Halbleiterindustrie weltweit.

Um einen stets hohen Qualitätsstandard sicherzustellen, werden alle Produkte im firmeneigenen Büro- und Laborgebäude von uns selbst entwickelt, hergestellt, umfangreich getestet und geprüft. Alle MBE-Anlagen und Komponenten werden in Reinraumumgebung gereinigt, montiert, bei Extrembedingungen betrieben und getestet.

Produktspektrum:

- MBE-Anlagen für III/V-, II/VI- und SiGe-Halbleiter
- MBE-Anlagen für topologische Isolatoren, Oxide und magnetische Materialien
- Beschichtungsanlagen für CIGS-Dünnschichtszellen
- Substratmanipulatoren und -heizer
- Thermische Verdampfer, Effusionszellen
- Ventil-„Cracker“-Zellen
- Verdampfer für organische Materialien
- Elektronenstrahlverdampfer
- Gasquellen
- Linearverdampfer und Punktquellen für industrielle Beschichtungsanlagen
- Simulation von Beschichtungsprozessen zur Berechnung der Homogenität, Materialzusammensetzung und Effizienz
- Legieröfen / „Compact RTA“ Systeme

Focus GmbH

Neukirchner Str. 2 · 65510 Hünstetten
Tel.: +49 (0)6126 4031 · Fax +49 (0)6126 4014-10
E-Mail: sales@focus-gmbh.com · www.focus-gmbh.com

Die Firma FOCUS ist ein eigenümergeführtes Unternehmen mit Sitz in Hünstetten bei Wiesbaden und in Leipzig. Von den insgesamt 27 fest angestellten Mitarbeitern haben mehr als die Hälfte einen akademischen Abschluss, darunter 7 Physiker und 7 Dipl.-Ingenieure.

Wir bauen seit 26 Jahren wissenschaftliche Geräte für die Elektronenspektroskopie und Elektronenmikroskopie. Dazu gehören Detektoren für die Elektronen-Spin-Analyse (FERRUM, SPLEED), ein Elektronenspektrometer inkl. Spindel-detektor (EasySpin) und ein Photoelektronenmikroskop (FOCUS PEEM), das mit verschiedenen Energiefiltern im orts- und winkelauflösenden Modus eingesetzt wird (IEF-PEEM, TOF-PEEM). Der gemeinsam mit der Firma Scienta Omicron entwickelte und patentierte bildgebende Energiefilter IDEA in Kombination mit dem FOCUS PEEM ist als NanoESCA bekannt und setzt neue Maßstäbe für die energieaufgelöste Orts- und k-Raum-Abbildung.

Dies gilt neuerdings auch für Photoelektronen hoher kinetischer Energien (bis



10 keV) und erschließt unter dem Begriff HAXPEEM neue Anwendungsbereiche für die zerstörungsfreie ortsauflösende Elementanalyse von dünnen Schichten bis zu 50 nm Tiefe.

Ein weiteres Geschäftsfeld ist seit einigen Jahren das Elektronenstrahlschweißen mit höchster Präzision. Bei der Mikro-Elektronenstrahlschweißanlage MEBW-60 wird der Elektronenstrahl mit hoher Leistung (bis zu 2kW) zum Schweißen, Bohren und zur Oberflächenmodifikation eingesetzt. Gleichzeitig ermöglicht er, fein fokussiert und mit entsprechend geringerer Leistung, einen implementierten Rasterelektronenmikroskop-Modus (SEM). In unserer neuen LaVa-Anlage (Laser im Vakuum) setzen wir alternativ auch den Laser zur Materialbearbeitung im Vakuum ein.

Interessierten Firmen sowie Universitäten und Forschungseinrichtungen bieten wir über unseren JobShop günstigen Zugang zum Leistungsspektrum MEBW-60 und der LaVa, z. B. für den Bau wissenschaftlicher Geräte.

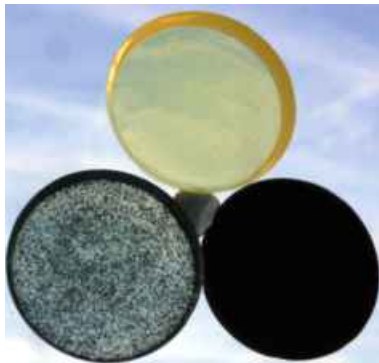
Das wohl bekannteste FOCUS-Produkt ist der UHV-Elektronenstoßverdampfer EFM 3, der weltweit in mehr als 600 Forschergruppen eingesetzt wird. Mit dem einzigartigen Kühl- und Steuerungskonzept bietet die Reihe der EFM-Verdampfer (3, 3s, 3i, 4, 3T) einen extrem weiten Temperaturbereich von ca. 150°C (Moleküle) bis 3300°C (Wolfram) für das jeweilige Verdampfungsmaterial unter bestmöglichen UHV-Bedingungen.

Eines unserer neuesten Produkte, die differenziell gepumpte Ionenquelle FDG 15, bietet alle Leistungsdaten der bekannten, aber nicht mehr am Markt verfügbaren, ISE 10 (Leybold/Kremer/OMICRON) und darüber hinaus eine leistungsstarke Ionenoptik mit optionaler Flussregelung.



Goodfellow GmbH

Postfach 13 43 · 61213 Bad Nauheim
 Tel.: +49 (0)800 1000 579 (freecall, nur innerhalb Deutschlands)
 Tel.: + 44 (0)1480 424 810 · Fax: +49 (0)800 1000 580 (freecall,
 nur innerhalb Deutschlands) · Fax: + 44 (0)1480 424900
 E-Mail: info@goodfellow.com · Web: www.goodfellow.com



Funktionalisierte Graphen-Tinte öffnet die Tür zu innovativen Siebdruckanwendungen

Huntingdon (UK) ... 29. September 2015 ... Die funktionalisierte siebdruckfähige Graphen-Tinte von Goodfellow erzielt bessere Leistungen

als herkömmliche Tinte auf Kohlenstoffbasis und ist besonders für Anwendungen geeignet, die eine außergewöhnliche elektrische Leitfähigkeit, hervorragende Flächendeckung und hohe Druckauflösung erfordern. Diese Anwendungen findet man bei leichten, flexiblen Displays, Elektronikteilen aus Kunststoff, Leiterplatten, Dünnschicht-Fotovoltaik, Sensoren, Elektroden und OLEDs.

Die Tinte ist aus funktionalisierten HDPlas® Graphen-Nanoplättchen hergestellt und wurde für die Viskosität und

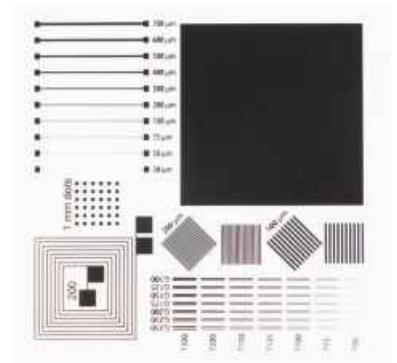
die Festkörperanteile optimiert, die bei semiautomatischen und manuellen Siebdruckgeräten benötigt werden. Mögliche Drucksubstrate sind u. a. Polymere, Keramik und Papier.

Zusätzlich zu den oben aufgeführten Differenzierungsmerkmalen hat funktionalisierte Graphen-Tinte folgende Eigenschaften:

- Flexibel auf geeigneten Substraten
- Metallfrei, 100 % organisch (kein Mattieren)
- Trocknet bei niedrigen Temperaturen
- Umweltfreundlich

Die Tinte kann individuell angepasst und für spezifische Anwendungen modifiziert werden. Wenn erwünscht, können Wissenschaftler und Drucker, die mit den von Goodfellow zur Verfügung gestellten kleinen Mengen (100 - 1000 g) Tests ausführen, mit Goodfellow besprechen, weitere Anpassungen vorzunehmen, um ihren individuellen Anforderungen zu entsprechen.

Für weitere Informationen über funktionalisierte Graphen-Tinte kontaktieren



Typischer Siebdruckfarbentest

Sie Goodfellow unter der Telefonnr. 0800 1000 579 (freecall) oder +44 (0) 1480 424 810 per E-Mail an info@goodfellow.com oder Sie besuchen www.goodfellow.com.

Um das vollständige Produktangebot von Goodfellow für Metalle, Keramik, Polymere, Verbundwerkstoffe und andere Materialien für Forschung und Industrie zu sehen, rufen Sie auf goodfellow.com den umfassenden Goodfellow-Katalog auf.

GWU-Lasertechnik Vertriebsges. mbH

Bonner Ring 9 · 50374 Erftstadt
 Tel.: +49 (0)22 35 9 55 22 0 · Fax: +49 (0)22 35 9 55 22 99
 E-Mail: info@gwu-group.de · Web: www.gwu-group.de

GWU-Lasertechnik



Experten für Kristalle, Optiken und Laserprodukte

GWU-Lasertechnik Vertriebsges. mbH, 1988 als Vertriebsgesellschaft für Laser und Laserzubehör gegründet, bietet eine breite Palette von Produkten aus den Bereichen Lasertechnik und Optik an.

Neben Laser- und nicht-linearen Kristallen von Castech gehören periodisch-gepolte Kristalle und Wellenleiter von HCP zu den Kernprodukten. Diese Kristalle finden in Forschung und Industrie Einsatz und haben sich alleine in Deutschland viel-tausendfach bewährt. Ergänzt werden die Kristalle durch ein breites Angebot an Optiken, u.a. Linsen, Prismen, Verzögerungsplatten und Polarisatoren.



UHG – modularer Frequenzkonverter für fs/ps-Ti:Sa-Laser

Basierend auf nicht-linearen Kristallen entwickelt und produziert GWU-Lasertechnik Produkte zum Einsatz mit gütegeschalteten Nd:YAG und Ultrakurzpulslasern. Hierzu gehört eine Gerätefamilie von nsec-OPOs, die den Spektralbereich vom tiefen UV bis ins mittlere Infrarot abdeckt. Eine weitere Gerätefamilie

besteht aus den völlig neu entwickelten Frequenzkonvertern (für 2-te, 3-te, 4-te Harmonische) der UHG Serie mit optionalem Puls Selektor zur Reduzierung der Pulsfolgefrequenz und OPO-Systemen für Laser im fsec- und psec-Bereich. Für Ultrakurzpuls-Anwendungen bietet GWU ebenfalls Pulsanalytik (z.B. GRENOUILLE FROG Systeme) und den Ein-Prisma-Pulskompressor BOA von Swamp Optics (USA) im deutschsprachigen Raum an.

Eine Partnerschaft mit Xiton Photonics führt zu vielen Innovationen und kundenspezifischen Sonderlösungen.

Wegen der anerkannten Kompetenz und Servicequalität hat GWU-Lasertechnik weltweit eine große, zufriedene Kundenbasis in Forschung und Industrie.

LOT-QuantumDesign GmbH

Im Tiefen See 58 · 64293 Darmstadt
Tel.: +49 (0) 6151 88060
E-Mail: info@lot-qd.de · Web: www.lot-qd.com



Seit mehr als 45 Jahren ist LOT-Quantum-Design ein führender europäischer Distributor von hochwertigen Instrumenten und Verbrauchsmaterialien für die naturwissenschaftliche, akademische und industrielle Forschung. Das Produktprogramm der Gruppe enthält Komponenten und Systeme zur Materialcharakterisierung, Kryotechnik, Spektroskopie und Imaging, Life Science, wissenschaftliche Lichtquellen, sowie Optiken.



Die Gruppe beschäftigt 140 hochqualifizierte Mitarbeiter und blickt auf eine fast 45-jährige Firmengeschichte zurück. LOT-QuantumDesign arbeitet europaweit mit Büros in Frankreich, Großbritannien, Italien, Skandinavien, Polen, Tschechien, Ungarn, Rumänien, Spanien, Russland, der Türkei, der Schweiz und

den BeNeLux-Ländern. Gemeinsam mit der Mutterfirma Quantum Design International Inc. und Schwesterfirmen in Amerika, Asien und Südamerika bildet LOT-QuantumDesign das einzig globale Distributorennetzwerk für Hochtechnologie-Instrumente.

Im Darmstädter Firmensitz von LOT-

QuantumDesign bieten wir unseren Kunden umfangreich ausgestattete Applikationslabore, in denen zahlreiche Geräte der von uns vertretenen marktführenden Hersteller für Probemesungen zur Verfügung stehen.

Die ISO 9001-Zertifizierung ist Ausdruck des Qualitätsanspruches in unserer täglichen Arbeit. Deshalb bietet LOT-QuantumDesign nur sorgfältig geprüfte Qualitätsprodukte an.

In unserer firmeneigenen Fachinformation „Spectrum“ informieren wir unsere Kunden vier Mal im Jahr über aktuelle Neuentwicklungen und Anwendungsmöglichkeiten unserer Produkte.

Oerlikon Leybold Vacuum GmbH

Bonner Straße 498 · 50968 Köln
Tel.: +49 (0)221 347-0 · Fax: +49 (0)221 347-1250
E-Mail: info.vacuum@oerlikon.com · www.oerlikon.com/leyboldvacuum

oerlikon
leybold vacuum

Innovative Vakuumtechnik für Ihren Erfolg.

Das Produktportfolio von Oerlikon Leybold Vacuum umfasst ein breites, innovatives Spektrum hochmoderner Vakuumkomponenten, die in Herstellungs- und Analyseverfahren sowie zu Forschungszwecken eingesetzt werden. Als Pionier der Vakuumtechnik verfügt Oerlikon Leybold Vacuum über umfassende Prozess- und Anwendungskenntnisse aus mehr als 165 Jahren Erfahrung und positioniert sich heute als einer der Weltmarktführer.



Kompetente Applikationsberatung, die Entwicklung und Produktion kundenspezifischer Systeme zur Vakuumerzeugung und Prozessgasförderung gehören ebenso dazu, wie umfassende After-Sales Services und vakuumtechnische Schulungen. Eine konsequente Orientierung auf die Kernmärkte Prozessindustrie, Beschichtungstechnik, Photovoltaik, Forschung, Entwicklung, Analysen- und Medizintechnik, Lebensmittel- und Verpackungstechnik sowie Informationstechnologie

kennzeichnet sich im frühzeitigen Erkennen von Trends in diesen Märkten und fördert die Entwicklung innovativer Produkte und Technologien mit hohem Kundennutzen.

Oerlikon Leybold Vacuum versteht sich als Dienstleister für zukünftige Entwicklungen der Hochtechnologie. Kundenspezifische Lösungen, auf die Anwendung zugeschnitten und für den Prozess optimiert, gehören zu den Kernkompetenzen. Das Wissen dafür steckt



in den Köpfen der Mitarbeiter, die auch das scheinbar unmögliche in Erwägung ziehen und dabei jedes Detail betrachten und das weltweit. Kundennähe, schnelle Kommunikation und lokal vorhandenes Know-how sind für Oerlikon Leybold Vacuum wesentliche Bestandteile für nachhaltige Kundenzufriedenheit. Daher verfügt Leybold über eines der weltweit größten Vertriebs- und Service-Netzwerke der Vakuumbranche mit hocheffizienten Produktionsstandorten in Europa und China.

Oxford Instruments Asylum Research Inc.

Borsigstrasse 15a · 65205 Wiesbaden
 Tel.: +49 (0)612-2937-0 · Fax: +49 (0)6151 8157 99
 E-Mail: sba.de.info@oxinst.com · Web: www.oxford-instruments.com/AFM



Oxford Instruments Asylum Research ist der führende Anbieter in der Rasterkraftmikroskopie.

Asylum Research Rasterkraftmikroskope (Atomic Force Microscopes) werden sowohl in akademischen wie auch in industriellen Forschungslaboratorien zur Analyse und Charakterisierung von Polymeren, Dünnschichtmaterialien, piezo- und ferroelektrischen Materialien, Zellen, Biomolekülen und biologischen Substanzen eingesetzt. Außerdem finden sie Anwendung in der Erforschung von neuen Wegen zur Energieerzeugung und Energiespeicherung, zwei-dimensionalen und niedrig dimensionierten Materialien (z. B. Graphen und Molybdädisulfid), sowie in der Bestimmung mechanischer Eigenschaften von biologischen Materialien.

Asylums MFP-3D™ und Cypher™ AFMs (Atomic Force Microscopes) bieten unübertroffene Leistungsfähigkeit und Vielseitigkeit. Es stehen eine Vielzahl von Techniken zum Messen elektrischer Eigenschaften im Nanobereich und zur Bestimmung von nanomechanischen Eigenschaften zur Verfügung.



Die Asylum MFP-3D Familie besteht aus vier unterschiedlichen Modellen, welche eine weite Spanne von Anwendungen und verschiedene Preiskategorien abdecken.

Das MFP-3D Infinity™ ist das Flaggschiff der Gruppe. Es bietet die höchste Leistungsfähigkeit, die einfachste Handhabung und die variabelsten Einsatzmöglichkeiten. Das MFP-3D Classic bietet in der mittleren Preiskategorie eine hohe Leistungsfähigkeit und Vielseitigkeit, welche die der meisten AFMs übersteigen. Das MFP-3D Origin ist das Basismodell und bietet die höchste Leistungsfähigkeit seiner Klasse, eine große Auswahl an Zubehör und flexible Möglichkeiten für Upgrades. Das MFP-3D-BIO bietet zusätzlich die Möglichkeit ein invertiertes optisches Mikroskop zu integrieren, um biologische und optische Anwendungen zu unterstützen.

Cypher ist das AFM mit dem höchste Auflösungen erzielt werden können. Sein leistungsstarker Scanner ist für eine hohe Scan Rate ausgelegt. Es ist in zwei Varianten erhältlich, als Cypher S und als Cypher ES Environmental AFM. Beide bieten das Abbilden mit höchster Auflösung im closed-loop Modus durch niedrigsten thermischen Drift und liefern somit die exaktesten Bilder, die heute möglich sind.

Cypher AFMs sind bei der Nutzung von kleinen Messspitzen mehr als 20-mal schneller als der Standard, besonders einfach in der Anwendung und bieten integrierte Kontrollmöglichkeiten gegen äußere thermische, akustische und vibrierende Einflüsse. Das Cypher ES bietet zusätzlich zur außergewöhnlichen Leistungsfähigkeit die Möglichkeiten, bei höchster chemischer Beständigkeit in Gas- und Flüssigkeitsumgebung zu messen und die Temperatur zu regulieren. Für beide Modelle ist Asylums blueDrive™ Option verfügbar, die durch photothermische Anregung der Messspitze stabilere und quantitative Abbildungen im Tapping Modus ermöglicht.

PCO AG

Donaupark 11 · 93309 Kelheim
 Tel.: +49 (0)9441 2005 50 · Fax: +49 (0)9441 2005 20
 E-Mail: info@pco.de · Web: www.pco.de

PCO wurde 1987 mit dem Ziel gegründet, schnelle und empfindliche Video-Kameras zu entwickeln, die den speziellen, hohen Anforderungen in wissenschaftlichen Anwendungen gerecht wurden. Mittlerweile umfasst der Produktbereich der PCO AG digitale Kamerasysteme mit hoher Dynamik, hoher Auflösung und niedrigem Rauschen, welche international sowohl in wissenschaftlichen als auch in industriellen Anwendungen eingesetzt werden.

PCO ist weltweit führender Hersteller von high-performance Kameras. Weltweite Repräsentanten, zusammen mit unserem Vertrieb und technischen Support, sorgen dafür, dass PCO nahe beim Kunden ist und die Bedürfnisse für die jeweilige



Anwendung versteht. Der aktuelle weite Bereich von spezialisierten Kamerasystemen ist das Ergebnis von technischer Herausforderung und produktspezifischem Know-how. Ein Design aufgrund

modernster Technik, ein hoher Standard in der Fertigung und strikte Qualitätskontrolle garantieren eine hohe Zuverlässigkeit der Kamerasysteme. Unsere eigenen Entwicklungen zusammen mit einem hervorragenden Kontakt zu führenden Herstellern von Bildsensoren sichern uns den Zugang zu State of the Art sCMOS, CMOS und CCD-Technologien für unsere Kameras.

PCO mit Hauptquartier in Süddeutschland und weiteren Niederlassungen in Nord-Amerika bzw. Singapur, bietet ein weltweit agierendes Vertriebs- und Supportnetzwerk und ist so in der Lage, high-performance Kamerasysteme für zielgerichtete Kundenanwendungen zu entwickeln.

pco.

Pfeiffer Vacuum GmbH

Berliner Straße 43 · 35614 Asslar
 Tel.: +49 (0)6641 802-0 · Fax +49 (0)6441 802-1202
 E-Mail: info@pfeiffer-vacuum.de · Web: www.pfeiffer-vacuum.com



Pfeiffer Vacuum steht weltweit für innovative und individuelle Vakuumlösungen, für technologische Perfektion, kompetente Beratung und zuverlässigen Service. Seit 1890 setzen wir damit Maßstäbe in der Vakuumtechnik.

Ein besonderer Meilenstein war die Erfindung der Turbopumpe vor mehr als 55 Jahren in unserem Hause. Nach wie vor sind wir Technologie- und Weltmarktführer auf diesem Gebiet. Dieser Führungsanspruch treibt uns auch zukünftig an.



Die Anforderungen unserer Kunden sind zumeist sehr komplex. Dabei spielt die Qualität immer die entscheidende Rolle. Unsere Vakuumlösungen werden durch enge Kooperation mit Kunden aus unterschiedlichen Branchen und kontinuierlicher Entwicklungsarbeit permanent optimiert.

Pfeiffer Vacuum ist der einzige Anbieter von Vakuumtechnik mit einem kompletten Produktportfolio: Vom einzelnen Bauteil über Lecksucher bis hin zum komplexen Vakuumsystem. Produkte und Lösungen von Pfeiffer Vacuum finden Anwendung in den Märkten Analytik, Industrie, Forschung & Entwicklung, Beschichtung und Halbleiter.

Die Hauptmärkte der Gesellschaft liegen in Europa, den USA und Asien.

Gegründet 1890, ist Pfeiffer Vacuum heute mit etwa 2.250 Mitarbeitern sowie über 20 Tochtergesellschaften weltweit aktiv.

PHOTON ENERGY GmbH

Bräunleinsberg 10 · 91242 Ottensoos
 Tel.: +49 (0)9123 99034-0 · Fax +49 (0)9123 99034-22
 E-Mail: info@photon-energy.de · Web: www.photon-energy.de

PHOTON ENERGY GmbH ist ein mittelständisches Unternehmen im Bereich der optischen Industrie mit Sitz im Fränkischen Ottensoos, im Herzen der Süddeutschen Metropolregion Nürnberg.

Wir haben uns spezialisiert auf die Entwicklung und Fertigung von Laserstrahlquellen und Lasermarkieranlagen für den Einsatz in vorwiegend industriellem Umfeld. Die kompakten nano- und pikosekunden DPSS-Laser sind als unabhängiges System oder als OEM Version erhältlich. Dazu setzen wir auf maßgeschneiderte Lösungen und kompetente, individuelle Kundenbetreuung. Dieses Konzept kombiniert mit solider Produktqualität ist die Basis unseres nachhaltigen Erfolges.

Vorraussetzung dafür sind nicht zuletzt modernste Fertigungsmethoden in unserem mit Reinräumen ausgestatteten



Produktionsgebäude, sondern auch eine entsprechend hohe Qualifizierung unserer Mitarbeiter. Kontinuierliche Schulung und ein angenehmes Arbeitsumfeld

sorgen für Motivation und Leistungsbereitschaft. Die PHOTON ENERGY GmbH ist zertifiziert nach ISO 9001 / 13485.



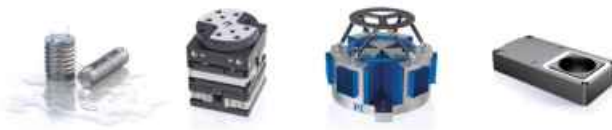
Physik Instrument GmbH & Co. KG

Auf der Römerstraße 1 · 76228 Karlsruhe
 Tel.: + 49 (0)721 4846-0 · Fax: +49 (0)721 4846-1019
 E-Mail: info@pi.de · Web: www.pi.de

PI

Weltweit ist kein anderes Unternehmen in der Präzisionspositionierung technologisch breiter aufgestellt als die PI Gruppe. Mehr als vier Jahrzehnte kontinuierliches Wachstum und stetig steigende Marktpräsenz durch die Entwicklung neuartiger Antriebskonzepte, Produkte und Systemlösungen kennzeichnen das Unternehmen.

Über 850 Mitarbeiter und eigene Gesellschaften in 12 Ländern versetzen die PI Gruppe heute in die Lage, fast jede Anforderung aus dem Bereich der Mikro- und Nanostelltechnik zu erfüllen. Piezoaktorik, unterschiedliche piezomotorische Antriebsprinzipien, magnetische Antriebe und Führungen, Nanometrologie-Sensoren und digitale Regler – die technologische Breite, auf die PI zurückgreifen kann, erlaubt immer einen Lösungsansatz, der nicht von vornherein auf bestimmte Technologien begrenzt ist. PI entwickelt alle Produktkomponenten



selbst, von piezokeramischen Werkstoffen über das mechanische Design und die Sensorik bis hin zur Auslegung der Elektronik und Software. Auf alle Parameter kann eingegriffen werden, um bis an die Grenze des Machbaren gehen zu können und so die Kundenanforderungen zu realisieren. Dabei setzt PI von der Idee bis zum fertigen Produkt auf eine enge technische Zusammenarbeit mit dem Kunden. Service und Support auch nach der Auslieferung sind selbstverständlich.

Die Palette der Produkte reicht vom reinen Aktor oder Sensor bis hin zu

parallelkinematischen Sechssachs-Positionierern und der Integration von Subkomponenten zu kompletten Systemlösungen.

Die dafür erforderliche Evaluierung ist im Entwicklungsprozess ebenso verantwortlich wie die entsprechenden Testverfahren, die Produktionsprozesse und das Qualitätsmanagement. Antriebs- und Positionierlösungen der PI Gruppe machen den wesentlichen Unterschied zum „Stand der Technik“ aus und sind für Kunden unerlässlich, um nicht nur erfolgreich am Markt bestehen zu können, sondern auch immer einen Schritt voraus zu sein.

piezosystem jena GmbH

Stockholmer Straße 12 · 07747 Jena
 Tel.: +49 (0)3641 6688-0 · Fax: +49 (0)3641 6688-66
 E-Mail: info@piezोजना.com · Web: www.piezosystem.de

piezosystemjena
incredibly precise

piezosystem jena ist ein weltweit führendes Unternehmen in der Entwicklung, Konstruktion und im Engineering von piezoelektrischen Aktoren.

Diese Positioniersysteme sind ideal für die Mikro- und Nanopositionierung und die Nanoautomatisierung. Die Systeme, mit einer herausragenden Genauigkeit im sub-nanometer-Bereich, können Kräfte bis zu einigen tausend Newton entwickeln und erreichen in Mikrosekunden eine präzise Positionierung.

piezosystem jena bietet Lösungen von 1- bis 5-Achsen-Positionierern, Greifern, Spiegelkippsystemen, optischen Faserschaltern, Shuttern, Rotationstischen,



Objektivpositioniersystemen und Piezoaktoren an.

piezosystem jena entwickelt und produziert darüber hinaus neuartige Piezocomposite-Aktoren in diskreter Fügetechnik.

Diese Aktoren können schnelle Stöße (Stoßgeneratoren) und Vibrationen erzeugen. Anwendungen sind Materialuntersuchungen, Schwingungsanregungen sowie weitere Anwendungen bei denen hochdynamische Stöße und große Kräfte (bis 50kN) benötigt werden.

Mehr Informationen über Systeme für die Nanopositionierung finden Sie unter: www.piezosystem.de

Mehr Informationen über die Produktserie Piezocomposite – Hochlast Piezoaktoren in Stapelbauweise finden Sie unter: www.piezosystem.de/produkte/piezocomposite/

PINK GmbH Vakuumtechnik

Gyula-Horn-Str. 20 · 97877 Wertheim
Tel.: +49 (0)9342-872-0 · Fax: +49 (0)9342/872-111
E-Mail: info@pink-vak.de · Web: www.pink-vak.de

PiNK®

PINK - Maßgeschneiderte Produkte vom Technologieführer

PINK GmbH gehört zu den weltweit führenden Unternehmen auf dem Sektor der Ultrahoch-Vakuumtechnik. Das 1986 von Friedrich Pink gegründete Unternehmen konnte in den vergangenen Jahren durch konsequente Kundenorientierung kontinuierlich wachsen. PINK beschäftigt derzeit ca. 230 Mitarbeiter und liefert Anlagen und Systeme nach Kundenspezifikation an namenhafte internationale Technologieunternehmen u.a. aus der Halbleiter- und Elektronikindustrie, der optischen Industrie, der Medizintechnik, der Luft- und Raumfahrt sowie der Wissenschaft und Forschung.

Im vergangenen Jahr hat PINK neue, hochmoderne Reinräume aufgebaut und bietet Reinigungs-, Montage- und Verpackungsservices sowie hochgenaue



Prüfverfahren an. Für letztere steht neben ausheizbaren Pumpständen auch eine Restgasanalysekammer zur Verfügung. PINK hat hierfür ein neues, in den Reinraum integriertes Ultrahoch-Vakuumsystem entwickelt. Mit dem eingebauten hochempfindlichen Quadrupol-Massenspektrometer kann die Reinheit/Sauberkeit der Bauteile, wie z. B. UHV-

oder XHV-Kammern über eine Restgasanalyse (RGA) qualifiziert werden. Es können Restgase mit Massen von 1-512 u automatisch gemessen und dokumentiert sowie auch Desorptionsratenmessungen durchgeführt und bewertet werden.

PINK betrachtet es als Herausforderung, die Anforderungen der Kunden sorgfältig zu analysieren und optimale Produkte zu entwickeln: Dabei wird großer Wert auf die Zuverlässigkeit, Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit der Anlagen und der verwendeten Komponenten gelegt. Die Leistungen von PINK beginnen bei der Beratung, Planung und Projektierung und reichen über die Konstruktion und Produktion bis hin zur Lieferung, Montage, Inbetriebnahme, Schulung und einem zuverlässigen Service. Der Name PINK steht für Qualität und Präzision in allen Bereichen der Vakuumtechnik.

Schäfter+Kirchhoff GmbH

Kieler Str. 212 · 22525 Hamburg
Tel.: +49 (0)40 853 997 0 · Fax +49 (0)40 853 997 79
E-Mail: info@SuKHamburg.de · Web: www.SuKHamburg.de

Schäfter+Kirchhoff GmbH
OPTICS, METROLOGY, AND PHOTONICS

Schäfter+Kirchhoff wurde vor rund 50 Jahren als Ingenieurbüro für Optik-Entwicklung gegründet. Heute verteilen sich die Produkte von Schäfter+Kirchhoff im Wesentlichen auf drei Produktlinien: polarisationserhaltende Faseroptikkomponenten, Zeilenkameras und Laserliniengeneratoren, die ihren Einsatz in Forschung, Luft- und Raumfahrt und bei medizinischen und industriellen Anwendungen finden.

Hohe Qualität, Pointing-Stabilität, Effizienz und Langzeit-Stabilität stehen bei der Entwicklung und Produktion unserer Faseroptikkomponenten im Vordergrund. Für den Wellenlängenbereich von 350–1700 nm (eine Erweiterung auf bis zu 2200 nm ist in Planung) bieten wir unter anderem polarisationserhaltende Fasern, Laserstrahlkoppler, Faserkollimatoren, fasergekoppelte Laserstrahlquellen sowie Messtechnik (Polarisationsanalysator) an.



Das Fiber Port Cluster und Kollimatoren mit integrierter Viertelwellenverzögerungsoptik sind weltweit in quantenoptischen Experimenten im Einsatz. Laser und Faseroptikkomponenten werden in modernen Reinraumlabor gefertigt.

Für aussagekräftige Bildaufnahmen ist die Auswahl der richtigen Beleuchtung

und der richtigen Zeilenkamera entscheidend. Diese sind mit einer Vielzahl von Sensoren (monochrom, RGB und TDI) und verschiedenen Schnittstellen (unter anderem USB 3.0, GigE oder Camera-Link), sowie Zubehör und Software erhältlich. Eine große Auswahl an Laserliniengeneratoren ergänzt unsere Produkte für Machine Vision. Die Laserliniengeneratoren sind mit unterschiedlichen, definierten Geometrien erhältlich.

Schäfter+Kirchhoff zeichnet sich neben hoher Qualität durch eine große Produktvielfalt aus. Gerade bei kundenspezifischen Lösungen können wir auf eine große, breite Erfahrung zurückgreifen. Diese reicht von Zeilenkamerasystemen für den Einsatz in der Antarktis bei -50°C , über die Visualisierung von Schweißprozessen, hin zu Faseroptikkomponenten für Weltraumapplikationen.

SPECS Surface Nano Analysis GmbH

Voltastraße 5 · 13355 Berlin
 Tel.: +49(0)304 678 240 · Fax: +49(0)304 642 083
 E-Mail: info@specs.com · Web: www.specs.com

SPECS Surface Nano Analysis ist ein führender Hersteller von Komponenten und Systemen für die Oberflächenanalytik mit mehr als 150 Mitarbeitern am Firmensitz in Berlin, die sich mit dem Design und der Herstellung wissenschaftlicher Geräte für die Nanotechnologie, Mikroelektronik, Materialwissenschaft und für angrenzende Gebiete beschäftigen. Seit über 25 Jahren sind das Know-how der Mitarbeiter, die weltweiten Kontakte zu Wissenschaftlern, die Kundenorientierung und eine strenge Qualitätskontrolle die Schlüssel zum nachhaltigen Erfolg von SPECS. Zusammen mit Tochterfirmen und Verbindungsbüros in Zürich/Schweiz, Mansfield/USA, Peking/China, Eindhoven/Niederlande und Barcelona/Spanien und einem internationalen Netzwerk von Vertriebs- und Servicepartnern steht SPECS ständig zur weltweiten Unterstützung der Kunden bereit.

Ursprünglich nur im Ultrahochvakuum anwendbar, entstand in den letzten



Jahren der Wunsch, die oberflächenanalytischen Methoden auch in der Katalyse, auf Fest-Flüssig-Grenzflächen und in der Biologie anzuwenden. SPECS hat sich in dem Feld durch vielfältige Entwicklungen zu dem führenden Anbieter entwickelt. Als neuestes Produkt wurde das EnviroESCA™ vorgestellt, welches die voll-automatisierte und schnelle XPS-Analyse von Proben in Drücken bis zu ca. 100 mbar ermöglicht.

Mit dem SPM Aarhus bietet SPECS eine Serie von Rastersondenmikroskopen unübertroffener Stabilität und Produkti-

vität, welche atomare Auflösung in einem weiten Temperatur- und Druckbereich erlaubt. Diese Mikroskope werden von den höchstpräzisen NANONIS Kontrollsystemen angesteuert, die auch an nahezu alle Fremdgeräte adaptierbar sind.

Mit dem neuen Nanonis Tramea™ steht zudem ein vollintegriertes Messgerät für elektrische Quantentransportmessungen zur Verfügung.

Das - in Zusammenarbeit mit IBM entwickelte - Niederenergie-Elektronenmikroskop FE-LEEM P90 erlaubt in situ Untersuchungen dynamischer Prozesse, z.B. das Wachstum von Oberflächenstrukturen in einzigartiger Auflösung.

Die erwähnten Instrumente sind nur Beispiele aus der Vielzahl der SPECS-Produkte, die den Anwendungsbereich der Methoden kontinuierlich erweitern und revolutionieren.

SPECS™

TOPTICA Photonics AG

Lochhamer Schlag 19 · 82166 Gräfelfing
 Tel.: +49 (0)89 858 37 - 0 · Fax: +49 (0)89 858 37 - 200
 E-Mail: info@toptica.com · Web: www.toptica.com

Die TOPTICA Photonics AG entwickelt, fertigt und vertreibt anspruchsvolle Laser und Lasersystemlösungen für verschiedenste Anwendungsbereiche aus Industrie und Forschung.

Als mittelständisches Unternehmen mit derzeit etwa 200 Mitarbeitern - darunter mehr als die Hälfte Ingenieure und Physiker - setzen wir neue Forschungsergebnisse schnell in Produkte um und erarbeiten kundenspezifische Lösungen. Unsere Kernkompetenzen liegen dabei in der Nutzung von Laserdioden als hochpräzise Lichtquellen, in der Erzeugung ultrakurzer Pulse mit Faserlasern, im



Terahertz-Systemdesign und in neuartiger Frequenzkamm-Technologie. TOPTICA Lasersysteme werden ausschließlich am Firmensitz in Gräfelfing im Westen Münchens entwickelt und gefertigt, von wo aus wir unsere Kunden

in der ganzen Welt versorgen. Durch eine Niederlassung in Rochester, NY, USA und ein weltweites Netzwerk von Distributoren gewährleisten wir international umfassenden Service und schnelle Reaktionszeiten.

Unter unseren Kunden befinden sich HighTech-Firmen aus den Bereichen Biotechnologie, Halbleiterfertigung und Messtechnik sowie alle bekannten Universitäten und Forschungsinstitute, darunter ein Dutzend Nobelpreisträger. Alle schätzen die Leistungsfähigkeit und Langlebigkeit unserer Systeme sowie die hohe Zuverlässigkeit und Stabilität.



WITec GmbH

Lise-Meitner-Str. 6 · 89081 Ulm
Tel.: +49 (0)731 140 700 · Fax: +49 (0)731 140 70 200
E-Mail: info@WITec.de · Web: www.WITec.de

Die WITec GmbH entwickelt und liefert innovative nano-analytische Mikroskop-Systeme und ist einer der führenden deutschen Hersteller von konfokale Raman Imaging sowie Rasterkraft- und Nahfeld Mikroskopen (SNOM). Entsprechend des Slogans „Focus Innovations“ basiert der Erfolg von WITec auf der stetigen Entwicklung neuer Technologien rund um die hochauflösende Mikroskopie.

Die meisten Kunden kommen aus verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen, haben aber eines gemeinsam: Für ihre Arbeit an der Front der Forschung benötigen sie äußerst exakte und qualitativ hochwertige Mikroskope. In der Industrie werden die Geräte in der Qualitätskontrolle oder zur Überprüfung von Herstellungsprozessen verwendet.

Zur Identifikation der chemischen Zusammensetzung einer Probe hat WITec

ein konfokales 3D Raman Imaging Mikroskop in verschiedenen Ausführungen im Programm. An jedem Bildpunkt wird ein Raman Spektrum aufgenommen. So lässt sich bildlich darstellen, welche Moleküle sich wo in der Probe befinden. WITec Raman-Mikroskope erreichen eine unvergleichlich hohe Empfindlichkeit bei einer räumlichen Auflösung von ca. 200 nm.

Die besondere Stärke der WITec-Mikroskope liegt darin, dass sich unterschiedliche Imaging-Verfahren in einem Instrument vereinen lassen: Mit einem ins Raman-System integrierten Rasterkraftmikroskop (AFM) kann das chemische Imaging mit der hochauflösende Oberflächenstruktur-Analyse kombiniert werden. Der Wechsel zwischen den Imaging-Techniken erfolgt ganz einfach durch Drehen des Objektivrevolvers. Kombinationen mit SNOM- oder TERS-

Aufbauten sind ebenfalls möglich.

Eine besonders interessante Innovation ist die RISE-Mikroskopie (Raman Imaging & Scanning Electron Microscopy): Mit ihr lassen sich Informationen über Ultrastruktur, Oberfläche und molekulare Bestandteile an derselben Probenstelle messen und diese Daten miteinander in Beziehung setzen. Ein schneller und nutzerfreundlicher Wechsel zwischen Raman- und SEM-Messungen und ein automatisierter Proben-transfer zwischen den beiden Messpositionen innerhalb der SEM-Vakuumkammer erlauben die präzise Korrelation der Messergebnisse mittels Raman-SEM Bild-Überlagerungen.



Zurich Instruments AG

Technoparkstraße 1 · 8005 Zürich, Schweiz
Tel +41 (0)44 515 0410 · Fax +41 (0)44 515 0419
E-Mail: info@zhinst.com · www.zhinst.com

Zurich Instruments ist Technologieführer für Lock-In Verstärker, Phase Locked Loops, Boxcar Averager, AWGs und Impedanz Analysatoren. Die Messgeräte werden von den weltweit führenden Forschungsgruppen und High-Tech Unternehmen eingesetzt.

Die Messgeräte von Zurich Instruments bieten beste Spezifikationen durch ein exzellent abgestimmtes analoges Frontend in Kombination mit einer schnellen und hochauflösenden digitalen Signalverarbeitung. Darüber hinaus ermöglicht das zugehörige Softwarepaket LabOne eine plattform-unabhängige und intuitive Bedienung.

Für diese Geräteklasse einzigartig; es können Signale im Signalbereich von DC bis 600 MHz gemessen und erzeugt werden. Das Produktangebot umfasst die folgenden Geräteklassen:

1. Lock-In Verstärker - für Nieder-, Mittel und Ultrahochfrequenzbereich



2. Phase Locked Loops - für anspruchsvolle AFM- und Laseranwendungen
3. Impedanz Analysatoren - für akurate und schnelle Messungen
4. Arbitrary Waveform Generator - für die Erzeugung und gleichzeitige Aufzeichnung komplexer Signale

Unübertroffene Funktionsvielfalt

Alle Instrumente enthalten standardmäßig ein Oszilloskop, einen universellen Parameter Sweeper (FRA, Bode-Plots), einen oder mehrere Signalgeneratoren, sowie einen FFT-Spektralanalysator. Die Gerätefunktionalität kann zudem durch folgende Upgrades erweiterte werden: PID-Regler, PLL, Seitenbandanalysator,

Boxcar Averager, Arbitrary Waveform Generator und Digitizer Funktionalität.

Durch die gleichzeitige Signalanalyse sowohl im Frequenzbereich als auch im Zeitbereich ergeben sich nicht nur neue Messansätze, sondern auch die Möglichkeit die Komplexität vieler Versuchsaufbauten zu reduzieren.

Flexible und intuitive Bedienung

Das innovative Bedienkonzept der LabOne Bedienoberfläche visualisiert die Signalverarbeitungsprozesse als Flussdiagramm und reduziert damit Bedienfehler auf ein Minimum. Die Darstellung der Messresultate und Steuerung der Geräte erfolgt plattformunabhängig von fast jedem Gerät (PC, Mac, Tablet, etc.), das über einen aktuellen Webbrowser verfügt. Die Einbindung in bestehende Messsoftware erfolgt mühelos über die mitgelieferten APIs für LabVIEW, MATLAB, C++ und Python.



Zurich
Instruments

Radiant Dyes auf der DPG-Tagung in Hannover

Nachdem die Firma *Radiant Dyes Laser Acc. GmbH* durch die Präzision ihrer Spiegelhalter unter die besten Lieferanten weltweit zählt, hat man sich dazu entschieden, die Rotationselemente und Verschiebetische weiterzuentwickeln. Auf der DPG-Tagung in Hannover werden die neuen Produkte aus dem opto-



mechanischem Programm vorgestellt: Ein hochpräziser Rotation-Mount mit 360°-Skala, ein modifizierter motorisierter Rotation-Mount (wahlweise 90° und 180° Verstellweg), ein doppelter bzw. vierfacher Rotation-Mount für Strahlteiler, verschiedene Cage-Systeme für MXI-Spiegelhalter usw.

■ Radiant Dyes Laser & Acc. GmbH
Friedrichstr. 58
42929 Wermelskirchen
Tel.: +49 (0)2196 81061
Fax: +49 (0)2196 3422
E-Mail: info@radiant-dyes.com
Website: www.radiant-dyes.com
DPG-Tagung Hannover, Lichthof,
Stand 18/19

Dual-Rotating-Compensator-Ellipsometer

Hersteller: Woollam.

Vertrieb: LOT-QuantumDesign.

Angebot: Dual-Rotating-Compensator-Ellipsometer „RC2“ mit erweitertem Spektralbereich (NIR-Option bis 2400 nm).

Merkmale: Es handelt sich dabei um das bewährte „RC2“-Ellipsometer mit identischer Messgeschwindigkeit und derselben „CompleteEASE“-Software, jedoch mit zusätzlichen Wellenlängen bis ins Infrarot. Außerdem wird der gesamte Spektralbereich mit CCD-Technik simultan aufgenommen.

Eine weitere neue Version ist das Ellipsometer „Focused RC2-XF“. Es ermöglicht Messungen mit hoher lateraler Auflösung, z. B. bei Produktions-Wafern,



die sehr häufig strukturiert sind; aber auch bei anderen Proben mit kleinen Strukturen, Inhomogenitäten usw. ist es hilfreich, mit sehr kleinem Messfleck die Probe automatisiert abzurastern. Das Gerät bietet eine Kombination aus kleiner Spotgröße (Strahldurchmesser 25 µm), schneller Datenerfassung und sehr breitem Spektralbereich. Das patentierte Verfahren zur Datenerfassung des „RC2“ erlaubt die simultane Messung des gesamten Spektrums mit über 1000 Wellenlängen vom UV bis zum nahen Infrarot in lediglich 0,3 Sekunden.

■ LOT-QuantumDesign GmbH
Im Tiefen See 58
64293 Darmstadt
Tel.: +49 (0)6151 8806-0
Fax: +49 (0)6151 8806-64
E-Mail: info@lot-qd.de
Website: www.lot-qd.com/de
DPG-Tagungen
Hannover, Lichthof, Stand 48
Regensburg, Foyer Audimax, Stand 54

PRODUKT DES MONATS

Arbitrary-Waveform-Generator und Messinstrument

Hersteller: Zurich Instruments.

Angebot: Arbitrary-Waveform-Generator UHF-AWG 1.8 GSa/s für die Erzeugung und gleichzeitige Aufzeichnung komplexer Signale. Auf jeweils zwei Kanälen können Signale von DC bis 600 MHz mit einer vertikalen Auflösung von 14 Bit ausgegeben und erfasst werden. AWG-Pulssequenzen kann man, basierend auf Messresultaten der Demodulation oder des Photon-Counters, in Echtzeit variieren.

Merkmale: Beliebige Kurvenformen lassen sich bis zu einer Länge von 128 MSa erzeugen und abspielen. Diese Signale können auch zur Modulation der bis zu acht internen Oszillatoren verwendet werden. Das garantiert perfekte Phasenkohärenz und bei interner Triggerfunktion eine exakte Synchronisierung mit dem gemessenen Signal. Dank umfangreichen Sweeper- und Triggerfunktionen lassen sich alle relevanten Signalparameter wie Frequenzen, Verzögerungen und Amplituden jederzeit komfortabel einstellen. Weiter erlauben die zwei rauscharmen Signaleingänge nicht nur die Detektion der daraus resultierender Signale, sondern auch die direkte Verifizierung der programmierten Pulssequenzen. Zusätzlich kann auf die umfangreichen Analysewerkzeuge der UHF-Plattform zurückgegriffen werden: den weltweit schnellsten digitalen Lock-in Verstärker, den UHF-BOX Boxcar-Averager und den UHF-DIG-Digitizer. Der AWG ist vollständig in die Gerätesteu-



erungssoftware LabOne integriert und lässt sich einfach mittels Browser-basierter Benutzeroberfläche ansteuern. Zusätzlich erlauben die LabOne-APIs eine mühelose Integration in bestehende Experimentsteuerungen wie LabVIEW, MATLAB, Python und C.

Anwendungen: Der AWG eignet sich besonders für Anwendungen, die gepulste Anregungen mit schnellen Messungen kombinieren: Quantum Computing, NMR- und EPR-Spektroskopie, Radar/Lidar, Photon Counting und Tests von Mischsignal-Schaltkreisen.

■ Zurich Instruments AG
Technoparkstrasse 1
8005 Zürich, Schweiz
Tel.: +41 44 5150410
Fax: +41 44 5150419
E-Mail: info@zhinst.com
Website: www.zhinst.com
DPG-Tagungen
Hannover, Lichthof, Stand 56
Regensburg, Foyer Audimax, Stand 56

Steuerelektronik für Rastersondenmikroskope

Hersteller: SIGMA Surface Science.

Angebot: Steuerelektronik „SXM Controller“ für Rastersondenmikroskope. Das System umfasst die Hardware incl. Scannerzeugung, Regelung und Hochspannungsversorgung sowie ein umfangreiches Softwarepaket für Rastertunnel- und „qPlus“-AFM-Experimente.

Merkmale: Der Controller ermöglicht sowohl die Abbildung großer Bereiche für Übersichtsaufnahmen oder raue Strukturen als auch die atomare Auflösung von Oberflächen mit Korngrenzen im pm-Bereich und anspruchsvolle Spektroskopie- (dI/dU , $df(z)$, d^2I/dU^2 , ...) und Nanomanipulations-Experimente. Enthalten sind ein 24-bit-A/D- und D/A-Wandler, umfangreiche und intuitiv bedienbare Software (einfaches und zugängliches Datenformat), 22-bit-Wandler



für Z, Auswertesoftware, BNC/SHV-Signal-Ein- und Ausgänge. Die Elektronik enthält softwaregesteuerte Lock-In-Verstärker für hochauflösende Spektroskopie und kann zusätzlich mit einem Phasenregelkreis (PLL) für „qPlus“-Messungen

ausgestattet werden. Softwarefunktionalitäten wie Oszilloskop und FFT-Analyse erleichtern die tägliche Arbeit. Für die experimentelle Flexibilität jenseits implementierter Software Routinen besteht die Möglichkeit, makrogesteuerte Abläufe einzubinden.

■ SIGMA Surface Science GmbH

Idsteiner Str. 78

65232 Taunusstein

Tel.: +49 (0)6128 85905-0

Fax: +49 (0)6128 85905-200

E-Mail: sales@sigma-surface-science.com

Webseite: www.sigma-surface-science.com

DPG-Tagung Regensburg, Foyer
Audimax, Stand 47

MDC Vacuum übernimmt CVT

Der amerikanische Hersteller von Vakuumsystemen und -komponenten mit Sitz in Hayward, Kalifornien, hat Ende Januar durch die Übernahme des englischen Herstellers *CVT Ltd.* aus Milton Keynes ihre Produktionsbasis in Europa verstärkt. Mit der Übernahme entstand nach Aussage des CEO eine „voll integrierte Plattform für Europa“. Nach seinen Worten soll sich MDC zu dem preiswerten, qualitativsten

und innovativsten Unternehmen der Vakuumbranche weiterentwickeln. Dabei werde besonderer Wert auf ausgezeichneten Service und technisch herausragende Produkte gelegt. – Der technische Vertrieb in D-A-CH-Staaten, der Tschechischen Republik und Polen ist in Castrop-Rauxel angesiedelt.

■ MDC Vacuum Ltd., Tech. Vertrieb
Am Rotdorn 39

44577 Castrop-Rauxel

Tel.: +49 (0)2305 947 508

Fax: +49 (0)2305 947 510

E-Mail: sales@mdcvacuum.de

Website: www.mdcvacuum.de

DPG-Tagung Regensburg, Foyer
Audimax, Stand 88

PRODUKT DES MONATS

Rauscharmer Frequenzkamm mit neuartiger CERO-Technologie

Hersteller: TOPTICA.

Angebot: Frequenzkamm „DFC-CORE“ in einem kompakten 19“-kompatiblen Gehäuse, in dem sowohl sämtliche optischen Komponenten als auch die Steuerelektronik untergebracht sind.

Merkmale: Das faserbasierte System erzeugt ein Ausgangssignal bei einer Wellenlänge von 1550 nm, das durch Differenzfrequenzzeugung (DFG) automatisch eine Offset-Frequenz von Null hat. Im Gegensatz zu herkömmlichen Frequenzkämmen ist dadurch keine aktive Stabilisierung der Offset-Frequenz notwendig; dabei wird eine intrinsische Offset-Phasenstabilität von 32 mrad erreicht. Bei Stabilisierung auf eine RF-Referenz liegt die Stabilität bei 1 s deutlich unter $1 \cdot 10^{-13}$, ein Wert, der von keinem anderen kommerziellen System erreicht wird.

Der neue Frequenzkamm ist eine ideale Ergänzung zum bisherigen Produktspektrum des Herstellers. Insbe-



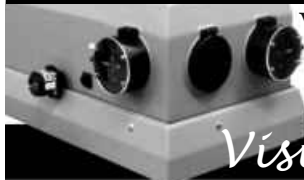
sondere im Paket mit schmalbandigen, durchstimmbaren Dauerstrichlasern kann der Frequenzkamm sein Potenzial als Referenz für Frequenzen voll ausspielen. Durch Konvertierungsmodule kann der gesamte Wellenlängenbereich von 420 bis 2200 nm mit mehreren Ausgängen abgedeckt werden, sodass dort komplette, frequenzstabilisierte Lasersysteme in unterschiedlichen Kombinationen verfügbar sind.

Anwendungen: Als äußerst rauscharme und verlässliche Frequenzreferenz eignet sich der Frequenzkamm ideal für hochauflösende Spektroskopie, optische Uhren, Mikrowellenerzeugung oder Frequenzkammspektroskopie. Auch als CEP-stabiler Seeder für OPCPA-Systeme ist er bestens geeignet. In seiner Variante als DFC-SEED stellt er drei aus einem Oszillator generierte CEP-stabile Ausgänge bei 1030 nm, 1550 nm und 2 μ m bereit.

■ TOPTICA Photonics AG
Lochhamer Schlag 19
82166 Gräfelfing
Tel.: +49 (0)89 85837-0
Fax: +49 (0)89 85837-200
E-Mail: info@toptica.com
Website: www.toptica.com

DPG-Tagungen
Hannover, Lichthof, Stand 20/21
Regensburg, Lichthof Recht und Wirtschaft, Stand 7

Monochromators & Imaging Spectrometers



Visible - IR - Vacuum UV - EUV - Soft X-ray
Call 1-978-256-4512, 1-978-250-8625 fax

McPHERSON

Visit McPhersonInc.com

Quadrupol mit 20-mm-Stabsystem

Hersteller: Hiden Analytical.

Angebot: Quadrupol „DLS-20“ mit einem Stabdurchmesser von 20 mm, der neue Maßstäbe bei der Performance von Massenspektrometern setzt.

Merkmale: Die Neuentwicklung im Triplefilter-Design bietet eine außerordentliche Auflösung im niedrigen Massebereich und eine optimierte Massendiskriminierung im hohen Massebereich. Das Gerät ist ausgelegt für den Betrieb



im ersten oder zweiten Stabilitätsbereich. Ionenquellen für XHV, Crossbeam oder Laser sind in Edelstahl, Gold oder Platin verfügbar. –

Hiden Analytical Ltd. konzipiert und produziert seit über 30 Jahren Hochleistungsmassenspektrometer für anspruchsvollste Aufgaben in den Bereichen Gasanalyse, RGA, SIMS, Plasmaanalyse, MBE, TPD und viele weitere mehr.

■ Hiden Analytical
Vertretung für D-A-CH: Vacua GmbH
Niedmannweg 13
82431 Kochel am See
Tel.: +49 (0)8857 69301
Fax: +49 (0)8857 69302
E-Mail: info@hiden.de
Website: www.hiden.de

DPG-Tagung Darmstadt, Stand 1

Stabile optische Tieftemperaturmessungen

Hersteller: Montana Instruments.

Vertrieb: LOT-QuantumDesign.

Angebot: „Agile Temperature Stage“ für die exakte Positionierung der Probe und thermische Stabilität bei optischen Tieftemperatur-Messungen, die eine Drift zwischen 4 K bis 350 K verhindert.

Merkmale: Eine Temperaturänderung bei optischen Messungen mit hoher numerischer Apertur (NA) führt häufig zum Verlust des Fokus aufgrund von Drift oder die Verschiebung von interessanten Strukturen auf der Probe in Bereiche außerhalb des Abbildungsfelds. Die „Agile Temperature Stage“ ist ein integ-



riertes Bauteil, das viele Technologien in einem System vereint. Die einzigartige Aufhängung optimiert die mechanische Stabilität und Steifigkeit der Plattform und liefert dabei die thermische Leistung, die für schnelle Temperaturwechsel benötigt wird. Die Aufhängung reduziert die thermische Kontraktion auf $< 30 \mu\text{m}$ über den gesamten Temperaturbereich von 4 bis 350 K. Dank dieser Technologie ist eine Refokussierung nach kleinen Temperaturänderungen nicht länger nötig. Außerdem ist sichergestellt, dass der optimierte Fokus auch über eine längere Messzeit hinweg stabil bleibt.

■ LOT-QuantumDesign GmbH
Im Tiefen See 58
64293 Darmstadt
Tel.: +49 (0)6151 8806-0
Fax: +49 (0)6151 8806-64
E-Mail: info@lot-qd.de
Website: www.lot-qd.com/de
DPG-Tagungen
Hannover, Lichthof, Stand 48
Regensburg, Foyer Audimax, Stand 54

Hochauflösendes UHV-Rastersondenmikroskop

Hersteller: SIGMA Surface Science.

Angebot: Hochauflösendes UHV-Rastersondenmikroskop „Stream SPM“ für STM, NC-AFM (qPlus) und SPM-Spektroskopiemessungen. Es vereint die Vorteile eines kostengünstigen Durchflusskryostaten mit den attraktiven Ei-



genschaften eines Tieftemperatur-SPMs. Das Gerät wurde für Messungen bei Temperaturen von $< 10 \text{ K}$ bis 420 K entwickelt. Der Kryostat ermöglicht den Betrieb mit flüssigem Helium ($< 10 \text{ K}$) oder mit kostengünstigem flüssigen Stickstoff ($< 100 \text{ K}$).

Merkmale: Das integrierte Sondenmikroskop „Tribus“ besitzt einen X-, Y-, Z-Motor zur Spitzen- und Probennavigation, eine hohe mechanische Stabilität und zahlreiche Zugänge für die Beobachtung und das Bedampfen der Probe im Gerät. Das einfache Proben- und Spitzenhandling, die geringen Geräteabmessungen sowie der hohe Grad an Kompatibilität zu herkömmlichen UHV-Transfersystemen ermöglichen die Integration in nahezu jedes UHV-System, von kompakten und sehr leistungsfähigen UHV-Systemen bis zu aufwendigen Multi-Technique-UHV-Systemen. Der Anschluss an existierende Standard-UHV-Systeme ist ebenfalls möglich.

■ SIGMA Surface Science GmbH
Idsteiner Str. 78
65232 Taunusstein
Tel.: +49 (0)6128 85905-0
Fax: +49 (0)6128 85905-200
E-Mail: sales@sigma-surface-science.com
Webseite: www.sigma-surface-science.com

DPG-Tagung Regensburg, Foyer Audimax, Stand 47

Mobile Nahinfrarot-Spektroskopie bis 2,5 μm

Hersteller: RGB Photonics.

Angebot: Ultrakompaktes NIR-Spektrometer „Qred“ mit gekühltem InGaAs-Bildsensor für Spektralbereiche zwischen 900 und 2500 μm , hoher Empfindlichkeit und leistungsfähiger Elektronik zum Prozessieren der Spektren im Gerät.

Merkmale: Das voll leistungsfähige NIR-Spektrometer ist in einem Gehäuse mit einer Grundfläche kleiner als eine Kreditkarte untergebracht. Im Gegensatz zu einfachen Fabry-Perot-Interferometern ist es mit einer lichtstarken Czerny-Turner-Optik, einem gekühlten InGaAs-Bildsensor und einer leistungsfähigen Elektronik ausgestattet, die komplett prozessierte Spektren liefert und anwendungsspezifische Auswertungen erlaubt. Auflösung, Spektralbereich und Empfindlichkeit sind nach Anforderung des Kunden konfigurierbar. Das Gehäusedesign ohne bewegliche Teile ermöglicht eine optimale Wärmeableitung ohne Lüfter, hohe ther-



mische Stabilität und einen zuverlässigen Betrieb über lange Zeiträume. Dabei wird es zu einem sehr günstigen Preis angeboten. –Entwickelt und produziert wird das Spektrometer in Deutschland durch RGB Photonics (ehemals RGB Lasersysteme). Neben Lasern und Spektrometern entwickelt das Unternehmen in enger Zu-

sammenarbeit mit OEM-Partnern auch hochintegrierte photonische Baugruppen, die Lichterzeugung und Detektion auf engstem Raum kombinieren.

Anwendungen: Das Spektrometer ermöglicht erstmals die Integration von leistungsfähiger NIR-Spektroskopie in handlichen Analysegeräten und eröffnet so zahlreiche neue Anwendungsfelder in Biologie, Chemie, Medizin und Materialwissenschaften.

■
 RGB Photonics GmbH
 Donaupark 13
 93309 Kelheim
 Tel.: +49 (0)9441 175033-0
 Fax: +49 (0)9441 175033-92
 E-Mail: sales@rgb-photonics.com
 Website: www.rgb-photonics.com
 DPG-Tagung Regensburg, Exhibition Tent, Stand 90
 analytica München, Halle A2, Stand 222

PRODUKT DES MONATS

Terahertz-Spektrometer

Hersteller: Laser Quantum.

Angebot: Hochauflösendes Terahertz-Spektrometer „HASSP-THz“ für Messungen an festen Proben, dünnen Schichten, Flüssigkeiten, Pulvern und ebenso Gaszellen im Bereich von 0,05 bis 6,5 THz. Es werden typische Signal-zu-Rauschverhältnisse (SNR) von größer 65 dB mit einer Frequenzauflösung von bis zu 1 GHz bei einer Messdauer von weniger als einer Minute erreicht.

Merkmale: Das zeitaufgelöste THz-Spektrometer bietet eine spektrale Auflösung von bis zu 1 GHz für wissenschaftliche Anwendungen, was einen spektralen Bereich bis zu 6,5 THz abdeckt. Dabei wird die Hochgeschwindigkeitsvariante des sogenannten asynchronen optischen Abtastprinzips (ASOPS) ausgenutzt. Kernelemente sind zwei separate fs-Ti:S-Oszillatoren mit Wiederholraten von 1 GHz, wobei die Repetitionsraten der Laser leicht gegeneinander verstimmte sind. Das ASOPS-Prinzip benötigt keine mechanische Verzögerungsstrecke und erlaubt deshalb ultra-sensitive zeitaufgelöste THz-Spektroskopie bei Videowiederholraten und einem Dynamikbereich von 30dB. Eine Frequenzgenauigkeit im Bereich von 150 MHz konnte demons-



triert werden, ein Wert, der den aller anderen publizierten zeitaufgelösten THz-Spektrometer übertrifft. Das THz-Spektrometer selbst kann evakuiert und gegebenenfalls mit Gas gespült werden. Die spektroskopische Anordnung lässt sich leicht wechseln zwischen einem Transmissions- oder Reflexionsaufbau, einem 25cm langen kollimierten Strahl für Gaszellen oder einer ATR-Konfiguration (Attenuated-Total-Internal-Reflection).

Anwendungen: Das Gerät wird für THz-Spektroskopie in wissenschaftlichen Anwendungen eingesetzt, in denen es auf Benutzerfreundlichkeit, kurze Messdauern, hohe Präzision und hohe spektrale Auflösung ankommt. Die Fähigkeit zur schnellen Aufnahme von Messdaten

(bis zu 10.000 Transienten pro Sekunde mit einer Auflösung von 1 GHz) ermöglichen die Untersuchung von dynamischen Prozessen und die Messung unter sich schnell ändernden Umgebungsbedingungen. Ebenso ermöglicht es sehr kurze Pixel-Verweildauern in Anwendungen der spektroskopischen Bildgebung, wodurch Bilder innerhalb weniger Sekunden aufgenommen werden können.

■
 Laser Quantum GmbH
 Max-Stromeyer-Str. 116
 78467 Konstanz
 Telefon: +49 (0)7531 368371
 Telefax: +49 (0)7531 368372
 E-Mail: sales@laserquantum.com
 Website: www.laserquantum.de
 DPG-Tagungen
 Hannover, Lichthof, Stand 42
 Regensburg, Lichthof Recht und Wirtschaft, Stand 2

EBL- und SEM-Hybridsystem

Hersteller: Raith.

Angebot: Kompaktes Hybridssystem „PIONEER Two“, bestehend aus einem professionellen Elektronenstrahl-Lithographiesystem (EBL) und einem Rasterelektronenmikroskop (SEM), das sich für die ultrahochoflösende Nanofabrikation und SEM-Abbildungen sowie -Untersuchungen eignet. Es ergänzt das Angebot an verschiedenen EBL-Systemen auf Grundlage der thermischen Feldemission (TFE) und schließt die konzeptionelle Lücke zwischen einer Kombination aus SEM und Lithographie-Upgrade-Elektronik (pattern generator) und den auf höheren Durchsatz ausgerichteten Waferbelichtungssystemen.

Merkmale: Mit dem kompakten Design und sehr geringen Betriebskosten eignet sich das System für alle akademischen Einrichtungen, die eine bezahlbare Lösung sowohl für die Nanofabrikation als auch die Untersuchung von Nanostrukturen suchen. Es bietet sowohl deutlich



attraktivere Spezifikationen wie die Kombination aus modernem SEM und Pattern-Generator als auch eine weit höhere Anwendungsspanne und übertrifft somit die SEM-Kombinationslösungen bei weitem. Die verwendete hochmoderne Elektronenoptik erzeugt den kleinsten Strahldurchmesser (unter 1,6 nm) der Welt, der in einem professionellen EBL-System verfügbar ist. Damit lässt sich nicht nur Sub-8-nm-Nanolithographie unkompliziert

durchführen, es sind mit verschiedenen (teils optionalen) Detektoren auch SEM-Abbildungen und -Untersuchungen im Bereich von 1 nm möglich, sowohl in den Materialwissenschaften als auch in den Life Sciences. Zum System gehört ein einzigartiger hochgenauer 2"-Laserinterferometertisch für großflächige EBL-Strukturierungen, der auch das kontinuierliche Drehen (360°) und Kippen (Kippwinkel 0 – 90°) des gesamten Probenhalters für SEM-Aufnahmen erlaubt.

■ Raith GmbH
Konrad-Adenauer-Allee 8
44263 Dortmund
Tel.: +49 (0)231 95004-0
Fax: +49 (0)231 95004-460
E-Mail: sales@raith.com
Website: www.raith.com
DPG-Tagung Regensburg, Foyer
Audimax, Stand 59

PRODUKT DES MONATS

Neuartiges integriertes Messsystem für elektrische Transportmessungen

Anbieter: SPECS Surface Nano Analysis.

Angebot: Neuartige Messsysteme „Nanonis Tramea“ für elektrische Transportmessungen mit dem Schwerpunkt der Charakterisierung von Quantentransportphänomenen. Das System ersetzt individuell zusammengestellte Messplätze, bestehend aus einer Vielzahl von Spannungsquellen, Lock-In-Verstärkern und Messgeräten, und vereint sie in einem kompakten Design.

Merkmale: Seit 2007 wird das „Nanonis“-Kontrollsystem im Bereich der Rastersondenmikroskopie eingesetzt. Mit der weltweit ersten voll digitalen Systemarchitektur und der intuitiv bedienbaren grafischen Benutzeroberfläche entstand damals ein neuer Standard. Die daraus gewonnenen Erfahrungen konnten nun auf ein völlig neues Anwendungsfeld übertragen werden: die elektrischen Transportmessungen mit dem Schwerpunkt der Charakterisierung von Quantentransportphänomenen.



Für den Versuchsaufbau stehen dabei in der Grundkonfiguration je acht analoge Ein- und analoge Ausgänge mit paralleler Datenverarbeitung zur Verfügung. Eine Erweiterung auf jeweils 24 Kanäle ist möglich. Durch die grafische Benutzeroberfläche und die vollintegrierte Software ist die Bedienung ohne weiteren Integrations- und Programmieraufwand übersichtlich und intuitiv. Fehler im Aufbau oder der Bedienung können so einfach erkannt und vermieden werden. Die Signalqualität ist bezüglich Präzision,

Drift und Signal-zu-Rauschverhalten unübertroffen und erlaubt höchstauflösende Messungen, insbesondere auch bei Tiefsttemperatur. Die Signalqualität geht dabei nicht zu Lasten der Datenaufnahmegeschwindigkeit: Sie ist ca. 1000mal schneller als bei herkömmlichen Messplätzen und erlaubt somit auch zeitaufgelöste Messungen an kritischen Systemen.

■ SPECS Surface Nano Analysis GmbH
Voltastr. 5
13355 Berlin
Tel.: +49 (0)30 467824-0
Fax: +49 (0)30 4642083
E-Mail: support@specs.com
Website: www.specs.com
DPG-Tagung Regensburg, Foyer
Audimax, Stand 69

Kostengünstiger Femtosekundenlaser mit herausragender Zuverlässigkeit

Hersteller: Coherent.

Angebot: Komplett neu entwickelter Femtosekundenlaser „Monaco“, der sich durch flexible Performance und hohe Zuverlässigkeit bei günstigem Preis auszeichnet.

Merkmale: Der Laser ist ein geschlossenes One-Box-System mit einem 1035 nm-Solid-State-Oszillator und einem Verstärker für 40 μ J Pulsenergie bei einer Wiederholrate von 1 MHz (40 W Durchschnittsleistung) und Pulsweiten unter 400 fs. Um die Leistung an die jeweilige Anwendung anzupassen, kann der Laser im gesamten Bereich von Single Shot bis zur vollen Wiederholrate betrieben und sogar auf Pulsbreiten >10 ps eingestellt werden.

Hohe Spitzenleistung und Pulsbreiten im fs-Bereich sorgen erwiesenermaßen für reduzierte Wärmeeinflusszonen (WEZ) und eine niedrigere Ablationsschwelle als bei längeren Pulsbreiten. Dies ermöglicht die Präzisionsverarbeitung vieler verschiedener Metalle, Halbleiter und organischer Materialien.

Anwendungen: Die einzigartige Kombination von kurzer Pulsweite und hoher Wiederholrate macht diesen Laser zur idealen Wahl für das Schneiden von Kunststoff und Polymerfolien, das Ritzen von Siliziumwafern und das Schneiden von verstärktem Glas. Ferner eignet sich der Laser für die Mikrobearbeitung inhomogener Kompositsubstrate, wie sie in

der Mikroelektronikfertigung eingesetzt werden. Er kann auch für ophthalmologische Anwendungen wie Laser-in-situ-Keratomileusis (LASIK) und Kataraktoperationen konfiguriert werden.

■ Coherent (Deutschland) GmbH
Dieselstr. 5b
64807 Dieburg
Tel.: +49 (0)6071 968-0
Fax: +49 (0)6071 968-499
E-Mail: sales.germany@coherent.com
Website: www.coherent.de
www.coherent.com

DPG-Tagung Hannover, Lichthof,
Stand 34

Steuern und Regeln im Nanosekundentakt

Hersteller: Jäger Computergesteuerte Messtechnik.

Angebot: „ADwin“-Signalprozessorsysteme mit schnellen analogen und digitalen Ein- und Ausgängen zur nanosekundengenauen Signalverarbeitung für den Aufbau von Mikroskopen, Spektroskopie- und quantenoptischen Experimenten. Neu im Angebot ist der Signalprozessor „T12“ für „ADwin-Pro II“ mit einem vervielfachten Leistungspotential aus 1 GB Hauptspeicher, 1 GHz Prozessorakt und 1-Gigabit-Ethernet-Schnittstelle. Der „Giga-Prozessor“ erlaubt stabile Reaktionszeiten unter 200 ns.

Merkmale: ADwin-Systeme können Einzelwerte extrem schnell verarbeiten. Die für sie typische extrem schnelle Signalverarbeitung wird durch den neuen Prozessor mit einem Arbeitstakt von einer Nanosekunde weiter gesteigert. Der Signalprozessor erledigt umfangreiche Datenauswertungen in Echtzeit, ohne



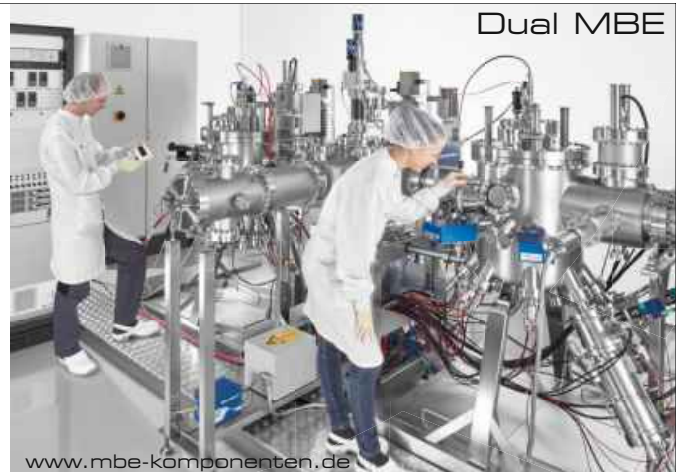
dass die Reaktionszeit leidet, darunter Fließkommaberechnungen mit 64 Bit Genauigkeit. Sehr hohe Ausgaberraten über viele Kanäle sind möglich, weil der neue Prozessor in Echtzeit extrem schnell Stellgrößen berechnen und Datenströme vom PC entpacken kann. Damit können die Daten nicht nur extrem schnell ausgegeben und erfasst, sondern in Echtzeit vorverarbeitet und miteinander verrechnet werden.

Anwendungen: ADwin wird in der Physik kombiniert eingesetzt als ns-genauer Flankenüberwacher (Photomultiplier), ns-genauer Pulsgeber (Shutter), digitaler Filter (Lock-In-Verstärker) und als μ s-genauer Signalgenerator und Regler (Laser-Intensität, XYZ-Position).

■ Jäger Computergesteuerte Messtechnik GmbH
Rheinstr. 2-4
64653 Lorsch
Tel.: +49 (0)6251 9632-0
Fax: +49 (0)6251 56819
E-Mail: info@adwin.de
Website: www.adwin.de
DPG-Tagungen
Regensburg, Lichthof Recht und
Wirtschaft, Stand 29
Darmstadt, Stand 3

MBE
KOMponenten | DR. EBERL

- new generation MBE systems
- substrate size from small sample to 6 inch wafer
- Dual MBE, e.g.: SiGe combined with III-V
- Oxide MBE with high concentration ozone source
- MBE for magnetic materials or topological insulators
- option: automated central wafer transfer
- large variety of evaporation sources
- factory training and acceptance testing by PhD experts



www.mbe-komponenten.de

Firmenportrait Mantis Deposition

Das britische Unternehmen Mantis Deposition ist auf die Herstellung qualitativ hochwertiger Beschichtungsanlagen und -Komponenten spezialisiert. Die Anlagen erfüllen die modernsten Anforderungen aus Forschung und Entwicklung. Über ein ausgedehntes Netz an Repräsentanten sowie Supportbüros in UK, USA, Deutschland und China ist das Unternehmen weltweit präsent. Seit Mai 2015 besteht eine enge Partnerschaft mit der Firma SIGMA SURFACE SCIENCE, einer auf Oberflächenanalytik spezialisierten Firma mit Schwerpunkt auf Entwicklung und Produktion von UHV-SPM und ESCA-Lösungen. Dank dieser Partnerschaft können auch Kombinationen aus Dünnschichtbeschichtungs- und oberflächenanalytischen Methoden in einer gemeinsamen Lösung angeboten werden.

Das Programm umfasst u. a. die „QPREP-Series“, eine Plattform für diverse Beschichtungstechniken wie Magnetron-Sputtern, thermisches Verdampfen, Elektronenstrahl- und



Nanopartikel-Beschichtungen. Aufgrund des modularen Designs können verschiedene Techniken kombiniert werden. Bei der „M Series“ handelt es sich um eine hochmodulare und flexible MBE-Plattform mit externer Ausheizmöglichkeit zur Erreichung bester UHV-Vakuumbedingungen. Die Funktionalität kann durch eine Vielzahl an K-Zellen und RF-Atomstrahlquellen für diverse Wachstums- und Doping-Anwendungen erweitert werden. Das „QUBE“ ist ein sehr kompaktes und uni-

verselles Beschichtungssystem mit frei konfigurierbaren und austauschbaren Port-Paneele und großer Beladungstür. Es ist die ideale Anlage in Kombination mit Gloveboxen, geeignet für Forschung und Prototyping. Die Systeme der „NANOSYS-Series“ mit optimierter Geometrie eignen sich für Nanopartikelabscheidung in Kombination mit weiteren PVD Beschichtungstechniken. Weitere Produkte sind UHV-kompatible Beschichtungsquellen wie Sputter-, Plasma- und Ionenquellen, Effusionszellen, thermische, organische und Elektronenstrahlverdampfer sowie Gas-Cracker.

■ Mantis Deposition GmbH
Mombacher Straße 52
55122 Mainz
Tel.: +49 (0)6131 32725-20
Fax: +49 (0)6131 32725-29
E-Mail: OfficeDE@mantisdeposition.com
Website: www.mantisdeposition.com
DPG-Tagung Regensburg, Foyer
Audimax, Stand 47

Hochdynamischer Lineartisch für Scanning-Anwendungen

Hersteller: Physik Instrumente (PI).

Angebot: Ultrakompakter Lineartisch „PIMag® Baureihe V-52x“ mit magnetischem Direktantrieb. Er erreicht Höchstgeschwindigkeiten bis 250 mm/s und Scanfrequenzen von einigen 10 Hz. Der reibungsfreie Antrieb eignet sich besonders für Anwendungen in Industrie und Forschung, die einen 24/7-Betrieb fordern, z. B. in Messtechnik, Photonik, bei Bildstabilisierungssystemen sowie in der Halbleiter- und Flachbildschirminspektion.

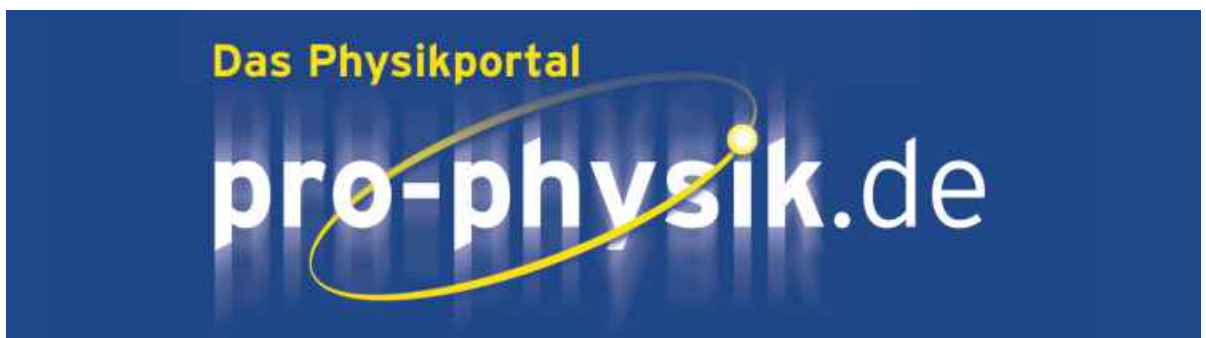
Merkmale: Dank seiner Kreuzrollenführungen erreicht der Lineartisch Ablaufgenauigkeiten von 1 µm. Die Käfig-Zwangsführung verhindert dabei zuverlässig das Käfigwandern (Anti Creep). Der Lineartisch wird über ein einzelnes Kabel an den Controller angeschlossen, über das Leistungs- und Encodersignal



weitergegeben werden. So wird die einfach und platzsparende Integration in Kundenanlagen gewährleistet. Der integrierte, direkt messende, optische Linearencoder ermöglicht eine zuverlässige Positionsregelung und Wiederholgenauigkeit von ±500 nm. Die Sensorauflösung liegt bei unter 10 nm, die kleinste Schrittweite beträgt 20 nm. Die Voice-Coil-Baureihe bietet je nach Ausführung einen Verfahrweg von 5, 10 oder 20 mm und

ist dabei nur 80 mm breit und 26 mm hoch. Bei Bedarf lassen sich die Lineartische ohne Zwischenplatten auch zu Mehrachsensystemen kombinieren. – Auf Basis der „PIMag“-Standard-Lineartische können auch kundenspezifische Ein- und Mehrachsensystemen angeboten werden, die in Punkto Kraft, Genauigkeit und Formfaktor genau an die Anwendung angepasst sind.

■ Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG
Auf der Römerstr. 1
76228 Karlsruhe
Tel.: +49 (0)721 4846-0
Fax: +49 (0)721 4846-1019
E-Mail: info@pi.ws
Website: www.pi.ws
DPG-Tagungen
Hannover, Lichthof, Stand 46
Regensburg, Foyer Audimax, Stand 75



WEITERE MELDUNGEN

Neue Lasermodule mit integriertem Microcontroller

Hersteller: Laser Components.

Angebot: Neue „FLEXPOINT“-Lasermodule mit integriertem Microcontroller, erkennbar an dem Zusatz „DIG“ in der Namensgebung. Als erstes Modul wurden die Bildverarbeitungslaser der Serie „MV-micro DIG“ ausgestattet. Sie sind in den Wellenlängen 520 nm, 405 nm, 450 nm, 640 nm, 660 nm, 785 nm und 830 nm erhältlich.

Merkmale: Der Microcontroller kann über eine RS-232-Schnittstelle mit dem Modul kommunizieren und sogar die Laserparameter konfigurieren. So ist es u. a. möglich, die Betriebsstunden abzufragen, aber auch die Temperatur oder den Diodenstrom. Programmieren

lassen sich beispielsweise eine bestimmte Ausgangsleistung oder eine Temperaturabschaltung. Über die Schnittstelle sind weitere Einstellungen möglich, etwa die digitale oder analoge Modulation und eine stufenlose Leistungseinstellung. Auch kundenspezifische Programmierungen sind möglich.

Die „MVmicro DIG“ Laser gibt es in zahlreichen verschiedenen Ausführungen: Die Module projizieren entweder eine einzelne Linie oder parallele „Multilinen“ mit homogener Leistungsverteilung. Weitere Konfigurationen mit einer besonders dünnen Linie oder einem erweiterten Tiefenschärfbereich sind ebenfalls erhältlich. Die Linien

werden einfach per Hand fokussiert, Werkzeug wird dafür nicht benötigt. Die Laser sind mit einem M12-Stecker für den elektrischen Anschluss ausgestattet.

■ Laser Components GmbH
Werner-von-Siemens-Str. 15
82140 Olching
Tel.: +49 (0)8142 2864-0
Fax: +49 (0)8142 2864-11
E-Mail: info@lasercomponents.com
Website: www.lasercomponents.com
Control Stuttgart, Halle 1, Stand 1635
analytica München, Halle A2, Stand 500
Sensor + Test Nürnberg, Halle 1,
Stand 256

Neue Baureihe von Rasterkraftsonden

Hersteller: MikroMasch.

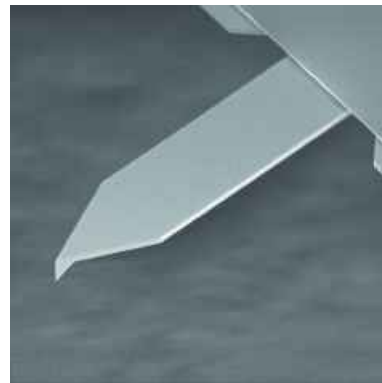
Vertrieb: NanoAndMore.

Angebot: Neue Rasterkraftsondenlinie „OPUS“ AFM Tips, die sich durch eine sichtbare Sondenspitze auszeichnen. Die Spitze der AFM Tips befindet sich in einem rechten Winkel immer genau am Ende des Cantilevers; dies ermöglicht die exakte Positionierung der Spitze oberhalb des zu untersuchenden Objekts.

Merkmale: Die AFM Tips sind für alle gängigen Anwendungsmodi der Rastersondenmikroskopie, inklusive High-speedscanning, erhältlich. Die Schärfe der Spitze ist besser als 7 nm; sie zeichnen

sich durch einen hohen Q-Faktor aus und sind optional mit Coatings lieferbar. Dabei bieten sie ein günstiges Preis/Leistungs-Verhältnis. Kostenlose Muster auf Anfrage erhältlich. Weitere Details auch unter www.opustips.com.

■ NanoAndMore GmbH
Steinbühlstr. 7
35578 Wetzlar
Tel.: +49 (0)6441 8706272
Fax: +49 (0)6441 8706274
E-Mail: info@nanoandmore.com
Website: www.nanoandmore.com



CASTECH®

Kristalle: BBO, LBO, KTP, BiBO, Nd:YVO4, Nd:YAG,

Optiken: Prismen, Verzögerungsplatten, Substrate, Linsen, Polarisatoren, ...

Periodisch-gepolte Kristalle, Waveguides: PPMgO:LN, PPMgO:LT, ...

HCP
HC PHOTONICS CORP.

GWU-Lasertechnik



Produkte
der Weltmarktführer
CASTECH und **HCP**
von Ihrem zuverlässigen Partner
GWU-Lasertechnik

Weitere Informationen: Tel.: 02235/955220 - E-Mail: info@gwu-group.de - Web: www.gwu-group.de

Rauscharme 2-GHz-Fotoempfänger

Hersteller: FEMTO.

Angebot: Kompakte und sehr schnelle Si- und InGaAs-Fotodetektoren der Serie „HSPR-X-I“ mit integriertem GHz-Verstärker. Das niedrige Rauschen und die hohe Transimpedanz-Verstärkung von 5000 V/A ermöglichen Messungen von kleinen optischen Signalen bis in den Mikrowattbereich.

Merkmale: Herausragende Eigenschaft der neuen Fotoempfänger ist das niedrige Rauschen mit einer NEP von nur $11 \text{ pW}/\sqrt{\text{Hz}}$ (InGaAs-Modell). Der 50-Ohm-Ausgang hat eine optimierte Anpassung mit einem VSWR von 1,4:1 und stellt damit sicher, dass nachfolgende Geräte wie Oszilloskope auch mit relativ



langen Kabeln angeschlossen werden können, ohne dass die Signalqualität beeinträchtigt ist. Die hohe Verstärkung liefert eine Empfindlichkeit von bis zu 4750 V/W und ermöglicht so die Messung von schnellen Signalen bis in den Mikrowattbereich. Verschiedene Typen mit Si- oder InGaAs-Fotodioden decken den Wellenlängenbereich von 320 bis 1700 nm ab. Der Frequenzgang ist flach und ohne Überhöhungen, sodass sich eine optimale Pulsübertragung ergibt, mit Pulsanstiegszeiten von 180 ps. Der optische Eingang ist wahlweise fasergekoppelt (FC) oder als Freistrahlansführung mit einem 25-mm-Rundflansch erhältlich. Das hochwertige Gehäuse bietet einen sehr guten Schutz vor elektromagnetischen Einstrahlungen (EMI) und ist für den Einsatz auch in stark gestörten Umgebungen konzipiert. Alle Modelle sind mit M4- wie auch 8-32 UNC-Gewindebohrungen ausgerüstet und können damit komfortabel und stabil mit marktüblichen Post-Holdern in optische Systeme integriert werden.

■ FEMTO Messtechnik GmbH
Klosterstr. 64
10179 Berlin
Tel.: +49 (0)30 2804711-0
Fax: +49 (0)30 2804711-11
E-Mail: info@femto.de
Website: www.femto.de

COMSOL Multiphysics auf der Rescale-Cloud

Eine neue Kollaboration zwischen COMSOL und Rescale ermöglicht die Nutzung der Multiphysik-Simulationssoftware „COMSOL Multiphysics“ auf den „Rescale“-Simulationsplattformen. „Rescale“ ist eine dynamisch skalierbare On-Demand-Plattform für Cloud-Simulation und High Performance Computing (HPC).

Die neue Partnerschaft ermöglicht die Durchführung von Analysen mit hohen Anforderungen an Speicherplatz und Rechenzeit auf einer High-End-Hardware, die auf die Leistungsfähigkeit der eingesetzten Löser abgestimmt ist. Mit einer vorhandenen COMSOL-Lizenz

kann diese Hardware genutzt werden, sodass Kunden von den ausgefeilten Parallelverarbeitungsfähigkeiten von COMSOL profitieren.

Weitere Infos unter info@comsol.de und www.rescale.com. Kostenfreier Start mit COMSOL auf der Rescale-Cloud über www.rescale.com/signup.

■ COMSOL Multiphysics GmbH
Robert-Gernhardt-Platz 1
37073 Göttingen
Tel.: +49 (0)551 99721-0
Fax: +49 (0)551 99721-29
E-Mail: info@comsol.de
Website: www.comsol.de

OPTA GmbH Laborzubehör feiert 20jähriges Firmenjubiläum

Seit der Gründung im Dezember 1995 stellt OPTA schwingungsgedämpfte optische Tische und Tischsysteme sowie Einhausungen und Reinraumkabinen für Lehre, Forschung und Industrie her. Die Produkte in magnetischer und antimagnetischer Edelstahlausführung werden in Bensheim in eigener Produktion entwickelt und gefertigt; über das deutsche Verkaufsbüro sowie europäische Kooperationspartner werden sie weltweit vertrieben. Was „technisch machbar ist“, kann das Unternehmen durch Zusammenarbeit mit OPTA GmbH Werkzeugbau anbieten. Individuelle Anforderungen wie Laser Ports, Ausschnitte oder zusätzliche Gewindebohrungen außerhalb der Tischoberfläche an Seiten- und Unterteilen (vereinzelt/Reihen) werden zu einem fairen Preis- und Leistungsverhältnis angeboten. Zubehör kann auf Anfrage gefertigt werden. Das Angebot umfasst sowohl starre (LMT) als auch passive (RMT) und aktive Schwingungsisolationen (DMT)

in kundenspezifischen Arbeitshöhen. Größere Tischflächen können durch Verbindung von mehreren Tischen in L-, T- oder H-Form hergestellt werden. Langjährige Erfahrung zeigt das Unternehmen auch in der Herstellung von Einhausungen von optischen Tischen sowie bei Reinraumkabinen, die besonders bei Anwendungen mit Lasern und optischen Geräten Staub und Fremdpartikel nahezu vollständig abhalten können. Durch effizienteres Arbeiten und die geringere Schadensnahme an den sensiblen Produkten sind die zusätzlichen Kosten der Anwendung schnell amortisiert.

■ OPTA GmbH Laborzubehör
Lindberghstraße 3
64625 Bensheim
Tel.: +49 (0)6251-68879
Fax: +49 (0)6251-690667
E-Mail: info@opta-gmbh.de
Website: www.opta-gmbh.de

Interesse an einer Stellenausschreibung?

Ihre Stellenausschreibung erscheint im Physik Journal in einer Auflage von über 60 000 Exemplaren und ohne zusätzliche Kosten innerhalb von 48 Stunden online unter

www.pro-physik.de und
www.scitec-career.com

Wir beraten Sie gerne:

Änne Anders, Tel. 06201/606-552, aanders@wiley.com,
Patricia Filler, Tel. 06201/606-555, pfiller@wiley.com



Für alle, die **Majorana** nicht im Kräutergarten suchen



© habsi_w/Fotolia.com

Das Physikportal

pro-physik.de

Registrieren Sie sich jetzt auf

www.pro-physik.de/register

und folgen Sie uns auf Facebook
und Twitter.

WILEY-VCH

Beschleuniger | Forschung mit Photonen | Teilchenphysik

Deutsches Elektronen-Synchrotron
Ein Forschungszentrum der Helmholtz-Gemeinschaft

TEILCHEN PHYSIK.

DESY sucht:

DESY-Fellowship-Programm – Experimentelle Teilchenphysik

DESY

Das Deutsche Elektronen-Synchrotron DESY ist eines der weltweit führenden Zentren in der Forschung mit Photonen, in der Teilchen- und Astroteilchenphysik sowie in der Beschleunigerphysik.

DESY entwickelt, baut und nutzt Beschleuniger und Detektoren für die Forschung der Struktur der Materie.

Ihre Aufgabe

Nachwuchswissenschaftlerinnen (w/m) der experimentellen Teilchenphysik sind eingeladen, sich an einem Projekt des DESY-Forschungsprogramms zu beteiligen.

- Auswertung und Detektor-Upgrade der Experimente ATLAS und CMS
- Vorbereitung des Internationalen Linear Colliders ILC (Beschleuniger und Experimente)
- Mitarbeit im Analyse-Forum der Helmholtz-Allianz "Physik an der Teraskala"
- Mitarbeit an den Experimenten ALPS und Belle II
- Generische Entwicklung von Detektoren und Beschleunigern für Anwendungen in der Teilchenphysik

Ihr Profil

- Abschluss der Promotion innerhalb der letzten 4 Jahre
- Erfahrungen in der experimentellen Teilchenphysik

Die DESY-Fellowships werden für die Dauer von 2 Jahren mit der Möglichkeit der Verlängerung um ein weiteres Jahr vergeben.

Bitte stellen Sie sicher, dass in jeder Kommunikation zu diesem Verfahren immer die Ausschreibungsnummer enthalten ist (FHFE001/2016). Es liegt auch in Ihrer Verantwortung, dass uns drei Empfehlungsschreiben noch vor Ende der Bewerbungsfrist mit genauer Angabe Ihres Vor- und Nachnamens sowie der Kennziffer (FHFE001/2016) erreichen.

Die Vergütung und sozialen Leistungen entsprechen denen des öffentlichen Dienstes. Die Eingruppierung erfolgt je nach Qualifikation und Aufgabenübertragung. DESY ist offen für flexible Arbeitszeitmodelle. Schwerbehinderte Menschen werden bei gleicher Eignung bevorzugt berücksichtigt. DESY fördert die berufliche Entwicklung von Frauen und bittet Frauen deshalb nachdrücklich, sich um die zu besetzende Stelle zu bewerben. Auf dem DESY-Gelände befindet sich ein zweisprachiger Kindergarten.

Wir freuen uns auf Ihre Bewerbung, inklusive ausführlichem Lebenslauf, kurzer Darstellung der bisherigen und geplanten Forschungstätigkeiten, Zeugniskopien und eine Liste Ihrer Veröffentlichungen, an die DESY-Personalabteilung unter Angabe der Kennziffer bevorzugt über unser elektronisches Bewerbungsportal:

www.desy.de/ueber_desy/karriere/online_bewerbung/index_ger.html
oder per E-Mail an recruitment@desy.de

Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY

Personalabteilung | Kennziffer: FHFE001/2016

Notkestraße 85 | 22607 Hamburg

Telefon: 040-8998-3392

Bewerbungsschluss: 31. März 2016

www.desy.de

Die Helmholtz-Gemeinschaft ist die größte
Wissenschaftsorganisation Deutschlands.
www.helmholtz.de



Basycon

Wir sind eine mathematisch-naturwissenschaftlich orientierte Unternehmensberatung, die Großunternehmen aller Branchen berät und in der Projektumsetzung unterstützt.

Exzellente Mitarbeiter und höchstes professionelles Niveau sind die Basis unseres Erfolgs. Für unsere Büros in München und Düsseldorf suchen wir als neue Kollegen / Kolleginnen

Promovierte Physiker

Voraussetzungen:

- Klares analytisches Denkvermögen, exzellente Zeugnisse
- Gute IT-Kenntnisse, eine Programmiersprache
- Spaß an stets neuen Aufgaben und Herausforderungen

Mit diesem Hintergrund sind Sie bestens gerüstet, in hochkarätigen Teams anspruchsvolle analytische Probleme zu lösen. Sie bauen auf Ihren Stärken auf und erweitern in umfangreichen Schulungen (Consulting-Methodik, BWL, Kommunikation) Ihr Wissen und Können.

Neben einer abwechslungsreichen Tätigkeit, die Business, analytisches Denken und IT miteinander verbindet, erwartet Sie ein inspirierendes Umfeld mit großen Entwicklungschancen. Ein attraktives Gehalt ist selbstverständlich.

Überzeugen Sie sich von den spannenden Aufgaben, die auf Sie warten. Wir freuen uns auf Ihre Bewerbung.

Basycon Unternehmensberatung GmbH
Welserstraße 1, 81373 München
www.basycon.com, jobs@basycon.com



Doctoral Students

TU Wien is seeking talented and motivated students for our joint doctoral program

Building Solids for Function (Solids4Fun)

The Program:

The purpose of the Doctoral School Solids4Fun is to determine the interplay between various parameters and properties of a wide range of different inorganic solids. Research and training in Solids4Fun is concentrated around four central issues, which are covered by the research activities of the faculty members: Surface structure and reactivity, Designed and artificial matter, Electronic properties and correlations, Optical properties and ultrafast dynamics.

Additional information is available on the homepage of the Doctoral School. <http://solids4fun.tuwien.ac.at/>

Faculty Members:

P. Blaha, S. Bühler-Paschen, J. Burgdörfer, U. Diebold, J. Fleig, K. Held, A. Pimenov, G. Rupprechter, J. Schmiedmayer, G. Strasser, K. Unterwiesing.

Research at TU Wien:

The city of Vienna provides a very high quality of life.

The Technical University is renowned within the international scientific community for its high level of research.

There are strong possibilities for study in both chemistry, physics, and electrical engineering.

Details of the application process is available on the Solids4Fun homepage http://solids4fun.tuwien.ac.at/phd_program

We are looking for 1-2 doctoral students per faculty member. The doctoral positions are financed by 3 year scholarships according to the funding scheme of the Austrian Science Fund. The funding can be extended for one additional year contingent on a placement at one of our international partner institutions. Highly qualified female candidates are expressly encouraged to apply.

Applications by the candidates can be submitted until the 31st of March 2016. Later applications will be kept for subsequent admission dates.



Neugierig?



www.wiley-vch.de/sachbuch



Erlebnis Wissenschaft

NEU

KARIN BODEWITS, ANDREA HAUKE,
PHILIPP GRAMLICH

**Karrierefürer
für Naturwissenschaftlerinnen**
Erfolgreich im Berufsleben

ISBN: 978-3-527-33839-9
Oktober 2015 328 S. mit 1 Tab.
Broschur € 29,90

In Deutschland schließen inzwischen ebenso viele Frauen wie Männer ein naturwissenschaftliches Studium ab. Welche Karrieremöglichkeiten stehen ihnen offen?

Die Autoren zeigen in diesem etwas anderen Karrierefürer, wie Naturwissenschaftlerinnen die Widrigkeiten des Berufseinstiegs meistern und schon während des Studiums die Weichen richtig stellen können, um im Berufsleben zu bestehen.

Frauen (und Männer) finden hier viele wertvolle Karrietipps, von Alternativen zur klassischen Forscherkarriere über die richtige Bewerbung und Aufstiegsmöglichkeiten bis zum Wiedereinstieg nach einer Familienpause.

Der lockere und humorvolle Stil macht das Buch zu einem sympathischen Begleiter durch das Berufsleben, den man bzw. frau nicht mehr missen möchte.



Auch als
E-Book unter:
[www.wiley-vch.de/
ebooks/](http://www.wiley-vch.de/ebooks/)

SB_Bodewi_175x254_4c_bu

WILEY-VCH

Wiley-VCH • Postfach 10 11 61 • D-69451 Weinheim
Tel. +49 (0)6201-606400 • Fax +49 (0)6201-60691400
e-mail: service@wiley-vch.de • www.wiley.vch.de

Die Euro-Preise gelten ausschließlich für Deutschland. Alle Preise enthalten die gesetzliche MwSt. Die Lieferung erfolgt zzgl. Versandkosten. Es gelten die Lieferungs- und Zahlungsbedingungen des Verlages. Irrtum und Preisänderungen vorbehalten. Stand der Daten: August 2015.

BEWERBERLISTE

Die DPG-Bewerberliste soll Industrieunternehmen und öffentlichen Instituten einen Überblick über das Angebot an Physikern und Physikerinnen bieten. Interessierte Unternehmen werden gebeten, Zuschriften unter der jeweiligen Chiffre-Nummer an die DPG-Geschäftsstelle, Hauptstraße 5, D-53604 Bad Honnef, Kennwort »Bewerberliste« zu senden.

Bewerber können sich unter www.dpg-physik.de/service/bewerber/index.html in die Bewerberliste eintragen.

FORSCHUNG UND LEHRE / WISSENSCHAFT

Promovierte Physikerin

Ich habe mein Physikstudium in Münster und Heidelberg absolviert und am Zentrum für Astronomie Heidelberg mit Schwerpunkt Kosmologie promoviert. Des Weiteren habe ich im Rahmen einer wissenschaftlichen Weiterbildung Kenntnisse in medizinischer Physik gesammelt. Ich suche nun nach einer neuen Herausforderung, z.B. in der Medizinphysik/Medizintechnik oder Astronomie. Da mir die Betreuung von Übungsgruppen und Anfängerpraktika und privater Nachhilfeunterricht immer großen Spaß gemacht haben, würde ich mich auch sehr über eine Chance zur Lehrtätigkeit freuen, gern auch in englischer Sprache.

BW6169

Dr. rer. nat.

Wenn Sie einen promovierten Physiker mit Erfahrungen (sprich Veröffentlichungen) auf einem oder allen der folgenden Gebiete Thermoelktrik, Laserphysik, Festkörperphysik, Metamaterie oder Plasmaspektroskopie suchen, der darüber hinaus auch noch über Lehrerfahrung sowie ein sicheres Auftreten auf nationalen und internationalen Konferenzen verfügt, dann sollten Sie sich meinen Lebenslauf ansehen. Ich freue mich auf Ihr Interesse.

BW6171

ÖFFENTLICHE VERWALTUNG / SONSTIGES

Ausbildung zur Medizinphysikexpertin

Ich habe mein Physikstudium an den Universitäten Münster und Heidelberg absolviert und anschließend erfolgreich eine

wissenschaftliche Weiterbildung in medizinischer Physik abgeschlossen. Meine theoretischen Kenntnisse möchte ich nun gern um die praktische Umsetzung ergänzen und strebe die Fachkunde im Strahlenschutz und die Fachanerkennung als Medizinphysikexpertin an. Gern würde ich ein motiviertes Team in einer Klinik oder Praxis in der Radiologie, Nuklearmedizin oder Strahlentherapie unterstützen.

BW6168

WIRTSCHAFT · INDUSTRIE

Kommunikationsstarker Masterabsolvent

Physikstudium (MPhys) 2014 an der University of Edinburgh mit 1st Class Honours (ca. 1,0-1,3) abgeschlossen. Master-Thesis in Hochdruckphysik. Spezialisierung in Festkörper-, Makromolekular- und Biophysik. Auslandsjahr 2011 an der UBC in Vancouver. Erste Programmiererfahrungen in Python, R und Java. Muttersprachliche Deutsch- und Englischkenntnisse. Abitur: 1,3. Angestrebte Karriere: kommunikationsintensive, recheinvolvierende, wirtschaftsnahe Applikation der im Studium erworbenen Kenntnisse, zB im Technical Consulting. Gewünscht: Vertiefung der Programmiersprachenkenntnisse und, nach Möglichkeit, Lernen neuer Sprachen. weitere persönliche Interessen: Literatur, Politik, technische Entwicklungen, Fußball, Joggen, Reisen.

BW6166

Promov. Physikerin sucht Berufseinstieg

Ich habe mein Physikstudium an den Universitäten Münster und Heidelberg absolviert und anschließend am Zentrum für Astronomie Heidelberg in theoretischer Astrophysik promoviert. Gleichzeitig habe ich an einer wissenschaftlichen Weiterbildung in medizinischer Physik teilgenommen und bei der Betreuung von Übungsgruppen und Anfängerpraktika Lehrerfahrung gesammelt. Ich würde mich über eine Chance zum Einstieg in die Medizinphysik oder Medizintechnik freuen, insbesondere die Ausbildung zur Medizinphysikexpertin, bin aber auch offen für andere Herausforderungen.

BW6167

Newsletter des Physik Journal

Mit Online-Meldungen aus der Redaktion, Neuigkeiten aus der DPG, Forschungsnachrichten und TV-Tipps

Registrierung unter:

www.dpg-physik.de/mitgliedschaft/aenderung.html



Produkte – Anbieter

Produkt- und Lieferantenverzeichnis für den physikalischen Arbeitsbereich.
Im Internet unter www.physik-journal.de bzw. innerhalb des Physik-Portals
unter www.pro-physik.de.

Die Einträge mit www-Adresse sind verlinkt.

Suchwortverzeichnis

Sie finden hier in alphabetischer Reihenfolge alle im nachfolgenden Produkt- und Lieferantenverzeichnis veröffentlichten Stichwörter.

Unter den im *Kursivdruck* aufgeführten Stichwörtern erfolgen keine Eintragungen. Hier wird jeweils auf den eigentlichen Suchbegriff verwiesen.

A

ADC ▶ *Analog-Digital-Converter*
AFM ▶ *Rastersonden-Mikroskopie, Auftragsmessungen*
AFM, Tieftemperatur
Akustik-Mikroskope ▶ *Mikroskope*
Akusto-optische Bauteile und Systeme
Akusto-optische Kristalle ▶ *Kristalle*
Akusto-optische Modulatoren ▶ *Modulatoren*
Alexandrit-Laserstäbe ▶ *Laserstäbe*
Alphateilchen-Spektrometer ▶ *Spektrometer*
Amorphe Schichten ▶ *Schichten*
Analysatoren ▶ *Vielkanalanalysatoren*
Analysatoren
Analysatoren, Elektronen-
Analysesysteme ▶ *individuelle Typen*
Antireflexbeschichtungen ▶ *Entspiegelung bzw. Schichten*
Apodisierende Blenden ▶ *Laser-Spiegel*
Argon-Laser ▶ *Laser, Ionen-Atomabsorptionsspektrometer* ▶ *Spektrometer*
ATR-Elemente
Aufdampfbeschichtungen, dünne
Aufdampfbeschichtungen, Komponenten für
Aufdampfmaterialien
Aufweitungsoptiken ▶ *Optiken*
Auger-Spektrometer ▶ *Spektrometer*
Autokollimatoren
Autokorrelatoren
Avalanche-Dioden

B

Beschichtungen ▶ *Schichten*
Beschleunigerkomponenten
Betriebsgase ▶ *Gase*
Bildverarbeitungssysteme
Bildwandler ▶ *auch Kameras*
Blitzlampen ▶ *Lampen*
Bogenlampen ▶ *Lampen*
Bragg-Gitter ▶ *Gitter*
Bragg-Zellen
Bus-Systeme ▶ *Camac, Fastbus, VME*

C

Cantilever
Cavities ▶ *Laser-Cavities bzw. Resonatoren*
Cavity-Dumper ▶ *Laser-Cavities*
CCD ▶ *Array-Optik*
Chemikalien, hochreine
CO₂-Laser ▶ *Laser*
Computer ▶ *Datenerfassungssysteme*
Crates ▶ *Fastbus- bzw. VME-*

D

Detektoren
Detektoren, CdZnTe-
Detektoren, Delayline-
Detektoren, Dioden-Array-
Detektoren, Elektronen-
Detektoren, Halbleiter-
Detektoren, IR-
Detektoren, Low-Level-
Detektoren, ortsauflösende für X-rays und Neutronen
Detektoren, positionsempfindliche
Detektoren, Röntgen-
Detektoren, Strahlungs-
Detektoren, Szintillations-
Detektoren, Teilchen- ▶ *auch* Proportionalzählrohre
Detektorsysteme, Pikosekunden
Dewargefäße ▶ *Kryobehälter*
Dielektrische Interferenzfilter ▶ *Filter*
Dielektrische Schichten ▶ *Schichten*
Dielektrische Spektrometer ▶

Spektrometer
Dienstleistungslabors, SIMS-
Digitale Bildverarbeitung ▶ *Bildverarbeitungssysteme*
Dioden ▶ *individuelle Typen*
Dioden-Array-Detektoren ▶ *Detektoren, Dioden-Array-Detektoren*
Dioden-Arrays
Diodenlaser ▶ *Laser*
Diodenlaser, gepulst
DLTS-(Deep Level Transient Spectroscopy) Messplätze
Drehdurchführungen ▶ *auch* Vakuumdrehdurchführungen
Druckaufnehmer ▶ *Druckmessgeräte*
Druckmessgeräte
Druckmessung, faseropisch
Dünnschichtanlagen
Dünnschicht-Messtechnik ▶ *auch* Schichtdickenmessgeräte
Durchflussmessgeräte
Durchführungen ▶ *Dreh- bzw. Stromdurchführungen*

E

Effusionszellen
Einkristalle ▶ *auch Kristalle*
Einkristalle, Metall-
Einkristalle, optische
Einkristalle, Oxide-
Elektrische Durchführungen ▶ *Stromdurchführungen*
Elektrisch leitende Schichten ▶ *Schichten*
Elektrochemie
Elektronen-Detektoren ▶ *Detektoren*
Elektronenmikroskope ▶ *Mikroskope*
Elektronenoptische
Spezialentwicklungen
Elektronenquellen
Elektronenspektrometer ▶ *Spektrometer*
Elektronen- und Ionenstrahlithographie
Elektronenstrahl-Mikrosonden ▶ *Mikrosonden*
Elektronenstrahlverdampfer
Elektronenstrahl-Verdampfer ▶ *Aufdampfbeschichtungen,*

Komponenten für
Elektronikentwicklung
Elektronische Filter ▶ *Filter*
Elektro-optische Kristalle ▶ *Kristalle*
Elektro-optische Modulatoren ▶ *Modulatoren*
Ellipsometer
Energiesensoren ▶ *Laser-Energiesensoren*
ESCA-Spektrometer ▶ *Spektrometer*
ESR-Spektrometer ▶ *Spektrometer*

F

FADC ▶ *Fast-Analog Digital-Converter*
Faraday-Isolatoren
Farbfilter ▶ *Filter*
Farbstoffe, Laser- ▶ *Laser-Farbstoffe*
Farbstofflaser ▶ *Laser*
Farbzentrenlaser ▶ *Laser*
Faseroptik
Faseroptik-Bauteile ▶ *auch LWL (Lichtwellenleiter) bzw. Lichtleitfasern*
Fast Motion Cameras ▶ *Kameras*
Feinstell-Elemente ▶ *Positionierelemente*
Fenster
Fenster-Kristalle ▶ *Kristalle*
FFT-Analysatoren ▶ *Analysatoren*
FIB Nanofabrikation
Filter
Filter, Farb-
Filter, Grau-
Filter, Hochleistungs-Interferenz-
Filter, Interferenz-
Filter, IR-
Filter, Neutral-
Filter, optische
Filter, optische (Schmalband)
Filter, UV-
Fluoreszenz Lifetime Imaging
Flüssighelium ▶ *kryogene Flüssigkeiten*
Flüssigkristalle ▶ *Kristalle*
Flüssigstickstoff ▶ *kryogene Flüssigkeiten*
Freie Radikale, Quellen für ▶ *Aufdampfbeschichtungen*

Frequenzvervielfacherkristalle ▶
Kristalle

G

Galvanometer ▶ Scanner
Gammaskpektrometer ▶
Spektrometer
Gasflussregelgeräte
Gauß-Spiegel ▶ Laser-Spiegel
Generatoren ▶ Verzögerungsgenera-
toren bzw. Hochfrequenzgenera-
toren bzw. Signal-Generatoren
Germanium-Avalanche-Dioden
Gitter, Laser- ▶ Laser-Gitter
Glasfaser ▶ Faseroptik bzw. LWL
(Lichtwellenleiter)
Goniometer
Graufilter ▶ Filter
Graukeile ▶ auch Filter
GRM Auskoppler ▶ Laser-Spiegel
GRM Optiken ▶ Laser-Spiegel
GSGG-Laserstäbe ▶ Laserstäbe

H

Härteprüfung
Halbleiter
Halbleiter-Detektoren ▶ Detektoren
Halbleiter-Messtechnik
Hallmessplätze
He-Cd-Laser ▶ Laser
He-Ne-Laser ▶ Laser
He-UV-Lampen ▶ Lampen
Helium-Ionen-Mikroskopie
Helium-Lecksuchgeräte ▶
Lecksuchgeräte
Helium- und Stickstoffverflüssiger
Hermetische Vakuumpumpen ▶
Vakuumpumpen
Hitzdrahtanemometer ▶
Anemometer
Hochdrucklampen ▶ Lampen,
Bogen- (Xe, Hg)
Hochfrequenzbaugruppen
Hochgeschwindigkeitskamas ▶
Kamas
Hochleistungsblitzlampen ▶ Lampen
Hochleistungslaser ▶ Laser
Hochreine Chemikalien ▶
Chemikalien, hochreine
Hochreine Metalle ▶ Metalle, hoch-
reine
Hochspannungsgeräte und Zubehör
Hochspannungs-Isolier-
Durchführungen ▶ auch
Stromdurchführungen
Hochspannungspulser
Hochspannungsverstärker
Hochtemperaturöfen ▶ Öfen

Hochtemperaturzellen
Hochvakuum-Bauteile

I

IMACON-Kameras ▶ Kameras
Impulshöhenanalysatoren ▶
Analysatoren
Infrarot-Sensorkarten ▶ IR-
Sensorkarten
Infrarot-Sichtgeräte ▶ IR-Sichtgeräte
Infrarot-Spektrometer ▶
Spektrometer, IR-
Infrarot-Wandlerschirme ▶ IR-
Wandlerschirme
Integrierte Optik ▶ Optik
Interferenzfilter ▶ Filter
Interferometer
Interferometer, Weißlicht-
Ionenlaser ▶ Laser
Ionenquellen
Ionenspektrometer ▶ Spektrometer
Ionisationskammern
IR-Detektoren ▶ Detektoren
IR-Filter ▶ Filter
IR-Laser ▶ Laser
IR-Messgeräte ▶ Thermographische
Messgeräte
IR-Mikroskope ▶ Mikroskope
IR-Optik ▶ Optik
IR-Vidicon-Kameras ▶ Kameras
Isolatoren ▶ Faraday

J

Joule-Effekt-Verdampfer ▶
Aufdampfbeschichtungen,
Komponenten für

K

Kameras, CCD-
Kameras, Hochgeschwindigkeits-
Kameras, ICCD, gekühlt
Kameras, intensivierte
Kameras, IR-
Kameras, Pikosekunden-
Kameras, Restlicht-
Kameras, Röntgen-
Kameras, Streak-
Kameras, UV-
Kameras, Zeilen-
Keramik-Isolierrohre ▶ Isolierrohre
Kleinflansch-Bauteile
Knudsen-Zellen ▶ Aufdampf-
beschichtungen, Komponenten für
Kristalle ▶ auch Einkristalle
Kristalle, LiNbO₃
Kristalle, Monochromator-
Kristalle, nichtlinear-optische

Kristalle, Spezialbearbeitung
Kristalle, YAG-
Kristallziehanlagen
Kryobehälter
Kryobehälter, Metall-
Kryogene Flüssigkeiten, Über-
wachungs- und Handling-Systeme
Kryokältemaschinen
Kryopumpen ▶ Vakuumpumpen
Kryostate
Kryostate, Helium(3)-, Helium(4)-
Misch-
Kryostate-Heber ▶ auch
Tiefemperatur-Ausrüstung
Krypton-Laser ▶ Laser, Ionen-
Küvetten

L

LAMMA ▶ Massenspektrometer
Lampen, Blitz-
Lampen, Bogen- (Xe, Hg)
Laser
Laser, abstimmbar
Laser, Argon- ▶ Laser, Ionen-
Laser, CO₂-
Laser, Dioden-
Laser, Dioden-, Steuergeräte für
Laser, Dioden- Kollimator- u.
Linienoptiken
Laser, Excimer-
Laser, Farbstoff-
Laser, Faser-
Laser, Festkörper-
Laser, frequenzvervielfachte
Laser, Helium-Cadmium-
Laser, Helium-Neon-
Laser, Krypton- ▶ Laser, Ionen-
Laser, Quantenkaskaden-
Laser, Stickstoff-
Laser, Ti:Saphir-
Laser, ultraschnelle
Laser, Weißlicht-
Laser, YAG-
Laser, YVO₄-
Laser-Ablationssysteme
Laser-Cavities
Laserdioden
Laser-Doppler-Anemometer ▶
Anemometer
Laser-Doppler-Vibrometer ▶ Vibro-
meter
Laser-Energiemessgeräte
Laser-Experimente
Laser-Farbstoffe
Laser-Gase ▶ Gase, Laser-
Laser-Gläser ▶ optische Gläser
Laser-Kristalle ▶ auch Kristalle
Laser-Lampen ▶ Laser-Pumplampen
Laser-Leistungsmessgeräte
Laser-Materialbearbeitung ▶
Materialbearbeitung

Lasermikrobearbeitungssysteme ▶
Mikrobearbeitungssysteme mit
Laser
Laser-Messtechnik
Laser-Netzgeräte
Laser-Optik
Laser-Resonatoren ▶ Laser-Cavities
Laser-Schutzbrillen
Laser-Spiegel
Laser-Stäbe
Laserstrahl-Analysesysteme
Laser-Zubehör
Lecksuchgeräte
LEED-Spektrometer ▶ Spektrometer
Leistungsverstärker ▶ Verstärker
Li-Nb-Kristalle ▶ Kristalle
Lichtbogenstromquellen ▶
Stromquellen
Lichtleiter mit Linse
Lichtleitfasern, IR-
Lichtquellen
Lichtzerhacker ▶ Chopper
Linsen ▶ Optik
Literatur
Lithographiesysteme
Lock-in-Verstärker ▶ Verstärker
Low-Level-Detektoren ▶ Detektoren

M

Magnetfeldkompensationssysteme
Magnetisches Feld ▶ Feldmesser
Magnetometer
Magnet-Stromversorgungen
Magnetsysteme ▶ auch
Supraleitmagnete
Manipulatoren
Massenflussmesser ▶ auch
Strömungsmessgeräte
Massenflussregler
Massenspektrometer ▶ auch
Spektrometer
Massenspektrometer, Flugzeit-
Massenspektrometer, Quadrupol- ▶
auch Analysatoren, Restgas-
Materialbearbeitung mit Laser
MBE, Komponenten und Zubehör
MBE-Prozesssteuerungssoftware
MBE-Systeme, Sonderanfertigungen
Mehrschichtenentspiegelung ▶
Entspiegelung, Mehrschichten
Messbrücken, Widerstands-,
Kapazitäts-
Messung optischer Größen
Metalle
Metalle, hochreine
Metall-Einkristalle ▶ Einkristalle,
Metall-
Metallglas-Schichten ▶ Schichten
Metall-Optik ▶ Optik, Metall
Mikrobearbeitungssysteme mit Laser

Mikrokanalplatten
 Mikrooptik
 Mikropositioniersysteme
 Mikroskope
 Mikroskope, Lifetime-
 Mikroskope, optische Nahfeld-
 Mikroskope, Photo-Emissions-
 Elektronen
 Mikroskope, Rasterkraft-
 Mikroskope, Rastersonden-
 Mikroskope, Rastertunnel-
 Mikroskope, Röntgen-
 Mikroskop-Zubehör
 Mikrostrukturierung
 Modulatoren, akusto-optische
 Modulatoren, elektro-optische
 Molekularstrahl-Epitaxie
 Monochromatoren ▶ *auch* Spektro-
 meter
 Mößbauer-Spektrometer ▶
 Spektrometer
 Motoren ▶ UHV
 MTF (Modulation Transfer
 Function)-Messgeräte
 Multilayergitter ▶ Gitter, optische
 Multilayerspiegel ▶ Spiegel, Multilayer-

N

Nanofabrikation
 Nanoindenter
 Nano-Metrologie
 Nanopartikel-Analyse
 Nanopartikelquellen
 Nano-Positioniersysteme
 Nanosekunden-Blitzlampen ▶ Lampen
 Nanosekunden-Kurzzeitverschlüsse
 ▶ Kurzzeitverschlüsse,
 Nanosekunden-
 Natrium-Jodid-Detektoren ▶
 Detektoren

Netzgeräte ▶ *auch* Laser sowie
 Spektrallampen
 Neutralfilter ▶ Filter
 Neutronen-Spektrometer ▶
 Spektrometer
 NIM-Einschubtechnik
 NIM-Leercassetten
 Niveaugregler ▶ Kryogene
 Flüssigkeiten
 NMR-Spektrometer ▶ Spektrometer,
 NMR-

O

Oberflächenanalyse
 Oberflächenanalysegeräte ▶
 individuelle Typen
 Oberflächenmessgeräte
 Oberflächenmesstechnik
 Oberflächen-Profil-Messgeräte

Oberflächenreinigung
 Oberflächenspannungs-Messgeräte
 Öfen, Hochtemperatur-
 Öfen, Kalibrier-
 Öfen, Kammer-
 Öfen, Labor-
 Öfen, Rohr-
 Öfen, Vakuum- und Schutzgas-
 Optik
 Optik, Infrarot-
 Optik, nichtlineare
 Optik, UV-
 Optiken, Aufweitungs-
 Optiken, Kollimator- ▶ Laser-
 Dioden
 Optiken, Sonderanfertigung
 Optische Bänke
 Optische Einkristalle ▶ Einkristalle
 Optische Fasern ▶ Lichtleitfasern
 bzw. LWL
 Optische Filter ▶ Filter
 Optische Größen ▶ Messung
 Optische Isolatoren
 Optische Komponenten
 Optische Kristalle ▶ Einkristalle
 Optische Leistungsmessgeräte
 Optische Linsen
 Optische Oszilloskope ▶ Oszilloskope,
 optische

Optischer Phasenmodulator, zwei-
 dimensional
 Optische Polarisatoren
 Optische Schmalbandfilter ▶ Filter
 Optische Spektrumanalysatoren, ▶
 Spektrumanalysatoren
 Optische Vielkanal-Analysatoren ▶
 Vielkanalanalysatoren, optische
 Optoelektronische Filter ▶ Filter
 Optomechanik
 Oszillatoren, optisch parametrische
 Oszilloskope, optische
 Oxid-Keramik ▶ Keramik

P

Peltier-Elemente
 Photodioden
 Photometer ▶ Spektrometer
 Photomultiplier und Zubehör
 Photonen-Zählsysteme
 Photoröhren
 Piezoelektrische Keramiken
 Piezoelektrische Stellelemente
 Plasmabeschichtungs-,
 -ätzenanlagen
 Plasmadiagnose
 Plasma-Monitor-Systeme
 Plasmaquellen
 Plasmaspektroskopie
 Plasmastromquellen ▶
 Stromquellen
 Pockels-Zellen
 Polarisationsabhängige Verluste/

Polarisationsmodendispersion ▶
 PDL
 Polarisationsmessgeräte
 Polarisatoren ▶ Optik
 Positionier-Elemente ▶ *auch*
 Piezoelektrische Stellelemente
 Positioniergeräte
 Positioniersteuerungen
 Positioniersysteme
 Positionsempfindliche Detektoren ▶
 Detektoren
 Präzisionsrundtische
 Proportionalzählrohre ▶ *auch*
 Detektoren
 Prüfgase ▶ Gase, Prüf-
 Pulver, metallische/keramische
 Pumpen ▶ Vakuumpumpen
 Punktlichtquellen ▶ Lichtquellen,
 Punkt-
 Pyroelektrische Kristalle ▶ Kristalle

Q

Quadrupol-Restgasanalytoren ▶
auch Analytoren
 Quarz-Filter ▶ Filter

R

Radiometer
 Raman-Spektrometer ▶ Spektrometer
 Raster-Elektronen-Mikroskope ▶
 Mikroskope
 Raster-Tunnel-Mikroskope ▶
 Mikroskope
 Rauheitsmessungen
 Reflexminderungen ▶ Entspiegelung
 bzw. Schichten, Antireflex-
 Refrigeratoren ▶ Kryokältemaschinen
 Reingase ▶ Gase, Rein-
 Restgasanalytoren ▶ Analytoren
 Restlichtkameras ▶ Kameras
 Restlichtverstärker
 RHEED-Spektrometer ▶
 Spektrometer
 Rohröfen ▶ Öfen
 Röntgen-Analysegeräte
 Röntgendetektoren
 Röntgen-Fluoreszenz-Spektrometer ▶
 Spektrometer
 Röntgen-Kameras ▶ Kameras
 Röntgenmikroskope ▶ Mikroskope,
 Röntgen-
 Röntgen-Spektrometer ▶
 Spektrometer
 Röntgenoptik
 Röntgenquellen
 Rubin-Kristalle ▶ Kristalle

S

Saphir-Optiken und -Substrate
 Scanning Tunneling Microscopes ▶
 Mikroskope
 Schichtdicken-Messgeräte ▶ *auch*
 Dünnschicht-Messtechnik
 Schichten ▶ Aufdampfbeschichtung
 bzw. Plasmabeschichtung
 Schichten, dielektrische
 Schichten, metallische
 Schrittmotoren, Vakuum-, Kryo-
 Schrittmotorensteuerung
 Schwingquarze ▶ Quarz-Oszillatoren
 Schwingungsmesstechnik, optische
 Seltene Erden
 Sensortechnik
 SIMS ▶ Dienstleistungslabors und
 Massenspektrometer
 Software, Analyse- und
 Visualisierungs-
 Software, Auswertung von Spektren
 Software, Kryo-, therm.
 Eigenschaften von Flüssigkeiten
 u. Festkörpern
 Softwareentwicklung
 Spektrallampen
 Spektralphotometer, IR- ▶
 Spektrometer, IR-
 Spektrographen
 Spektrometer ▶ *auch*
 Massenspektrometer
 Spektrometer, Auger-
 Spektrometer, Elektronen-
 Spektrometer, ESCA-
 Spektrometer, ESR-
 Spektrometer, Fluoreszenz-
 Spektrometer, LEED-
 Spektrometer, Pikosekunden-
 Spektrometer, Raman-
 Spektrometer, RHEED-
 Spektrometer, Röntgenfluoreszenz-
 Spektrometer, Terahertz-
 Spektrometer, UV-IR-, modular
 Spektroskopische Ellipsometer
 Spezialfilter ▶ Filter
 Sphärometer
 Spiegel, XUV-, Röntgen-
 Spitzenmessplätze,
 mikromanipulierte, kryogenische
 Sputteranlagen, UHV-
 Sputterkathoden
 Sputtertargets
 SQUID-Systeme
 Stickstoff-Laser ▶ Laser
 Stimulated Emission Depletion
 (STED)
 STM, Tieftemperatur
 Strahlenschutz-Messgeräte
 Strahlungsdetektoren ▶ Detektoren
 Streak-Kameras bzw. Streak-
 Kamera-Systeme ▶ Kameras
 Stromdurchführungen

Stromquellen, schaltbare
Stromversorgungen
Sublimationsanlagen
Substrate
Superkontinuumsquellen
Supraleiter, Hochtemperatur-
Supraleitmagnete
Suszeptometer

T

Teilchendektoren ▶ *Dektoren*
Temperaturfühler
Temperaturmessung
Temperaturmessung, faseroptische
Temperaturregler
Temperatur-Testkammern
Terahertz-Spektrometer,
kryogenisch
Thermoelektrische Module
Tiefemperatur-Ausrüstung ▶ *auch*
Kryostate-Heber
Tiegelöfen ▶ *Öfen, Hochtemperatur-*
Topographie-Messgeräte

Trommelkamas ▶ *Kamas*
Turbomolekular-Vakuumpumpen ▶
Vakuumpumpen, Turbomolekular-

U

UHV-Bauteile, -Systeme,
-Messgeräte
UHV-kompatible Motoren
UHV-Manipulatoren
Ulbricht-Kugeln
Ultrafast Imaging & Spektroskopie
UV-Bildwandler ▶ *Bildwandler, UV-*
UV-Kamas ▶ *Kamas bzw.*
Bildwandler

V

Vakuumbeschichtungsanlagen ▶
Dünnschichtanlagen
Vakuumdrehdurchführungen
Vakuulkammern
Vakuulkomponenten

Vakuumlöten, Vakuumlühen
Vakuulk-Messgeräte
Vakuulköle und -fette
▶ *Öle und Fette*
Vakuulkpositionierung
Vakuulkpumpen
Vakuulkpumpen, Diffusions-
Vakuulkpumpen, Ionenzerstäuber-
Vakuulkpumpen, Kryo-
Vakuulkpumpen, Titanverdampfer-
Vakuulkpumpen, trockenlaufende
Vorpumpen
Vakuulkpumpen, Turbomolekular-
Vakuulkpumpen-Service
Vakuulkpumpen-Zubehör
Vakuulk-Schieber und -Ventile
Vakuulk-Sublimation organischer
Materialien
Vakuulktechnik,
Sonderanfertigungen
Verstärker, Leistungs-
Verstärker, Transimpedanz-
VIS-Filter ▶ *Filter, optische*

W

Wafer ▶ *Substrate*
Wärmetauscher ▶ *Kühlsysteme*
Wellenfrontmessung ▶ *Messung*
optischer Größen
Wellenlängenmessgeräte
Wissenschaftlicher Gerätebau

X

Xenon-Lampen ▶ *Lampen*

Y

YAG-Kristalle ▶ *Kristalle*
YAG-Laser ▶ *Laser*

Z

Zeilenkamas ▶ *Kamas*
Zylinderlinsen

PRODUKTE-ANBIETER

DAS PRODUKT- UND LIEFERANTENVERZEICHNIS FÜR DEN PHYSIKALISCHEN ARBEITSBEREICH

- Eine Zeile ist ca. 2 mm hoch, 34 mm breit,
ca. 25 Buchstaben,
Preis pro Zeile € 11,40 je Ausgabe und Rubrik
(zuzgl. MwSt.)
- Mindestlaufzeit ein Jahr (11 Ausgaben),
Aufnahme und Änderungen zu Quartalsbeginn,
Rabatt ab 6 belegten Rubriken
- Darstellung erfolgt nach Kundenwunsch
Alle Eintragungen erscheinen verlinkt im
Internet unter:

www.pro-physik.de

Angebot gewünscht?

Änne Anders Tel. 06201/606-552, Fax -550,
aanders@wiley.com
Silvia Edam Tel. 06201/606-570, Fax -100,
sedam@wiley.com

Wiley-VCH Verlags GmbH & Co. KGaA
Boschstr. 12, 69469 Weinheim

Annahmeschluss

2. Quartal	Ausgaben 4-6/2016	23.02.2016
3. Quartal	Ausgaben 7-8/9/2016	25.05.2016
4. Quartal	Ausgaben 10-12/2016	26.08.2016

AFM, Tieftemperatur



CreaTec Fischer & Co. GmbH
 Industriestr.9 · 74391 Erligheim
 Tel. 07143-9670-0 Fax -27
 E-Mail: sales@createc.de
<http://www.createc.de>

Akusto-optische Bauteile und Systeme



A.P.E GmbH
 s. Laser-Messtechnik
 Tel.: 030-986 011 30

Analysatoren, Elektronen-

scientaomicron
www.scientaomicron.com

SPECS™

SPECS
 Surface Nano Analysis GmbH
 Voltastrasse 5
 13355 Berlin / Germany
www.specs.com
 T +49 30 46 78 24-0
 F +49 30 46 42 083
 E sales@specs.com



**S T A I B
 INSTRUMENTE**
 Tel. 08761-76240
 Fax 08761-762460
sales@staibinstruments.com
www.staibinstruments.com

ATR-Elemente

KOMLAS siehe OPTIK



Forschungsmaterialien
 Tel 02461-9352-0 Fax -11
service@mateck.de
<http://www.mateck.de>

Aufdampfbeschichtungen, dünne

LASEROPTIK GmbH

Gneisenastr. 14
30826 Garbsen
 Tel. 05131/4 59 70
 Fax 05131/459720
<http://www.laseroptik.de>

tectra s. Vakuum-Komponenten

Aufdampfbeschichtungen, Komponenten für

www.CreaPhys.com

www.CreaTec.de



www.mantisdeposition.com

MBE
 KOMPONENTEN | DR. EBERL
www.mbe-komponenten.de



Schaefer Technologie GmbH
 Robert-Bosch-Str. 31
 63225 Langen
 Tel. 06103-300980
www.schaefer-tec.com

tectra s. Vakuum-Komponenten

Aufdampfmaterien



Cotec GmbH
 Frankenstr. 19 · 63791 Karlstein
 Tel.: +49 6188/99462-0 · Fax: -62
sales@cotec-gmbh.com
www.cotec-gmbh.com

www.CreaPhys.com

EVOCHEM
 ADVANCED MATERIALS

Heinrich-Krumm-Str. 20, 63073 Offenbach am Main
 Tel.: +49 69 9864604-0, Fax: +49 69 9864604-15
www.evo-chem.de, info@evo-chem.de

Goodfellow

Goodfellow GmbH
 Postfach 13 43, D-61213 Bad Nauheim
 freecall Tel.0800 1000579, Fax 0800 1000 580
 (nur innerhalb Deutschlands) oder Tel.
 +44 1480 424810, Fax. +44 1480 424900
<http://www.goodfellow.com>



**Hauner
 Metallische Werkstoffe**
 Gewerbering 36
 91341 Röttenbach
 Tel: 09195-7179 Fax 4472
info@hmw-hauner.de
www.hmw-hauner.de

Forschungsmaterialien
MaTeck
 Tel 02461-9352-0 Fax -11
service@mateck.de
<http://www.mateck.de>

Autokollimatoren

TRIOPTICS

Tel.: 04103 18006 -0 sales@trioptics.com
www.trioptics.com

Autokorrelatoren



A.P.E GmbH
 s. Laser-Messtechnik
 Tel.: 030-986 011 30

Avalanche-Dioden

PicoQuant s. Laser, Dioden-

Beschleunigerkomponenten

Babcock Noell GmbH

97080 Würzburg
 Telefon +49 931 903-0
www.bng.bilfinger.com

PiNK®

PiNK GmbH Vakuumtechnik
 Gyula-Horn-Straße 20, 97877 Wertheim
 Tel.: 09342/872-0 Fax: 09342/872-111
info@pink-vak.de www.pink-vak.de

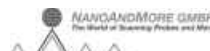
tectra s. Vakuum-Komponenten

Bildverarbeitungssysteme

STANFORD COMPUTER OPTICS
www.stanfordcomputeroptics.com

Cantilever

JPK Instruments AG, s. Mikroskope, Rasterkraft-



Steinbühlstr. 7, D-35578 Wetzlar
 Tel: +49 (0)6441 8706272
 Fax: +49 (0)6441 8706274
 Email: info@nanoandmore.com
 Web: NanoAndMore.com



Schaefer Technologie GmbH
 Robert-Bosch-Str. 31
 63225 Langen
 Tel. 06103-300980
www.schaefer-tec.com

Chemikalien, hochreine

Alfa Aesar



Alfa Aesar GmbH & Co KG
 Postfach 11 07 65, 76057 Karlsruhe
 Tel. 0721-84007 260 Fax 0721-84007 300
 Free phone: 00800 4566 4566
 Free fax: 00800 4577 4577
gcat@alfa.com www.alfa-chemcat.com

www.CreaPhys.com

Forschungsmaterialien
MaTeck
 Tel 02461-9352-0 Fax -11
service@mateck.de
<http://www.mateck.de>

Detektoren

www.lot-qd.com/de

tectra s. Vakuum-Komponenten

www.THORLABS.com

Detektoren, CdZnTe-



Forschungsmaterialien
 Tel 02461-9352-0 Fax -11
service@mateck.de
<http://www.mateck.de>

Detektoren, Delayline-

SURFACE CONCEPT GmbH

Tel. 06131-627160 · Fax 032-121276003
www.surface-concept.de · 55124 Mainz

Detektoren, Dioden-Array

ROPER SCIENTIFIC GMBH
 CCD-Detektoren und Spektrographen von
 Princeton Instruments / Acton Research
www.roperscientific.de

Detektoren, Elektronen-

HAMAMATSU s. Detektorsysteme, Pikosekunden-

SURFACE CONCEPT GmbH

www.surface-concept.de

tectra s. Vakuum-Komponenten

Detektoren, Halbleiter-

HAMAMATSU s. Detektorsysteme, Pikosekunden-

Detektoren, IR-

DoroTEK

A member of Solaris Group
 Tel.: 03341 215427
www.dorotek.de

HAMAMATSU s. Detektorsysteme, Pikosekunden-

Detektoren, Low-Level-

GCTechnology
 siehe Detektoren, Strahlungs-

**Detektoren, ortsauflösend für
 X-Rays und Neutronen**

GCTechnology
 siehe Detektoren, Strahlungs-

mesytec detector
 readout
 systems
www.mesytec.com
info@mesytec.com www.mesytec.com

Detektoren, positionsempfindliche

HAMAMATSU s. Detektorsysteme, Pikosekunden-

Detektoren, Röntgen-

ROPER SCIENTIFIC GMBH
 CCD-Detektoren und Spektrographen von
 Princeton Instruments / Acton Research
www.roperscientific.de

Detektoren, Strahlungs-

GCTechnology

Messgeräte Vertriebs GmbH
Freidling 12, 84172 Buch am Erlbach
Tel. 08706/94 15 00, Fax. 94 94 74
info@gctech-gmbh.com

HAMAMATSU s. Detektorsysteme, Pikosekunden-

Detektoren, Szintillations-

GCTechnology

siehe Detektoren, Strahlungs-

Detektoren, Teilchen-

GCTechnology

siehe Detektoren, Strahlungs-



www.mesytec.com www.mesytec.com
info@mesytec.com

tectra s. Vakuum-Komponenten

Detektorsysteme, Pikosekunden-

HAMAMATSU
PHOTONICS DEUTSCHLAND GmbH
Arzbergerstr. 10 · 82211 Herrsching
Tel.: 08152/375-0 · Fax: 08152/2658
info@hamamatsu.de
www.hamamatsu.de

PicoQuant s. Laser, Dioden-



s. Detektoren, Delayline-

Dienstleistungslabors, SIMS-

RTG Mikroanalyse GmbH
12489 Berlin, Schwarzschildstr.1
Tel: (030) 6392 1146 Fax: (030) 6392 1147
info@rtg-berlin.de www.rtg-berlin.de

Dioden-Arrays

HAMAMATSU s. Detektorsysteme, Pikosekunden-

Diodenlaser, gepulst

PicoQuant s. Laser, Dioden-

DLTS-(Deep Level Transient Spectroscopy) Messplätze

PhysTech GmbH
Mühlbachbogen 55d
85368 Moosburg
www.PhysTech.de
Tel.: 08761 74633 Fax: 08761 74634

Drehdurchführungen

tectra s. Vakuum-Komponenten

Druckmessgeräte

Agilent Technologies

Vacuum Products s. Vakuumpumpen

tectra s. Vakuum-Komponenten

Druckmessung, faseroptisch

soliton siehe Laser
08105-7792-0
www.soliton-gmbh.de

Dünnschichtenanlagen



AxynTeC Dünnschichttechnik GmbH
Tel.: +49 821 74 90 529-0, Fax: -900
www.axyntec.de info@axyntec.de

www.CreaPhys.com



www.mantisdeposition.com

www.mbe-komponenten.de



Tel.: 069 - 72 00 40
email: tectra@t-online.de
URL: http://www.tectra.de

Vakuum
in Forschung und Praxis

Zeitschrift für Vakuum- und Plasmatechnologie, Oberflächen und Dünne Schichten
WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA
Boschstr. 12, D-69469 Weinheim
Tel. 0800 1800536
cs-germany@wiley.com
http://www.wiley-vch.de

Dünnschicht-Messtechnik

www.lot-qd.com/de



Schaefer Technologie GmbH
Robert-Bosch-Str. 31
63225 Langen
Tel. 06103-300980
www.schaefer-tec.com

Durchflussmessgeräte

Bronkhorst
HIGH-TECH
Massenflussmesser/-regler
für Labor / Industrie / Ex-Zone
www.bronkhorst.com

A. KIRCHNER & TOCHTER GMBH
Gas- und Flüssigkeits-
durchflußmeßgeräte
Postfach 14 17 08
47207 Duisburg
Tel.: (0 20 65) 6 31 41
Fax: (0 20 65) 6 08 13



Schaefer Technologie GmbH
Robert-Bosch-Str. 31
63225 Langen
Tel. 06103-300980
www.schaefer-tec.com

Effusionszellen

www.CreaPhys.com



CreaTec Fischer & Co. GmbH
Industriestr. 9 · 74391 Erligheim
Tel. 07143-9670-0 Fax -27
E-Mail: sales@createc.de
http://www.createc.de

www.mbe-komponenten.de

tectra s. Vakuum-Komponenten

Einkristalle



Alfa Aesar GmbH & Co KG
Postfach 11 07 65, 76057 Karlsruhe
Tel. 0721-84007 260 Fax 0721-84007 300
Free phone: 00800 4566 4566
Free fax: 00800 4577 4577
gc@alfa.com www.alfa-chemcat.com

Goodfellow

Goodfellow GmbH
Postfach 13 43, D-61213 Bad Nauheim
freecall Tel.08001000579, Fax 08001000 580
(nur innerhalb Deutschlands) oder Tel.
+44 1480 424810, Fax. +44 1480 424900
http://www.goodfellow.com



Forschungsmaterialien
Tel 02461-9352-0 Fax -11
service@mateck.de
http:// www.mateck.de

Einkristalle, Metall-



Forschungsmaterialien
Tel 02461-9352-0 Fax -11
service@mateck.de
http:// www.mateck.de

Einkristalle, optische



Forschungsmaterialien
Tel 02461-9352-0 Fax -11
service@mateck.de
http:// www.mateck.de

Einkristalle, Oxide-



Forschungsmaterialien
Tel 02461-9352-0 Fax -11
service@mateck.de
http:// www.mateck.de

Elektronenoptische Spezialentwicklungen

S T A I B INSTRUMENTE
siehe Spektrometer, Auger-

Elektronenquellen

scientaomicron
www.scientaomicron.com

www.specs.com → Analysatoren, Elektronen-

S T A I B INSTRUMENTE
siehe Spektrometer, Auger-

tectra s. Vakuum-Komponenten

Elektronen- und Ionenstrahlolithografie

RAITH www.raith.com
NANOFABRICATION 44263 Dortmund
Tel. 0231-95004-0 · Fax -95004-460

Elektronenstrahlverdampfer

www.cryoandmore.de



www.mantisdeposition.com

www.mbe-komponenten.de

Elektronikentwicklung

CGC Instruments s. Wissenschaftlicher Gerätebau

Ellipsometer

www.lot-qd.com/de

Faraday-Isolatoren

soliton siehe Laser
08105-7792-0
www.soliton-gmbh.de

Faseroptik

www.THORLABS.com

Faseroptik-Bauteile



s. Piezoelektr. Stallelemente

Schäfer + Kirchhoff GmbH
Kieler Str. 212 • 22525 Hamburg
040/8539970 • Fax: 040/8503137
e-mail info@SuKHamburg.de
http://www.SuKHamburg.de

Fenster

rodit s. Laser-Stäbe

FIB Nanofabrikation

RAITH www.raith.com
 NANOFABRICATION 44263 Dortmund
 Tel. 0231-95004-0 · Fax -95004-460

Filter

AHF analysentechnik www.ahf.de

Filter, Farb-

AHF analysentechnik www.ahf.de

Filter, Grau-

AHF analysentechnik www.ahf.de

Filter, Hochleistungs- Interferenz-

LASEROPTIK GmbH
 Gneisenastr. 14
 30826 Garbsen
 Tel. 05131/4 59 70
 Fax 05131/459720
 http://www.laseroptik.de

Filter, Interferenz-

AHF ANALYSENTECHNIK
AHF analysentechnik AG
 Postfach 1543, D-72005 Tübingen
 Tel. +49-7071-970901-0, Fax -99
 E-Mail: info@ahf.de, www.ahf.de

Filter, IR-

Cryophysics GmbH, s. Kryostate
 www.cryophysics.de

Filter, Neutral-

AHF analysentechnik www.ahf.de

Filter, optische

AHF analysentechnik www.ahf.de

www.lot-qd.com/de

Reichmann Feinoptik GmbH s. Optik

www.thorlabs.com

Filter, optische (Schmalband)

AHF analysentechnik www.ahf.de

Filter, UV-

AHF analysentechnik www.ahf.de

Fluoreszenz Lifetime Imaging

PicoQuant s. Laser, Dioden-

Gasflussregelgeräte

Schaefer Technologie GmbH
 Robert-Bosch-Str. 31
 63225 Langen
 Tel. 06103-300980
 www.schaefer-tec.com

Goniometer

HUBER siehe
 Diffraction and Positioning Equipment Positioniergeräte
 www.huber.com

OWIS www.owis.eu

PI www.pimicos.com
 Bewegungen | Positionieren

TRIOPTICS
 Tel.: 04103 18006 -0 sales@trioptics.com
 www.trioptics.com

Härteprüfung

www.lot-qd.com/de

Halbleiter

MaTecK Forschungsmaterialien
 Tel 02461-9352-0 Fax -11
 service@mateck.de
 http://www.mateck.de

Halbleiter-Messtechnik

PhysTech GmbH
 Mühlbachbogen 55d
 85368 Moosburg
 www.PhysTech.de
 Tel.: 08761 74633 Fax: 08761 74634

Hallmessplätze

www.cryoandmore.de

Cryophysics GmbH
 Dolivostraße 9 · 64293 Darmstadt
 Tel. (0 61 51) 8 15 70 · Fax -81 57 99
 e-mail: info@cryophysics.de
 www.cryophysics.de

PhysTech GmbH
 Mühlbachbogen 55d
 85368 Moosburg
 www.PhysTech.de
 Tel.: 08761 74633 Fax: 08761 74634

Helium- und Stickstoffverflüssiger

www.cryoandmore.de

www.lot-qd.com/de

Hochfrequenzbaugruppen

A.P.E GmbH
 s. Laser-Messtechnik
 Tel.: 030-986 011 30

Hochspannungsgeräte und Zubehör

FuG Elektronik s. Netzgeräte

Heinzinger.de
 power supplies

hivolt.de s. Hochspannungsverstärker

iseg
 HIGH VOLTAGE. EXACTLY.
 http://www.iseg-hv.de

SURFACE CONCEPT GmbH
www.surface-concept.de

Hochspannungs-
Isolier-Durchführungen

tectra s. Vakuump-Komponenten

Hochspannungspulser

BEHLKE
 HIGH-TECH IN HIGH VOLTAGE
 Am Auernberg 4, D-61476 Kronberg/Ts.
 Tel. 0 61 73-92 90 20, Fax. 92 90 30
 E-Mail: info@behlke.de

Hochspannungsverstärker

CGC Instruments s. Wissenschaftlicher Gerätebau

hivolt.de GmbH & Co. KG
 ☎ 040-537122 80 • ☎ 040-537122 99
www.hivolt.de • info@hivolt.de

Hochtemperaturzellen

CREATEC
 CreaTec Fischer & Co. GmbH
 Industriestr. 9 · 74391 Erligheim
 Tel. 07143-9670-0 Fax -27
 E-Mail: sales@createc.de
 http://www.createc.de

Hochvakuum-Bauteile

MDG VACUUM LIMITED
 Tel +49 (0) 2305 947-508
 Fax +49 (0) 2305 947-510
 sales@mdcvacuum.de
 www.mdcvacuum.de

tectra s. Vakuump-Komponenten

Interferometer

soliton siehe Laser
 08105-7792-0
 www.soliton-gmbh.de

TRIOPTICS
 Tel.: 04103 18006 -0 sales@trioptics.com
 www.trioptics.com

Interferometer, Weißlicht-

Polytec GmbH Waldbronn
 www.polytec.de

Schaefer Technologie GmbH
 Robert-Bosch-Str. 31
 63225 Langen
 Tel. 06103-300980
 www.schaefer-tec.com

TRIOPTICS
 Tel.: 04103 18006 -0 sales@trioptics.com
 www.trioptics.com

zygoLOT
 EUROPE
 www.zygot.de

Ionenquellen

MANTIS
 MANTIS DEPOSITION LTD
 www.mantisdeposition.com

www.specs.com → Analysatoren, Elektronen-

S T A I B INSTRUMENTE
 siehe Spektrometer, Auger-

tectra Tel.: 069 - 72 00 40
 email: tectra@t-online.de
 URL: http://www.tectra.de

Ionisationskammern

GCTechnology
 siehe Detektoren, Strahlungs-

Kameras, CCD-

HAMAMATSU
 PHOTONICS DEUTSCHLAND GmbH
 Arzbergerstr. 10 · 82211 Herrsching
 Tel.: 08152/375-0 Fax: 08152/2658
 info@hamamatsu.de
 www.hamamatsu.de

www.lot-qd.com/de

RENISHAW
 apply innovation™
 www.renishaw.de, s. Spektrometer, Raman-

ROPER SCIENTIFIC GMBH
 CCD-Detektoren und Spektrographen von
 Princeton Instruments / Acton Research
www.roperscientific.de

STANFORD COMPUTER OPTICS
www.stanfordcomputeroptics.com

Kameras, Hochgeschwindigkeits-

HAMAMATSU s. Kameras, CCD-

STANFORD COMPUTER OPTICS
www.stanfordcomputeroptics.com

Kameras, ICCD, gekühlt

www.lot-qd.com/de

Roper Scientific s. Kameras, CCD-

Kameras, intensivierte

HAMAMATSU s. Kameras, CCD-

Roper Scientific s. Kameras, CCD-

STANFORD COMPUTER OPTICS
www.stanfordcomputeroptics.com

Kameras, IR-

HAMAMATSU s. Kameras, CCD-

www.lot-qd.com/de

Roper Scientific s. Kameras, CCD-

Kameras, Pikosekunden-

HAMAMATSU s. Kameras, CCD-

STANFORD COMPUTER OPTICS
Paul Hoess KG
Entenbachstr. 14 - 81541 München
Tel: 089 652029 - Fax: 089 654817
www.stanfordcomputeroptics.com

Kameras, Restlicht-

HAMAMATSU s. Kameras, CCD-

Roper Scientific s. Kameras, CCD-

Kameras, Röntgen-

HAMAMATSU s. Kameras, CCD-

HUBER siehe Positioniergeräte
Diffraction and Positioning Equipment www.xhuber.com

www.lot-qd.com/de

Roper Scientific s. Kameras, CCD-

Kameras, Streak-

HAMAMATSU s. Kameras, CCD-

Kameras, UV-

HAMAMATSU s. Kameras, CCD-

Roper Scientific s. Kameras, CCD-

Kameras, Zeilen-

Entwicklungsbüro

Dipl.-Phys. G. Stresing
Reinholdstr. 5-6, D-12051 Berlin
Tel. 0 30-6 85 45 06, Fax. -6 85 12 56
http://info@stresing.de
www.stresing.de

HAMAMATSU s. Kameras, CCD-

CCD-Zeilenkamera
30 verschiedene Kameramodelle mit
CCD-Zeilen Sensoren / 128 bis 7926 Pixel
PC-Interface: ISA-, PCI-, PC/104-Bus
Schäfer + Kirchoff GmbH
Kielstr. 212 • 22525 Hamburg
040/8539970 • Fax 040/8503137
e-mail info@SuKHamburg.de
http://www.SuKHamburg.de

Kleinflansch-Bauteile

Agilent Technologies
Vacuum Products s. Vakuumpumpen

CryoVac 53842 Troisdorf
Heuserweg 14
Tel. (02241) 47683 · Fax. (02241) 43221
http://www.cryovac.de

tectra s. Vakuu-Komponenten

Kristalle

KORTH
KRISTALLE GMBH
24161 Altenholz (Kiel)
Tel. 0431-36905-0, Fax -25
E-Mail: info@korth.de
http://www.korth.de

Forschungsmaterialien
MaTeck
Tel 02461-9352-0 Fax -11
service@mateck.de
http://www.mateck.de

roditi s. Laser-Stäbe

Kristalle, LiNbO₃

Forschungsmaterialien
MaTeck
Tel 02461-9352-0 Fax -11
service@mateck.de
http://www.mateck.de

Kristalle, Monochromator-

Forschungsmaterialien
MaTeck
Tel 02461-9352-0 Fax -11
service@mateck.de
http://www.mateck.de

Kristalle, nichtlinear-optische

KOMLAS siehe OPTIK

Kristalle, Spezialbearbeitung

Forschungsmaterialien
MaTeck
Tel 02461-9352-0 Fax -11
service@mateck.de
http://www.mateck.de

Kristalle, YAG-

KOMLAS siehe OPTIK

Kristallziehenanlagen

www.gero-gmbh.com, s. Öfen

www.lot-qd.com/de

Kryobehälter

CryoVac 53842 Troisdorf
Heuserweg 14
Tel. (02241) 47683 · Fax. (02241) 43221
http://www.cryovac.de

Kryobehälter, Metall-

Cryophysics GmbH, s. Kryostate
www.cryophysics.de

**Kryogene Flüssigkeiten,
Überwachungs-
und Handling-Systeme**

CryoVac 53842 Troisdorf
Heuserweg 14
Tel. (02241) 47683 · Fax. (02241) 43221
http://www.cryovac.de

Schaefer Technologie GmbH
Robert-Bosch-Str. 31
63225 Langen
Tel. 06103-300980
www.schaefer-tec.com

Kryokältemaschinen

www.cryoandmore.de

Cryophysics GmbH
Dolivostraße 9 · 64293 Darmstadt
Tel. (0 61 51) 8 15 70 · Fax -81 57 99
e-mail: info@cryophysics.de
www.cryophysics.de

Kryostate

Babcock Noell GmbH

97080 Würzburg
Telefon +49 931 903-0
www.bng.bilfinger.com

www.cryoandmore.de

Cryophysics GmbH
Dolivostraße 9 · 64293 Darmstadt
Tel. (0 61 51) 8 15 70 · Fax -81 57 99
e-mail: info@cryophysics.de
www.cryophysics.de

CryoVac 53842 Troisdorf
Heuserweg 14
Tel. (02241) 47683 · Fax. (02241) 43221
http://www.cryovac.de

www.lot-qd.com/de

**Kryostate, Helium (3)-
Helium (4)-Misch-**

www.cryoandmore.de

Cryophysics GmbH
Dolivostraße 9 · 64293 Darmstadt
Tel. (0 61 51) 8 15 70 · Fax -81 57 99
e-mail: info@cryophysics.de
www.cryophysics.de

CryoVac 53842 Troisdorf
Heuserweg 14
Tel. (02241) 47683 · Fax. (02241) 43221
http://www.cryovac.de

GVL Cryoengineering
Dr. George V. Lecomte GmbH
Aachener Str. 89, D-52223 Stolberg
Tel. 02402 24566 Fax: -26739
E-Mail: GVL-CRYO@T-online.de

Kryostate-Heber

www.cryoandmore.de

Cryophysics GmbH, s. Kryostate
www.cryophysics.de

CryoVac 53842 Troisdorf
Heuserweg 14
Tel. (02241) 47683 · Fax. (02241) 43221
http://www.cryovac.de

Küvetten

Radiant Dyes Laser

s. Laser www.radiant-dyes.com

Sirah.com
Lasertechnik

Lampen, Blitz-

HAMAMATSU s. Photodioden

soliton siehe Laser
08105-7792-0
www.soliton-gmbh.de

Lampen, Bogen- (Xe, Hg)

HAMAMATSU s. Photodioden

www.lot-qd.com/de

Laser

ATL Lasertechnik GmbH ATL
Burgerstr. 28, 42929 Wermelskirchen
Tel.: 02196-8879893 Fax: -8879895
e-mail: info@atl-laser.de

**COHERENT
(Deutschland) GmbH**
Dieselstr. 5b · D-64807 Dieburg
Tel.: 0 60 71/968-0 · Fax: 9 68-499
E-Mail: sales.germany@coherent.com
Internet: http://www.coherent.de

Cobolt

Low-noise DPSS-Lasers
von Gegerfelt PHOTONICS
Tel. 06251/86099-20 Fax -17
www.vgphotonics.eu

LIOPTEC
light is our profession

LIOP-TEC GmbH

Industriestr. 4 · D-42477 Radevormwald
Tel. +49-2195-6889932
www.liop-tec.com · info@liop-tec.com

PHOTON ENERGY s. Laser, ultraschnelle

Radiant Dyes Laser

Accessories GmbH
Friedrichstr. 58,
42929 Wermelskirchen
Tel. 02196/81061, Fax 3422
http://www.radiant-dyes.com
info@radiant-dyes.com

Sirah
Lasertechnik

Heinrich-Hertz-Strasse 11
41516 Grevenbroich
Fon +49 2182 82 98 18-0
eMail info@sirah.com
Web sirah.com

soliton

Talhofstr. 32, 82205 Gilching
Tel. 08105/7792-0 Fax/7792-77
e-mail: info@soliton-gmbh.de
http://www.soliton-gmbh.de

Laser, abstimmbar

H Hübner GmbH & Co. KG
photonics@hubner-germany.com
www.hubner-photonics.com

Laser, CO₂

soliton siehe Laser
08105-7792-0
www.soliton-gmbh.de

Laser, Dioden-

PicoQuant GmbH
Tel. +49-(0)30-6392-6929
info@picoquant.com
www.picoquant.com

Schäfter + Kirchhoff GmbH

Kieler Str. 212 · 22525 Hamburg
040/8539970 · Fax 040/8503137
e-mail info@SuKHamburg.de
http://www.SuKHamburg.de

soliton siehe Laser
08105-7792-0
www.soliton-gmbh.de

Laser, Dioden-, Steuergeräte für

KOMLAS siehe OPTIK

www.THORLABS.com

Laser, Dioden- Kollimator-
und Linienoptiken

Schäfter + Kirchhoff GmbH

Kieler Str. 212 · 22525 Hamburg
040/8539970 · Fax 040/8503137
e-mail info@SuKHamburg.de
http://www.SuKHamburg.de

Laser, Excimer-

ATL Lasertechnik GmbH ATL
Burgerstr. 28, 42929 Wermelskirchen
Tel.: 02196-8879893 Fax: -8879895
e-mail: info@atl-laser.de

Radiant Dyes Laser

s. Laser www.radiant-dyes.com

Laser, Farbstoff-

LIOPTEC
light is our profession
www.liop-tec.com · info@liop-tec.com

LTBA
LASERTECHNIK BERLIN*

LTB Lasertechnik Berlin GmbH
Am Studio 2c, 12489 Berlin
Tel.: +49-(0)30-912075-208 Fax: -199
sales@ltb-berlin.de, www.ltb-berlin.de

Radiant Dyes Laser

s. Laser www.radiant-dyes.com

Sirah
Lasertechnik

Heinrich-Hertz-Strasse 11
41516 Grevenbroich
Fon +49 2182 82 98 18-0
eMail info@sirah.com
Web sirah.com

Laser, Faser-

soliton siehe Laser
08105-7792-0
www.soliton-gmbh.de

Laser, Festkörper-

soliton siehe Laser
08105-7792-0
www.soliton-gmbh.de

Laser, frequenzvervielfachte

Smart Laser Systems GmbH siehe Laser

Laser, Helium-Cadmium-

soliton siehe Laser
08105-7792-0
www.soliton-gmbh.de

Laser, Helium-Neon-

soliton siehe Laser
08105-7792-0
www.soliton-gmbh.de

Laser, Quantenkaskaden-

soliton siehe Laser
08105-7792-0
www.soliton-gmbh.de

Laser, Stickstoff-

LTBA
LASERTECHNIK BERLIN*
LTB Lasertechnik Berlin GmbH
Am Studio 2c, 12489 Berlin
Tel.: +49-(0)30-912075-208 Fax: -199
sales@ltb-berlin.de, www.ltb-berlin.de

Laser, Ti: Saphir-

Radiant Dyes Laser

s. Laser www.radiant-dyes.com

Sirah
Lasertechnik

Heinrich-Hertz-Strasse 11
41516 Grevenbroich
Fon +49 2182 82 98 18-0
eMail info@sirah.com
Web sirah.com

Laser, ultraschnelle

**PHOTON
ENERGY**

PHOTON ENERGY GmbH
Bräunleinsberg 10
D-91242 Ottensoos
info@photon-energy.de
www.photon-energy.de

soliton siehe Laser
08105-7792-0
www.soliton-gmbh.de

Laser, Weißlicht-

PicoQuant s. Laser, Dioden-

soliton siehe Laser
08105-7792-0
www.soliton-gmbh.de

Laser, YAG-

PHOTON ENERGY s. Laser, ultraschnelle

soliton siehe Laser
08105-7792-0
www.soliton-gmbh.de

Laser, YVO₄-

PHOTON ENERGY s. Laser, ultraschnelle

Laser-Ablationssysteme

soliton siehe Laser
08105-7792-0
www.soliton-gmbh.de

tectra s. Vakuum-Komponenten

Laser-Cavities

KOMLAS siehe OPTIK

Laserdioden

www.THORLABS.com

Laser-Energiemessgeräte

Radiant Dyes Laser

s. Laser www.radiant-dyes.com

Sirah
Lasertechnik

soliton siehe Laser
08105-7792-0
www.soliton-gmbh.de

www.THORLABS.com

Laser-Experimente

KOMLAS siehe OPTIK

PI www.pimicos.com
Bewegen | Positionieren

Laser-Farbstoffe

Radiant Dyes Laser

s. Laser www.radiant-dyes.com

Laser-Kristalle

KOMLAS siehe OPTIK

roditi s. Laser-Stäbe

Laser-Leistungsmessgeräte

COHERENT
(Deutschland) GmbH
Dieselstr. 5b · D-64807 Dieburg
Tel.: 0 60 71/968-0 · Fax: 9 68-499
E-Mail: sales.germany@coherent.com
Internet: <http://www.coherent.de>

soliton siehe Laser
08105-7792-0
www.soliton-gmbh.dewww.THORLABS.com

Laser-Messtechnik

Angewandte Physik
& Elektronik GmbH
Plauerer Str. 163-165, Haus 13,
D-13053 Berlin
Tel: 030-986 011 30
ape@ape-berlin.de
<http://www.ape-berlin.de>

Schäfter + Kirchhoff GmbH

Kieker Str. 212 • 22525 Hamburg
040/8539970 • Fax 040/8503137
e-mail info@SuKHamburg.de
<http://www.SuKHamburg.de>

Laser-Netzgeräte

KOMLAS siehe OPTIK

Laser-Optik

ATL Lasertechnik GmbH
Bürgerstr. 28, 42929 Wermelskirchen
Tel.: 02196-8879893 Fax: -8879895
e-mail: info@atl-laser.de

KOMLAS siehe OPTIK

Lens-Optics s. Optiken, Sonderanfertigung

Radiant Dyes Laser

s. Laser www.radiant-dyes.com

Schäfter + Kirchhoff GmbH

Kieker Str. 212 • 22525 Hamburg
040/8539970 • Fax 040/8503137
e-mail info@SuKHamburg.de
<http://www.SuKHamburg.de>

Laser-Schutzbrillen

soliton siehe Laser
08105-7792-0
www.soliton-gmbh.de

Laser-Spiegel

KOMLAS siehe OPTIK

LASEROPTIK GmbH
Gneisenaustr. 14
30826 Garbsen
Tel. 05131/4 59 70
Fax 05131/459720
<http://www.laseroptik.de>

Layertec - optische Beschichtungen GmbH
Ernst-Abbe-Weg 1, D-99441 Mellingen
Telefon: + 49 3 64 53 / 7 44-0
Telefax: + 49 3 64 53 / 7 44-40
info@layertec.de www.layertec.de

Lens-Optics s. Optiken, Sonderanfertigung



Laser-Stäbe

KOMLAS siehe OPTIK

Hamburg
Tel. 040/7258660 Fax 040/725866-22
sales@roditi.de [Web.: www.roditi.de](http://www.roditi.de)

Laserstrahl-Analysesysteme

OPHIR
Photonics
A Newport Corporation Brand
www.ophiropt.com/laser-measurement
Telefon +49-6151-7080

soliton siehe Laser
08105-7792-0
www.soliton-gmbh.dewww.THORLABS.com

Laser-Zubehör

A.P.E. GmbH
s. Laser-Messtechnik
Tel.: 030-986 011 30



Radiant Dyes Laser

s. Laser www.radiant-dyes.com

Lecksuchgeräte

Agilent Technologies
Sales & Services GmbH & Co. KG
Vacuum Products Division
Lyoner Str. 20, 60528 Frankfurt am Main
Tel.: 0080023423400
Fax: 0080034534500
E-Mail vpt-customer-care@agilent.com
www.agilent.com/chem/vacuumcatalogOerlikon Leybold Vacuum GmbH
50968 Köln
Telefon: (0221) 347-0
Telefax: (0221) 347-1250
www.oerlikon.com
info.vacuum@oerlikon.com

Lichtleiter mit Linse

soliton siehe Laser
08105-7792-0
www.soliton-gmbh.de

Lichtquellen

HAMAMATSU s. Photodioden

www.lot-qd.com/de

Literatur

WILEY-VCH Verlag
GmbH & Co. KGaA
Boschstraße 12
D-69469 Weinheim
Tel. +49 (0) 62 01-606-0
Fax +49 (0) 62 01-606-328
e-mail: cs-germany@wiley.com
<http://www.wiley-vch.de>
Registrieren Sie sich für den
kostenlosen Newsletter:
<http://www.wiley-vch.de/home/pas>

Lithographiesysteme

HEIDELBERG INSTRUMENTS
www.himt.dewww.lot-qd.com/de

Magnetfeldkompensationssysteme

Stefan Mayer Instr.
s. Magnetometer

Magnetometer

Cryophysics GmbH
Dollivostraße 9 · 64293 Darmstadt
Tel. (0 61 51) 8 15 70 · Fax -81 57 99
e-mail: info@cryophysics.de
www.cryophysics.de

www.lot-qd.com/de

Stefan Mayer
Instruments
Wallstr. 7, 46535 Dinslaken
Tel./Fax: 02064 479762/3
<http://www.stefan-mayer.com>

Projekt Elektronik

Mess- und Regelungstechnik GmbH
Am Borsigturm 54 · 13507 Berlin
Tel. 030/43 03 22 40 · Fax 43 03 22 43
<http://www.projekt-elektronik.com>
info@projekt-elektronik.com

Schaefer Technologie GmbH
Robert-Bosch-Str. 31
63225 Langen
Tel. 06103-300980
www.schaefer-tec.com

Magnet-Stromversorgungen

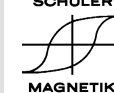
Cryophysics GmbH, s. Kryostate
www.cryophysics.de

Magnetsysteme

Babcock Noell GmbH

97080 Würzburg
Telefon +49 931 903-0
www.bng.bifinger.comwww.cryoandmore.deCryophysics GmbH, s. Kryostate
www.cryophysics.de

Schaefer Technologie GmbH
Robert-Bosch-Str. 31
63225 Langen
Tel. 06103-300980
www.schaefer-tec.com

SCHÜLER Simulation, Design,
Systeme, Power Supply,
PermanentmagneteBehringstr. 49 a
44225 Dortmund
Fon +49-231-4251074
Fax +49-231-4251075
info@schueler-magnetik.de

Manipulatoren

ELMITEC
siehe
Mikroskope

tecta s. Vakuum-Komponenten

Massenflussmesser



Schaefer Technologie GmbH
Robert-Bosch-Str. 31
63225 Langen
Tel. 06103-300980
www.schaefer-tec.com

Massenflussregler



Schaefer Technologie GmbH
Robert-Bosch-Str. 31
63225 Langen
Tel. 06103-300980
www.schaefer-tec.com

Massenspektrometer, Flugzeit-

STEFAN KAESDORF

Geräte für Forschung und Industrie
Gabelsbergerstr. 59 · 80333 München
Tel. 089/521795 Fax 089/5234816



Tel.: 069 - 72 00 40
email: tectra@t-online.de
URL: http://www.tectra.de

Massenspektrometer, Quadrupol-

tec tra s. Vakuum-Komponenten

Materialbearbeitung mit Laser

ATL Lasertechnik GmbH ATL
Burgerstr. 28, 42929 Wermelskirchen
Tel.: 02196-8879893 Fax: -8879895
e-mail: info@atl-laser.de

PHOTON ENERGY s. Laser, ultraschnelle

soliton siehe Laser
08105-7792-0
www.soliton-gmbh.de

MBE, Komponenten und Zubehör



CreaTec Fischer & Co. GmbH
Industriestr. 9 · 74391 Erligheim
Tel. 07143-9670-0 Fax -27
E-Mail: sales@createc.de
http://www.createc.de



www.mantisdeposition.com



www.mbe-komponenten.de

MBE-Prozesssteuerungssoftware

www.CreaTec.de

tec tra s. Vakuum-Komponenten

MBE-Systeme, Sonderanfertigungen

www.CreaTec.de

www.mbe-komponenten.de

Messbrücken, Widerstands-,
Kapazitäts-

Cryophysics GmbH, s. Kryostate
www.cryophysics.de

GVL Cryoengineering
Dr. George V. Lecomte GmbH

Aachener Str. 89, D-52223 Stolberg
Tel. 02402 24566 Fax: -26739
E-Mail: GVL-CRYO@T-online.de

Messung optischer Größen



Tel.: 04103 18006 -0 sales@trioptics.com
www.trioptics.com

Metalle

ADVENT
Advent Research Materials Ltd
Eynsham · Oxford
England OX29 4JA
Tel + 44 1865 884440
Fax + 44 1865 884460
Email info@advent-rm.com
Web www.advent-rm.com



Alfa Aesar GmbH & Co KG
Postfach 11 07 65, 76057 Karlsruhe
Tel. 0721-84007 260 Fax 0721-84007 300
Free phone: 00800 4566 4566
Free fax: 00800 4577 4577
gcat@alfa.com www.alfa-chemcat.com



Cotec GmbH
Frankenstr. 19 · 63791 Karlstein
Tel.: +49 6188/99462-0 · Fax: -62
sales@cotec-gmbh.com
www.cotec-gmbh.com



Heinrich-Krumm-Str. 20, 63073 Offenbach am Main
Tel.: +49 69 9864604-0, Fax: +49 69 9864604-15
www.evo-chem.de, info@evo-chem.de



Goodfellow GmbH
Postfach 13 43, D-61213 Bad Nauheim
freecall Tel. 0800 1000579, Fax 0800 1000 580
(nur innerhalb Deutschlands) oder Tel.
+44 1480 424810, Fax. +44 1480 424900
http://www.goodfellow.com

und Legierungen

Hauner
Metallische Werkstoffe
Gewerberg 36
91341 Röttenbach
Tel: 09195-7179 Fax 4472
info@hmw-hauner.de
www.hmw-hauner.de

Mateck Forschungsmaterialien
Tel 02461-9352-0 Fax -11
service@mateck.de
http:// www.mateck.de

Metalle, hochreine

ADVENT
Advent Research Materials Ltd
Eynsham · Oxford
England OX29 4JA
Tel + 44 1865 884440
Fax + 44 1865 884460
Email info@advent-rm.com
Web www.advent-rm.com



Alfa Aesar GmbH & Co KG
Postfach 11 07 65, 76057 Karlsruhe
Tel. 0721-84007 260 Fax 0721-84007 300
Free phone: 00800 4566 4566
Free fax: 00800 4577 4577
gcat@alfa.com www.alfa-chemcat.com



Goodfellow GmbH
Postfach 13 43, D-61213 Bad Nauheim
freecall Tel. 0800 1000579, Fax 0800 1000 580
(nur innerhalb Deutschlands) oder Tel.
+44 1480 424810, Fax. +44 1480 424900
http://www.goodfellow.com

Mateck Forschungsmaterialien
Tel 02461-9352-0 Fax -11
service@mateck.de
http:// www.mateck.de

Mikrobearbeitungssysteme
mit Laser

HEIDELBERG INSTRUMENTS
www.himt.de

Mikrokanalplatten

HAMAMATSU s. Photodioden

tec tra Tel.: 069 - 72 00 40
email: tectra@t-online.de
URL: http://www.tectra.de

Mikrooptik

piezosystemjena
unglaublich präzise
s. Piezoelekt. Stallelemente

Mikropositioniersysteme

HUBER siehe
Positioniergeräte
www.huber.com

mechonics
www.mechonics.de

OWIS www.OWIS.eu

piezosystemjena
unglaublich präzise
s. Piezoelekt. Stallelemente

Mikroskope

ELMITEC
Elektronenmikroskopie GmbH
LEEM und PEEM
Am Kaiser Wilhelm Schacht 1
38678 Clausthal-Zellerfeld
Tel: 05323 -1806/FAX: -78932
http://www.elmitec-gmbh.com

www.nanoandmore.com

RENISHAW
apply innovation™
www.renishaw.de, s. Spektrometer, Raman-

WITec
focus innovations
WITec GmbH Lise-Meitner-Str. 6 89081 Ulm
T: 0731140700 info@witec.de www.witec.de
Confocal Raman AFM SNOM

Mikroskope, Lifetime-

PicoQuant s. Laser, Dioden-

Mikroskope, optische Nahfeld-

JPK Instruments AG, s. Mikroskope, Rasterkraft-

soliton siehe Laser
08105-7792-0
www.soliton-gmbh.de

WITec siehe Mikroskope
www.witec.de

Mikroskope, Photo-
Emissions-Elektronen-

www.specs.com → Analysatoren, Elektronen-

S T A I B INSTRUMENTE
siehe Spektrometer, Auger-

Mikroskope, Rasterkraft-

JPK Instruments AG
 tel: +49 30 726243 500
 fax: +49 30 726243 999
 office@jpk.com



NanoAndMore GmbH
 s. Cantilever

Schaefer Technologie GmbH
 Robert-Bosch-Str. 31
 63225 Langen
 Tel. 06103-300980
 www.schaefer-tec.com

scientaomicron
 www.scientaomicron.com

soliton siehe Laser
 08105-7792-0
 www.soliton-gmbh.de

www.specs.com -> Analysatoren, Elektronen-

WITec siehe Mikroskope
 www.witec.de

Mikroskope, Rastersonden-



CreaTec Fischer & Co. GmbH
 Industriestr. 9 · 74391 Erligheim
 Tel. 07143-9670-0 Fax -27
 E-Mail: sales@createc.de
 http://www.createc.de



s. Oberflächenmessgeräte

JPK Instruments AG, s. Mikroskope, Rasterkraft-

NanoAndMore GmbH
 s. Cantilever

Schaefer Technologie GmbH
 Robert-Bosch-Str. 31
 63225 Langen
 Tel. 06103-300980
 www.schaefer-tec.com

scientaomicron
 Scienta Omicron GmbH
 Limburger Str. 75
 65232 Taunusstein
 Tel. 06128 987-0
 www.scientaomicron.com

www.specs.com -> Analysatoren, Elektronen-

WITec siehe Mikroskope
 www.witec.de

Mikroskope, Rastertunnel-

Schaefer Technologie GmbH
 Robert-Bosch-Str. 31
 63225 Langen
 Tel. 06103-300980
 www.schaefer-tec.com

scientaomicron
 www.scientaomicron.com

www.specs.com -> Analysatoren, Elektronen-

Mikroskope, Röntgen-

www.lot-qd.com/de

Mikroskop-Zubehör

JPK Instruments AG, s. Mikroskope, Rasterkraft-

Mikrostrukturierung

HEIDELBERG INSTRUMENTS
 www.himt.de

PHOTON ENERGY s. Laser, ultraschnelle

Modulatoren, akusto-optische

A·P·E GmbH
 s. Laser-Messtechnik
 Tel.: 030-986 011 30

Modulatoren, elektro-optische

DoroTEK www.dorotek.de

www.Qubig.de
 high-Quality electro-optic modulators
 UV - IR / DC - GHz

Molekularstrahl-Epitaxie



CreaTec Fischer & Co. GmbH
 Industriestr. 9 · 74391 Erligheim
 Tel. 07143-9670-0 Fax -27
 E-Mail: sales@createc.de
 http://www.createc.de

MANTIS
 www.mantisdeposition.com

www.mbe-komponenten.de

scientaomicron
 www.scientaomicron.com

tec tra
 Tel.: 069 - 72 00 40
 email: tectra@online.de
 URL: http://www.tectra.de

Monochromatoren

Dr. Gröbel s. Spektrometer

www.lot-qd.com/de

www.roperscientific.de

MTF-Messgeräte

TRIOPTICS
 Tel.: 04103 18006 -0 sales@trioptics.com
 www.trioptics.com

Nanofabrikation

RAITH www.raith.com
 NANOFABRICATION 44263 Dortmund
 Tel. 0231-95004-0 · Fax -95004-460

Nanoindenter

www.lot-qd.com/de

Schaefer Technologie GmbH
 Robert-Bosch-Str. 31
 63225 Langen
 Tel. 06103-300980
 www.schaefer-tec.com

Nano-Metrologie

NanoAndMore GmbH
 s. Cantilever

PI www.pi.ws
 Bewegungen | Positionieren

soliton siehe Laser
 08105-7792-0
 www.soliton-gmbh.de

Nanopartikel-Analyse

www.lot-qd.com/de

Schaefer Technologie GmbH
 Robert-Bosch-Str. 31
 63225 Langen
 Tel. 06103-300980
 www.schaefer-tec.com

Nanopartikelquellen

MANTIS
 www.mantisdeposition.com

Nano-Positioniersysteme

mechonics
 www.mechonics.de

PI www.pi.ws
 Bewegungen | Positionieren
 Hexapoden, Piezomotoren,
 Digitale Steuerungskonzepte

Netzgeräte

FuG Elektronik GmbH
 Am Eschengrund 11
 D-83135 Schechen
 Germany
 Tel.: +49 8039 40077 0
 Fax: +49 8039 40077 99
 Email: info@fug-elektronik.de
 Internet: www.fug-elektronik.de



Heinzinger.de
 power supplies

NIM-Einschubtechnik

CGC Instruments s. Wissenschaftlicher Gerätebau

NIM-Leercassetten

DESK Elektronik System Komponenten GmbH
 Am Neuen Graben 1
 64859 Eppertshausen
 Tel. 06071/612 167
 Fax 06071/612 168
 http://www.desk-gmbh.de

Oberflächenanalyse

www.lot-qd.com/de

Oberflächenmessgeräte



Fries Research & Technology GmbH
 Friedrich-Ebert-Str., 51429 Bergisch Gladbach
 Tel.: 02204/842430 Fax: 02204/842431
 www.frt-gmbh.com info@frt-gmbh.com

Oberflächenmesstechnik



s. Oberflächenmessgeräte

Polytec GmbH Waldbronn
 www.polytec.de

Schaefer Technologie GmbH
 Robert-Bosch-Str. 31
 63225 Langen
 Tel. 06103-300980
 www.schaefer-tec.com

TRIOPTICS
 Tel.: 04103 18006 -0 sales@trioptics.com
 www.trioptics.com

Oberflächen-Profil-Messgeräte

Schaefer Technologie GmbH
 Robert-Bosch-Str. 31
 63225 Langen
 Tel. 06103-300980
 www.schaefer-tec.com

soliton siehe Laser
 08105-7792-0
 www.soliton-gmbh.de

TRIOPTICS
Tel.: 04103 18006 -0 sales@trioptics.com
www.trioptics.com

Oberflächenreinigung

www.NanoBioAnalytics.com

Oberflächen- spannungs-Messgeräte

www.lot-gd.com/de

Öfen, Hochtemperatur-

GERO Hochtemperaturöfen GmbH & Co. KG
Tel. 07234 9522-0, Fax. 07234 9522-99
www.gero-gmbh.com, info@gero-gmbh.com

Öfen, Kalibrier-

www.gero-gmbh.com, s. Öfen

Öfen, Kammer-

www.gero-gmbh.com, s. Öfen

Öfen, Labor-

www.gero-gmbh.com, s. Öfen

Öfen, Rohr-

www.gero-gmbh.com, s. Öfen

Öfen, Vakuum- und Schutzgas-

www.gero-gmbh.com, s. Öfen

PiNK®

PiNK GmbH Vakuumtechnik
Gyula-Horn-Straße 20, 97877 Wertheim
Tel.: 09342/872-0 Fax: 09342/872-111
info@pink-vak.de www.pink-vak.de

Optik

DoroTEK www.dorotek.de

Bernhard Halle Nachfl. GmbH
Optische Werkstätten
Hubertusstr. 10, D-12163 Berlin
Tel: +49/30/79 74 29 60 Fax 791 8527
<http://www.b-halle.de>
e-mail: bhn@b-halle.de

Hellma Optics
High Precision Optics

Telefon: 0 36 41 / 31 07 80
Fax: 0 36 41 / 31 07 842
www.hellma-optics.com
sales@hellma.com

HUBER siehe
Positioniergeräte
Diffraction and Positioning Equipment www.xhuber.com

KOMLAS

KOMLAS Optische Komponenten
und Lasersysteme GmbH
Schwarzschildstraße 12, D-12489 Berlin
Tel.: (030) 6392 6077 Fax: (030) 6392 6078
<http://www.komlas.de>
e-mail: mail@komlas.de



Reichmann Feinoptik GmbH
Dorfstr. 25, D-25576 Brokdorf
Tel.: +49 (0) 48 29 13 51, Fax: 13 54
www.reichmann-feinoptik.de
info@reichmann-feinoptik.de



Schäfter + Kirchhoff GmbH
Kielstr. 212 • 22525 Hamburg
040/8539970 • Fax 040/8503137
e-mail info@SuKHamburg.de
<http://www.SuKHamburg.de>

Optik, Infrarot-

KORTH siehe Kristalle

LASEROPTIK GmbH

Gneisenaustr. 14
30826 Garbsen
Tel. 05131/4 59 70
Fax 05131/459720
<http://www.laseroptik.de>

MaTeCK Forschungsmaterialien
Tel 02461-9352-0 Fax -11
service@mateck.de
<http://www.mateck.de>

soliton siehe Laser
08105-7792-0
www.soliton-gmbh.de

Optik, nichtlineare

A-P-E GmbH
s. Laser-Messtechnik
Tel.: 030-986 011 30

Optik, UV-

Hellma Optics
High Precision Optics

Telefon: 0 36 41 / 31 07 80
Fax: 0 36 41 / 31 07 842
www.hellma-optics.com
sales@hellma.com

KORTH siehe Kristalle

Optiken, Aufweitungs-

B. Halle siehe Optik

Optiken, Sonderanfertigung

DoroTEK www.dorotek.de

B. Halle siehe Optik

Hellma Optics
High Precision Optics

Telefon: 0 36 41 / 31 07 80
Fax: 0 36 41 / 31 07 842
www.hellma-optics.com
sales@hellma.com

LENS-Optics GmbH

Bgm.-Neumeyr-Straße 7
D - 85391 Allershausen
Tel. +49 (0) 8166/994083, Fax 994747
www.lens-optics.de

Reichmann Feinoptik GmbH s. Optik

Schäfter + Kirchhoff GmbH

Kielstr. 212 • 22525 Hamburg
040/8539970 • Fax 040/8503137
e-mail info@SuKHamburg.de
<http://www.SuKHamburg.de>

Optische Bänke

OWIS www.OWIS.eu

Optische Isolatoren

soliton siehe Laser
08105-7792-0
www.soliton-gmbh.de

Optische Komponenten

DoroTEK
A member of Solaris Group

Tel.: 03341 215427
www.dorotek.de

B. Halle siehe Optik

Hellma Optics
High Precision Optics

Telefon: 0 36 41 / 31 07 80
Fax: 0 36 41 / 31 07 842
www.hellma-optics.com
sales@hellma.com

KRYPTRONIC
TECHNOLOGIES
www.kryptontronic.de

LAYERTEC®
OPTICAL COATINGS · OPTICS
s. Laser-Spiegel

Lens-Optics s. Optiken, Sonderanfertigung

Optische Leistungsmessgeräte

www.THORLABS.com

Optische Linsen

Hellma Optics
High Precision Optics

Telefon: 0 36 41 / 31 07 80
Fax: 0 36 41 / 31 07 842
www.hellma-optics.com
sales@hellma.com

LAYERTEC®
OPTICAL COATINGS · OPTICS
s. Laser-Spiegel

Reichmann Feinoptik GmbH s. Optik

www.THORLABS.com

Optischer Phasenmodulator, zweidimensional

HAMAMATSU s. Photodioden

Optische Polarisatoren

B. Halle siehe Optik

soliton siehe Laser
08105-7792-0
www.soliton-gmbh.de

Optomechanik

IOPTEC
light is our profession
www.ioptec.com • info@ioptec.com

OWIS www.OWIS.eu

Radiant Dyes Laser

Accessories GmbH
Friedrichstr. 58,
42929 Wermelskirchen
Tel. 02196/81061, Fax 3422
<http://www.radiant-dyes.com>
info@radiant-dyes.com

Oszillatoren, optisch parametrische

Hübner GmbH & Co. KG
photonics@hubner-germany.com
www.hubner-photonics.com

Oszilloskope, optische

HAMAMATSU s. Photodioden

Peltier-Elemente

PELTRON GMBH
Peltier-Technik

Flurstr. 74, D-90765 Fürth
Tel.: 0911/79057-09, Fax: -21
info@peltron.de
www.peltron.de

Photodioden

HAMAMATSU
PHOTONICS DEUTSCHLAND GmbH
Arzbergerstr. 10 · 82211 Herrsching
Tel.: 08152/375-0 · Fax: 08152/2658
info@hamamatsu.de
www.hamamatsu.de

Photomultiplier und Zubehör

HAMAMATSU
PHOTONICS DEUTSCHLAND GmbH
Arzbergerstr. 10 · 82211 Herrsching
Tel.: 08152/375-0 · Fax: 08152/2658
info@hamamatsu.de
www.hamamatsu.de

PicoQuant s. Laser, Dioden-

Photonen-Zählsysteme

HAMAMATSU s. Photomultiplier und Zubehör

PicoQuant s. Laser, Dioden-

Photoröhren

HAMAMATSU s. Photomultiplier und Zubehör

Piezoelektrische Keramiken

PI www.piceramic.com
Piezo Technology
Aktoren, Sensoren,
Komponenten, Transducer

roditi s. Laser-Stäbe

Piezoelektrische Stallelemente

mechonics
www.mechonics.de

owis www.owis.eu

piezosystemjena
unglaublich präzise
http://www.piezosystem.de
Tel. 03641 / 66 88 - 0
info@piezोजना.com

PI www.pi.ws
Bewegen | Positionieren

Plasmabeschichtungs-, ätzanlagen



Tel. 0 61 82/96 28-0, Fax -16
neue_weg@aurion.de
www.aurion.de



Kundenspezifische Plasmaquellen
& Beschichtungsanlagen
Camp-Spich-Strasse 3a
53842 Troisdorf
Telefon: 02241-93215-0
Fax: 02241-93215-200
email: contact@ccrtechnology.de
www.ccrtechnology.de

tec tra Tel.: 069 - 72 00 40
email: tectra@t-online.de
URL: http://www.tectra.de

Vakuum
in Forschung und Praxis

Zeitschrift für Vakuum-
und Plasmatechnologie,
Oberflächen und
Dünne Schichten

WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA
Boschstr. 12, D-69469 Weinheim
Tel. 0800 1800536
cs-germany@wiley.com
http://www.wiley-vch.de

Plasmadiagnose

PLASUS s. Plasma-Monitor-Systeme

Plasma-Monitor-Systeme

P L A S U S
Hochwertige Plasmaspektroskopie
und Softwarelösungen
Lechstraße 9 Tel.: 08233 73 53 78-0
86415 Mering Fax: 08233 73 53 78-9
www.plasus.de

Roper Scientific s. Kameras, CCD-

Plasmaquellen

CCR GmbH
Beschichtungstechnologie
Kundenspezifische Plasmaquellen
& Beschichtungsanlagen
Camp-Spich-Strasse 3a
53842 Troisdorf
Telefon: 02241-93215-0
Fax: 02241-93215-200
email: contact@ccrtechnology.de
www.ccrtechnology.de

www.cryoandmore.de

MANTIS
www.mantisdeposition.com

www.specs.com → Analysatoren, Elektronen-

Mikrowellen-
tec tra Tel.: 069 - 72 00 40
email: tectra@t-online.de
URL: http://www.tectra.de

Plasmaspektroskopie

PLASUS s. Plasma-Monitor-Systeme

Pockels-Zellen

DoroTEK www.dorotek.de

Polarisationsmessgeräte

www.THORLABS.com

Positionier-Elemente

mechonics
www.mechonics.de

owis www.owis.eu

piezosystemjena
unglaublich präzise
http://www.piezosystem.de
Tel. 03641 / 66 88 - 0
info@piezोजना.com

www.THORLABS.com

Positioniergeräte

HUBER
Diffraction and Positioning Equipment
Positioniersysteme für Röntgen-,
Synchrotron-, Neutronen-
und Optik- Anwendungen
Sommerstr. 4 • 83253 Rimsting
Tel. 08051/6878-0 • www.xhuber.com

Positioniersteuerungen

owis www.owis.eu

Positioniersysteme

owis www.owis.eu

PI www.pimicos.com
Bewegen | Positionieren
Systemintegration,
Beamline Instrumentierung

Präzisionsrundtische

HUBER siehe
Diffraction and Positioning Equipment Positioniergeräte
www.xhuber.com

PI www.pimicos.com
Bewegen | Positionieren

Proportionalzählrohre

GCTechnology
siehe Detektoren, Strahlungs-

Pulver, metallische/keramische



Alfa Aesar GmbH & Co KG
Postfach 11 07 65, 76057 Karlsruhe
Tel. 0721-84007 260 Fax 0721-84007 300
Free phone: 00800 4566 4566
Free fax: 00800 4577 4577
gcat@alfa.com www.alfa-chemcat.com

Goodfellow

Goodfellow GmbH
Postfach 13 43, D-61213 Bad Nauheim
freecall Tel. 0800 1000579, Fax 0800 1000 580
(nur innerhalb Deutschlands) oder Tel.
+44 1480 424810, Fax. +44 1480 424900
http://www.goodfellow.com

MatEck Forschungsmaterialien
Tel 02461-9352-0 Fax -11
service@mateck.de
http://www.mateck.de

Quadrupol-Restgasanalysatoren

tectra s. Vakuum-Komponenten

Radiometer

www.lof-qd.com/de

Rauheitsmessungen

schaefer Schaefer Technologie GmbH
Robert-Bosch-Str. 31
63225 Langen
Tel. 06103-300980
www.schaefer-tec.com

Restlichtverstärker

HAMAMATSU s. Photomultiplier und Zubehör

Röntgenanalysegeräte



Bruker AXS GmbH
ADVANCED X-RAY SOLUTIONS
Östliche Rheinbrückenstraße 49
D-76187 Karlsruhe, Germany
Tel. + 49 (0) 721/595-2888
Fax + 49 (0) 721/595-4587
www.bruker-axs.de

Röntgendetektoren

GCTechnology
siehe Detektoren, Strahlungs-

Röntgenoptik

AXO DRESDEN GmbH
Applied X-ray Optics
Röntgenoptik und
Präzisionsbeschichtung
Tel. +49 (0) 351/2508-9720 Fax -9766
contact@axo-dresden.de - www.axo-dresden.de



in Europa
Tel. & Fax: +49(0)2403 15051
E-Mail: info@rigaku.com

Röntgenquellen

scientaomicron
www.scientaomicron.com

www.specs.com -> Analysatoren, Elektronen-

S T A I B INSTRUMENTE
siehe Spektrometer, Auger-

Saphir-Optiken und -Substrate

MaTeck Forschungsmaterialien
Tel 02461-9352-0 Fax -11
service@mateck.de
http://www.mateck.de

roditi s. Laser-Stäbe

Schichtdicken-Messgeräte

www.lot-qd.com/de

Schaefer Technologie GmbH
Robert-Bosch-Str. 31
63225 Langen
Tel. 06103-300980
www.schaefer-tec.com

tec tra Tel.: 069 - 72 00 40
email: tectra@t-online.de
URL: http://www.tectra.de

www.vaqtec-scientific.com

Schichten, dielektrische

LASEROPTIK GmbH
Gneisenastr. 14
30826 Garbsen
Tel. 05131/4 59 70
Fax 05131/459720
http://www.laseroptik.de

LAYERTECH
OPTICAL COATINGS · OPTICS
s. Laser-Spiegel

Reichmann Feinoptik GmbH s. Optik

Schichten, metallische

LASEROPTIK GmbH
Gneisenastr. 14
30826 Garbsen
Tel. 05131/4 59 70
Fax 05131/459720
http://www.laseroptik.de

LAYERTECH
OPTICAL COATINGS · OPTICS
s. Laser-Spiegel

Reichmann Feinoptik GmbH s. Optik

Schrittmotoren, Vakuum-, Kryo

mechonics
www.mechonics.de

Schrittmotorensteuerung

owis www.owis.eu

Radiant Dyes Laser

s. Laser www.radiant-dyes.com

Schwingungsmesstechnik, optische

Polytec GmbH Waldbronn
www.polytec.de

Seltene Erden



Alfa Aesar GmbH & Co KG
Postfach 11 07 65, 76057 Karlsruhe
Tel. 0721-84007 260 Fax 0721-84007 300
Free phone: 00800 4566 4566
Free fax: 00800 4577 4577
geat@alfa.com www.alfa-chemcat.com

Goodfellow

Goodfellow GmbH
Postfach 13 43, D-61213 Bad Nauheim
freecall Tel. 0800 1000579, Fax 0800 1000 580
(nur innerhalb Deutschlands) oder Tel.
+44 1480 424810, Fax, +44 1480 424900
<http://www.goodfellow.com>

MaTeck Forschungsmaterialien
Tel 02461-9352-0 Fax -11
service@mateck.de
http://www.mateck.de

Sensortechnik

www.NanoBioAnalytics.com

Software, Analyse- und Visualisierungs-

HypraData und ScanToData
zur Auswertung Ihrer Messreihen
Tel.: 0531/798442 Fax: -45
<http://www.ssd.de>

Software, Auswertung von Spektren

PLASUS s. Plasma-Monitor-Systeme

Software, Kryo-, therm. Eigenschaften von Flüssigkeiten und Festkörpern

Cryophysics GmbH, s. Kryostate
www.cryophysics.de

Softwareentwicklung

byte-physics.de

CGC Instruments s. Wissenschaftlicher Gerätebau

Invigon GmbH · www.invigon.de

Spektrallampen

www.lot-qd.com/de

Spektrographen

www.NanoBioAnalytics.com

www.roperscientific.de

Spektrometer

HAMAMATSU
PHOTONICS DEUTSCHLAND GmbH
Arzbergerstr. 10 · 82211 Herrsching
Tel.: 08152/375-0 · Fax: 08152/2658
info@hamamatsu.de
www.hamamatsu.de

www.lot-qd.com/de

PLASUS s. Plasma-Monitor-Systeme

Spektrometer, Auger-

Schaefer Technologie GmbH
Robert-Bosch-Str. 31
63225 Langen
Tel. 06103-300980
www.schaefer-tec.com

scientaomicron
www.scientaomicron.com

S T A I B INSTRUMENTE
Tel. 08761-76240
Fax 08761-762460
sales@staibinstruments.com
www.staibinstruments.com

Spektrometer, Elektronen-

scientaomicron
www.scientaomicron.com

www.specs.com -> Analysatoren, Elektronen-

S T A I B INSTRUMENTE
siehe Spektrometer, Auger-

tectra s. Vakuum-Komponenten

Spektrometer, ESCA-

scientaomicron
www.scientaomicron.com

Spektrometer, ESR-

Magnettech GmbH
Louis-Blériot-Straße 5, 12487 Berlin
Tel.: 030/67802526 Fax: 030/63224101
info@magnettech.de, www.magnettech.de

Spektrometer, Fluoreszenz-

HAMAMATSU s. Spektrometer

PicoQuant s. Laser, Dioden-

Spektrometer, LEED-

Schaefer Technologie GmbH
Robert-Bosch-Str. 31
63225 Langen
Tel. 06103-300980
www.schaefer-tec.com

scientaomicron
www.scientaomicron.com

www.specs.com -> Analysatoren, Elektronen-

tec tra Tel.: 069 - 72 00 40
email: tectra@t-online.de
URL: http://www.tectra.de

Spektrometer, Pikosekunden-

HAMAMATSU s. Spektrometer

PicoQuant s. Laser, Dioden-

Spektrometer, Raman-

RENISHAW
apply innovation™
Renishaw GmbH
Karl-Benz-Str. 12, 72724 Pliezhausen
Tel 07127 9810, Fax 07127 8 82 37
germany@renishaw.com, www.renishaw.de

soliton siehe Laser
08105-7792-0
www.soliton-gmbh.de

WITec Raman Imaging
virtuelle Mikroskope
focus innovations www.witec.de

Spektrometer, RHEED-

www.CreaTec.de

Dr. GASSLER ELECTRON DEVICES GmbH
www.electron-devices.de

www.specs.com -> Analysatoren, Elektronen-

S T A I B INSTRUMENTE
Tel. 08761-76240
Fax 08761-762460
sales@staibinstruments.com
www.staibinstruments.com

Spektrometer, Terahertz-

Hübner GmbH & Co. KG
terahertz@hubner-germany.com
www.hubner-terahertz.com

Spektrometer, UV-IR-, modular

www.lot-qd.com/de

www.roperscientific.de

Spektrometer, UV/VIS/NIR-

PLASUS s. Plasma-Monitor-Systeme

soliton siehe Laser
08105-7792-0
www.soliton-gmbh.de

TRIOPTICS
Tel.: 04103 18006 -0 sales@trioptics.com
www.trioptics.com

Spektroskopische Ellipsometer

www.lot-qd.com/de

Sphärometer

TRIOPTICS
Tel.: 04103 18006 -0 sales@trioptics.com
www.trioptics.com

Spiegel, XUV-, Röntgen-

AXO DRESDEN s. Röntgenoptik

Spitzenmessplätze, mikromanipulierte kryogenische

Cryophysics GmbH, s. Hallmessplätze
www.cryophysics.de

Sputteranlagen, UHV-

BESTEC
UHV-Technik, LASER,
Sensorsysteme
Am Studio 2b
12489 Berlin
Tel. (030) 6 77 43 76, Fax: - 6 77 57 18
http://www.bestec.de
e-mail: info@bestec.de

MANTIS
www.mantisdeposition.com

tectra s. Vakuum-Komponenten

Sputterkathoden

hbi GmbH
Veilchenweg 12
D- 85591 Vaterstetten
Tel.: (08 106) 3581-24
FAX: (08 106) 3581-25

Sputtertargets

Alfa Aesar

ALFA Aesar

Alfa Aesar GmbH & Co KG
Postfach 11 07 65, 76057 Karlsruhe
Tel. 0721-84007 260 Fax 0721-84007 300
Free phone: 00800 4566 4566
Free fax: 00800 4577 4577
geat@alfa.com www.alfa-chemcat.com

COTEC

Cotec GmbH
Frankenstr. 19 · 63791 Karlstein
Tel.: +49 6188/99462-0 · Fax: -62
sales@cotec-gmbh.com
www.cotec-gmbh.com

EVOCHEM
ADVANCED MATERIALS

Heinrich-Krumm-Str. 20, 63073 Offenbach am Main
Tel.: +49 69 9864604-0, Fax: +49 69 9864604-15
www.evo-chem.de, info@evo-chem.de

Goodfellow

Goodfellow GmbH
Postfach 13 43, D-61213 Bad Nauheim
freecall Tel. 0800 1000579, Fax 0800 1000 580
(nur innerhalb Deutschlands) oder Tel.
+44 1480 424810, Fax. +44 1480 424900
http://www.goodfellow.com

MaTecK Forschungsmaterialien
Tel 02461-9352-0 Fax -11
service@mateck.de
http://www.mateck.de

SQUID-Systeme

www.lot-qd.com/de

Stimulated Emission Depletion (STED)

PicoQuant s. Laser, Dioden-

STM, Tieftemperatur

CREATEC
ENGINEERING SCIENCE

CreaTec Fischer & Co. GmbH
Industriestr. 9 · 74391 Erligheim
Tel. 07143-9670-0 Fax -27
E-Mail: sales@createc.de
http://www.createc.de

Schaefer Technologie GmbH
Robert-Bosch-Str. 31
63225 Langen
Tel. 06103-300980
www.schaefer-tec.com

Strahlenschutz-Messgeräte

GCTechnology
siehe Detektoren, Strahlungs-

Stromdurchführungen

allectra
Tel: 033056-41598-0
Fax: 033056-41598-5
Traubeneichenstr. 66, 16567 Schönlitz
info@allectra.com www.allectra.com

MDC
VACUUM LIMITED
Tel +49 (0) 2305 947-508
Fax +49 (0) 2305 947-510
sales@mdcvacuum.de
www.mdcvacuum.de

Schaefer Technologie GmbH
Robert-Bosch-Str. 31
63225 Langen
Tel. 06103-300980
www.schaefer-tec.com

tectra s. Vakuum-Komponenten

www.vaqtec-scientific.com

Stromquellen, schaltbare

Cryophysics GmbH, s. Kryostate
www.cryophysics.de

HighFinesse
Laser and Electronic Systems
Hochpräzise Stromquellen
HighFinesse GmbH
Auf der Morgenstelle 14
D-72076 Tübingen
www.highfinesse.de

Stromversorgungen

Cryophysics GmbH, s. Kryostate
www.cryophysics.de

FuG Elektronik s. Netzgeräte

Heinzinger.de
power supplies

hivolt.de s. Hochspannungsverstärker

Sublimationsanlagen

www.CreaPhys.com

Substrate

Forschungsmaterialien
MaTecK Tel 02461-9352-0 Fax -11
service@mateck.de
http://www.mateck.de

roditi s. Laser-Stäbe

Superkontinuumsquellen

PicoQuant s. Laser, Dioden-

Supraleiter, Hochtemperatur-

Cryophysics GmbH, s. Kryostate
www.cryophysics.de

Forschungsmaterialien
MaTecK Tel 02461-9352-0 Fax -11
service@mateck.de
http://www.mateck.de

Supraleitmagnete

Babcock Noell GmbH
97080 Würzburg
Telefon +49 931 903-0
www.bng.bilfinger.com

www.cryoandmore.de

Cryophysics GmbH, s. Kryostate
www.cryophysics.de

CryoVac 53842 Troisdorf
Heuserweg 14
Tel. (02241) 47683 · Fax. (02241) 43221
http://www.cryovac.de

Suszeptometer

www.lot-qd.com/de

Temperaturfühler

Cryophysics GmbH
Lake Shore Vertretung
Dolivostraße 9 · 64293 Darmstadt
Tel. (0 61 51) 8 15 70 · Fax -81 57 99
e-mail: info@cryophysics.de
www.cryophysics.de

CryoVac 53842 Troisdorf
Heuserweg 14
Tel. (02241) 47683 · Fax. (02241) 43221
http://www.cryovac.de

Temperaturmessung

Cryophysics GmbH
Lake Shore Vertretung
Dolivostraße 9 · 64293 Darmstadt
Tel. (0 61 51) 8 15 70 · Fax -81 57 99
e-mail: info@cryophysics.de
www.cryophysics.de

www.lot-qd.com/de

Temperaturmessung, faseroptisch

soliton siehe Laser
08105-7792-0
www.soliton-gmbh.de

Temperaturregler

Cryophysics GmbH
Lake Shore Vertretung
Dolivostraße 9 · 64293 Darmstadt
Tel. (0 61 51) 8 15 70 · Fax -81 57 99
e-mail: info@cryophysics.de
www.cryophysics.de

CryoVac 53842 Troisdorf
Heuserweg 14
Tel. (02241) 47683 · Fax. (02241) 43221
http://www.cryovac.de

kommunizierender Peltierregler
<http://www.ibrtsses.com>

GVL Cryoengineering
Dr. George V. Lecomte GmbH
 Aachener Str. 89, D-52223 Stolberg
 Tel. 02402 24566 Fax: -26739
 E-Mail: GVL-CRYO@T-online.de

Temperatur-Testkammern

roditi s. Laser-Stäbe

Terahertz-Spektrometer, kryogenisch

Cryophysics GmbH, s. Kryostate
 www.cryophysics.de

Thermoelektrische Module

PELTRON s. Peltier-Elemente

Tieftemperatur-Ausrüstung

 **Cryophysics** GmbH
 Dolivostraße 9 · 64293 Darmstadt
 Tel. (0 61 51) 8 15 70 · Fax -81 57 99
 e-mail: info@cryophysics.de
 www.cryophysics.de

CryoVac 53842 Troisdorf
 Heusenweg 14
 Tel. (02241) 47683 · Fax. (02241) 43221
 http://www.cryovac.de

Topographie-Messgeräte

Polytec GmbH Waldbronn
 www.polytec.de

 Schaefer Technologie GmbH
 Robert-Bosch-Str. 31
 63225 Langen
 Tel. 06103-300980
 www.schaefer-tec.com

UHV-Bauteile, -Systeme, -Messgeräte

Agilent Technologies
 Vacuum Products s. Vakuumpumpen

 **BESTEC**
 UHV-Technik, LASER,
 Sensorsysteme
 Am Studio 2b
 12489 Berlin
 Tel. (030) 6 77 43 76, Fax: - 6 77 57 18
 http://www.bestec.de
 e-mail: info@bestec.de



CreaTec Fischer & Co. GmbH
 Industriestr. 9 · 74391 Erligheim
 Tel. 07143-9670-0 Fax -27
 E-Mail: sales@createc.de
 http://www.createc.de

 **MANTIS**
 MANTIS DEPOSITION LTD
 www.mantisdeposition.com

www.mbe-komponenten.de

 **MDC**
 VACUUM LIMITED
 Tel +49 (0) 2305 947-508
 Fax +49 (0) 2305 947-510
 sales@mdcvacuum.de
 www.mdcvacuum.de

 **PiNK**[®]
PiNK GmbH Vakuumtechnik
 Gyula-Horn-Straße 20, 97877 Wertheim
 Tel.: 09342/872-0 Fax: 09342/872-111
 info@pink-vak.de www.pink-vak.de

 **REUTER TECHNOLOGIE GmbH**
 Röntgenstraße 1, D-63755 Alzenau
 Tel.: 06023 / 5044 - 0
 Web: www.reuter-technologie.de

 Schaefer Technologie GmbH
 Robert-Bosch-Str. 31
 63225 Langen
 Tel. 06103-300980
 www.schaefer-tec.com

 Tel.: 069 - 72 00 40
 email: tectra@t-online.de
 URL: http://www.tectra.de

UHV-kompatible Motoren

 **mechonics**
 www.mechonics.de

PI www.pi.ws
 Bewegen | Positionieren

 Tel.: 069 - 72 00 40
 email: tectra@t-online.de
 URL: http://www.tectra.de

UHV-Manipulatoren

 **MDC**
 VACUUM LIMITED
 Tel +49 (0) 2305 947-508
 Fax +49 (0) 2305 947-510
 sales@mdcvacuum.de
 www.mdcvacuum.de

 **PiNK**[®]
PiNK GmbH Vakuumtechnik
 Gyula-Horn-Straße 20, 97877 Wertheim
 Tel.: 09342/872-0 Fax: 09342/872-111
 info@pink-vak.de www.pink-vak.de

tectra s. Vakuump-Komponenten

Ulbricht-Kugeln

OptoPolymer
 Werner Sanftenberg
 Königsteinstraße 12
 D-80807 München
 Tel.: 089/35657-183 Fax: -184
 mail: optopolymer@t-online.de
 www.optopolymer.de
recoating services

Ultrafast Imaging & Spektroskopie

 **STANFORD COMPUTER OPTICS**
 www.stanfordcomputeroptics.com

Vakuumdrehdurchführungen

tectra s. Vakuump-Komponenten

Vakuump-Kammern

 **MDC**
 VACUUM LIMITED
 Tel +49 (0) 2305 947-508
 Fax +49 (0) 2305 947-510
 sales@mdcvacuum.de
 www.mdcvacuum.de

 **REUTER TECHNOLOGIE GmbH**
 Röntgenstraße 1, D-63755 Alzenau
 Tel.: 06023 / 5044 - 0
 Web: www.reuter-technologie.de

Vakuump-Komponenten

 **Agilent Technologies**
Agilent Technologies
 Sales & Services GmbH & Co. KG
 Vacuum Products Division
 Lyoner Str. 20, 60528 Frankfurt am Main
 Tel.: 0080023423400
 Fax: 0080034534500
 E-Mail vpt-customer@care@agilent.com
 www.agilent.com/chem/vacuumcatalog

 **allectra**
 Tel: 033056-41598-0
 Fax: 033056-41598-5
 Traubeneichenstr. 66, 16567 Schönfließ
 info@allectra.com www.allectra.com

 **JAKOB**
 VAKUUMTECHNIK
 Daimler Ring 42, D-63839 Kleinwallstadt
 Tel. 0 60 22/22 08-25, Fax. -22 08-46
 E-Mail: info@jakobvakuumtechnik.de
 http://www.jakobvakuumtechnik.de

 **MANTIS**
 MANTIS DEPOSITION LTD
 www.mantisdeposition.com

 **MDC**
 VACUUM LIMITED
 Tel +49 (0) 2305 947-508
 Fax +49 (0) 2305 947-510
 sales@mdcvacuum.de
 www.mdcvacuum.de

 **oerlikon**
 leybold vacuum
 Oerlikon Leybold Vacuum GmbH
 50968 Köln
 Telefon: (0221) 347-0
 Telefax: (0221) 347-1250
 www.oerlikon.com
 info.vacuum@oerlikon.com

 **PiNK**[®]
PiNK GmbH Vakuumtechnik
 Gyula-Horn-Straße 20, 97877 Wertheim
 Tel.: 09342/872-0 Fax: 09342/872-111
 info@pink-vak.de www.pink-vak.de

 Tel.: 069 - 72 00 40
 email: tectra@t-online.de
 URL: http://www.tectra.de

www.vaqtec-scientific.com

 **WISSEL**
 Tel. 0 60 29 / 99 93-0
 Fax 0 60 29 / 99 93-50
 E-Mail: info@wissel-vakuum.de
 http://www.wissel-vakuum.de

Vakuumlöten, Vakuumpglühen


 **REUTER TECHNOLOGIE GmbH**
 Röntgenstraße 1, D-63755 Alzenau
 Tel.: 06023 / 5044 - 0
 Web: www.reuter-technologie.de

Vakuump-Messgeräte

Agilent Technologies
 Vacuum Products s. Vakuumpumpen

 **oerlikon**
 leybold vacuum
 Oerlikon Leybold Vacuum GmbH
 50968 Köln
 Telefon: (0221) 347-0
 Telefax: (0221) 347-1250
 www.oerlikon.com
 info.vacuum@oerlikon.com

 Schaefer Technologie GmbH
 Robert-Bosch-Str. 31
 63225 Langen
 Tel. 06103-300980
 www.schaefer-tec.com

 Tel.: 069 - 72 00 40
 email: tectra@t-online.de
 URL: http://www.tectra.de

THYRACONT

Vacuum Instruments
Max-Emanuel-Straße 10
D-94036 Passau
Tel: 0851/95986-0; Fax: -40
email: info@thyracont.de
http://www.thyracont.com



VACUUBRAND GMBH + CO KG
Alfred-Zippe-Straße 4, 97877 Wertheim
T +49 9342 808 5550, F +49 9342 808 5555
info@vacuubrand.com, www.vacuubrand.com

Vakuumpositionierung

PI www.pimicos.com
Bewegen | Positionieren

Vakuumpumpen

Agilent Technologies
Sales & Services GmbH & Co. KG
Vacuum Products Division
Lyoner Str. 20, 60528 Frankfurt am Main
Tel.: 0080023423400
Fax: 0080034534500
E-Mail vpt-customer@agilent.com
www.agilent.com/chem/vacuumbcatalog

oerlikon
leybold vacuum

Oerlikon Leybold Vacuum GmbH
50968 Köln
Telefon: (0221) 347-0
Telefax: (0221) 347-1250
www.oerlikon.com
info.vacuum@oerlikon.com



VACUUBRAND GMBH + CO KG
Alfred-Zippe-Straße 4, 97877 Wertheim
T +49 9342 808 5550, F +49 9342 808 5555
info@vacuubrand.com, www.vacuubrand.com

Vakuum
in Forschung und Praxis

**Zeitschrift für Vakuum-
und Plasmatechnologie,
Oberflächen und
Dünne Schichten**

WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA
Boschstr. 12, D-69469 Weinheim
Tel. 0800 1800536
cs-germany@wiley.com
http://www.wiley-vch.de

Vakuumpumpen, Diffusions-

Agilent Technologies
Vacuum Products s. Vakuumpumpen

Vakuumpumpen, Ionenzerstäuber-**Agilent Technologies**

Agilent Technologies
Sales & Services GmbH & Co. KG
Vacuum Products Division
Lyoner Str. 20, 60528 Frankfurt am Main
Tel.: 0080023423400
Fax: 0080034534500
E-Mail vpt-customer@agilent.com
www.agilent.com/chem/vacuumbcatalog

Vakuumpumpen, Kryo-

CryoVac 53842 Troisdorf
Heuserweg 14
Tel. (02241) 47683 · Fax. (02241) 43221
http://www.cryovac.de

Vakuumpumpen, Titanverdampfer-

Agilent Technologies
Vacuum Products s. Vakuumpumpen

**Vakuumpumpen,
trockenlaufende Vorpumpen**

Agilent Technologies
Sales & Services GmbH & Co. KG
Vacuum Products Division
Lyoner Str. 20, 60528 Frankfurt am Main
Tel.: 0080023423400
Fax: 0080034534500
E-Mail vpt-customer@agilent.com
www.agilent.com/chem/vacuumbcatalog



VACUUBRAND GMBH + CO KG
Alfred-Zippe-Straße 4, 97877 Wertheim
T +49 9342 808 5550, F +49 9342 808 5555
info@vacuubrand.com, www.vacuubrand.com

Vakuumpumpen, Turbomolekular-

Agilent Technologies
Sales & Services GmbH & Co. KG
Vacuum Products Division
Lyoner Str. 20, 60528 Frankfurt am Main
Tel.: 0080023423400
Fax: 0080034534500
E-Mail vpt-customer@agilent.com
www.agilent.com/chem/vacuumbcatalog

Oerlikon Leybold Vacuum
s. Vakuumpumpen

Vakuumpumpen-Service

Oerlikon Leybold Vacuum
s. Vakuumpumpen

Vakuumpumpen-Zubehör

Schaefer Technologie GmbH
Robert-Bosch-Str. 31
63225 Langen
Tel. 06103-300980
www.schaefer-tec.com

Vakuum-Schieber und Ventile

Tel +49 (0) 2305 947-508
Fax +49 (0) 2305 947-510
sales@mdcvacuum.de
www.mdcvacuum.de

tectra s. Vakuum-Komponenten



VAT Deutschland GmbH
Am Hochacker 4
85630 Grasbrunn bei München
TEL: +49 89 978978 76 0
FAX: +49 89 978978 76 11
http://www.vatvalve.com
E-Mail: de@vatvalve.com

**Vakuum-Sublimation
organischer Materialien**

www.CreaPhys.com

**Vakuumtechnik,
Sonderanfertigungen**

BESTEC
UHV-Technik, LASER,
Sensorsysteme

Am Studio 2b
12489 Berlin
Tel.(030) 6 77 43 76, Fax: - 6 77 57 18
http://www.bestec.de
e-mail: info@bestec.de

www.CreaPhys.com

www.CreaTec.de



CryoVac 53842 Troisdorf
Heuserweg 14
Tel. (02241) 47683 · Fax. (02241) 43221
http://www.cryovac.de



www.mantisdeposition.com

PiNK®

PiNK GmbH Vakuumtechnik
Gyula-Horn-Straße 20, 97877 Wertheim
Tel.: 09342/872-0 Fax: 09342/872-111
info@pink-vak.de www.pink-vak.de

tectra s. Vakuum-Komponenten

Vakuum
in Forschung und Praxis

**Zeitschrift für Vakuum-
und Plasmatechnologie,
Oberflächen und
Dünne Schichten**

WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA
Boschstr. 12, D-69469 Weinheim
Tel. 0800 1800536
cs-germany@wiley.com
http://www.wiley-vch.de

Verstärker, Leistungs-

CGC Instruments s. Wissenschaftlicher Gerätebau

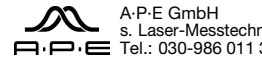
hivolt.de s. Hochspannungsverstärker

Verstärker, Transimpedanz-

FEMTO Messtechnik GmbH
Klosterstr. 64, 10179 Berlin
Tel: +49-(0)30-280 4711-0
Fax: +49-(0)30-280 4711-11
info@femto.de www.femto.de

PHYSIMETRON

Winterfeldtstr. 45, 10781 Berlin
Tel. 030/23634496 Fax 030/23634497
www.physimtron.de

Wellenlängenmessgeräte

A·P·E GmbH
s. Laser-Messtechnik
Tel.: 030-986 011 30

Wissenschaftlicher Gerätebau

CGC Instruments
Hübischmannstr. 18, 09112 Chemnitz
Tel. (0371) 355 098 55 Fax 355 098 60
http://www.cgc-instruments.de

Zylinderlinsen**Hellma Optics**
High Precision Optics

Telefon: 0 36 41 / 31 07 80
Fax: 0 36 41 / 31 07 842
www.hellma-optics.com
sales@hellma.com

Das Physik Journal ist die Mitgliederzeitschrift der Deutschen Physikalischen Gesellschaft e.V. (DPG), Nachfolger der Zeitschrift »Physikalische Blätter« (1943–2001). Die DPG knüpft an die Traditionen von früheren, bis auf das Jahr 1845 zurückgehenden physikalischen Gesellschaften an. Sie hat heute mehr als 62 000 Mitglieder.

ISSN 1617-9439 Physik Journal 15 (3)

Physik Journal

Boschstraße 12, 69469 Weinheim
Telefon (06201) 606-243
Telefax (06201) 606-328
redaktion@physik-journal.de
www.physik-journal.de

Redaktion

Maïke Pfalz (verantwortlich)
Alexander Pawlak
Kerstin Sonnabend

Redaktionsassistentin und Layout


Anja Hauck
Barbara Lubniewski

Herstellung

Marita Beyer

DPG-Geschäftsstelle

Hauptstraße 5, 53604 Bad Honnef
Telefon (02224) 9232-0
Telefax (02224) 9232-50
dpg@dpg-physik.de
www.dpg-physik.de

Deutsche Physikalische Gesellschaft 

Herausgeber

Matthias Bartelmann, Heidelberg
Cornelia Denz, Münster
Ulrich Eberl, München
Achim Richter, Darmstadt

Kuratoren

Holger Becker, Jena; Immanuel Bloch, München;
Jochen Guck, Dresden; Thomas Herrmannsdörfer, Dresden; Stefan Heusler, Münster; Volker Hilarius, Darmstadt; Gerhard Paulus, Jena; Ingo Rehberg, Bayreuth; Fritz Riehle, Braunschweig; Arne Schirrmacher, Berlin; Hans-Christian Schultz-Coulon, Heidelberg; Christian Spiering, Zeuthen; Götz Uhrig, Dortmund; Jochen Wambach, Darmstadt; Klaus Wehrberger, Bonn; Ulrike Woggon, Berlin

DPG-Presskontakt

Deutsche Physikalische Gesellschaft
Geschäftsstelle
Hauptstraße 5, 53604 Bad Honnef
Telefon (02224) 9232-0
Telefax (02224) 9232-50
presse@dpg-physik.de

Verlag

WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA
Boschstraße 12, 69469 Weinheim
Postfach 10 11 61, 69451 Weinheim
Telefon (06201) 606-0

Anzeigen

Äne Anders, Tel. (06201) 606-552 (verantwortl.)
Patricia Filler, Tel. (06201) 606-555

Abo-Service

www.wileycustomerhelp.com

Gestaltungskonzept

Farnschlader & Mahlstedt Typografie, Hamburg

© 2016 WILEY-VCH Verlag
GmbH & Co. KGaA, Weinheim

WILEY-VCH

Verantwortlich für den Inhalt: Dr. Maïke Pfalz, Wiley-VCH, Boschstraße 12, 69469 Weinheim, Germany. Die mit Autorennamen gekennzeichneten Beiträge müssen nicht in jedem Fall die Meinung des DPG-Vorstandes, der Herausgeber oder der Redaktion wiedergeben – Verantwortlich für den Anzeigenteil: Äne Anders, Wiley-VCH, Boschstraße 12, 69469 Weinheim, Germany – Datenaufbereitung: Druckhaus Diesbach, Weinheim – Druck: pva, Druck und Medien-Dienstleistungen GmbH, Landau/Pfalz – Erscheinungsweise: monatlich (August/September: Doppelheft)

Rezensionsexemplare: Für Bücher, die unverlangt der Redaktion eingesandt werden, aber nicht rezensiert werden, besteht keine Rücksendeverpflichtung.

© 2016 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim
Printed in the Federal Republic of Germany.

Gedruckt auf säurefreiem Papier.

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieser Zeitschrift darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Mikrofilm oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden. – Von einzelnen Beiträgen oder Teilen von ihnen dürfen nur einzelne Vervielfältigungsstücke für den persönlichen und sonstigen eigenen Gebrauch hergestellt werden. – Die Weitergabe von Vervielfältigungen, gleichgültig zu welchem Zweck sie hergestellt werden, ist eine Urheberrechtsverletzung. – Der Inhalt dieses Heftes wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren, Herausgeber, Redaktion und Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung. – Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen und dgl. in dieser Zeitschrift berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Namen ohne weiteres von jedermann benutzt werden dürfen. Vielmehr handelt es sich häufig um gesetzlich geschützte eingetragene Warenzeichen, auch wenn sie nicht als solche gekennzeichnet sind.

Wir haben uns bemüht, sämtliche Rechteinhaber von Abbildungen zu ermitteln. Sollte dem Verlag gegenüber dennoch der Nachweis der Rechtsinhaberschaft geführt werden, wird das branchenübliche Honorar nachträglich gezahlt.

Copyright and Copying: Copyright © 2016 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored or transmitted in any form or by any means without the prior permission in writing from the copyright holder. Authorization to copy items for internal and personal use is granted by the copyright holder for libraries and other users registered with their local Reproduction Rights Organisation (RRO), e.g. Copyright Clearance Center (CCC), 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, USA (www.copyright.com), provided the appropriate fee is paid directly to the RRO. This consent does not extend to other kinds of copying such as copying for general distribution, for advertising or promotional purposes, for creating new collective works or for resale. Special requests should be addressed to: permissionsuk@wiley.com

For the USA and Canada: Physik Journal (ISSN 1617-9439) is published monthly (the August and September issues appear as a double issue in August) by Wiley-VCH, PO Box 19 11 61, 69451 Weinheim, Germany. US mailing agent: SPP, Po Box 437, Emigsville, PA 17318. Periodicals postage paid at Emigsville PA.

U. S. Postmaster: Send address changes to Physik Journal, Journal Customer Services, John Wiley & Sons Inc., 350 Main St., Malden, MA 02148-5020

Adressänderungen und Reklamationen

von DPG-Mitgliedern bitte nur an die DPG-Geschäftsstelle richten.

Achtung: Bei der Post eingereichte Nachsendeanträge schließen nicht die Nachsendung von Zeitschriften im Postzeitungsdienst ein.

Inserentenverzeichnis

Additive	51
APE	37
COMSOL Multiphysics	24
Cryophysics	37
d-fine	U2
Focus	57
Goodfellow	63
GWU	91
Lesker	46
LOT	19
MBE	89
McPherson	86
Oerlikon Leybold	59
Oxford Instruments	69
PCO	49
Pfeiffer Vacuum	65
Photon Energy	67
Physik Instruments (PI)	29
Piezo	61
PINK	53
Schäfter+Kirchhoff	23
Specs	U4
Toptica	13
Universität Hamburg	57
Wiley-VCH	61, 71, 93, 95, 96
WITec	15
Zurich Instruments	9

 **EnviroESCA™**
THE BEGINNING OF A NEW ERA

