

## Gehrt

Wissenschaftspreis des Stifterverbands für Dr. Frank Stefani (FZD) und Prof. Günther Rüdiger (AIP)

## Gespeichert

Wissenschaftler aus Dresden und Spanien arbeiten an neuartigen magnetischen Datenspeichern

## Lichtbeschleunigt

Der Hochleistungslaser im FZD mit dem Namen „Draco“ liefert erste Teilchenstrahlen



Titelthema

# Strahlen gegen Krebs



**TITELBILD** . Mitarbeiterinnen des FZD präparieren in so genannten „warmen Zellen“ radioaktive Ausgangssubstanzen für die Erforschung und Entwicklung neuer Radiopharmaka.

# Liebe Leserinnen, liebe Leser,



diese Ausgabe unseres FZD JOURNALS widmet sich der Nutzung und heilenden Wirkung von Strahlen in der Medizin. Kein simples Thema, denn wir haben es hier mit einer riesigen Bandbreite von Forschungsthemen aus Medizin, Physik, Biologie, Biochemie, Radiopharmazie etc. zu tun. In Dresden wird seit Jahren intensiv daran geforscht, Strahlung für die Krebsdiagnose und -therapie optimal einzusetzen. Hierbei spielt das Zentrum „OncoRay“ eine wichtige Rolle. Wissenschaftler unterschiedlichster Fachrichtungen aus dem Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZD), vom Universitätsklinikum und von der Technischen Universität Dresden arbeiten unter diesem Dach eng zusammen, um die Heilungschancen von Krebserkrankungen mit Hilfe von Strahlung zu verbessern.

Es geht um Strahlung von außen wie von innen. Die gängige Strahlentherapie nutzt Strahlung, um eine Krebsgeschwulst von außen aus verschiedensten Winkeln und in genau berechneten Dosen im Innern des Körpers zu zerstören. Sie wird heute in Europa bei rund 60 Prozent aller Krebspatienten angewandt, meist in Kombination mit den

anderen beiden Säulen der Krebstherapie: Chirurgie und Chemotherapie. Damit können etwa die Hälfte aller Krebserkrankungen in Deutschland geheilt werden. Dennoch: Krebs wird, so befürchten international anerkannte Onkologen, in einigen Jahren die Todesursache Nummer 1 in allen entwickelten Industrieländern sein. Deshalb sind große Anstrengungen nötig, um die Heilungsraten weiter zu erhöhen, etwa, indem man Ergebnisse aus der Forschung schnellstmöglich in die Klinik überführt.

Neue Strahlen könnten in Zukunft die herkömmliche Strahlentherapie ergänzen. So liefern modernste Hochleistungslaser wie der Draco-Laser im FZD Teilchenstrahlen, die vielleicht schon in zehn Jahren inoperable Tumore besonders wirkungsvoll zerstören könnten. Das FZD arbeitet zudem an neuartigen radioaktiven Arzneimitteln, die im Körperinneren direkt vor Ort die Krebszellen vernichten sollen. Das ist besonders wichtig, wenn der Primärtumor schon Tochtergeschwülste (Metastasen) gebildet hat. Wenn sich diese überall im Körper verteilt haben, können sie nicht immer lokalisiert, geschweige denn vollständig vernichtet werden. Wandert nun das radioaktive Arzneimittel der Zukunft quasi von alleine zu den Metastasen, um dort seine zerstörende Strahlungswirkung zu entfalten, wäre wieder ein großer Schritt im Kampf gegen die Volkskrankheit Krebs gelungen.

Mediziner sind auf aussagekräftige Bilder aus dem Körperinneren angewiesen, um Krebs gut diagnostizieren und die richtigen Therapieschritte einleiten zu können. Auch hierbei hilft Strahlung: das moderne bildgebende Verfahren der Positronen-Emissions-Tomographie (PET) nutzt Positronen – das sind die Antiteilchen zu den Elektronen –,

um Krebs sichtbar zu machen. Im FZD steht solch ein PET-Zentrum zur genauen Diagnose von Krebserkrankungen zur Verfügung. Was wird dort genau gemacht?

Blättern Sie um und machen Sie sich mit dem Krebsforschungsstandort Dresden vertraut.

Ihre Christine Bohnet

## IMPRESSUM

**Herausgeber:** Prof. Dr. Roland Sauerbrey und Dr. Dr. h.c. Peter Joehnk, Vorstand des Forschungszentrums Dresden-Rossendorf

**Erscheinungsdatum:** Februar 2009  
ISSN: 1867-9226

**Redaktion:** Dr. Christine Bohnet (verantwortlich), Anja Bartho

**Layout:** WERKSTATT X . Michael Voigt  
www.werkstatt-x.de

**Druck:** Druckerei Mißbach  
www.missbach.de

**Auflage:** 4.000

**Bildnachweis:** FZD-Mitarbeiter, Titelbild / S. 3 o.: Jürgen Lösel; S. 4 u. / 8 / 9: Universitätsklinikum Carl Gustav Carus Dresden; S. 4 © Marvin Ristau de – Fotolia.com; S. 5 / 11: privat; S. 10: Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin des Universitätsklinikums Dresden; S. 19 © Natalia Rashevskaya – Fotolia.com; S. 20: Sander Münster; S. 22: David Ausserhofer

**Kontakt/Bestellung** (kostenfrei):  
Forschungszentrum Dresden-Rossendorf  
Presse- und Öffentlichkeitsarbeit  
Dr. Christine Bohnet  
Postfach 510119, 01314 Dresden  
Tel.: 0351 260-2450  
c.bohnet@fzd.de  
www.fzd.de

FZD Journal erscheint zweimal pro Jahr.

# Inhalt

## TITEL

Strahlen gegen Krebs

- 04 Netzwerke statt Inselösungen
- 06 Radiopharmazie – moderne Krebsforschung und -bekämpfung
- 08 Exzellenz im Kampf gegen den Krebs
- 10 Radioaktive Zwillinge
- 12 Wie Zucker dabei hilft, Strahlentherapie individueller einzusetzen
- 14 Molekülbaukasten macht Krebs sichtbar
- 15 ROVER: neue Software zur verbesserten Krebsdiagnostik
- 16 Krankhafte Veränderungen im Tumorgewebe verstehen und therapeutisch nutzen
- 18 Christoph-Schmelzer-Preis für Dr. Fine Fiedler

## FORSCHUNG

- 19 Ultra-schnelle Quantencomputer: Theoretische Physik oder Science Fiction?
- 20 Neues Konzept zur Herstellung von magnetischen Datenspeichern aus Dresden
- 21 Die Grenzen der Datenspeicherung überwinden – aber wie?

## WISSENSWERT

- 22 Mit Magneten rühren
- 22 Wissenschaftspreis des Stifterverbandes für Dr. Frank Stefani
- 23 Draco liefert erste Protononen
- 23 Terminvorschau

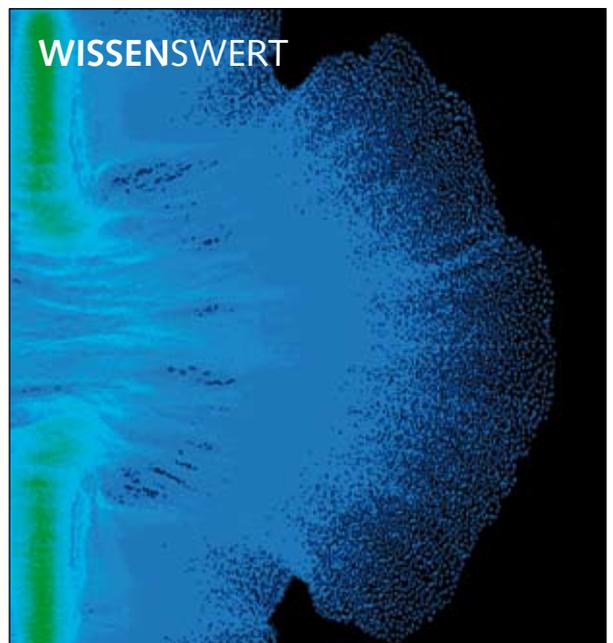
## TITEL



## FORSCHUNG



## WISSENSWERT



# Netzwerke statt Insellösungen

Bei der Krebsbehandlung geht der Trend zur Interdisziplinarität. Die Einsicht setzt sich durch, dass nicht jeder Arzt alles kann.

TEXT . Dr. Susanne Kailitz (Freie Journalistin, Dresden)

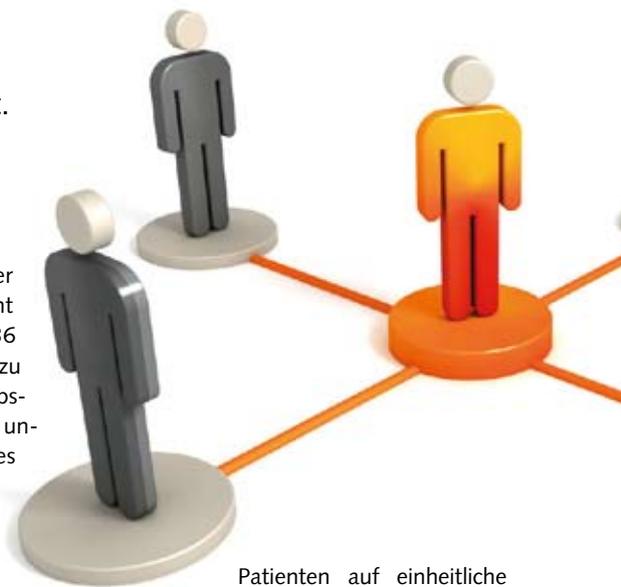
Es ist ein beeindruckender Titel, den das Universitäts KrebsCentrum Dresden seit März 2007 trägt. „Onkologisches Spitzenzentrum“ darf es sich seither nennen – doch dass das UCC als einer von vier Siegern vor anderthalb Jahren aus einem von der Deutschen Krebshilfe ausgelobten Wettbewerb hervorging, ist nur ein Meilenstein eines langen Weges, der in den vergangenen Jahren in der sächsischen Landeshauptstadt zurückgelegt wurde. Das Ziel ist ambitioniert: Nicht weniger als die Etablierung neuer, zukunftsgerichteter Strukturen der Krebsbehandlung für Sachsen wird hier angestrebt, auch wenn Experten sich einig sind, dass dieser Weg noch lang ist.

Umso nötiger, dass er endlich beschritten wurde – immerhin bemängelte der damalige Präsident der Deutschen Krebsgesellschaft Lothar Weißbach schon 2000 beim 24. deutschen Krebskongress, dass die deutschen Tumorzentren, die für die Koordinierung der Behandlung Krebskranker in einer Region

zuständig sind, den Ansprüchen einer modernen Onkologie größtenteils nicht gewachsen seien. Eine Evaluation von 36 Tumorzentren kam vier Jahre später zu dem Ergebnis, die Standards in der Krebstherapie seien „bundesweit bislang sehr unterschiedlich“ – und auch der Leiter des Deutschen Krebsforschungszentrums Heidelberg, Otmar Wiestler, zog den Schluss, aufgrund mangelnder Zusammenarbeit verschiedener Fachärzte und fehlender Standards seien die Heilungschancen für Patienten mit Krebs in Deutschland „prinzipiell ungünstiger als in anderen Ländern, etwa in den USA“ und nicht ganz ohne Grund behaupteten böse Zungen, gelegentlich „entscheidet der Taxifahrer darüber, wo die Behandlung stattfindet“.

Das soll sich ändern. Zahlreiche Organisationszentren, Onkologische Zentren und Onkologische Spitzenzentren haben sich in den vergangenen Jahren zertifizieren lassen und setzen bei der Behandlung der

**Mediziner unterschiedlicher Fachrichtungen beraten im Tumorboard des Universitäts KrebsCentrums über die anstehenden therapeutischen Maßnahmen für jeden einzelnen Patienten (s. Artikel „Exzellenz im Kampf gegen den Krebs“ auf den Seiten 8 und 9)**



Patienten auf einheitliche Standards. Die Krebszentren, in denen diese Behandlung stattfindet, verfolgen ein transparentes Qualitätsmanagement, das bestimmten Eckpunkten und Vorgaben genügen und sicherstellen soll, dass Patienten in Hamburg, Gelsenkirchen, München oder Dresden nach den aktuellen internationalen und nationalen Leitlinien behandelt werden – und es eben keine Rolle für die Überlebensrate mehr spielt, wo sie gerade wohnen, wenn der Krebs entdeckt wird.

Einer der Vorreiter dieser Entwicklung ist der UCC-Direktor und designierte Präsident des Europäischen Dachverbands der Onkologen Michael Baumann. Er etablierte 2003

→





zusammen mit den onkologisch tätigen Kollegen des Universitätsklinikums das UCC, das gemeinsam vom Universitätsklinikum und der Medizinischen Fakultät Carl Gustav Carus in Dresden getragen wird. Das Dresdner Krebszentrum gehörte damit zu den ersten Onkologischen Spitzenzentren in Deutschland, während, so Baumann, „die so genannten Comprehensive Cancer Centers (CCC) in Nordamerika und einigen europäischen Ländern seit Jahrzehnten bestehen“.

Den Dresdner Ärzten und Wissenschaftlern sei klar gewesen, dass man „die Strukturen der Krebsbehandlung verbessern musste“, weil sich die Einsicht durchgesetzt habe, „dass Krebs gemeinsam über Fachgrenzen hinweg diagnostiziert und behandelt werden muss“.

Im UCC gibt es deshalb eine Krebsambulanz, die als Eingangsportale und Ansprechpartner für Krebspatienten dient, und in der es möglich ist, „innerhalb kürzester Zeit die Meinung eines Spezialisten einer anderen Fachrichtung zu bekommen“. Diese Möglichkeit zu etablieren sei nicht einfach gewesen, habe aber zu großen Fortschritten bei der interdisziplinären Behandlung geführt. In regelmäßigen „Tumorboards“ diskutieren an der Behandlung beteiligte Fachärzte die bestmögliche Behandlungsstrategie für jeden individuellen Patienten und entscheiden gemeinsam über das weitere Vorgehen. „Wir wissen, dass der Spezialist für Tumor A nicht zwangsläufig auch Spezialist für Tumor B ist“, so Baumann, daher sei der stetige fachübergreifende Austausch extrem wichtig. Deshalb gebe es auch für verschiedene Tumorarten verschiedene Tumorboards.

Davon ist auch Matthias Beckmann, Vorsitzender des Tumorzentrums Erlangen-Nürnberg, überzeugt. „Derzeit haben wir es mit einem so rasanten medizinischen Fortschritt zu tun, dass ein einzelner Arzt überhaupt nicht mehr alle Teilbereiche einer Erkrankung umfassend abdecken kann. Ein Team etwa aus Diagnostiker, Operateur, Strahlentherapeut und dem Arzt, der die medikamentöse Weiterbehandlung betreut, ist da deutlich kompetenter. Wir müssen einfach akzeptieren, dass nicht jeder Arzt alles kann.“

Dass sich die Einsicht durchzusetzen beginnt, wird von der Deutschen Krebshilfe sehr begrüßt. Sie fördert neben dem UCC

drei weitere onkologische Spitzenzentren in Freiburg, Köln/Bonn und Tübingen mit jeweils einer Million Euro jährlich für zunächst drei Jahre. Außerdem ist die Krebshilfe Bauherrin des Nationalen Centrums für Tumorerkrankungen Heidelberg. Gerade wertete die Organisation in einer zweiten Bewerbungsrunde weitere Anträge aus, so dass es im Frühjahr 2009 deutschlandweit insgesamt zehn onkologische Spitzenzentren geben soll. Damit soll es künftig deutlich mehr „Vernetzung statt der bisherigen Insellösungen“ geben, erklärt Krebshilfe-Sprecherin Eva Kalbheim. „Wir wollen erreichen, dass potenziell jeder Tumorpatient innerhalb einer Stunde Fahrtzeit ein Netz von Spitzenzentren erreichen kann.“

Profitieren sollen von der neuen Vernetzung aber nicht nur die rund 430.000 Patienten, die jährlich neu an Krebs erkranken: Weil es an den onkologischen Spitzenzentren auch einen stärkeren Austausch zwischen klinischer Betreuung, Grundlagenforschung und Lehre geben soll, gewinnen alle Beteiligten. „Durch die Comprehensive Cancer Centers wollen wir zum Beispiel erreichen, dass die Forschungsergebnisse, die im Labor erzielt wurden, in sehr viel schnellerer Zeit als bisher zum Wohle des Patienten in der Klinik zugänglich sind“, so Baumann. „Das heißt, dass nicht mehr wie bislang ausschließlich einzelne wissenschaftliche Arbeitsgruppen aus einer Fachrichtung an einem Forschungsprojekt arbeiten, deren Resultate unter Umständen erst in 20 Jahren veröffentlicht werden. Vielmehr sollen die Forschergruppen ständig im Gespräch mit den Ärzten sein und Rückmeldungen

## Schon bald gibt es in Deutschland zehn onkologische Spitzenzentren.

darüber bekommen, wo es in der Praxis Bedarf gibt.“ Das sei ein „Kulturwandel“, mit dem sich nicht jeder Arzt oder Wissenschaftler gleichermaßen leicht arrangiere – aber es sei der richtige Weg.

Damit endet die interdisziplinäre Zusammenarbeit noch nicht. Die Dresdner Mediziner etwa profitieren auch durch das gemeinsam mit dem Forschungszentrum Dresden-Rossendorf betriebene PET-Zentrum, wo Wissenschaftler unterschiedlicher Fachrichtungen neue radioaktive Arzneimittel für die Tumordiagnose entwickeln. Auch hier geht es darum, dass die Erkenntnisse der wissenschaftlichen Forschung schnell im Krankenhausalltag ankommen, damit die Patienten davon profitieren können.

Von der Sinnhaftigkeit solcher Zusammenarbeit ist auch Matthias Beckmann überzeugt. Er ist allerdings skeptisch, ob sich

### INFO

#### Dr. Susanne Kailitz



**Studium der Politikwissenschaft, Germanistik und Interkulturellen Kommunikation in Chemnitz und Bangor/Großbritannien, Promotion an der TU Chemnitz. Volontariat und Tätigkeit als innenpolitische Redakteurin bei der Wochenzeitung „Das Parlament“, jetzt freie Journalistin unter anderem für SpiegelOnline, Die Zeit und Süddeutsche Zeitung.**

das zersplitterte deutsche Gesundheitswesen, in dem jedes Kleinstkrankenhaus auch große Operationen durchführe und niedergelassene Ärzte um ihre Patienten fürchteten, so ohne weiteres umgestalten lasse. „Da schlägt zum Teil der persönliche Egoismus zu.“ Nötig sei deshalb eine bessere Aufklärung der Patienten, die sich dann selbst gezielt für die Krebszentren entscheiden könnten. „Das ist natürlich aber erst einmal schwierig, weil die Diagnose Krebs die Patienten zunächst oft in einen Schockzustand versetzt, in dem sie kaum rational reagieren können.“ Wichtig sei, dass den Patienten in einer solchen Situation auch vermittelt werde, dass sie in aller Regel genügend Zeit zum Überlegen hätten. Auch Eva Kalbheim betont, Krebs sei „meist keine Notfalldiagnose, in der man ins nächstbeste Krankenhaus muss“. Viel wichtiger als schnelles Reagieren sei die besonnene Suche nach dem richtigen Behandlungsort – und das ist in den meisten Fällen der, an dem der größtmögliche Sachverstand zusammen kommt. —

#### Informationen im Internet:

- ↗ [www.krebshilfe.de](http://www.krebshilfe.de)
- ↗ [www.dkfz.de](http://www.dkfz.de)
- ↗ [krebzentrum.uniklinikum-dresden.de](http://krebzentrum.uniklinikum-dresden.de)
- ↗ [www.tumorzentrum.klinikum.uni-erlangen.de](http://www.tumorzentrum.klinikum.uni-erlangen.de)

### KONTAKT

Dr. Susanne Kailitz  
susanne.kailitz@web.de

# Radiopharmazie – moderne Krebsforschung und -bekämpfung

Radiopharmazie, das ist die „Lehre von den radioaktiven Arzneimitteln“. Sie befasst sich mit der Entwicklung, Herstellung und Prüfung radioaktiver Arzneimittel über ihre Testung bis hin zur Anwendung.

\_TEXT . Prof. Dr. Jörg Steinbach

Diese Wissenschaftsdisziplin im Grenzgebiet zwischen Radiochemie, klassischen Chemie-Disziplinen, Biowissenschaften, Pharmazie und Medizin nutzt das Phänomen der Radioaktivität zu klinischen und wissenschaftlichen Zwecken. Radioaktivität ist die spontane Umwandlung von Radionukliden unter Aussenden von energiereicher Strahlung. Die älteste gezielte Anwendung von Radionukliden am Menschen näherte sich schon der eigentlich schwierigsten Aufgabe: Energiereiche Strahlung, in diesem Falle Beta-Strahlung des Radio-Iods, einzusetzen zur Bekämpfung eines bösartigen Schilddrüsentumors. Dies geschah im Jahr 1939 und war sogleich auch die erste nuklearmedizinische Anwendung zur Tumorbekämpfung.

Ihren Siegeszug trat die Radiopharmazie jedoch mit radioaktiven Arzneimitteln für die Krebsdiagnose an. Sie gab damit den Medizinern leistungsfähige Werkzeuge – mit Radionukliden versehene („markierte“)

Verbindungen – in die Hand. Diese radioaktiven Sonden senden gezielt Signale (Gammastrahlung) von Krankheitsherden aus dem Körper und spiegeln damit Funktionen des menschlichen Organismus wider. Solche Sonden-Moleküle werden als „Radiotracer“ oder auch als Radiodiagnostika bzw. Radiopharmaka bezeichnet; sie bilden Prozesse ab, ohne diese zu beeinflussen! Damit war die „bildgebende Funktionsdiagnostik“ geboren. Sie zeigt im Gegensatz beispielsweise zum Röntgenverfahren nicht vorrangig anatomische Informationen, sondern Informationen über Krankheitszustände.

Die radioaktiven Sonden spielen heute bei Verfahren der funktionellen Bildgebung die zentrale Rolle. Die PET (Positronen-Emissions-Tomographie) ist ein modernes und sehr sensitives Verfahren und ihre Bilder lassen Aussagen über Ort und Größe und vor allem zur Charakterisierung von Krebsgeschwülsten und Metastasen

zu. Für die tägliche Routine in der Klinik ist zudem das SPECT-Verfahren (Single-Photon-Emissions-Tomographie) bedeutsam. PET und SPECT leisten schon heute einen wichtigen Beitrag für die Krebsbekämpfung. Auch als Werkzeug der Forschung sind solche Verfahren unverzichtbar, können doch am lebenden Organismus Untersuchungen zu ausgewählten Stoffwechselfvorgängen vorgenommen werden.

## Radioaktive Sonden

**Wozu werden radioaktive Sonden heute in der Krebsbekämpfung eingesetzt?**

1. In der Routinediagnostik ist das Auffinden von Tumoren oder ihrer Metastasen innerhalb des Körpers die wichtigste Anwendung. Die Radiopharmaka-Industrie bietet entsprechende Radiopharmaka an, →

**Typische Untersuchungssituation am PET-Scanner im Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (PET = Positronen-Emissions-Tomographie).**



die von Nuklearmedizinern für Patientener-  
untersuchungen genutzt werden.

2. Daneben haben sich in der Tumorforschung, also zum Verständnis der Tumorentwicklung sowie zur Tumorbekämpfung, eine Reihe von Fragestellungen entwickelt wie beispielsweise:

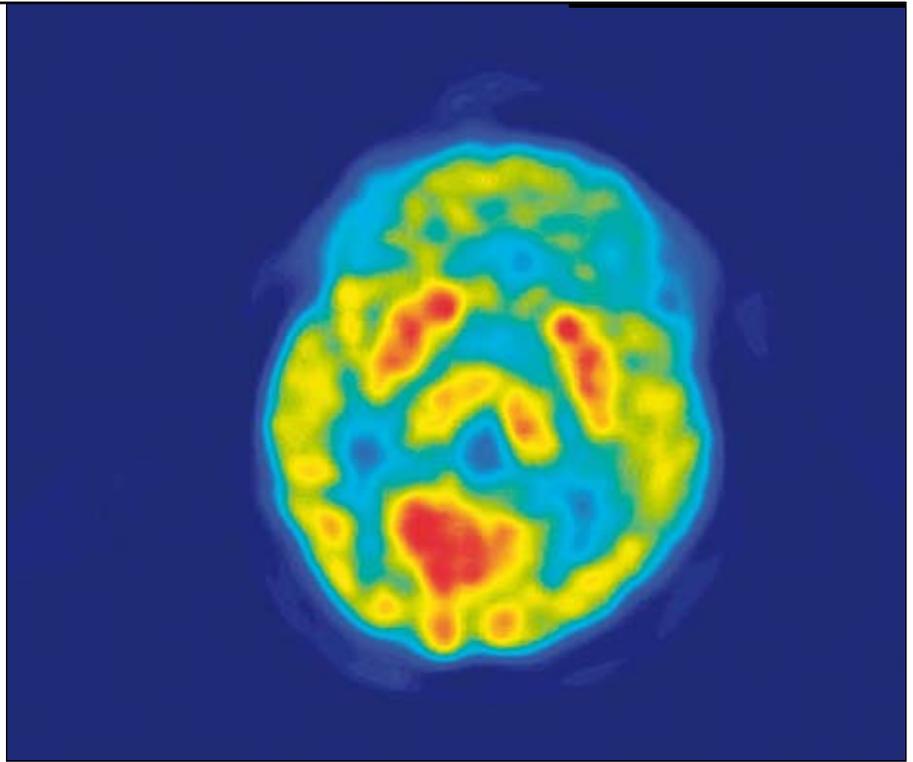
- \_Handelt es sich überhaupt um einen Tumor?
- \_Findet „nur“ ein Entzündungsprozess statt?
- \_Wie verläuft der Prozess der Metastasierung?

3. Zunehmend in den Mittelpunkt rückt die Notwendigkeit, Tumore zu charakterisieren. Hier stehen Fragen im Mittelpunkt wie:

- \_Um welche Art von Tumor handelt es sich?
- \_Welche Therapie ist für welchen Tumor am günstigsten anwendbar?
- \_Spricht der Tumor auf die therapeutische Behandlung, beispielsweise die Strahlentherapie, an? Welche Bedingungen sind optimal?
- \_Wie ist der längerfristige Behandlungserfolg?

## Neue Herausforderungen für die Radiopharmazie

Unsere aktuellen Forschungsarbeiten beschäftigen sich mit diesen Fragestellungen. Dabei nutzen wir die vielfältigen Möglichkeiten der bildgebenden Funktionsdiagnostik in unserem PET-Zentrum. Zugleich konzentrieren wir uns in letzter Zeit verstärkt auf die Entwicklung radioaktiver Arzneimittel zur Krebsbekämpfung, also auf Radiotherapeutika. Im Gegensatz zu radioaktiven Sonden, die Prozesse abbilden, ohne diese zu beeinflussen, sollen Radiopharmaka für die molekulare Strahlentherapie (im Fachjargon: Endoradionuklid-Therapie) Tumorgewebe erkennen, sich dort anlagern und dieses stark schädigen oder gar zerstören. Hierzu wird nun bewusst die Energie der bei der radioaktiven Umwandlung entstehenden, ionisierenden Strahlung zur Gewebezerstörung genutzt. Auch die Radiotherapeutika sind mit Radionukliden markierte Verbindungen. Diese müssen sich – im Vergleich zu Radiodiagnostika – jedoch noch viel selektiver an oder in Tumorzellen anreichern, um unter Schonung von gesundem Gewebe Tumorgewebe zu zerstören. Dies ist eine außerordentliche Herausforderung für die Radiopharmazie. Neben der oben erwähnten Anwendung des radioaktiven Iods zur Bekämpfung von Schilddrüsenschwüsten gibt es wegen der hohen Hürden bisher nur sehr wenige routinemäßige



PET-Aufnahme eines Gehirns

Anwendungen von Radiotherapeutika. Solche Tumorzellen-suchenden Verbindungen sind meist auf der Basis von radioaktiv markierten Peptiden oder Eiweißstoffen wie Antikörpern entwickelt worden. Die bisherige Erfahrung hat gezeigt, dass in ausgesuchten Fällen eine Lebenszeitverlängerung, die zugleich verbunden ist mit einer erhöhten Lebensqualität, erreicht werden kann. Durch Kombination der Endoradionuklid-Therapie mit anderen therapeutischen Verfahren, beispielsweise mit der externen Strahlentherapie, versprechen sich die Forscher deutlich verbesserte Heilungschancen für bösartige Tumoren und deren Metastasen.

Am Institut für Radiopharmazie des Forschungszentrums Dresden-Rossendorf werden Substanzen für beide Aspekte entwickelt: Radiotracer für die bildgebende Funktionsdiagnostik und Radiotherapeutika für die Endoradionuklid-Therapie. Diese Arbeiten bedingen sich und ergänzen einander – so werden die im Haus entwickelten diagnostischen Methoden eingesetzt, um die therapeutischen Arbeiten zu bewerten. Damit die erzielten Ergebnisse auch für den Menschen nutzbar gemacht werden können, gibt es eine breite Kooperation mit Medizinern des Universitätsklinikums der TU Dresden sowie mit Wissenschaftlern im gemeinsamen Dresdner Zentrum OncoRay. —

### KONTAKT

\_Institut für Radiopharmazie  
Direktor  
Prof. Dr. Jörg Steinbach  
j.steinbach@fzd.de

### INFO

#### Arbeitsgemeinschaft Radiochemie / Radiopharmazie

Auf der 16. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft Radiochemie / Radiopharmazie wurde Prof. Jörg Steinbach zum Vorsitzenden der Arbeitsgemeinschaft gewählt. Die AG ist im organisatorischen Rahmen der Deutschen Gesellschaft für Nuklearmedizin e.V. (DGN) organisiert und vertritt Mitglieder aus Deutschland, Österreich und der Schweiz. Sie vereint Radiochemiker, Biowissenschaftler, Radiopharmazeuten und Fachleute angrenzender Fachgebiete, die auf dem Gebiet der Radiopharmazeutischen Chemie und Radiopharmazie wissenschaftlich tätig sind. Die AG vereint auch zahlreiche Mitglieder aus der Industrie (Hersteller von Radiopharmaka, Ausrüstungen).

Eine der Hauptaufgaben der Arbeitsgemeinschaft ist die Ausrichtung einer alljährlichen Tagung. Die anstehende 17. Jahrestagung wird in der Zeit vom 24. bis 26. September 2009 in Altenberg (Sachsen) stattfinden und wird vom Institut für Radiopharmazie des FZD unter Beteiligung der Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin des Universitätsklinikums Dresden ausgerichtet.

↗ [www.nuklearmedizin.de](http://www.nuklearmedizin.de)

Der Arzt bespricht mit seinem Patienten die Diagnose sowie die individuell auf ihn zugeschnittene Therapie anhand der dreidimensionalen Bilder des Tumors.



## Exzellenz im Kampf gegen den Krebs

Dank der Fortschritte in der Krebsforschung haben sich die Heilungschancen bei vielen Tumorerkrankungen deutlich verbessert. Das Universitäts KrebsCentrum Dresden (UCC) gewährleistet eine optimale, multidisziplinäre, individuell zugeschnittene Krebstherapie nach dem aktuellen Stand der Wissenschaft.

TEXT: Birte Urban-Eicheler (UCC)

Krebserkrankungen sind in allen Industrienationen die zweithäufigste Todesursache. Aufgrund demografischer Entwicklungen und verbesserter präventiver sowie therapeutischer Möglichkeiten bei den Herz-Kreislauf-erkrankungen gehen Experten davon aus, dass Krebs in wenigen Jahren die führende Todesursache sein wird. „Viele Tumoren, insbesondere in fortgeschrittenen Stadien, werden heute durch eine Kombination unterschiedlicher Therapiemethoden, wie Operation, Strahlentherapie und systemische Therapie, behandelt“, erläutert Prof. Michael Baumann, Direktor des Universitäts KrebsCentrums Dresden (UCC).

Dies hat die Heilungschancen gegenüber den Einzelbehandlungen deutlich erhöht. Für eine optimale Therapie bei häufigen, aber auch seltenen Tumorarten ist deshalb ein enges, am einzelnen Patienten orientiertes Zusammenspiel hoch spezialisierter Fachärzte unterschiedlicher medizinischer Disziplinen eine zentrale Voraussetzung.

So genannte „Comprehensive Cancer Center“ sind das Referenzmodell für eine

diesen Kriterien gerecht werdende Versorgungsstruktur. Ihre Schwerpunkte liegen neben der fachübergreifenden klinischen Versorgung auch auf der Weiterentwicklung der Krebsforschung und Lehre, aus deren enger Verzahnung sich richtungweisende Standards für eine qualitativ hochwertige Versorgung der onkologischen Patienten ergeben. Entsprechend ist auch das UCC orga-

### *Patientenorientiertes Zusammenspiel hoch spezialisierter Fachärzte*

nisiert, das 2003 gemeinsam vom Universitätsklinikum und der Medizinischen Fakultät Carl Gustav Carus gegründet wurde. Nach internationaler Begutachtung zeichnete die Deutsche Krebshilfe e. V. das UCC 2007 als eines von bundesweit vier „Onkologischen Spitzenzentren“ aus und unterstützt so das Dresdner Zentrum, die aufgebauten Strukturen zu optimieren und weiterzuentwickeln. Sämtliche onkologische Fachdisziplinen sind

im UCC vorhanden und greifen ineinander: In mehrmals wöchentlich stattfindenden Tumorkonferenzen für verschiedene Krebsarten wird von Fachärzten jeweils aller zur Behandlung notwendigen Disziplinen der individuelle Therapieplan für jeden Krebspatienten einzeln abgestimmt. Es werden auch hoch spezialisierte diagnostische und therapeutische Methoden angeboten, die auf Grund ihrer hohen Kosten und der notwendigen Expertise nur an wenigen Orten vorgehalten werden können und somit der gesamten Region dienen.

Viele Spezialisten im UCC sind nicht nur als erfahrene Ärzte, sondern darüber hinaus als Hochschullehrer und Krebsforscher tätig. Somit ist sichergestellt, dass der aktuellste Wissensstand bei jedem Schritt von der Diagnostik bis zur Behandlung berücksichtigt wird und dass wichtige wissenschaftliche Projekte in der Onkologie, etwa in der Erforschung neuer Medikamente, in der genetischen Forschung oder der Stammzellforschung, auf hohem Standard durchgeführt werden. Kapazitäten in der Forschung kön-





**Das Tumorboard ist das Herzstück des Universitäts KrebsCentrums: Täglich beurteilen hoch spezialisierte Fachärzte unterschiedlicher medizinischer Disziplinen die medizinischen Befunde und legen gemeinsam für den einzelnen Patienten die beste Behandlungsstrategie fest.**

tienten in einer Region entsprechend der jeweiligen Bedürfnisse stufenweise die optimale Diag-nostik und Therapie durch die vielfältigen Partner im Gesundheitswesen möglichst heimatnah angeboten werden.“ Deshalb strebt das UCC zum Wohl der an Krebs erkrankten Patienten gemeinsam mit allen relevanten Partnern der Region ein verbindliches Netzwerk in der vom Universitätsklinikum Dresden initiierten Gesundheitsregion „Carus Consilium Sachsen“ an. Hierbei gilt es, etablierte Strukturen und Konzepte des UCC wie zum Beispiel die interdisziplinären Tumorboards, das klinikweit erreichbare Tumordokumentationssystem sowie die geregelten Zugangsmöglichkeiten zu Spezialbehandlungen und -untersuchungen mit allen vorhandenen Standards in die Region zu übertragen. —

**KONTAKT**

\_UCC – Universitäts KrebsCentrum Dresden  
 am Universitätsklinikum Carl Gustav Carus Dresden  
 Fetscherstr. 74, 01307 Dresden  
 info@krebszentrum.de  
 ↗ www.krebszentrum.de

nen gezielt auch den Patienten in der Region zur Verfügung gestellt werden, wenn diese aufgrund ihrer Krebserkrankungen eine spezielle Hochtechnologie benötigen. Mit dem Deutschen Krebsforschungszentrum und anderen „Comprehensive Cancer Center“ im In- und Ausland berät das UCC derzeit über Möglichkeiten, die Krebsforschung zu optimieren, damit so schnell wie möglich

Forschungsergebnisse in die klinische Versorgung umgesetzt werden.

Zweifelsfrei können und sollten aber nicht alle krebskranken Patienten in einem „Comprehensive Cancer Center“ diagnostiziert und behandelt werden. „Ein modernes, effizientes und kostenbewusstes Versorgungssystem hat vielmehr sicherzustellen“, so Professor Baumann, „dass jedem Pa-

**INFO**

**Beispiele für onkologische Forschungsprojekte**

**Das vom BMBF geförderte „Zentrum für Innovationskompetenz OncoRay für medizinische Strahlenforschung in der Onkologie“ entwickelt neue Bildgebungs- sowie Behandlungsmöglichkeiten für die Strahlentherapie von Krebserkrankungen. Gemeinsam haben das Universitätsklinikum Carl Gustav Carus (UKD), die Technische Universität Dresden und das Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZD) das „OncoRay“ 2005 gegründet. Auch entsteht derzeit auf dem Medizinischen Campus des UKD das „Gemeinsame Zentrum“ für die patientenorientierte Strahlenforschung in der Onkologie und für die Neuentwicklung dazu erforderlicher medizinischer Hochtechnologie. Mit diesem Gemeinschaftsprojekt setzten sich das Universitätsklinikum Carl Gustav Carus Dresden, die TU Dresden und das FZD im August 2008 bei der Sächsischen Landesexzellenzinitiative durch.**



# Radioaktive Zwillinge

Im Kampf gegen den Krebs arbeiten Forscher im FZD in intensiver Zusammenarbeit mit der Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin des Universitätsklinikums Dresden an der Entwicklung noch besserer Diagnosesubstanzen auf der Grundlage von radioaktiv markierten Molekülen.

\_TEXT . Dr. Martin Walther

Die bei der Entwicklung von Diagnostika erworbenen Erfahrungen setzen die Rosendorfer Wissenschaftler für radioaktive Arzneimittel ein, die zukünftig als alternative Therapie von Krebserkrankungen zum Einsatz gelangen könnten. Im Visier stehen hier radioaktive Zwillinge.

Diagnose- und Therapiesubstanzen, deren Wirkung auf ionisierender Strahlung beruht, funktionieren im Grunde identisch: Radioaktive Isotope von natürlich vorkommenden chemischen Elementen, sogenannte Radionuklide, werden in speziell entwickelte Verbindungen eingebaut und können damit am Stoffwechsel des Menschen teilnehmen. Von einigen Elementen gibt es mehrere Radioisotope, deren unterschiedliche kernphysikalische Eigenschaften einerseits für diagnostische Zwecke und andererseits für die Krebstherapie in der Nuklearmedizin nutzbar sind. Ein Beispiel für ein solches Radionuklid-Paar sind die metallischen Radioisotope Yttrium-86 und Yttrium-90. Das

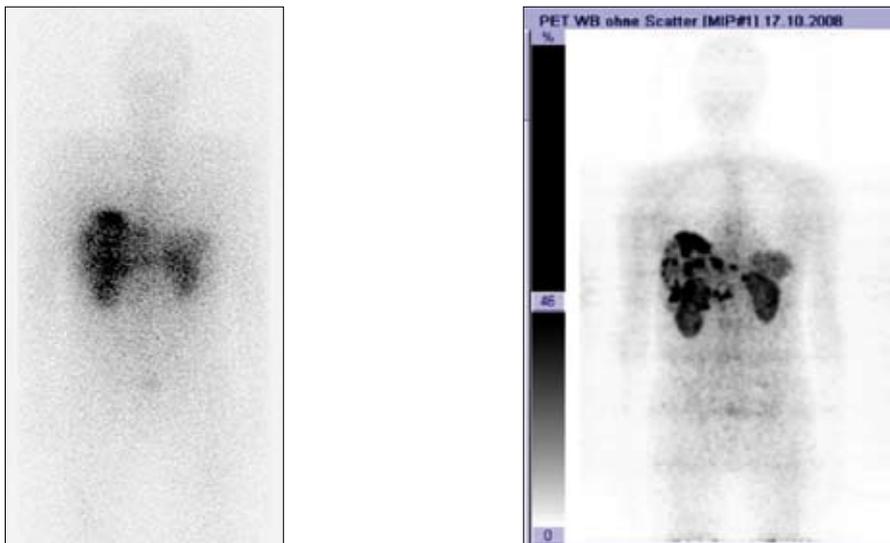
Diagnostik-Isotop Yttrium-86 mit einer Halbwertszeit von knapp 15 Stunden wandelt sich unter Aussendung von Positronen um. Es wird mit Hilfe eines Teilchenbeschleunigers hergestellt. Nach Einbau in ein tumorsuchendes Molekül dient es im menschlichen Körper als radioaktive Sonde. Das Molekül wandert zum Tumor oder zu den Metastasen und gibt von dort durch die radioaktive Strahlung Informationen zur räumlichen und zeitlichen Verteilung der Substanz und damit der Tumorzellen im Körper. Die Strahlung kann von außen genau gemessen werden. Bei der Planung einer Tumorthherapie sind diese Informationen von großem Nutzen. Die eigentliche Tumorthherapie erfolgt dann mit dem Therapie-Isotop Yttrium-90 mit einer Halbwertszeit von 64 Stunden, das durch seine Beta-Strahlung die Tumorzellen im Körperinneren zerstört.

Das Radionuklid-Paar Yttrium-86 und Yttrium-90 erlaubt eine besonders zielgerichtete Therapie, die im Vergleich zu kon-

ventioneller Chemotherapie deutlich geringere Nebenwirkungen hervorruft. Die Bilder auf dieser Seite verdeutlichen die Funktion des radioaktiven Zwillingspaars und wurden durch die Kooperation zwischen dem FZD und der TU Dresden möglich; sie wurden freundlicher Weise von der Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin des Universitätsklinikums Dresden (Direktor: Prof. Dr. Kotzerke) zur Verfügung gestellt.

## Von außen sichtbar gemacht

Die hohe Reichweite von Gamma-Strahlung ist ideal geeignet für bildgebende Verfahren, die Vorgänge im Organismus von außen sichtbar machen können. Eine besondere Form der Gamma-Strahlung entsteht bei der Wechselwirkung von Positronen mit Materie. Deshalb sind Positronen aussendende Radionuklide die erste Wahl für nuklearmedizinische Diagnoseverfahren. Die geringe →



Das rechte PET/CT-Bild zeigt die Anreicherung der Yttrium-86-DOTATOC-Verbindung im Tumorgewebe und dient der Therapie-vorbereitung (diagnostisches Bild für die vorbereitende Dosimetrie). Die Hauptanreicherungen sind im Nierengewebe, in der Milz und in Lebermetastasen eines neuroendokrinen Tumors zu erkennen.

Im linken Bild ist die Verteilung des analogen Radiotherapeutikums durch Detektion der Bremsstrahlung des Therapienuklids Yttrium-90 dargestellt.

Das Radionuklid Yttrium-86 macht den Tumor klar sichtbar, während Yttrium-90 die Therapie bedingt.

Das Peptid DOTATOC ist eine dem körpereigenen Botenstoff Somatostatin verwandte Substanz. Sie bindet an spezifische Oberflächen-Strukturen („Rezeptoren“) von Tumorzellen.

Wechselwirkung der Gamma-Strahlung mit Gewebe und die damit verbundene hohe Durchdringungsfähigkeit ermöglichen diese Untersuchungen schon mit kleinsten Mengen radioaktiver Substanzen bzw. niedrigen Strahlendosen - ein weiterer Vorteil dieser Verfahren.

## Starke Wirkung im Körperinneren

Partikelstrahlung wie Beta- oder Alpha-Strahlung mit sehr geringer Reichweite ist dagegen für die Therapie geeignet. Hier soll eine hohe Anreicherung der Radionuklide im erkrankten Gewebe für die zielgerichtete Therapie von Tumoren erreicht werden. Dabei ermöglicht die geringe Weglänge bis zur Abgabe der Strahlungsenergie, dass die Krebszellen mit hohen Strahlendosen abgetötet bzw. am Weiterwachsen gehindert werden, während das gesunde Gewebe nur wenig Strahlung ausgesetzt ist. Therapie und Diagnose können somit jeweils mit strahlenden Molekülen realisiert werden, jedoch gibt es große Unterschiede bei der Art der Strahlung, der Halbwertszeit sowie der verabreichten Dosis. Ein Radionuklid allein kann diesen Anforderungen nicht gerecht werden. Im Fokus der Tumorforschung stehen deshalb Radionuklide, die als Isotopenpaare hergestellt und verwendet werden können: Iod-123 oder Iod-124 und Iod-131, Yttrium-86 und Yttrium-90 sowie Kupfer-64 und Kupfer-67. Als Alternative kommen bei besonders günstiger Verfügbarkeit, z.B. von einem „Generatorsystem“, auch Radionuklidpaare von Elementen mit ähnlichen chemischen Eigenschaften wie Technetium-99m und Rhenium-188 oder Gallium-68 und Yttrium-90 zum Einsatz.

Neuerdings gewinnen metallische Radionuklidpaare wie Yttrium-86 und Yttrium-90 rasant an Bedeutung. Dies liegt nicht zuletzt an der beherrschbaren Koordinationschemie der Yttrium-Isotope, die deren Verknüpfung mit empfindlichen tumorsuchenden Molekülen wie Peptiden (DOTATOC) oder Antikörpern (Zevalin®) erlaubt. —

### KONTAKT

\_Institut für Radiopharmazie  
Dr. Martin Walther  
m.walther@fzd.de

### OncoRay räumt Preise ab

## Dresdner Krebsforscherin Dr. Iris Eke gewinnt den Preis für die beste Promotionsarbeit im Fachbereich Medizin

\_TEXTE : Birte Urban-Eicheler (UCC)

Dr. Iris Eke, Mitglied der Nachwuchsforschungsgruppe „Biologisches und Molekulares Targeting“ des Dresdner Zentrums OncoRay, wird für die beste Promotionsarbeit im Fachbereich Medizin von der Technischen Universität München, an der sie promovierte, ausgezeichnet. Dr. Eke erhält den mit 1500 Euro dotierten Preis für ihre Promotionsarbeit, die als erste der Klinik und Poliklinik für Strahlentherapie und Radiologische Onkologie des Klinikums rechts



der Isar überhaupt mit Summa cum laude bewertet wurde. In ihrer Studie „Untersuchungen zur Rolle von Integrin-gebundener Kinase (ILK) und Zelladhäsion für die zelluläre Strahlenantwort und die pharmakologische Inhibition des epidermalen Wachstumsfaktorrezeptors“ beschäftigt sich die Wissenschaftlerin mit der Verbesserung der strahlentherapeutischen Behandlung bei Krebserkrankungen.

## Nachwuchspreis für Dresdner Strahlenbiologin – Dr. Ala Yaromina erhält den Behnken-Berger-Preis 2007

Für ihre Forschungsarbeiten am OncoRay erhielt die Strahlenbiologin Dr. Ala Yaromina während der 15. Jahrestagung der Berlin-Brandenburgischen Gesellschaft für Nuklearmedizin den Behnken-Berger-Preis 2007. Den mit 5.000 Euro dotierten Preis vergibt die Behnken-Berger-Stiftung jährlich an Nachwuchswissenschaftler, die auf dem Gebiet des Strahlenschutzes forschen. Die 29-jährige Nachwuchswissenschaftlerin



untersucht den therapeutischen und diagnostischen Einsatz von ionisierender Strahlung. Ihr Schwerpunkt liegt hierbei auf dem Gebiet der Tumorphysiologie: Speziell erforscht sie die Sauerstoffversorgung in den Tumorzellen, die eine wichtige Rolle bei der Bestrahlungsempfindlichkeit der Karzinome spielt (s. zu diesem Thema auch den Artikel „Tumorstadium verstehen“ auf S. 16-17).

## Vision des Dresdner Zentrums OncoRay

Die Vision des Dresdner Zentrums OncoRay ist es, die Heilung von Krebserkrankungen durch biologisch individualisierte, technologisch optimale Strahlentherapie zu verbessern. Strahlentherapie ist ein hocheffektives Verfahren zur Vernichtung des Primärtumors und verringert dadurch auch die Gefahr der Streuung von Metastasen, die gewöhnlich das Endstadium einer Krebserkrankung darstellen. Im Gegensatz zu anderen Verfahren kann die Strahlentherapie nicht nur zeitlich, sondern auch räumlich exakt gesteuert werden. Ein Ersatz der Strahlentherapie durch andere Methoden ist nicht in Sicht. Im Gegenteil, in den nächsten Jahrzehnten wird die Effizienz und die Bedeutung der Strahlentherapie durch die physikalisch-technologische Weiterent-

wicklung von Hochpräzisions-Bestrahlungsverfahren und durch die Integration moderner Elemente der biologischen Forschung, die einen individualisierten Zuschnitt der Behandlung auf den einzelnen Patienten erlauben, weiter zunehmen. Dies erfordert die enge transdisziplinäre Verzahnung von modernster Biologie, Physik und Medizin.

### KONTAKT

\_OncoRay  
Medizinische Fakultät Carl Gustav Carus  
der Technischen Universität Dresden  
info@oncoray.de  
www.oncoray.de

# Wie Zucker dabei hilft, Strahlentherapie individueller einzusetzen

Um Krebs so früh wie möglich erkennen, bewerten und erfolgreich therapieren zu können, werden immer individuellere Behandlungen verfolgt. Dazu macht man sich das moderne bildgebende Verfahren der Positronen-Emissions-Tomographie (PET) zunutze. FZD-Wissenschaftler erforschten ihr Potenzial im internationalen EU-Projekt BioCare.

\_TEXT . Anja Bartho

Obwohl die Diagnose Krebs für alle Betroffenen eine beängstigende Nachricht ist, stecken hinter dem Begriff ganz unterschiedliche bösartige Erkrankungen, weniger und sehr bedrohliche Formen, mit ebenso unterschiedlichen Krankheitsverläufen. „Das hängt damit zusammen, dass alle Tumore unterschiedlich sind. Die Tumorart spielt eine entscheidende Rolle für den Erfolg der Behandlung“, sagt Dr. Ralf Bergmann, Wissenschaftler am Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZD). Tumore unterscheiden sich zum Beispiel in ihrer Größe, in der Anzahl der Blutgefäße, die sich durch den Tumor ziehen, im Sauerstoffverbrauch oder in der genauen Lage der Muttergeschwulst. Die Tatsache, dass Tumorgewebe höchst uneinheitlich ist, ist heute ein wichtiger Ansatz für die Krebsforschung. „Ein großes Ziel der Forschung besteht darin, die Krebstherapie stärker auf den einzelnen Patienten abzustimmen, zu individualisieren“, sagt Dr. Bergmann. So auch im internationalen EU-Projekt „BioCare“, das er und seine Kollegen gerade abgeschlossen haben. Dabei ging es um den Einsatz eines speziellen bildgebenden Verfahrens für die frühzeitige Er-

kennung von Krebsgeschwülsten und für die Optimierung der Strahlentherapie: die Positronen-Emissions-Tomographie, kurz PET.

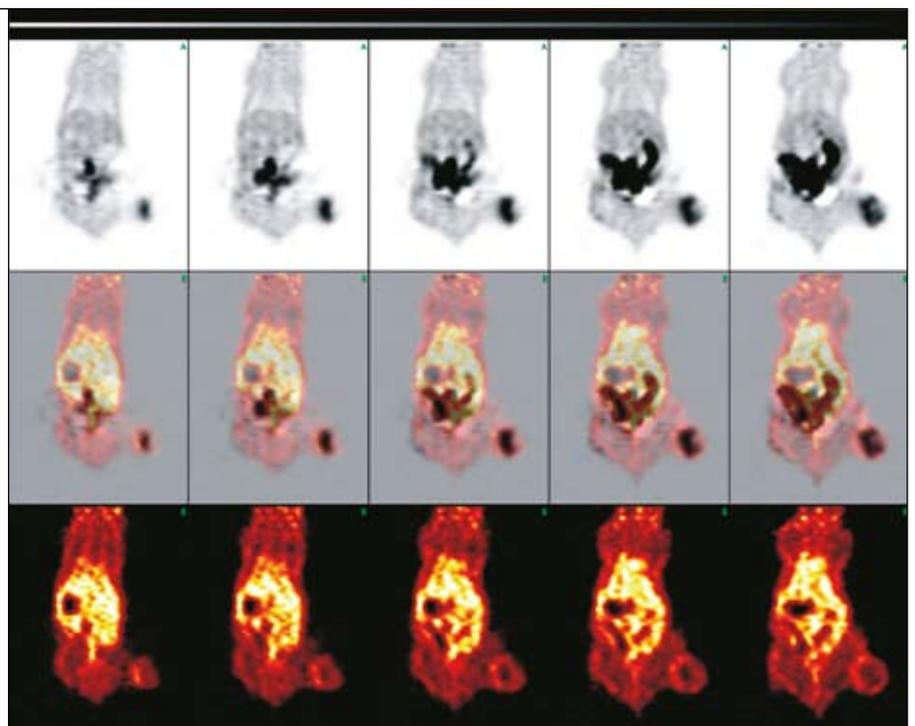
## Tumore lieben Zucker

Nicht alle Tumore kann man mit üblichen Mitteln wie durch Ertasten oder Röntgen feststellen. Wenn verschiedene Untersuchungen Hinweise auf eine Krebserkrankung geben, gilt das PET-Verfahren als eine sehr gute Methode, um z.B. Geschwülste in Kopf oder Hals, in der Lunge oder in der Brust nachzuweisen. Auch das Entwicklungsstadium und den möglichen Befall von Lymphknoten kann man damit erkennen. In vielen Fällen können mit dem Verfahren auch gutartige von bösartigen Geschwülsten unterschieden werden. Im Forschungszentrum Dresden-Rossendorf wird es im PET-Zentrum zur Diagnose eingesetzt. „Die PET-Methode erreicht einen hohen Kontrast zwischen dem Tumor und dem umliegenden normalen Gewebe“, sagt Dr. Bergmann. Dabei nutzt sie eine der wenigen Eigenschaften, die Tumore von gesun-

dem Gewebe unterscheiden: Tumore lieben Zucker und nehmen tendenziell mehr davon auf als normales Gewebe. Bei dem PET-Verfahren wird den Patienten ein radioaktives Arzneimittel auf Zuckerbasis injiziert, das besonders von den Tumorzellen aufgenommen wird. Mittels PET-Detektoren kann man die vom „leuchtenden“ Zucker freigesetzte Strahlung von außen messen und so Ansammlungen von Tumorzellen Punkt für Punkt räumlich abbilden.

Die PET-Methode eignet sich aber nicht nur zur Diagnose, sondern auch zur Therapiekontrolle, wie die Wissenschaftler in vorklinischen Studien herausfanden. Damit kann man Stoffwechselveränderungen im Tumor, die Hinweise zur Wirkung einer Strahlenbehandlung sind, frühzeitig feststellen. „Innerhalb des BioCare-Projektes haben wir die Antwort von Tumoren auf eine Bestrahlung in Bezug zur Aufnahme von radioaktiven Arzneimitteln untersucht“, sagt Dr. Bergmann. In enger Zusammenarbeit mit der Klinik und Poliklinik für Strahlentherapie und Radioonkologie sowie der Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin der TU Dresden wie auch dem Dresdner Zen-

**Tumore individuell behandeln:** Tumore sind häufig sehr unterschiedlich, nicht nur in ihrer Lage und Größe, sondern auch in Bezug auf die in ihnen ablaufenden Stoffwechselfvorgänge. Mit dem Radiopharmakon [<sup>18</sup>F]FMISO kann man mit frühen PET-Aufnahmen direkt nach der Injektion (unten, 5 Minuten danach) die gut durchbluteten Bereiche eines Tumors darstellen. Die späten Aufnahmen (oben, 4 Stunden danach) zeigen dagegen Regionen der Geschwulst, die schlecht durchblutet sind, wenig Sauerstoff enthalten und sich von den anderen Bereichen klar abgrenzen, wie aus der Überlagerung der 5 Schichtaufnahmen (Mitte) zu sehen ist. Solche Regionen mit geringem Sauerstoffgehalt erfordern eine andere Behandlung als die gut durchbluteten.



→

## Dresdner Forschungsallianz gegründet

\_TEXT . Anja Bartho

Die TU Dresden plant gemeinsam mit den in Dresden ansässigen Forschungseinrichtungen der Fraunhofer-Gesellschaft, Max-Planck-Gesellschaft, Leibniz-Gemeinschaft und dem Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZD) als zukünftigem Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft eine Forschungsallianz, um den Wissenschaftsstandort Dresden zu stärken. Das FZD ist maßgeblich daran beteiligt. Grundidee des Konzeptes mit dem Namen DRESDEN (Dresden Research and Education Synergies for the Development of Excellence and Novelty) ist es, einen gemeinsamen Dresdner Forschungs- und universitären Ausbildungsraum zu schaffen. Ein solches Netzwerk einer Universität mit Instituten aller deutschen Wissenschaftsgesellschaften, die in Dresden in einer außerordentlichen Dichte vertreten sind, ist bisher einzigartig. Auch die Dresdner Museen sollen in diese Allianz mit einbezogen werden.

„Diese neue Qualität der Vernetzung eröffnet uns die Möglichkeit, Synergien zwischen unserer Universität und den außeruniversitären Forschungseinrichtungen noch besser als bisher zu nutzen“, sagt der Rektor der TU Dresden, Prof. Hermann Kokege. Forschung, Graduiertenausbildung und wissenschaftliche Infrastruktur sollen die Säulen der neuen Forschungsallianz bilden und vertiefen die vielfachen Kooperationen, die bisher schon zwischen den Dresdner Einrichtungen bestehen. „Das Forschungszentrum Dresden-Rossendorf und die TU Dresden haben erst vor einem Jahr einen neuen Kooperationsvertrag unterzeichnet, mit dem wir unsere Zusammenarbeit weiter ausbauen wollen. Das neue Netzwerk nun stellt einen wichtigen Schritt dar, um den Wissenschaftsstandort Dresden in die Zukunft zu führen“, sagt Prof. Roland Sauerbrey, Wissenschaftlicher Direktor des FZD.

In der nächsten Zeit sollen gemeinsame Forschungsschwerpunkte definiert und entwickelt werden. Ein Gremium (DRESDEN-Board), in dem alle Partner gleichrangig vertreten sind, wird das Netzwerk koordinieren. Von einer starken Forschungsallianz erhoffen sich die Partner u.a., international anerkannte Experten als Professoren nach Dresden zu ziehen. Vor allem soll das Netzwerk aber die Weichen für eine erfolgreiche Bewerbung der TU Dresden um den Titel „Eliteuniversität“ in einer neuen Runde der bundesweiten Exzellenzinitiative stellen.

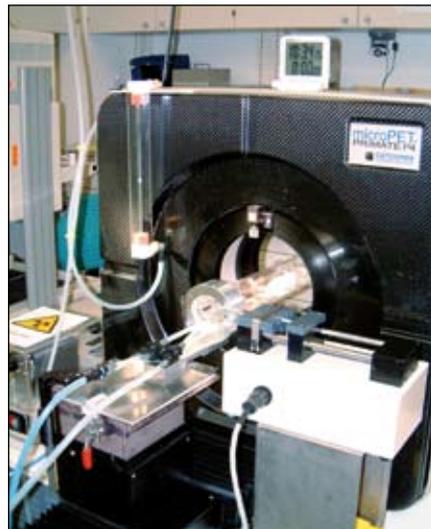


Tag 0

Tag 9

**Erste Erfolge sichtbar gemacht: Neun Tage nach einer Bestrahlung (Bild rechts) hat sich das Verhältnis von Zucker aufnehmenden zu inaktiven Tumorzellen im Vergleich zur PET-Aufnahme am Tag der Bestrahlung (Bild links) verändert. Der beim PET-Verfahren injizierte radioaktiv markierte Zucker wurde nur von den äußeren Tumorbereichen aufgenommen (roter Bereich); die schwarze Fläche im Inneren signalisiert, dass dort der Zuckerstoffwechsel praktisch zum Erliegen gekommen ist. Das Bild zeigt die Schichtaufnahmen von zwei Mäusen mit einem Tumor auf dem Bein.**

trum OncoRay haben die Wissenschaftler in Untersuchungen mit Nacktmäusen an unterschiedlichen Tagen vor und nach der Bestrahlung den Zuckerumsatz von Tumoren sowie auch die Sauerstoffversorgung, die ebenso entscheidend für den Erfolg einer Bestrahlung ist, gemessen. So konnte gezeigt werden, dass Kopf- und Halstumore einerseits und Darmkrebszellen andererseits unterschiedlich viel Zucker aufnehmen und sich auch in der Entwicklung von Bereichen, die mit Sauerstoff unterversorgt sind, unterscheiden. Die Wissenschaftler stellten fest, dass man anhand der Zuckeraufnahme gewissermaßen voraussagen kann, wie Tumore auf eine Strahlenbehandlung reagieren. So wiesen sie nach, dass Tumore, die viel Zucker umsetzen, auch aggressiver sind.



Kleintier-PET-Gerät mit Tier in Messposition

## Bestrahlung individueller planen

Wie kann man diese Erkenntnisse nun für die tatsächliche Behandlung von Patienten anwenden? „Zum einen könnten PET-Untersuchungen schon vor einer Bestrahlung wichtige Informationen für die individuelle Behandlung eines Patienten liefern. So könnten unterschiedliche Tumore und Tumorregionen mit unterschiedlich hohen Strahlendosen behandelt werden“, sagt Dr. Bergmann. Die Arbeit seiner Gruppe sei aber nur ein Mosaik von Ansätzen, die im Rahmen des BioCare-Projektes verfolgt wurden. Diese reichten von der Weiterentwicklung der Detektoren für die PET-Methode, die Gegenstand einer weiteren Arbeitsgruppe des FZD war, über neue und bessere Verfahren bei der Anwendung von Radiopharmaka hin zur Interpretation der mittels PET gewonnenen Daten, z.B. durch geeignete Software. „Das PET-Verfahren ist inzwischen ein anerkanntes Untersuchungsverfahren und hat ein großes Potenzial, es gibt noch viel Forschungsbedarf. Die Kooperation mit OncoRay, der Klinik

und Poliklinik für Strahlentherapie und Radioonkologie sowie der Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin an der TU Dresden im Rahmen von BioCare ist ein gutes Beispiel für die zukünftige Zusammenarbeit im Gemeinsamen Zentrum für Strahlenforschung in Dresden“, so Dr. Bergmann. —

### KONTAKT

\_ Institut für Radiopharmazie  
Dr. Ralf Bergmann  
r.bergmann@fzd.de

### INFO

#### BioCare

**Molecular Imaging for Biologically Optimized Cancer Therapy**  
Laufzeit:

**März 2004 bis Dezember 2008**

**Fördersumme / FZD:**  
**473.000€**

**Partner:**  
**21 Arbeitsgruppen aus 10 Ländern**

# Molekülbaukasten macht Krebs sichtbar

Dr. Holger Stephan und sein kleines Team im FZD interessieren sich für eine besondere Art von Molekülen, die wie ein Baum verästelt und nur wenige Nanometer groß sind (1 Nanometer = 1 Millionstel Millimeter).

TEXT · Christine Bohnet



Sie erinnern an Eiskristalle, die am Fenster festgefroren ihren verzweigten Aufbau offenbaren. Vom Zentrum ausgehend wiederholen sich die Strukturen kreisförmig und ergeben ein symmetrisches Ganzes.

In der Chemie tragen diese Nanomoleküle den Fachbegriff „Dendrimere“. Ihr großer Vorteil: sie sind in hohem Maße geordnet und können sowohl vom Kernbaustein als auch in den Verästelungen und an der Oberfläche gezielt verändert werden. Damit lassen sich ihre Eigenschaften für die verschiedensten Anwendungsgebiete maßschneidern. Der Kern des Moleküls ist zudem ein geeigneter Ort für ein radioaktives Metall, das einerseits stabil fixiert und andererseits durch die Verästelungen gut gegen die Umgebung abgeschirmt werden kann. Zusätzlich können an der Peripherie eine Vielzahl von zielsuchenden Einheiten angebracht werden. Damit ist ein Dendrimer ein perfekter Kandidat für die radioak-

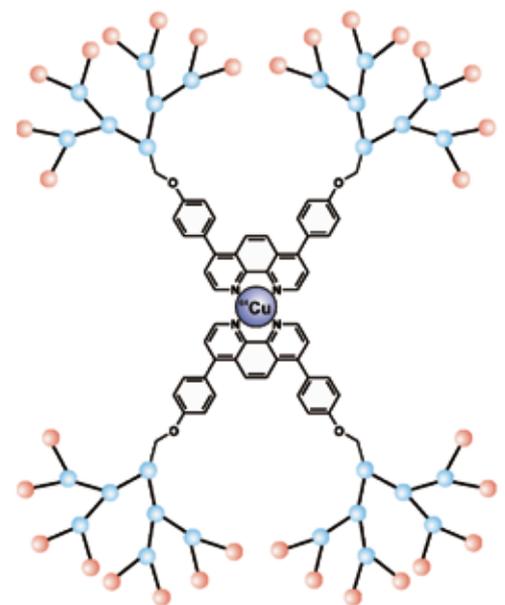
tive Diagnostik oder die Bestrahlung von innen. Über die Blutbahn soll das Dendrimer die radioaktive Dosis im Körper zum Tumor oder den Metastasen tragen.

## Radioaktives Kupfer im Zentrum

Die Chemiker im FZD können die Oberfläche der Dendrimere so einstellen, dass sie wohldefinierte Löslichkeits- und selektive Bindungseigenschaften erzielen. Doch wie steuern sie die Treffgenauigkeit? Zusammen mit Wissenschaftlern aus Bonn und Heidelberg entwickelte das Team um Dr. Holger Stephan vor kurzem einen neuartigen Molekülbaukasten auf der Grundlage eines Dendrimers. Im Zentrum befindet sich ein radioaktives Kupferatom, das sich vor allem für die Krebsdiagnose eignet. Der Baukasten selbst ist modular aufgebaut, so dass

## Kristallisationsmuster von Dendrimerverästelungen

in einfacher Weise die Oberfläche des Dendrimers verändert werden kann. Dort kann man beispielsweise Zucker-, Eiweiß- oder Nukleinsäurebausteine einbauen. Die Auswahl des jeweiligen Bausteins hängt ab von dem einzelnen Tumor, der im Körper durch die Strahlung sichtbar gemacht werden soll. Ob Zucker, Eiweißstoff oder Nukleinsäure – sie sitzen am Rand des Nanomoleküls und sollen gezielt an der Oberfläche von Tumorzellen binden. Im Ergebnis, so das Ziel der Forscher, erhält man einen Molekülverbund, in dem das radioaktive Kupfer stabil gebunden ist und der die Krebszellen im Körper treffsicher auffinden kann. Damit ist eine wichtige Grundlage gelegt für eine verbesserte Diagnostik unterschiedlicher Tumorarten, doch wie immer in der grundlegenden Tumorforschung wird es noch Jahre dauern, bis entsprechende Medikamente auf den Markt gelangen werden. —



● Biomolekül: Zucker, Eiweiß, Nukleinsäure

## Schematische Darstellung eines Radiokupfer-Dendrimers

— KONTAKT —

\_Institut für Radiopharmazie  
Dr. Holger Stephan  
h.stephan@fzd.de

# ROVER: neue Software zur verbesserten Krebsdiagnostik

Die bildgebende Diagnostik in der Medizin ist auf exakte Bilder angewiesen. ROVER bietet als leistungsstarke Software sowohl eine schnelle und einfache Bildverarbeitung als auch eine standardisierte Auswertung von Bildern aus dem Körperinneren, was den Ärzten die genaue Diagnose von Krebserkrankungen erleichtert.

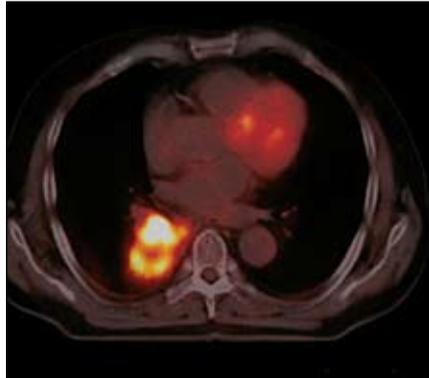
\_TEXT . Dr. Frank Hofheinz / Prof. Dr. Jörg van den Hoff

Das moderne Verfahren der Positronen-Emissions-Tomographie (PET) macht Stoffwechselprozesse im lebenden Organismus sichtbar. Dazu werden den Patienten geringe Mengen radioaktiv markierter Substanzen (sogenannte „Tracer“ oder auch radioaktive Sonden) injiziert, die an den Stoffwechselprozessen im Körper teilnehmen. Aus der gemessenen radioaktiven Strahlung werden sodann dreidimensionale Schnittbilder erzeugt, welche die regionale Verteilung der radioaktiven Sonden zeigen. Diese Methode der funktionellen Bildgebung findet in der Medizin vielfache Anwendung. So macht man sich z. B. bei der Krebsdiagnostik zu nutze, dass viele Tumorarten besonders viel Zucker verbrauchen. Dieser hohe Zuckerverbrauch kann unmittelbar nachgewiesen werden, indem ein radioaktiv markierter Zucker als Sonde verwandt wird.

Wertet man nach der Untersuchung die Anreicherung des radioaktiv markierten Zuckers und die Ausdehnung der Gebiete mit erhöhtem Stoffwechsel aus, so erhält man auch genaue Aussagen zum Grad der Erkrankung. Insbesondere lässt sich mit dieser Information besser beurteilen, ob eine Therapie gut anschlägt oder nicht. Da mit der PET zwischen vitalem und nekrotischem Tumorgewebe unterschieden werden kann, wird die Methode auch zunehmend eingesetzt, um die Bestrahlungsplanung bei der Strahlentherapie für individuelle Patienten und Krankheitsbilder zu optimieren. Daneben findet die PET bei der Entwicklung von neuen Wirkstoffen im Rahmen präklinischer und klinischer Studien Anwendung. All diesen Anwendungen ist gemeinsam, dass hohe Anforderungen an die quantitative Genauigkeit der PET-Information gestellt werden, sowohl in Hinsicht auf den Grad als auch die Ausdehnung der lokalen Anreicherung der radioaktiven Sonde.

## Automatisierte Auswertung

Seit einigen Jahren forscht das Rossendorfer PET-Zentrum in enger Kooperation mit der Firma ABX GmbH in Radeberg daher an Methoden, welche die quantitative Analyse



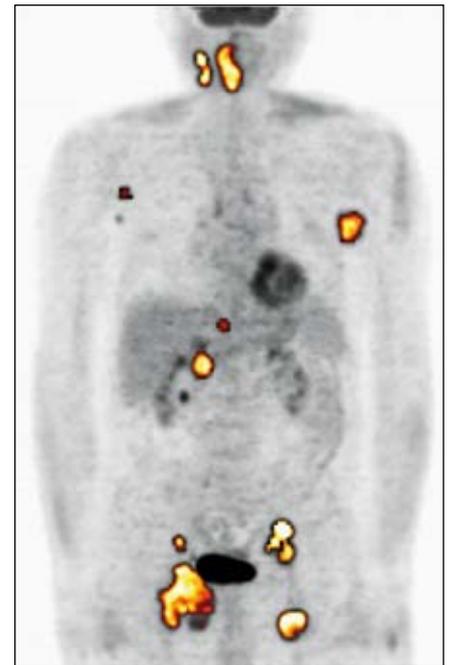
**PET/CT-Aufnahme eines Patienten mit einem Bronchialkarzinom.**

der PET-Bilder verbessern und beschleunigen. Die gemeinsam entwickelte Software ROVER bietet vielseitige Verarbeitungs- und Auswertemöglichkeiten in der klinischen und wissenschaftlichen Anwendung. Ein wesentlicher Aspekt ist hier die Automatisierung, mit der die Auswertung objektiviert und der Einfluss des Benutzers eliminiert wird. Erreicht wird dies vor allem durch spezielle Verfahren, die die PET-Bilder mit Hilfe von adaptiven Schwellwerten segmentieren. Auch neuartige Software-Lösungen sind somit ein wichtiger Schritt auf dem Weg zu einer verbesserten Diagnose und optimierten Bestrahlung von Krebserkrankungen.

Die Visualisierung der detektierten Tumoren innerhalb der Schnittbilder und eine detaillierte graphische Darstellung der ermittelten Tumorkenngrößen erlauben einen direkten Zugang zu der in den PET-Bildern enthaltenen Information. Durch Fusion der PET mit der Computertomographie können die komplementären Informationen von funktionaler und morphologischer Bildgebung kombiniert werden, indem beide Datensätze mit verschiedenen Farbtafeln dargestellt und überlagert werden. Auf dem Bild ist dies am Beispiel eines Bronchialkarzinoms illustriert, welches im linken unteren Quadranten als helle Struktur in der PET zu erkennen ist. Die CT-Daten sind in einer Graustufenskala den PET-Daten überlagert und erlauben die genaue anatomische Zuordnung.

Die durch die PET definierte Abgrenzung vitaler Tumoreareale kann mithilfe der

entwickelten Methoden direkt zur Strahlentherapie gesendet und in die Systeme zur Bestrahlungsplanung importiert werden. Dies erlaubt eine nahtlose Integration der PET in die Bestrahlungsplanung, welche in dieser Form bisher nicht verfügbar war. Hiermit sind wichtige methodische Voraussetzungen geschaffen, eine PET-gestützte Individualisierung und Optimierung der Tumorthherapie in einem klinischen Umfeld einsetzen zu können. ─



**Bei der Krebsdiagnostik können mit der Software ROVER die für die Befundung notwendigen Daten – wie z. B die Tumorausdehnung – weitestgehend automatisiert aus den PET-Bildern bestimmt werden. Auf dem Bild ist ein Patient mit multiplen Metastasen bei einer Tumorerkrankung zu sehen.**

## KONTAKT

\_ Institut für Radiopharmazie  
Prof. Dr. Jörg van den Hoff

\_ Medical Software Development  
ABX advanced biochemical compounds  
Dr. Frank Hofheinz  
hofheinz@abx.de  
➤ www.abx.de

# Krankhafte Veränderungen im Tumorgewebe verstehen und therapeutisch nutzen

Struktur und Funktion von aggressiven Krebsgeschwulsten unterscheiden sich deutlich von gesundem Gewebe. Das betrifft den Stoffwechsel der einzelnen Krebszelle ebenso wie die Wechselwirkung mit benachbarten Gefäß-, Bindegewebs- und Abwehrzellen.

TEXT . Prof. Dr. Leoni Kunz-Schughart / Christine Bohnet

Alle diese Faktoren beeinflussen die Mikro-Umgebung und das Verhalten der Tumorzelle (Bild 1). Wie komplex diese Mikro-Umgebung ist und welche Auswirkung sie auf die Effizienz therapeutischer Verfahren hat, untersucht die Gruppe „Tumorpathophysiologie“ am Dresdner Zentrum für Strahlenforschung in der Onkologie - OncoRay. Ihr Ziel: Die Mikro-Umgebung im Tumor zu verstehen und zu beeinflussen, um so neue Ansätze für die Therapie zu entwickeln.

Die Entstehung einer Krebsgeschwulst geht mit einer Reihe von krankhaften funktionellen Veränderungen gegenüber dem gesunden Ursprungsgewebe einher. Einige davon wie der „Warburg-Effekt“, der einen hohen Zuckerstoffwechsel bezeichnet, oder auch der lokale Sauerstoffmangel in soliden Tumoren werden seit vielen Jahren intensiv beforscht. Dem hohen Zuckerstoffwechsel beispielsweise ist es zu verdanken, dass

viele Krebserkrankungen heute gut diagnostiziert werden können, indem man einen radioaktiv markierten Zucker als Sonde im Körper einsetzt. Die Radioaktivität kann von außen gemessen und die Geschwulst oder die Metastasen so sichtbar gemacht werden. Auch die effektive Behandlungskontrolle während einer Strahlentherapie nutzt die krankhaften Veränderungen der Krebszellen aus, gleichzeitig tragen sie aber auch zum Wachstum des Tumors bei und können zu Unempfindlichkeiten gegenüber Krebstherapien führen.

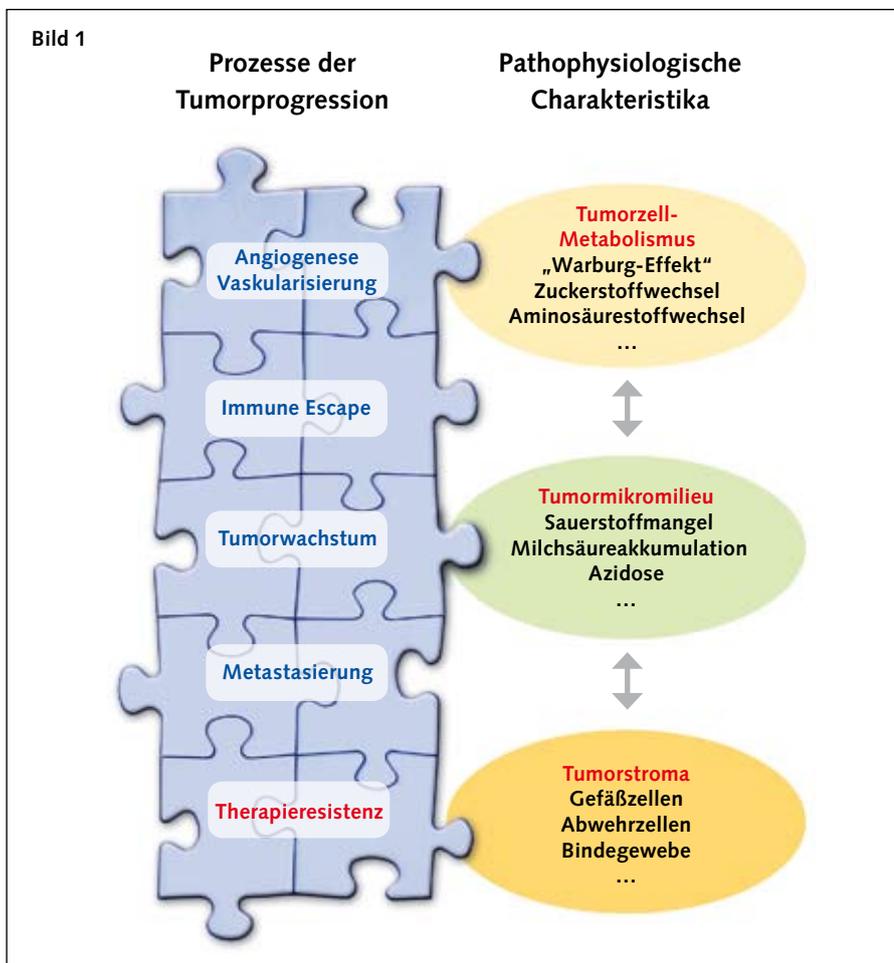
Unsere Gruppe „Tumorpathophysiologie“ hat die krankhaften Lebensvorgänge von Krebszellen im Tumorgewebeverband im Blick und untersucht damit das Verhalten entarteter Zellen in ihrer abnormen Mikro-Umgebung. Unsere Arbeiten zielen beispielsweise darauf ab, Resistenzen von Krebszellen gegen eine strahlentherapeutische

Behandlung besser zu verstehen, um später die Umgebungsbedingungen im Tumor so manipulieren zu können, dass die Strahlentherapie effizienter wird. Damit ergänzt unsere Gruppe die Expertise der anderen am Dresdner Zentrum OncoRay und an der Medizinischen Fakultät Carl Gustav Carus tätigen Arbeitsgruppen, die wie wir die Krebsheilung durch biologisch individualisierte, technologisch optimierte Strahlentherapie verbessern wollen (Bild 2).

## Tumore schaffen sich ein eigenes Gefäßnetz

Das Tumorstroma hängt davon ab, dass sich der Tumor ein eigenes Gefäßnetz schafft. Solche Gefäßnetze sind oftmals in hohem Maße chaotisch, was Versorgungsprobleme von Sauerstoff, Nährstoffen und Stoffwechselprodukten nach sich zieht. So prägen sich äußerst unterschiedlich versorgte Areale in einem Tumor aus, die sich beispielsweise durch Sauerstoffmangel auszeichnen können. Dies ist der heute am besten untersuchte Resistenzfaktor gegen Strahlen, wobei Forscher sowohl direkte als auch indirekte Effekte beobachten konnten. Die Unterversorgung von Sauerstoff führt u. a. auch zur Erhöhung des Zuckerumsatzes, um den Energiebedarf der Zellen zu decken. Dabei entsteht aufgrund des Sauerstoffmangels verstärkt Milchsäure (Laktat). Sauerstoffmangel kann somit zu einer Anreicherung von Laktat und zur Gewebsansäuerung (Azidose) in Tumorebenen führen. Unabhängig hiervon zeigen entartete Zellen jedoch häufig bereits unter normalen Versorgungsbedingungen einen verstärkten Zuckerstoffwechsel, den Warburg-Effekt. Die Ursachen hierfür sind sehr komplex und hängen beispielsweise mit gestörten Zyklen zur Energiegewinnung zusammen. Wichtig ist hier nur, dass es als Folge dieser krankhaften Veränderungen ebenfalls zu einer Anreicherung von Milchsäure im Tumorgewebe, teils begleitet von einer Gewebsansäuerung, kommen kann (Bild 3).

In mehreren klinischen Studien wurde ein sehr deutlicher Zusammenhang zwischen dem regionalen Gehalt an Milchsäure



Verbesserte Heilung von Krebserkrankungen durch biologisch individualisierte, technologisch optimale Strahlentherapie

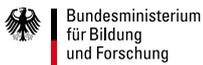
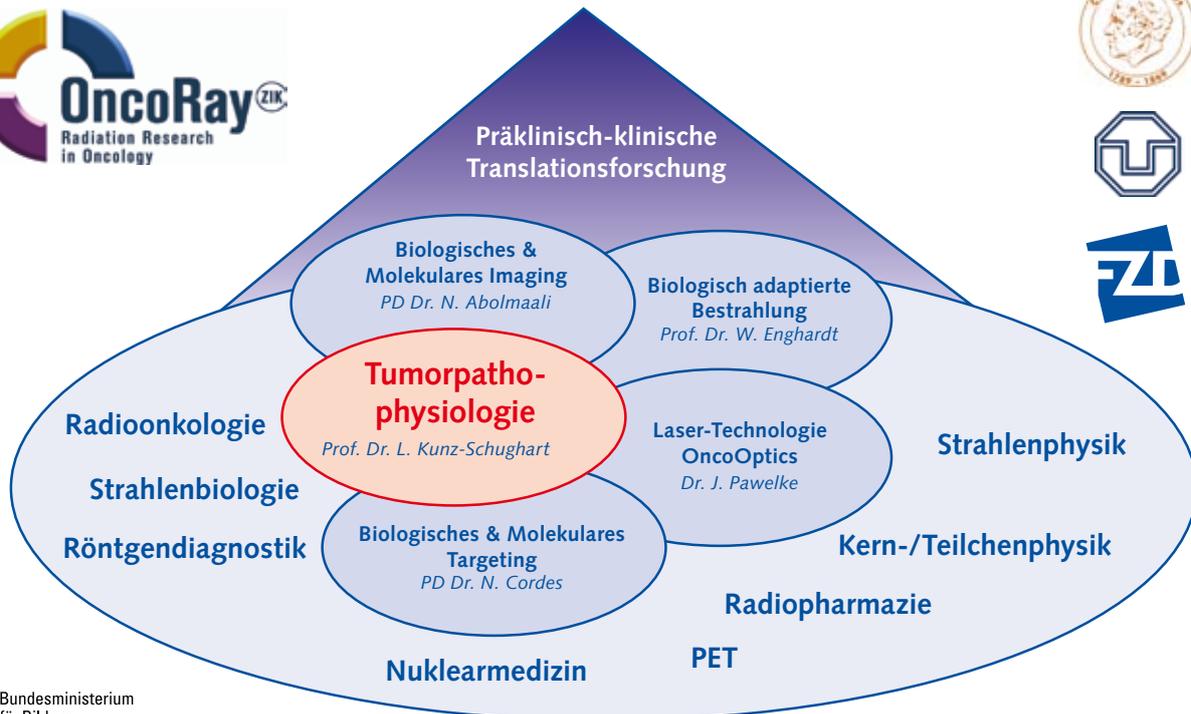


Bild 2

in Primärtumoren des Gebärmutterhalses, der Kopf-Hals-Region sowie des Rektums und dem Grad der Metastasierung bis hin zu einer verringerten Überlebenswahrscheinlichkeit gefunden. Die Befunde deuten zudem darauf hin, dass der Gehalt an Milchsäure und an Sauerstoff im Tumorgewebe zwei voneinander unabhängige Parameter sind. Man nimmt daher an, dass Milchsäure

in den krankhaften Prozess aktiv eingebunden ist. Da wenig darüber bekannt ist, welche biologischen Effekte Milchsäure auf Tumorstadium und -therapie hat, bearbeitet unsere Gruppe „Tumorpathophysiology“ mit ihren Kooperationspartnern seit einigen Jahren ausgesuchte Fragestellungen zu dieser Thematik. Wir haben verschiedenste komplexe Modellsysteme entwickelt, die

den Abläufen im lebenden Organismus sehr nahe kommen. Damit konnten wir unterschiedliche Mechanismen aufdecken, die auf krankhafte Konzentrationsbereiche von Milchsäure (10-20 millimolar gegenüber 1-2 millimolar in Normalgewebe) zurückzuführen sind. Wir fanden hier Prozesse auf der Zellebene, die zur Bildung und Reifung des Gefäßsystems beitragen ebenso wie solche, die den Tumor vor dem Immunsystem schützen (dieses Phänomen heißt „Immune Escape“ - dem Immunsystem entkommen).

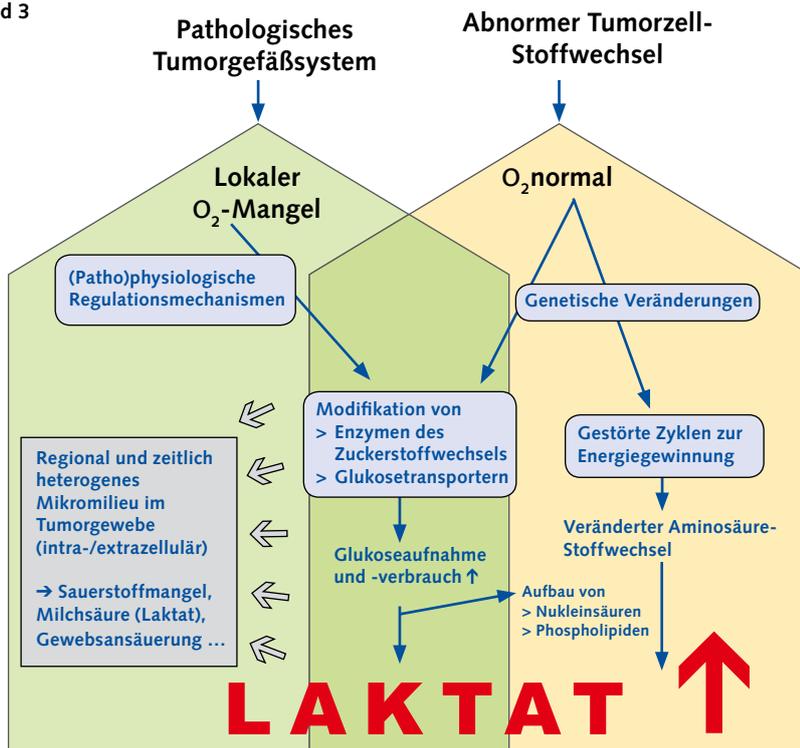
Beobachtungen unserer Kooperationspartner deuten darüber hinaus darauf hin, dass die Anreicherung von Milchsäure im Tumorgewebe unabhängig von der Sauerstoffversorgung mit einer Strahlenresistenz einhergeht. Ob diese Abhängigkeit auch einen kausalen, mechanistischen Zusammenhang widerspiegelt und inwiefern die Erkenntnisse therapeutisch genutzt werden können, soll in gemeinsamen Experimenten weiter erforscht werden. —

KONTAKT

\_ OncoRay – Zentrum für medizinische Strahlenforschung in der Onkologie  
 Prof. Dr. Leoni Kunz-Schughart  
[www.oncoray.de](http://www.oncoray.de)



Bild 3



# Christoph-Schmelzer-Preis für Dr. Fine Fiedler

Mit der Ionenstrahl-Therapie kann man Krebstumore äußerst präzise behandeln. Um die Treffsicherheit gewährleisten zu können, muss die Behandlung allerdings genau geplant und auch kontrolliert werden.

\_TEXT . Anja Bartho



Die Preisträgerin Dr. Fine Fiedler

Für die Behandlung werden meist Wasserstoffkerne oder auch Kohlenstoff verwendet. Eine im FZD entwickelte Methode zur Therapiekontrolle, so zeigte Dr. Fine Fiedler in ihrer Doktorarbeit, eignet sich auch für Bestrahlungen mit Helium-Ionen. Am 16. Dezember 2008 erhielt sie hierfür den Christoph-Schmelzer-Preis des Vereins zur Förderung der Tumortherapie mit schweren Ionen e.V.

Die Strahlentherapie mit geladenen Teilchen (Ionen) zur Behandlung von Krebs hat ein hohes Entwicklungspotenzial. Neue Therapiezentren für die Ionenstrahl-Therapie werden gegenwärtig weltweit gebaut bzw. geplant. Auch an den Methoden zur Therapiekontrolle wird intensiv gearbeitet. An der GSI in Darmstadt wird die Ionenstrahl-Therapie seit 10 Jahren experimentell eingesetzt und weiterentwickelt. Rund 400 Patienten konnten damit behandelt und 70 Prozent von ihnen geheilt werden. Zur Bestrahlung kommen Kohlenstoff-Ionen (Kohlenstoff-12) zum Einsatz. „Nun bestand der Wunsch, unser Verfahren zur Therapiekontrolle auch für Bestrahlungen mit Helium-Ionen anzuwenden“, erklärt Dr. Fine Fiedler das Ziel ihrer Doktorarbeit, die

von Prof. Wolfgang Enghardt (TU Dresden und FZD) betreut wurde. Mit ihren an der GSI durchgeführten Experimenten konnte sie zeigen, dass dies möglich ist.

## Kontrolle der Ionenstrahl-Therapie enorm wichtig

Ionenstrahlen haben den Vorteil, dass sie ihre größte Wirkung im Tumor erzielen und daher gesundes Gewebe besser schonen. Während bei der herkömmlichen Strahlentherapie z. B. mit Röntgenstrahlung ein Großteil der Energie bereits auf dem Weg durch das gesunde Gewebe abgegeben wird, können Ionenstrahlen punktgenau im Tumor gestoppt werden, wo sie ihre schädigende Wirkung auf die Krebszellen freisetzen. Um eine präzise Bestrahlung zu gewährleisten, muss diese genau kontrolliert werden. Die Rossendorfer Methode, die den komplizierten Namen „in-beam PET“ (PET = Positronen-Emissions-Tomographie) trägt, nutzt die Wechselwirkungen zwischen dem Ionenstrahl und dem Gewebe während der Bestrahlung aus. Die dabei entstehenden

Zerfallsprodukte setzen neue Teilchen, Positronen, frei, die sich in kürzester Zeit mit ihren Anti-Teilchen, den Elektronen, verbinden. Über die Messung dieser Reaktionen mit der „in-beam PET-Methode“ können Mediziner und Strahlenphysiker auf jeden Punkt im Gewebe zurück schließen, der bestrahlt wurde. Das „in-beam PET-Verfahren“ stößt nicht zuletzt bei den Medizingeräte-Herstellern auf großes Interesse. Das FZD kooperiert derzeit mit einem Industriepartner, um das Verfahren in ein Medizinprodukt zu überführen.

Im Rahmen ihrer Doktorarbeit hat Dr. Fine Fiedler auch die Präzision der von ihrem Doktorvater im Forschungszentrum Dresden-Rossendorf entwickelten „in-beam PET-Methode“ erhöht. Diese beruht auf einem Vergleich der vorher berechneten Verteilung der Zerfallsprodukte (Simulation) mit der tatsächlich gemessenen. Da die Zerfallsprodukte eine Lebensdauer von bis zu 30 Minuten haben und am Stoffwechsel im Körper teilnehmen, unterliegen sie einem Auswaschungsprozess, sie werden also von dem bestrahlten Gewebe wegtransportiert. Dr. Fine Fiedler quantifizierte diesen Anteil und fügte die gewonnenen Erkenntnisse in die „in-beam PET-Methode“ ein. Damit wird diese Methode zur Therapiekontrolle noch genauer, der Tumor kann präziser vernichtet und das umliegende Gewebe noch besser geschont werden. ─

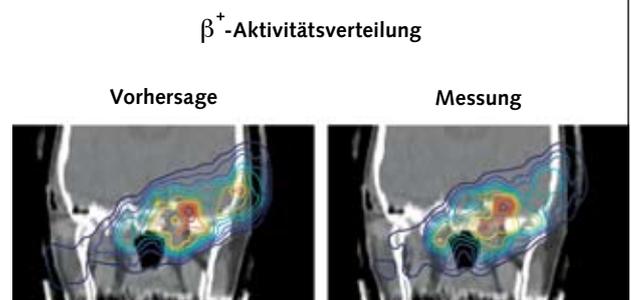
### Titel der Dissertation:

„Anwendung des in-beam PET Therapiemonitorings auf Präzisionsbestrahlungen mit Helium-Ionen“ (2008)

### KONTAKT

\_Institut für Strahlenphysik  
Dr. Fine Fiedler  
f.fiedler@fzd.de

**In-beam PET-Verfahren:** die durch Wechselwirkung zwischen Ionenstrahl und Gewebe erzeugte Aktivität (durch die farbigen Isolinien dargestellt, die für 5 %, 15 %, ..., 95 % der totalen Aktivität stehen) ist dem Patienten-CT überlagert. Eine gute Übereinstimmung zwischen der Vorhersage (Simulation) und der Messung ist zu erkennen, d.h. die Bestrahlung verlief wie zuvor geplant.



# Ultra-schnelle Quantencomputer: Theoretische Physik oder Science Fiction?

Fans der „Star Gate“-Filme kennen sich mit Wurmlochern bestens aus. Raum und Zeit sind dort so gestaucht und verbogen, dass der damit entstehende Zeittunnel den blitzschnellen Übergang zwischen zwei Galaxien zulässt.

\_TEXT . Christine Bohnet

Dr. Uwe Günther vom FZD und Prof. Boris Samsonov von der Uni Tomsk in Russland haben den wurmlochartigen Übergang für realistische Quantensysteme mathematisch vorhergesagt. Hochkomplex und spekulativ - oder doch nicht?

Experimente, welche die mathematischen Berechnungen belegen, gibt es zurzeit noch nicht. Die theoretischen Resultate wurden ja erst vor einem Monat publiziert.

zeitiger Koordinaten- und Zeit-Spiegelung nicht verändern. Nachdem in den letzten Jahren einige wesentliche Eigenschaften der Modelle theoretisch verstanden wurden, zeigen sich nun erste Anwendungen in Experimenten – wie z.B. in quantenoptischen und Lichtleitersystemen, die in den letzten Monaten in Israel und Florida durchgeführt wurden. Aber auch String-Theoretiker begannen sich für die Eigenschaften von PT-

realistischen System führt – allerdings mit so genannten verschränkten Quantenzuständen. Das sind die gleichen, speziell gekoppelten Zustände, die Einsteins spukhafte Fernwirkung beschreiben und für Experimente zur Quanten-Teleportation genutzt wurden. Dieses Verfahren ist diesmal aus „Star Trek“ entlehnt, es konnte in den letzten Jahren z.B. von Prof. Zeilinger in Wien experimentell bestätigt werden.



Aber ein Top-Thema sind die so genannten PT-symmetrischen Quantensysteme unter Mathematikern und Physikern dennoch. Ganz vereinfacht gesagt kann man sich PT-Symmetrien vorstellen als die gleichzeitige Spiegelung oder Verkehrung von Zeit und Raum. Für die Zeit etwa bedeutet das, dass ein Prozess rückwärts läuft. Eine einfache Erklärung für Quantensysteme gibt es ebenfalls nicht. Vielleicht genügt es zu sagen, dass kleinste Teilchen ganz eigenen physikalischen, also quantenmechanischen Gesetzmäßigkeiten unterliegen.

Äußerst seltsame numerische Resultate, die bei der Modellierung von bestimmten Quantensystemen mit komplexen Potentialen Mitte der 1990er Jahre auftraten, haben innerhalb von reichlich 10 Jahren eine breite Palette neuer Modelle ins Blickfeld der Theoretiker gerückt. War man früher davon ausgegangen, dass komplexe Potentiale entweder Zerfallsprozesse beschreiben oder unphysikalisch sind, so zeigt sich nun, dass man mit ihrer Hilfe zum Teil hoch-komplizierte Systeme relativ einfach beschreiben kann. Wichtig ist hier nur, dass die Modelle PT-symmetrisch sind, d.h. sich unter gleich-

symmetrischen Systemen zu interessieren und sie in ihren Konstruktionen zu nutzen. Hinter der String-Theorie steckt die Vorstellung, dass eindimensionale Objekte, schwingende Strings, auf Deutsch Saiten, die Grundlage der Struktur der Materie sind. Doch auch diese Theorie muss noch experimentell bestätigt oder widerlegt werden. Die am „Large Hadron Collider“ (LHC) am CERN anlaufenden Experimente zu Protonen-Zusammenstößen bei ultra-hohen Energien könnten dazu erste Aussagen liefern.

Dr. Uwe Günther jedenfalls rechnet. Er tauscht Vorzeichen aus, lässt Prozesse in seinen mathematischen Modellrechnungen rückwärts oder spiegelbildlich laufen und setzt kurzerhand ein kleines offenes PT-symmetrisches Quantensystem in ein umfassenderes, geschlossenes System hinein. Für den Laien ist diese Art der Mathematik kaum verständlich (wer nachlesen möchte: „Physical Review Letters“, Nr. 101, Artikel 230404, 5. Dezember 2008), doch bleibt die Faszination, dass der Ansatz eines PT-symmetrischen Quantensystems zur mathematischen Vorhersage eines wurmlochartigen-schnellen Quantenübergangs in einem

Was würde die Existenz des mathematisch entdeckten, wurmloch-artigen Verhaltens in der irdischen Realität bedeuten? Dann könnten Prozesse in Quantensystemen so schnell ablaufen, dass die Zeit dafür gegen Null tendieren würde. Ultrakurze Prozesse könnten beispielsweise den Quanten-Computer der Zukunft kennzeichnen. Eines Tages wird, soviel ist sicher, nicht mehr mit Bits und Bytes gerechnet, sondern mit Qubits, also beispielsweise mit den magnetischen Momenten von Elektronen. Dieser Elektronen-Spin kann genau zwei Zustände annehmen. Mit dem verwunderlichen wurmloch-artigen Effekt könnten die Elektronen-Spins von Quanten-Computern – schneller als bisher von Physikern angenommen – in „Null komma Nichts“ umklappen. Von solchermaßen kurzen Rechenzeiten können wir heute nur träumen. Die Überlegungen zu ersten Experimenten laufen. Man darf gespannt bleiben. —

## — KONTAKT —

\_ Institut für Sicherheitsforschung  
Dr. Uwe Günther  
u.guenther@fzd.de

# Neues Konzept zur Herstellung von magnetischen Datenspeichern aus Dresden

Die Speicherdichte von Computer-Festplatten nimmt so rasant zu, dass für neue Generationen von Festplatten nicht nur die Materialien selbst, sondern auch die Konzepte zur Datenspeicherung optimiert werden müssen.

TEXT: Dr. Jürgen Fassbender / Christine Bohnet

Physikern des Forschungszentrums Dresden-Rossendorf gelang es in enger Zusammenarbeit mit Kollegen aus dem Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung Dresden sowie aus Spanien, der Schweiz und den USA, ein neues Konzept zur Herstellung von kleinsten und superflachen magnetischen Strukturen zu entwickeln.

In den vergangenen Jahrzehnten wurden ausschließlich die Materialien optimiert, um immer höhere Speicherdichten bei Computer-Festplatten zu ermöglichen. Die Speicherung selbst funktioniert mit Magnetismus. Die einzelnen Körner, aus denen das magnetische Material besteht, wurden also immer kleiner. Gleichzeitig wurde die Speicherfestigkeit (im Fachjargon „magnetische Anisotropie“) immer größer. Die kleinste Speichereinheit (1 Bit) wird typischerweise gleichzeitig in ca. 100 Körner geschrieben, von denen jedes etwa 10 Nanometer groß ist (1 Nanometer = 1 Millionstel Millimeter). Die Körner sitzen nebeneinander in magnetischen Schichten und sind so dick wie

die jeweilige Schicht. Da die Abmessungen der Körner nicht weiter verkleinert werden können, ohne die Speichereigenschaften zu verlieren, müssten zukünftig immer weniger Körner zur Speicherung einer einzelnen Information verwendet werden. Das führt unweigerlich zu einer größeren Fehlerwahrscheinlichkeit beim Auslesen der Information. Eine Möglichkeit, dies zu umgehen, besteht darin, nur noch eine einzige magnetische Insel als Speichereinheit zu verwenden, die dann größer sein darf, allerdings präzise positioniert sein muss.

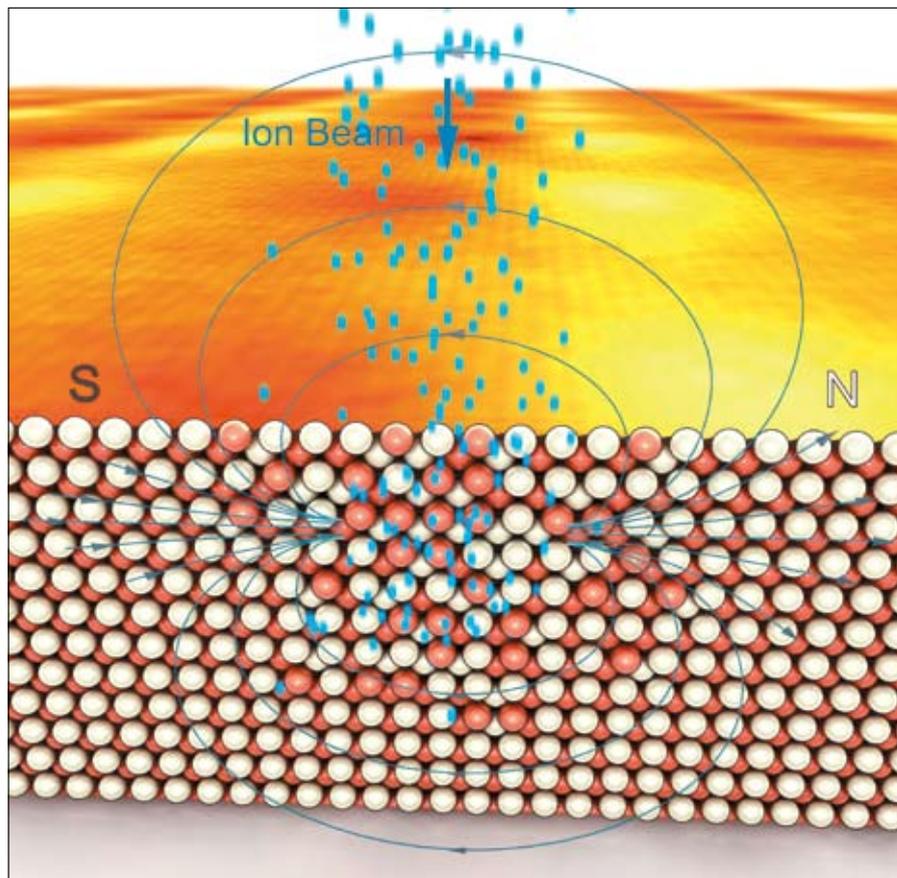
Solche magnetischen Inseln können zum Beispiel mit Hilfe von gängigen Nano-Strukturierungstechniken aus einer durchgängigen magnetischen Materialoberfläche herausgearbeitet werden. Diese Vorgehensweise ist bisher jedoch mit einem großen Nachteil verbunden: die so hergestellten Nano-Inseln sitzen auf der Materialoberfläche und machen diese rau, was sich nachteilig auf den ca. 20 Nanometer über der Festplatte fliegenden Schreib-/Lesekopf auswirkt. Insofern sind

Konzepte gefragt, die einerseits eine magnetische Strukturierung deutlich unterhalb von 100 Nanometern erlauben, aber gleichzeitig die Oberfläche unverändert eben belassen.

Physikern vom Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZD) gelang es nun in Zusammenarbeit mit Kollegen aus Spanien sowie von weiteren Einrichtungen, superflache Nano-Magnete in Legierungen aus Eisen und Aluminium herzustellen, indem sie die Materialoberfläche mit Fremdatomen behandelten. Sie beschossen mit einem sehr fein gebündelten Ionenstrahl (schnelle geladene Atome) die Oberfläche so, dass nur die bestrahlten Bereiche des Materials ferromagnetisch wurden; die unbestrahlten Bereiche blieben unmagnetisch. Der Ionenstrahl kann auf eine Fläche von wenigen Nanometern gebündelt werden, was die eingebetteten Nano-Magnete mit einer Größe von deutlich unter 100 Nanometern überhaupt erst möglich macht. Gleichzeitig ist die zum Einsatz kommende Ionendosis gering. Damit tritt kein deutlicher Materialabtrag auf und die Oberfläche des Materials bleibt unverändert eben.

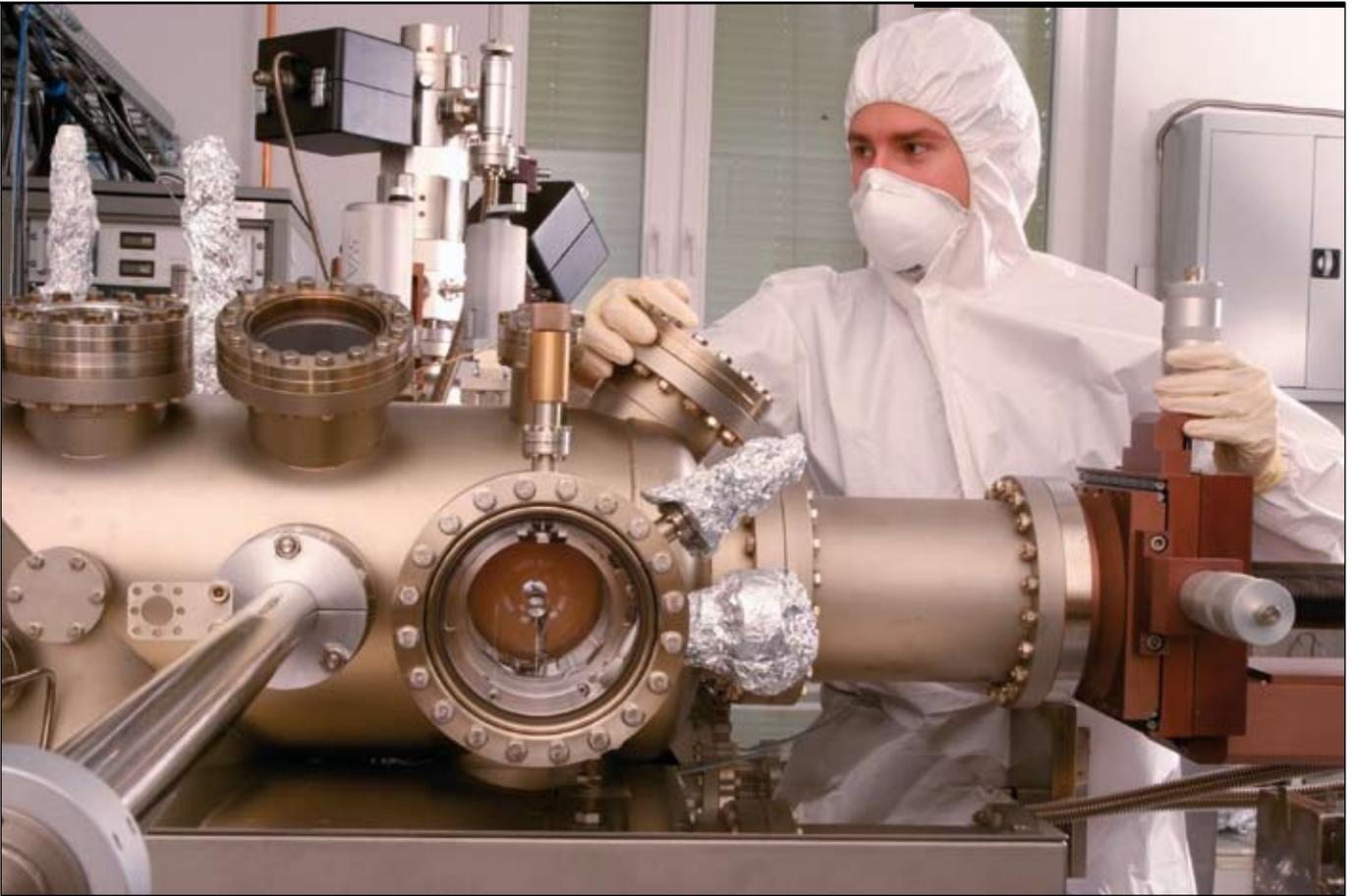
Die Dresdner Nano-Magnete erfüllen alle Anforderungen an ein neues Konzept zur magnetischen Datenspeicherung. Um eine technologische Umsetzung dieses Konzepts verwirklichen zu können, arbeiten die Forscher nun an einer Verbesserung der Speicherfestigkeit dieses Materials. ─

**Durch Ionenbestrahlung wird die zunächst geordnete zweikomponentige Legierung (weiße und rote Atome) im Bereich der Bestrahlung ungeordnet. Die ungeordnete Phase ist magnetisch und erzeugt infolgedessen ein Magnetfeld mit Nord- und Südpol, ähnlich einem Stabmagneten. Die Anordnung von Nord- und Südpol wird zum Speichern der Information verwendet.**



## KONTAKT

Institut für Ionenstrahlphysik und  
Materialforschung  
Dr. Jürgen Fassbender  
j.fassbender@fzd.de



## Die Grenzen der Datenspeicherung überwinden – aber wie?

Speichermedien können auf immer weniger Platz immer mehr Informationen aufnehmen. Auf absehbare Zeit stößt die Verkleinerung der elektronischen Datenspeicher laut Angaben der Halbleiterindustrie aber auf eine physikalische Grenze: diese wird vermutlich im Jahr 2016 mit Strukturgrößen der Speicherbausteine von 22 Nanometern erreicht.

\_TEXT . Anja Bartho

In Zukunft kann man die Speicherdichte nur durch alternative Speicherkonzepte weiter erhöhen. Das Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZD) koordiniert nun ein Verbundprojekt mit der TU Dresden und der Namlab GmbH (Dresden), um genau diese Alternativen auszuloten. Damit wird der Standort Dresden als europäisches Zentrum für Mikroelektronik weiter gestärkt.

Die heute gängigsten Speicherbausteine sind die sogenannten „Dynamic Random Access Memories“ (DRAM), die als Arbeitsspeicher in Computern, Spielkonsolen, MP3-Playern oder Navigationssystemen zum Einsatz kommen. Insbesondere bei tragbaren Geräten kommt es neben der hohen Speicherdichte auch zunehmend auf die Energieeffizienz der verwendeten Speicher an. Bei DRAM-Speichern muss die gespeicherte elektrische Ladung im Millisekunden-Takt aufgefrischt werden. Dafür sind eine minimale Speicherfläche

und eine ständige Energiezufuhr erforderlich. Die physikalische Grenze dieses Speicherkonzepts wird bei Strukturgrößen von 22 Nanometern erreicht (1 Nanometer = 1 Millionstel Millimeter).

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung fördert die Kooperation des FZD mit der TU Dresden und der Namlab GmbH (Dresden) zur Erforschung von alternativen Speicherkonzepten für drei Jahre mit rund 10 Millionen Euro, um für den Standort Dresden auch in Zukunft eine Spitzenstellung im Bereich der Speichertechnologie zu sichern. Verschiedene Speicherkonzepte sollen auf den Prüfstand kommen: Anstelle einer Ladungsspeicherung könnte eine dauerhafte Widerstandsänderung in oxidischen (Verbindungen mit Sauerstoff) bzw. organischen Materialien oder eine Magnetisierungs-Änderung in ferromagnetischen Materialien zur Informationsspeicherung verwendet werden. Diese Konzepte sind

herkömmlichen DRAMs prinzipiell überlegen, da sie kleinere Speicherzellen ermöglichen und zur Aufrechterhaltung der Informationen keine Energie benötigen.

Ziel des Verbundprojektes ist es, die unterschiedlichen Konzepte miteinander zu vergleichen und das erfolgversprechendste vor dem Übergang in die Serienproduktion zu testen. Das Projekt reicht von der Grundlagenforschung an der Technischen Universität Dresden und dem Forschungszentrum Dresden-Rossendorf bis zur angewandten Forschung bei der Namlab GmbH Dresden.

---

### KONTAKT

\_Institut für Ionenstrahlphysik und  
Materialforschung  
Dr. Jürgen Fassbender  
j.fassbender@fzd.de

## Mit Magneten rühren

TEXTE · Christine Bohnet

**Dr. Gunter Gerbeth freut sich gemeinsam mit seiner Abteilung „Magnetohydrodynamik“ über die Verlängerung des Sonderforschungsbereichs 609 „Elektromagnetische Strömungsbeeinflussung in Metallurgie, Kristallzüchtung und Elektrochemie“. Insgesamt fließen in den nächsten vier Jahren rund 11 Millionen Euro für Untersuchungen an Flüssigkeiten, die mit Magnetfeldern kontrolliert werden.**

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) hat die Verlängerung des Sonderforschungsbereichs 609 „Elektromagnetische Strömungsbeeinflussung in Metallurgie, Kristallzüchtung und Elektrochemie“ auf der Herbstsitzung des Bewilligungsausschusses der DFG am 19. November 2008 beschlossen. Der erfolgreiche Sonderforschungsbereich läuft seit 2002 und befindet sich nunmehr in der dritten Phase. Als Partner sind die Technische Universität Dresden, die TU Bergakademie Freiberg sowie das Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung (IFW) Dresden beteiligt. Insgesamt arbeiten hier rund 60 Wissenschaftler und Techniker auf dem Gebiet der Beeinflussung

leitfähiger Flüssigkeiten durch maßgeschneiderte Magnetfelder. Dr. Gunter Gerbeth ist stellvertretender Sprecher des SFB.

Flüssigkeiten, die elektrischen Strom leiten, kommen in der Umwelt und in der Industrie häufig vor, angefangen vom schwach leitenden Ozeanwasser über das flüssige Erdinnere bis hin zu flüssigem Silizium in der Kristallzüchtung oder Stahl und Aluminium in der Metallurgie. In der Industrie führen Strömungen und Verwirbelungen bei unterschiedlichen Verarbeitungsschritten – etwa beim Gießen in eine Form – zu schlechter Produktqualität bzw. zu Ausschuss. Von außen angelegte und exakt berechnete Magnetfelder können die Strömung solch leitfähiger Flüssigkeiten gezielt beeinflussen und damit die Produktqualität erheblich verbessern. Doch setzen die Forschungen im FZD schon vorher an: die Physiker wollen die Strömungen beim Stahlguss oder in der Kristallzüchtung besser verstehen, um dann in einem nächsten Schritt die Prozesse zu optimieren. Dafür haben sie u.a. ein besonderes Verfahren (Contactless Inductive Flow Tomography – kontaktlose induktive Strömungstomographie) entwickelt, mit dem Strömungen in solch undurchsichtigen Schmelzen berührungsfrei gemessen werden können.



**Auf einem kürzlichen Industrie-Workshop konnten sich Gießerei-Experten im FZD von der Anwendungsnähe der Forschungsarbeiten zur Strömungsbeeinflussung mit Magnetfeldern überzeugen.**

### KONTAKT

– Institut für Sicherheitsforschung  
Dr. Gunter Gerbeth  
g.gerbeth@fzd.de

## Wissenschaftspreis des Stifterverbandes für Dr. Frank Stefani

**Das weltweit viel beachtete PROMISE-Experiment wurde mit dem Wissenschaftspreis „Gesellschaft braucht Wissenschaft“ des Stifterverbandes für die Deutsche Wissenschaft 2008 prämiert. In diesem Experiment konnten erstmals kosmische Magnetfelder im Labor nachgewiesen werden.**

Das Preisgeld von 50.000 Euro teilen sich der Astrophysiker Prof. Günther Rüdiger vom Astrophysikalischen Institut Potsdam (AIP) und der Physiker Dr. Frank Stefani vom Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZD). Ihnen gelang erstmals der experimentelle Nachweis der Magneto-Rotationsinstabilität im Labor. Damit untermauerten sie die gängige Vorstellung von der Entstehung von Sternen und Schwarzen Löchern aus rotierender Materie. Die Preisvergabe fand am 27. November 2008 im Rahmen des Festaktes der Jahrestagung



der Leibniz-Gemeinschaft in Magdeburg statt.

### Das PROMISE-Experiment

Das Experiment, über das wir bereits in der letzten Ausgabe von „FZD JOURNAL“ berichteten, trägt den Namen PROMISE (Potsdam Rossendorf Magnetic InStability Experiment) und wurde unter der Leitung von Dr. Frank Stefani in enger Zusammenarbeit zwischen FZD und AIP konzipiert, aufgebaut und durchgeführt. Mehrere Publikationen in hochrangigen Zeitschriften sind daraus entstanden, z. B. in „Physical

Review Letters“, „Astrophysical Journal“ und „New Journal of Physics“. Ausschlaggebend für den Erfolg war die am FZD vorhandene Expertise, ganze Geschwindigkeitsprofile in flüssigen Metallen mit hoher Genauigkeit auszumessen. Nicht zuletzt waren es diese methodisch-experimentellen Erfahrungen im Umgang mit Flüssigmetallen sowie die enge Wechselwirkung von astrophysikalischer Grundlagenforschung und angewandter Forschung für Kristallzüchtung und Metallurgie, die von der Jury des Stifterverbandes als besonders preiswürdig erachtet wurden.

### KONTAKT

– Institut für Sicherheitsforschung  
Dr. Frank Stefani  
f.stefani@fzd.de

**Prof. Günther Rüdiger (AIP, 2.v.l.) und Dr. Frank Stefani (FZD, 2.v.r.) teilen sich den mit 50.000 Euro dotierten Wissenschaftspreis, der vom Generalsekretär des Stifterverbandes, Prof. Dr. Andreas Schlüter (r.), sowie vom Präsidenten der Leibniz-Gemeinschaft, Prof. Dr. Dr. h. c. Ernst Th. Rietschel (l.), auf der Jahrestagung der Leibniz-Gemeinschaft feierlich überreicht wurde.**

# Draco liefert erste Protonen

Dr. Ulrich Schramm

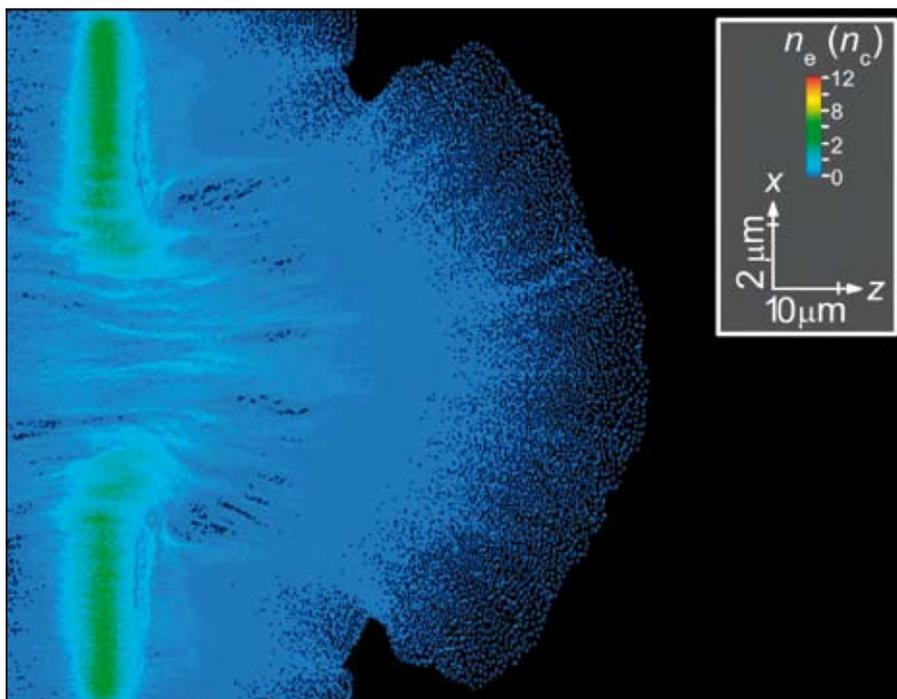
Ende 2008 war es soweit: die ersten Protonen konnten mit dem neuen Hochleistungslaser Draco („Dresden laser acceleration source“) im Forschungszentrum beschleunigt werden. Dieser Laser verfügt über eine unvorstellbare Leistung von 100 Terawatt. Für einen winzigen Moment wird damit im Brennfleck des Laserstrahls eine Lichtintensität erreicht, welche derjenigen entspricht, die die Sonnenstrahlung durch ein Brennglas, das so groß ist wie die gesamte Erde, auf einer Bleistiftspitze bewirken würde. Die Rossendorfer Wissenschaftler beschießen mit den ultrakurzen Laserblitzen hauchdünne Folien. Aus diesen werden durch die enorme Intensität des Lichts Protonen (geladene Wasserstoff-Atome) herausgelöst und senkrecht zur Folie beschleunigt.

Eine Besonderheit des Rossendorfer Hochleistungslasers ist sein exzellenter Pulscontrast. Dieser gewährleistet, dass die hauchdünne Folie nicht bereits vor dem eigentlichen Beschleunigungsprozess

zerstört wird. In den ersten erfolgreichen Experimenten wurde der Laserstrahl mit Hilfe eines Parabolspiegels auf einen Fokusk Durchmesser von nur 4,5 Mikrometer gebündelt (1 Mikrometer = 1 Tausendstel Millimeter) und auf eine Folie gelenkt. Den so erzeugten Protonenstrahl konnten die Wissenschaftler mit einem im Haus entwickelten Spektrometer in Echtzeit beobachten. Sie erhoffen sich nun, dass eine simple Optimierung der Foliendicke schon zu Pulsenergien führt, die radiobiologische Experimente an Zellen erlauben. Laserbasierte Teilchenbeschleuniger haben das Potential, eine ausreichende Menge an Ionen mit so hohen Energien zu erzeugen, dass sie für die moderne Partikeltherapie von Krebserkrankungen eingesetzt werden könnten.

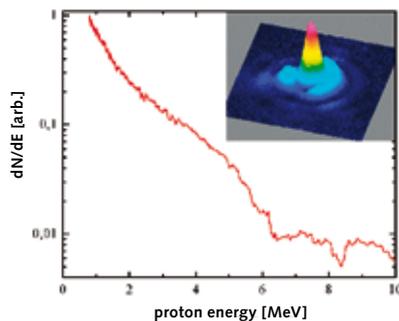
### KONTAKT

Institut für Strahlenphysik  
 Dr. Ulrich Schramm  
 u.schramm@fzd.de



Ionendichteverteilung einer expandierenden hauchdünnen Folie ca. 700 Femtosekunden nach der Bestrahlung mit dem Draco-Puls

Erste spektrale Messung des Energiespektrums von laserbeschleunigten Protonen mit Draco. Das Falschfarbenbild zeigt ein vergrößertes Abbild des Hochleistungslaserfokus mit einer Halbwertsbreite von 4,5 Mikrometern.



### INFO

Terminvorschau  
 Veranstaltungen für die interessierte Öffentlichkeit

9. Mai | 10 - 16 Uhr  
 Tag des offenen Labors im FZD  
 Motto „Strahlen gegen Krebs“  
 Bautzner Landstr. 400, 01328 Dresden

19. Juni | 18 - 1 Uhr  
 Dresdner Lange Nacht der Wissenschaften - Das FZD im Hörsaalzentrum der TU Dresden  
 Bergstr. 64, 01069 Dresden  
 Der Eintritt ist für beide Veranstaltungen frei.

### Wissenschaftliche Veranstaltungen

9. - 10. Februar  
 Internationaler Workshop "Radiation and Multidrug Resistance Mediated via the Tumor Microenvironment", ausgerichtet von OncoRay - Center for Radiation Research in Oncology  
 Informationen unter: [www.oncoray.de](http://www.oncoray.de)

20. Februar | 10.15 - 16.30 Uhr  
 2. Workshop: Möglichkeiten und Grenzen der HPLC in den Lebenswissenschaften im Forschungszentrum Dresden-Rossendorf

26. - 28. Februar  
 18. Symposium Experimentelle Strahlentherapie und Klinische Strahlenbiologie Dresden – ausgerichtet von OncoRay und Klinik und Poliklinik für Strahlentherapie und Radioonkologie  
 Informationen unter: [www.oncoray.de](http://www.oncoray.de)

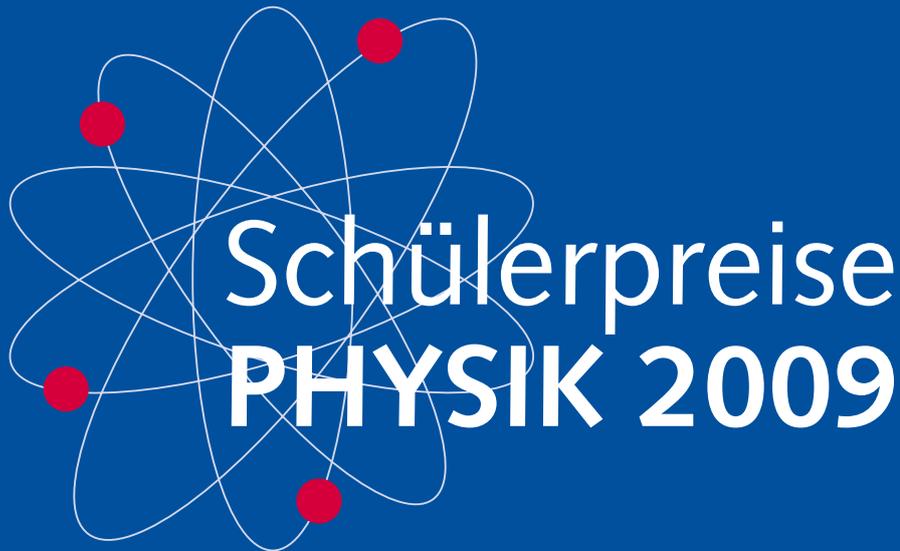
12. - 14. Mai  
 Jahrestagung Kerntechnik im Internationalen Congress Center Dresden, Ostrauer 2, 01067 Dresden

26. - 28. Mai  
 ANSYS / FZD Multiphase CFD Workshop im Forschungszentrum Dresden-Rossendorf

22. - 25. Juni  
 9. Internationale Konferenz über die Forschung in hohen Magnetfeldern (RHF 2009) in der Dreikönigskirche, Hauptstraße 23, 01097 Dresden

### KONTAKT

Dr. Christine Bohnet  
 Presse- und Öffentlichkeitsarbeit im FZD  
 c.bohnet@fzd.de  
 Tel.: 0351 260 - 2450  
[www.fzd.de](http://www.fzd.de)



## Preise für die besten Besonderen Lernleistungen im Fach Physik

Physiklehrer der sächsischen Gymnasien können auch 2009 wieder die beste Arbeit ihrer Schule bei einem der rechts genannten Professoren einreichen. Vorgeschlagen werden können eine Besondere Lernleistung oder eine gleichwertige Arbeit.

Den Preisträgern winken attraktive Geldpreise, die von namhaften sächsischen Unternehmen gestiftet werden, sowie Sachpreise im Rahmen des gemeinsamen Programms der Deutschen Physikalischen Gesellschaft und der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung „Physik für Schüler und Schülerinnen“.

**Einsendeschluss ist der 15. Mai 2009**

Weitere Infos unter: [www.fzd.de/BeLL](http://www.fzd.de/BeLL)

oder unter ☎ 0351 260-2450

Schirmherr: Prof. Roland Wöllner, Staatsminister für Kultus

Forschungszentrum  
Dresden - Rossendorf  
Prof. Roland Sauerbrey  
[www.fzd.de](http://www.fzd.de)

TU Dresden  
Prof. Gesche Pospiech  
Didaktik der Physik  
[www.tu-dresden.de](http://www.tu-dresden.de)

TU Bergakademie Freiberg  
Prof. Gert Irmer  
Institut für Theoretische Physik  
[www.tu-freiberg.de](http://www.tu-freiberg.de)

TU Chemnitz  
Prof. Michael Hietschold  
Institut für Physik  
[www.tu-chemnitz.de](http://www.tu-chemnitz.de)

Universität Leipzig  
Prof. Wolfgang Oehme  
Bereich Didaktik der Physik  
[www.uni-leipzig.de](http://www.uni-leipzig.de)



Forschungszentrum  
Dresden Rossendorf



Deutsche Physikalische Gesellschaft