



FORSCHEN FÜR DIE WELT
VON MORGEN

hZDR



HELMHOLTZ
| ZENTRUM DRESDEN
ROSSENDORF



| Eingangsgebäude des HZDR



Energie. Gesundheit. Und Materie.

Wie können wir, im Zeitalter von Klimawandel und zur Neige gehender mineralischer Ressourcen, Rohstoffe effizient, sicher und nachhaltig nutzen? Kaum eine Frage zum Thema Energie könnte für Industriegesellschaften wichtiger sein. Andererseits: Wie können wir Krebserkrankungen besser erkennen und wirksamer behandeln? Es ist eine der zentralen Herausforderungen in der heutigen Gesundheitsforschung. Und: Wie verhalten sich Materie und Materialien unter dem Einfluss hoher Felder und in kleinsten Dimensionen? Forschung dazu berührt das Grundverständnis unserer Welt. Zugleich hat sie ganz praktische Bedeutung für verschiedenste Technologien.

Es sind genau diese drei Fragen, die die Wissenschaftler des Helmholtz-Zentrums Dresden-Rossendorf antreiben. Nur auf den ersten Blick haben sie wenig miteinander zu tun. Energie, Gesundheit und Materie: Die Forschung an diesen Schwerpunktbereichen ist in der praktischen Arbeit aller acht Institute des HZDR eng miteinander verwoben.

In Kooperation mit den anderen 17 Zentren der Helmholtz-Gemeinschaft sowie Partnern aus aller Welt verfolgen die Dresdner Forscher das Ziel, aus den Erkenntnissen der Grundlagenforschung neue Lösungen, Prozesse und Produkte zu entwickeln.

Innovative Lösungen sind gefragt: Das Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcetechnologie des HZDR forscht für einen material- und energieeffizienten Umgang mit mineralischen und metallhaltigen Rohstoffen.

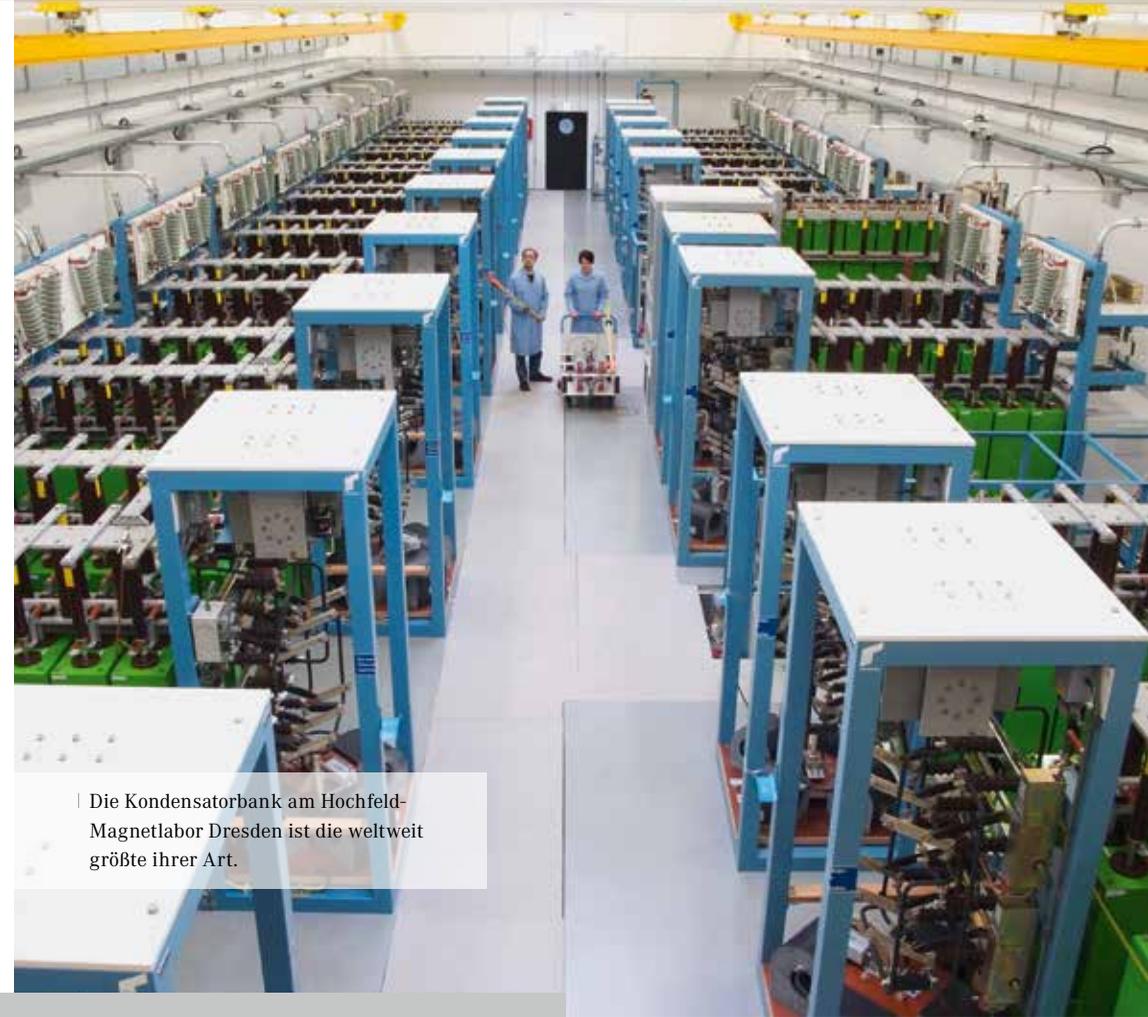
Spitzenforschung dank Spitzenausstattung

Für viele Fragen unserer Zeit benötigt die moderne Wissenschaft große Forschungsanlagen, deren Bau und Betrieb oft bedeutende finanzielle Mittel und personelle Kapazitäten erfordern. Als Teil der Helmholtz-Gemeinschaft bietet das HZDR eine einmalige Infrastruktur, die Gastforscher aus aller Welt anzieht.

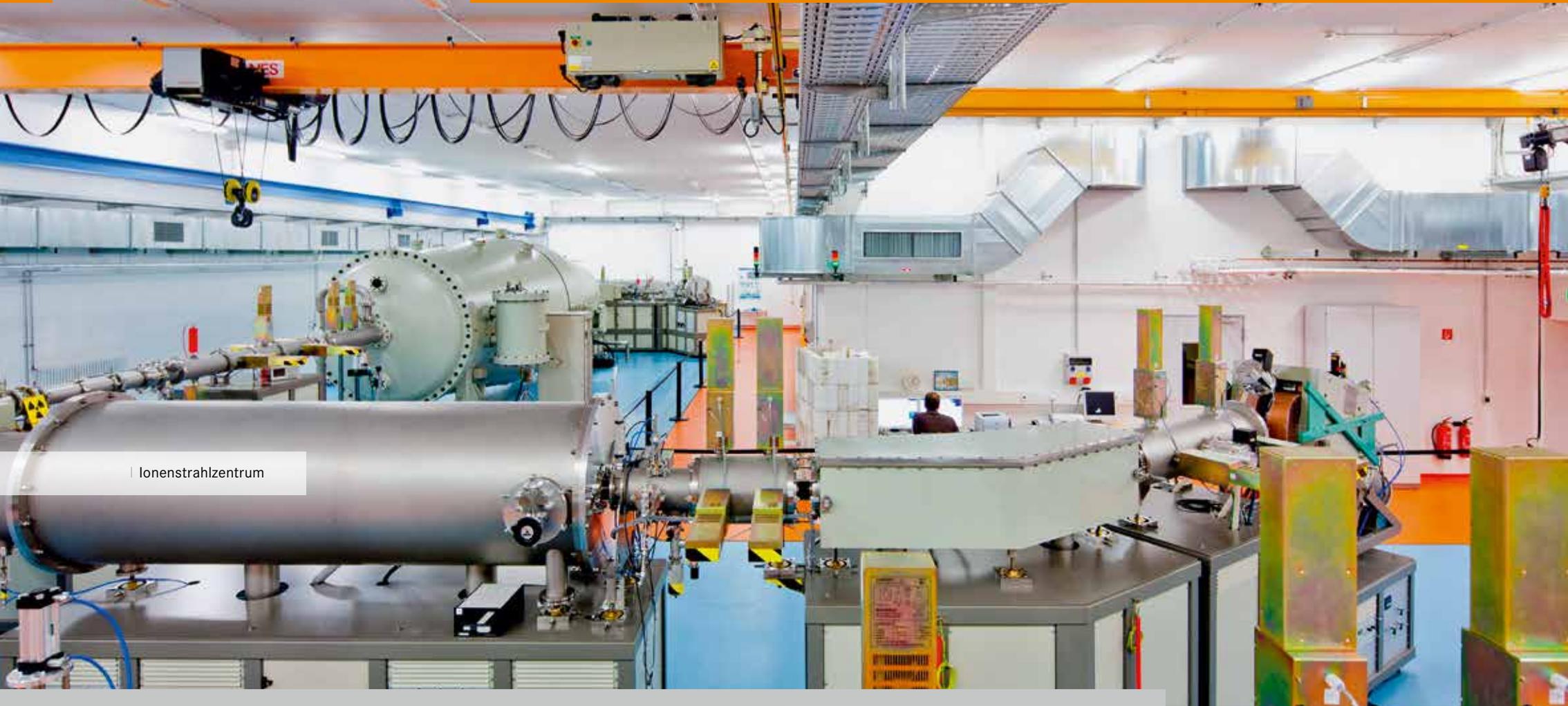
Ein Supermikroskop in Fußballfeld-Größe ist das Zentrum für Hochleistungs-Strahlenquellen ELBE. Es erzeugt verschiedenste Arten von Teilchenstrahlen, aber auch variable, einfarbige Infrarot-Strahlung durch den Freie-Elektronen-Laser sowie Terahertz-Strahlung über einen großen Wellenlängenbereich. Sie erlauben einzigartige Einblicke in die Zustände von Materie und Materialien. Zwei ultrakurz gepulste Hochleistungslaser komplettieren die ELBE-Anlage.

Die Entwicklung neuer elektronischer Materialien und energieeffizienter Technologien steht am Ionenstrahlzentrum im Mittelpunkt. Das Hochfeld-Magnetlabor Dresden untersucht, wie Magnetfelder die Eigenschaften von Festkörpern verändern. An der Europäischen Synchrotron-Strahlungsquelle im französischen Grenoble unterhält das HZDR die Rossendorf Beamline, ein für die Endlagerforschung wichtiges radiochemisches Labor.

Das gemeinsam mit dem Universitätsklinikum und der TU Dresden betriebene Zentrum für Positronen-Emissions-Tomographie (PET) forscht an bildgebenden Verfahren auf molekularer Ebene für eine bessere Krebsdiagnostik. Im neuen Zentrum für Radiopharmazeutische Tumorforschung steht verstärkt auch die Krebstherapie im Fokus.



Die Kondensatorbank am Hochfeld-Magnetlabor Dresden ist die weltweit größte ihrer Art.



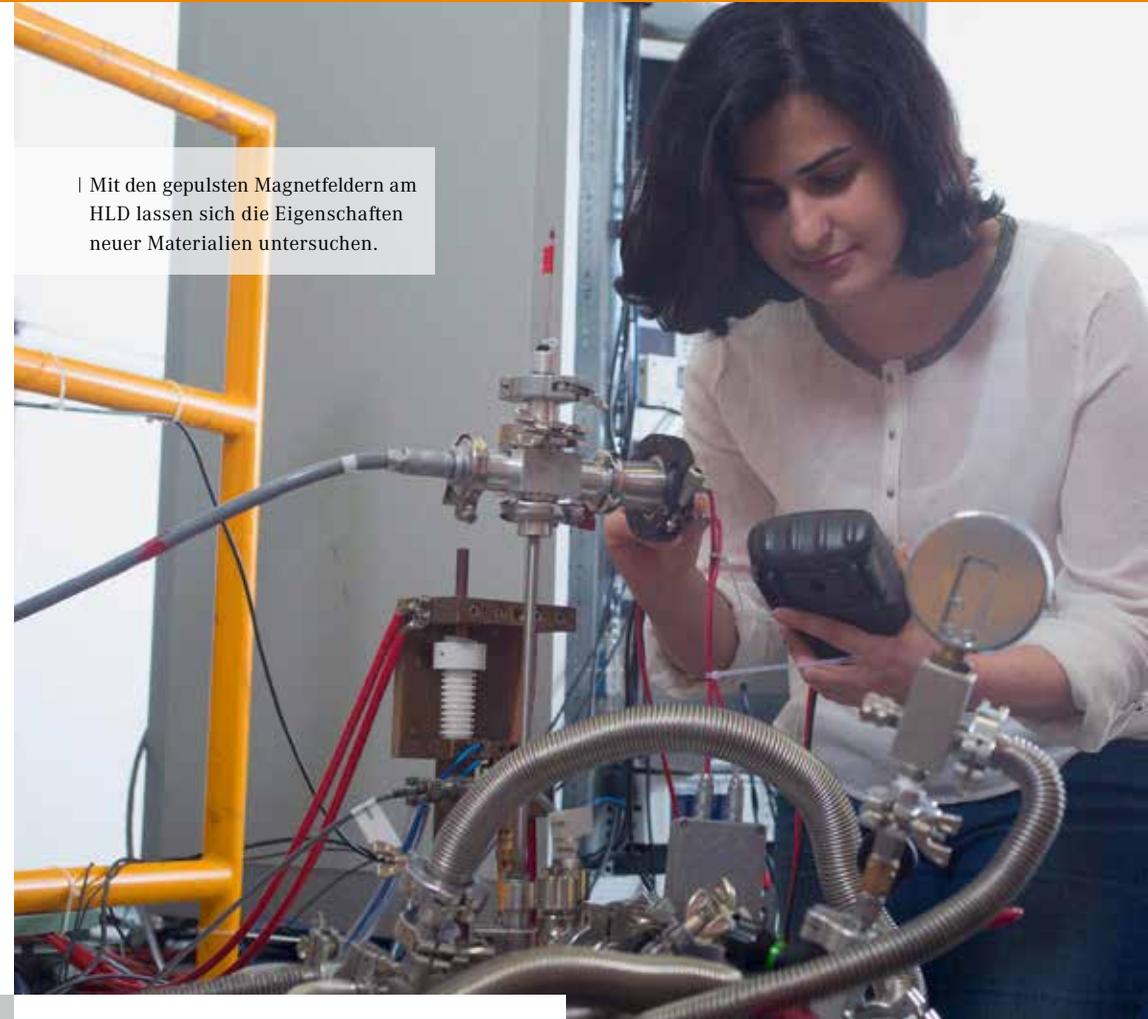
| Ionenstrahlzentrum

Von Materie zu innovativen Materialien

Nur wer Dingen auf den Grund geht, kann sie wirklich beeinflussen. Die HZDR-Forscher untersuchen deswegen die Materie unter extremen Bedingungen und in sehr kleinen Dimensionen. Daraus leiten sie fundamentale Erkenntnisse ab: Die Skala reicht von grundsätzlichen physikalischen Phänomenen bis zur Entwicklung neuer Materialien.

So können zum Beispiel Materialoberflächen mit Ionenstrahlen untersucht werden. Die schnellen geladenen Atome können Oberflächen aber auch gezielt verändern. Das trägt zur Entwicklung von Speicher- und Computertechnologien mit neuen nützlichen Funktionen bei. Auf der Suche nach Bauelementen mit geringer Wärmeentwicklung und niedrigerem Stromverbrauch verfolgen die Forscher im **Ionenstrahlzentrum** des HZDR neuartige physikalische Ansätze aus Elektronik, Magnetismus und Optik. Auch Messgäste fragen diese Möglichkeiten stark nach.

Die Eigenschaften von Festkörpern lassen sich aber auch über starke Magnetfelder beeinflussen. Mit dem **Hochfeld-Magnetlabor Dresden** (HLD) bietet das HZDR ein einzigartiges Forschungsumfeld. Die Ergebnisse fließen in die Entwicklung besserer Materialien ein, beispielsweise von Supraleitern und innovativen Magneten. Als Gründungsmitglied des European Magnetic Field Laboratory, das die drei größten und modernsten Magnetfeldlabore Europas verbindet, fördert das HLD den wissenschaftlichen Austausch über die nationalen Grenzen hinweg. Sowohl internen als auch externen Nutzern steht dadurch eine einzigartige und flexible Forschungsinfrastruktur zur Verfügung.



| Mit den gepulsten Magnetfeldern am HLD lassen sich die Eigenschaften neuer Materialien untersuchen.

Im Zentrum für Hochleistungs-Strahlenquellen ELBE wird der Petawatt-Laser PENELOPE aufgebaut. Ziel ist die Entwicklung kompakter Laserbeschleuniger für die Protonentherapie.



Rennbahnen für Teilchen

Beschleuniger sind eines der wichtigsten Werkzeuge der Großforschung. Sie treiben elektrisch geladene Teilchen fast bis zur Lichtgeschwindigkeit an. Davon profitieren unterschiedlichste Forschungsbereiche – von der Teilchenphysik über die Materialwissenschaft bis hin zur Medizin. So ermöglicht der Elektronenbeschleuniger am **Zentrum für Hochleistungs-Strahlenquellen ELBE** die Entwicklung hochgenauer und ultraschneller Detektoren, die beispielsweise bei der Krebsbehandlung zur Überwachung der Protonenstrahl-Therapie eingesetzt werden können.

Gleichzeitig arbeiten die HZDR-Forscher an einer extrem kompakten Teilchenbeschleunigung, die auf Hochleistungslasern beruht. Das Zentrum unterhält mit DRACO, der derzeit ein Petawatt erreicht, einen der stärksten Kurzpuls-Laser weltweit. Trifft sein Lichtstrahl auf Materie, wirken Beschleunigungskräfte, die zigtausendfach über denen etablierter Techniken liegen. Mehrfach ausgezeichnete Computersimulationen helfen dabei, den komplexen Prozess der Teilchenbeschleunigung zu optimieren. Für die enormen Datenmengen, die hier erzeugt und verarbeitet werden, stehen am HZDR mehrere Rechnercluster bereit.

Hochleistungslaser sollen auch an der **Helmholtz International Beamline for Extreme Fields** zum Einsatz kommen. Sie entsteht in Hamburg am European XFEL, dem leistungsstärksten Röntgenlaser der Welt, unter Koordination des HZDR. Die Kopplung des Laserlichts mit Röntgenstrahlung und hohen Magnetfeldern erlaubt tiefere Einblicke in die Struktur von Materialien und in schnelle natürliche Prozesse.

| HZDR-Institutsdirektorin Mechthild Krause vor der Behandlungseinheit der
Universitäts Protonen Therapie Dresden (UPTD) am Universitätsklinikum



Von der Diagnose bis zur Therapie

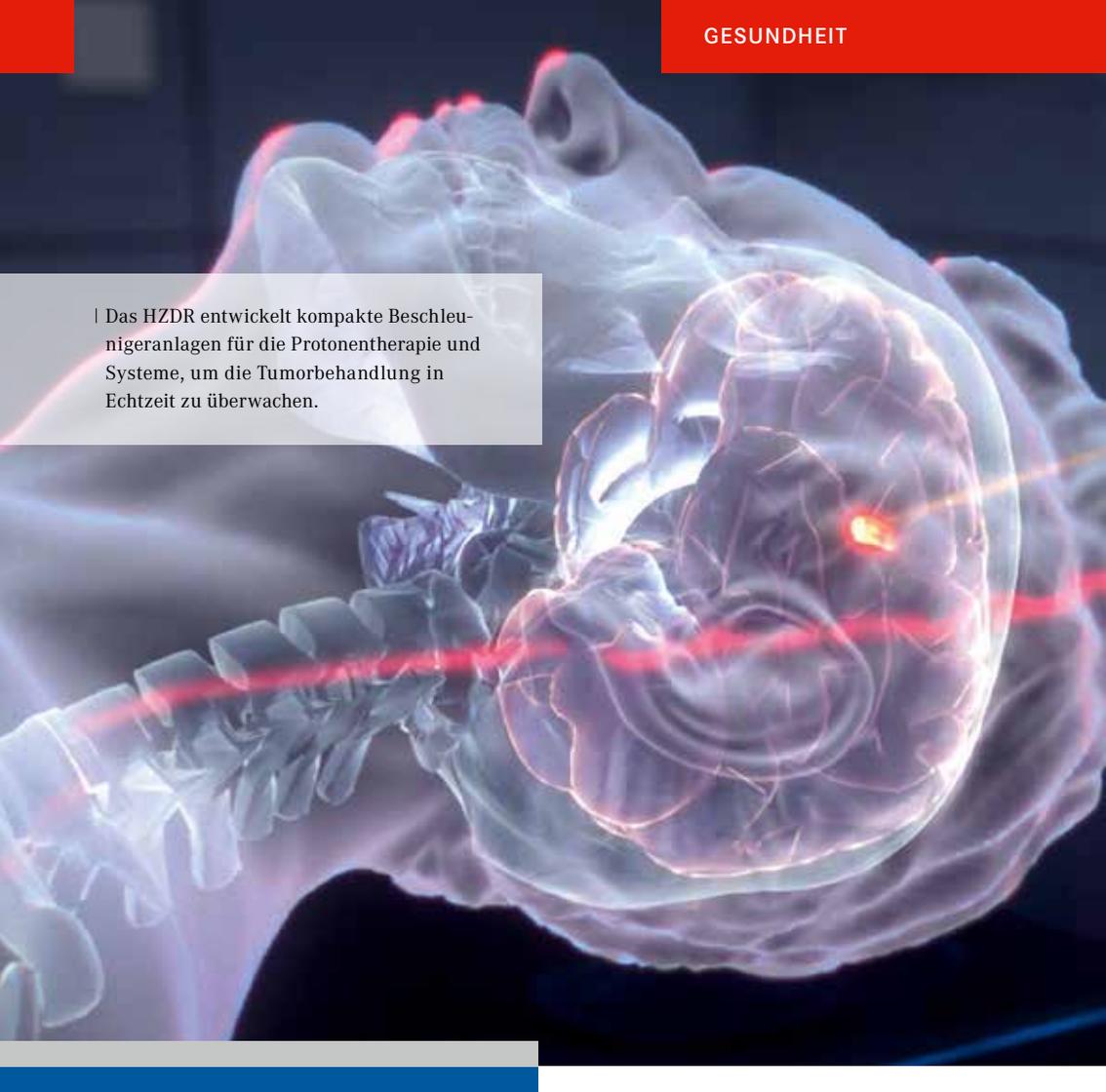
Dank bildgebender Verfahren lassen sich Krebskrankheiten immer besser verstehen – die grundlegende Voraussetzung für eine effektive Behandlung. Das HZDR hat sich auf die **Positronen-Emissions-Tomographie** (PET) spezialisiert. Dafür werden radioaktive Arzneimittel entwickelt, die sich in spezifischen Gewebestrukturen anlagern können. Ihre Strahlung lässt sich von außen mit einer PET-Kamera erfassen. So wird es möglich, die Lage und das Verhalten von Tumoren zu bestimmen oder die Wirksamkeit von Therapien zu untersuchen.

Radioaktive Arzneimittel könnten zukünftig auch bei der Krebsbehandlung zum Einsatz kommen, um das Tumorgewebe im Inneren des Körpers zu bestrahlen. Bei der **Endoradionuklid-Therapie** sollen chemische Verbindungen die erkrankten Zellen gezielt aufspüren und radioaktive Atome direkt in den Tumor transportieren. Eine wichtige Rolle spielen hierbei synthetische Peptide und Antikörper. Ähnliche Substanzen bildet der menschliche Körper zur Signalübertragung oder zur Abwehr von Viren und Bakterien.

Aber auch das körpereigene Immunsystem könnte den Kampf gegen Krebs noch stärker unterstützen. Dresdner Wissenschaftler arbeiten an Antikörpern, die spezielle Immunzellen gezielt mit Tumoren verbinden sollen. Das aktiviert das Abwehrsystem, das die Krebszellen zerstört.



| An der HZDR-Forschungsstelle Leipzig können Wissenschaftler die Strahlenbelastung von radioaktiven Arzneimitteln auf einzelne Organe untersuchen.



| Das HZDR entwickelt kompakte Beschleunigeranlagen für die Protonentherapie und Systeme, um die Tumorbehandlung in Echtzeit zu überwachen.

Neue Strahlen zur Heilung

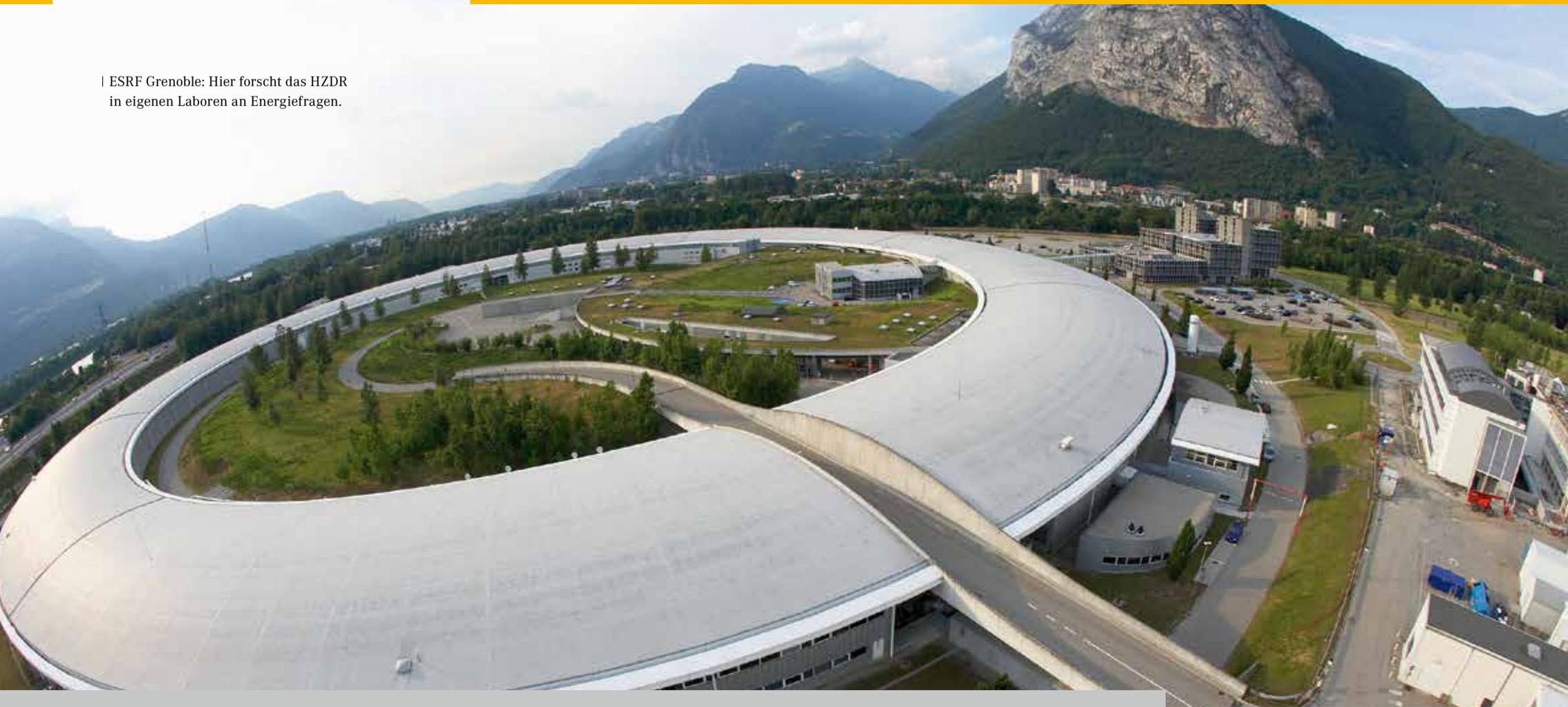
Eine neuartige Methode der Krebsbehandlung ist die Protonentherapie. Der Tumor wird mit geladenen Teilchen bestrahlt. Das gesunde Gewebe wird dabei weniger belastet, die erkrankten Zellen gleichzeitig wirksamer geschädigt. In der **Universitäts Protonen Therapie Dresden** (UPTD), an der auch das Forschungszentrum beteiligt ist, werden seit Ende 2014 Patienten mit dem Verfahren behandelt.

Da sich die Lage des Tumors von einer Bestrahlung zur nächsten und sogar während einer einzelnen Behandlung verändern kann, forschen Wissenschaftler am HZDR-Institut für Radioonkologie und am **OncoRay-Zentrum** an Möglichkeiten, um die Strahlen genau zu verfolgen. In weltweit ersten Patientenstudien setzen sie innovative Kamerasysteme ein, die die auftretende Gammastrahlung nutzen. So kann zukünftig die Behandlung in Echtzeit kontrolliert werden.

Um Protonen zu erzeugen, sind bisher große Beschleunigeranlagen nötig. Deshalb arbeiten die Forscher auch an Lösungen, um die Technik kompakter zu machen. Der Ansatz des HZDR ist die Beschleunigung der Teilchen mithilfe von Laserlicht. Die Geräte könnten dadurch wesentlich kleiner und günstiger werden, was ihren Einzug in den klinischen Alltag erleichtern würde.

Um die Kompetenzen in der Krebsforschung gezielt zu ergänzen, baut das HZDR zusammen mit der Dresdner Universitätsmedizin und dem Deutschen Krebsforschungszentrum DKFZ das **Nationale Centrum für Tumorerkrankungen** (NCT) in Dresden als Partnerstandort zu Heidelberg auf. Das gemeinsame Ziel: fachübergreifend forschen, therapieren und vorbeugen zum Wohl des Patienten – und das auf internationalem Spitzenniveau.

| ESRF Grenoble: Hier forscht das HZDR
in eigenen Laboren an Energiefragen.



Energieeffizienz – das bedeutet auch Ressourceneffizienz

Ein Standort wie Deutschland, dessen Wirtschaftskraft auf Hochtechnologie aufbaut, muss bei Energiefragen alle Register ziehen, damit er nicht in Abhängigkeit von Dritten gerät. Das HZDR beschäftigt sich mit drei wichtigen Facetten dieser Herausforderung. Die erste: Entwicklung energieeffizienter Technologien. Die zweite: Lösungen für die Endlagerproblematik.

Die dritte Facette betrifft die knappen Ressourcen selbst. Strategisch wichtige Rohstoffe, ohne die kein Computer, aber auch kein Windrad denkbar sind, werden auf dem Weltmarkt immer knapper und teurer. Gefragt sind Methoden, solche Stoffe aus allen denkbaren Quellen zu erschließen und im Sinne einer Kreislaufwirtschaft nachhaltige Lösungen bereitzustellen.

Die Bundesregierung hat deshalb im Jahr 2011 das **Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourceneffizienz** (HIF) am HZDR gegründet. Es entwickelt innovative Verfahren zur Erkundung, Gewinnung, Aufbereitung, Veredelung und zum Recycling von Rohstoffen. Ein enger Kooperationspartner ist die TU Bergakademie Freiberg.

Die Frage der nachhaltigen Rohstoffgewinnung endet aber nicht an der deutschen Grenze. So hat das HZDR erfolgreich den Aufbau der Wissens- und Innovationsgemeinschaft **EIT RawMaterials**, des größten Ressourcennetzwerks Europas, koordiniert. Die Bündelung der nationalen Kompetenzen, Infrastrukturen und Strategien auf dem Rohstoffsektor hat sich das virtuelle Institut GERRI zum Ziel gesetzt.

| Die Forscher im NetFlot-Projekt wollen ein europäisches Netzwerk für das Aufbereitungsverfahren der Flotation etablieren.

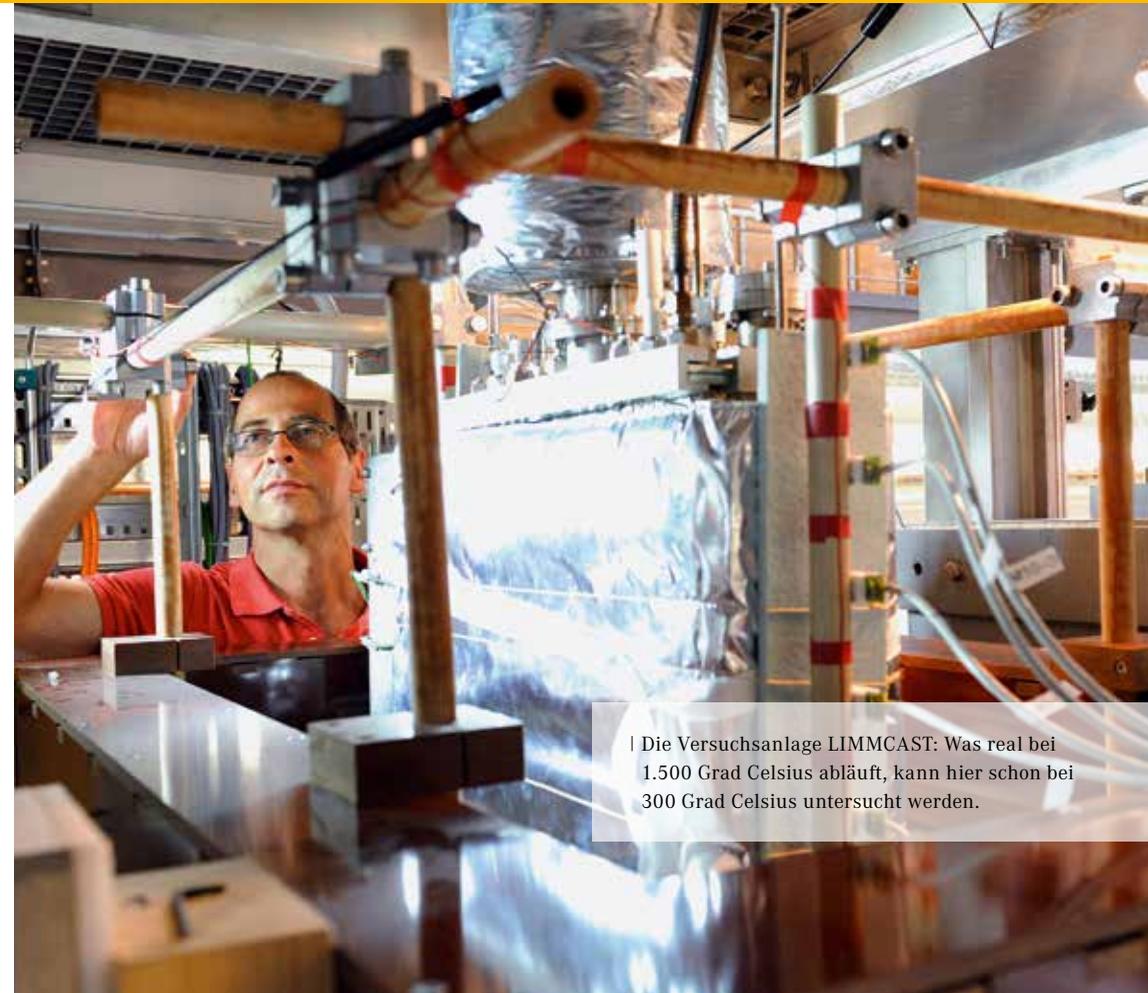


Alles strömt – und zwar möglichst energieeffizient

Um Industrieprozesse energieeffizienter zu machen, wird Wissen über Mehrphasen-Strömungen gebraucht. Solche Strömungen, in denen mindestens zwei Gase, Flüssigkeiten oder Feststoffe fließen, spielen gerade bei den energieintensiven Prozessen der Metallurgie und Chemie-industrie eine wesentliche Rolle – Bereiche, deren Produktionsbedingungen kaum Einblicke in das Strömungsverhalten erlauben.

Das HZDR entwickelt praxisnahe dreidimensionale Computermodelle zur Strömungssimulation, auf deren Grundlage sich die Prozesse optimieren lassen. Experimentell überprüfen sie ihre Annahmen an der Thermohydraulik-Versuchsanlage **TOPFLOW** und mit Hilfe ausgefeilter Messtechnik. **LIMMCAST**, eine Metall-Versuchsgießanlage, simuliert die Prozesse, die sich beim Stahlguss abspielen. Die Qualität zu verbessern, ist angesichts der hohen Temperaturen ebenfalls ein Beitrag zur Energieeffizienz. Untersucht wird, ob von außen angelegte Magnetfelder die Stahlschmelze so beeinflussen können, dass der Gefügebau des Stahls verbessert und Ausschuss vermieden wird.

An **DRESDYN** sind Experimente mit flüssigem Natrium möglich. Hier wollen HZDR-Forscher mit einem großen, schnell um zwei verschiedene Achsen rotierenden Experimentierdynamo nach Antworten auf fundamentale Fragen suchen: Wie sind planetare Magnetfelder und besonders das Magnetfeld unserer Erde entstanden? Wie verhalten sie sich? Die Experimente an DRESDYN sollen aber auch Ansätze für die Entwicklung von Flüssigmetall-Batterien und damit Lösungen für die optimale Energiespeicherung liefern.



Die Versuchsanlage LIMMCAST: Was real bei 1.500 Grad Celsius abläuft, kann hier schon bei 300 Grad Celsius untersucht werden.



Fachwissen trotz Energiewende halten

Die Frage der Endlagerung von hochradioaktivem Abfall aus Kernkraftwerken ist nach wie vor ungelöst. Als Lagerstätten kommen unterschiedliche Gesteine infrage – vorausgesetzt, dass der radioaktive Abfall dort sicher eingeschlossen werden kann. Dafür ist es jedoch wichtig, genau zu wissen, wie sich radioaktive Stoffe in der Natur – also in der Bio- und Geosphäre – verhalten. Wissenschaftler am HZDR beschäftigen sich mit dieser Frage. Ihre Erkenntnisse fließen direkt in internationale Datenbanken und Codes ein, denn die nukleare Endlagerung ist eine Herausforderung, die nicht an den nationalen Grenzen stoppt. Die radiochemische Messstation an der **Rossendorf Beamline** am Europäischen Synchrotron in Grenoble leistet hier einen wertvollen Beitrag.

Obwohl der stufenweise Ausstieg aus der Kernenergie in Deutschland beschlossene Sache ist, bleibt die Reaktorsicherheit eine wichtige Aufgabe. Gerade in Europa entstehen zahlreiche Kernkraftwerke alter, aber auch neuer Generation. Wenn Deutschland jedoch auf dem Gebiet weiter mitreden will, muss es die Kompetenzen erhalten und ausbauen. Für die Simulation von Störfällen entwickelt das HZDR thermohydraulische und reaktorphysikalische Berechnungsverfahren sowie Werkstoff-Modelle, die experimentell überprüft werden. Nukleare Forschungsprogramme der Europäischen Union nutzen dieses Wissen für ihre Arbeit.

| Als eine von wenigen Forschungseinrichtungen kann das HZDR mit hochradiotoxischem Material arbeiten.



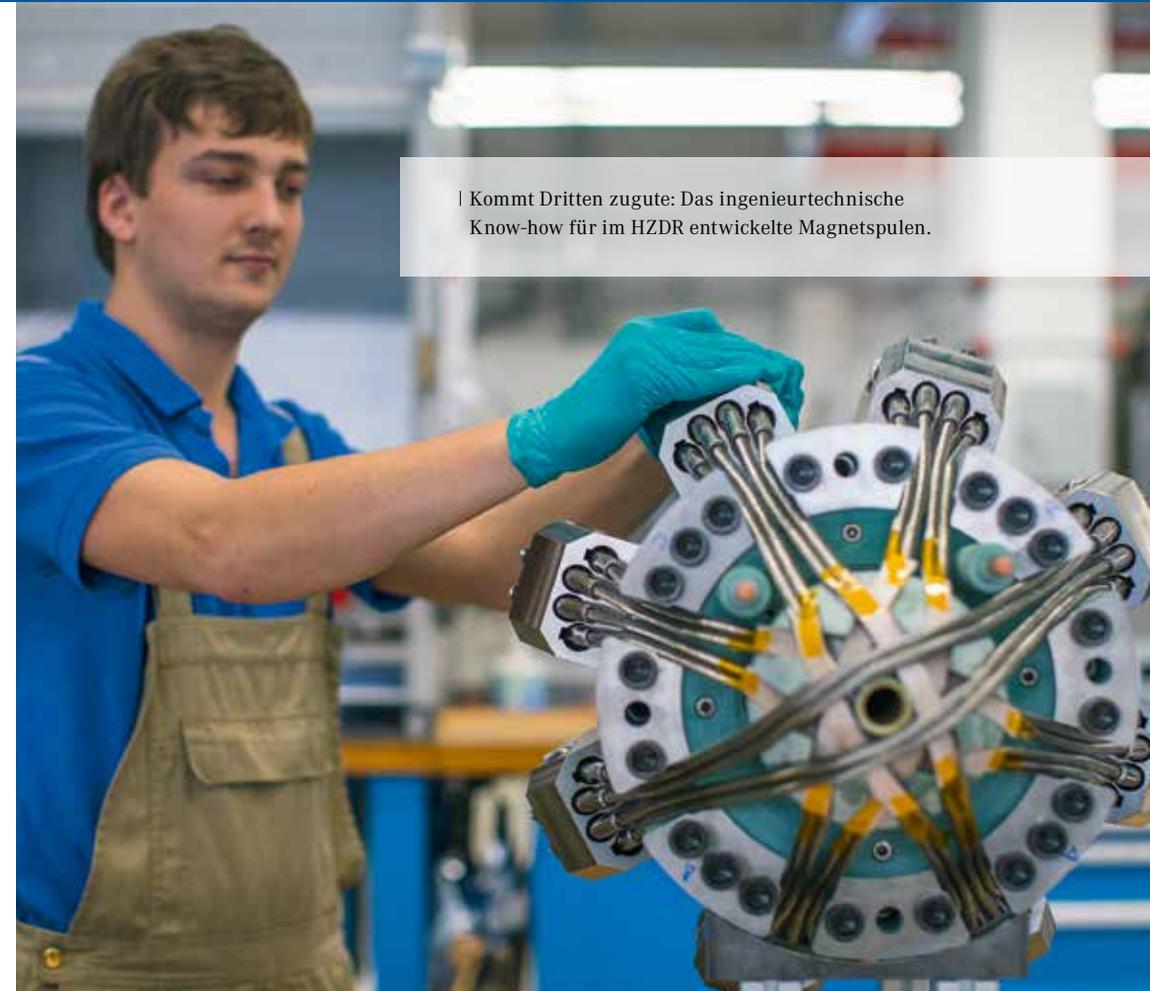
| Hochenergie-Implantation
am Ionenstrahlzentrum

Vom Labor in die Gesellschaft

Das HZDR verfolgt das Ziel, Forschungsergebnisse schnell in Gesellschaft und Wirtschaft zu übertragen. Seine führenden Wissenschaftler arbeiten daher aktiv in Wissenschaftsakademien und Fachkommissionen im In- und Ausland mit. Politiker unabhängig zu beraten, die Öffentlichkeit gezielt zu informieren oder fachbezogene Schulungen anzubieten – diese Aufgaben nimmt das Zentrum nicht zuletzt für das gesellschaftlich relevante Thema der nuklearen Sicherheit wahr. Den sicheren Betrieb der europäischen Kernkraftwerke unterstützt es durch Computerprogramme, mit deren Hilfe Behörden, Betreiber und Forschungseinrichtungen zuverlässige Sicherheitskonzepte erstellen können.

Um konkrete Technologien oder Verfahren in die Industrie zu überführen, nutzt das Zentrum verschiedene Wege – zum Beispiel Auftrags- und Verbundforschung, Lizenzierung, Ausgründung, Personaltransfer oder die gemeinschaftliche Nutzung von Infrastrukturen. Hiervon profitiert auch die mittelständische Industrie der Region. Der Technologietransfer ist zudem auf die Zusammenarbeit mit Dienstleistern angewiesen. Wichtige Partner sind beispielsweise die Ausgründungsinitiative „Dresden exists“ sowie das Unternehmen Ascenion, das auf die Verwertung von Erkenntnissen aus den Lebenswissenschaften ausgerichtet ist.

Gemeinsam mit der Gesellschaft für Wissens- und Technologietransfer (GWT) der TU Dresden hat das Zentrum die **HZDR INNOVATION GmbH** gegründet – ein Tochterunternehmen, das die einzigartige Infrastruktur des HZDR für die Industrie öffnet. Besonders die Mikroelektronik- und die Automobilbranche greifen stark auf dieses Angebot zurück.



| Kommt Dritten zugute: Das ingenieurtechnische Know-how für im HZDR entwickelte Magnetspulen.

Gemeinsam die Begeisterung entfachen

Als Teil von **DRESDEN-concept**, einer Forschungsallianz aus 22 Partnern mit der Exzellenzuniversität TU Dresden im Zentrum, engagiert sich das HZDR für hervorragende Forschung, Lehre und Infrastruktur. Wichtige Partner für die Förderung qualifizierter Nachwuchsforscher sind die sächsischen Hochschulen. Die Institutsdirektoren und weitere erfahrene Wissenschaftler des Zentrums sind zugleich Professoren an den Universitäten und Fachhochschulen.

Mehrere Nachwuchsgruppen dienen jungen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern als Karriere-Sprungbrett. Die begehrten „Starting Grants“ des Europäischen Forschungsrates kommen am HZDR gleich zwei Wissenschaftlerteams zugute. Das Helmholtz-Kolleg **NanoNet** fördert Nachwuchs auf dem Gebiet der Mikroelektronik und ein internationales Sommerstudentenprogramm holt jährlich begabte Studierende nach Dresden. Weiterbildung und der Blick über den Tellerrand sind auch für das technische Personal einer Forschungseinrichtung wichtig. Deshalb hat das HZDR eine eigene „Technikerakademie“ ins Leben gerufen.

Entfachen lässt sich die Begeisterung für die Wissenschaft schon in der Kindheit. Im **Schülerlabor DeltaX** des HZDR können Kinder und Jugendliche von der fünften Klasse bis zur Abiturstufe in echter Forschungsumgebung ihre Fähigkeiten als Nachwuchsforscher testen – Fortbildungsangebote für Lehrer inklusive. Das Programm „Kids mit Grips“ entführt mit spielerischen Experimenten bereits Vorschulkinder in die spannende Welt der Naturwissenschaften.

| Schüler untersuchen im HZDR-Schülerlabor DeltaX einen Schwingkreis.



Wirklich gut ist man nur gemeinsam

Institut für Fluiddynamik

- // Helmholtz-Allianz Liquid Metal Technologies LIMTECH
- // AREVA-Stiftungsprofessur für bildgebende Messverfahren in der Energie- und Verfahrenstechnik

Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung

- // Shanghai Institute of Microsystem and Information Technology SIMIT
- // Helmholtz Energy Materials Characterization Platform HEMCP & Helmholtz Energy Materials Foundry HEMF

Institut für Radioonkologie

- // Nationales Centrum für Tumorerkrankungen NCT Dresden
- // Hochschulmedizin Dresden – OncoRay

Institut für Radiopharmazeutische Krebsforschung

- // Turku PET Center, Finnland
- // Helmholtz-Querschnittsprogramm Technologie und Medizin

Institut für Ressourcenökologie

- // Rossendorf Beamline ROBL am Europäischen Synchrotron ESRF
- // Deutsche Arbeitsgemeinschaft Endlagerforschung DAEF

Institut für Strahlenphysik

- // Helmholtz International Beamline for Extreme Fields HIBEF am European XFEL
- // Stanford Linear Accelerator Center SLAC, USA

 MATERIE  GESUNDHEIT  ENERGIE

Institut Hochfeld-Magnetlabor Dresden

- // European Magnetic Field Laboratory EMFL
- // Sonderforschungsbereich 1143 Korrelierter Magnetismus: Von Frustration zu Topologie

Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie

- // Wissens- und Innovationsgemeinschaft EIT RawMaterials
- // German Resource Research Institute GERRI

Forschung an fünf Standorten

_DRESDEN

Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR)
Bautzner Landstraße 400
01328 Dresden

HZDR-Institut für Radioonkologie – OncoRay
Händelallee 26, Haus 130
01307 Dresden

_FREIBERG

Helmholtz-Institut Freiberg
für Ressourcentechnologie
Chemnitzer Straße 40
09599 Freiberg

_LEIPZIG

Forschungsstelle des HZDR
für Interdisziplinäre Isotopenforschung
Permoserstraße 15
04318 Leipzig

_SCHENEFELD

HIBEF am European XFEL
22869 Schenefeld

_GRENOBLE

ESRF – The European Synchrotron
CRG – ROBL
CS40220
38043 Grenoble Cedex 9
Frankreich

Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR)

Bautzner Landstraße 400
 01328 Dresden (OT Rossendorf)
 Dr. Christine Bohnet
 Kommunikation und Medien
 Telefon: +49 351 260-2450
 E-Mail: presse@hzdr.de

IMPRESSUM

Herausgeber: Der Vorstand des HZDR
 Redaktion: Christine Bohnet (V.i.S.d.P.) | Simon Schmitt | Michael Schmidt (schmidt-text.de)
 Gestaltung und Layout: WERKSTATT X | Michael Voigt
 Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

Stand 09/2016

FOTONACHWEIS

S. 1, Rainer Weisflog; S. 4, 5, 10, 11, 14, 33, Oliver Killig; S. 6, Frank Schinski; S. 9, HZDR;
 S. 13, 35, André Forner; S. 16, 17, Philip Benjamin/NCT Dresden; S. 19, André Künzelmann;
 S. 20, AlFilm; S. 22, 23, ESRF/Peter Ginter; S. 25, Detlev Müller; S. 27, Frank Bierstedt;
 S. 28, Avanga; S. 30, 31, Matthias Rietschel



Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren

**FORSCHEN FÜR DIE WELT
VON MORGEN**

www.hzdr.de

hZDR



HELMHOLTZ
| ZENTRUM DRESDEN
ROSSENDORF