

# PETRA III.

Brillantes Röntgenlicht für  
Wissenschaft und Technologie



Weitblick: Luftbild des Forschungszentrums DESY in Hamburg mit der gekrümmten Experimentierhalle „Max von Laue“ des Speicherrings PETRA III.





**Helmut Dosch**  
Vorsitzender des  
DESY-Direktoriums

# PETRA III – Exzellente Bedingungen für die Forschung

DESY ist eines der weltführenden Beschleunigerzentren. Die Mission des Forschungszentrums ist die grundlegende Erforschung von Struktur, Dynamik und Funktion der Materie – die „Entschlüsselung der Materie“.

Wir suchen nach kleinsten Materiebausteinen und fahnden nach innovativen Hightech-Werkstoffen und neuen Wirkmechanismen für künftige Medikamente. Täglich schaffen wir neues Wissen und neue Denkansätze und damit die Basis, um innovative Lösungen für die gesellschaftlichen Herausforderungen von heute und morgen bereitzustellen.

DESYs hochbrillante Röntgenlichtquelle PETRA III leistet dazu einen entscheidenden Beitrag. Sie ist eine der hellsten speicherringbasierten Röntgenstrahlungsquellen der Welt und macht zusammen mit dem Freie-Elektronen-Laser FLASH und dem Röntgenlaser European XFEL die Metropolregion Hamburg zu einem internationalen Leuchtturm für die Forschung mit Synchrotronstrahlung und Röntgenlasern.

Diese herausragende Position wollen wir noch weiter stärken und mit dem interdisziplinären Ausbau unserer Spitzenforschung einen visionären Forschungscampus des 21. Jahrhunderts schaffen.

Prof. Dr. Dr. h. c. Helmut Dosch  
Vorsitzender des DESY-Direktoriums

# Lichtquelle für brillante Röntgenstrahlung

Im Jahr 2009 hat sie den Betrieb aufgenommen: PETRA III, eine der brilliantesten Speicherring-Röntgenstrahlungsquellen der Welt. Sie bietet Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern exzellente Experimentiermöglichkeiten mit extrem intensiven und gebündelten Röntgenstrahlen. Davon profitieren vor allem Forschende, die sehr kleine Proben untersuchen wollen oder stark gebündeltes, sehr kurzwelliges Röntgenlicht für ihre Analysen benötigen – von der Medizinforschung bis zur Nanotechnologie.

Das Besondere an PETRA III: Der Speicherring und die Experimente sind so entworfen, dass sich die Röntgenstrahlen an der zu untersuchenden Probe zu einem Strahlfleck fokussieren lassen, der nur den 5000stel Durchmesser eines menschlichen Haars hat. Außerdem kann PETRA III harte, also energiereiche, kurzwellige Röntgenstrahlung erzeugen. Der Vorteil: Diese Strahlen können besonders tief in die Materie eindringen, wichtig etwa für die Analyse von neuen Metallegierungen, wie sie für Fahr- und Flugzeuge der Zukunft interessant sind.

## Beschleuniger für Spitzenforschung

PETRA III ist eine Synchrotronstrahlungsquelle, die für den Betrieb mit hochbrillanter Röntgenstrahlung optimiert ist. Synchrotronstrahlung entsteht, wenn elektrisch geladene Teilchen, die auf fast Lichtgeschwindigkeit beschleunigt wurden, aus ihrer Flugbahn abgelenkt werden. Dabei wird Licht nahezu aller Wellenlängen erzeugt – von Infrarotlicht bis hin zu Röntgenstrahlung (siehe Infografik Seite 20–21). Unter hoher Brillanz verstehen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler einen Strahl, der intensiv ist, von einer kleinen Strahlquelle ausgeht und ein fast paralleles Lichtbündel bildet.

„Die einzigartigen Strahleigenschaften von PETRA III erlauben es, möglichst tief in verschiedenste Materialien zu schauen. Dabei ist es möglich, atomare Eigenschaften von Proben mit einer örtlichen Auflösung deutlich unter einem Mikrometer zu untersuchen.“



**Edgar Weckert**

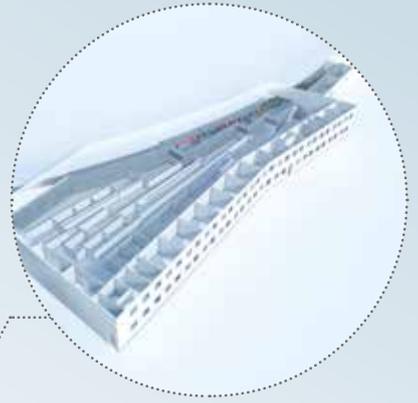
Direktor für den Bereich  
Forschung mit Photonen

Das Interesse von Forschenden aus aller Welt an PETRA III ist immens. Deshalb hat DESY die Anlage in den vergangenen Jahren mit neuen Experimentierhallen und zusätzlichen Messplätzen weiter ausgebaut. In den jetzt insgesamt drei Experimentierhallen („Max von Laue“, „Ada Yonath“ und „Paul P. Ewald“) bietet PETRA III damit an mittlerweile 20 Strahlführungen mit 41 Messstationen optimale Forschungsmöglichkeiten für Projekte aus den Bereichen Energie, Erde und Umwelt, Gesundheit, Transport und Raumfahrt, „Enabling Technologies“ und Schlüsseltechnologien (Seite 8–19). Mit der Forschung in diesen Bereichen leistet PETRA III auch einen wichtigen Beitrag zu den prioritären Themen der Hightech-Strategie der Bundesregierung.

## Exzellente Strahlqualität und Ausstattung

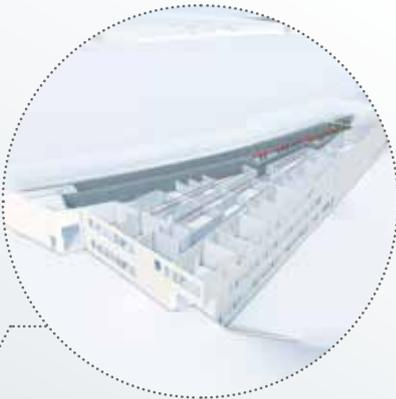
Die Strahlführungen mit den Messplätzen bieten exzellente Forschungsbedingungen und decken unterschiedlichste Anforderungen ab – sowohl hinsichtlich der Probenumgebung als auch bezüglich der Messmethoden. Dazu zählen Messplätze für sehr tiefe Temperaturen oder hohe Drücke sowie Methoden zur Messung kleinster Materialstrukturen abhängig jeweils vom benötigten Röntgenenergiebereich. Auch bei der Ausstattung entspricht PETRA III höchsten Standards: Vor Ort steht den Nutzerinnen und Nutzern eine herausragende Infrastruktur zur Verfügung, wie Labore zur Vorbereitung biologischer und chemischer Proben oder das DESY NanoLab für Materialanalysen und Materialbearbeitung auf der Mikro- und Nanoskala. Jede der 20 Strahlführungen wird von hochqualifiziertem wissenschaftlichem und technischem Personal betreut, um die Nutzergruppen zu unterstützen und optimale Ergebnisse zu ermöglichen.

An dieser weltweit einzigartigen Anlage messen derzeit jährlich mehr als 2700 Nutzerinnen und Nutzer aus Forschung und Industrie aus fast 40 Nationen, darunter viele engagierte Nachwuchsforscherinnen und Nachwuchsforscher. Immer mehr Institutionen siedeln sich auf dem Campus an, um eng mit DESY zusammenzuarbeiten und die Anlagen und Infrastruktur bestmöglich nutzen zu können. So gibt es Außenstellen zahlreicher renommierter Einrichtungen, wie vom Europäischen Laboratorium für Molekularbiologie (EMBL), von Instituten der Max-Planck-Gesellschaft und der Helmholtz-Zentren sowie von Universitäten. Das macht DESY zu einem gefragten Partner in nationalen und internationalen Kooperationen.



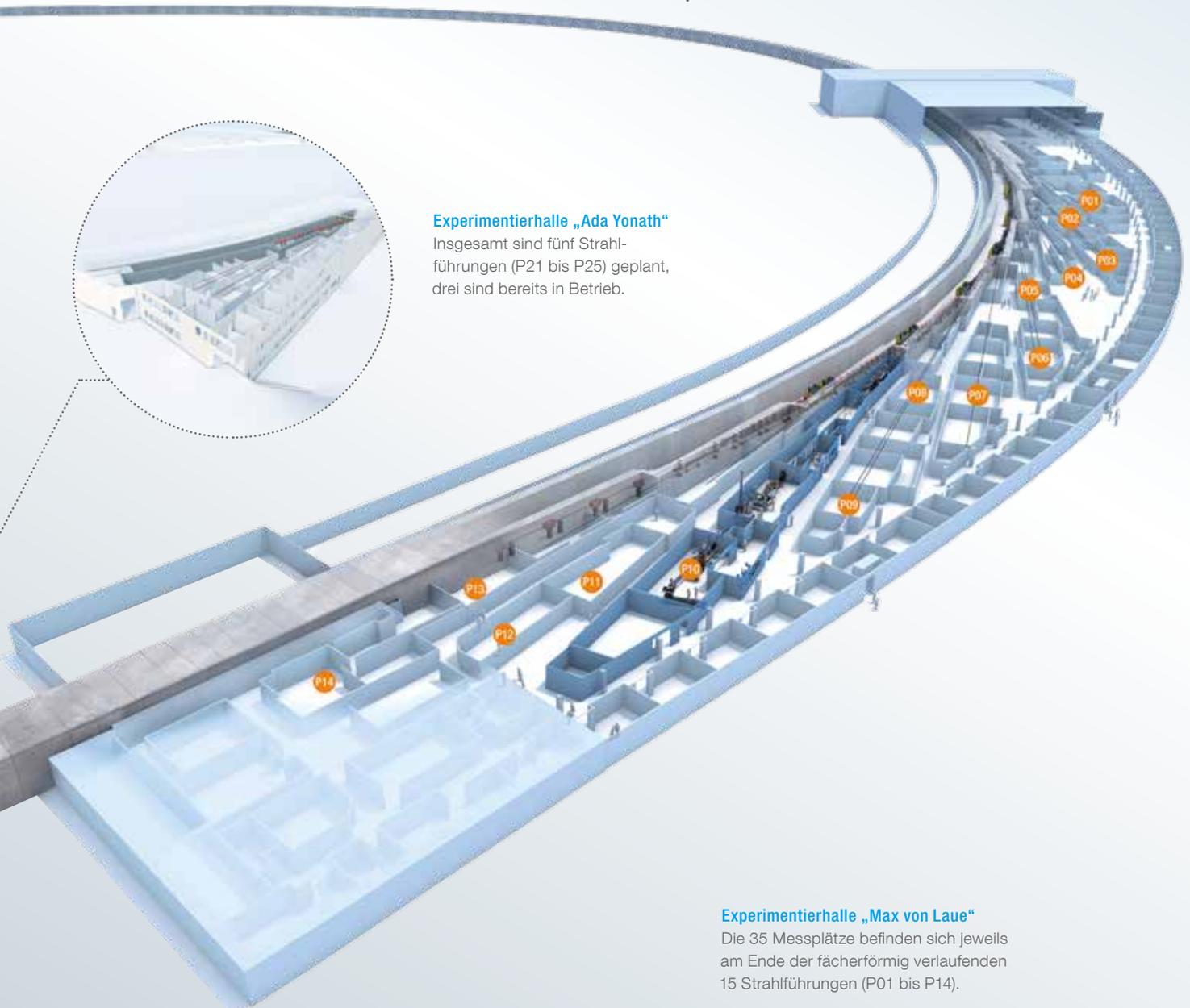
**Experimentierhalle „Paul P. Ewald“**

Insgesamt sind sechs Strahlführungen (P61 bis P66) geplant, zwei sind bereits in Betrieb.



**Experimentierhalle „Ada Yonath“**

Insgesamt sind fünf Strahlführungen (P21 bis P25) geplant, drei sind bereits in Betrieb.

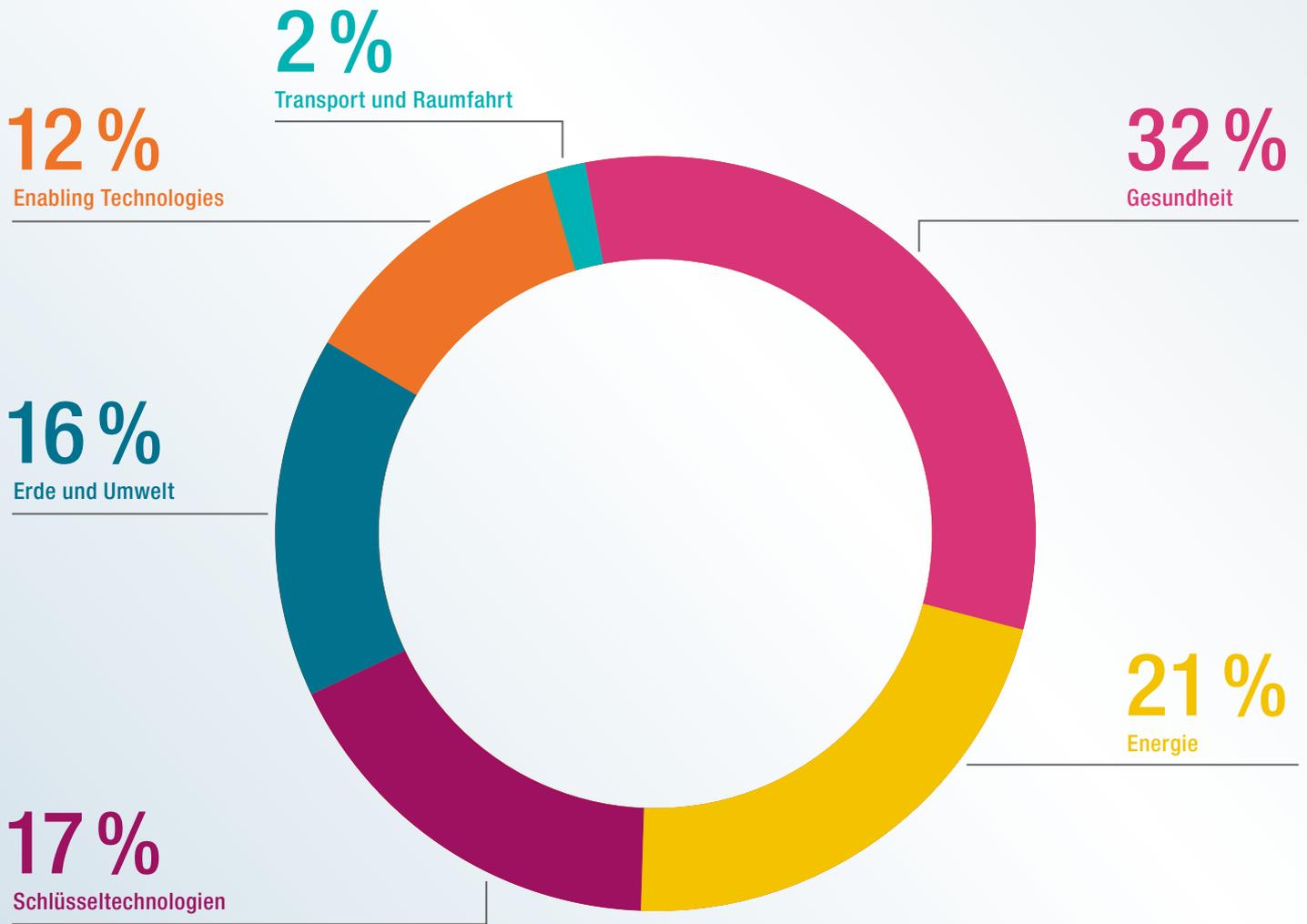


**Experimentierhalle „Max von Laue“**

Die 35 Messplätze befinden sich jeweils am Ende der fächerförmig verlaufenden 15 Strahlführungen (P01 bis P14).

# Werkzeug für Forschung und Innovation

In sechs großen Forschungsfeldern betreiben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bei PETRA III Spitzenforschung.



-  Energie
-  Transport und Raumfahrt
-  Erde und Umwelt
-  Enabling Technologies
-  Gesundheit
-  Schlüsseltechnologien

Prozentzahl der Anträge mit Messzeit im Jahr 2018

# Magnet für Spitzenforschung

An den Messplätzen von PETRA III finden Nutzerinnen und Nutzer von Universitäten, Instituten und der Industrie exzellente Forschungsbedingungen.



Das Interesse an DESYs Röntgenlichtquelle PETRA III ist enorm. Mehr als 2700 Nutzerinnen und Nutzer führen derzeit jährlich Experimente an einem der Messplätze durch, über die Hälfte von ihnen kommt dabei aus Deutschland. Sie stammen größtenteils von Universitäten – aber auch aus außeruniversitären Forschungseinrichtungen und der Industrie. Einige Nutzergruppen sind aktiv an der Entwicklung von Instrumenten für PETRA III beteiligt. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) fördert solche Projekte innerhalb des Rahmenprogramms ErUM „Erforschung von Universum und Materie“. DESY arbeitet beim Betrieb und bei der Weiterentwicklung von PETRA III eng mit nationalen und internationalen Partnern zusammen. Denn die Vernetzung und Zusammenarbeit verschiedener Institute, Länder und Fachdisziplinen sind für die Spitzenforschung heutzutage unerlässlich.

Prozentanteil im Jahr 2018  
(nur deutsche Nutzende)

# Energieversorgung sichern

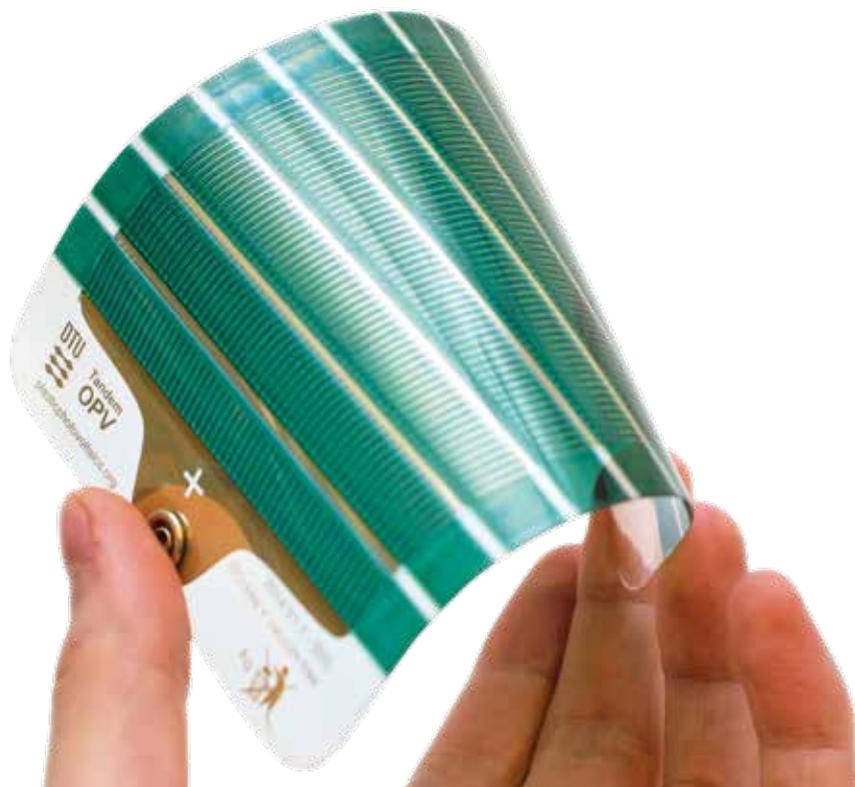
Weltweit arbeiten Forschergruppen daran, die Energieversorgung heutiger und zukünftiger Generationen nachhaltig zu sichern. Ihr Ziel: fossile Rohstoffe und nukleare Brennstoffe durch Energieträger zu ersetzen, die nachhaltig und klimaneutral nutzbar sind. Dafür suchen sie beispielsweise nach besseren Speichermaterialien für aufladbare Batterien oder loten die Potenziale erneuerbarer Energiequellen wie Biomasse, Erdwärme und Sonnenenergie aus. Um diese zu nutzen, braucht es geeignete Komponenten, wie etwa Solarzellen. Vor allem den organischen Solarzellen wird eine große Zukunft vorhergesagt. Sie sind biegsam und billig wie eine Plastikfolie, und ihre Anwendungen klingen verlockend: Wände beklebt mit Solarfolie könnten Strom spenden, beschichtete Rucksäcke Handys oder Tablets aufladen. Doch noch steckt die Technik in den Kinderschuhen, denn derzeit sind die organischen Solarzellen weder besonders energieeffizient noch langlebig. Röntgenuntersuchungen an den Messstationen von PETRA III ermöglichen es Forscherinnen und Forschern, neue Ansätze für eine verbesserte Herstellung zu entwickeln.

Anders als bei konventionellen Solarzellen aus Silizium wird der Strom in organischen Solarzellen in einer aktiven Mischschicht aus zwei kohlenstoffbasierten Materialien erzeugt. Ist eines davon ein Polymer, spricht man oft von Plastiksolarzellen. Häufig verwenden Hersteller dafür spezielle „Low-Bandgap“-Polymere, die besonders viel Licht absorbieren. Sie benötigen oft während der Herstellung einen Lösungsmittelzusatz, um hohe Wirkungsgrade zu erreichen.

## Organische Solarzellen optimieren

Mit DESYs Röntgenlichtquelle PETRA III hat ein Team um Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler von der Technischen Universität München und DESY den Verschleiß solcher „Low-Bandgap“-Plastiksolarzellen mit Lösungsmittelzusatz näher untersucht. Dazu wurde eine solche Solarzelle in einem Sonnenlichtsimulator beleuchtet und ihre elektrischen Kenndaten kontinuierlich vermessen. Gleichzeitig durchleuchteten die Forscherinnen und Forscher die Solarzelle an Strahlführung P03 zu unterschiedlichen Zeiten mit dem scharf

Billig und biegsam: Organische Solarzellen lassen sich durch Forschung an PETRA III verbessern.



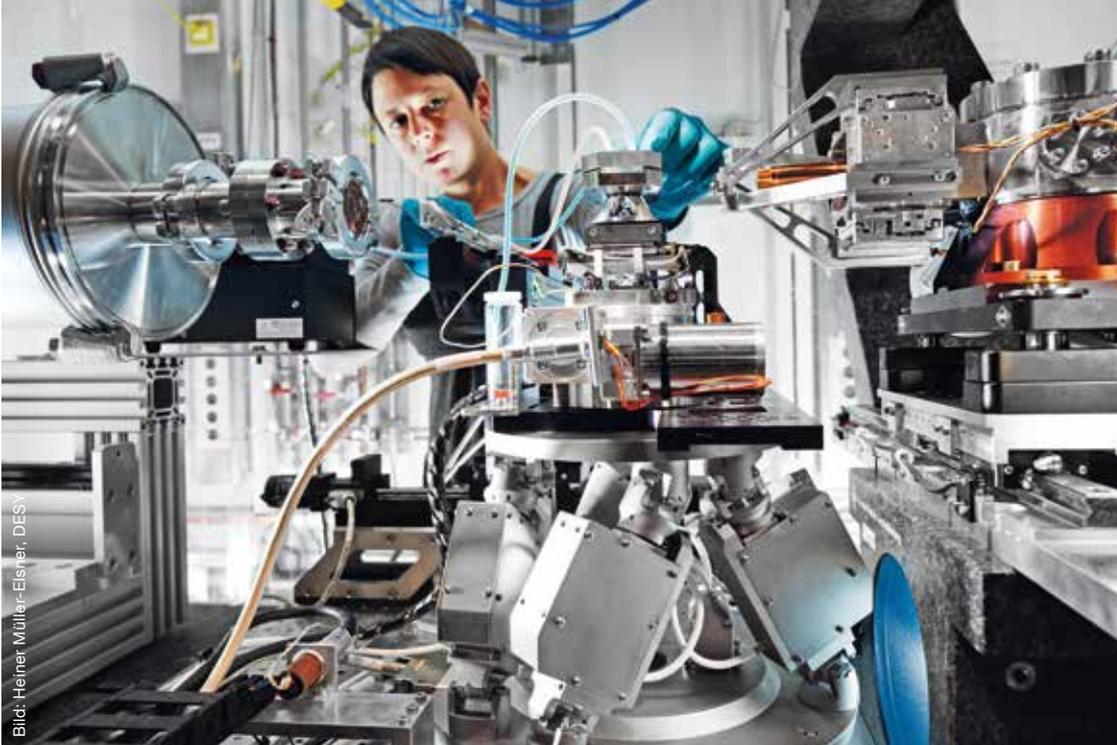


Bild: Heiner Müller-Elsner, DESY

An Strahlführung P03 bereitet eine Wissenschaftlerin ein Experiment vor.

fokussierten Röntgenstrahl von PETRA III. So konnten sie sich im Abstand von einigen Minuten ein Bild der inneren Struktur der aktiven Schicht auf der Nanometerskala machen.

Die Daten zeigten, dass die Schichten während des Betriebs beinahe unmerklich im Nanometerbereich schrumpfen. Gleichzeitig liefern die Messungen Hinweise darauf, dass der Restgehalt an Lösungsmittelzusatz im Laufe des Betriebs der Solarzelle sinkt. Darauf führt das Team den gemessenen Effizienzverlust der Solarzelle zurück. Die Untersuchung liefert wichtige Ansätze für eine gezielte Optimierung der Produktion organischer Solarzellen. So könnten chemische Vernetzungen der Polymerketten oder maßgeschneiderte Verkapselungsmaterialien helfen, die Struktur der Schichten zu festigen.

## Langlebige Akkus entwickeln

Auch für die Entwicklung leistungsfähiger Stromspeicher gibt die Forschung an PETRA III entscheidende Impulse, die dringend benötigt werden. Denn Mobiltelefone, Elektrofahrzeuge und nachhaltige Energiesysteme erfordern bessere Speichermaterialien für Akkus.

Lithium-Ionen-Akkus gelten als Kraftpakete unter den wiederaufladbaren Batterien. Für die Leistung spielt das im Batterieinneren befindliche Kathodenmaterial eine wichtige Rolle. Lithiumreiche Schichtoxide werden als vielversprechende Kandidaten für die nächste Generation von Kathodenmaterialien gehandelt, aber sie zeigen noch ein Problem: einen Spannungsabfall in den

Batterien, mit dem ihre Leistungsfähigkeit sinkt. Einem Forschungsteam aus den USA ist es mithilfe von mikroskopischen Untersuchungen an PETRA III gelungen, den Mechanismus dieses Spannungsabfalls in den lithiumreichen Schichtoxiden zu ergründen. Sie beobachteten an Strahlführung P10, dass sich während der Nutzung Unregelmäßigkeiten in den lithiumreichen, geschichteten Oxid-Nanopartikeln in der Kathodenschicht verschieben und so zum Spannungsabfall beitragen. Die Ergebnisse sollen helfen, den Spannungsabfall in den Schichtoxiden umzukehren und ein besseres Design dieser Schicht zu entwickeln, damit zukünftig leistungsfähigere Lithium-Ionen-Akkus zur Verfügung stehen.

---

### Originalarbeiten

*Advanced Energy Materials*, 2016;

DOI: 10.1002/aenm.201600712

*Nature Energy*, 2018; DOI: 10.1038/s41560-018-0184-2



# Die Umwelt verstehen

Unsere Erde verändert sich ständig. Unzählige Prozesse sind für diese Veränderungen verantwortlich, die oft nur auf der Mikro- oder Nanoskala sichtbar sind und doch globale Auswirkungen haben. Forschende aus dem Bereich „Erde und Umwelt“ arbeiten daran, diese Prozesse besser zu verstehen sowie Beobachtungssysteme und Vorhersagen auszubauen und zu verbessern.

## Erdbeben im Labor simulieren

Dafür gehen sie beispielsweise der Frage nach, wie unser Planet im Inneren aussieht. Das Problem dabei: Selbst die tiefsten Bohrungen reichen nur wenige Kilometer tief – nicht besonders viel, wenn man sich beispielsweise für den unteren Erdmantel interessiert. Der untere Erdmantel beginnt erst in einer Tiefe von ungefähr 660 Kilometern und hat großen Einfluss auf die Plattentektonik und dadurch auch auf die Entstehung von Erdbeben.

3,7-millionenfacher Atmosphärendruck, Temperaturen von 4000 bis 5000 Grad Celsius – die extremen Bedingungen, die im Erdinneren herrschen, lassen sich aber im Labor simulieren. Bei DESY setzen Forscherinnen und Forscher dafür winzige Gesteinsproben buchstäblich unter Hochdruck, um sie mit den Röntgenstrahlen von PETRA III zu untersuchen. Das machen sie mit Diamantstempelzellen, die die Probe zwischen zwei kleinen Diamanten mit extrem hohem Druck zusammenpressen. Mit Diamantstempelzellen können die Forschenden dabei Drücke von bis zu zwei Millionen Atmosphären erzeugen. Durch Löcher auf der Rückseite der Stempel trifft das intensive, gebündelte Röntgenlicht aus PETRA III auf eine kleine Gesteinsprobe. Die Analyse der gestreuten Röntgenstrahlung verrät, wie sich das Mineral unter Druck in seiner Kristallstruktur verändert.

Erdbebenwellen simulieren: Was bisher nur Hochleistungscomputer konnten, ist nun auch an PETRA III-Messplätzen möglich.



Bild: M. Meschede

Ein Problem bei solchen Untersuchungen war bisher, wie man von einer sehr kleinen Probe auf das Verhalten der Materialien im Erdinneren schließen kann, da die typischen Wellenlängen von Erdbebenwellen sehr viel größer sind als die Probe selbst. Ein von Forscherinnen und Forschern der Universitäten Oxford und Bayreuth bei DESY entwickeltes Untersuchungsverfahren ermöglicht es nun, Erdbebenwellen bei verschiedenen Druckbedingungen im Labor zu simulieren und die Auswirkungen auf Proben zeitlich hochaufgelöst zu messen. Das Team komprimiert und entspannt dafür die Probe kontrolliert zyklisch, und zwar mit Frequenzen, die typisch sind für Erdbebenwellen. Gleichzeitig können die Forschenden dabei mit den Röntgenstrahlen an Strahlführung P02.2 sehr genau beobachten, wie sich das Volumen des untersuchten Materials währenddessen verändert.

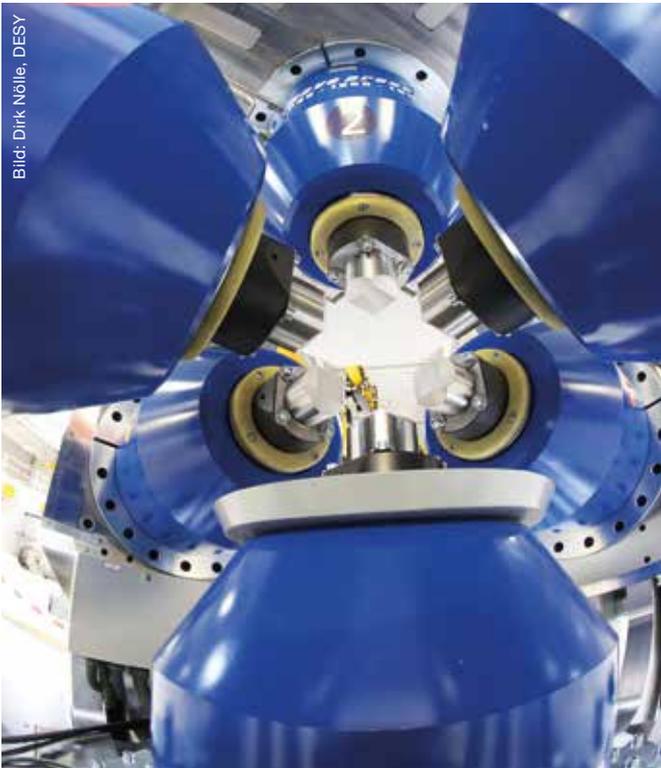


Bild: Dirk Nölle, DESY

Forschung unter Druck:  
An Strahlführung P61 führen  
Forschende mit der Hoch-  
druckpresse Experimente  
bei extrem hohen Drücken  
und Temperaturen durch.

In zukünftigen Studien wollen die Forscherinnen und Forscher ihre Messmethode so weiterentwickeln, dass die Untersuchungen auch bei sehr hohen Temperaturen, wie sie im Erdinneren vorliegen, durchgeführt werden können.

### Effiziente Lichtwandler

Auch grundlegende Fragen zu biologischen Stoffwechselprozessen der Natur können an den Strahlführungen von PETRA III untersucht werden, wie die Photosynthese. Dabei nutzen Pflanzen, Algen und auch einige Bakterien das Sonnenlicht, um mithilfe der Lichtenergie unter anderem Zucker und Sauerstoff zu produzieren. Die Photosynthese bildet damit eine Grundvoraussetzung für das Leben auf der Erde.

Auch Cyanobakterien betreiben Photosynthese. Sie sind sehr anpassungsfähig und kommen in den unterschiedlichsten Lebensräumen vor, wie Seen, Flüssen, Meeren und Böden. In Gewässern können sie sich bei heißen Temperaturen explosionsartig vermehren und dichte Blüten bilden.

An Strahlführung P13 entdeckte ein internationales Team um Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vom Europäischen Laboratorium für Molekularbiologie (EMBL) ein neues Eiweiß, das nur in Cyanobakterien vorkommt. Das Eiweiß scheint ein Grund für die hohe Anpassungsfähigkeit der Cyanobakterien zu sein. Es ermöglicht ihnen eine besser regulierte Photosynthese, so dass sie auch mit ungünstigen Umweltbedingun-

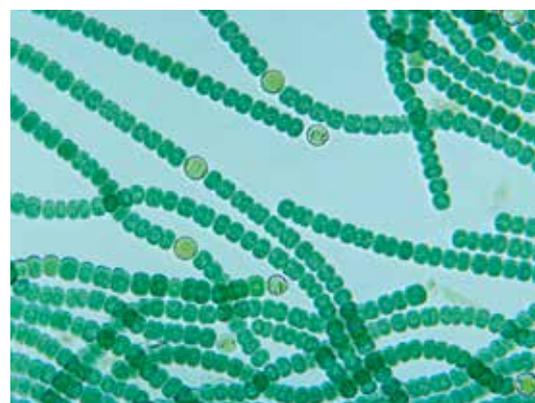
gen zurechtkommen. Wie beispielsweise die Art *Microcystis aeruginosa*, die dichte Blüten bildet: Sie kommt auch mit extremen Lichtverhältnissen zurecht und kann dort überleben, wo andere photosynthesebetreibende Organismen eingehen würden. Diese Erkenntnisse tragen zu einem tieferen Verständnis der Photosynthese bei – eines der wichtigsten biochemischen Prozesse der Erde.

#### Originalarbeiten

*Geophysical Research Letters*, 2018;

DOI: 10.1029/2018GL077982

*PNAS*, 2018; DOI: 10.1073/pnas.1806668115



Modellorganismus: An Cyano-  
bakterien untersuchen Forschende  
mithilfe von Röntgenstrahlen  
grundlegende Mechanismen der  
Photosynthese.



# Krankheiten bekämpfen

Für Molekularbiologinnen und -biologen sind die stark gebündelten Röntgenstrahlen von PETRA III das perfekte Instrument, um ihre Proben im Detail zu untersuchen: Sie entschlüsseln damit die räumliche atomare Struktur von Krankheitserregern, Proteinen und anderen Biomolekülen. Die Forschenden haben dabei die Entwicklung neuer Medikamente im Blick, die gezielt und punktgenau dort ansetzen, wo ein Krankheitserreger angreift. Dieses Wirkstoffdesign, also der gezielte Entwurf von Wirkstoffen, ist eine vergleichsweise junge Disziplin der Lebenswissenschaften, die versucht, die zugrundeliegenden Prozesse in ihrer Gesamtheit zu verstehen, und somit immer mehr Bedeutung bekommt: Denn Krebserkrankungen und antibiotikaresistente Keime nehmen zu. Infektionskrankheiten wie Aids, Tuberkulose und Malaria sind weltweit für Millionen Todesfälle verantwortlich, neu auftretende Viren bedrohen die Gesundheit vieler Menschen.

Um mit Röntgenstrahlen Proteine und andere Biomoleküle analysieren zu können, müssen diese zuvor kristallisiert werden. In einem Kristall sind alle Biomoleküle gleichartig auf einem Kristallgitter ausgerichtet. Das Kristallgitter streut die Strahlung, aus deren charakteristischem Muster sich die Kristallstruktur mit atomarer Genauigkeit berechnen lässt.

## Mit Nanopartikeln Tumore aufspüren

Eine neue Diagnosemöglichkeit zur früheren Erkennung von Tumoren soll ein an den Strahlführungen P11 und P07 getestetes Präzisions-Röntgenverfahren ermöglichen. Die Technik bietet die Perspektive, Röntgenuntersuchungen zur Krebsdiagnose nicht nur genauer, sondern auch schonender als mit bisherigen Verfahren durchzuführen. Auch die Kontrolle und Entwicklung von Medikamenten könnte das Präzisions-Röntgenverfahren verbessern und helfen, Medikamente live im Körper zu beobachten.

Die Idee: Winzige Nanopartikel aus Gold werden mithilfe biochemischer Methoden mit Antikörpern oder Medikamenten gespickt. Diese

Nanoteilchen sollen eines Tages Patientinnen und Patienten als Lösung gespritzt werden, durch den Körper wandern, die Antikörper an Tumoren andocken, die Medikamente an ihren jeweiligen Wirkorten. Anschließend können Medizinerinnen und Mediziner die entsprechenden Körperteile mit einem haarfeinen Röntgenstrahl scannen. Dadurch fluoreszieren die Goldteilchen und senden charakteristische Röntgensignale aus, die von einem speziellen Detektor aufgenommen werden. Das Verfahren könnte kleinste Tumore aufspüren, die sich mit den meisten heutigen Methoden nicht finden lassen. Im Vergleich zu einem Computertomogramm (CT) verspricht die Röntgenfluoreszenz sogar eine deutlich geringere Strahlenbelastung.

Ein internationales und interdisziplinäres Team von Forschenden – unter anderem von der Universität Hamburg und dem Universitätsklinikum

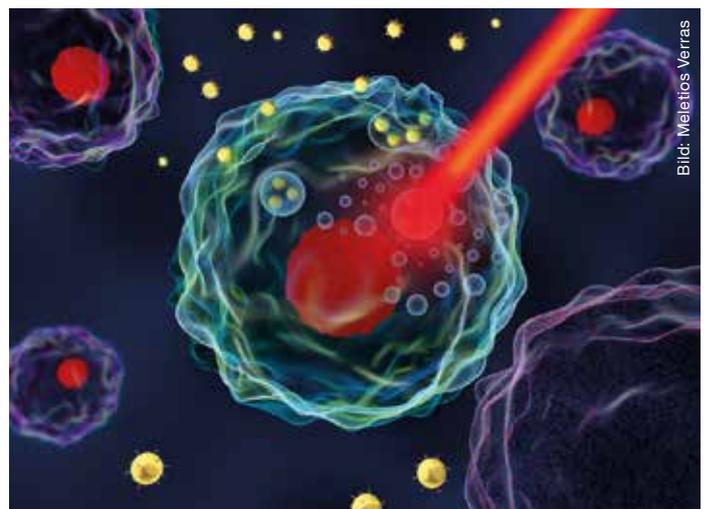


Bild: Meletios Verras

Mit Antikörpern gespickte Gold-Nanopartikel können sich gezielt an Tumore oder andere Ziele im Organismus heften und lassen sich dort per Röntgenfluoreszenz aufspüren.

An zahlreichen PETRA III-Messplätzen untersuchen Experten biologische Proben, wie hier an Strahlführung P11.



Bild: Heiner Müller-Eisner, DESY

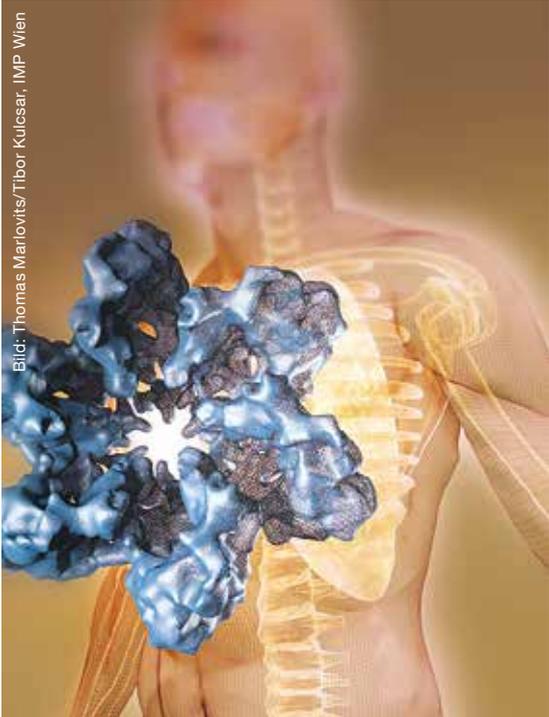


Bild: Thomas Marlovits/Tibor Kulcsar, IMP Wien

Erregerarchitektur: Mithilfe von Röntgenstrahlen entschlüsseln Forschende bisher unbekannte molekulare Strukturen des Tuberkulosebakteriums.

kum Hamburg-Eppendorf – führte bereits erste erfolgreiche Tests durch. Weitere Entwicklungsschritte und Studien müssen folgen, bevor die Methode marktreif ist.

### Tuberkuloseinfektionen verhindern

Auch die auf dem DESY-Campus ansässigen Forscherinnen und Forscher vom Zentrum für strukturelle Systembiologie (CSSB) machen sich so zusammen mit Kolleginnen und Kollegen vom Europäischen Laboratorium für Molekularbiologie (EMBL) auf die Jagd nach neuen Erkenntnissen über Infektionskrankheiten. Dabei wollen sie beispielsweise jene molekularen Mechanismen aufdecken, die hinter der Entstehung von Tuberkulose stecken, einer der gefährlichsten Infektionskrankheiten.

Die Strukturen von zahlreichen Proteinen des Bakteriums konnten sie bereits aufklären. Außerdem gelang ihnen ein weiterer wichtiger Schritt im Verständnis des Ablaufs der gefährlichen Krankheit: Die Biologinnen und Biologen bestimmten die molekulare Struktur eines Membrankanals, der eine wichtige Rolle bei der Infektion spielt, und

konnten sein Funktionsprinzip bestätigen. Mit der Arbeit an Strahlführung P12 kam das Team gemeinsam mit Kolleginnen und Kollegen zahlreicher anderer Institute, wie beispielsweise des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf und des Wiener Forschungsinstituts für Molekulare Pathologie (IMP), einem neuen architektonischen Prinzip und damit einem bislang unbekanntem molekularen Transportmechanismus auf die Spur. Ziel der Forschenden ist es, die Funktionsweise der Transportsysteme im Detail zu verstehen und so die Grundlage für die Entwicklung neuer Medikamente zu schaffen, die das Transportsystem gezielt blockieren. Eine Tuberkuloseinfektion könnte auf diese Weise abgeschwächt oder vielleicht sogar komplett verhindert werden. Neue Wirkstoffe gegen Tuberkulose werden dringend gebraucht, da die auslösenden Bakterien immer häufiger widerstandsfähig gegen bekannte Antibiotika sind.

---

#### Originalarbeiten

*Nature Microbiology*, 2017;

DOI: 10.1038/nmicrobiol.2017.47

*Scientific Reports*, 2018;

DOI: 10.1038/s41598-018-34925-3



# Maßgeschneiderte Materialien entwickeln

Materialwissenschaftlerinnen und -wissenschaftler verfolgen an den Messplätzen von PETRA III live, wie sich Materialien unter der Wirkung äußerer Einflüsse wie zum Beispiel der Temperatur ändern. Um diese Prozesse zu erfassen, beleuchten die Forschenden ihre Proben mit extrem kurzen, energiereichen Röntgenblitzen, die tiefer in Materie eindringen als weniger energiereiches Röntgenlicht. So können sie nicht nur erkennen, aus welchen Atomsorten sich beispielsweise ein millionstel Millimeter kleiner Nanowerkstoff zusammensetzt, sondern auch, wie diese Atome angeordnet sind. Damit bietet PETRA III für die Materialforschung vielseitige Möglichkeiten, etwa um 3D-Druck zu optimieren, Ermüdungserscheinungen von Werkstücken zu untersuchen, atomare Vorgänge auf Oberflächen von Katalysatoren zu beobachten oder neue Metalllegierungen für Autos und Flugzeuge der Zukunft zu analysieren.

## Abgastest an Nanopartikeln

So entdeckte ein Forscherteam, warum Katalysatoren in Form von Nanopartikeln, die zur Abgasreinigung eingesetzt werden, ihre Wirkung verlieren können. Die Physikerinnen und Physiker des DESY NanoLabs setzten dafür gemeinsam mit Kolleginnen und Kollegen der Universität Hamburg und der schwedischen Universität Lund Edelmetall-Nanopartikel unterschiedlichen Konzentrationen von Kohlenmonoxid und Sauerstoff aus. Mithilfe von Röntgenstreuung beobachteten sie an Strahlführung P09 die Umwandlung in ungiftiges Kohlendioxid in Echtzeit. Die Herausforderung dieser Untersuchung: Normalerweise sind Nanopartikel ganz unterschiedlich ausgerichtet, so dass jedes Partikel im Röntgenlicht ein Einzelstreubild erzeugt, und diese Streubilder überlappen dann in unüberschaubaren Mustern. Das Forscherteam züchtete daher Platin-Rhodium-Nanopartikel so auf einem Substrat, dass nahezu alle Partikel dieselbe Ausrichtung und Form hatten. Durch die parallele Anordnung richteten sich auch die Streubilder gleich aus und verstärkten sich. Auf diese Weise konnten die Wissen-

schaftlerinnen und Wissenschaftler die unterschiedlichen Oberflächen der Nanopartikel identifizieren und gezielt beobachten. Es zeigte sich, dass bei einer zu hohen Sauerstoffkonzentration die Wirksamkeit des Katalysators zunächst sank. Auf den Oberflächen der Nanopartikel bildete sich eine dünne, die Reaktion hemmende Oxidschicht. Gleichzeitig stieg aber die Reaktivität an den Kanten, weil sich dort kein geschlossener Oxidfilm bilden konnte. Die Platin-Rhodium-Nanopartikel arbeiten also effizienter, wenn ihre Oberflächen mehr Kanten aufweisen.

Der Abgaskatalysator ist das wohl bekannteste Beispiel, aber in vielen industriellen Prozessen sind Katalysatoren unverzichtbar – von der Umwelttechnik über die Herstellung von Kraftstoffen bis zur Düngerproduktion. Über 80 Prozent aller Chemierzeugnisse werden mithilfe katalytischer Prozesse hergestellt. Daher wollen die Forschenden ihre Erkenntnisse auch auf andere katalytische Reaktionen übertragen und damit deren Effizienz steigern.

Blick in die Nanowelt: Um die Effizienz von Katalysatormaterialien zu untersuchen, verfolgen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Reaktionen auf atomarer Ebene.

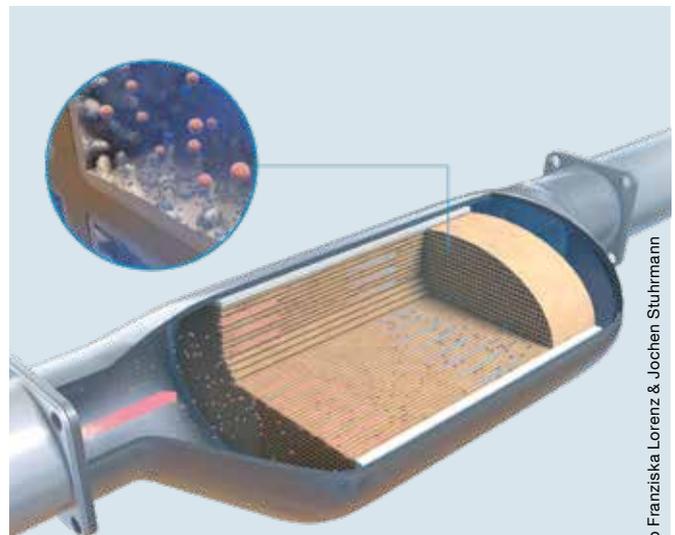


Illustration: Franziska Lorenz & Jochen Stuhmann

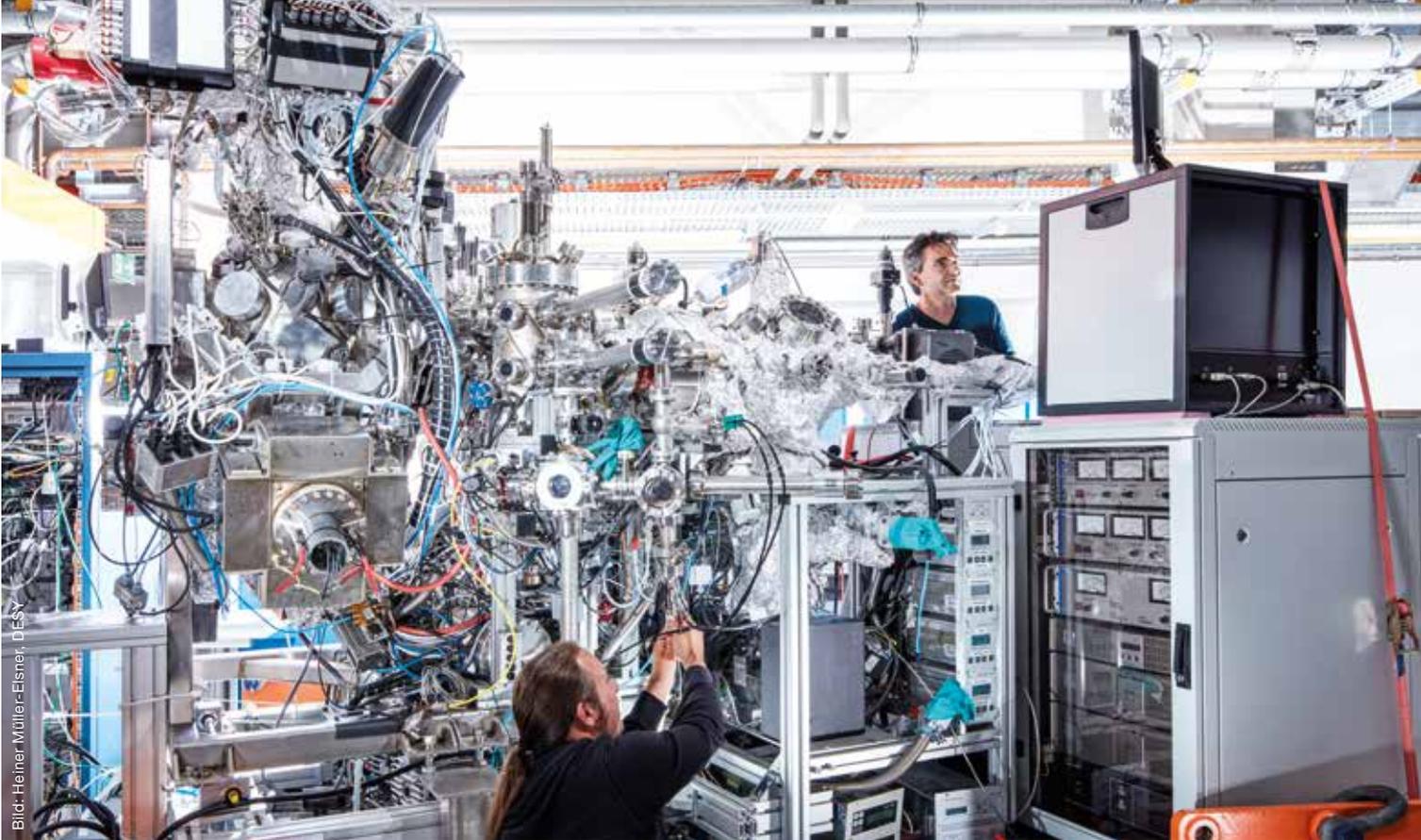


Bild: Heiner Müller-Eisner, DESY

## Flugzeugteile aus dem 3D-Drucker

Der Blick auf die Nanoebene hilft auch bei der Weiterentwicklung einer Technik, die umgangssprachlich unter 3D-Druck bekannt ist. Fachleute sagen dazu „generative Fertigung“ oder „Additive Manufacturing“. Statt mit Tintenstrahl und Papier arbeiten Hightech-Drucker mit Laser und Pulver aus Kunststoff, Gips, Harz oder Metall und bauen daraus in mikrometerdünnen Schichten dreidimensionale Teile auf. Bereits heute lassen sich damit Bauteile wie Turbinen oder Auto- und Flugzeugteile ausdrucken.

Entscheidend für die Qualität des Endprodukts ist das verwendete Material. Bisher nutzen Hersteller dafür meist gängige Zusammensetzungen. Der Nachteil dabei: Diese Legierungen sind nicht für den 3D-Druck optimiert, die gedruckten Bauteile können grobkörnig oder in der Struktur unregelmäßig sein.

Durch Messungen an der vom Helmholtz-Zentrum Geesthacht (HZG) betriebenen Strahlführung P07 konnte ein Team vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) eine Verarbeitungsmethode entwickeln, die die Eigenschaften von gedruckten Bauteilen aus Titan-Legierungen deutlich verbessert. Während der Abkühlung des Materials beim 3D-Druck nahmen die Forschenden Röntgenbeugungs-

muster auf, mit denen sie Grobkörnigkeit und Beschaffenheit des Materials bestimmen konnten. Durch Tests bei verschiedenen Abkühltemperaturen fanden die Forschenden einen Ansatz, um die nächste Generation von Titan-Legierungen und weitere Materialien für den 3D-Druck zu optimieren.

### Originalarbeiten

*Physical Review Letters*, 2018;  
DOI: 10.1103/PhysRevLett.120.126101  
*Nature Communications*, 2018;  
DOI: 10.1038/s41467-018-05819-9

Oberfläche im Visier:  
Bei steigender Konzentration von Sauerstoff (rot) wachsen auf der Katalysatoroberfläche Schichten, die die Umwandlung von Kohlenmonoxid (rot-schwarz) zu Kohlendioxid (rot-schwarz-rot) verhindern.

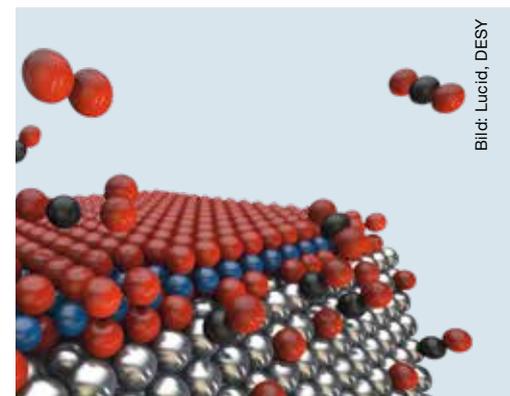


Bild: Lucid, DESY

Exzellente Bedingungen für die Materialforschung: An zahlreichen Messplätzen lässt sich tief in die Materie blicken. An Strahlführung P04 untersuchen Fachleute mit extrem ultravioletter Strahlung beispielsweise die elektronische Struktur von Quantenmaterialien.



# Impulse für Innovationen

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Bereich „Enabling Technologies“ erforschen und entwickeln Technologien, die für die Zukunftsentwicklung unserer Gesellschaft unerlässlich sind. Von der Grundlagen- bis zur angewandten Forschung gibt es eine große Bandbreite von häufig multidisziplinären Ansätzen, die als Ziel haben, die Lebensgrundlagen des Menschen zu verbessern, beispielsweise durch effizientere Energieerzeugung und -speicherung, innovative Materialien oder völlig neue medizinische Methoden. Die breite und anwendungsoffene Grundlagenforschung, wie sie an den Messstationen von PETRA III möglich ist, gibt hierfür entscheidende Impulse.

## 3D-Karte fürs Kleinhirn

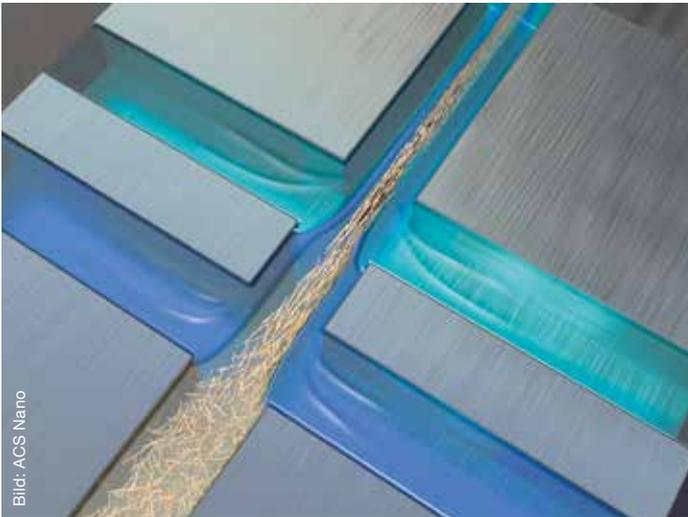
Mithilfe von DESYs Röntgenlichtquelle PETRA III gelang den Forschenden ein aufschlussreicher Blick ins menschliche Hirngewebe. Insbesondere Gewebe geringerer Dichte, wie etwa Nervenzellen,

absorbieren Röntgenstrahlung wenig bis fast gar nicht. Sie sind deshalb im Gegensatz zu Knochen auf konventionellen Röntgenbildern nur schwer zu erkennen. Daher entwickelten Forscherinnen und Forscher der Universität Göttingen eine innovative Methode, die nicht auf die Absorption der Röntgenstrahlung, sondern auf die Brechung oder die Veränderung der Ausbreitungsrichtung der Strahlung in der Probe setzt. Aus den so gewonnenen Bildreihen rekonstruierten sie eine dreidimensionale Elektronendichte des Gewebes und erhielten durch Kombination von Aufnahmen unterschiedlicher Vergrößerungen die Kartierung einer Hirnregion über viele Längenskalen.

Bei seinen Untersuchungen hatte das Forscherteam das menschliche Kleinhirn im Fokus. Dieses nimmt nur einen kleinen Teil des gesamten Hirnapparats ein, jedoch befinden sich im Kleinhirn auf etwa zehn Prozent des Gehirnvolumens rund 80 Prozent aller Nervenzellen. Auf einen Kubikmillimeter können also über eine Million Nervenzellen entfallen. Diese Nervenzellen



Zoom ins Gehirn: Mithilfe von PETRA III lassen sich Nervenzellen (links) im Gehirn des Menschen (rechts) lokalisieren.



Vorbild Natur: Illustration der kontrollierten Strömung und Produktion von Zellulose-Nanofasern

verarbeiten Signale, die vor allem erlernte und unbewusste Bewegungsabläufe steuern. Ihre genauen Positionen und Nachbarschaftsbeziehungen sind aber bislang weitgehend unbekannt. Das könnte sich bald ändern: Mit der neuen Methode und den Messungen an Strahlführung P10 konnten etwa 1,8 Millionen Nervenzellen in der Kleinhirnrinde dargestellt werden.

Diese Kartiertechnik soll zukünftig breiter nutzbar werden: Vergleichbar mit einer interaktiven 3D-Karte wollen die Forschenden in weitere Hirnregionen hineinzoomen und Medizinerinnen und Medizinern helfen, krankhafte Veränderungen bei neurodegenerativen Erkrankungen aufzuspüren und dreidimensional darzustellen. So könnten beispielsweise Veränderungen des Nervengewebes bei Krankheiten wie Multipler Sklerose dargestellt werden.

### Nachwachsende Rohstoffe als umweltfreundliche Werkstoffe

Eine an Strahlführung P03 entwickelte Produktionsmethode ermöglicht es, die Eigenschaften von aus Zellulose-Nanofasern gefertigten Materialien deutlich zu verbessern. Diese Fasern sind – bezogen auf ihr Gewicht – die stärksten natürlichen Fasern. Sie bilden die Grundbausteine von Holz und Pflanzen und werden als Basis für neue Materialien genutzt. Bisher konnten diese überragenden mechanischen Eigenschaften jedoch nicht voll ausgeschöpft werden.

Ein Team der Königlich Technischen Hochschule Stockholm untersuchte nun mithilfe von Analysen an PETRA III die Prozesse, die bei der Produktion des Fadens von Bedeutung sind. Anhand der Ergebnisse ist es ihnen gelungen, die hervorragenden mechanischen Eigenschaften der Nanofasern auf ein makroskopisches Material zu übertragen. Die neue Methode ahmt die Fähigkeit der Natur nach, Zellulose-Nanofasern in nahezu

perfekten Anordnungen zu arrangieren, wie etwa in Spinnfasern. Dadurch werden die Zugfestigkeit und mechanische Belastbarkeit der einzelnen Nanofasern auf den daraus entstehenden makroskopischen Faden übertragen. Der produzierte Faden ist das stärkste Biomaterial, das je gefertigt wurde. Es ist stärker als Stahl und Spinnenseide, die gemeinhin als das stärkste biologische Material gilt. Das neue Material zeichnet sich durch sein geringes Gewicht aus, wird aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt und ist aufgrund seiner biologischen Abbaubarkeit eine besonders nachhaltige Alternative zu Kunststoffen. Das Material könnte in Autos, Möbeln, Flugzeugen und auch in der Biomedizin eingesetzt werden. Auch andere Nanokomponenten sollen mit dieser Methode verbessert werden.

#### Originalarbeiten

PNAS, 2018; DOI: 10.1073/pnas.1801678115  
 ACS Nano, 2018; DOI: 10.1021/acsnano.8b0108

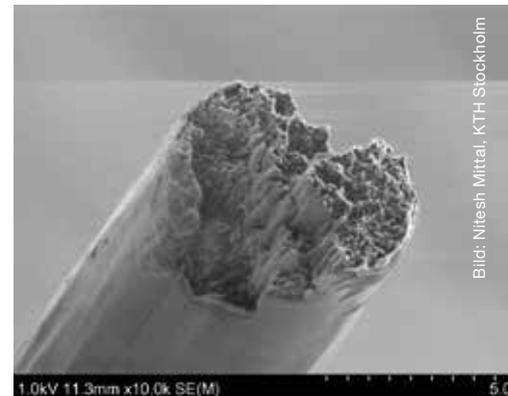


Bild: Nitesh Mittal, KTH Stockholm

Ultrastark und ultraleicht: Die Rasterelektronenmikroskopaufnahme zeigt den auf Basis von Zellulose-Nanofasern produzierten Faden.



# Datenspeicher revolutionieren

Die Nanotechnologie gilt als eine künftige Schlüsseltechnologie. Millionstel Millimeter kleine Bausteine und Strukturen bilden dabei die Basis für extrem schnelle Computer, neue Speichertechnologien und intelligente Werkstoffe. Bei DESY werden Nanomaterialien mithilfe des Röntgenlichts von PETRA III systematisch unter die Lupe genommen.

## Magnetische Wirbel für neue Speicher

Neue Konzepte der magnetischen Datenspeicherung zielen darauf, besonders kleine magnetische Bits in einem Speicherchip dicht gepackt abzuspeichern, diese hin- und herzuschicken und später wieder auszulesen. In einer drahtartigen Struktur, auch „Racetrack“-Speicher genannt, sollen die Bits als Magnetisierungsmuster gespeichert werden. Dort können sie zum Lesen und Schreiben wie auf einer Rennbahn – daher der Name – sehr schnell hin- und hergeschoben

werden. Im Gegensatz zu heutigen magnetischen Festplatten soll das Schreiben und Verschieben der Bits ausschließlich mithilfe sehr kurzer Strompulse geschehen und damit auf den Einsatz beweglicher Teile ganz verzichtet werden. Da sich die „Racetrack“-Drähte wie viele parallele Strohhalme in drei Dimensionen dicht packen lassen, wären so deutlich höhere Speicherdichten möglich.

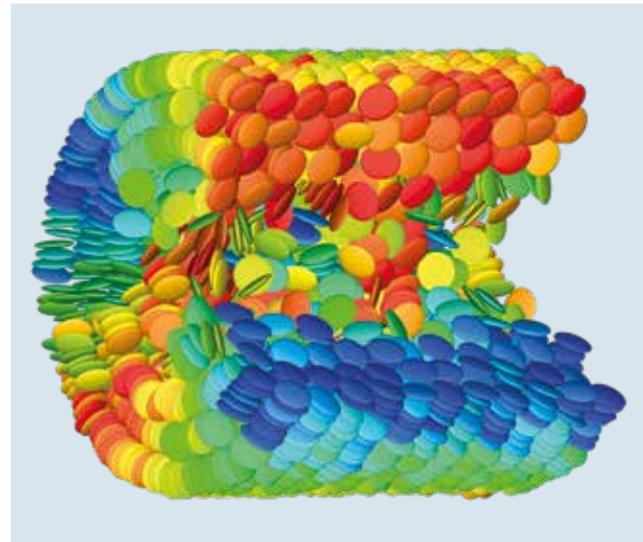
Ein Kandidat für die Darstellung einzelner magnetischer Bits ist das Skyrmion. Dieser nach seinem Entdecker Tony Skyrme benannte zweidimensionale magnetische Wirbel kommt an der Oberfläche oder Grenzfläche dünner Metallfilme vor. Das Skyrmion gehört zu den kleinsten bekannten, stabilen magnetischen Gebilden und kann im Extremfall aus wenigen Atomen bestehen. Skyrmionen faszinieren Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, da sie sich mit elektrischen Strömen verschieben lassen. Ein Skyrmion könnte zukünftig als ein magnetisches Bit in der Datenspeicherung für eine „1“ stehen.

Hochleistungsrechner bei DESY: Schon heute müssen Computer unvorstellbare Mengen an Daten verarbeiten. Zukünftig sollen neue Speichertechnologien und intelligente Werkstoffe helfen, Nutzen aus den gesammelten Informationen zu ziehen.



Bild: Heiner Müller-Eisner, DESY

Ringstruktur in der Nano-welt: Flüssigkeitskristalle verändern sich unter dem Einfluss von Temperatur und bilden damit eine Basis, um neue Materialien zu entwickeln.



Das Problem dabei ist, dass magnetische Streufelder die Herstellung besonders kleiner Bits verhindern. Einem Team von Forscherinnen und Forschern von DESY, der Technischen Universität Berlin, dem Max-Born-Institut (MBI) und dem Massachusetts Institute of Technology (MIT) ist es jedoch gelungen, den Skyrmionen eine Art „Tarnkappe“ aufzusetzen. So können die Bits gleichzeitig klein und dennoch sehr beweglich sein. Trotz der mikroskopischen Größe der Skyrmionen konnten die Forschenden diese kleinen Strukturen an Strahlführung P04 der hochbrillanter Röntgenlichtquelle PETRA III abbilden. Sie bedienten sich dabei der Röntgenholografie, die nur die magnetischen Momente einer einzigen Atomsorte sichtbar macht. Dabei zeigte sich, dass sich die Skyrmionen durch geschicktes Einstellen der Stärke der Tarnkappe so beeinflussen lassen, dass sie sich durch Strompulse besonders schnell bewegen – eine wichtige Eigenschaft für mögliche Anwendungen.

### Selbstorganisiertes Nanomaterial

Eine verblüffende Form von Selbstorganisation in Flüssigkristallen haben Forschende an Strahlführung P08 untersucht. Flüssigkristalle bestehen aus langgestreckten Molekülen, die sich in unterschiedlichen Konfigurationen räumlich anordnen lassen und dann den Eindruck verschiedener Farben oder Helligkeiten vermitteln. Diese Eigenschaften prädestinieren sie für den Einsatz in Fernseh- und Tablet-Bildschirmen, aber auch in Speichersystemen von Computern.

Ein Team unter Leitung der Technischen Universität Hamburg füllte Flüssigkristallmoleküle in zylindrische Nanoporen und erhitze sie anschließend. Beim Abkühlen formten sich innerhalb der Poren schrittweise Molekülröhren, die bisher unbekannt waren. Mithilfe von PETRA III konnte dieser Prozess in Abhängigkeit der Temperatur präzise beobachtet werden. Das Besondere dieser neuen Anordnung ist, dass sich die neuen Eigenschaften der Flüssigkristalle mit dem Entstehen der Molekülsäulen ändern. Die Daten bilden eine Basis für die Entwicklung ganz neuer Materialien mit optischen Eigenschaften, die sich durch die Temperatur steuern lassen.

#### Originalarbeiten

*Nature Technology*, 2018;  
 DOI: 10.1038/s41565-018-0255-3  
*Physical Review Letters*, 2018;  
 DOI: 10.1103/PhysRevLett.120.067801

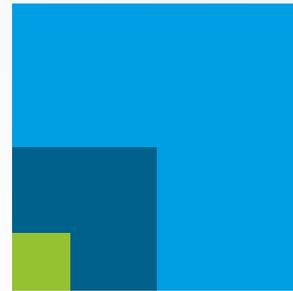
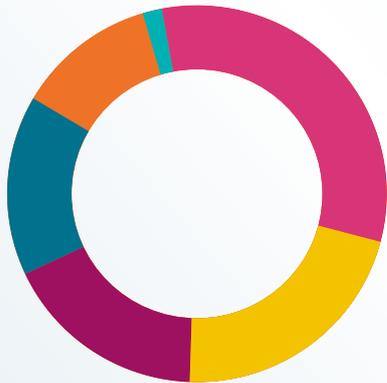


Ob Computer, Fernseher oder Tablet: Flüssigkristalle sind aus unserem heutigem Leben kaum noch wegzudenken.

# Forschung mit Strahlkraft

Expertinnen und Experten aus allen Disziplinen und aller Welt nutzen PETRA III als Werkzeug für ihre Experimente. Sie betreiben an DESYs brillanter Röntgenlichtquelle exzellente Grundlagenforschung und entwickeln innovative und interdisziplinäre Ansätze mit hohem Transferpotenzial.

## PETRA III-Forschungsfelder



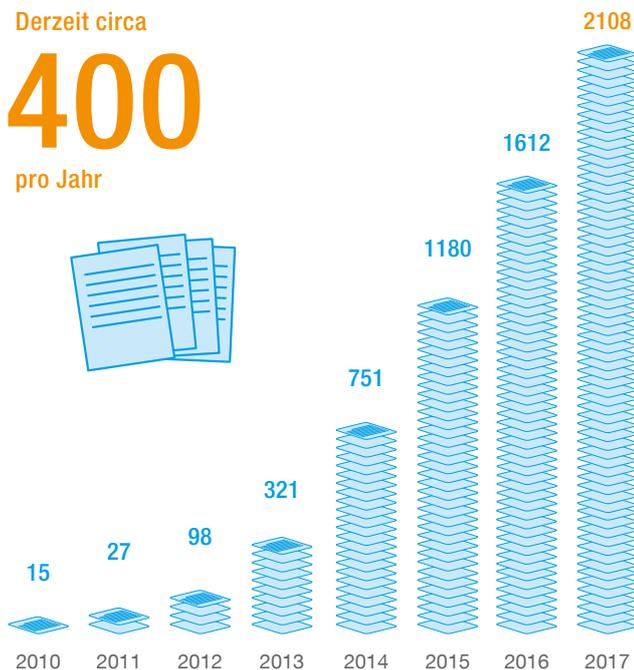
- 21 % Energie
- 16 % Erde und Umwelt
- 32 % Gesundheit
- 2 % Transport und Raumfahrt
- 12 % Enabling Technologies
- 17 % Schlüsseltechnologien
- 74 % Grundlagenforschung
- 22 % Angewandte Wissenschaften
- 4 % Industriell relevant

## PETRA III-Publikationen in referierten Fachjournalen (aufaddiert)

Derzeit circa

# 400

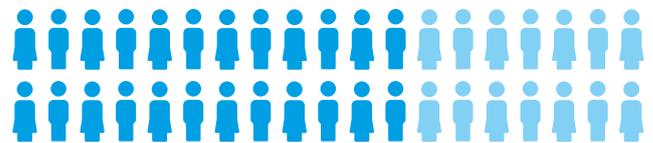
pro Jahr



PETRA III-Nutzerbetrieb seit 2010

## Nutzerinnen und Nutzer

# 2700



aus  
**40**  
Nationen

Etwa 55 % Nutzerinnen und Nutzer aus dem Inland

Etwa 45 % Nutzerinnen und Nutzer aus dem Ausland

# <1-6

Tage typische Aufenthaltsdauer



## Strahlführungen



20

Strahlführungen

Zurzeit werden 20 Strahlführungen parallel genutzt und führen die Synchrotronstrahlung zu den 41 Messstationen. Weitere Strahlführungen sind im Aufbau (maximal werden es 26 sein).

## Strahlzeit

circa  
5000

Stunden pro Jahr  
und Strahlführung



Circa 5000 Stunden Strahlzeit pro Jahr gleichzeitig an jeder der 20 Strahlführungen.

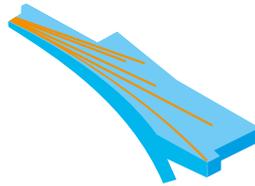
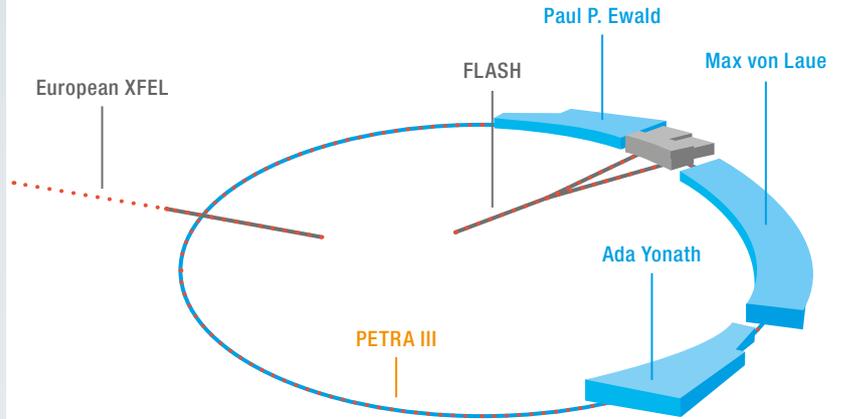
## Atomare Auflösung mit PETRA III



PETRA III ist besonders geeignet für Experimente, bei denen im Mikrometerbereich eine atomare Auflösung benötigt wird, wie beispielsweise in den Materialwissenschaften oder der Strukturbiologie.

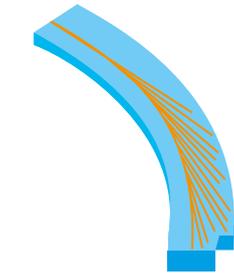
## PETRA III-Experimentierhallen

Drei große Experimentierhallen gruppieren sich am 2304 Meter langen PETRA-Speicherring. Hier wird die Synchrotronstrahlung über die Strahlführungen zu den Messplätzen geleitet.



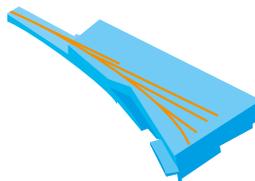
### Experimentierhalle „Paul P. Ewald“

Die PETRA III-Experimentierhalle „Paul P. Ewald“ bietet Platz für 6 Strahlführungen, davon sind derzeit 2 mit insgesamt 2 Messstationen in Betrieb, weitere sind im Aufbau.



### Experimentierhalle „Max von Laue“

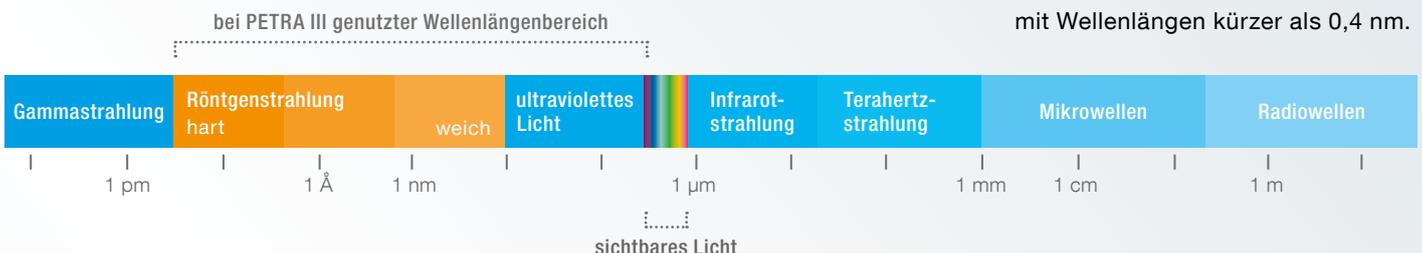
Die größte, 300 Meter lange PETRA III-Experimentierhalle „Max von Laue“ umfasst eine 7000 Quadratmeter große Experimentierfläche mit insgesamt 15 Strahlführungen. Zusammen mit dem Helmholtz-Zentrum Geesthacht (HZG), dem Europäischen Laboratorium für Molekularbiologie (EMBL) und Max-Planck-Instituten betreibt DESY 35 Messstationen.



### Experimentierhalle „Ada Yonath“

Die PETRA III-Experimentierhalle „Ada Yonath“ bietet Platz für 5 Strahlführungen, davon sind derzeit 3 mit insgesamt 4 Messstationen in Betrieb, weitere kommen in Kürze hinzu.

## Wellenlängenspektrum der Synchrotronstrahlung



PETRA III ist optimiert für energie-reiche (harte) Röntgenstrahlung mit Wellenlängen kürzer als 0,4 nm.



# Messzeitzugang bei PETRA III

Anwenderinnen und Anwender aus Wissenschaft und Industrie nutzen die DESY-Lichtquelle PETRA III für ihre Untersuchungen. Sie bekommen bei DESY dafür ein umfangreiches Leistungsangebot: Unterstützung von erfahrenen DESY-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftlern an den Messplätzen, Zugang zu Chemie-, Biologie- und anderen Laboren wie dem DESY NanoLab für die Probenpräparation, Nutzung der DESY-IT-Infrastruktur zur Speicherung von Messdaten sowie des Gästeservices auf dem DESY-Campus, darunter Hostel, Bistro, Bibliothek und Hilfe bei Visa-Angelegenheiten.

Die wissenschaftliche Nutzung von PETRA III ist kostenfrei, sofern die erzielten Ergebnisse veröffentlicht werden. Akademische Nutzerinnen und Nutzer müssen für jedes geplante Experiment einen Forschungsantrag stellen. Zweimal im Jahr besteht die Möglichkeit, diese Anträge einzureichen. Die Antragsfristen enden jeweils am 1. März und 1. September. Die Forschungsprojekte

**„Anträge für Messzeit bei PETRA III werden von unabhängigen Experten begutachtet und nach wissenschaftlicher Exzellenz vergeben. So können weltweit Forscherinnen und Forscher mit herausragenden Ideen die besonderen Experimentiermöglichkeiten bei PETRA III nutzen.“**

werden zuerst DESY-intern auf Machbarkeit und Einhaltung der DESY-Richtlinien und der geltenden Sicherheitsregelungen geprüft. Anschließend durchlaufen die Anträge ein „Peer-Review“-Verfahren, in dem internationale Expertinnen und Experten sie auf ihre wissenschaftliche Exzellenz, die erwarteten Ergebnisse und die Notwendigkeit der Nutzung der gewählten Strahlführung prüfen. Auf Basis dieser Empfehlungen und der insgesamt verfügbaren Strahlzeit werden anschließend die Messzeiten vergeben. Aufgrund der hohen



**Christian Schroer**  
Wissenschaftlicher Leiter von PETRA III

Blick in die Experimentierhalle „Max von Laue“: Auf einer Länge von 300 Metern befinden sich 15 Strahlführungen mit insgesamt 35 Messstationen.



Bild: D. Altrath, DESY

Vorbereitung einer Messung am PETRA III-Messplatz P06, der auch zur Nanoskopie mit Röntgenstrahlung genutzt wird.



Bild: Heiner Müller-Elsner / DESY

Nachfrage kann die Strahlzeit nicht für alle vielversprechenden Projekte garantiert werden. Die einzelnen Strahlführungen sind in der Regel um einen Faktor 2 bis 4 überbucht.

*Interessierte Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler können Messzeitanträge über DOOR (DESY Online Office for Research with Photons <https://door.desy.de>) online einreichen. Weitere Informationen, auch zu den Experimenten, finden sich unter: [http://photon-science.desy.de/facilities/petra\\_iii/index\\_eng.html](http://photon-science.desy.de/facilities/petra_iii/index_eng.html)*

Für industrielle Anwenderinnen und Anwender bietet DESY einen flexiblen und direkten Zugang zu den Strahlführungen von PETRA III an. Die Abteilung Innovation und Technologietransfer (ITT) entwickelt je nach wissenschaftlicher oder technischer Fragestellung maßgeschneiderte, individuelle Dienstleistungen. Machbarkeitsstudien werden kostenlos durchgeführt, weiterführende Untersuchungen werden individuell je nach Bedarf und Aufwand angeboten. Die Durchführung eines wissenschaftlichen „Peer-Review“-Verfahrens ist nicht erforderlich. Alle Anfragen werden vertraulich behandelt.

*Industrieunternehmen können ihre Anfragen zur Messzeit direkt an die Abteilung Innovation und Technologietransfer (ITT) bei DESY richten: [innovation@desy.de](mailto:innovation@desy.de)*

**„Ich forsche zu Grenzflächen, beispielsweise von Flüssigkeiten. Für diese Untersuchung sind die Strahleigenschaften von PETRA III besonders gut geeignet, damit kann ich die Proben aus verschiedensten Richtungen untersuchen und so ein vollständiges Bild gewinnen.“**



**Bridget Murphy**  
Wissenschaftlerin der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Vorsitzende des Komitees für Forschung mit Synchrotronstrahlung

### Messzeiten für den wissenschaftlichen Nachwuchs

DESY bietet dem Nachwuchs eine internationale und interdisziplinäre Umgebung für einzigartige wissenschaftliche Projekte. So führen an PETRA III Promovierende von Hochschulen und Forschungszentren aus dem In- und Ausland Messungen durch, die das Fundament ihrer Doktorarbeiten bilden. Sie sind dabei in exzellente Forschungsteams eingebunden und können mit den herausragenden Messmöglichkeiten maßgeblich zur Erforschung aktueller Fragestellungen beitragen. Außerdem gibt es an PETRA III in Zusammenarbeit mit anderen europäischen Röntgenquellen zahlreiche Fortbildungsangebote, wie beispielsweise die „HERCULES School“, ein einmonatiges Programm für Promovierende und junge Forschende aus ganz Europa. Und auch schon in früheren Phasen der akademischen Ausbildung geben die Forschungsmöglichkeiten an DESYs Großgeräten wie PETRA III wichtige Impulse für die Entwicklung von Nachwuchswissenschaftlerinnen und Nachwuchswissenschaftlern, wie im „DESY Summer Student Programme“. Darüber hinaus bietet PETRA III für eine Vielzahl technischer Berufe ein außergewöhnliches Ausbildungs- und Arbeitsumfeld.



# Innovationstreiber: PETRA III für industrielle Anwendungen

Messungen an PETRA III liefern forschenden Unternehmen entscheidende Informationen und Daten, um ihre Materialien oder Wirkstoffe besser zu verstehen und Herstellungsprozesse zu optimieren. In den vergangenen Jahren führten industrielle Anwenderinnen und Anwender in allen sechs großen Schwerpunktbereichen von PETRA III Untersuchungen durch, darunter Messungen im Bereich neuer Materialien und Wirkstoffe, sauberer Energiegewinnung und der Informationstechnologie. Der Bedarf kommt aus verschiedensten Branchen, wie der Chemie- oder Pharmaindustrie, der Automobilindustrie, der Luft- und Raumfahrt oder der Elektroindustrie.

Untersuchungen an PETRA III unterstützen Innovationszyklen der Industrie und optimieren damit eine große Bandbreite der industriellen Wertschöpfungskette.

Neben der Nutzung von Strahlzeit entstehen durch den Bau und den langfristigen Betrieb sowie die Weiterentwicklung der Experimentierstationen neue Technologielösungen. Daher sind Wissens- und Technologietransfer, Kooperationen mit der Industrie und Lizenzierungen bis hin zu Ausgründungen aus dem Forschungsbetrieb wichtige Interaktionen mit einer Vielzahl von Industrieunternehmen.

## Energiegewinnung und -speicherung

Leistungsfähige Energiespeichersysteme sind für das moderne Leben unverzichtbar. Für den Zukunftssektor Elektromobilität bekommen diese immer mehr Bedeutung. Lebensdauer, Ladezeiten und Kapazität sind dabei bisher begrenzende Faktoren. Synchrotronstrahlung kann hier unter realitätsnahen Bedingungen entscheidende Erkenntnisse liefern, um die Weiterentwicklung, Effizienzsteigerung und Optimierung voranzubringen.

Ein hohes Anwendungspotenzial für PETRA III ist zudem auch in Untersuchungen für die Weiterentwicklung von Photovoltaik-Anlagen gegeben. Das Beispiel „Organische Solarzellen optimieren“ (Seite 8) zeigt dies sehr eindrucksvoll.

## Chemie und Kunststoffe

Wie lassen sich Gummi oder Kunststoff so verbessern, dass Dichtungsringe eine längere Lebensdauer mit erhöhter Sicherheit aufweisen? Dies ist nur ein Beispiel für eine Vielzahl an Fragestellungen, zu der die Chemie- und Kunststoffindustrie Erkenntnisse bei PETRA III gewinnt. Das hochenergetische und fokussierte Röntgenlicht liefert entscheidende Einsichten für die Bearbeitung vieler Fragen. So führten Industriekunden an den Experimentierstationen von PETRA III bereits verschiedene Untersuchungen durch – von Studien an Polymerstrukturen bis hin zur Beobachtung von Aushärtungsprozessen kristalliner Materialien.

## Landwirtschaft und Nahrungsmittelindustrie

Wie lassen sich Düngemittel verbessern, damit Pflanzen ideal wachsen und sich auch der Einsatz von Düngemitteln insgesamt reduzieren lässt? Dieser Frage können Hersteller mithilfe der Mikrofluoreszenzspektrometrie nachgehen und exakt nachweisen, wo und wie viele Spurenelemente in Blättern oder anderen Pflanzenteilen stecken. Der Vorteil: Optimierte Düngemittel sparen nicht nur Kosten. Sie verhindern auch, dass Pflanzen und Böden überdüngt werden und sich zu viel Nitrat im Grund- und Trinkwasser anreichert.

„Ein Kernpunkt unserer Innovationsstrategie ist es, ein verlässlicher und interessanter Partner für forschende Unternehmen zu sein. Aus diesem Grund greifen wir die Herausforderungen der Wirtschaft auf und verzahnen sie mit den Methoden der Wissenschaft.“



**Arik Willner**

Bevollmächtigter des Direktatoriums für Innovation, Chief Technology Officer (CTO)

An der PETRA III-Strahlführung P11 für Bio-Imaging und Diffraktion stellt ein Wissenschaftler den automatisierten Probenroboter ein.



### Pharma, Life Sciences und Biotech

Bei der Entwicklung oder Verbesserung von Medikamenten spielt PETRA III immer öfter eine wichtige Rolle. Mithilfe der Proteinkristallografie können beispielsweise die atomaren Strukturen von Proteinen bestimmt werden. Diese stellen die Grundlage für die Entwicklung neuer, maßgeschneiderter Wirkstoffe zur Bekämpfung von Krankheiten dar.

### Automobil- und Luftfahrtindustrie

Für den Flugzeug- und Automobilbau werden besonders leichte Materialien und additive Produktionsverfahren wie der 3D-Druck immer wichtiger. Bevor Hersteller jedoch neue Materi-

„Wir stellen eine Rundum-Betreuung von Industriekunden sicher und arbeiten immer flexibel und lösungsorientiert.“

alien nutzen können, müssen diese zuvor intensiv geprüft und getestet werden. Messungen an PETRA III bringen kleinste Fehler, Unregelmäßigkeiten oder Risse ans Licht und beantworten gleichzeitig die Frage, wo und warum ein Materialfehler auf mikroskopischer Ebene entsteht.



**Sabine Jähmlich**

Industry Relations Manager bei DESY

## PETRA III als Technologietreiber: Sensorik

Was sind die Eigenschaften von magnetischen ultradünnen Schichten? Dies war die ursprüngliche Frage, mit der DESY-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler an Strahlführung P01 bei PETRA III Experimente unternommen haben. Heute ist aus dieser Forschungsfrage ein von der Helmholtz-Gemeinschaft gefördertes Validierungsprojekt für Magnetosensoren mit einem Industriepartner geworden – ein Paradebeispiel für die industrielle Anwendbarkeit von Erkenntnissen aus der Grundlagenforschung.

Modernes Leben wäre ohne Sensoren nicht denkbar: elektronische Systeme, Automatisierung von Produktionsstraßen, Positionsbestimmung, das Auslesen von auf

Festplatten gespeicherten Informationen oder die aktive Sicherheit im Automobilbereich sind nur einige Anwendungen. Mikrostrukturierte Magnetosensoren haben die Mess- und Informationstechnik revolutioniert. Für ihre Erkenntnisse, auf denen die Arbeitsweise dieser Sensoren beruht, erhielten Peter Grünberg und Albert Fert 2007 den Physik-Nobelpreis.

Im Gegensatz zu herkömmlichen Magnetosensoren birgt ein von DESY entwickelter Produktionsprozess den Vorteil, dass gewünschte Messeigenschaften der Sensoren leicht durch eine definierte Schrägstellung während ihrer Beschichtung realisiert und erstmals maßgeschneidert an die Messaufgaben angepasst werden können. Die bisher erforderliche aufwendige Veränderung des Sensorschichtsystems und

damit teure Modifikation des Produktionsprozesses entfallen.

DESY hält heute ein Patent für den Herstellungsprozess im definierten schrägen Einfall und hat zusätzliche Patente für eine Produktionsvorrichtung (Vakuumbeschichtungskammer) sowie zur weiteren Verbesserung der Sensoreigenschaften angemeldet. Die Vermarktung dieser Technologie wird von DESY aktiv betrieben.

Blick in die DESY-eigene Vakuumbeschichtungskammer: Hier können Expertinnen und Experten die Eigenschaften von Magnetosensoren bestimmen und anpassen.

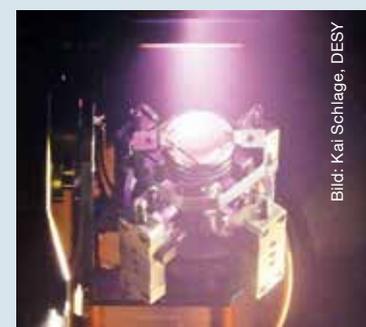


Bild: Kai Schlage, DESY

# Ausblick in die Zukunft

PETRA III bietet an über 20 Strahlführungen mit mehr als 40 hochmodernen Messstationen einzigartige Experimentiermöglichkeiten mit hartem, also energiereichem Röntgenlicht für interdisziplinäre Forschungsprojekte. Zusammen mit den Freie-Elektronen-Lasern FLASH bei DESY und dem European XFEL sowie einer leistungsfähigen Infrastruktur bietet DESY Nutzerinnen und Nutzern einzigartige Möglichkeiten zur Untersuchung von Struktur, Dynamik und Funktion von Materialien und Wirkstoffen.

Als international führendes Zentrum der Forschung mit Photonen entwickelt DESY seine leistungsfähigen Angebote und Dienstleistungen zur Lösung der großen Herausforderungen unserer Zeit bedarfsgerecht weiter: Die Messplätze an PETRA III werden kontinuierlich ausgebaut und die Instrumentierung weiterentwickelt.

Durch diese verbesserten Mess- und Detektortechnologien fallen zukünftig deutlich größere Datenmengen an. Daher wird es notwendig sein, Nutzerinnen und Nutzer stärker bei der Auswertung zu unterstützen. Um den datenintensiven Anwendungen der Experimente an PETRA III gerecht zu werden, ist auf dem Campus in

Hamburg ein neues Centre for Data and Computing Science (CDCS) geplant. Für die Probenpräparation stehen die modernen Labore des DESY NanoLabs zur Verfügung.

Um der schnell voranschreitenden Entwicklung der Synchrotronstrahlungsanlagen gerecht zu werden, plant DESY bereits heute den Ausbau der bestehenden Röntgenstrahlungsquelle PETRA III zu dem einzigartigen 3D-Röntgenmikroskop PETRA IV „Next Generation“. Diese Lichtquelle soll den Röntgenblick entscheidend schärfen – PETRA IV wird hundertmal detailreichere Bilder von Strukturen und Abläufen im Nanokosmos liefern, als es heute möglich ist. Die hundertfach höhere Brillanz macht zeitliche Abläufe und Prozesse sichtbar, wo bisher nur statische Systeme untersucht werden können. Damit können molekulare Strukturen in ihrer Umgebung untersucht werden.

Die neue Anlage soll innerhalb des vorhandenen PETRA-Ringtunnels gebaut und die Strahlführungen angepasst und erweitert werden. Läuft alles nach Plan, können Nutzergruppen im Jahr 2027 mit ersten Experimenten an der dann weltbesten Strahlungsquelle PETRA IV beginnen.

Zukunftsperspektive: Rund um den DESY-Campus in Hamburg sollen bis zum Jahr 2040 neue Anlagen, Zentren und Forschungsgebäude entstehen.



Bild: Spengler/Wieschollek Architekten Stadtplaner, WES GmbH Landschaftsarchitekten, Urban Catalyst GmbH Visualisierung: Woka-studio, Luftbild: Matthias Friedel

## Titelbild

In der neuen PETRA III-Experimentierhalle „Ada Yonath“ untersuchen Forschergruppen an Strahlführung P22 mithilfe von Photoelektronenspektroskopie mit Röntgenstrahlung (HAXPES) die elektronische Struktur von Festkörpern im Detail.

## Deutsches Elektronen-Synchrotron Ein Forschungszentrum der Helmholtz-Gemeinschaft

Die Helmholtz-Gemeinschaft hat die Aufgabe, langfristige Forschungsziele des Staates und der Gesellschaft zu verfolgen, einschließlich Grundlagenforschung, in wissenschaftlicher Autonomie. Dazu identifiziert und bearbeitet sie große und drängende Fragen von Gesellschaft, Wissenschaft und Wirtschaft durch strategisch-programmatisch ausgerichtete Spitzenforschung. Mit mehr als 39 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern und einem Jahresbudget von 4,5 Milliarden Euro ist die Helmholtz-Gemeinschaft die größte Wissenschaftsorganisation Deutschlands.

**HELMHOLTZ**  
SPITZENFORSCHUNG FÜR  
GROSSE HERAUSFORDERUNGEN

[www.helmholtz.de](http://www.helmholtz.de)

## Impressum

**Herausgeber:** Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY  
Ein Forschungszentrum der Helmholtz-Gemeinschaft

**Redaktionsschluss:** März 2019  
[www.desy.de](http://www.desy.de)

## Standort Hamburg

Notkestraße 85  
22607 Hamburg  
Tel. +49 40 8998-0  
Fax +49 40 8998-3282  
[desyinfo@desy.de](mailto:desyinfo@desy.de)

## Standort Zeuthen

Platanenallee 6  
15738 Zeuthen  
Tel. +49 33762 7-70  
Fax +49 33762 7-7413  
[desyinfo-zeuthen@desy.de](mailto:desyinfo-zeuthen@desy.de)