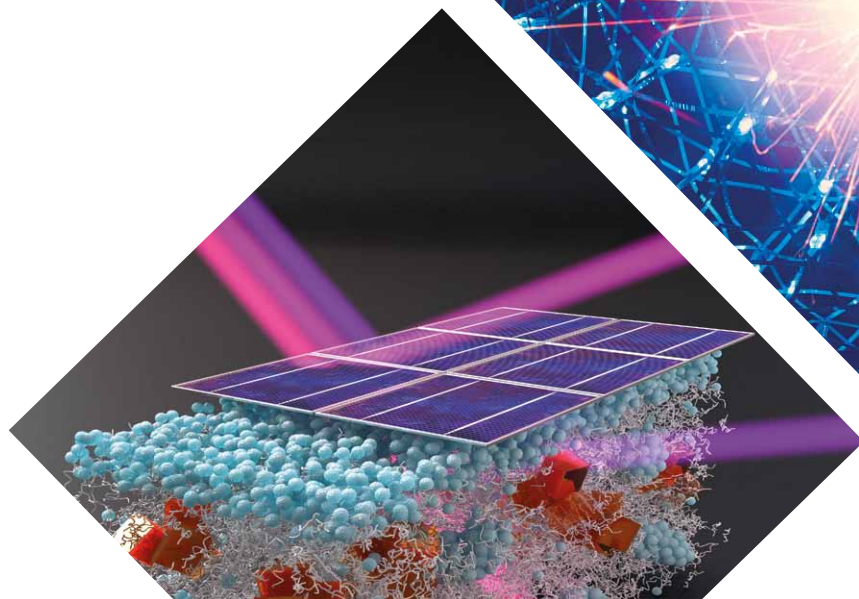
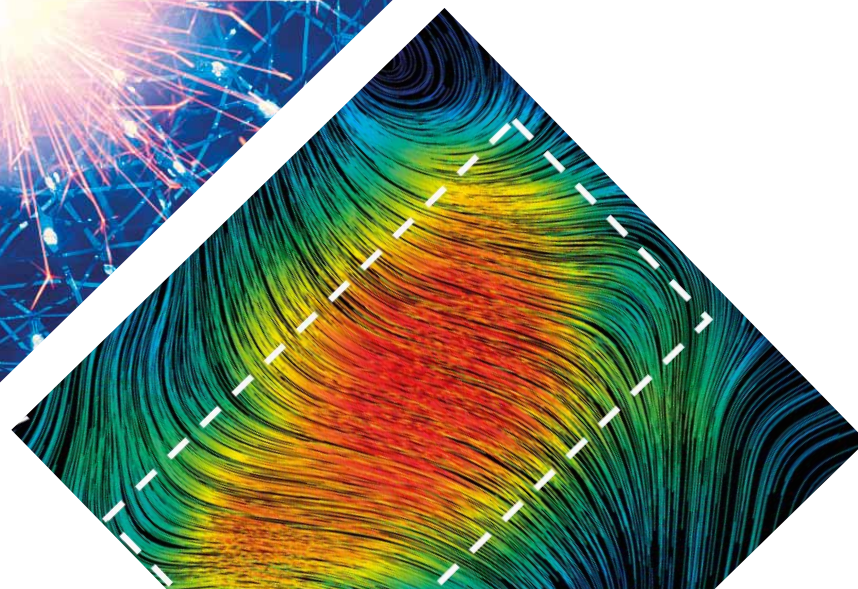
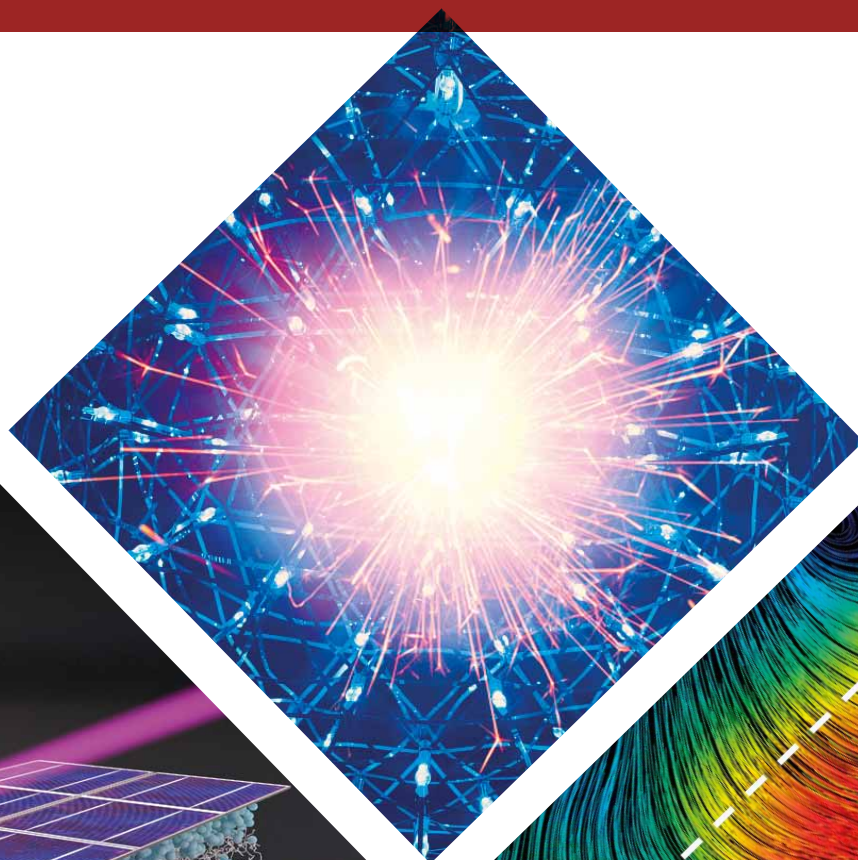
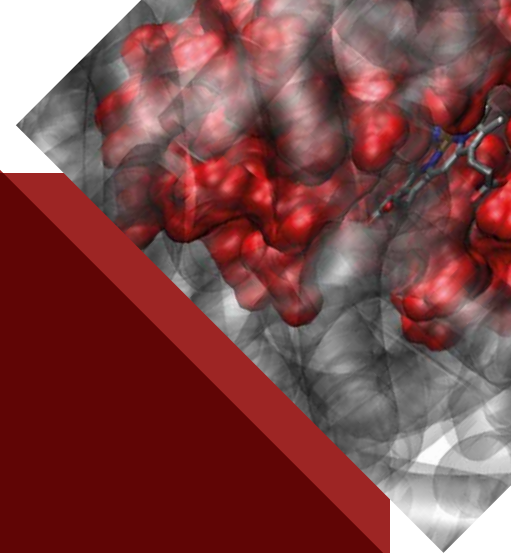


NEUTRONENFORSCHUNG IN DEUTSCHLAND

FÜR WISSENSCHAFT UND GESELLSCHAFT
PERSPEKTIVEN UND EMPFEHLUNGEN 2020
KOMITEE FORSCHUNG MIT NEUTRONEN



INHALT

Missionen der EU – 04

Unverzichtbare Methode – 06

Forschung mit Neutronen in Deutschland – 08

Empfehlungen des KFN – 10

Forschungsfelder – 12

Materialentwicklung

Biologie und Gesundheit

Energie und Umwelt

Teilchen und Universum

Geowissenschaften | Kultur- und Naturerbe

Neutronenquellen – 26

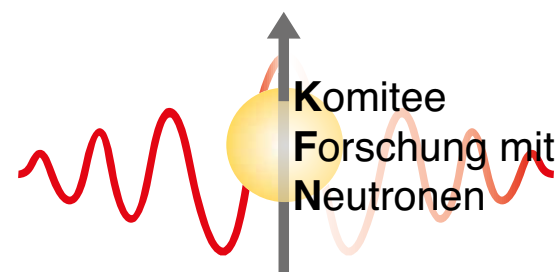
Methoden und Instrumente – 28

Digitale Transformation – 32

Forschung braucht Menschen – 34

Die Zukunft der Neutronenforschung – 38

Bildnachweis | Impressum – 40



Missionen der EU

Lösungen für schwierige Aufgaben

Neutronen helfen die Welt zu verstehen und nachhaltig zu gestalten

Neutronen erlauben einzigartige Einblicke in Materie und biologische, chemische und physikalische Prozesse. Nur aus diesen lassen sich die dringend benötigten Techniken entwickeln, um die Probleme der Gesellschaft nachhaltig zu lösen.

Klimawandel und soziale Transformation

Neutronenforschung ist besonders stark, wenn magnetische Phänomene, leichte Elemente oder große Volumina eine Rolle spielen: Sie ist unentbehrlich für das Verständnis von modernen Hochleistungsmaterialien für die Energiewende, Spintronik weist den Weg zu energiesparender Datenverarbeitung, moderne Energiequellen und –speicher werden entwickelt und Treibhausgasquellen und –senken erforscht. Und ForscherInnen sind Vorbild für die Gesellschaft, weil sie sich Veränderungen aktiv anpassen und über Grenzen kooperieren. – siehe z. B. Seite 14, 20

Intelligente Städte

Im Zusammenspiel mit anderen Methoden trägt Neutronenforschung zur Entwicklung von Materialien und Prozessen bei, die den Energie-, Wärme- und Lufthaushalt in den Städten verbessern. Moderne Photovoltaik, Elektromobilität und klimaneutrale Baustoffe gehören dazu. – siehe z. B. Seite 14, 20

Krebs

Für die Behandlung von bestimmten Krebsarten wird Neutronen-Einfang-Therapie sehr erfolgreich angewendet. Die Erforschung von biologischen Prozessen und Strukturen ist Grundlage für neue Medikamente auch gegen Krebs, wie z. B. krebsart-spezifische Proteine. – siehe z. B. Seite 18

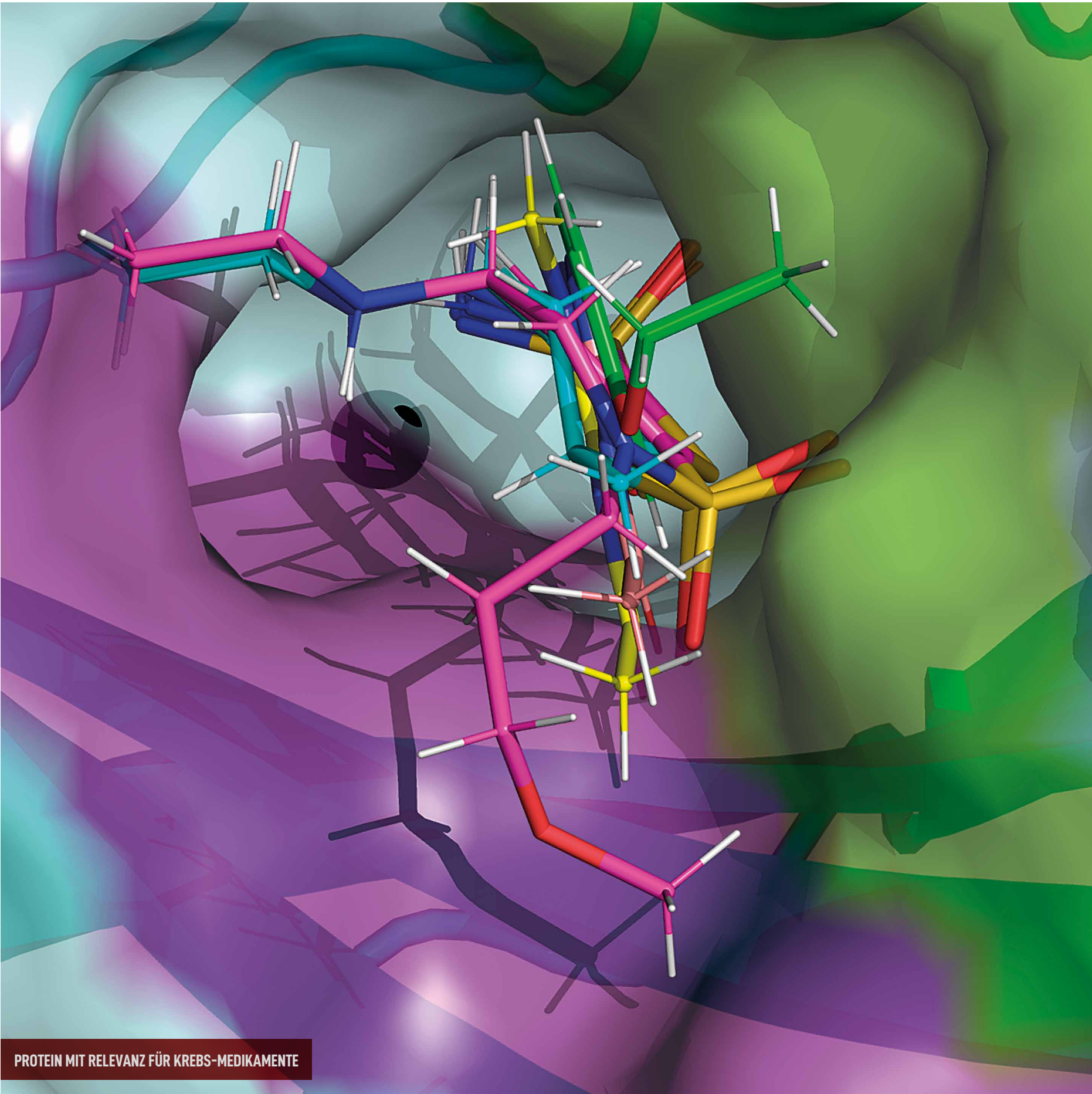
Bodengesundheit und Nahrung

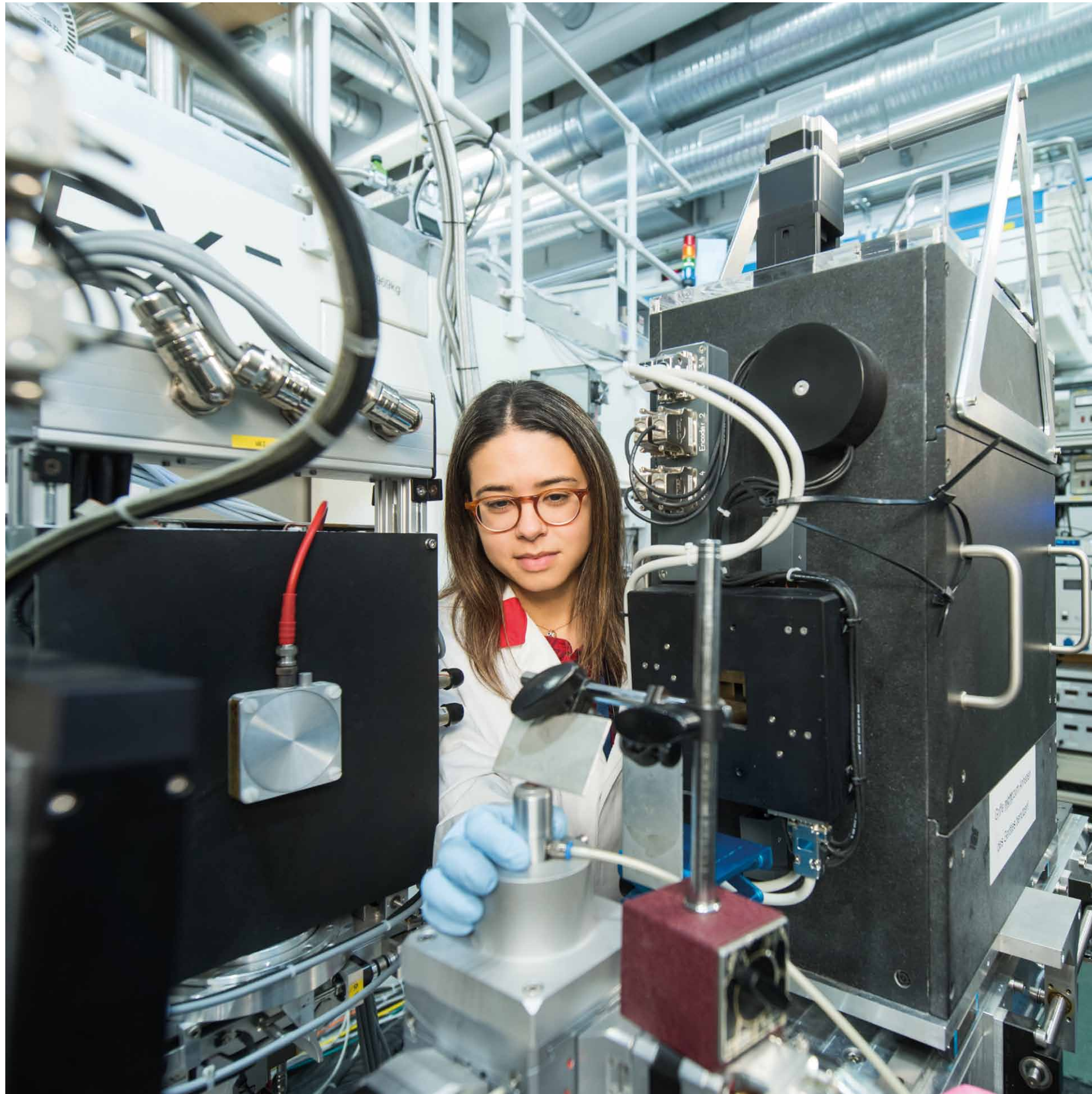
Bildgebende Neutronenverfahren lassen uns die Struktur und den Wasserhaushalt unserer Böden verstehen und damit besser beeinflussen. Neutronenaktivierungsanalyse liefert eine hervorragende Möglichkeit, zerstörungsfrei die Elementzusammensetzung von geologischen Proben zu ermitteln. Dies wird vielfach in der Schwermetall-Spurenanalytik in Trinkwasserproben eingesetzt, ist aber auch von besonderem Interesse bei einzigartigen Materialien, wie sie z. B. bei Meteoriten vorliegen. – siehe z. B. Seite 14, 24

Gesunde Ozeane, Küsten- und Inland-Gewässer

Polymere, Schäume und Nanopartikel sind klassische Untersuchungsobjekte der Neutronenforschung. Wie verhalten sich solche Kunststoffe in Gewässern, was passiert bei Alterung und Zerfall? Auch im Kampf gegen Umweltgifte helfen Neutronen, geringste Spuren chemischer Stoffe werden durch Neutronenaktivierung nachgewiesen. – siehe z. B. Seite 18, 24

Die Europäische Kommission hat für ihr neues Forschungs- und Entwicklungsprogramm Schwerpunkte gesetzt, um die Förderung auf wichtige Herausforderungen der Gesellschaft sinnvoll zu fokussieren. Das KFN empfiehlt, dass sich Forschung mit Neutronen entsprechend dieser Schwerpunkte ihrer Verantwortung gegenüber der Gesellschaft stellt, sowohl in direkter Anwendung als auch in der Grundlagenforschung.





Unverzichtbare Methode

Neutronen sind einzigartig

Alternativlose Methode

Neutronen sind eine einzigartige Sonde zur Erforschung von Materie, die die beiden zentralen Fragen beantworten kann, „wo Atome sind“ und „was Atome tun“, wie es in der Würdigung des Nobelpreises 1994 an C. G. Shull und B. N. Brockhouse für ihre Experimente mit Neutronenstreuung heißt. Neutronen sind aufgrund ihrer grundlegenden Merkmale komplementär zu Photonen und deshalb völlig alternativlos.

Strukturaufklärung auf Längenskalen von Zentimetern bis Sub-Nanometern und Aufklärung von Bewegungsmoden über eine Zeitskala von Sekunden bis Sub-Pikosekunden – diese Eigenschaften machen Neutronen zu einem wichtigen Werkzeug, um Fragestellungen aus einer Vielzahl von Wissenschaftsbereichen zu beantworten, die sich von der Grundlagenforschung bis zur Industrieforschung erstrecken:

Magnetismus

Unser heutiges Verständnis des Magnetismus beruht zum überwiegenden Teil auf Experimenten mit Neutronen, da diese für die Abbildung magnetischer Felder konkurrenzlos sind – aufgrund ihres eigenen magnetischen Momentes. Heute werden topologische Strukturen, unkonventionelle Supraleitung und völlig unerwartete Grundzustände erforscht, deren Anwendungen nicht nur die Informationstechnologie revolutionieren.

Materialeigenschaften

Neutronen dringen tief in Materie ein und können damit ganze Bauteile durchstrahlen. Sie tragen so zu unserem Verständnis vom inneren Aufbau von komplexen Werkstücken und zur Materialentwicklung bei.

Dynamik von Materie

Untersucht man den direkten Einfluss der Atombewegungen auf die Eigenschaften von Substanzen, kann man Materialien gezielt optimieren. Neutronen sind dafür bestens geeignet, weil sie an den Atomkernen streuen. Deshalb lassen sich auch komplizierte Zusammenhänge verstehen, z.B. wenn sich die Atombewegungen nicht mit einfachen Modellen beschreiben lassen.

Biologische „Brille“

Die Sensitivität der Neutronen für leichte Elemente und die Möglichkeit, leichten und schweren Wasserstoff in Experimenten zu unterscheiden, machen Neutronen zu einer einzigartigen Methode, um biologische Fragen zu lösen, z.B. bei Strukturdetails von Enzymen und Genen, deren Funktionalität oftmals durch die Position eines Wasserstoffatoms (Protons) bestimmt wird.

Herausragende Resultate

Bau und Betrieb von Neutronenquellen erfordern hohe Anstrengungen der Gesellschaft – quasi als Kredit an die Wissenschaft, die diesen Kredit mit herausragenden Resultaten zurückgeben kann.



Neutronen können als Sonde genutzt werden, um einzigartige Einblicke in Materie zu gewinnen. Dabei machen sie auch solche Eigenschaften und Prozesse sichtbar, die mit anderen Methoden nur schwer oder gar nicht zugänglich sind. Sie leisten einen unverzichtbaren Beitrag im Zusammenspiel mit anderen Forschungsmethoden.

Forschung mit Neutronen in Deutschland

Forschung mit Neutronen ist eine unverzichtbare Methode. Sie ist an Großgeräte gebunden und vorwiegend erkenntnisorientiert. Europa ist anerkannt führend im globalen Maßstab. Innerhalb Europas nimmt die deutsche Neutronenforschung mit über 1500 ForscherInnen eine Spitzenposition ein. Mehr als die Hälfte von ihnen arbeitet an Universitäten, etwa ein weiteres Drittel an Max-Planck-, Helmholtz- und Leibniz-Instituten. Weitere NutzerInnen kommen von anderen Einrichtungen wie der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, der Fraunhofer-Gesellschaft, oder der Industrie.

Die Neutronenforschung in Deutschland ist hochgradig kooperativ. Universitäre und außeruniversitäre Forschung sind exzellent miteinander vernetzt. Eine Vielzahl von synergetischen und interdisziplinären Forschungsprojekten macht sie außerordentlich erfolgreich. Bei der Entwicklung neuer Messmethoden sowie dem Aufbau und dem Betrieb innovativer Instrumentierung ist die Forschung mit Neutronen in Deutschland in der Weltspitze.

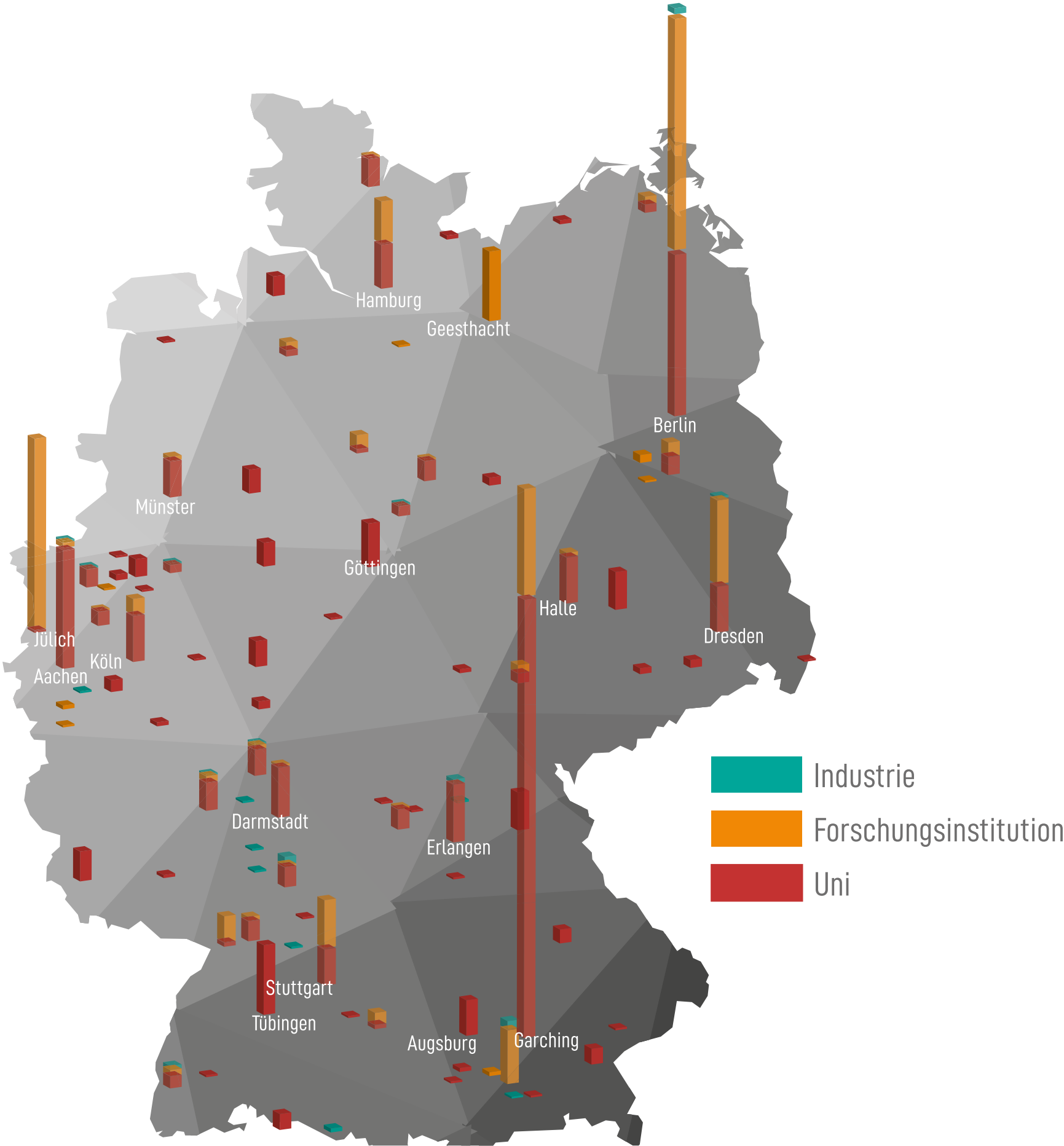
Daraus resultiert als exzellente Basis für die deutsche Neutronenforschung:

- > Eine Vielzahl von herausragenden universitären und außeruniversitären Forschungsgruppen, die Experimente mit Neutronen als Methode für eine Vielzahl von Themengebieten nutzen.
- > Das MLZ, in dem das Know-How aus vier deutschen Neutronenzentren in weltweit anerkannten, hervorragenden Instrumenten kondensiert ist.
- > Das Vorantreiben und die wissenschaftliche Nutzung des Endurance-Programms des Instituts Laue-Langevin (ILL) in Grenoble.
- > Die prominente Beteiligung an der Europäischen Spallationsquelle (ESS) mit neuartigen Instrumenten, welche Zugang zu bisher nicht untersuchbaren Materialien und Phänomenen bieten.
- > Das weltweit einmalige Fördermodell ErUM-Pro, welches wissenschaftsgetriebene Methodenentwicklung durch die Universitäten ermöglicht und auf diese Weise Universitäten und Neutronenquellen vernetzt.
- > Die Entwicklungen zu neuen Konzepten für die Bereitstellung von Neutronen.



In den letzten 20 Jahren haben sich die Bedingungen für Forschung mit Neutronen in Deutschland und Europa grundlegend gewandelt. Nach der Schließung der Quellen am Forschungszentrum Jülich und den Helmholtz-Zentren in Geesthacht und Berlin befindet sich die Neutronenforschung in Deutschland in einer Umbruchphase. Um diese im Interesse der wissenschaftlichen NutzerInnen mit zu gestalten, unterbreitet das 11. KFN auf der folgenden Seite Empfehlungen zu strategischen Aspekten der deutschen Neutronenforschung in den nächsten Jahren.

Das Komitee für Forschung mit Neutronen (KFN) ist die gewählte Vertretung der NutzerInnen von Neutronen, die in Deutschland oder als Deutsche im Ausland tätig sind, und vertritt die Interessen dieser NutzerInnen gegenüber den Quellen ebenso wie gegenüber dem Bundesministerium für Bildung und Forschung als das die Neutronenforschung finanzierende Organ. Das 11. KFN dankt den Vertretern der Quellen und dem BMBF für die vertrauensvolle und erfolgreiche Zusammenarbeit. Wir sind überzeugt, dass Forschung mit Neutronen in Deutschland auch weiterhin wissenschaftlich herausragend und in der europäischen Kooperation verankert sein wird.





KOLLIMATOR VON MEDAPP / NECTAR

Empfehlungen des Komitees Forschung mit Neutronen

MLZ – Großgeräteforschung im universitären Umfeld

- > Die Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz (FRM II) der Technischen Universität München mit ihrer herausragenden Ausbildung, ihrem weltweit einmaligen Forschungsportfolio und der traditionell starken Methodenentwicklung, erlaubt die Forschung mit Neutronen auf höchstem Niveau. Der zuverlässige Betrieb des FRM II und seine wissenschaftliche Nutzung im MLZ ist für die deutsche und die europäische Neutronenforschung elementar und unbedingt zu sichern.
- > Es müssen ausreichend Mittel zur Verfügung stehen, um neueste Entwicklungen der Neutronentechnik aufgreifen und die Instrumentierung weiterhin kontinuierlich modernisieren zu können. Darüber hinaus müssen Anpassungen an sich wandelnde aktuelle gesellschaftliche Herausforderungen möglich sein.
- > Der Transfer von Wissen, Erfahrung und ggf. Instrumenten vom HZB an das MLZ sollte fortgesetzt werden.
- > Das MLZ sollte sich verstärkt darum bemühen, Perspektiven für exzellenten wissenschaftlichen Nachwuchs zu schaffen, z. B. über Helmholtz-Nachwuchsgruppen und Tenure-Track-Professuren, die direkt am MLZ angesiedelt sind.
- > Das KFN unterstützt die „ein MLZ“-Initiative der Kooperationspartner mit einer noch engeren Zusammenarbeit in Forschung, Entwicklung und Betrieb der Instrumente, sowie ein verstärktes Engagement des MLZ im Bündnis der europäischen Neutronenquellen (LENS).
- > Die neuartige Quelle für Ultrakalte Neutronen (UCN) verspricht weltweit einzigartige neue Möglichkeiten und sollte in Betrieb genommen werden.

Nutzung der Investitionen am ILL

- > Das auch von Deutschland als Partner initiierte Endurance-Programm der europäischen Hochfluss-Neutronenquelle eröffnet durch herausragende Erneuerungen in der Instrumentierung substanziell neue Forschungsmöglichkeiten. Damit diese Investitionen effizient in wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn umgesetzt werden können, sollte das ILL seinen Betrieb auf ein Maximum an Strahlzeit auslegen.
- > Das ILL sollte so lange wie möglich betrieben werden.

Wissenschaftliches Potenzial der ESS nutzen

- > Das außerordentliche Potenzial dieser weltweit einzigartigen gepulsten Neutronenquelle muss konsequent in hervorragende Wissenschaft umgesetzt werden. Dazu muss die im Bau befindliche Instrumentierung der ESS vorrangig zur ihrer vollen Leistungsfähigkeit gebracht werden.
- > Die ESS sollte die zeitnahe und effiziente Entwicklung neuer Konzepte durch die Bereitstellung von Strahlplätzen fördern; darüber hinaus sollte es an der ESS Strahlplätze geben, mit denen kurzfristig auf Bedürfnisse neuer wissenschaftlicher Fragestellungen reagiert werden kann.
- > Mittel zur instrumentellen Modernisierung sollten frühzeitig eingeplant werden.

International führend in Kompetenz und Know-How

Die in Deutschland vorhandene Kompetenz in der Neutronenstreuung und dem Betrieb von Quellen sollte für die Realisierung neuartiger beschleunigergetriebener Quellen genutzt werden. Das KFN unterstützt deren Entwicklung mit Nachdruck. Die erforderlichen Entwicklungsarbeiten sollten jetzt beginnen.

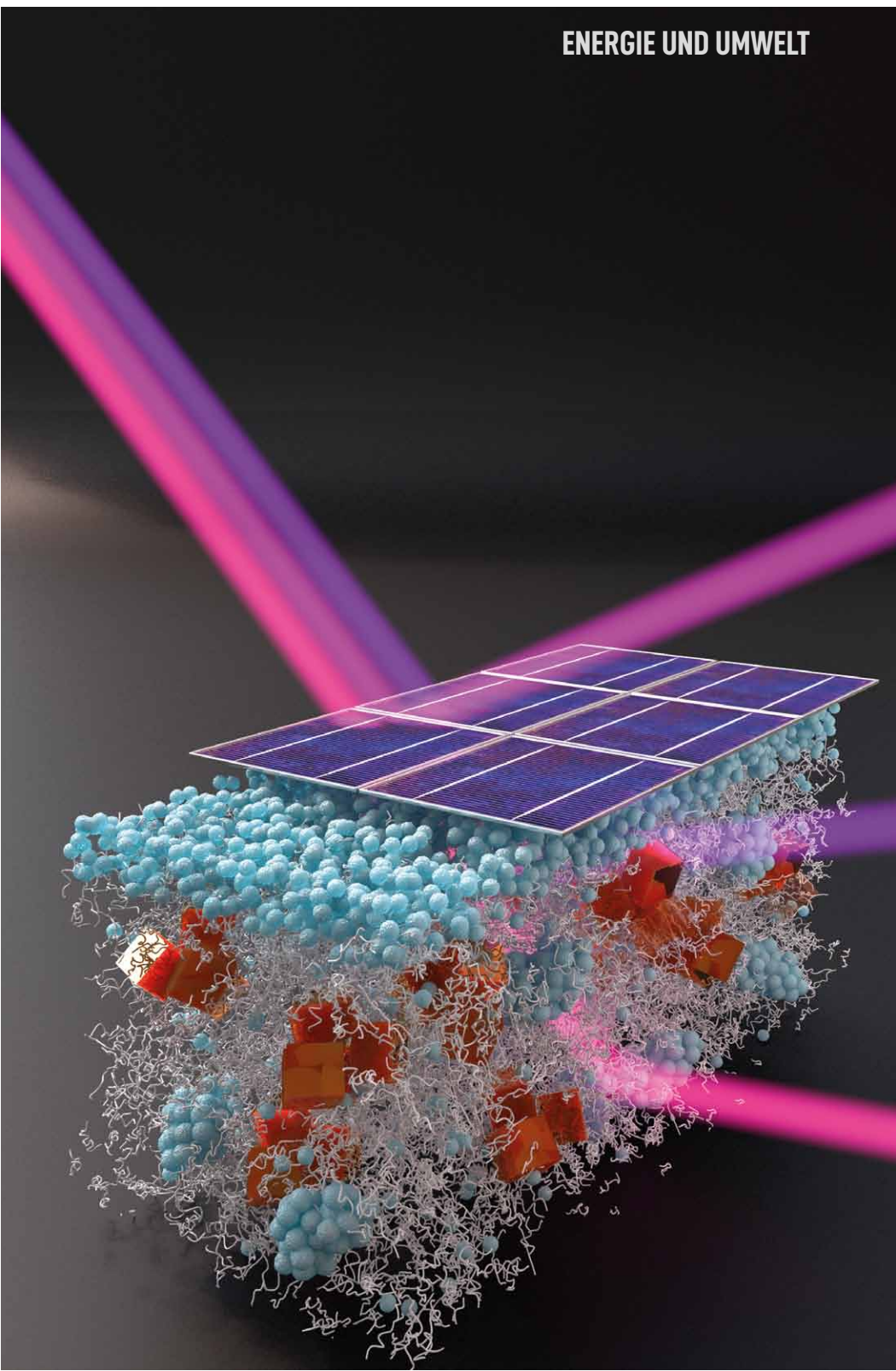
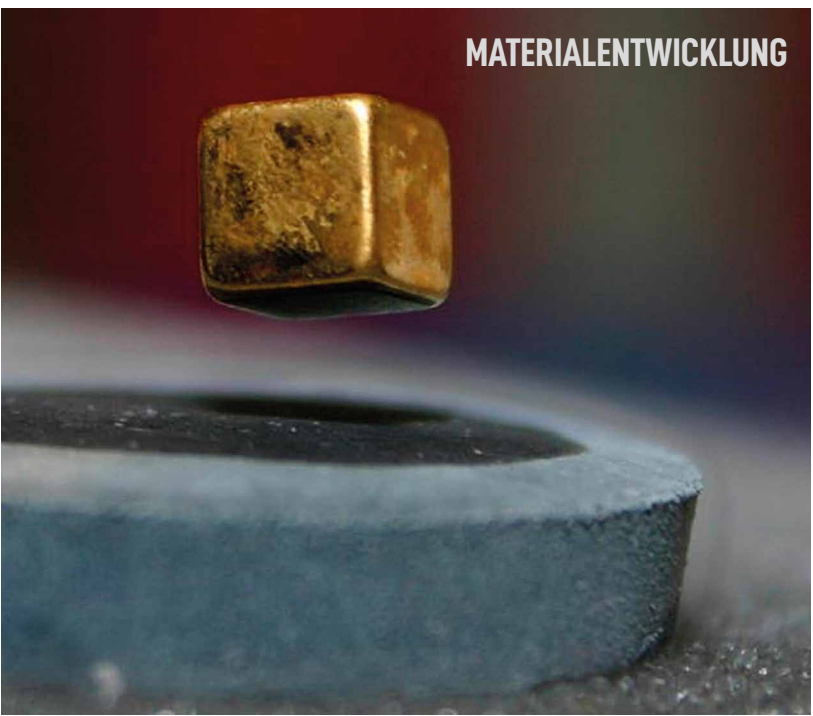
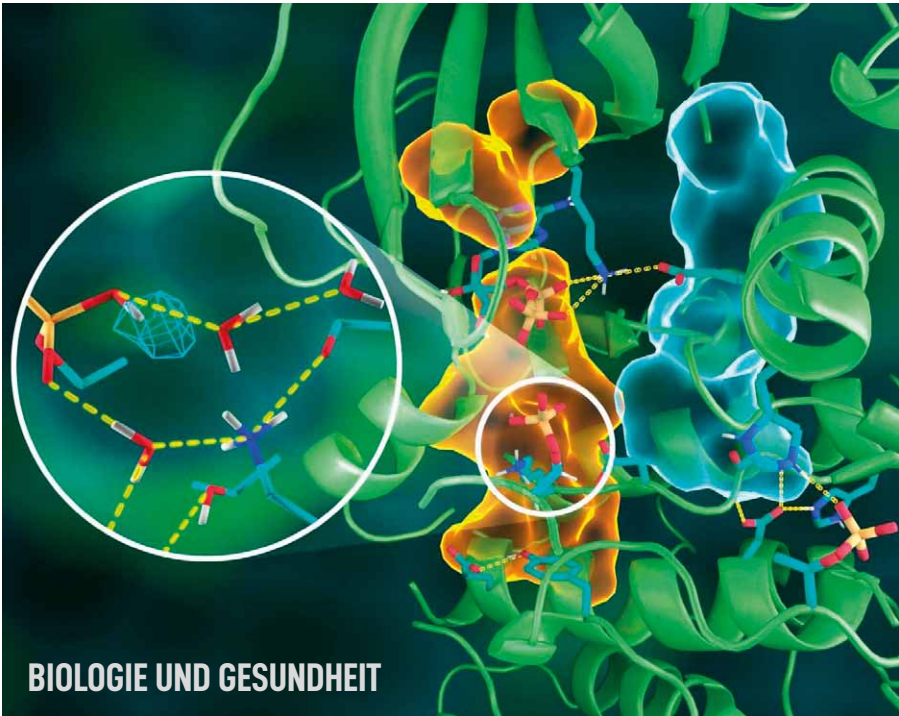
Digitale Transformation eröffnet neue Potenziale

- > Durch konzertierte Digitalisierungsmaßnahmen können erhebliche Effizienzsteigerungen in Planung, Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Experimente erzielt werden – z. B. durch virtuelle Instrumente oder KI-Werkzeuge zur Datenanalyse.
- > Das Datenmanagement muss entsprechend der FAIR-Prinzipien weiterentwickelt werden.

Neutronenforschung – gut vernetzt

- > Die Förderung innovativer Instrumentierung im Programm ErUM-Pro des BMBF bündelt die Kompetenz und Kreativität der NeutronenforscherInnen. So können universitäre Forschung und die Netzwerke der NutzerInnen wichtige methodische Beiträge in der Instrumentierung leisten und die experimentellen und analytischen Möglichkeiten entscheidend weiterentwickeln. Diese Förderung sollte gestärkt und ausgebaut werden.
- > Forschung mit Neutronen profitiert traditionell von internationaler Kooperation auf höchstem Niveau in Bezug auf Intensität und Effizienz. Das KFN empfiehlt, die Kooperation der Quellen und Methoden weiter zu intensivieren und Synergien noch stärker zu nutzen. Dies schließt die Nutzung aller internationalen Quellen ein.

FORSCHUNGSFELDER



Materialentwicklung

Neue Materialien

Verbesserte Wärmeleitung in Halbleitern, Gewichtsreduktion bei besserer Crash-Toleranz, Wasserstoffspeicherung in Metallhydriden, hochfeste und hitzebeständige, leicht zu verarbeitende Titan-Aluminide, intelligente Nanomaterialien als Sensoren – völlig neue Materialien werden entwickelt, um Wünsche und Anforderungen der Gesellschaft zu erfüllen. Ihr Design und ihre Charakterisierung wären ohne Neutronen undenkbar.

Materialforschung profitiert dabei von der Vielzahl von Analysemethoden auf vielen Längen-, Zeit- und Komplexitätsskalen. Mit Neutronen werden aber auch immer wieder völlig neue Zustände entdeckt, von denen wir erst lernen müssen, sie zu nutzen – wie komplexe Quantenmaterialien unter extremen Bedingungen.

Neue Materialien und intelligente adaptive Nanostrukturen

Etwa 20% der weltweiten Neutronenexperimente untersuchen Materialien der s.g. „Weichen Materie“ (mit fließendem Übergang zu biologischen Systemen). Darunter zu finden sind Kunststoffe (Polymere), kolloidale Nanosysteme, Tenside, (Nano- und Mikro-) Gele sowie Hybridsysteme aus den diesen Gruppen mit bspw. organischen und anorganischen Komponenten in einem Material. Diese Systeme können sich teilweise auf einer Skala zwischen Nano- und Mikrometern in funktionale Strukturen selbstorganisieren. Solche Materialien haben eine enorme Bedeutung für Alltagsanwendungen, von schlagfestem Plastik bis zu „Consumer Care“ Produkten wie z. B. Waschmitteln.

In der Grundlagenforschung werden neuerdings sogenannte intelligente Polymere und Kolloide untersucht, die sich besonders für die Entwicklung von Sensoren und schaltbaren Trägern von pharmazeutischen Wirkstoffen eignen (Drug Delivery). Auch selbstheilende Materialien werden untersucht, die z. B. Risse und Brüche selbsttätig wieder verschließen – mit großem Potenzial für Strukturmaterialien bei Weltraum- oder Unterwasseranwendungen. Besonders nachhaltig sind kunststoffbasierte Leichtbaumaterialien z. B. im Karosseriebau (Kohlefaserverbundwerkstoffe), wenn sie signifikant zur Reduktion von Kraftstoffverbrauch und zur Verbesserung der CO₂-Bilanz von Fahrzeugen beitragen.

Für medizinische Anwendungen sind schaltbare Polymer-Hydrogele von großem Interesse, da sie für „Devices“ im Bereich individualisierte Medizin geeignet erscheinen und als Gerüst für das Nachwachsen von Gewebe und Organteilen in Frage kommen. Da alle diese Materialien häufig viele leichte Elemente neben schweren Elementen enthalten, bietet hier die Neutronenstreuung einzigartige Vorteile in der Strukturanalyse verglichen zu anderen Strahlungsarten und liefert komplementäre Informationen.

Neue und verbesserte Materialien verändern unser Leben, sparen Energie, sind nachhaltiger und leistungsfähiger als frühere. Dafür muss man deren grundlegende Prozesse und Mechanismen verstehen. Ohne Erkenntnisse aus der Neutronenstreuung würden viele dieser Materialien nicht existieren.

Informationstechnologie

Für die funktionellen Eigenschaften neuer Materialien für zukünftige Entwicklungen in den Informationstechnologien sind magnetische Phänomene oft elementar. Deshalb ist Neutronenstreuung hier von ganz besonderer Bedeutung.

Speicher und Prozessoren: Um die sich abzeichnenden physikalischen Grenzen der herkömmlichen Speicherdichte zu überwinden, wird es notwendig, aufwändigere magnetische Medien zu nutzen, die nur mittels Neutronenstreuung analysiert werden können. Auch in der Datenverarbeitung kann der Magnetismus erlauben, physikalische Grenzen zu umgehen. Rechnen mit magnetischen Momenten vermeidet die Dissipation elektronischer Ladungsströme und deren Auswirkungen auf Kosten und CO₂-Bilanz. Die Grundlagen einer solchen „Spintronik“ wurden in Arbeiten von Albert Fert und Peter Grünberg (Nobelpreis 2007) gelegt, aber bis hin zu magnetisch rechnenden Komponenten ist es noch ein weiter Weg.

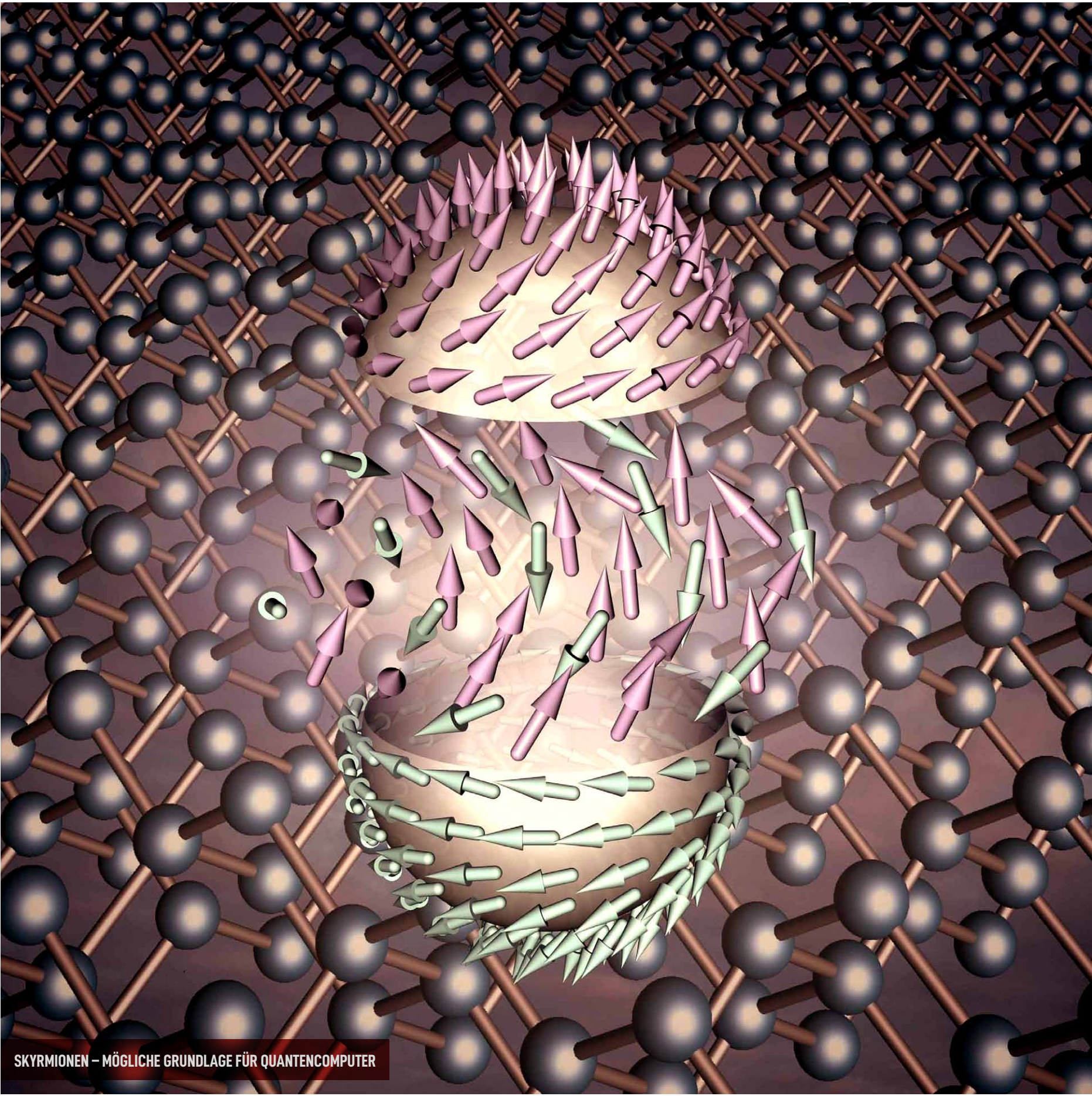
Quantencomputer: Die Entwicklung von Quantencomputern wird heute sowohl in öffentlicher als auch in industrieller Forschung gewaltig vorangetrieben, wobei magnetische Systeme und Supraleiter eine zentrale Rolle spielen.

Supraleitung

Die Supraleitung, elektrischer Strom ohne Energieverbrauch, ist ein faszinierendes Gebiet in angewandter und fundamentaler Forschung, aber gerade die Supraleiter mit den interessantesten Eigenschaften bleiben rätselhaft. Nur aus Neutronenexperimenten können fehlenden Erkenntnisse zum Wechselspiel zwischen Magnetismus und Supraleitung gewonnen werden.

Materialoptimierung

Die Betrachtung der bei der Herstellung und Bearbeitung von Werkstücken auftretenden möglichen Eigenspannungen ist für Entwickler und Ingenieure von entscheidender Bedeutung für die Beurteilung der nutzbaren Lebensdauer von Komponenten. Dies trifft insbesondere auf neuartige Verfahren wie der additiven Fertigung zu, wo moderne Hochleistungswerkstoffe wie z. B. Superlegierungen oder Titan-Aluminide verwendet werden. Für hochfeste und / oder temperaturbeständigere Bauteile kommen auch faser- oder partikelverstärkte Metallverbünde vermehrt zum Einsatz. Die hier mit den verschiedenartigen Materialkomponenten einhergehenden Wechselwirkungen führen zu Eigenspannungen und Defekten, die in der Standfestigkeitsanalyse der Bauteile unbedingt berücksichtigt werden müssen. Neutronen können hier einen entscheidenden Beitrag leisten, da sie zerstörungsfrei sowohl Einblicke in Bauteile auf der Mikrometerskala als auch die quantitative Bestimmung der Eigenspannungsverteilung liefern können.

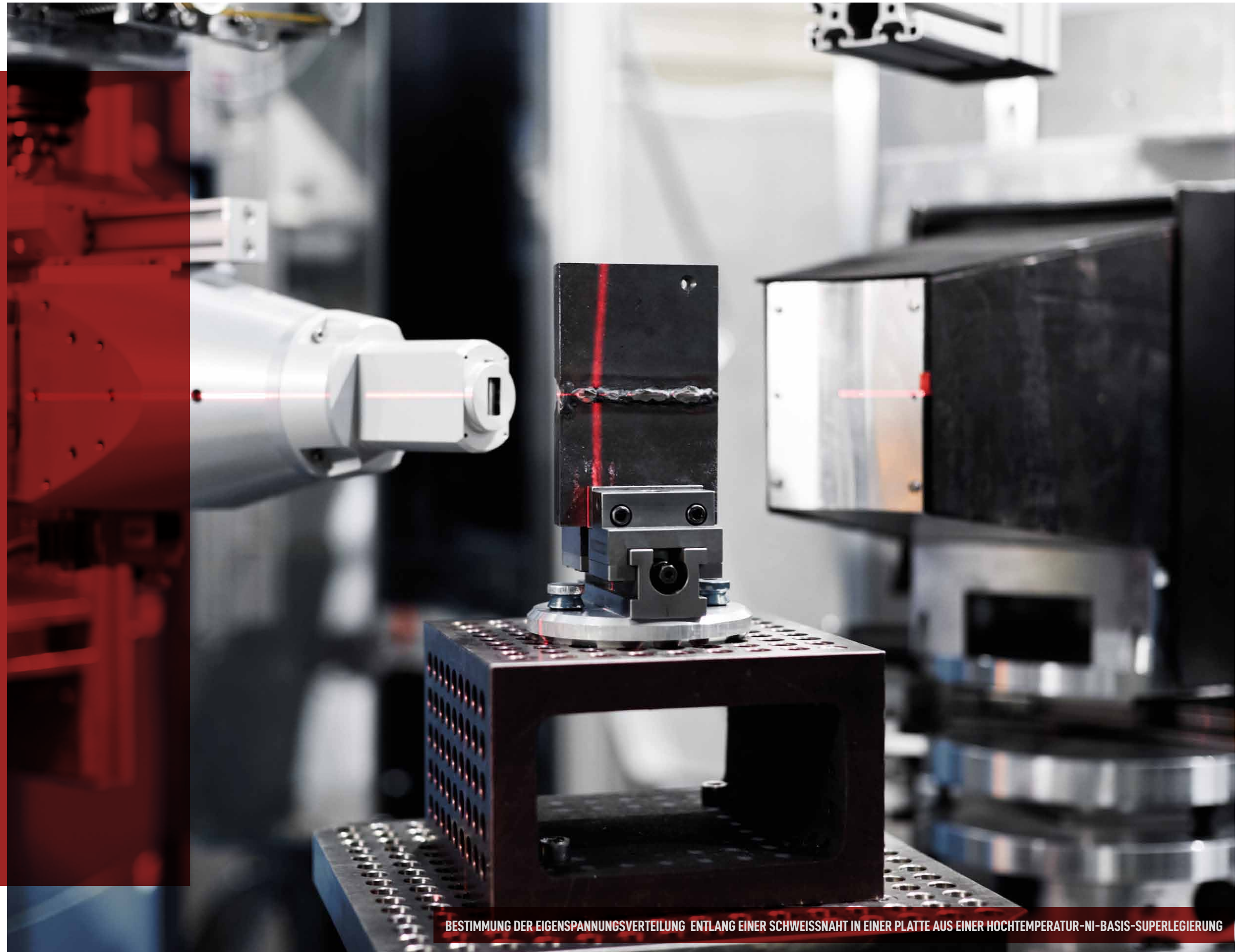


SKYRMIONEN – MÖGLICHE GRUNDLAGE FÜR QUANTENCOMPUTER

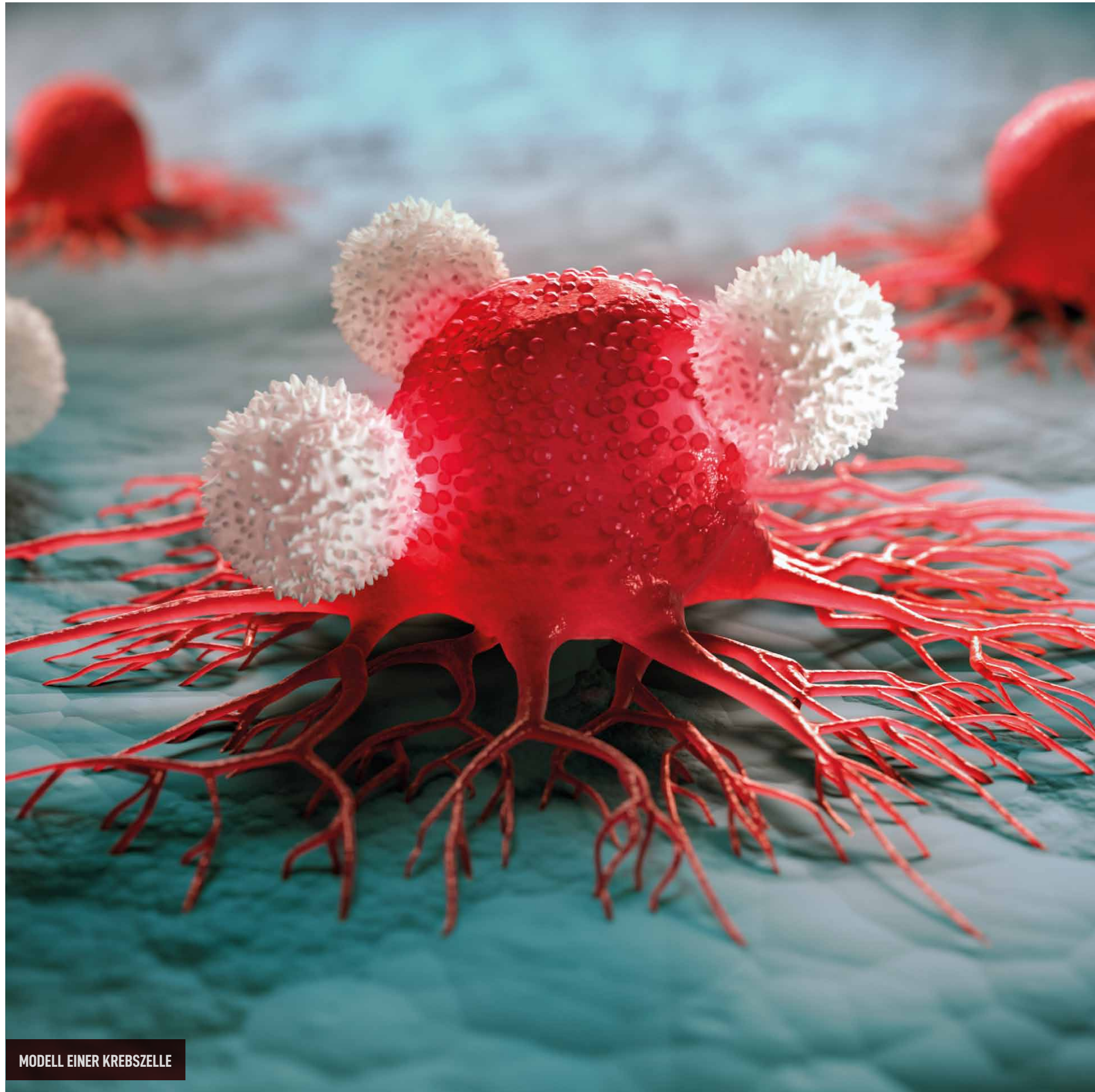
»» **DIE TECHNIK
VON HEUTE
IST DAS BROT VON MORGEN**

**DIE WISSENSCHAFT
VON HEUTE
IST DIE TECHNIK VON MORGEN**

RICHARD VON WEIZSÄCKER



BESTIMMUNG DER EIGENSPANNUNGSVERTEILUNG ENTLANG EINER SCHWEISSNAHT IN EINER PLATTE AUS EINER HOCHTEMPERATUR-NI-BASIS-SUPERLEGIERUNG



MODELL EINER KREBSZELLE

Biologie und Gesundheit

Von Zellen bis Antibiotika

Neutronen als „Biosonde“

Neutronen sind besonders sensitiv für Wasserstoff, der in organischen Substanzen eine elementare Rolle spielt. Ihre Energie eignet sich auch perfekt zum Studium der Dynamik von Biomolekülen. Im Gegensatz zu anderen Methoden erzeugen thermische Neutronen dabei keine Strahlenschäden, verändern nicht die Oxidationszustände und man kann Biomoleküle direkt unter ihren Arbeitsbedingungen studieren.

Kontrastvariation

Mittels gezielter Deuterierung können bestimmte Komponenten von komplexen biologischen Systemen herausprojiziert werden, also „sichtbar“ bzw. „unsichtbar“ gemacht werden. Damit lässt sich die Beteiligung von Komponenten an biologischen Prozessen gezielt ein- und ausblenden und somit untersuchen.

Biokatalysatoren

Nahezu alle chemischen Reaktionen in unseren Zellen würden ohne spezielle Katalysatoren viel zu langsam ablaufen, um ein Leben, wie wir es kennen, zu ermöglichen. Diese Aufgabe wird in den Zellen von maßgeschneiderten Proteinen, den sogenannten Enzymen übernommen. Bei vielen enzymatischen Reaktionen spielen Wasserstoffatome (Protonen) eine entscheidende Rolle. Die Kenntnis der Wasserstoffatom-Positionen (Protonierungszustände) im aktiven Zentrum von Enzymen ist essenziell z. B. für die Entwicklung neuer Medikamente, Antibiotika oder Inhibitoren. Die 3D-Strukturbestimmung mit Neutronen bestimmt die exakte Position dieser Protonen – was mit Röntgenstrahlen nur schwer möglich ist.

Biomoleküle

Es ist wichtig zu beachten, dass die Strukturen gerade in biologischen Systemen nicht statisch sind, sondern dynamisch, und dass dies für ihre Funktion i. d. R. entscheidend ist. Dies betrifft z. B. Proteine, sowohl im Hinblick auf ihre innere Flexibilität als auch die Diffusion innerhalb der Zelle. Dabei liegt die makromolekulare Konzentration in biologischen Systemen oft bei weit über 10 vol-% („crowding“) – d. h. die Proteine diffundieren nicht in reinem Wasser, sondern in einer relativ viskosen Umgebung, was mit Neutronenspektroskopie ideal untersucht werden kann.

Medikamente

Immer öfter werden Bakterien resistent gegen Antibiotika. Sie spalten den Wirkstoff mit Hilfe eines speziellen Eiweißes, das Medikament wird so unbrauchbar. Oft ist nicht im Detail geklärt, wie das genau passiert – z. B. bei Penicillin. Widersprechende Theorien

darüber, welcher Teil im aktiven Zentrum des Proteins vorübergehend ein Wasserstoffatom zwischenparkt, können mit Neutronenexperimenten geprüft werden: Man bestimmt die Position der Wasserstoffatome im aktiven Zentrum des Eiweißes, während es ein Antibiotika-Analogon gebunden hatte, und erklärt so die Wirkungsweise. Die Ergebnisse helfen, bessere und neue Antibiotika zu entwickeln. Gleiches gilt z. B. für Hepatitis C – die Strukturbestimmung des funktionalen Eiweißes in seiner natürlichen Umgebung erlaubt verbesserte Medikamententwicklung.

Lebende Zellen verstehen

Während zunächst Mikroorganismen wie Bakterien untersucht wurden – z. B. warum diese unter extremen Bedingungen leben können – werden heute auch komplexere Lebewesen wie Plattwürmer studiert. Dabei spielen die verschiedenen Zeitskalen, die Neutronen untersuchen können, eine entscheidende Rolle – nur so kann man die interne Dynamik der Moleküle und ihre Funktionalität verstehen.

Diagnose und Therapie

Fluoreszenzproteine werden als Marker in der Zellbiologie und Gentechnik verwendet, z. B. um die räumliche und zeitliche Verteilung von Eiweißen zu studieren – auch an lebenden Organismen.

Molekulare Grundlagen

Neutronenstreuung ermöglicht das grundlegende Verständnis der Wirkungsweise von Antibiotika, Viren, Genen und Enzymen. Damit hilft sie nicht nur, Medikamente zu entwickeln, sondern prägt das Verständnis moderner Medizin von personalisierter Therapie bis hin zu genetischen Ursachen von Krankheiten.

Krebstherapien

Weil Neutronen sehr präzise zerstörungsfrei Zellbestandteile abtasten können, helfen sie bei der Entwicklung von Medikamenten für die gezielte Krebstherapie: Man lernt z. B., dass PST-Pflanzenmoleküle nur die Mitochondrien-Membranen von Krebszellen schädigen und damit deren Energieproduktion stören – die Krebszelle stirbt, ohne dass gesunde Zellen beeinflusst werden. Neutronen werden auch zur Produktion von Radionukliden benötigt, die in Diagnostik und Therapie, v. a. von Krebs, eingesetzt werden. Direkte Bestrahlung mit schnellen Neutronen wird gegen Tumore eingesetzt. Zusätzlich findet Forschung mit Neutronen immer wieder neue, für die Medizin relevante Isotope von bekannten Elementen.

Eine Stärke der Neutronen: Wir sehen mit ihnen die Wasserstoffatome. So verstehen wir, wie Gene, Enzyme oder Antibiotika funktionieren, entwickeln Medikamente und analysieren biologische Prozesse.

Energie und Umwelt

Materialien und Prozesse

Neutronen tragen vielfältig zur Energiewende bei

Viele nachhaltige Lösungen zur Abschwächung und Bewältigung des Klimawandels beziehen sich auf Erzeugung, Transport und Speicherung von Energie. Neue Entwicklungen in diesem Bereich können mit Neutronenexperimenten entscheidend vorangetrieben werden. Die Sensitivität von Neutronen für leichte Elemente inkl. Wasserstoff, für magnetische Wechselwirkungen und die Möglichkeit, große Volumina zu durchstrahlen und damit Prozesse in-situ oder operando zu studieren, unterstreichen den großen Beitrag von Neutronenstreuung bei der Bewältigung der Konsequenzen des Klimawandels und zur Erhaltung unserer Umwelt. Ersatz von Materialien, um Rohstoffengpässe zu vermeiden und umweltverträgliche Produktionsprozesse zu etablieren; die Untersuchung von massiven Proben und Superlegierungen unter realistischen Bedingungen für ermöglicht Material- und Prozessoptimierungen, z. B. zur Effizienzsteigerung von Turbinen; Optimierung von klassischen Materialien – überall beleuchten Neutronen das Zusammenspiel verschiedener Effekte auf atomarer Skala, oft in situ und operando oder in Bezug auf magnetische Anregungen und lassen damit auf die Funktionalität von neuen Materialien schließen. Das gilt für völlig neue Konzepte wie energiesparende supraleitende Stromtrassen oder Quantencomputer ebenso wie für Hochleistungsbatterien und Brennstoffzellen.

Energiegewinnung

Für die nachhaltige Energieversorgung von morgen sind viele Methoden der Energiegewinnung möglich. Neuartige organische Solarzellen, die bei hoher Effizienz preisgünstig herzustellen sind, Elektrolyseure zur Wasserstoffgewinnung aus regenerativen Energien oder synthetische Kraftstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen werden mit Hilfe von Neutronenstreuung entwickelt. Höchstleistungswerkstoffe, z. B. für Turbinen, die auch bei hohen Temperaturen über eine hohe Festigkeit verfügen, ebenso wie die Optimierung von Werkstoffen, z. B. durch die Eigenspannungsmessung während verschiedener Prozessschritte sind klassische Einsatzgebiete für Neutronenstreuung. Thermoelektrische und magnetokalorische Materialien für die Energieumwandlung in speziellen Anwendungsgebieten werden mit Neutronen untersucht. Hierbei ist besonders die Kopplung von Schwingungen des Atomgitters und magnetischen Anregungen für die Effizienz der eingesetzten Materialien von Interesse.

Energiespeicherung

Die Entwicklung von effizienten und preisgünstigen Energiespeichern ist eine der zentralen Herausforderungen für eine nachhaltige Energiewirtschaft – allem voran Batterien für mobile und stationäre Anwendungen. Mit ihrer Sensitivität für leichte Elemente und

hohen Eindringtiefe können Neutronen das „System Batterie“ als Ganzes untersuchen, z. B. Informationen zu Alterungs- und Degradationsprozessen liefern. Dies umfasst Veränderungen auf mikroskopischer Skala wie in Elektrodenmaterialien, aber auch mesoskopische Vorgänge wie Dendritenbildung. Neben der Entwicklung von Lithium-Ionen-Technologien gibt es vielversprechende Ansätze für die Verwendung von Natrium- oder Magnesium-Ionen als Ladungsträger. Besonders wichtig ist dafür die Entwicklung von Elektrodenmaterialien und geeigneter Elektrolyte mit hoher Ionenleitfähigkeit. Neutronen spielen hierbei eine wichtige Rolle – von der Materialcharakterisierung bis zur Prozessentwicklung und der Untersuchung von Degradationsmechanismen im fertigen Produkt.

Wasserstoff als Energieträger benötigt effiziente Speichermöglichkeiten, die sowohl eine hohe Speicherdichte aufweisen als auch kostengünstig sind. Neben physikalischen Druckspeichern werden Festkörperspeicher untersucht, in denen der Wasserstoff chemisch gebunden ist. Neutronen als einzigartige Sonde mit hoher Sensitivität für Wasserstoff ermöglichen die Charakterisierung von Wasserstoffspeichern sowie Untersuchungen für die Entwicklung von Brennstoffzellen.

Klimaschutz und Umwelt

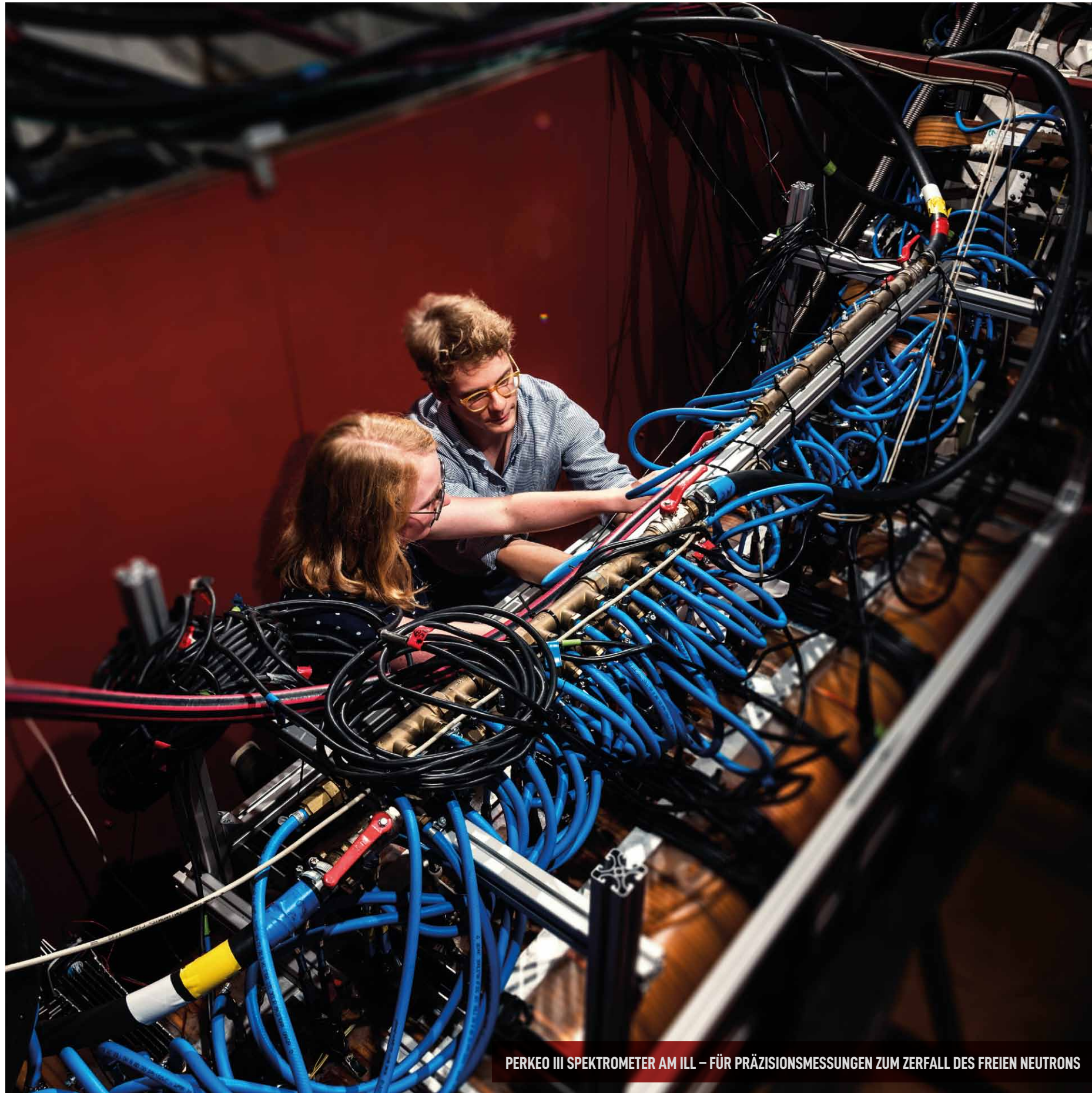
Energieeffizienz und Minimierung von CO₂-Emissionen sind wichtige Säulen zum Erreichen der Klimaschutzziele. Materialien zur Abscheidung und Speicherung von CO₂ und die Entwicklung von Baustoffen mit niedriger CO₂-Bilanz oder von alternativen Baumaterialien sind wichtige Themenfelder, die in einzigartiger Weise mit Neutronen untersucht werden, ebenso wie smarte Beschichtungen zum Temperaturmanagement von Gebäuden.

Grundlegende Untersuchungen zu Eis- und Wolkenbildung validieren die Parameter von Klimamodellen – Neutronen spielen hier aufgrund der Empfindlichkeit auf Wasserstoffatome eine entscheidende Rolle. Ebenso ist das Verhalten von Wasser in Gesteinen und Böden ein wichtiger Baustein, um z. B. die Auswirkungen schmelzenden Permafrosts abzuschätzen. Auch das Verhalten von Methanklathraten hat bei steigenden Temperaturen Rückwirkungen auf die Klimamodelle, so dass deren Lagerstätten nicht nur als mögliche Energiequelle interessant sind, sondern deren Verhalten auch mit Hinblick auf die Erderwärmung verstanden werden muss. Die Entwicklung von neuen, effektiveren und umweltverträglicheren Katalysatoren oder die Untersuchung poröser Membranen und molekularer Siebe für den Einsatz als selektive Filter für organische Verbindungen liefern wichtige Beiträge zum Umweltschutz und zur Schonung von Ressourcen.

Maßgeschneiderte Energiematerialien, effiziente Prozesse, optimierte Batterien und Wasserstoffspeicher, extrem empfindliche Elementanalysen, stromsparende Quantencomputer – all dies wird mit Neutronenforschung greifbar.



OPERANDO-UNTERSUCHUNG VON LI-IONZELLE AM STRESS-SPEC



PERKEO III SPEKTROMETER AM ILL – FÜR PRÄZISIONSMESSUNGEN ZUM ZERFALL DES FREIEN NEUTRONS

Teilchen und Universum

Das Neutron als Untersuchungsobjekt

Grundlegende Wechselwirkungen und das frühe Universum

Das Standardmodell der Teilchenphysik ist einer der großen Erfolge der Physik. Es beschreibt die elementaren Teilchen, aus denen wir und alles andere im sichtbaren Universum bestehen, sowie die Kräfte zwischen diesen Teilchen. Viele Fragen beantwortet es aber nicht, wie zum Beispiel: Was ist dunkle Materie, die die Struktur unseres Universums bestimmt? Wie wurde während der frühen Phase des Universums das Ungleichgewicht zwischen Materie und Antimaterie erzeugt, die eine Voraussetzung für unsere Existenz ist? Und wie passt die Gravitation in dieses Bild? Teilchenphysik und Kosmologie stehen dabei in engem Zusammenhang.

Neue Physik

Die Beantwortung dieser Fragen motiviert die Suche nach „neuer Physik“, d. h. neuen Teilchen, Kräften und Symmetrien. Experimente hierzu werden vielfach bei den höchsten Energien durchgeführt, wie sie z. B. der Large Hadron Collider (LHC) am CERN zur Verfügung stellt. Eine Reihe von grundlegenden und oft einzigartigen Fragestellungen der Teilchenphysik und Kosmologie können jedoch am anderen Ende der Energieskala untersucht werden. Niederenergetische Neutronen spielen hier eine wichtige Rolle.

Symmetrien

Für viele Fragestellungen der Teilchenphysik haben Symmetrien in den Gesetzen der Natur und deren Brechung eine entscheidende Bedeutung. Wichtige Beispiele hierfür sind:

- > Paritätsverletzung: Warum bevorzugt die schwache Wechselwirkung, die den Zerfall des Neutrons beschreibt, eine bestimmte Richtung und verletzt damit die Spiegelsymmetrie?
- > Zeitumkehrverletzung: Welche elementaren Prozesse verhalten sich asymmetrisch in der Zeit? Diese sind eine Voraussetzung für das Materie-Antimaterie Ungleichgewicht in unserem Universum.
- > Baryonenzahlverletzung: Gibt es Prozesse, in denen sich Teilchen in ihre eigenen Antiteilchen umwandeln können?

Zentrale Fragestellungen

Experimente im Bereich der Teilchenphysik mit Neutronen sind oft Präzisionsmessungen. Wichtige Beispiele sind:

- > Suche nach dem elektrischen Dipolmoment des Neutrons
- > Vermessung des radioaktiven Zerfalls des Neutrons: seine Lebensdauer und Korrelationen zwischen den Teilchen
- > Quantenmechanische Zustände im Gravitationsfeld der Erde

Quellen

Kern- und Teilchenphysik mit Neutronen wird meist mit intensiven Strahlen kalter (CN) und ultrakalter Neutronen (UCN) durchgeführt. Dabei ist die Besonderheit von UCN, dass sie mit Hilfe von materiellen Wänden oder Magnetfeldern gespeichert werden können, was eine sehr lange Beobachtungsdauer ermöglicht. Neuartige Quellen für UCNs, sogenannte superthermische Quellen, bieten erheblich erhöhte Intensitäten und erweiterte Möglichkeiten. Derartige Quellen basierend auf Helium oder Deuterium sind z. B. am ILL und am TRIGA Mainz in Betrieb sowie am MLZ im Bau. Dabei verspricht die neue UCN-Quelle des MLZ nach Fertigstellung eine weltweit führende Intensität, die substanziell bessere und neuartige Messungen ermöglichen wird.

Im Bereich der kalten Neutronen spielen gepulste Strahlen, wie sie Spallationsquellen natürlicherweise anbieten, eine zunehmend wichtige Rolle. Die Pulsstruktur, die auch an den intensivsten Strahlplätzen am ILL und MLZ eingesetzt wird, ermöglicht entscheidende Verbesserungen in der Genauigkeit durch Verringerung der systematischen Unsicherheiten. Ein zukünftiger Strahlplatz für Teilchenphysik an der ESS vereint dies mit international führender Intensität.

Experimente zur Teilchenphysik mit Neutronen adressieren grundlegende und oft einzigartigen Fragestellungen der Teilchenphysik und Kosmologie.

Geowissenschaften

Unsere Erde begreifen

Der Planet, auf dem wir leben, ist unsere Lebensgrundlage. Daher ist ein tiefes Verständnis für geowissenschaftliche Prozesse, Entwicklungen und Zusammenhänge nicht nur in Bezug auf das Klima wichtig. Wie verhält sich das Erdinnere und welchen Einfluss hat es auf die Erdkruste, die uns mancherorts stabiler vorkommt, als sie ist? Inwieweit können Erdbeben und Vulkanausbrüche vorhergesagt und dadurch Katastrophen verhindert werden?

Wie lassen sich Prozesse auf der Erdoberfläche vorhersagen und wie kann man Stoffe bilanzieren? Nicht nur der Wasserhaushalt der Erde ist für uns essenziell. Der Blick in die Vergangenheit der Erde und des Lebens hilft uns, realistische Vorhersagen für die Zukunft zu treffen. Forschung mit Neutronen liefert zu all diesen Aspekte wichtige Daten.

Neutronen als „Geosonde“

Strukturen und Texturen von Gesteinen der Erdkruste werden von der Entstehungsgeschichte der Gesteine bestimmt. Die hohen Drücke und Temperaturen in den verschiedenen Erdtiefen können in Experimenten nachgestellt werden. Durch Neutronenbeugungsanalysen werden dann Rückschlüsse auf Phasenübergänge und Mineralzusammensetzungen der Erdschichten gezogen. Durch die Messung von kosmischen Neutronen an der Erdoberfläche wird beim „Cosmic Ray Neutron Sensing“ der Wassergehalt von Böden berechnet.

Zeitstempel

Radioaktive Isotope werden für die Datierung von Gesteinen genutzt und öffnen somit ein Zeitfenster in die Vergangenheit. Durch die Datierung in Eisbohrkernen kann auf die klimatischen Verhältnisse im Laufe der Erdgeschichte Rückschlüsse gezogen werden.



PERGAMENT AUS DER WIENER GENESIS, NATIONALBIBLIOTHEK ÖSTERREICH

Der Blick in die Vergangenheit der Erde und des Lebens hilft uns, realistische Vorhersagen für die Zukunft zu machen. Neutronen liefern einen wesentlichen Beitrag dazu. Zerstörungsfreie Neutronenanalysen tragen wesentlich zur Erhaltung, Dokumentation und Interpretation unseres kulturellen Erbes bei und bewahren es somit für zukünftige Generationen.

Kultur- und Naturerbe

Sicherung für folgende Generationen

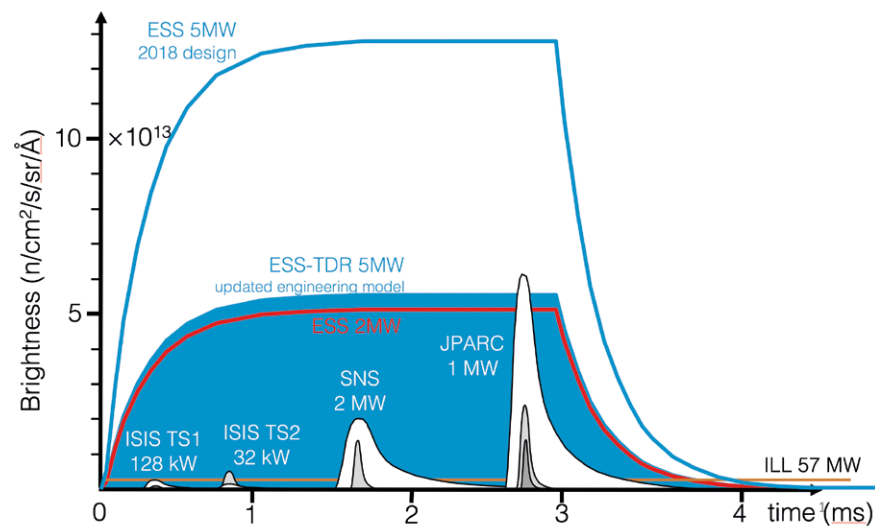
Neutronen können wesentliche Beiträge zur zerstörungsfreien Analyse von chemischen und strukturellen Eigenschaften von Objekten aus unserem Kultur- und Naturerbe liefern. Dies trägt zur Erhaltung, Dokumentation bzw. Interpretation und Management von unserem kulturellen Erbe bei und bewahrt es somit zukünftigen Generationen.

Dabei werden nicht nur reine Datensammlungen vorgenommen und Datenbanken erstellt, sondern es werden mithilfe der Ergebnisse auch Herstellungsverfahren, z. B. für Gusstechniken von Münzlegierungen, rekonstruiert. Bildgebende Verfahren mit Neutronen können Einblicke in die Verteilung von chemischen Elementen in antiken Münzen liefern, ohne diese zu zerstören. In Kombination mit phasenanalytischen Methoden können mittels Neutronendiffraktion Korrosionserscheinungen geklärt und folglich konservatorische Methoden verbessert werden. Die Behandlung der Ausgangsmaterialien in Bezug auf Gieß- und Prägetechniken hinterlassen Orientierungsspuren der Ausgangskomponenten, die mittels Texturanalysen mit Neutronen erfasst werden können. Damit können eindeutige Hinweise auf diese Herstellungstechniken erhalten werden.

Besonders anschaulich ist die Untersuchung von Fossilien. So konnte kürzlich bei der bildgebenden Untersuchung eines Dinosauriergeleges festgestellt werden, dass die Eier auch damals schon, wie bei heutigen Vögeln, nacheinander gelegt wurden und daher in unterschiedlichen Entwicklungsstadien erhalten blieben.



FOSSILE DINOSAURIEREIER



Neutronenquellen

Dialektik von Exzellenz und Kapazität

MLZ

Das Heinz Maier-Leibnitz Zentrum (MLZ) in Garching ist eines der weltweit führenden Zentren und die wichtigste Quelle für die Neutronenforschung in Deutschland. Jährlich forschen hier bis zu 1200 WissenschaftlerInnen, ihre Ergebnisse finden Eingang in jährlich über 380 wissenschaftliche Publikationen und werden in über 260 Doktorarbeiten bearbeitet. In herausragender Kooperation zwischen dem FRM II und Gruppen aus Universitäten, Max-Planck-Instituten und Helmholtz-Zentren wurde eine hochgradig innovative Instrumentierung geschaffen, welche kontinuierlich optimiert und den aktuellen Bedürfnissen angepasst wird. Zusätzlich zu derzeit 27 Instrumenten sind weitere sieben im Aufbau; daran kann an bis zu 240 Tagen im Jahr experimentiert werden.

Durch die Kombination aus Nutzerbetrieb und Eigenforschung und mit der Organisationsstruktur in Wissenschaftsgruppen bietet das MLZ einmaliges Potenzial zur Entwicklung von interinstitutionellen Kooperationen und zu schnellen Reaktionen auf neue wissenschaftliche Fragestellungen.

ILL

Das Institut Laue-Langevin (ILL) betreibt die erfolgreichste kontinuierliche Neutronenquelle weltweit, auf der sich die europäische Führungsrolle in der Neutronenstreuung aufgebaut hat. An den 40 Hochleistungsinstrumenten kann in der Regel an etwa 200 Tagen im Jahr experimentiert werden, woran NeutronenforscherInnen aus Deutschland zu etwa 25% partizipieren. Durch die europäische Zusammenarbeit ist am ILL das weltweit führende Zentrum der Neutronenforschung mit einzigartigen Kompetenzen in vielen Bereichen entstanden, wie zum Beispiel der Neutronenpolarisierung oder der Probenumgebung. Aufgrund der Ähnlichkeit der Quellen besteht eine besonders enge Zusammenarbeit zwischen den WissenschaftlerInnen am ILL und am MLZ. Viele Publikationen entstehen heute aus Untersuchungen an verwandten oder komplementären Instrumenten beider Quellen.

ESS

Die Europäische Spallationsquelle (ESS) wird die mit Abstand stärkste Neutronenquelle weltweit sein und völlig neue Perspektiven in der Neutronenstreuung eröffnen. Die ESS wird von 13 Partnerländern in Lund (Schweden) gebaut, die Projektarbeit ist derzeit zu 75% fertiggestellt. 15 Instrumente befinden sich im Aufbau, eine graduelle Inbetriebnahme beginnt mit den ersten Neutronen 2023. Erste wissenschaftliche Experimente können 9 Monate später erwartet werden, aber die Inbetriebnahme aller sich im Aufbau befindlichen Instrumente wird sich bis 2026 erstrecken. Jedes dieser Instrumente an der ESS wird neu- und einzigartig sein und völlig neue wissenschaftliche Einblicke erlauben. An der ESS kann die Neutronenforschung in bislang weitgehend verschlossene Probleme eindringen, wie z.B. der Dynamik biologischer Materialien. Deutsche Gruppen sind an dem Bau von 7 Instrumenten an der ESS beteiligt, viele WissenschaftlerInnen beraten in verschiedenen Gremien.



Deutschland betreibt das MLZ als nationale Quelle und ist signifikant am ILL (Grenoble, Frankreich) und der ESS (Lund, Schweden) beteiligt. Damit wird für deutsche NutzerInnen nicht nur Experimentierzeit gesichert, sondern auch die wissenschaftliche Ausrichtung und Entwicklung strategisch beeinflusst.

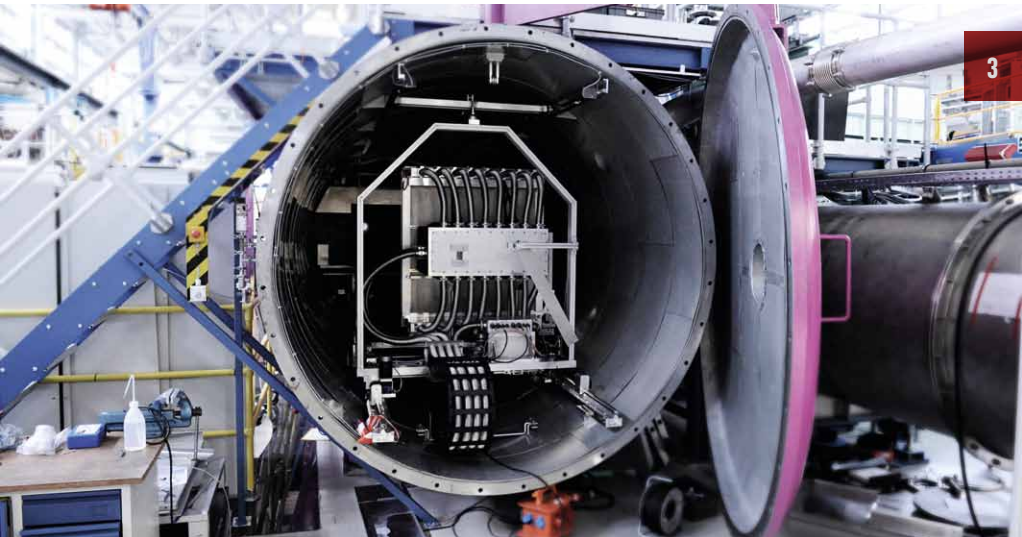
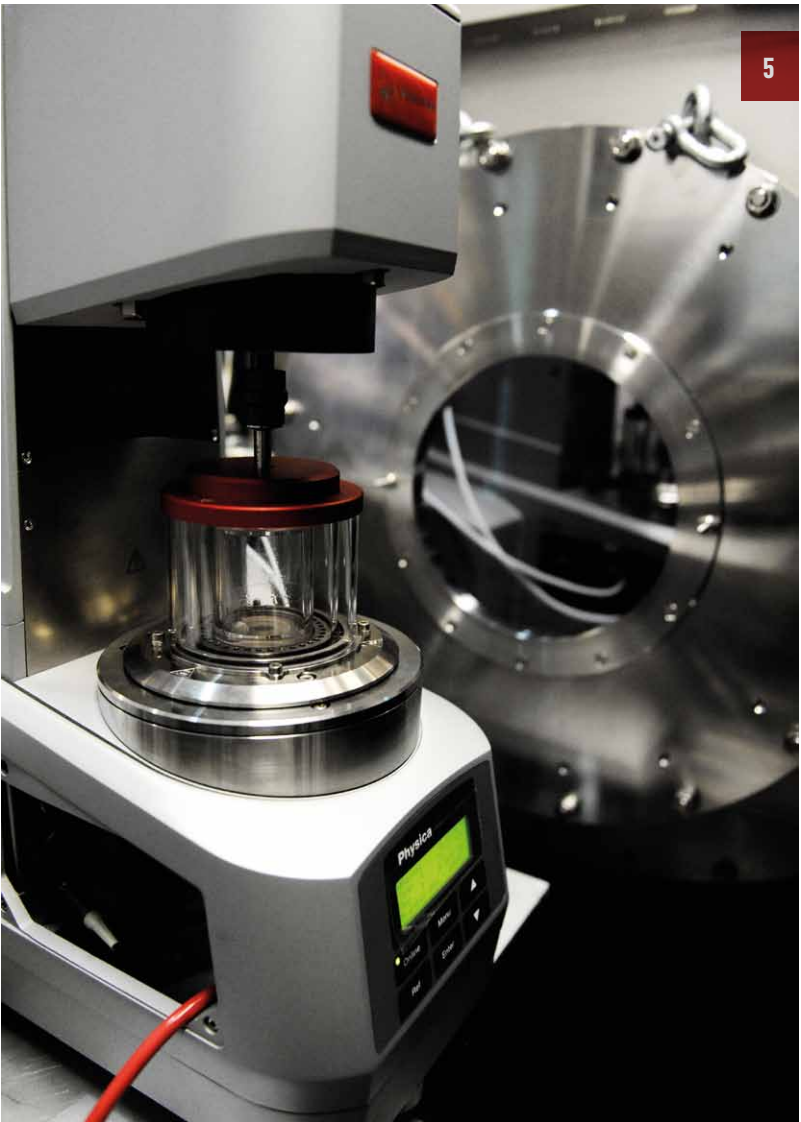
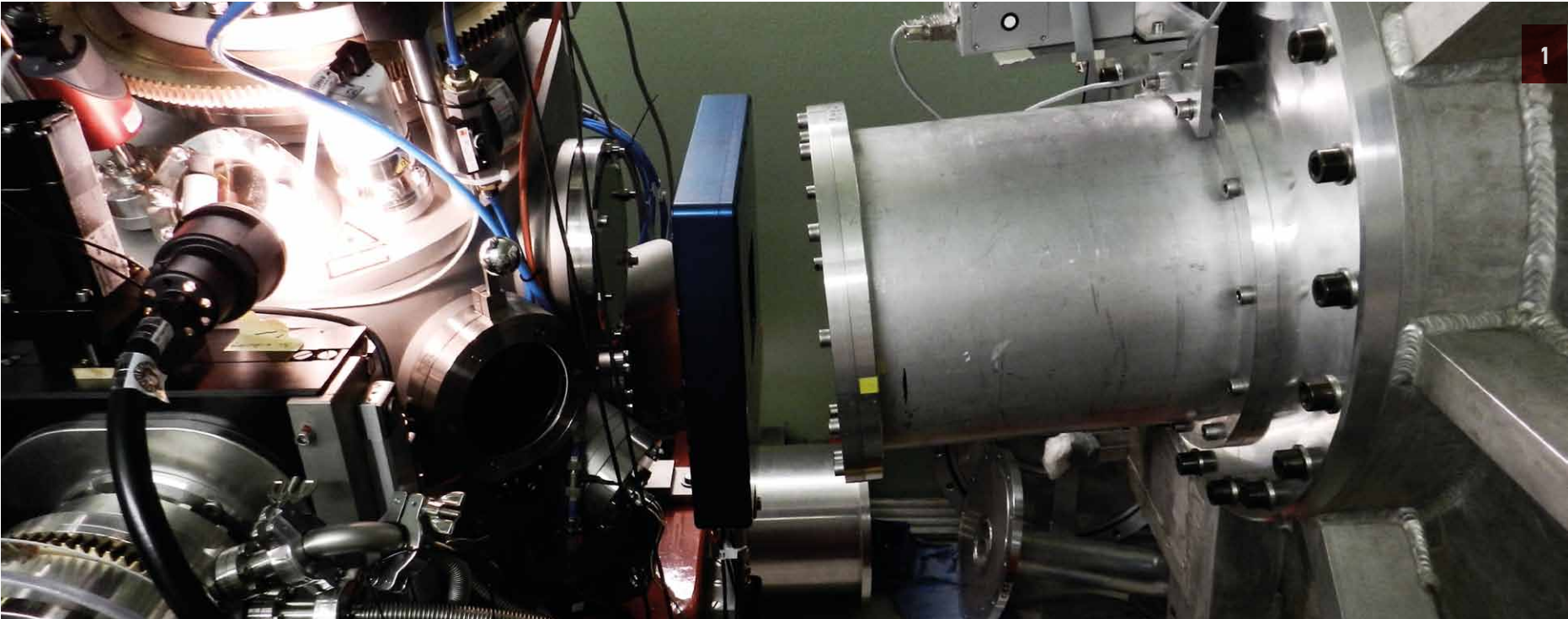
Methoden und Instrumente

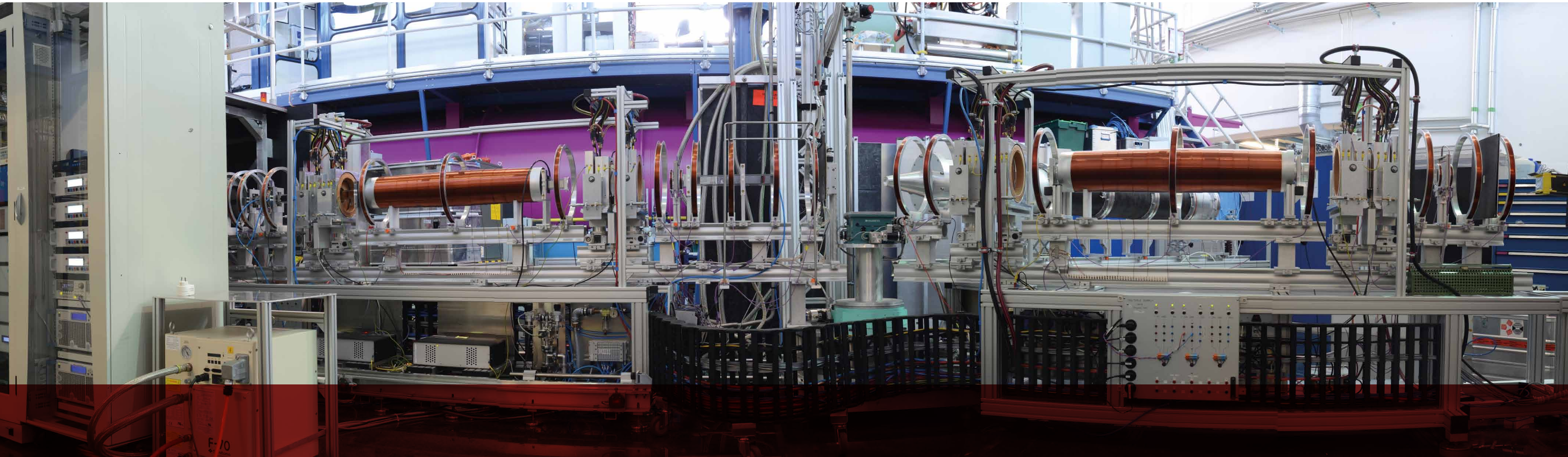
Die Breite ist die Basis

Neutronenforschung bedient eine große Breite von Fachrichtungen und Themen. Die verschiedenen Techniken spiegeln sich in Instrumenten wieder, die entweder hochspezialisiert sind oder flexibel an neue, herausfordernde Fragestellungen angepasst werden können.

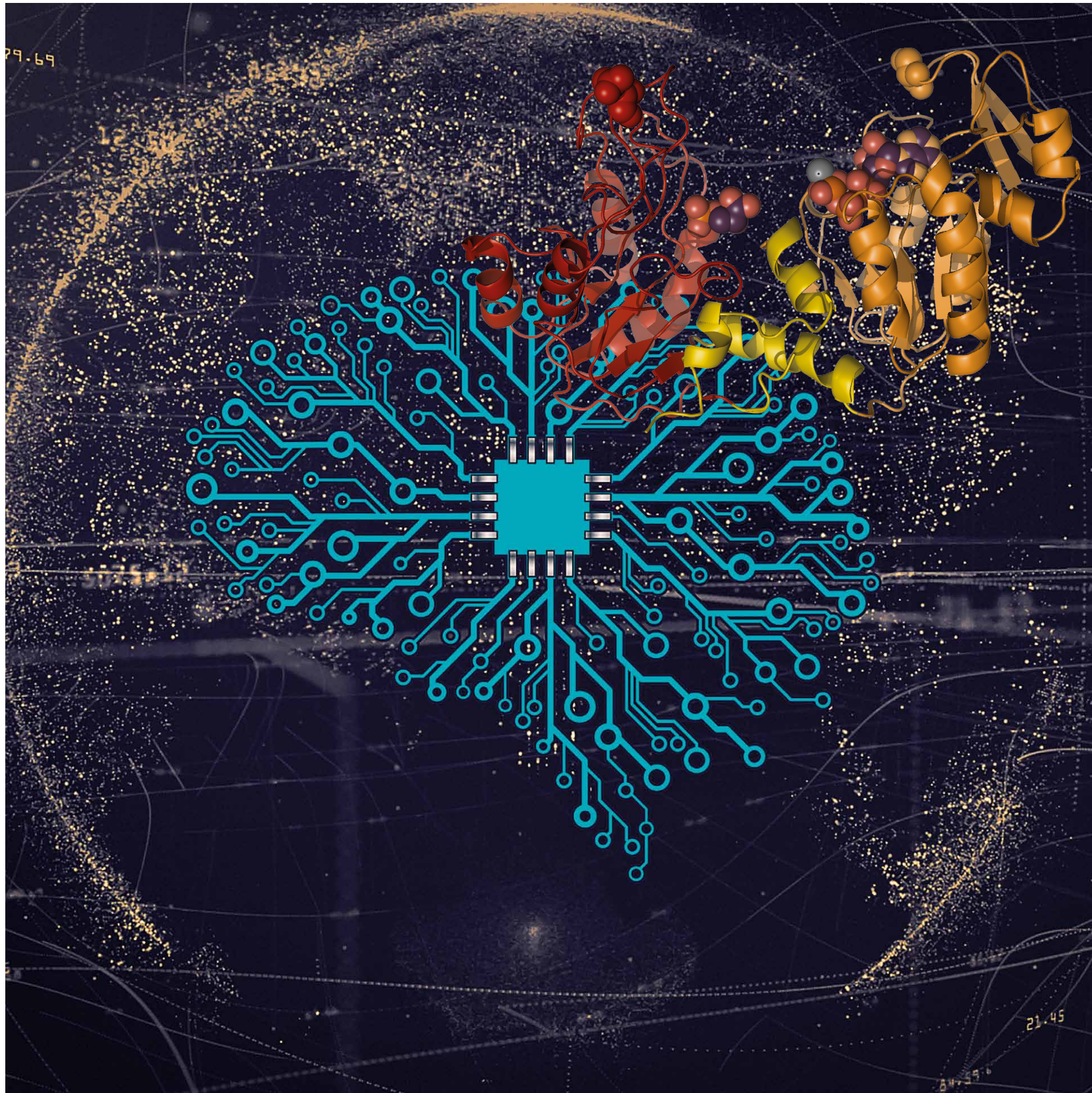
Messungen an dünnen Schichten – ob Polymere, biologische Membranen oder magnetisch-aktive Schichten – werden in Kombination von Reflektometrie und Kleinwinkelstreuung untersucht (1). Mit Hilfe von Neutronenspektroskopie lernt man, wie sich die Atome bewegen – und z. B. auch, wie Magnetismus entsteht oder warum magnetische Supraleiter

existieren (2). Kleinwinkelstreuung kann Ausscheidungen in Legierungen ebenso sichtbar machen wie Wirbel, die durch Supraleitung entstehen (3). Wie funktionieren Enzyme, wie schalten Gene? – Diffraction mit Neutronen findet den Mechanismus (4). Komplexe Flüssigkeiten für viele Anwendungen untersucht Kleinwinkelstreuung mit Neutronen – auch in-situ unter Deformation (5). Operando-Untersuchungen zum Be- und Entladeverhalten von Batterien lässt uns verstehen, wie sich die Ionenverteilung über viele Zyklen verändert – also warum die Batterie altert (6). Kann man im frustrierten Kristallgitter eine Quanten-Spin-Flüssigkeit herstellen? Diffraction und Spektroskopie arbeiten hier als Einheit (7).





**WEITERENTWICKLUNGEN VON INSTRUMENTEN UND QUELLEN ERLAUBEN OFT MEHR, BESSERE, SCHNELLERE
ERGEBNISSE. VÖLLIG NEUE KONZEPTE ABER ERÖFFNEN ZUGANG ZU BISHER NICHT ZUGÄNGLICHEM WISSEN.**



Digitale Transformation

Forschung 2.0

Neue Herausforderungen durch neue Forschungsmöglichkeiten

Neue Großforschungseinrichtungen wie z. B. die Europäische Spallationsquelle (ESS), aber auch Entwicklungen an bestehenden Instrumenten werden in den nächsten Jahren hervorragende Möglichkeiten schaffen, neue und aufregende Experimente durchzuführen. Gerade neue Detektortechnologien und neue Anwendungsmöglichkeiten lassen die Datenmengen u. U. um Größenordnungen anwachsen.

Data -Management / -Analytik

Die Handhabung, Analyse und Speicherung dieser Daten sowie deren Modellierungen werden uns vor neue Herausforderungen stellen. „Machine Learning“ und „Big Data Analytics“ bieten prinzipiell neue Möglichkeiten der Analytik, die jetzt noch nicht zugänglich sind.

Unterstützung durch Initiative des KFN

ErUM-Data: Das KFN hat in enger Kooperation mit dem Komitee Forschung mit Synchrotronstrahlung (KFS) im Rahmen der Initiative des BMBF „ErUM-Data“ Empfehlungen für „Innovative digitale Technologien für ErUM“ mit erarbeitet („Challenges and Opportunities of Digital Transformation in Fundamental Research on Universe and Matter“). Die Resultate dienen u. a. als Basis für einen Aktionsplan in ErUM-Data. Die Maßnahmen umspannen Überlegungen zur Hardware und Anwendungen im Bereich der künstlichen Intelligenz zur Analyse der Daten bis hin zur Einführung von Tenure-Track-Programmen für Juniorprofessuren.

NFDI: Mit dem vom KFN gemeinsam mit dem KFS initiierten und getriebenen Konsortium DAPHNE4NFDI (DAten aus PHotonen- und NeutronenExperimenten) bewerben sich NutzerInnen und Zentren um Einbettung in die Nationale Forschungsdateninfrastruktur NFDI. Im Bereich Daten-, Metadatenmanagement und hohe Datenraten werden Lösungen für große wissenschaftliche Experimente entwickelt. Dafür werden in DAPHNE4NFDI die Infrastrukturen entwickelt und zunächst an Beispielanwendungen implementiert, langfristig wird das Datenmanagement FAIR* und entsprechend den Bedürfnisse der NutzerInnen gestaltet.

Themenschwerpunkte für die Zukunft

> Unterstützung für die Umsetzung der Maßnahmen im BMBF-Aktionsplan ErUM-Data unter Berücksichtigung der Programme auf nationaler, europäischer und internationaler Ebene

> Mitwirkung an der Umsetzung von Richtlinien zum Vorteil der NutzerInnen (z. B. FAIR*-Prinzipien, Standards für Metadaten)

> Big Data Analytics (Werkzeuge für Datenreduzierung, Live-Auswertungen, etc.)

> Webbasierte Plattformen und Austauschplattformen für Datenanalytik und neue Entwicklungen

> Datenarchivierung und Datenkuration

Empfehlungen des KFN

> Umsetzungen des BMBF-Aktionsplans ErUM-Data

> Mittel für Personal zur Umsetzung der Empfehlungen (z. B. Tenure-Track-Programme)

> Umsetzung der FAIR*-Prinzipien mit nutzerfreundlicher Umsetzung

> Wissenstransfer in der Digitalisierung zwischen den einzelnen ErUM-Gemeinden

> Partnership zwischen den ErUM-Communities zur Organisation der digitalen Agenda

*doi:10.1038 / sdata.2016.18

Die Nutzung digitaler Technologien wird den Erkenntnisgewinn aus Neutronen-Daten signifikant steigern, wenn wir als Menschen unsere Intelligenz richtig einsetzen. Das KFN treibt diesen Prozess voran.

Forschung braucht Menschen

Nachwuchs fördern

Zusammenarbeit

Der wissenschaftliche Fortschritt lebt von neugierigen jungen Leuten, die eigene Ideen entwickeln. Die Forschung mit Neutronen ist besonders dadurch geprägt, dass sie an Großforschungseinrichtungen gebunden ist, so dass sich jedes Forschungsprojekt durch eine intensive Zusammenarbeit der Forschenden auszeichnet. Junge WissenschaftlerInnen kommen daher sehr früh in ihrer Karriere in Kontakt zu Forschenden aller Altersgruppen und wissenschaftlicher Disziplinen. Da die Experimente an wenigen Einrichtungen weltweit durchgeführt werden, geschieht dies automatisch in einer internationalen Umgebung – ideale Voraussetzungen für zukünftige Arbeitsplätze in Forschung, Industrie und Verwaltung.

Gewinn fürs Leben

Der Zugang zu Strahlzeit erfolgt über sehr kompetitive Verfahren: Die WissenschaftlerInnen müssen dabei ihre Forschungsprojekte prägnant beschreiben und unabhängige Auswahlkomitees durch wissenschaftliche Exzellenz und fachübergreifende Relevanz überzeugen. Ein erfolgreicher Antrag belohnt sie in vielfacher Hinsicht: Sie können einzigartige, aufregende Experimente durchführen, die sie auf ihrem Forschungsgebiet entscheidend voranbringen. Sie kooperieren mit Spezialisten, die sie in die hochkomplexen Messmethoden einarbeiten und lernen, große Datenmengen mit modernen Softwaretools auszuwerten. Es erfolgt eine intensive Vernetzung mit Forschenden verschiedener Länder. Es ergeben sich interkulturelle Erfahrungen, die junge WissenschaftlerInnen für das Leben prägen.



„An meine Forschung mit Neutronen habe ich außerordentlich positive Erinnerungen. Sowohl die tiefen Einblicke in die Physik der Materie als auch die starke Ausbildung in datengetriebener Modellierung sind von unschlagbarem Vorteil für eine Karriere in der Industrie. Zudem pflege ich weiterhin meine vielen Kontakte aus der weltweit sehr gut vernetzten Forschungsgemeinschaft, die mich sowohl beruflich, als auch privat in vielen Situationen bis heute unterstützen.“ **Dr. Lukas Karge, Mercedes-AMG**



„Die Neutronenstreuung nutze ich während meiner Promotion zur Charakterisierung von Form, Größe sowie der Struktur von quervernetzten Polymeren. Als wichtigste Analysemethode stellt sie daher ein Kernthema meiner Arbeit dar. Darüber hinaus gestaltet das internationale Umfeld die Arbeit mit dieser Methode sehr abwechslungsreich und spannend. So war es mir möglich, durch die Bombannes Summer School mein Wissen über Neutronenstreuung zu intensivieren und darüber hinaus internationale Kontakte zu knüpfen. Dadurch ergab sich auch die Möglichkeit, an der Universität in Aarhus mit J.S. Pedersen gemeinsam ein Modell zur Auswertung meiner Streudaten zu entwickeln.“ **Anne C. Nickel, M. Sc.; RWTH Aachen**



Moderne Arbeitswelt

Die Fähigkeit, komplexe Projekte im Wechselspiel mit anderen sowohl vor Ort am Messgerät als auch über große Distanzen erfolgreich zu führen, zeichnet die NeutronenforscherInnen aus – Qualitäten, die für eine moderne Arbeitswelt essenziell sind.

Veranstaltungen

Der Einstieg in die Welt der Forschung mit Neutronen durch Experimente wird ergänzt durch Doktorandenprogramme, Schulen und Konferenzen. Auch diese haben einen internationalen und interdisziplinären Charakter. Besonders hervorzuheben sind hier die HERCULES-Schulen, das InnovaXN-Programm, die Neutronenschulen der Zentren und die RACIRI-Sommerschule, die die Komitees Forschung mit Neutronen und Synchrotronstrahlung gemeinsam organisieren, wie auch die SNI-Konferenzen, an denen auch Forschende mit nuklearen Sonden und Ionen teilnehmen.

Vernetzung fördern

Um noch mehr Studierenden Möglichkeiten zur Vernetzung eröffnen zu können, ist die Förderung der institutionsübergreifenden Kooperationen und die Bildung von Kompetenznetzwerken unerlässlich. Darüber hinaus erfordert die zeitaufwändige Entwicklung der Strahlungsquellen und Messinstrumente eine Generationen überspannende Personalentwicklung und eine klare Perspektive für junge WissenschaftlerInnen.



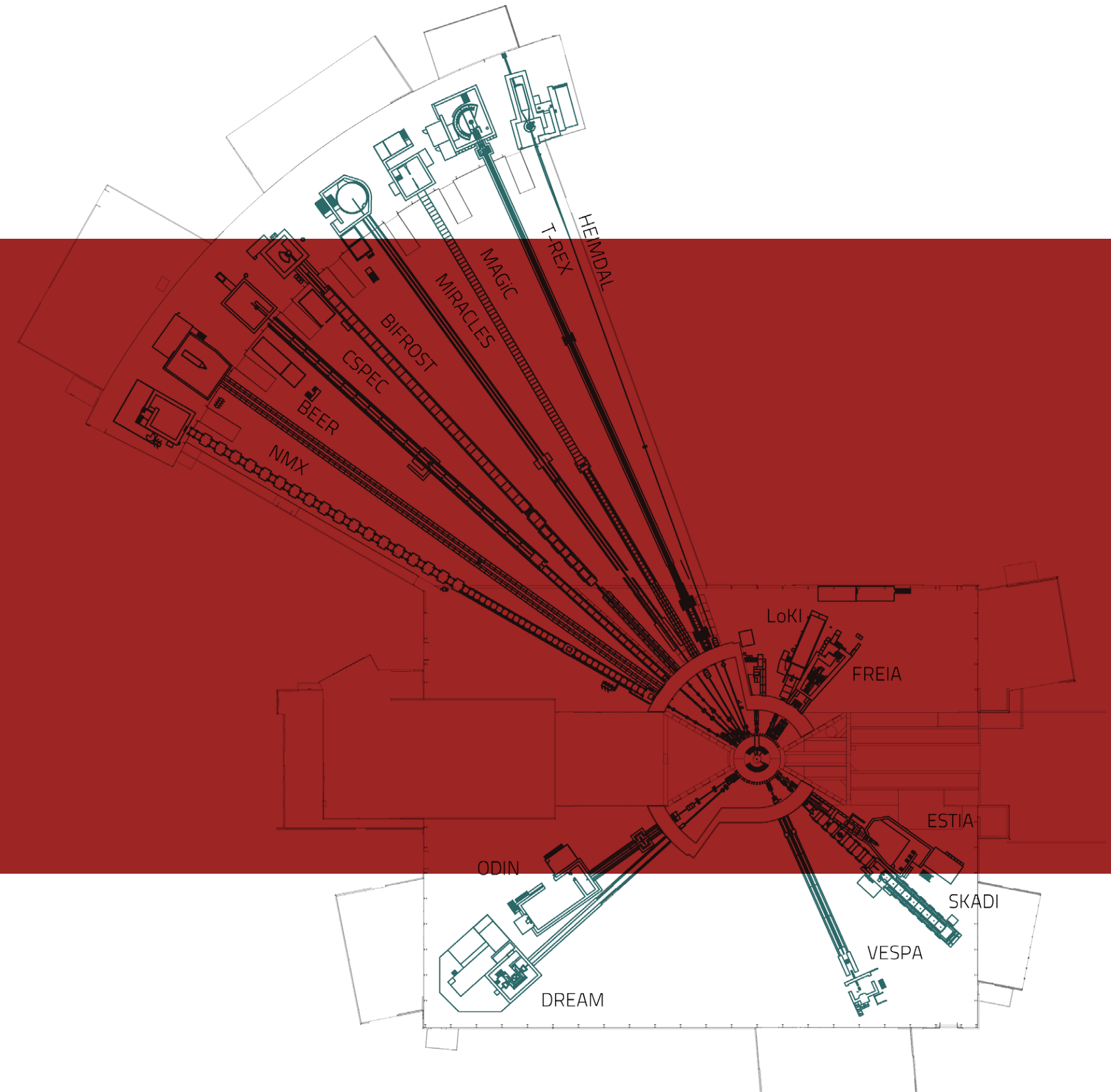
„Wenn ich an die Zeit meiner Ausbildung zurückdenke, war sicher die Arbeit in der Neutronenforschung am Institut Laue-Langevin am prägendsten. Die inspirierende Atmosphäre mit ForscherInnen aus über 40 Ländern trug wesentlich dazu bei. Dort lernte ich, worauf es in der Forschung am meisten ankommt: Das gemeinsame Arbeiten in internationalen Teams, aus unterschiedlichen Fachrichtungen und mit unterschiedlichen Erfahrungshorizonten. Solche Teams sind in der Lage, wirklich Neues zu schaffen. Genauso wie meine spannendsten Ergebnisse während meiner Doktorarbeit nur in Kooperation mit verschiedenen Arbeitsgruppen entstehen konnten, verhielt es sich bei meinen erfolgreichsten Industrieprojekten. Was ich später als „Open Innovation“ und „Co-creation“ praktizierte, war bei der Neutronenforschung längst gelebte Praxis. Da die Ressource Neutron knapp ist, kommt es umso mehr auf gute Planung und Koordination an. Beides sind sehr wichtige Kriterien für einen späteren Forschungserfolg. Daher wünsche ich mir, dass noch viele Studierendengenerationen die Möglichkeit haben, mit internationalen Teams in der Forschung mit Neutronen zu arbeiten.“ **Dr. Johannes Zipfel, DELSCI GmbH**



Das KFN empfiehlt, wissenschaftlichem Nachwuchs in der Forschung mit Neutronen noch stärkere Entwicklungsmöglichkeiten zu bieten und berufliche Perspektiven sowie die dafür nötigen Strukturen zu schaffen.

» KERN DER WISSENSCHAFT IST DER INTERNATIONALE AUSTAUSCH UND DER GEWINN VON ERFAHRUNGEN ÜBER **LÄNDERGRENZEN** HINWEG.

BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (BMBF)

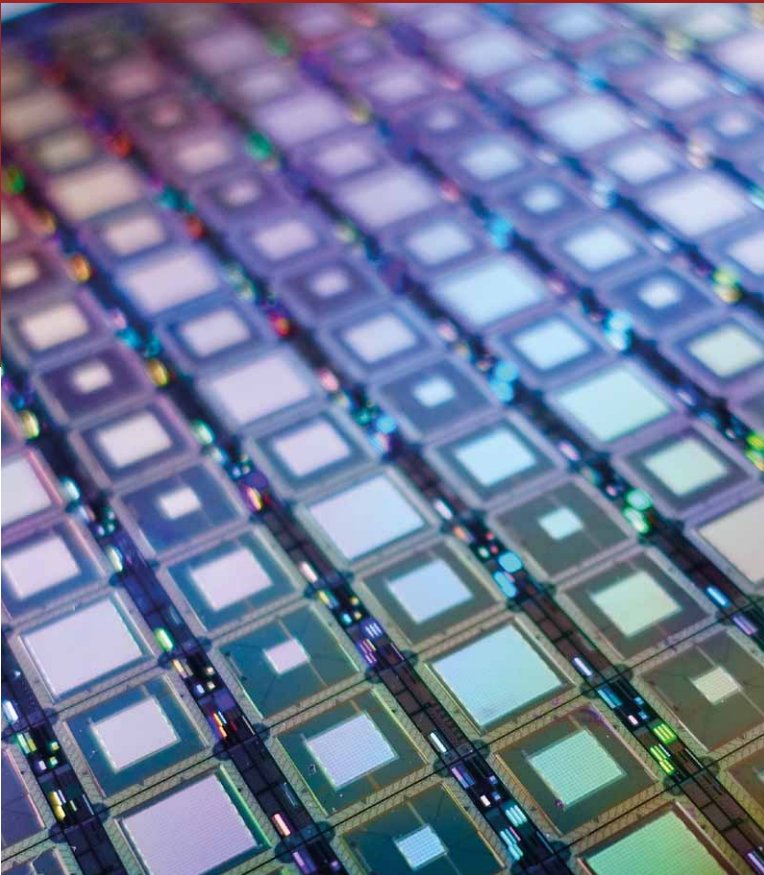
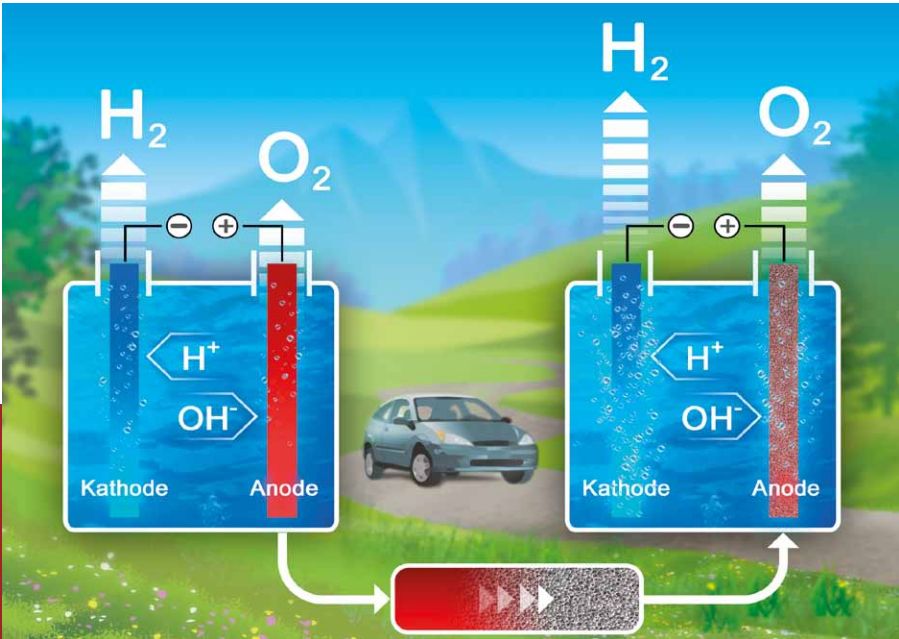


Die Zukunft der Neutronenforschung

Unsere Vision

Neue und einzigartige Forschungsfelder

Exzellente Neutronenexperimente eröffnen neue Forschungs- und Innovationsfelder in den unterschiedlichen Bereichen von Biologie, Chemie, Maschinenbau, Physik, Archäologie etc. Modernste Instrumentierung ermöglicht chemische Reaktionen zeitaufgelöst zu verfolgen, operando Untersuchungen technischer Prozesse, in-situ-Messungen von Proteinkinetik und vieles mehr. Anwendungen von Algorithmen zur Datenanalyse und zur Erzeugung effizienter Messstrategien erlauben Zugang zu bisher nicht erreichbaren Informationen.



Technologietransfer und Innovation

In Zusammenarbeit mit Industrie oder anwendungsaffinen Forschungsgruppen werden Forschungsergebnisse, Daten oder Technologien direkt für Zielgruppen aus Gesellschaft und Wirtschaft nutzbar gemacht. Die dazu erforderlichen Strukturen entstehen aus gewachsenen Kooperationen oder Initiativen, die im Rahmen von Fördermaßnahmen aufgebaut werden.



Planbarkeit

NutzerInnen haben kontinuierlich Zugang zu Neutronen. ForscherInnen können deshalb herausragende Projekte initiieren und erfolgreich beenden. Dies ist Voraussetzung, um wissenschaftlichen Nachwuchs angemessen einzubeziehen und zu fördern.

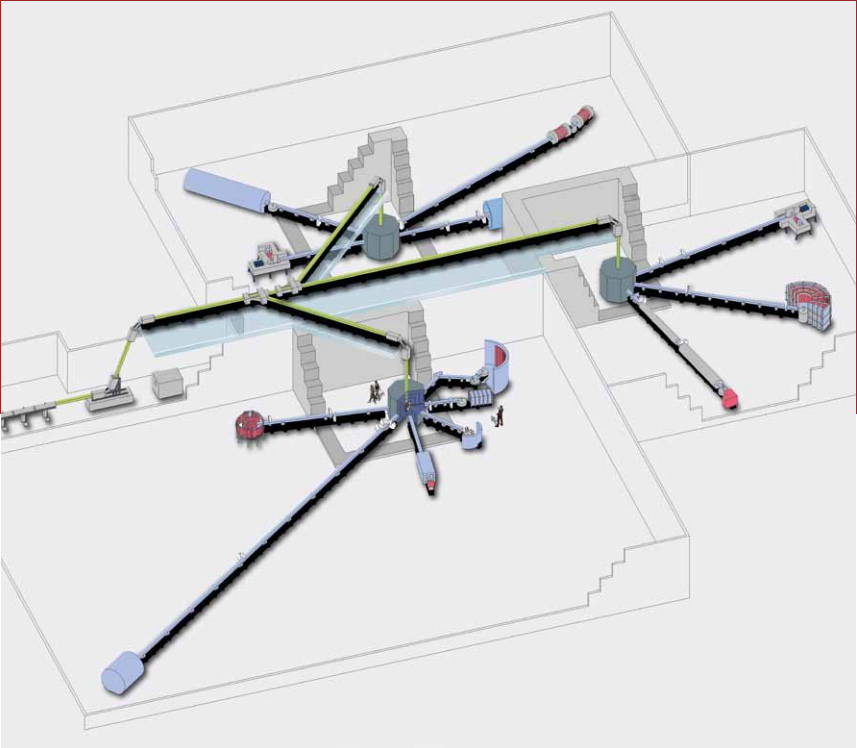
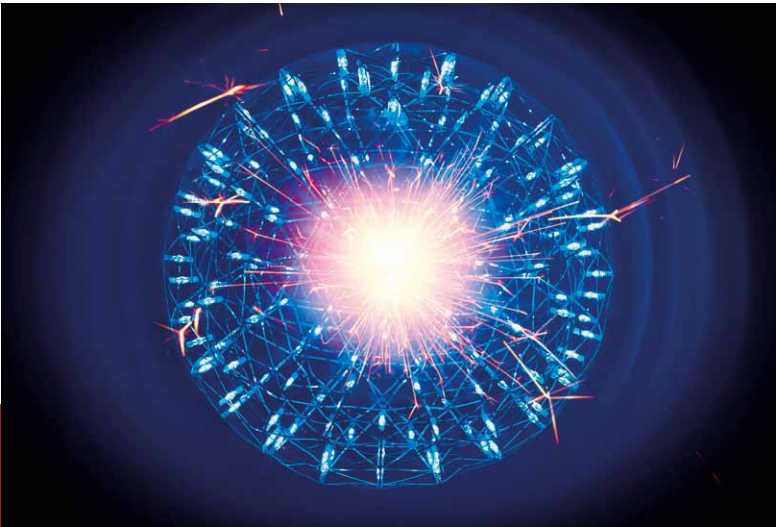


ILL – die Ernte der Ausdauer

Das ILL produziert weiterhin erstklassige Wissenschaft und ist ein „big player“ im europaweiten Know-How-Transfer.

MLZ – Spitzenforschung im universitären Umfeld mit „angegliederten“ Helmholtzzentren

Am MLZ als nationalem Innovations- und Kompetenzzentrum kondensieren methodische und instrumentelle Entwicklungen in bahnbrechenden wissenschaftlichen Erkenntnissen. Das MLZ ist elementarer Bestandteil der europäischen Neutronenlandschaft und synergetisch mit dieser vernetzt.



Neuartige Instrumente und Quellen

Nicht nur bahnbrechende Instrumente, sondern auch neuartige Prinzipien zur Erzeugung von Neutronen werden auf ihre Nutzbarkeit getestet. Eine weitere Quelle sichert die Kontinuität der Forschung.



ESS im Routinebetrieb

Die ESS ist im Routinebetrieb, eröffnet neue Forschungsmöglichkeiten für die Forschung mit Neutronen und erweitert die Instrumentensuite entsprechend den neuesten Bedürfnissen und Trends.

Bildnachweis

Cover (von oben nach unten): Martin Weik / Joachim Wuttke; Jurvetson (Creative Commons BY 2.0); Adobe Stock; re.: Ingo Manke (HZB); li.: Christoph Hohmann (NIM);

Rückseite (von oben nach unten): Burkhard Schillinger (MLZ); Tomas Anunziata (Pexels); Adobe Stock

Missionen der EU: Andrey Kovalevsky (ORNL)

Unverzichtbare Methode: Tobias Hase (TUM / FRM II)

Forschung mit Neutronen in Deutschland: Grafik: Sabrina Kressierer (not a square)

Empfehlungen des KFN: Bernhard Ludewig / MLZ

Forschungsfelder: Kultur- und Naturerbe: Andreas Heddergott (TUM); Biologie und Gesundheit: Jill Hemman (ORNL, U.S. Dept. of Energy); Teilchen und Universum: Tomas Anunziata (Pexels); Materialentwicklung: Peter Nussbaumer (Creative Commons BY-SA 3.0); Energie und Umwelt: Christoph Hohmann (NIM); Materialentwicklung / Biologie und Gesundheit: Andreas Ostermann (TUM / FRM II)

Materialentwicklung: Diego Rosales (PSI)

S.16-17: Bernhard Ludewig / MLZ

Biologie und Gesundheit: Adobe Stock

Energie und Umwelt: Andreas Heddergott (TUM)

Teilchen und Universum: Laurent Thion (ecliptique.com) / ILL

Kultur- und Naturerbe: Klaudia Hradil (TU Wien); Wenzel Schürmann (TUM)

Neutronenquellen: Perry Nordeng / ESS; ESS; Grafik Dreieck: Sabrina Kressierer (not a square)

Methoden und Instrumente: 1: Matthias Pomm (HZG); 2: Wenzel Schürmann (TUM) 3: Henrich Frielinghaus (Forschungszentrum Jülich) 4: Andreas Heddergott (TUM) 5: Henrich Frielinghaus (Forschungszentrum Jülich) 6: Andreas Heddergott (TUM) 7: Bernhard Ludewig / MLZ

S.30-31: Olaf Soltwedel

Digitale Transformation: Proteinstruktur: Ralf Biehl (Forschungszentrum Jülich); Mikemac-marketing (Creative Commons BY 2.0)

Forschung braucht Menschen: Wenzel Schürmann (TUM); Privatfotos der interviewten Personen

S.36-37: ESS

Die Zukunft der Neutronenforschung: oben von li. nach re.: Reiner Müller (TUM); ILL; Adobe Stock; unten: Jurvetson (Creative Commons BY 2.0); Adobe Stock; Clarissa Reisen (Forschungszentrum Jülich); Henning Larsen Architects/COBE/SLA

Impressum

Herausgeber

11. Komitee Forschung mit Neutronen
(2017-2020)

Vorsitzende Dr. Astrid Schneidewind
Jülich Centre for Neutron Science JCNS
Forschungszentrum Jülich GmbH
Heinz Maier-Leibnitz Zentrum Garching
Lichtenbergstraße 1, 85747 Garching
E-Mail: a.schneidewind@fz-juelich.de

Mitglieder des 11. KFN:

Prof. Dr. Markus Braden (stellv. Vorsitzender), Universität zu Köln
Dr. Klaudia Hradil, TU Wien
Prof. Dr. Regine v. Klitzing, TU Darmstadt
Dr. Wiebke Lohstroh, TU München
Prof. Dr. Andreas Meyer, DLR Köln und Universität Bochum
Prof. Dr. Walter Richtering, RWTH Aachen
Dr. Astrid Schneidewind, FZ Jülich
Prof. Dr. Bastian Märkisch, TU München
Prof. Dr. Rainer Niewa, Universität Stuttgart
Prof. Dr. Frank Schreiber, Universität Tübingen

Verabschiedet vom KFN am 07.12.2020
Redaktionsschluss: 09.12.2020

Redaktion

Dr. Karin Griewatsch
Helmholtz-Zentrum Geesthacht am
Institut für Experimentelle und Angewandte Physik
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Leibnizstraße 19, 24098 Kiel
E-Mail: kfnadmin@sni-portal.de

Layout und Satz

Sabrina Kressierer
not a square – mediadesign
Am Oberwiesenfeld 15, 80809 München
E-Mail: info@not-a-square.com

Druck

WPP Offsetdruck GmbH
Georg-Wimmer-Ring 9
85604 Zorneding

