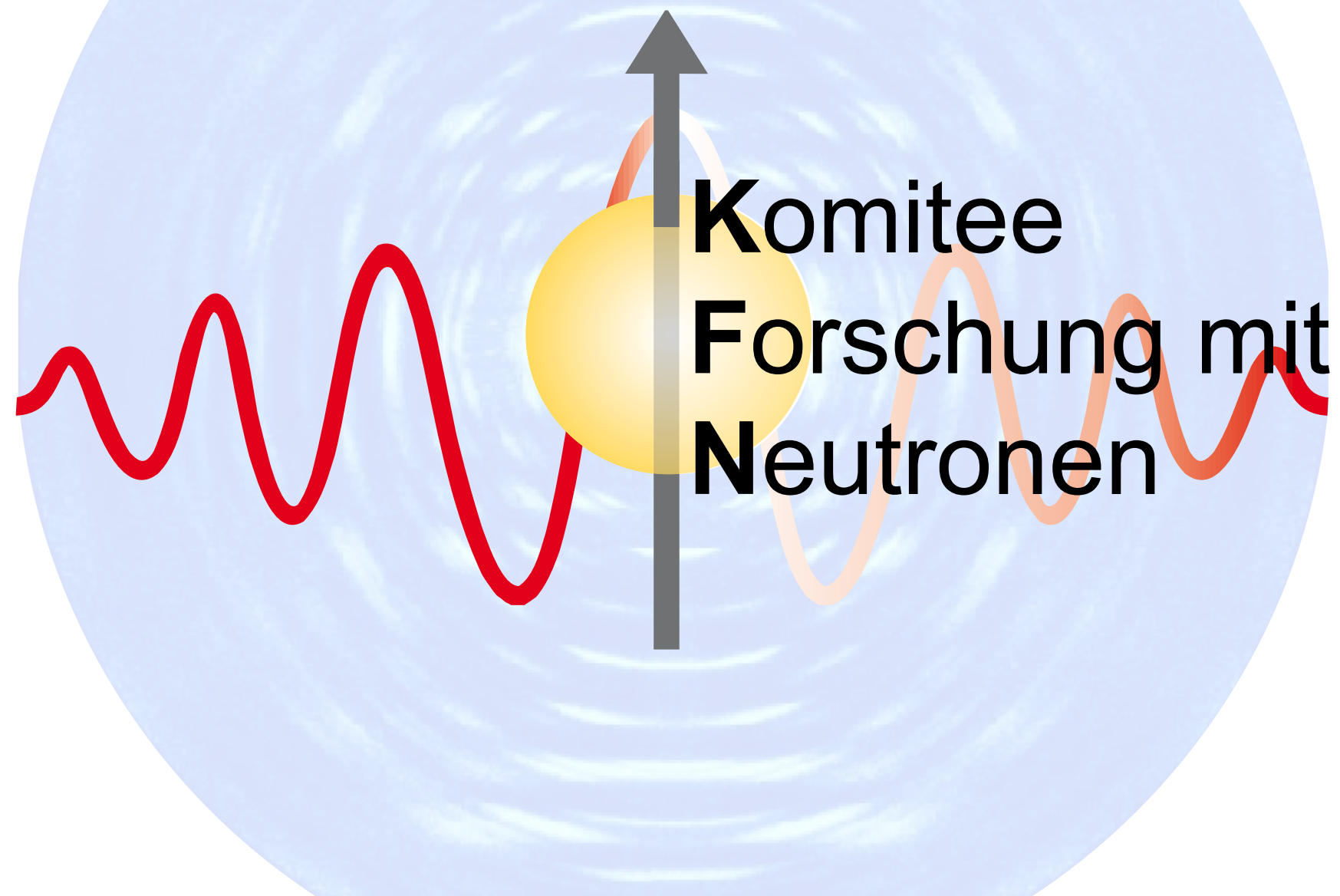


Perspektiven der Neutronenforschung in Deutschland

im Licht der kommenden neuen
Europäischen Neutronenquelle



**Komitee
Forschung mit
Neutronen**

Impressum

Erarbeitet vom achten
Komitee Forschung mit Neutronen
Vorsitzender Prof. Dr. Götz Eckold
Institut für Physikalische Chemie
Georg-August-Universität Göttingen
Tammannstrasse 6
37077 Göttingen

Mitglieder:

Prof. Dr. Markus Braden
(Universität Köln)
Prof. Dr. Thomas Brückel
(Forschungszentrum Jülich)
Prof. Dr. Götz Eckold
(Universität Göttingen, Vorsitzender)
Dr. Alexander Ioffe
(Forschungszentrum Jülich)
Prof. Dr. Anke Kaysser-Pyzalla,
(Helmholtz-Zentrum Berlin)
Prof. Dr. Regine v. Klitzing
(TU Berlin)
Prof. Dr. Winfried Petry
(TU München, FRM II)
Prof. Dr. Christian Pfeleiderer
(TU München, stellvertretender Vorsitzender),
Prof. Dr. Michael Ruck
(TU Dresden)
Prof. Dr. W.W. Schmahl
(LMU München)
Prof. Dr. Andreas Schreyer
(Helmholtz-Zentrum Geesthacht)
Dr. Roland Steitz,
(Helmholtz-Zentrum Berlin)
Prof. Dr. Richard Wagner
(Institut Laue-Langevin)
Prof. Dr. Dr. h.c. Helmut Zabel
(Ruhr-Universität Bochum)
Prof. Dr. Oliver Zimmer
(TU München / ILL)

Ständige Gäste:

Dr. Olaf Kühnholz
(PT-DESY)
RD Dr. Heike Prasse
(BMBF)

Redaktion:

Th. Brückel, G. Eckold, K. Griewatsch, P. Link, R. Steitz,
A. Voit, H. Zabel

Unter Mitwirkung von:

S. Amame (TUM), R. Biehl (FZ Jülich), R. Bucher (TUM),
C. Cain, G. Cicognani (ILL), D. Dubbers (Universität
Heidelberg), M. Ekdahl (ESS), M. Evans (University of
Washington), V. Guerard (ILL), Th. Gutberlet (HZB),
I. Helms (HZB), M. Hermann (Tricklabor), H. Hillen (HZG),
R. Hilton, B. Köppchen (FZ Jülich), S. Kressierer (TUM),
L. Leander (Welt der Physik), I. Manke (HZB), G. Meier
(Universität Hamburg), S. Philp (Airbus), K. Pranzas (HZG),
M. Shelley (NY University), V. Springel (HITS), P. Staron
(HZG), J. Thomas (APS), W. Treimer (HZB), T. Wang (Uni-
versity of Sheffield), D. Weinberg (Ohio State University),
A. Wenzik (FZ Jülich)

Layout und Satz:

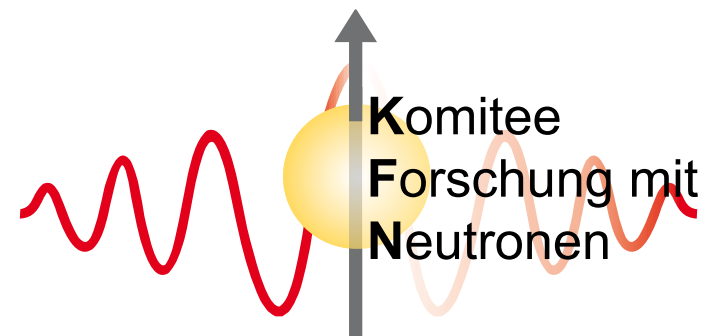
Dr. Karin Griewatsch, Andrea Voit

Bezug:

kfnadmin@physik.uni-kiel.de

Redaktionsschluss:

28.06.2011



Perspektiven der Neutronenforschung in Deutschland

im Licht der kommenden neuen
Europäischen Neutronenquelle

Inhalt

Strategische Empfehlungen des KFN	4
Ausgangssituation	6
Empfehlungen	7
Vorwort	10
Eine Gabe der Natur - das Neutron	12
Neutronenforschung in Deutschland	14
Deutsche Neutronenkompetenz	16
Neutronenquellen – das Licht der Neutronenforscher	18
Nutzung der Quellen	20
ESS - Die Europäische Perspektive für die Zukunft	22
Nationale Zentren – Knotenpunkte des europäischen Netzwerks	24
Neuartige Nutzerplattformen bereichern die Neutronenlandschaft in Deutschland	26
Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses	28
Neutronenforschung für die wissenschaftlichen Herausforderungen der Zukunft	30
Energie	32
Weiche Materie	34
Gesundheit	36
Umwelt	38
Materie unter extremen Bedingungen	40
Verkehr	42
Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung	44
Informationstechnologie	46
Magnetismus	48
Struktur und Aufbau der Materie	50
Industrielle Nutzung	52
Die grundlegenden Wechselwirkungen	52
Ursprung des Universums	54
Innovative Neutronen-Techniken	56
Komponenten	58
Datenerfassung und Datenanalyse	60
Hilfestellung für Nutzer – Simulationsmodule	62
Neue Instrumentierungskonzepte	62
Zukunftsweisende Nutzungskonzepte	64
Effektive Nutzung der Neutronen	66
Bildnachweis	68

Content

Strategic Recommendations of KFN	5
The present situation	8
Recommendations	9
Preface	11
A gift of nature - the neutron	13
Neutron Research in Germany	15
German neutron competence	17
Neutron sources - the light for neutron scientists	19
Use of sources	21
ESS - the European vision for the future	23
National centres - hubs within the European network	25
Novel user access platforms enrich Germany's neutron landscape	27
Training young scientists	29
Neutron Research for the Scientific Challenges of the Future	31
Energy	33
Soft Matter	35
Health	37
Environment	39
Matter under extreme conditions	41
Transport	43
Non-destructive testing of materials	45
Information technology	47
Magnetism	49
Structure and dynamics of matter	51
Industrial use	53
Fundamental interactions	53
The origin of the universe	55
Innovative Neutron Techniques	57
Components	59
Data acquisition and data reduction	61
Assistance for users - simulation modules	63
New concepts for instrument development	63
Pioneering New Concepts	65
The new way of using neutrons	67
Picture credits	68

Strategische Empfehlungen des KFN

Strategic Recommendations of KFN



Vision of ESS near Lund

Ausgangssituation

Leistungsfähige Großforschungseinrichtungen

Forschung mit Neutronen leistet entscheidende und unersetzliche Beiträge zu den großen Herausforderungen der modernen Industriegesellschaften wie Energieversorgung, Gesundheit, Umwelt, Verkehr und Informationstechnologie. Zur Bewältigung dieser Herausforderungen stehen den Nutzern von Neutronen in Deutschland mit der Forschungs-Neutronenquelle Heinz-Maier-Leibnitz (FRM II) und dem Forschungsreaktor BER II außerordentlich leistungsfähige Großforschungseinrichtungen zur Verfügung. In Kombination mit den Nutzerplattformen Jülich Centre for Neutron Science JCNS und German Engineering Material Science Centre GEMS bilden sie die nationale Basis für die erfolgreiche Forschung mit Neutronen.

Erfolgsmodell ILL

Dieses Netzwerk nationaler Neutronenzentren ist Voraussetzung für die Erfolgsgeschichte des Höchstflussreaktors HFR am Institut Laue-Langevin (ILL), der weltweit leistungsfähigsten kontinuierlichen Neutronenquelle. Mit nahezu 1000 aktiven Neutronenforschern stellt Deutschland die größte europäische Nutzergemeinde, die sich hauptsächlich aus Universitäten rekrutiert. Ihre große Kompetenz kommt nicht allein in exzellenten Forschungsergebnissen und industrierelevanten Anwendungen, sondern insbesondere auch bei der Entwicklung innovativer Neutroneninstrumente zum Ausdruck.

Vision ESS

Der Aufbruch in eine neue Ära mit der Erschließung neuer Anwendungsgebiete wird durch die Europäische Spallationsquelle ESS ermöglicht, die derzeit in die Realisierungsphase eintritt. Damit wird den europäischen und insbesondere auch den deutschen Wissenschaftlern mittelfristig die weltweit stärkste zeitlich gepulste Neutronenquelle mit einzigartigen Experimentiermöglichkeiten zur Verfügung stehen. Durch die Realisierung der ESS wird die führende Rolle Europas auf dem Gebiet der Forschung mit Neutronen eindrucksvoll bestätigt und ausgebaut.

Empfehlungen

ESS

- Das KFN empfiehlt, an dem ehrgeizigen Zeitplan der ersten Inbetriebnahme der ESS zum Jahr 2019 und dem Ziel der vollen Nutzung ab 2025 festzuhalten.
- Deutsche Forscher und Nutzer von Neutronenquellen erheben den Anspruch, maßgeblich zur Gestaltung der ESS beizutragen.
- Entsprechend dem Gewicht deutscher Neutronenforschung im europäischen Verbund ist ein Anteil an der Nutzung der ESS vergleichbar zu der am Institut Laue-Langevin (ILL) angemessen.

ILL

- Angesichts der weltweit führenden Rolle des ILL hinsichtlich kontinuierlicher Neutronenquellen, seiner auf dem modernsten Stand gehaltenen Nukleartechnik, seiner leistungsfähigen Infrastruktur und der kontinuierlich modernisierten Instrumentierung empfiehlt das KFN die langfristige Nutzung, damit die Früchte der in der letzten Jahren getätigten Investitionen geerntet werden können. Die Fortschreibung des Gesellschaftervertrages ist dringend geboten.

FRM II und BER II

- Die leistungsfähigen nationalen Neutronenquellen FRM II und BER II erlauben Forschung auf höchstem Niveau und bieten einzigartige Experimentiermöglichkeiten. Damit bilden sie gleichzeitig die Voraussetzung für eine erfolgreiche Nutzung der Spitzenquellen ILL und später der ESS. Nach Auffassung des KFN sind FRM II und BER II die Garanten für eine ausreichende Versorgung der Nutzergemeinschaft, eine effiziente Ausbildung und Methodenentwicklung.

- Das KFN begrüßt die Vereinbarung zwischen den Helmholtz-Zentren FZJ, HZG und HZB sowie der Technischen Universität München zur Zusammenarbeit und Förderung des gemeinsamen wissenschaftlichen Forschungs- und Nutzerbetriebs am FRM II. Sie ist ein wesentlicher Beitrag dazu, das Potenzial der modernsten kontinuierlichen Neutronenquelle voll auszuschöpfen und auch Universitätsgruppen ein dauerhaftes Engagement am FRM II zu erlauben.

Nachwuchsförderung

- Gemeinsam mit den Universitäten tragen Neutronenzentren wesentlich zur Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses auf dem Gebiet der Forschung mit Neutronen bei. Das KFN empfiehlt, strukturelle Maßnahmen zum Ausbau dieser Zusammenarbeit auch in Zukunft intensiv zu fördern, damit auch neue Nutzergruppen erreicht werden können.

Fördermechanismen

- Die Verbundforschung des BMBF hat in einmaliger Weise universitäre Neugier und Innovationskraft für die Neutronenquellen zugänglich gemacht. Das KFN empfiehlt die Stärkung dieses Förderinstruments als verbindendes Element zwischen Universitäten und Forschungszentren, auch im Hinblick auf die Beteiligung deutscher Universitäten an Konzeption, Aufbau und späterer Nutzung der ESS.
- Das KFN empfiehlt, die Förderung des Zugangs zu nationalen Quellen für Wissenschaftler aus EU-Mitgliedsstaaten mit dem Ziel verstärkter europäischer Vernetzung auszubauen und langfristig durch Rahmenprogramme der Europäischen Union zu sichern, da dadurch selbst mit relativ bescheidenen Mitteln eine große Hebelwirkung erzielt wird.



Institut Laue-Langevin





The present situation

Efficient large-scale research facilities

Research using neutrons provides essential and unique contributions to the major challenges facing modern industrial societies, such as energy supply, health, the environment, transport and information technology. In order to meet these challenges, extremely efficient large-scale research facilities are available to users of neutrons in Germany, namely the research reactors Heinz-Maier-Leibnitz (FRM II) and BER II. In conjunction with the user access platforms Jülich Centre for Neutron Science JCNS and German Engineering Material Science Centre GEMS, they are establishing a national basis for thriving research using neutrons.

Success story ILL

This network of national neutron centres is a prerequisite for the success story of the high flux reactor HFR at the Institut Laue-Langevin (ILL) which is the most powerful and efficient continuous neutron source worldwide. With almost 1000 active neutron researchers, drawn primarily from universities, Germany has the largest user community in Europe. Its competence and experience is not only reflected in excellent scientific research results and industrial applications, but also in the development of new and innovative neutron instruments and techniques.

Vision ESS

A new era providing access to new fields of novel applications will dawn with the advent of the European Spallation Source ESS, which is now entering the design and construction phase. In the medium term, with its unique experimental facilities, it will provide the most powerful pulsed neutron source available to European and, in particular, German scientists. The realisation of ESS will serve to further establish and strengthen the impressive role of Europe as leader in the field of research using neutrons.



Recommendations

ESS

- KFN recommends keeping the ambitious time-scale for commissioning the ESS by 2019 and full operation by 2025.
- German researchers and users of neutron sources reserve the right to have a significant say in the design of ESS.
- Commensurate with the important role of German neutron science in the European network, its share of ESS usage should be comparable to that of the Institut Laue-Langevin (ILL).

ILL

- In view of the position of the ILL as a world leader with respect to continuous neutron sources, state of the art nuclear technology, efficient infrastructure and continuously refurbished instrumentation, the KFN recommends the long-term use of the ILL in order that the investments of the last years may bear fruit. An extension of the Intergovernmental Convention is urgently requested.

FRM II and BER II

- The two powerful national neutron sources FRM II and BER II allow for science at the highest level and provide unique experimental facilities. At the same time, they form the basis for a successful use of the ILL as the leading source, and later of the ESS. The KFN strongly believes that FRM II and BER II also guarantee an adequate supply of neutrons to the user community, along with efficient training for young scientists and method development.

- The KFN welcomes the cooperation agreed between the centres of the Helmholtz association FZJ, HZG and HZB and the Technical University of Munich aimed at jointly fostering science and user operation at the FRM II. It is an essential element in allowing the potential of this most advanced continuous neutron source to be fully exploited, and also ensure the enduring commitment of university groups at FRM II.

Support of young scientists

- In co-operation with the universities, the neutron centres in Germany make a considerable contribution to the fostering of young scientists in research fields using neutrons. The KFN recommends that all structural measures to strengthen and expand this co-operation be vigorously encouraged in order to attract new user groups.

Funding tools

- In a unique way, the BMBF-Verbundforschung makes the curiosity and innovation found in the universities accessible to the neutron facilities. The KFN recommends strengthening this funding-tool as a means of consolidating the interaction between universities and research centres, particularly in view of the participation of German universities in the design, realisation and future use of the ESS.
- The KFN recommends extending access to the national sources for researchers from EU-member countries with the aim of strengthening the European user network and ensuring its long-term support via programmes within the EU-framework, so that a large effect may be achieved even with a relatively small investment.



Vorwort

Großgeräte

Experimentieren an Großgeräten ist ein besonders faszinierender und unentbehrlicher Teil der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung. Mit innovativen Techniken und Methoden lassen sich einzigartige mikroskopische Einblicke in die Struktur und Dynamik von Materie gewinnen. Großgeräte zeichnen sich nicht zuletzt dadurch aus, dass sie Technologie an vorderster Front und Arbeiten in internationalen Kooperationen miteinander verbinden, wodurch der wissenschaftliche Nachwuchs in besonderer Weise gefordert und gefördert wird.

Zugang jetzt und in Zukunft

In den vergangenen Jahrzehnten hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) dafür gesorgt, dass Nutzern aus vielen Wissenschaftsbereichen der Zugang zu Großgeräten, wie Neutronenquellen, Synchrotron-Strahlungsquellen oder Beschleunigeranlagen ermöglicht wurde. Richtungsweisend im Bereich der Erforschung kondensierter Materie waren neben dem Betrieb der Anlagen der Helmholtz-Gemeinschaft und der Technischen Universität München die deutsche Beteiligung an der weltweit leistungsfähigsten Neutronenquelle, dem Hochflussreaktor am Institut Laue-Langevin in Grenoble (ILL) und später an der European Synchrotron Radiation Facility ESRF. Heute stehen mit den Entwicklungen zum Europäischen Freien Elektronen-Laser für harte Röntgenstrahlung (XFEL) in Hamburg und der European Spallation Neutron Source ESS in Lund neue Großgeräte vor der Realisierung, die es ermöglichen werden, die führende Rolle der europäischen und insbesondere der deutschen Wissenschaftsgemeinschaft auf diesen Gebieten weiter auszubauen. Damit wird ein wesentlicher Beitrag für die Zukunft Deutschlands als Hochtechnologiestandort geleistet.

Europäische Quellen

Deutsche Neutronenforscher haben bereits das ILL mit seinem Reaktor, dessen Fluss bis heute unerreicht ist, und mit seiner innovativen Instrumentierung maßgeblich gestaltet. Sie geben auch heute entscheidende Impulse zur Erschließung neuer Wissenschaftsgebiete. Ebenso wie bei der Inbetriebnahme des ILL erwarten die europäischen Nutzer nun von der ESS einen Aufbruch in eine neue Ära der Forschung mit Neutronen. Wieder wird die Optimierung der Quelle, ebenso wie ihre Flexibilität sowie eine optimal angepasste Instrumentierung der Schlüssel für den Erfolg sein.



Zukunftsvisionen

Das Komitee Forschung mit Neutronen (KFN) begrüßt außerordentlich, dass die Forschungsinfrastruktur auf höchstem Niveau ausgebaut wird. Mit der vorliegenden Broschüre stellt das KFN dar, wie sich aus seiner Sicht die Forschung mit Neutronen im Zusammenspiel von nationalen und internationalen Quellen entwickelt, welche Chancen die neuen Experimentiermöglichkeiten für Grundlagenforschung, angewandte Forschung, aber auch für industrielle und medizinische Anwendungen bieten und welche einzigartigen Erkenntnisgewinne sich daraus ergeben können. Aufgrund der in den vergangenen Jahrzehnten erarbeiteten Position in Wissenschaft und Methodik erhebt die Deutsche Neutronen-Gemeinschaft den Anspruch, auch die neue Europäische Spallationsquelle maßgeblich mitzugestalten, insbesondere deren Instrumentierung und die zukünftige Nutzung. Deutsche Neutronenzentren besitzen darüber hinaus Kernkompetenzen, die unerlässlich sind bei der Entwicklung der Quelle als solcher.

Investitionen zahlen sich aus

Dass sich die Investitionen in die nationalen und internationalen Großforschungseinrichtungen auszahlen, belegt die Vielzahl von Forschergruppen aus verschiedensten Wissenschaftsgebieten, die erfolgreich regelmäßig die Experimentiermöglichkeiten nutzen. Die kontinuierliche Weiterentwicklung ist Garant für den wissenschaftlichen und technologischen Fortschritt in Deutschland und in Europa.

Preface

Large scale facilities

Performing experiments at large scale facilities is a fascinating and indispensable part of basic scientific research. Using innovative techniques and novel methods one obtains a unique insight into the structure and dynamics of matter on a microscopic scale. One of the main characteristics of large scale facilities is the combination of high-level technology and scientific work in international co-operation. This is a special environment that helps to challenge and foster young academics.

Access now and in the future

Over the last decades, funding by the Federal Ministry of Education and Research (BMBF) has guaranteed that users from a variety of scientific disciplines have had access to large scale facilities such as neutron or synchrotron-radiation sources and accelerator facilities. A determining factor in condensed matter research has not only been the operation of the facilities of the Helmholtz Association and the Technical University Munich but also German participation at the high flux reactor of the Institut Laue-Langevin in Grenoble, the most powerful neutron source in the world, and later at the European Synchrotron Radiation Facility ESRF. Currently, developments for new facilities such as the European Free Electron Laser for hard X-rays (XFEL) in Hamburg and the European Spallation Neutron Source ESS in Lund are about to be realised, which will make it possible to further strengthen the leading position of the European and, in particular, the German user community. This is a significant contribution to the future of Germany as a high-tech location.

European sources

German neutron scientists have already contributed significantly to the design of the ILL with its reactor that sources an unrivalled neutron flux and its innovative instrumentation and are still providing essential stimuli for the development of new scientific areas. European users are now expecting the ESS to mark a breakthrough into a new era of neutron research, as was the case when the ILL was commissioned. Again, the optimisation of the source, along with its flexibility and optimally configured instrumentation, will be the key to another success story.

Visions for the future

The Committee Research using Neutrons (KFN) especially welcomes the fact that the research infrastructure is going to be developed to the highest standard. In the current brochure, the KFN puts forward its view of the development of neutron research in the interplay between national and international sources, the possibilities that are provided for basic research, applied research and industrial or medical applications and the unique advancement of knowledge that could ensue. Over the past decades, the German neutron community has gained a leading role in science and methodological development and in view of this feels entitled to play a significant role in the European Spallation Source, both in respect of the instrumentation and future operation. Moreover, the German neutron centres can provide a level of competence that is essential for the development of the source itself.

Investment pays off

The fact that a huge number of research groups from different scientific disciplines are successfully and constantly making use of the experimental facilities proves that investment in national and international large scale facilities pays off. Their continued future development guarantees scientific and technological progress in Germany and Europe.



Eine Gabe der Natur - das Neutron

Was die Welt zusammenhält

Neutronen als Bausteine der Atomkerne machen etwa die halbe Masse unserer bekannten materiellen Welt aus. Sie sind der „Klebstoff“, der die positiv geladenen Protonen im Kern zusammenhält. Durch Kernspaltung oder Spallation freigesetzte, nicht im Atomkern gebundene Neutronen sind für die Forschung besonders nützlich. Als Sonde mit ganz außergewöhnlichen Eigenschaften ermöglichen sie uns einen tiefen Einblick ins Innere kondensierter Materie.



Tiefe Einblicke

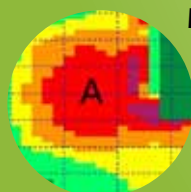
Die elektrische Neutralität des Neutrons als Sonde hat wesentliche Vorteile. Zum einen besitzen Neutronen eine vergleichsweise hohe Eindringtiefe in den typischen technischen Strukturmaterialien.

Zum anderen erlauben Neutronen zerstörungsfreie Untersuchungen, auch von empfindlichen, biologischen Proben. Und nicht zuletzt können aufgrund der hohen Eindringtiefe komplexe Probenumgebungen eingesetzt werden, was Untersuchungen bei extremen Drücken, Temperaturen und Feldern ermöglicht.



Spion in der Nanowelt

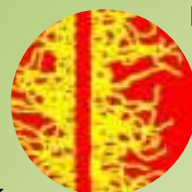
Die moderne Festkörperforschung führt makroskopische Eigenschaften kondensierter Materie auf den atomaren Aufbau, d. h. auf Anordnung und Bewegung der atomaren Bausteine zurück. Mit Wellenlängen im Bereich von Atomabständen und Energien, die den typischen Anregungsenergien in kondensierter Materie entsprechen, erfüllen Neutronen in idealer Weise die Anforderungen als „Spion in der Nanowelt“. In der Neutronenstreuung machen sie Strukturen von Pikometern bis Mikrometern und Bewegungen auf Zeitskalen von Femtosekunden bis Mikrosekunden der Untersuchung zugänglich. Mit abbildenden und kinematischen Verfahren werden noch größere Strukturen und langsamere Bewegungen sichtbar.



Magnetismus

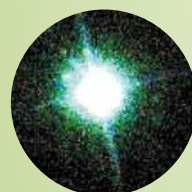
Das Neutron hat noch eine weitere wichtige Eigenschaft, die es für den Forscher so wertvoll macht: das Kernmoment und das damit verbundene magnetische Dipolmoment. Damit werden sowohl der Magnetismus der Atomkerne als auch die magnetische Struktur, die magnetischen Anregungen und Fluktuationen der Elektronen im Festkörper, zugänglich, mit wichtigen Anwendungen in korrelierten Elektronensystemen oder im Nanomagnetismus. Bei der präzisen

magnetischen Strukturaufklärung mit polarisierten Neutronen und der kompletten Bestimmung magnetischer Anregungen haben Neutronen unter allen Methoden ein Alleinstellungsmerkmal. Kein Wunder also, dass die beiden Nobelpreise an C. G. Shull und B. N. Brockhouse im Jahre 1994 gerade für diesen Themenkreis vergeben wurden!



Kontrastbrille

Bei der Bestimmung von Lage und Bewegung von Atomen ist die Wechselwirkung des Neutrons mit den Atomkernen entscheidend, die durch den Streuquerschnitt charakterisiert wird. Dieser variiert relativ unsystematisch innerhalb des Periodensystems der Elemente - ganz im Gegensatz zum Streuquerschnitt von Röntgenstrahlen, der stetig mit der Anzahl der Elektronen eines Atoms ansteigt. Mit Neutronen können daher auch im Periodensystem benachbarte Atome klar unterschieden werden, und leichte Atome bleiben sichtbar neben den schweren. Verschiedene Isotope ein und desselben Elements können gänzlich verschiedene Streuquerschnitte aufweisen. Forscher, die biologische Proben und weiche Materie untersuchen, machen sich diese Eigenschaften zunutze, indem sie in einzelnen funktionellen Gruppen oder Molekülen Wasserstoff durch Deuterium ersetzen und diese damit quasi „anfärben“. Diese Kontrastvariation erlaubt die Bestimmung von Position und Bewegung einzelner Moleküle oder Gruppen in einem komplexen mehrkomponentigen System.



Labor auf der Femtometerskala

Als freie Teilchen sind Neutronen aufgrund der schwachen Wechselwirkung gegen den β -Zerfall nicht stabil und zerfallen in ein Proton, ein Elektron und ein Antineutrino. Die Lebensdauer von ca. 880 s lässt genügend Zeit für Untersuchungen an freien Neutronen. Gemäß der Standardtheorie der Elementarteilchenphysik bestehen Neutronen aus drei Quarks - ein „up“- und zwei „down“-Quarks, die durch Gluonen zusammengehalten werden. Sie stellen ein hochempfindliches Labor auf der Femtometerskala dar, welches Präzisionstests der Standardtheorie erlaubt. Die experimentell bestimmten Werte für Ladung, magnetisches Monopolmoment und elektrisches Dipolmoment des Neutrons sind alle mit 0 verträglich, und sie wurden mit der unglaublichen Genauigkeit von $10^{-21} e$, $10^{-20} e/2\alpha$ bzw. $3 \cdot 10^{-26} e \cdot \text{cm}$ gemessen (e = Elementarladung, α = Feinstrukturkonstante).

A gift of nature - the neutron

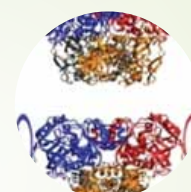
What holds the world together

Almost half the mass of our known physical world is made up of neutrons as the building blocks of atoms. They are the “glue” holding together the positively charged protons in the nucleus. Once released, either by nuclear fission or spallation, neutrons are particularly useful for research. As a probe having extraordinary properties they allow us deep insight into condensed matter.



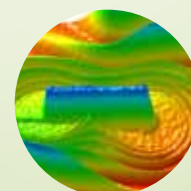
Deep insights

Being an electrically neutral probe, neutrons have substantial advantages. On the one hand neutrons have a comparably high penetration depth for typical technical materials, while on the other allowing non-destructive studies, even of sensitive biological samples. In addition, the high penetration depth of neutrons allows complex sample environments to be studied under extreme pressure, temperatures and electromagnetic field conditions.



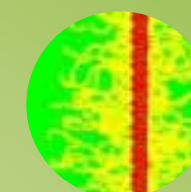
Spy in the nano world

Modern solid state physics traces the macroscopic properties of condensed matter back to its atomic constituents i.e. to the structure and dynamics of the atomic building blocks. Having wavelengths of the order of the typical distances between atoms, and energies corresponding to the typical excitation energies of condensed matter, neutrons fulfil all the requirements for a “spy of the nano world”. Neutron scattering makes structures from picometer to micrometer size and motion on time-scales from femtoseconds to microseconds accessible for study. Imaging and kinematic methods allow even larger scale structures and slower motion to be made visible.



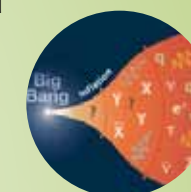
Magnetism

There is a further important property of the neutron that makes it so valuable to the scientist: nuclear spin and the related magnetic dipole moment. This provides access to the magnetism of the nucleus as well as to the magnetic structure, the magnetic excitations and fluctuations of the electrons in condensed matter, all of which have important applications in correlated electron systems or nano-magnetism. Polarised neutron scattering is unique among all other experimental methods for its precise description of magnetic structures and complete determination of magnetic excitations. It therefore came as no surprise when the two Nobel laureates, C.G. Shull and B.N. Brockhouse, were honoured for their work in this field.



Contrast glasses

In determining the position and motion of atoms, the interaction of neutrons with nuclei, characterised by the scattering cross section, is decisive. Its value varies rather non-uniformly throughout the periodic system of the elements – in contrast to the scattering cross section for x-rays which increases continuously with the number of electrons in the atom. Consequently, using neutrons, neighbouring atoms in the periodic system can clearly be distinguished and light atoms adjacent to heavy ones remain visible. Different isotopes of one and the same element may have radically different cross sections. Scientists studying biological samples or soft matter make use of these properties by replacing hydrogen with deuterium in specific functional groups or molecules, thereby, so to speak, “colouring” them. This so-called contrast variation makes it possible to estimate the position or motion of single molecules or groups in a complex multi-component system.



Laboratory on a femtometer scale

As free particles, neutrons are unstable against β -decay due to the weak interaction decaying into a proton, an electron and an antineutrino. The life time of about 880 s is long enough to study free neutrons. According to the standard theory of particle physics, neutrons are made up of three quarks - one ‘up’ and two ‘down’ quarks, held together by gluons. Free neutrons represent a highly sensitive laboratory on the femtometer scale, allowing for precise tests of the standard theory. The experimentally determined values of neutron charge, magnetic monopole and electric dipole moment are all in agreement with 0 and have been measured to the incredible accuracy of $10^{-21} e$, $10^{-20} e/2\alpha$ and $3 \cdot 10^{-26} e \cdot \text{cm}$ respectively (e = elementary charge, α = fine-structure constant).

Neutronenforschung in Deutschland



Neutron Research in Germany



Inside the small angle instrument SANS-1 during installation

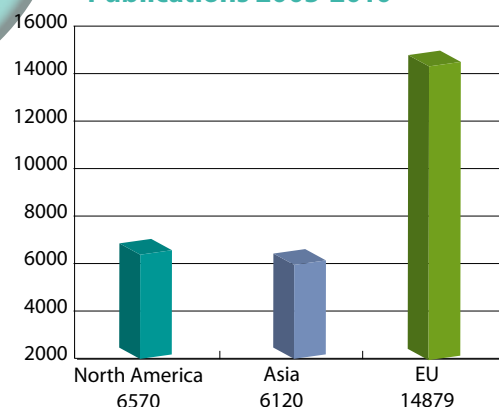
Deutsche Neutronenkompetenz

Von Anfang an dabei

Die Entwicklung der Neutronenstreuung ist von Beginn an durch wesentliche Beiträge deutscher Wissenschaftler und Forschergruppen geprägt. Einzigartige Komponenten moderner Instrumente basieren auf Erfindungen, die in Deutschland ihren Ursprung nahmen.

Eindrucksvolle Beispiele sind etwa die Neutronenleiter, die Neutronenkleinwinkelstreuung, hochauflösende Methoden, wie Rückstreuenspektrometer, etc. Während es zu Beginn nahezu ausschließlich Forschungszentren waren, die die Forschung mit Neutronen geprägt haben, hat sich im Laufe der Zeit eine starke Nutzergemeinschaft aus Universitätsgruppen, Max-Planck-Instituten und anderen Forschungseinrichtungen entwickelt.

Publications 2005-2010



Stark und aktiv

Heute ist die deutsche Neutronen-Gemeinde mit nahezu 1000 Nutzern weltweit eine der stärksten mit beeindruckenden Ergebnissen auf allen Gebieten der Neutronenforschung. Die Vernetzung zwischen verschiedenen Forschungseinrichtungen ist ein Garant für die erfolgreiche Fortentwicklung dieses Forschungsgebietes. Sie wurde nicht zuletzt durch das Instrument der BMBF-Verbundforschung ermöglicht, die Anfang der 1970-er Jahre geschaffen wurde und heute als Erfolgsmodell moderner Forschungsförderung gilt. Mit diesem Förderinstrument ist es nicht nur gelungen, die Nutzergemeinschaft zu stärken, sondern gerade dadurch beteiligen sich heute Gruppen von Universitäts- und Max-Planck-Instituten aktiv an der Entwicklung und Nutzung von hocheffizienten Instrumenten der modernen Neutronenforschung.

Zukunftsorientiert

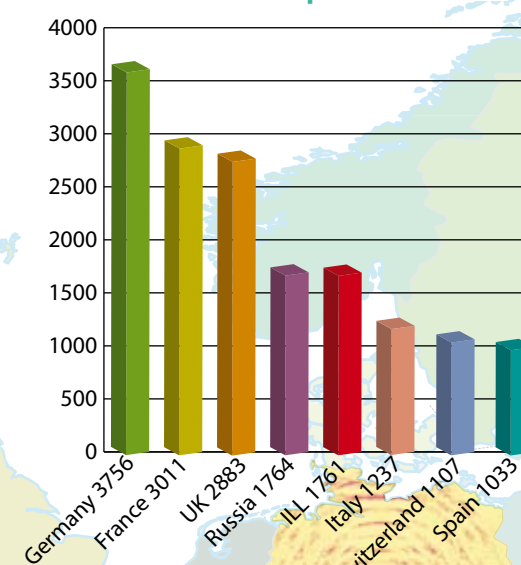
Aus dieser stetig gewachsenen Kompetenz erwächst der natürliche Anspruch, nicht nur die nationalen Quellen optimal auszustatten und zu nutzen, sondern insbesondere auch die Entwicklung der European Spallation Source ESS maßgeblich mitzubestimmen. Ob Auslegung und Konstruktion des Target/Moderator-Komplexes, ob innovative Methoden für die Instru-

mentierung oder Konzepte zur effektiven Nutzung und zur Nachwuchsförderung – in allen diesen Bereichen möchte sich die deutsche Neutronen-Gemeinschaft einbringen, und ihren Anspruch dokumentieren, auch in Zukunft eine führende Rolle spielen zu wollen.

Produktivität der deutschen Nutzergemeinde

Um eine belastbare Aussage über die Produktivität der verschiedenen nationalen Nutzergemeinden zu erhalten, wurde von der Zentralbibliothek des Forschungszentrums Jülich eine bibliometrische Analyse im ISI Web of Science für die Jahre 2005 bis 2010 durchgeführt. Die Stichwortliste für die Suche wurde an der Publikationsdatenbank des Instituts Laue-Langevin ILL erarbeitet und ausgetestet. So konnte die Anzahl der Publikationen pro Land und die zugehörige Anzahl der Zitate bestimmt werden. Ein Teil der Ergebnisse ist in den folgenden Säulendiagrammen dargestellt – eine vollständige Veröffentlichung erfolgt an anderer Stelle.

Publications in Europe 2005-2010



Weist eine Publikation mindestens einen Autor eines bestimmten Landes auf, so wird die Publikation einmal für das entsprechende Land gezählt. Publikationen, die aus internationalen Zusammenarbeiten hervorgegangen sind, werden für jedes entsprechende Land einmal gezählt. Dasselbe gilt für die Statistik der Ländergruppen. Das ILL als europäisches Zentrum ist gesondert ausgewiesen. Das Ergebnis belegt, dass Europa in diesem Gebiet weiterhin weltführend ist. Nach USA hat Deutschland die produktivste Nutzergemeinde, dicht gefolgt von Frankreich und UK.

Wichtige Quellen und starke Wissenschaft

Deutschland stellt also nicht nur zwei der wichtigsten Neutronenquellen weltweit (BER II und FRM II), sondern hat auch eine der größten und produktivsten Nutzergemeinden.



German neutron competence

Unique components

From the outset, the evolution of neutron scattering has borne the hallmark of important contributions by German scientists and research groups. Unique components of modern instruments are based on inventions initiated in Germany. Impressive examples are the neutron guides, neutron small angle scattering, high-resolution methods such as back scattering etc. While, in the early years, research using neutrons was confined almost exclusively to research centres, with time a strong and experienced user community has grown up drawn from universities, Max-Planck-institutes and other scientific organisations.

Strong and active

Today, the German neutron community with almost 1000 users is one of the largest worldwide, producing impressive results in all areas of neutron science. It is the strong interaction between different research organisations that guarantees the successful development of this important scientific field. This is in no small measure due to the support of the BMBF-Verbundforschung, a funding body established in the 1970-ies that is regarded as a blueprint for modern research funding. It has not only strengthened the user community, but has also made it possible for research group from universities and Max-Planck-institutes to be actively involved in the development and operation of top-level instruments for modern neutron research.

Looking to the future

This ever-growing expertise naturally leads to the requirement, not only for the national sources to be optimally equipped and used, but, especially, that Germany should play a decisive role in the decision-making process for the European Spallation Source ESS. Be it the design of the target/moderator complex, innovative methods of instrumentation, concepts for efficient use or the promotion of young scientists – the German user-community would like to contribute and register its claim to play a leading role in all these domains.

Excellent productivity of German user community

In order to obtain a reliable conclusion about the productivity of various national user communities, the central library of the Research Centre Jülich has carried out a bibliometric analysis based on the ISI Web of Science for the years 2005-2010. For the search, a list of keywords has been created and thoroughly tested on the basis of the publication database of the Institut Laue-Langevin ILL. This allowed the determination of the number of publications per country as well as the number of the corresponding citations. Part of the results is shown in the bar charts – a comprehensive presentation will be given elsewhere. If there is at least one author of a particular country, the publications counts once for this country. Publications that are the result of an international cooperation are thus counted once for each contributing country. The same applies to the statistics for groups of countries. The ILL as a European centre is considered separately. The results confirm that Europe continues to be the leader on this field. Apart from the US, Germany has the most productive user community, closely followed by France and UK.

Important sources and strong science

Hence, Germany does not only operate two of the most important neutron sources worldwide (BER II and FRM II) but exhibits also one of the largest and most active user communities.

Neutronenquellen – Das Licht der Neutronenforscher

Zwei Quellen in Deutschland

Heute stehen auf nationaler Ebene mit den Forschungsreaktoren BER II in Berlin und FRM II in Garching zwei bedeutende Neutronenquellen zur Verfügung. Darüber hinaus ist Deutschland mit einem Anteil von einem Drittel am weltweit führenden Neutronenzentrum, dem Institut Laue-Langevin (ILL) in Grenoble, beteiligt.

FRM II in Garching

Der FRM II gehört zu den modernsten und leistungsstärksten Einrichtungen weltweit, die sich insbesondere durch die effiziente Strahlausnutzung und durch die Ausstattung mit Neutronenleitern höchster Brillanz auszeichnet. Dort stehen den Nutzern 27 Instrumente mit zum Teil einzigartigen Experimentiermöglichkeiten zur Verfügung. Darüber hinaus stellt der FRM II auch die weltweit stärkste Positronenquelle bereit.

ILL in Grenoble, Frankreich

Das ILL nimmt als gesamteuropäische Neutronenquelle insbesondere nach den umfangreichen instrumentellen Optimierungen der letzten Jahre hinsichtlich Neutronenfluss und Leistungsfähigkeit die internationale Spitzenstellung ein und ist gerade für die deutsche Nutzerschaft eine tragende Säule. Dies drückt sich unter anderem in der hohen Anzahl von Publikationen aus, die aus Experimenten am ILL resultieren. Zusätzlich zum deutschen Beitrag zur Grundausstattung werden zur Zeit drei CRG-Geräte am ILL von deutschen Gruppen betrieben.

JCNS

Das Jülich Centre for Neutron Science JCNS ist ein Neutronenkompetenzzentrum, das Nutzern aus Deutschland den Zugang zu leistungsfähigen Instrumenten an mehreren Hochflussquellen verschafft. So hat JCNS an der ersten MW-Spallationsquelle, der SNS in Oak Ridge, der deutschen Nutzergemeinde den Zugang zu dieser

BER II in Berlin

Der BER II wurde in seiner jetzigen Konfiguration zu Beginn der 1990-er Jahre in Betrieb genommen. Der kürzlich vollendete Bau einer weiteren Halle erlaubt eine Erweiterung der Instrumentensuite auf 22 Instrumente. Besonderes Merkmal dieser Instrumentierung ist die Spezialisierung auf extreme Probenumgebungen, wie sehr tiefe Temperaturen, sehr hohe Magnetfelder und komplexe Experimentieraufbauten. Die aktuelle Modernisierung der Kalten Neutronenquelle und des Neutronenleitersystems wird die Messmöglichkeiten weiterhin verbessern.

Intensive Nutzung

Beide Neutronenquellen werden nicht nur von nationalen Gruppen sondern auch von Forschern aus dem europäischen und außereuropäischen Ausland außerordentlich intensiv genutzt.

Quelle der nächsten Generation ermöglicht und gleichzeitig Erfahrung gesammelt mit Instrumentierung an einer solchen Quelle.

GEMS

In ähnlicher Weise bietet das German Engineering Materials Science Centre GEMS des Helmholtz-Zentrums Geesthacht Nutzern im Bereich der angewandten Materialwissenschaften Zugang zu Neutronen am FRM II und zu Photonen bei DESY.

Instrumentierung im Ausland

Darüber hinaus beteiligen sich deutsche Forschergruppen an der Instrumentierung und am Betrieb von Instrumenten an verschiedenen europäischen Zentren, wie etwa bei SINQ in der Schweiz, ISIS in Großbritannien, LLB in Frankreich oder IBR-2 in Russland.

Neutron sources – the light for neutron scientists

Two sources in Germany

At national level, there are currently two important research reactors available, namely the BER II in Berlin and the FRM II in Garching. Moreover, Germany holds a one-third share at the Institut Laue-Langevin in Grenoble, the world-leading neutron centre.

FRM II in Garching

The FRM II ranks among the most modern and powerful facilities worldwide and is renowned for efficient beam utilization and equipment with neutron guides of the highest brilliance. 27 instruments are operational, some offering unique experimental opportunities. In addition, the FRM II hosts the world's most powerful positron source.

BER II in Berlin

The BER II, in its current configuration, was commissioned at the beginning of the 1990-ies. A new guide hall was recently completed, allowing the suite of instruments to be extended to 22. A particular feature is specialisation in extreme sample environments such as very low temperatures, very high magnetic fields and other complex equipment. The on-going modernisation of the cold source and the neutron guide system will further improve the experimental facilities.

Extensive use

Both of these neutron sources are extensively used not only by national research groups, but also by scientists from other European and non-European countries.

ILL in Grenoble

The ILL, as the central European neutron source, occupies the prime position internationally with respect to neutron flux and efficiency, in particular in view of the many improvements made to the instrumentation over

the last years. It represents a linchpin, especially for the German user community. This is manifest from the large number of publications that result from experiments at the ILL. Apart from the German contribution to the basic equipping of the ILL, there are currently three CRG-instruments operated by German research groups.

JCNS

The Jülich Centre for Neutron Science JCNS is a neutron centre of expertise that provides German users with access to efficient instruments at several high flux sources. In particular, JCNS has paved the way to the first MW spallation source SNS in Oak Ridge for the German community. At the same time, experience has been gained with the instrumentation at such a next generation source.

GEMS

Likewise, the German Engineering Materials Science Centre GEMS of the Helmholtz Centre Geesthacht provides access for applied materials science research groups to the FRM II and to photon facilities at DESY.

Instruments abroad

Moreover, German research groups are engaged in instrument development and operation at different European Centres such as SINQ in Switzerland, ISIS in the United Kingdom, LLB in France or IBR-2 in Russia.



Nutzung der Quellen

Internationalität

Bedingt durch die Spezialisierung in der Instrumentierung und Probenumgebung, aber auch die wissenschaftlichen Schwerpunkte der Zentren, ist Forschung mit Neutronen extrem international aufgestellt. Die Quellen in Deutschland werden etwa zu einem Drittel durch Forscher aus dem Ausland genutzt. Im Gegenzug nutzen deutsche Wissenschaftler regelmäßig europäische und außereuropäische Quellen.

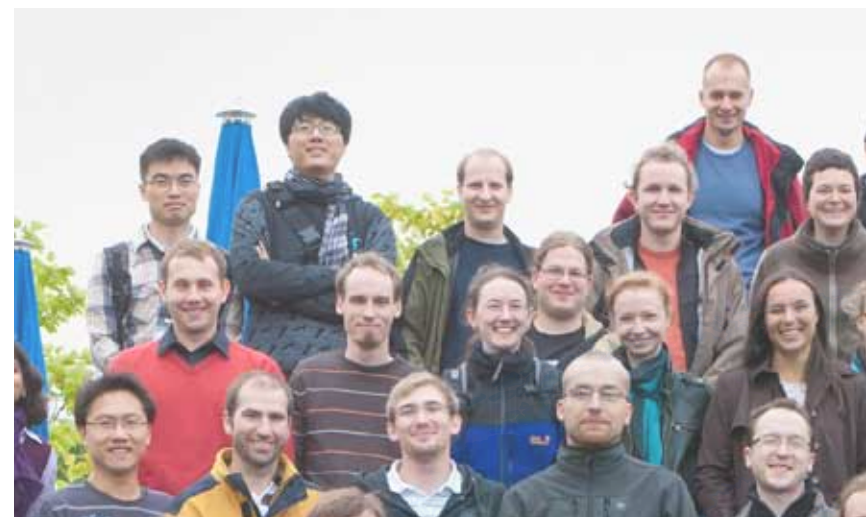
Messzeitvergabe

Messzeit an den Zentren wird durch internationale Expertenkomitees rein nach dem Kriterium wissenschaftlicher Qualität, unabhängig von der Nationalität der Antragsteller vergeben, wobei beim ILL gegebenenfalls ein der Finanzierung entsprechender nationaler Ausgleich durchgeführt wird.

Statistiken

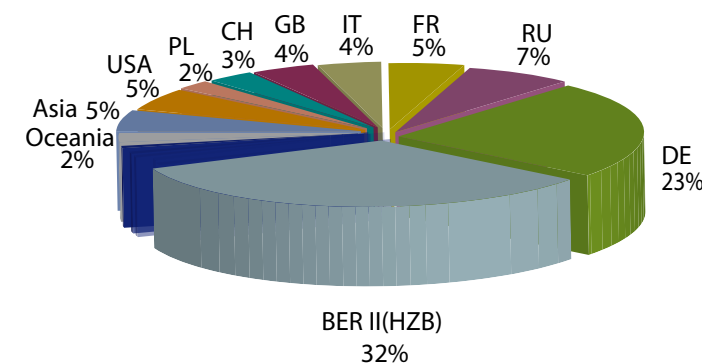
Die Grafiken zeigen die Nutzung der nationalen deutschen Neutronenquellen und des ILL nach Herkunftsländern der Nutzer sowie nach Forschungsthemen für die Jahre 2007-2009. Dabei ist zu beachten, dass

russische und außereuropäische Wissenschaftler am ILL nur dann Messzeit erhalten können, wenn es sich dabei um ein Kooperationsprojekt mit anderen europäischen Nutzergruppen handelt. Da der Forschungsreaktor FRG-1 in Geesthacht (HZG) im Juli 2010 endgültig abgeschaltet wurde, werden die entsprechenden Aktivitäten zukünftig im Rahmen des German Engineering Materials Science Centre GEMS an den anderen Neutronenquellen fortgeführt.

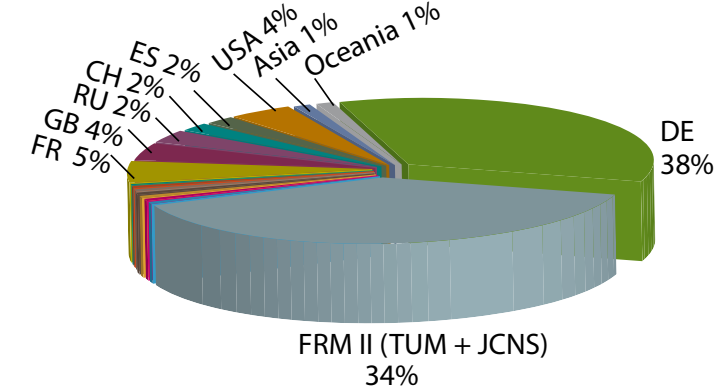


Beam time allocation according to user affiliations 2007-2009

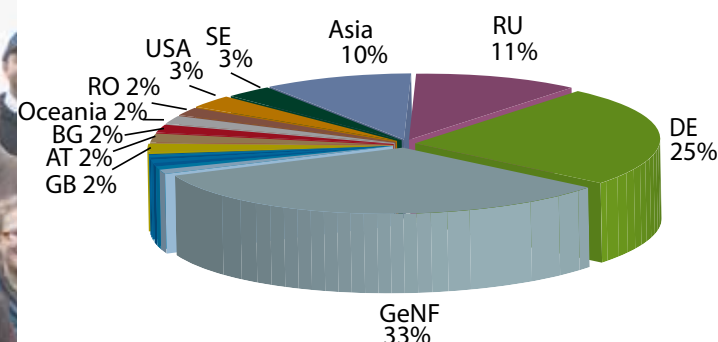
BER II (HZB)



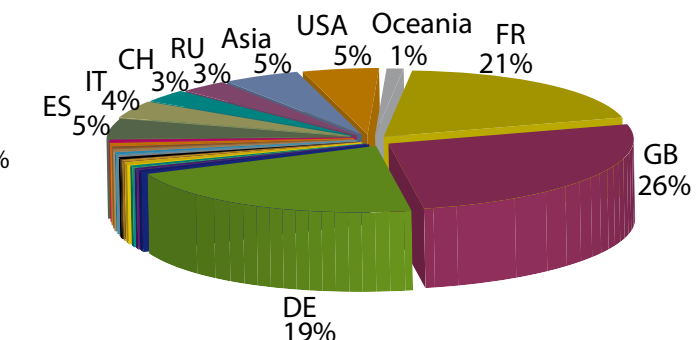
FRM II (TUM + JCNS)



GeNF (HZG)

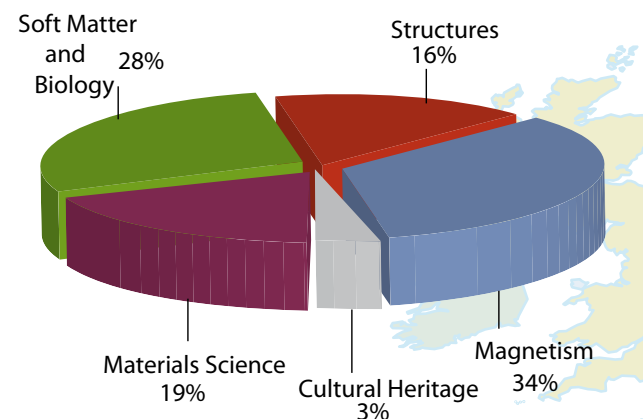


HFR (ILL)

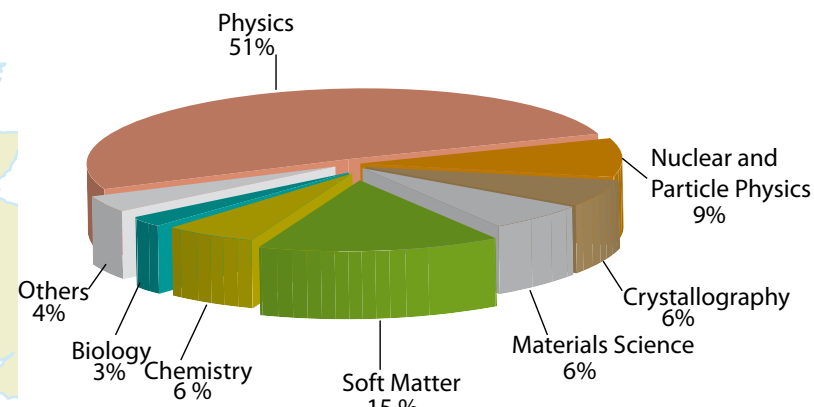


Beam time allocation according to research topics 2007-2009

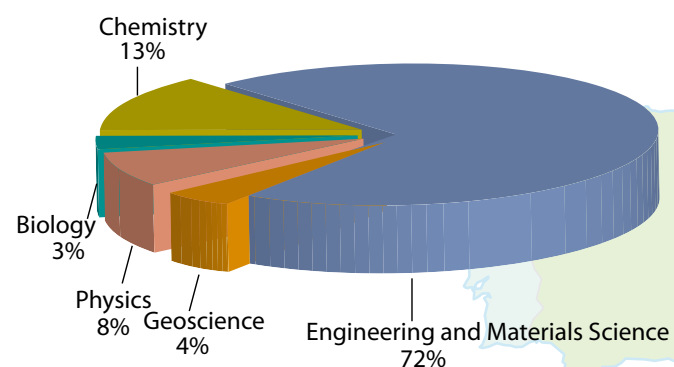
BER II (HZB)



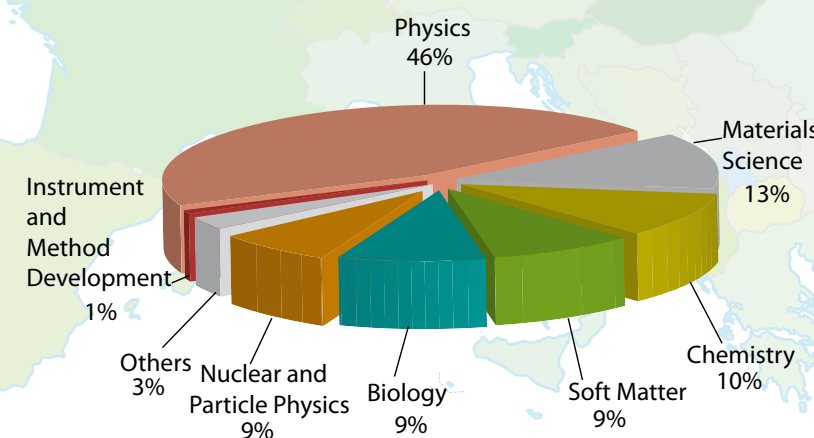
FRM II (TUM+JCNS)



GeNF (HZG)



HFR (ILL)



Use of sources

Internationality

In view of the specialisation of the instrumentation and sample environment, as well as the scientific focus of the centres, research using neutrons is very well-placed internationally. About one third of the sources in Germany are used by scientists from abroad. In return, German researchers regularly use European and non-European sources.

Beamtime allocation

Beam-time at the centres is allocated by international expert committees exclusively on the basis of scientific quality, and independent of the nationality of the applicant although, at the ILL, some national re-balancing may apply where appropriate due to financial considerations.

Statistics

The graphics show the use of the national German neutron sources and of the ILL according to the nationality of user affiliations and research topics for the years 2007-2009. It has to be noted that beam time at ILL can only be allocated to Russian and non-European scientists if the project is based on a cooperation with other European user groups. Since the research reactor FRG-1 in Geesthacht was shut down for good in July 2010 the corresponding activities will be continued in the future at the other neutron sources within the framework of the German Engineering Materials Science Centre GEMS.

ESS - Die Europäische Perspektive für die Zukunft

Europäisch in die Zukunft

Als zukunftsweisendes europäisches Projekt wird derzeit die Europäische Spallationsquelle ESS vorbereitet, die in Lund, Schweden, gebaut werden soll. Diese Quelle wird die europäische Antwort auf Entwicklungen in den USA und Japan sein, wo Quellen in Anlehnung an die ESS-Designstudie von 1997 bereits realisiert wurden: die Spallation Neutron Source SNS in Oak Ridge und der Japan Proton Accelerator Research Complex J-PARC in Tokai.

Neue Möglichkeiten

Mit der nochmaligen Steigerung des nutzbaren Neutronenflusses lassen sich an der ESS in Zukunft Experimente ausführen, die zur Zeit noch nicht realisierbar sind. Dazu gehören beispielsweise Experimente an sehr kleinen Proben unter extremen Bedingungen oder kinetische Experimente mit hoher Zeitauflösung zur Untersuchung von chemischen Reaktionen oder von Prozessen, die im Inneren der Materie während äußerer Belastung durch Druck, Temperatur, elektrische und magnetische Felder etc. ablaufen.

Wichtig für die deutsche Forschung

Die ESS wird es erlauben, die führende Stellung der europäischen Neutronenstreuung weiter auszubauen. Die Leistungsfähigkeit der deutschen Nutzergemeinschaft und die deutsche Kompetenz bei der Methoden- und Instrumententwicklung begründen unmittelbar den Anspruch Deutschlands auf eine maßgebliche Mitgestaltung der ESS. Die ESS wird nach einer angemessenen Übergangszeit mit dem ILL in Zukunft das Flaggschiff der europäischen Neutronenstreuung sein. Ausgehend von den positiven Erfahrungen auf nationaler Ebene wird es darauf ankommen, universitäre und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen von Beginn an in die Planungen und Entwicklungen zur ESS mit einzubeziehen und somit eine starke europäische Vernetzung zu realisieren. Die starke deutsche Stellung sowohl bei der Nutzung der Neutronen zur Erforschung kondensierter Materie als auch bei der Kern- und Teilchenphysik definiert hier den Beitrag in ähnlicher Größenordnung wie bisher schon beim ILL.



ESS - the European vision for the future

European for the future

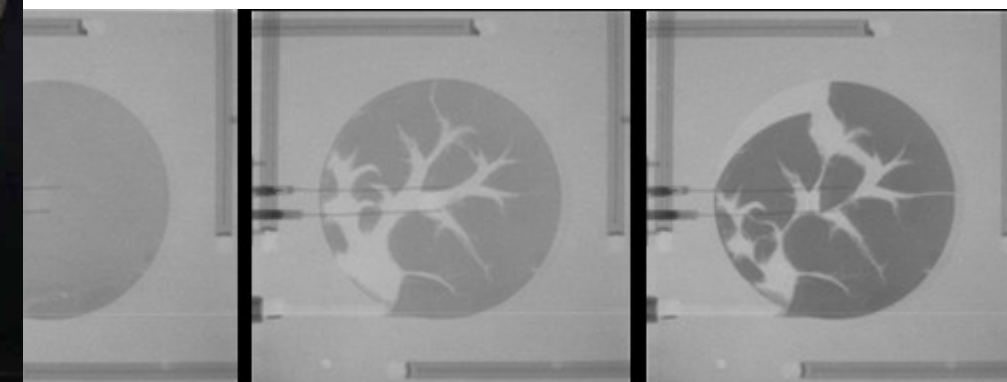
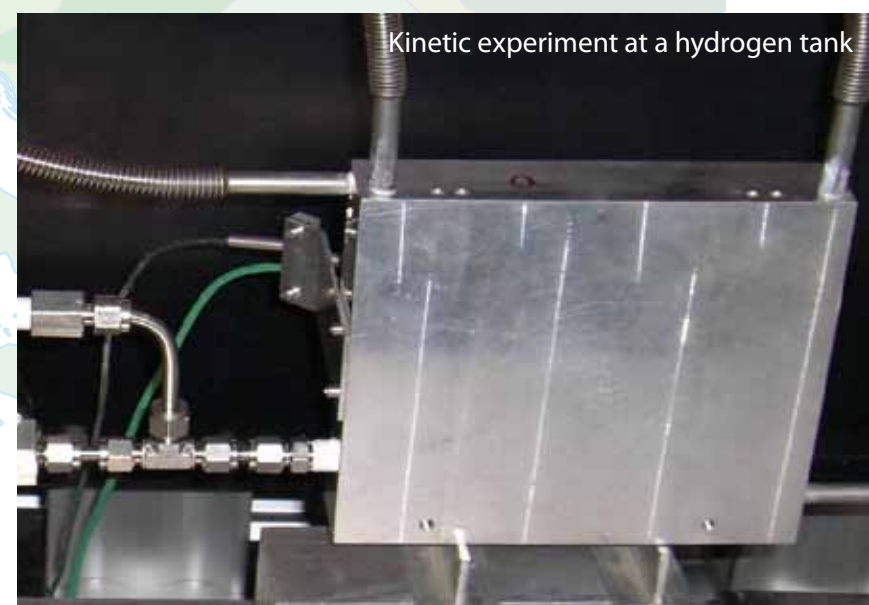
The European Spallation Source ESS, a visionary European project that will be built in Lund, Sweden, is currently being prepared. This project is Europe's response to developments in the US and Japan where new neutron sources based on the results of the ESS design study of 1997 have already been realised: the Spallation Neutron Source SNS in Oak Ridge and the Japan Proton Accelerator Research Complex J-PARC in Tokai.

New possibilities

With the advent of the ESS and the further increase in usable neutron flux, it will be possible in the future to carry out experiments that cannot be realised at present. Examples include studies of very small samples under extreme conditions, or kinetic experiments with enhanced time resolution for the investigation of chemical reactions or processes that occur within the material subjected to external stresses of applied pressure, temperature and electric and magnetic fields etc.

Important for German research

The realisation of the ESS will strengthen the role of Europe as a leader in the field of research using neutrons. The capacity of the German user community and its competence in the development of methods and instruments justify Germany's claim to have a significant say in the design of the ESS. After an appropriate transition period with the ILL, the ESS will become the flagship of European neutron scattering. The positive experience on the national level has proven that the early involvement of scientists from universities and other research organisations during the concept and design of the ESS is essential for its success since this guarantees the establishment of strong European research networks. The important role played by German scientists in using neutrons in condensed matter research as well as in nuclear and particle physics defines Germany's contribution as of similar magnitude to that already made at the ILL.



Nationale Zentren – Knotenpunkte des europäischen Netzwerks

Zukünftige Rolle der nationalen Quellen

Instrument- und Methodenentwicklung sind traditionell die Stärken der deutschen Neutronenstreuergemeinde. Für die Entwicklung innovativer neutronenoptischer Systeme für Strahlextraktion, Strahlführung und Neutronenpolarisation und die Entwicklung neuer Instrumentenkonzepte für kontinuierliche und gepulste Quellen genießen die deutschen Neutronenstreuer internationale Anerkennung. Beispiele hierfür sind multispektrale Neutronen-Extraktionssysteme, die Neutronen-Spinecho-Methode und Computerprogramme zur vollständigen Simulation neuer Instrumente mit all ihren Komponenten für kontinuierliche und gepulste Quellen.

Freiräume für die Entwicklung

Instrument- und Methodenentwicklung sowie Experimente mit komplexen Probenumgebungen und Experimente, die auf eine enge Anbindung an Labors mit komplementären Methoden angewiesen sind, benötigen Freiräume, die an internationalen Hochflussquellen oftmals nicht zur Verfügung stehen. Diese sind nämlich optimiert für den maximalen Durchsatz von Experimenten ihrer Nutzer. Gerade derartige Freiräume haben jedoch die nationalen Quellen sehr erfolgreich gemacht. Dort entwickelte Konzepte und Wissen wurden und werden an den internationalen Hochflussquellen implementiert. Traditionell zu nennen sind hier das ILL (Rückstreu-Spektrometer, Kleinwinkelstreuanlage), aktuell die SNS (Neutronenspinecho-Spektrometer) und in nächster Zukunft die ESS, für die sich Nutzer und Wissenschaftler an FRM II und BER II gemeinsam einsetzen.

Spezialisierung

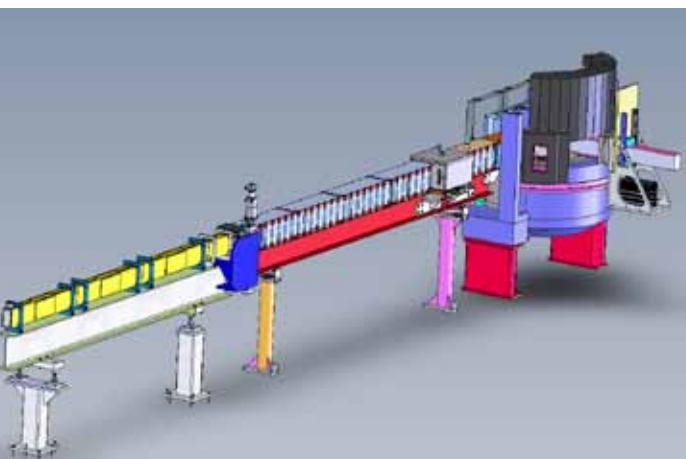
Komplexe Experimentaufbauten sind eine Spezialität der deutschen Quellen. In der Anwendung hoher Felder, hoher Drücke und extremer Temperaturen in Neutronenstreuexperimenten sind BER II und FRM II Weltspitze. Dies zeigt sich besonders eindrucksvoll am Hochfeldmagnetprojekt, mit welchem ab 2012 das weltstärkste statische Magnetfeld (≥ 25 T) am Probenort eines Neutronendiffraktometers am BER II für die weltweite Nutzergemeinde zur Verfügung stehen wird. Ein weiteres Beispiel ist der Aufbau einer Hochdruckpresse am FRM II, mit der z.B. geowissenschaftliche Experimente unter Bedingungen ausgeführt werden können, wie sie im tiefen Erdinneren herrschen (Drücke bis 25 GPa bei Temperaturen bis 2000 K). Gerade solche komplexen Experimentaufbauten verlangen nach einem Expertenwissen, das nicht beliebig erweiterbar ist und das FRM II und BER II als potente kooperierende Quellen der europäischen Neutronenspallationsquelle ESS gerne zur Verfügung stellen.

Ausbildung und Nachwuchsförderung

Beide nationalen Quellen liefern einen weltweit beachteten internationalen Nutzerdienst. In diesem Service stellen die deutschen Neutronenstreuer ein Hauptkontingent. BER II und FRM II bilden den Kernbereich der nationalen universitären und außeruniversitären Forschungslandschaft. Sie tragen mit der Einrichtung gemeinsamer Professuren mit Universitäten, der Lehrtätigkeit der Wissenschaftler, die an den Quellen tätig sind, der Bereitstellung von Arbeitsplätzen für Studenten, Diplomanden, Doktoranden und Post-Doktoranden sowie der Organisation von Schulen und Praktika wesentlich zur Ausbildung und Nachwuchsförderung der deutschen Hochschulen und der internationalen Neutronenstreuergemeinde bei. Gerade die ESS wird in hohem Maße von dieser Aufgabe der nationalen Quellen profitieren.

Rückgrat der deutschen Neutronen-Gemeinde

BER II und FRM II sind das unverzichtbare Rückgrat der deutschen Neutronen-Gemeinde. Sie werden Methodenentwicklung, den Aufbau komplexer Experimente mit Neutronen, sowie innovative Instrumentierungskonzepte auch in Zukunft maßgeblich vorantreiben. Die beiden nationalen Quellen bieten die Plattform, die von der Ausbildung über hoch spezialisierte Experimente bis zu methodischen Entwicklungen den Grundstock für die erfolgreiche Beteiligung der deutschen Neutronengemeinde an der europäischen Neutronenspallationsquelle ESS liefert.



Design drawing for the three axis spectrometer FLEX

National centres – hubs within the European network

The future role of the national centres

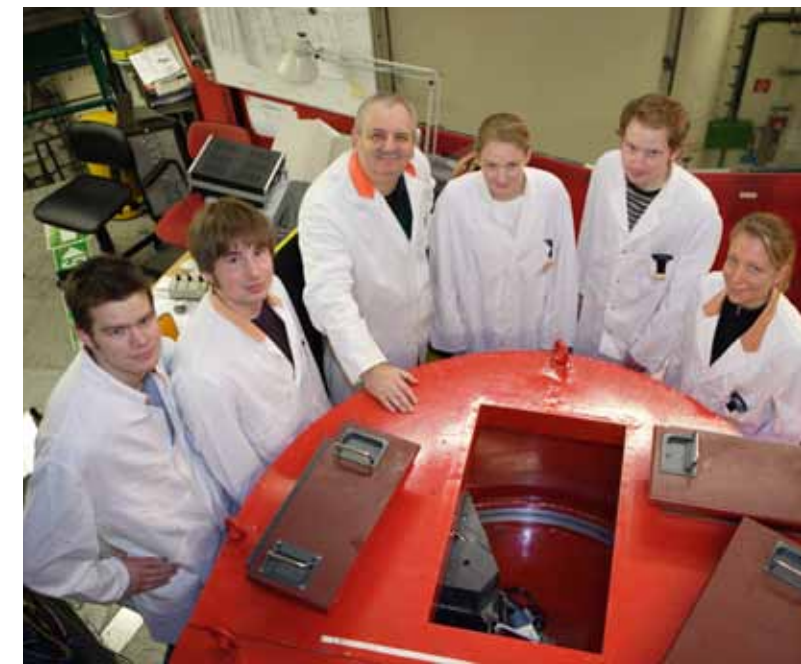
The development of instruments and methods is the traditional strength of the German neutron scattering community. The German neutron scattering community has enjoyed long-standing international recognition for innovative neutron optical systems for beam extraction, beam control and neutron polarization, as well as the invention of new instrumentation concepts for continuous and pulsed sources. Examples include multi-spectral neutron extraction systems, the development of neutron spin echo methods and the creation of computer programs for full simulation of new instruments with all the components for continuous and pulsed sources.

Open spaces for development

The development of instruments and methods, as well as experiments using complex sample environments and those closely connected to laboratories that use complementary methods require open spaces that are often not available at international high-flux neutron sources, since the latter are optimised for maximum throughput of user experiments. It is precisely these spaces that have made the national sources so successful. The concepts and knowledge developed there have been and will be implemented in international high-flux sources. It is usual to mention in this context: the ILL (backscattering spectrometer, small angle scattering instruments), the current SNS (neutron spin echo spectrometer) and the ESS in the near future, for which users and scientists at FRM II and BER II are pooling their expertise.

Specialisation

Complex experimental set-ups are a speciality of the German neutron sources. In the application of high fields, high pressures and extreme temperatures in neutron scattering experiments, BER II and FRM II are world class. This is demonstrated most impressively by the high field magnet project at BER II, which in 2012 will be the world's most powerful static magnetic field (≥ 25 T) at the sample position of a neutron diffractometer, and will be available to the global user community. Another very prominent example is the build-up of a high pressure press at FRM II, with which Earth Science experiments can be carried out under conditions that prevail in the earth's deep interior (with pressures up to 25 GPa at temperatures of up to 2000 K). The design of such complex experimental set-ups calls for specialist knowledge that cannot be easily accessed and that FRM II and BER II, as strong co-operating sources of the European neutron spallation source ESS, are willing to make available.



Training and promotion of young scientists

Both national sources provide a globally respected international user service. In this programme, the German neutron users form a major contingent. BER II and FRM II form the core of the national research landscape with neutrons for both university and non-university institutions. Both sources contribute to the establishment of joint professorships at universities as well as education and the training of scientists at the sources. BER II and FRM II provide employment for students, undergraduates, graduate and postdoctoral students. BER II and FRM II organize schools and internships that are significant for training and professional development in neutron scattering for German higher education institutions and for the international community. The ESS, in particular, will benefit greatly from this function of the national sources.

Backbone of the German neutron community

BER II and FRM II are the indispensable backbone of the German neutron community. They will continue developing methods, constructing complex experiments with neutrons, and moving ahead in innovative instrumentation concepts also in the future. The two national sources provide a platform ranging from education via highly specialized experimental set-ups to methodological developments that lays the foundation for the successful participation of the German neutron community at the European neutron spallation source ESS.

Neuartige Nutzerplattformen bereichern die Neutronenlandschaft in Deutschland

Neuartige Nutzerplattformen

Durch die Stilllegung der Forschungsreaktoren FRJ-2 in Jülich im Jahr 2006 und FRG-1 in Geesthacht im Jahr 2010 hat die Neutronenlandschaft in Deutschland einen wesentlichen Umbruch erlebt. In der Folge wurden mit der Gründung des „Jülich Centre for Neutron Science“ JCNS und des „German Engineering Materials Science Centre“ GEMS zwei neuartige und international einmalige Strukturen geschaffen, die die Forschung mit Neutronen in Deutschland wesentlich bereichern. Analog zu den Nutzerplattformen am BER II und FRM II bieten sie den Nutzern Zugangsmöglichkeiten zu einzigartigen Infrastruktureinrichtungen und Experimentiermöglichkeiten und treiben die Methodenentwicklung auf höchstem Niveau voran.

seine Eigenforschung in den Bereichen Weiche Materie und Biomaterie sowie Nanomagnetismus und hochkorrelierte Elektronensysteme.

German Engineering Materials Science Centre

Das GEMS ist die zentrale Nutzer-Plattform des HZG mit einer weltweit einzigartigen Infrastruktur für die komplementäre Forschung mit Photonen (HZG-Außenstelle am DESY in Hamburg) und Neutronen (HZG-Außenstelle am FRM II in Garching bei München), speziell im Bereich der Werkstoffforschung. Ähnlich wie JCNS bildet GEMS zusätzlich den Rahmen für die Eigenforschung an materialwissenschaftlichen Fragestellungen, die von Materialien für den Leichtbau im Verkehrswesen bis zu medizinischen Implantaten reichen und entwickelt Methoden und Instrumente für die Forschung mit Photonen und Neutronen.



Jülich Centre for Neutron Science

Das JCNS entwickelt und betreibt Instrumente an nationalen und internationalen Spitzenquellen: der Forschungs-Neutronenquelle FRM II in Garching, dem Hochflussreaktor des ILL in Grenoble, und der ersten MW-Spallationsquelle SNS in Oak Ridge, USA. Es bietet damit seinen Nutzern Zugang zu modernsten Neutroneninstrumenten unter einheitlichen Bedingungen an der Neutronenquelle, die jeweils am besten für die entsprechenden Experimente geeignet ist. Darüber hinaus bildet JCNS den organisatorischen Rahmen für das anerkannte Methoden- und Instrumententwicklungsprogramm des Forschungszentrums Jülich, sowie für

Kooperation

Durch einen Kooperationsvertrag zwischen den Helmholtz-Zentren FZJ, HZG und HZB einerseits und der Technischen Universität München TUM andererseits wird der wissenschaftliche Nutzerbetrieb an der modernsten kontinuierlichen Forschungs-Neutronenquelle FRM II auf eine breite Basis gestellt und gemeinsam zwischen gleichberechtigten Partnern organisiert. Über die Neutroneninstrumentierung hinaus erlaubt diese Kooperation Synergieeffekte durch den Betrieb gemeinsamer Abteilungen für Methodenentwicklung und Instrumentenservice, sowie die Schaffung einer effizienten Infrastruktur.

Novel user access platforms enrich Germany's neutron landscape

Novel user platforms

The final shut-down of the research reactors FRJ-2 in Jülich in 2006 and FRG-1 in Geesthacht in 2010 led to a radical change in Germany's neutron landscape. The result was the creation of two novel and internationally unique bodies that significantly enrich neutron science in Germany, namely the "Jülich Centre for Neutron Science" JCNS and the "German Engineering Materials Science Centre" GEMS. As with the user platforms at the BER II and FRM II, they allow access to a unique infrastructure and experimental facilities and promote the development of neutron techniques at the highest level.

Jülich Centre for Neutron Science

JCNS develops and operates instruments at top national and international sources: the research neutron source FRM II in Garching, the high-flux reactor at the ILL in Grenoble and the first MW-spallation source SNS in Oak Ridge, USA. Hence, it provides user access to state-of-the-art neutron instruments under standardised conditions at the neutron source that is best suited for the particular experiments. Moreover, JCNS forms the organisational framework for the acknowledged program of method and instrument development at the research centre Jülich as well as for its in-house research in the fields of soft-matter and biomaterials, and nanomagnetism and highly correlated electron systems.

German Engineering Materials Science Centre

GEMS is the central user access platform of the HZG with its unique infrastructure world-wide for complementary research using photons (HZG branch at DESY in Hamburg) and neutrons (HZG outstation at FRM II in Garching, near Munich), especially in the field of materials science. As at JCNS, GEMS provides the framework for in-house research on areas of applied materials science ranging from lightweight materials for transport technology to materials used for medical implants. Moreover, it develops methods and instruments for research using photons and neutrons.

Kooperation

The cooperation agreement between the Helmholtz centres FZJ, HZG and HZB on the one hand and the Technical University Munich, TUM, on the other broadens the basis for the scientific use of the FRM II, the most up-to-date continuous neutron source, and ensures that it is jointly organised by equal partners. In addition to the neutron instrumentation itself, this cooperation has allowed synergetic effects through the joint operation of common divisions for method development and instrumentation support, as well as in the creation of an efficient infrastructure.



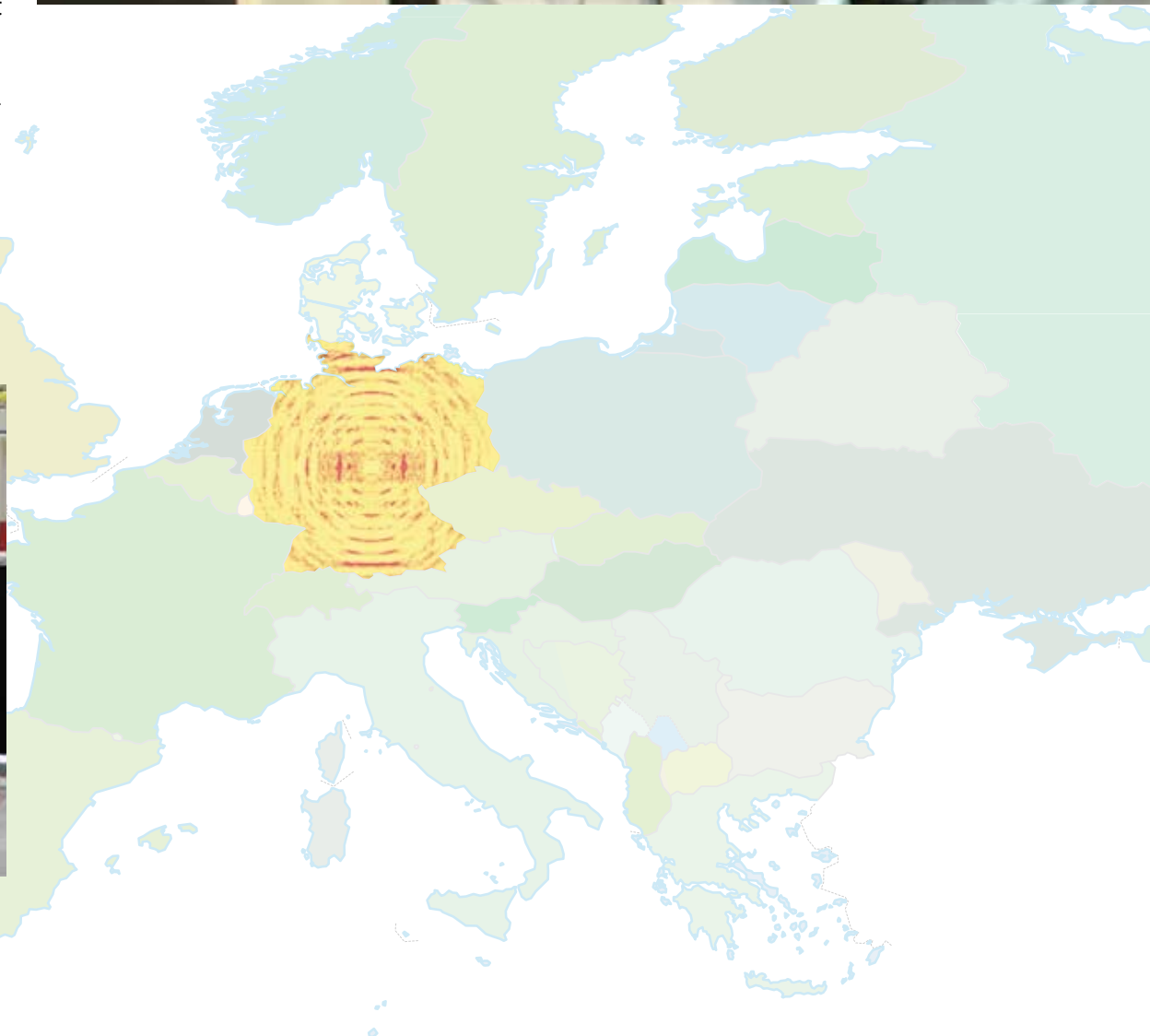
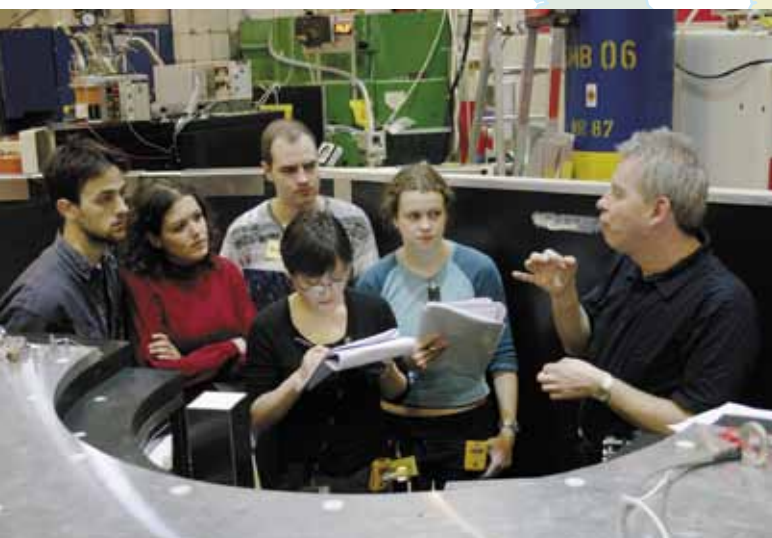
Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses

Spezielle Situation der Neutronenforschung

Im Vergleich zu Standard-Labormethoden, die an vielen Forschungseinrichtungen zur Verfügung stehen, müssen im Falle der Neutronenstreuung Berührungsängste und Informationslücken abgebaut werden, denn normalerweise ist der Zugang zu Neutronenstreuinstrumenten nur über ein Antragsverfahren, eine strahlenschutzmäßige Überwachung und eine Messreise an eine Neutronenquelle möglich. Praktische Erfahrung mit Neutronenstreuexperimenten können Studierende und Doktoranden nicht an Universitäten erwerben, im Gegensatz etwa zur Situation bei der Synchrotronstrahlung, wo vorbereitende Untersuchungen mit Röntgenstreuung oder -spektroskopie im Universitätslabor durchgeführt werden können.

Ferischulen und Neutronenpraktika

Deshalb haben sich die Betreiber der deutschen Quellen schon frühzeitig verpflichtet, den wissenschaftlichen Nachwuchs an die modernen Methoden der Neutronenstreuung heranzuführen. In Zusammenarbeit mit Universitäten bieten HZB, FZJ und HZG seit vielen Jahren Neutronenkurse an, die praktische Arbeiten an mehreren Instrumenten beinhalten. Diese Kurse sind international sehr stark nachgefragt und gehören zu den umfassendsten weltweit. Darüber hinaus veranstaltet das FZJ bereits seit mehr als 40 Jahren eine Frühjahrschule. Durch gemeinsame Berufungen von Gruppen- und Institutsleitern der Helmholtz-Zentren wird zudem eine enge Verknüpfung mit den umliegenden Universitäten geschaffen.



Training young scientists

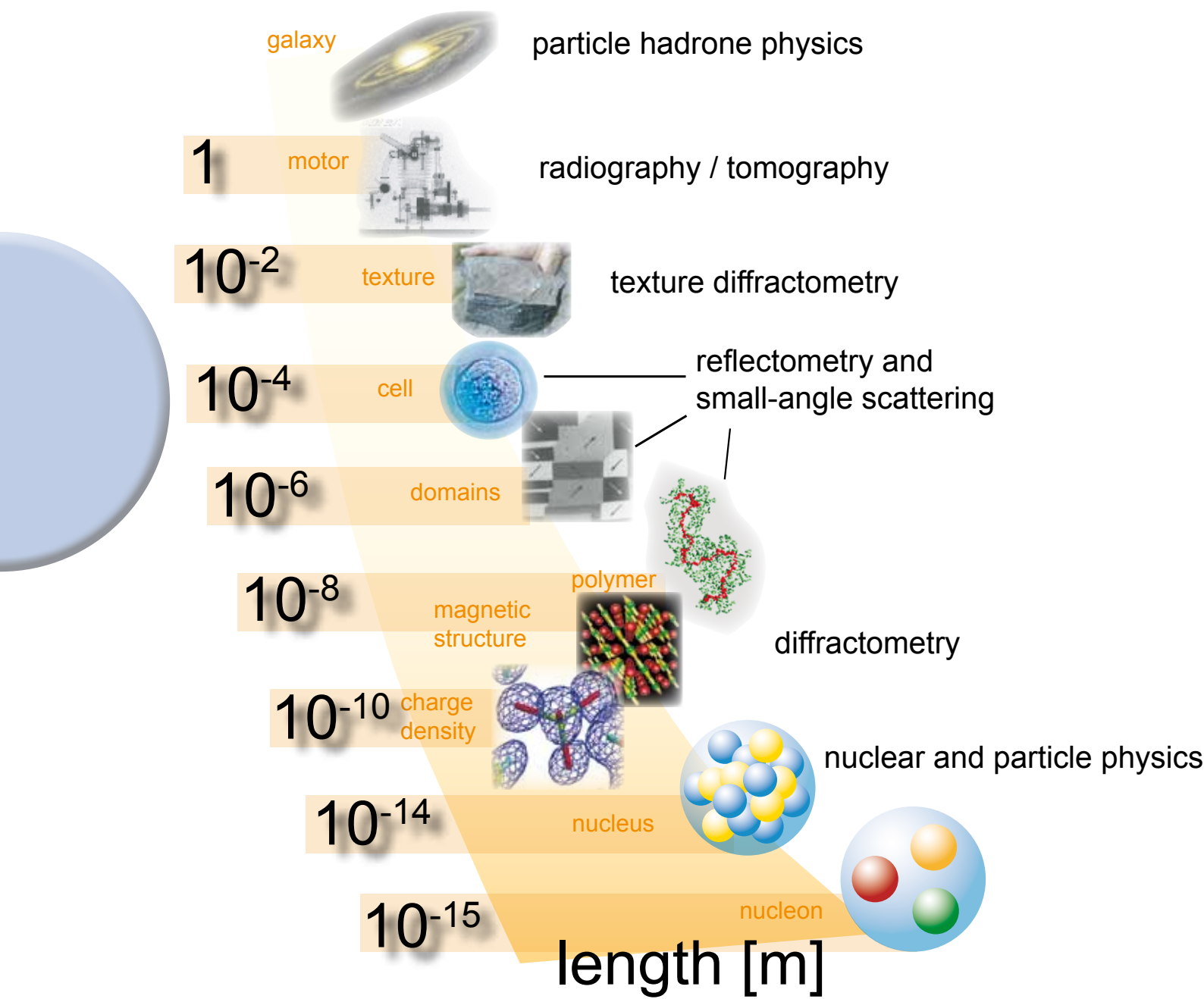
Special situation of neutron research

In contrast to standard laboratory methods that are usually available at research institutes, in the case of neutron scattering there are quite often reservations and information gaps to be overcome. This is due to the fact that access to neutron scattering facilities usually involves an application procedure, radiation protection monitoring and travel to a neutron source. Undergraduate or PhD-students are unable to gain practical experience of neutron scattering experiments at universities, which is different to the situation with synchrotron experiments where preparatory studies with X-ray diffraction or spectroscopy can be performed at university labs.

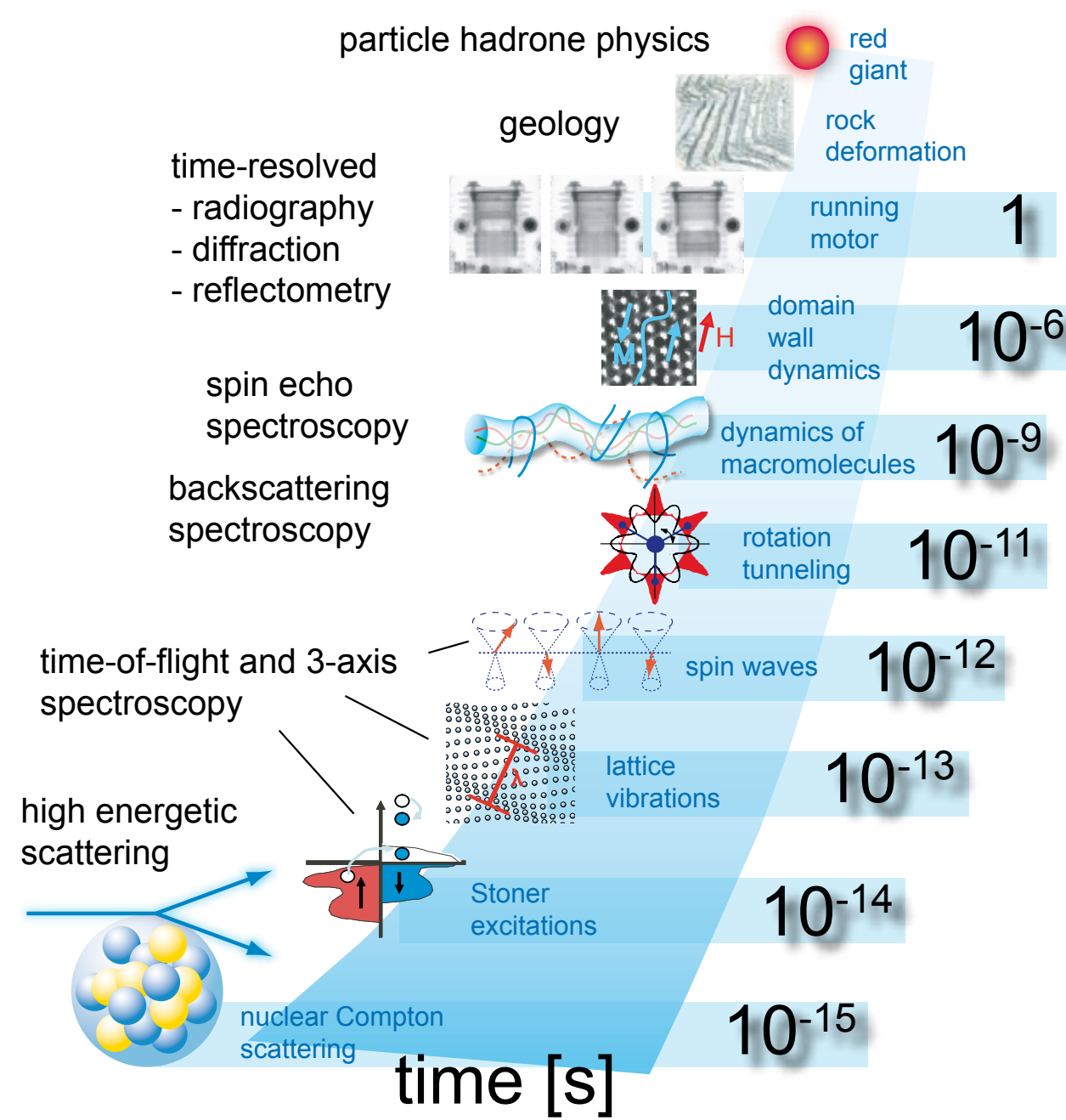
Summer schools and neutron courses

Therefore, the operators of neutron sources in Germany made a commitment early on to introduce young scientists to the modern methods of neutron scattering. In cooperation with the universities, the HZB, FZJ and HZG have for many years offered neutron courses that include practical experiments at different instruments. These courses are in great demand internationally and rank among the most comprehensive worldwide. Moreover, FZJ has organized a spring school for more than 40 years. Through the joint appointment of group and institute leaders at the Helmholtz centres, close links with the surrounding universities have been forged.

Neutronenforschung für die wissenschaftlichen Herausforderungen der Zukunft



Neutron Research for the Scientific Challenges of the Future



Energie

Die nachhaltige und umweltverträgliche Versorgung der Menschheit mit Energie ist eine der größten Herausforderungen der Gegenwart. In Zukunft wird man auf einen Energiemix zurückgreifen, der wesentlich komplexer sein wird als der heutige. Das Analysepotential der Neutronenstreuung ist unverzichtbar für die Lösung dringender Materialprobleme im Energiesektor. Beispiele sind:

Speichermedien

Wasserstoffspeicher, Brennstoffzellen und Batterien: Mit der enormen Empfindlichkeit für Wasserstoff erlauben es Neutronen, die Diffusion *in-situ* zu beobachten und somit Speicherkapazitäten und Lade- und Entladezeiten zu optimieren. Die Beweglichkeit von Lithium in Lithium-Batterien ist entscheidend für deren Leistung und wird mit Hilfe von Neutronenstreuung an nanostrukturierten Materialien verbessert. Die effektive Verbrennung von Wasserstoff in Brennstoffzellen unter direkter Erzeugung von Strom erfordert ein ausgeklügeltes Wassermanagement. Neutronen helfen dabei, die Prozesse in laufenden Brennstoffzellen sichtbar zu machen.

Thermoelektrische Energieumwandlung

Thermoelektrische Materialien ermöglichen es, einen Teil der Abwärme, die rund 70 % der Energieproduktion ausmacht, in Form elektrischer Energie wieder zu gewinnen. Phononenspektroskopie mit Neutronen hat zur Entwicklung neuer Konzepte für optimierte Materialsysteme (Käfigstrukturen, nanostrukturierte Materialien etc.) geführt.

Photovoltaik

Neutronenstreuung unter streifendem Einfall ermöglicht die Untersuchung und Optimierung von Dünnschichtsolarzellen, insbesondere etwa Hybridzellen aus anorganischen und polymeren Materialien.

Ölförderung

Wässrige Tensidlösungen werden zur verbesserten Ölförderung eingesetzt, wobei Benetzungs- und Fließeigenschaften an Modellsystemen mit Kleinwinkelneutronenstreuung optimiert werden.

Kraftwerkstechnologie

Turbinenmaterialien sind enormen mechanischen und thermischen Belastungen ausgesetzt. Neutronendiffraktion wird seit vielen Jahren zur Material- und Formoptimierung genutzt.

Ein Wort vorweg

Im Folgenden wird das Potential der Forschung mit Neutronen für einige der wesentlichen zukünftigen Herausforderungen der menschlichen Gesellschaft schlagwortartig dargestellt. An ausgewählten Beispielen wird aufgezeigt, was Neutronen zur Lösung drängender Probleme beitragen können. Wesentlich ausführlichere Darstellungen finden sich z.B. in der KFN-Strategiebrochure von 2005¹, oder dem ESS „Science Case“².

A word in advance

The potential of neutron research for some of the most important social challenges of the future is briefly highlighted here. Specific examples will serve to illustrate how neutron research can contribute to the solution of the most urgent problems. Far more extensive accounts can be found in the KFN-brochure on neutron strategies published in 2005¹ and in the “Science Case” for the ESS².

Energy

A sustained and environmentally friendly supply of energy is one of the greatest challenges facing modern-day society. In the future a mixture of different energy sources, much more complex than at present, will be required. The analytical power of neutron scattering is indispensable for solving urgent problems of materials in the energy sector. Examples are:

Hydrogen storage, fuel cells and batteries

The enormous sensitivity of neutrons to hydrogen allows *in-situ* studies of hydrogen diffusion which, in turn, help optimise the storage capacity and charge-discharge processes. The mobility of lithium in lithium batteries is crucial to their power and with the help of neutron scattering on nanostructured materials their power and durability will be improved. The efficient burning of hydrogen in fuel cells for the direct generation of electric current requires an ingenious water management system. As a result, neutrons help in visualising the processes which take place in working fuel cells.

Thermoelectric energy conversion

Thermometric materials are useful for the conversion of some of the waste heat from power plants, which amounts to about 70 % of the energy production, directly into electrical power. Phonon spectroscopy using neutrons has led to the development of new concepts aimed at optimising material systems (cage structures, nanostructured materials).

Photovoltaics

Neutron scattering involving glancing angles to the surface make it possible to examine and optimise thin film solar cells, especially hybrid cells consisting of inorganic and polymeric materials.

Oil drilling

Aqueous tenside solutions are used in order to improve oil production, whereby model systems using small angle neutron scattering optimise the wetting and flow properties of the solutions.

Power plant technologies

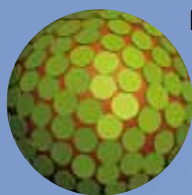
Turbine materials experience enormous mechanical and thermal loads. Neutron diffraction has been used for many years to improve these materials and optimise their shape.



¹ Forschung mit Neutronen in Deutschland - Status und Perspektiven, 2005, http://sni-portal.uni-kiel.de/kfn/kfn/SP05/Forschung-mit-Neutronen_14MB.pdf

² <http://ess-scandinavia.eu/documents/VoIII.pdf>

Weiche Materie



Fremdartig, doch alltäglich

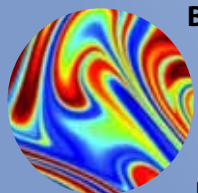
Weiche Materie ist komplex, ihr Zustand liegt zwischen fest und flüssig. So fremdartig dies klingt, so gegenwärtig und alltäglich sind die Systeme. Zur weichen Materie zählen die Polymere in Form von Kunststoffen und Beschichtungen, die Kolloide (Waschmittel, Lacke, Farben, High-Tech-Tinten), die Mikroemulsionen (von Wirkstoff-Formulierungen in der Pharmazie bis hin zur ternären Erdölförderung), die Gele (in Form von Salben, Cremes und modernen Produkten der Körperpflege), Proteine (Eiweiße), Membranen (Brennstoffzellen, Zellmembranen) und viele andere funktionale Materialien mehr. Auch wenn die einzelnen Beispiele sehr unterschiedlich sind, ist ihnen doch eines gemeinsam: Sie bestehen aus einer Vielzahl von Komponenten, die sich auf der Skala zwischen Nano- und Mikrometern selbst organisieren und dadurch das Verhalten und die Funktion der Gesamtsysteme bestimmen.

Einzigartig durch Kontrastvariation

Zur Untersuchung der weichen Materie ist das Neutron unverzichtbar. Es ist die Sonde, die mit zwei elementaren Grundbausteinen der weichen Materie, dem leichten und dem schweren Wasserstoff (H und D), extrem unterschiedlich wechselwirkt. Einzelne Komponenten komplexer Systeme können durch Isotopenaustausch H/D selektiv angefärbt und im Umfeld der nichtgefärbten Matrix sichtbar gemacht werden. Es gelingen damit einzigartige Einblicke in die Struktur hierarchisch geordneter Materialien.

Neutronen helfen verstehen

Neutronenkleinwinkelstreuung und Neutronenreflektometrie z.B. leisten wesentliche Beiträge zum Verständnis von Proteinadsorbaten und der Optimierung von Protein-Wechselwirkungen mit Grenzflächen in wässriger Umgebung und dies mit Implikationen für den Einsatz von Biochips und der Entwicklung von Mikroanalyse-Systemen („lab on chip“).

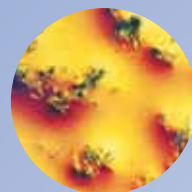


Bewegung im Inneren

Durch ihre niedrige Energie sind Neutronen hervorragend geeignet zum Studium der Dynamik weicher Materie. Inelastische Neutronenstreuung und Neutronenspin-echo-Spektroskopie liefern unverzichtbare Beiträge zum Verständnis von Bewegungsvorgängen in komplexen Fluiden und Multi-Komponentensystemen.

Sanft

Neutronen vermessen die zu untersuchenden Proben zerstörungsfrei, wobei durch Kombination von Erkenntnissen zur Struktur und zur Dynamik Rückschlüsse auf die Funktion bestimmter Komponenten des Gesamtsystems möglich werden.



Komplexität

Die große Herausforderung im Bereich der weichen Materie ist die zunehmende Komplexität der nanoskaligen Materialien mit polymeren Verbundwerkstoffen, Nanokompositen, Kolloiden und Mikroemulsionen, aber auch der biologischen Materie.

Ausgehend vom Verständnis der Komponenten werden in beiden Forschungsfeldern auf supramolekularer Ebene in Zukunft integrierte funktionale Systeme erschlossen werden. Neutronen werden dabei wesentliche Erkenntnisse zu Struktur und Relaxationsphänomenen, zur Dynamik und zu den Transporteigenschaften dieser Systeme liefern.

Kinetik

Zeitaufgelöste Experimente werden das Verständnis des Zusammenspiels der Komponenten wesentlich voranbringen. Sogenannte „pump-probe“ Techniken, bei denen funktionale Systeme in einem Arbeitsschritt gezielt angeregt und dann in diesem Arbeitsschritt selektiv beobachtet werden, werden eine zentrale Rolle spielen.



Biomaterialien

Im Bereich der biologischen Materie sind solche weiterführenden Erkenntnisse stark gekoppelt an die Verfügbarkeit der Materialien und damit insbesondere an die einsetzbaren Probenvolumina. Hier ist allein durch die Reduktion der einzusetzenden

Menge biologischen Materials ein großer Fortschritt zu erwarten.

ESS: Weiche Materie im Fokus

All diese Anforderungen wird die neue europäische Neutronen-Spallationsquelle ESS in hervorragender Weise erfüllen. Durch den dort verfügbaren hohen Neutronenfluss und die charakteristische Zeitstruktur der Neutronen werden die aufgeführten, zukunftsweisenden Experimentiertechniken breit einsetzbar und damit wesentliche neue Erkenntnisse liefern für eine funktionale weiche Materie.

Soft matter

Strange but commonplace

Soft matter is complex, being a state that lies between solid and liquid. Strange as this may seem, soft matter systems are both relevant and commonplace. Soft matter encompasses polymers in the form of plastics and coatings, colloids (detergents, paints, coatings, high-tech inks), microemulsions (from drug formulations in the pharmaceutical industry to ternary oil extraction), gels (in the form of ointments, creams and modern personal care products), proteins, membranes (fuel cells, cell membranes) and many other functional materials. Although individual examples vary considerably, they share a common property: they consist of many components that self-organize on the mesoscopic scale between nano- and micrometers, and thereby determine the behaviour and function of the whole system.



Unique feature contrast variation

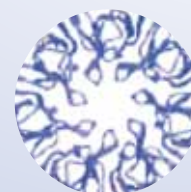
The neutron is indispensable for the investigation of soft matter. It is the probe that interacts very differently with two basic building blocks of soft matter, light and heavy hydrogen (H and D). Individual components of complex systems can thus be selectively stained by isotopic exchange H/D and made visible in the surrounding non-coloured matrix. Thereby, unique insights into the structure of hierarchically ordered materials can be achieved.

Neutrons help understand

For example, small-angle neutron scattering and neutron reflectometry make substantial contributions to the understanding of protein adsorbates and the optimisation of protein interactions with interfaces in an aqueous environment, which has important implications for the use of biochips and the development of micro-analysis systems („lab on chip“).

Internal dynamics

Due to their low energy, neutrons are ideally suited to the study of the dynamics of soft matter. Inelastic neutron scattering and neutron spin echo spectroscopy make invaluable contributions to the understanding of movements in complex fluids and multi-component systems.

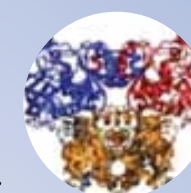


Careful

Neutrons probe the samples under investigation in a non-destructive way so that, when combined with information on the structure and dynamics, conclusions about the function of particular components of the whole system can be drawn.

Complexity

The key challenge in soft matter research is the increasing complexity of the systems under investigation in the field of nanoscale materials, including polymer composites, nanocomposites, colloids and microemulsions, as well as systems in the field of biological matter. Starting from an understanding of the components, integrated functional systems at supramolecular level will in the future be determined in both these areas of research. Here, neutrons will provide considerable insight into the structure and relaxation phenomena, the dynamics and transport properties of these systems.



Kinetics

Time-resolved experiments will significantly advance the understanding of the interplay between the components. So-called „pump-probe“ techniques will play a central role, where functional systems are specifically excited and selectively observed in one step.

Biomaterials

In the area of biological matter such ground-breaking insights are strongly linked to the availability of materials and thus, in particular, to the usable sample volumes. Here, great progress is to be expected simply through the reduction of the sample volumes required.



ESS: focus on soft matter

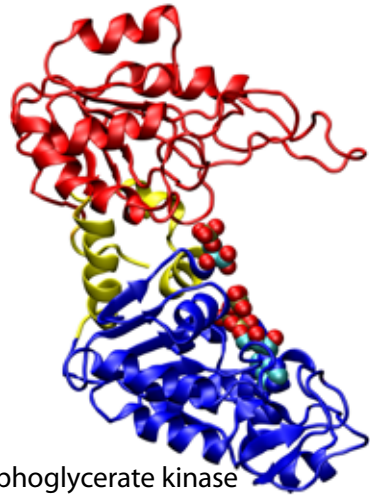
The new European neutron spallation source ESS will fulfil all these requirements extremely well. Due to the high neutron flux available and the characteristic time structure of the neutron beam, the pioneering experimental techniques referred to here will become broadly applicable and thus provide important new insights into functional soft matter.

Gesundheit

Mit der zunehmenden Lebenserwartung in unseren modernen Industriegesellschaften werden alterstypische Erkrankungen des Gehirns, wie Alzheimer oder Parkinson, immer mehr zu einem Problem. Bereits heute leiden in Deutschland mehr als eine Million Menschen an Demenzerkrankungen - Tendenz steigend.

Demenzerkrankungen

Neutronendiffraktion hat bereits wichtige Beiträge zum Verständnis der molekularen Grundlagen von Alzheimer erbracht, indem spezifisch deuteriertes β -Amyloid - das mit Alzheimer in Verbindung stehende Peptid - in Zellmembranstrukturen lokalisiert werden konnte.



Phosphoglycerate kinase

Proteine: Struktur und Dynamik

Die standardmäßige Strukturbestimmung von Proteinen wird zwar durch die Synchrotron-Röntgendiffraktion dominiert, Neutronen liefern jedoch die für die Bindungen wichtigen Wasserstoffpositionen. Ein weiteres Anwendungsgebiet für die Neutronenstreuung findet sich in der Molekularbiologie bei der Untersuchung der funktionellen Dynamik von Proteinen mit Hilfe hochauflösender Spinechospektroskopie, wie es etwa an der Alkoholdehydrogenase gezeigt wurde. Die Aufklärung dynamischer Prozesse, die direkt die Funktion der Enzyme bestimmen, ist eine Domäne der Neutronenstreuung.

Diagnose und Therapie

Neutronen werden zur Produktion von Radionukliden über Kernreaktionen genutzt und dienen so unmittelbar medizinischen Zwecken. Radionuklide werden sowohl in der Diagnostik als auch in der Therapie eingesetzt. Jeder dritte Krankenhauspatient profitiert vom Einsatz der Radionuklide. In mehr als der Hälfte der nuklearmedizinischen Anwendungen wird dabei das Radioisotop ^{99}Tc eingesetzt, für das Neutronenquellen die einzigen Lieferanten sind. Weitere wichtige Radionuklide sind ^{177}Lu , welches zur gezielten Tumorthherapie eingesetzt wird und ^{188}Re , das bei der Behandlung von Gefäßverengungen angewendet wird.

Oberflächennahe Tumore

Neutronen werden auch direkt zu therapeutischen Zwecken eingesetzt: sauerstoffunterversorgte oberflächennahe Tumore können durch die Bestrahlung mit schnellen Neutronen besser behandelt werden als mit konventioneller Strahlentherapie. Das liegt an ihrer hohen biologischen Wirksamkeit (RWB-Faktor 3-8) und dem hohen lokalen Energietransfer. Da die Eindringtiefe der schnellen Neutronen wegen ihrer starken Wechselwirkung mit dem Wasserstoff im Gewebe nur max. 5 cm beträgt, ist diese Therapie auf oberflächennahe Tumore beschränkt.

Lokal begrenzte Wirkung

Ein anderes Verfahren der Tumorbehandlung ist die Bor-Neutronen-Einfangtherapie (BNCT). In das Tumorgewebe eingebrachtes ^{10}B kann durch Bestrahlung mit Neutronen zum Zerfall gebracht werden. Dabei entstehen hochenergetische α -Teilchen (^4He) und ^7Li Atome, die in hohem Grade zerstörerisch auf Zellen wirken. Die Reichweite der Teilchen im Gewebe beträgt dabei etwa 14 μm . Dies entspricht dem Durchmesser von 1-2 Zellen. Die geladenen Teilchen geben genug Energie ab, um Tumorzellen zu zerstören. Da ^{10}B thermische Neutronen viel stärker absorbiert als die Elemente im umgebenden Gewebe, kann die Intensität der Neutronen deutlich reduziert werden, um Schäden am nicht-borhaltigen Gewebe zu vermeiden. Durch die Synthese geeigneter Borverbindungen und die Entwicklung neuer Verfahren zur Anreicherung des Bors im Tumorgewebe wird versucht, diese Bedingung zu erfüllen, um einen Durchbruch für diese Therapieform zu erzielen.



Health

With the increase in life expectancy in the modern industrialised world, diseases of the brain associated with age such as Alzheimer's or Parkinson are becoming ever more of a problem. Already, more than a million people in Germany suffer from dementia – and the number is set to rise.

Dementia

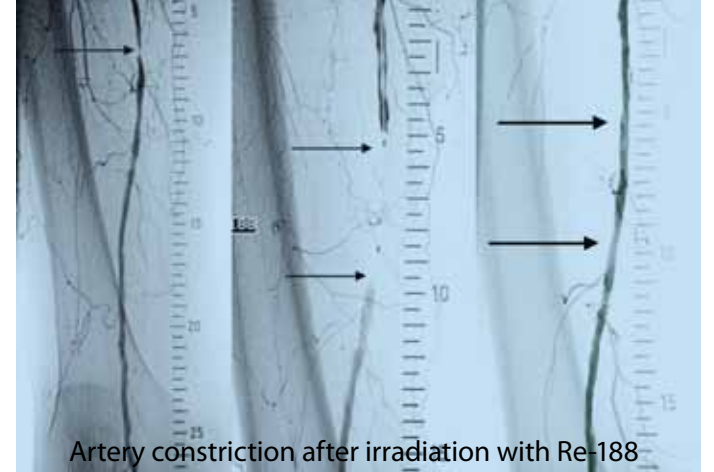
Neutron diffraction has already played an important role in understanding the molecular basis of Alzheimer's disease in that a specifically deuterated β -Amyloid, a peptide linked to Alzheimer's, was able to be localized in the structure of the cell membrane.

Proteins: Structure and dynamics

The standard determination of the structure of proteins is dominated by synchrotron-X-ray-diffraction, but neutrons nevertheless supply information about the positions of the hydrogen atoms, which are important for the bonds of the proteins. Neutron scattering is further applied in molecular biology to examine the functional dynamics of proteins using high resolution spin echo spectroscopy, as was shown for example in alcohol dehydrogenase. Explaining dynamic processes which directly influence the operation of enzymes is one area of neutron scattering.

Diagnosis and therapy

Neutrons are used for the production of radionuclides via nuclear reactions and, therefore, have a direct bearing on medicine. Radionuclides are applied in diagnosis



Artery constriction after irradiation with ^{188}Re

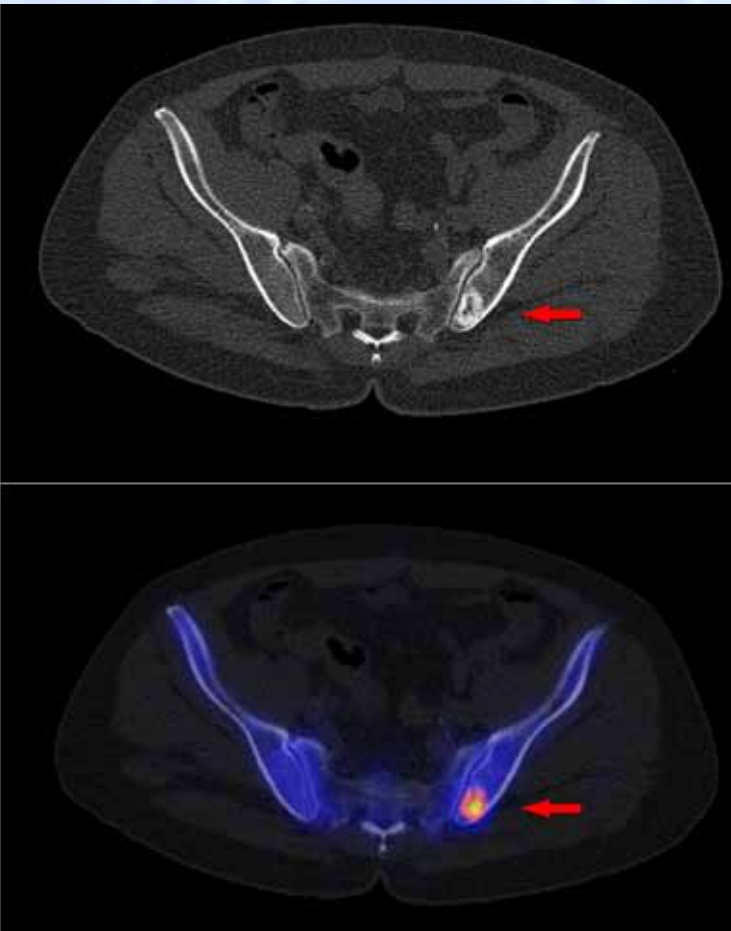
as well as in therapy. One third of hospitalised patients benefit from the use of radionuclides. The radioisotope ^{99}Tc , which is used in more than half of all nuclear medical treatments, can only be supplied from neutron sources. Further important radionuclides are: ^{177}Lu , which is used in targeted tumour therapy, and ^{188}Re , which is used in the treatment of arteriosclerosis.

Near-surface tumours

Neutrons are also directly used in therapeutic treatments: Near-surface tumours lacking oxygen can be better treated by radiation using fast neutrons than by conventional radiation therapy. This is due to their high biological effectiveness and high local energy transfer. The therapy is confined to near-surface tumours, as fast neutrons only penetrate to a maximum depth of 5 cm due to their strong interaction with hydrogen in human tissue.

Locally limited effect

Another procedure used in treating tumours is boron-neutron capture therapy (BNCT). Neutron radiation triggers the decay of ^{10}B , which is injected into the tumour tissue. This creates high-energy α -particles (^4He) and ^7Li atoms, which destroy cells to a large degree. The range of particles within the tissue amounts to about 14 μm , which corresponds to the diameter of 1-2 cells. The charged particles emit enough energy to destroy the tumour cells. As ^{10}B absorbs thermal neutrons much more strongly than the elements in the surrounding tissue, the intensity of the neutrons can be significantly reduced to avoid damage to the tissue that does not contain boron. An attempt is being made to fulfil these conditions by synthesising suitable boron compounds and developing new procedures to enrich the boron in the tumour tissue, with the aim of achieving a breakthrough in this new form of therapy.



Umwelt

Technologien und Materialien

Bedingt durch die hohen Bevölkerungsdichten in Verbindung mit dem hohen Grad an Industrialisierung ist der Schutz der Umwelt entscheidend für den Erhalt adäquater Lebensbedingungen in den modernen Industriestaaten. Dies gilt in zunehmendem Maße auch für die sich rasch entwickelnden Wirtschaftsgebiete in Asien und Südamerika. Von zentralem Interesse für die zukünftige und nachhaltige Entwicklung ist die Harmonisierung von Natur und Technik durch Einsatz umweltfreundlicher Technologien und Materialien. Darüber hinaus gilt es, Probleme aus der Vergangenheit zu beheben, wie z.B. die Endlagerung radioaktiven Abfalls aus Reaktoren und Kliniken und die sichere Lagerung bzw. Wiederverwendung von Schwermetallen.

Einzigartige Analysemöglichkeiten

Neutronen können zur Entwicklung von Technologien für den Umweltschutz durch ihre einzigartigen Analysemöglichkeiten beitragen. So können durch Neutronenaktivierungsanalyse oder prompte Gammastrahl-Aktivierungsanalyse Spurenelemente in extrem kleinen Konzentrationen und damit umweltrelevante Verunreinigungen nachgewiesen werden. Die Empfindlichkeit übertrifft diejenige von Standardverfahren um mehrere Größenordnungen. Aber auch für die Entwicklung von Materialien für Filter etc. können Neutronen entscheidende Beiträge liefern. Hier sei als Beispiel das in der Helmholtz-Allianz MEM-BRAIN organisierte Netzwerk von Universitäten und außeruniversitären Forschungseinrichtungen genannt, das sich dem Ziel verschrieben hat, Gas-selektive Membranen

zur Abtrennung von CO_2 , H_2 und N_2 aus dem Abgas von Kohlekraftwerken zu entwickeln. *In-situ* Neutronendiffraktion unter realistischen Arbeitsbedingungen erlaubt es, die leichten Elemente klar zu erkennen, deren Lage im Kristallgitter sowie deren Diffusionsprozesse zu bestimmen.

Eingekapselt

Außerdem werden hochbeständige Gläser zum Einkapseln von radioaktiven Materialien entwickelt. Ihre Strukturbeständigkeit unter hoher Strahlungsdosis wird mit Hilfe der Neutronenstreuung überprüft. Denn diese Materialien sollen viele Jahre mechanisch und thermisch stabil sein und gleichzeitig eine möglichst geringe Diffusionsrate für radioaktive Isotope aufweisen.

Optimierung von Beton

Beton ist seit der Römerzeit als sehr hartes, formbares und beständiges Baumaterial bekannt. Mit Neutronenstreuung wird der Härtingsprozess untersucht, um daraus Rückschlüsse zu gewinnen, wie Beton auch bei Wassermangel in klimablenachteiligten Entwicklungsländern verarbeitet werden kann.

Solartechnik

Optisch transparente sowie UV-strahlungsresistente und hitzebeständige Polymere werden für Solaranlagen benötigt. Die Neutronenstreuung ist prädestiniert dazu, bei der Entwicklung dieser Polymere entscheidende Beiträge zu leisten.

Environment

Technologies and materials

Due to high population density combined with a high degree of industrialization, the protection of the environment is crucial in maintaining an acceptable standard of living in modern industrialised countries. This is also becoming ever more important for the fast developing economies of Asia and South America. Of prime interest for future sustained development is the harmonisation of nature and technology through the use of environmentally friendly technologies and materials. Furthermore, solutions need to be found for past problems, such as the permanent disposal of nuclear waste from reactors and clinics and the safe storage or recycling of heavy metals.

Unique analysis capabilities

Due to the unique possibilities for analysis they offer, neutrons can contribute to the development of technologies that protect the environment. For instance, neutron activation analysis and prompt gamma emission spectroscopy are sensitive to minute amounts of rare elements. Therefore, environmentally relevant contamination can still be detected. The sensitivity exceeds that of standard procedures by several orders of magnitude. Neutron research can also make crucial contributions to the development of materials for filters etc. An example of this is the Helmholtz-Alliance MEM-BRAIN which organizes a network of universities and research centres with the aim of developing gas-selective membranes to

separate the molecules CO_2 , H_2 and N_2 from the emissions of coal-burning power plants. *In-situ* neutron diffraction under realistic working conditions makes it possible to clearly identify light elements and to determine their position in the crystal lattice as well as their diffusion processes.

Encapsulated

Furthermore, highly resistant glassy materials are being developed to encase radioactive waste. The structural stability of these materials when exposed to high levels of radiation is monitored using neutron scattering, as these materials need to be mechanically and thermally stable over many years with minute diffusion rate for radioactive isotopes.

Optimization of concrete

Concrete has been known since the time of the Roman Empire as a moldable, hard and durable construction material. The hardening process of concrete is being studied using neutron scattering in order to gain feedback on how it might be used for construction work in developing countries where climatic conditions lead to water shortage.

Solar technology

Optically transparent as well as UV-radiation and heat resistant polymer materials are required for solar power plants. There is no doubt that neutron scattering will play a crucial role in the development of these polymers.



Storage battery examined using the powder diffractometer SPODI



Research on concrete

Materie unter extremen Bedingungen

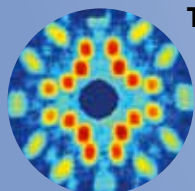


Werkstoffe und natürliche Prozesse

Immer höhere Anforderungen werden heute an moderne Materialien gestellt: Sie sollen hohe oder tiefe Temperaturen aushalten, auch unter hohen Drücken ihre mechanischen Eigenschaften behalten, resistent sein unter chemisch reaktiven Bedingungen oder hohen elektrischen und magnetischen Feldern. Darüber hinaus wird von Hochleistungswerkstoffen erwartet, dass sie insbesondere Wechselbeanspruchungen standhalten. Für die Untersuchung von geeigneten Materialien unter derartig extremen Bedingungen sind Neutronen eine nahezu ideale Sonde, erlauben sie es doch, aufgrund ihrer hohen Durchdringungsfähigkeit auch Experimente unter Verwendung komplexer Probenumgebungen auszuführen. Neben der Optimierung von Materialeigenschaften dienen derartige Untersuchungen aber auch dazu, das Verhalten der Natur unter extremen Bedingungen zu studieren, wie sie etwa im Inneren der Erde, im Weltall oder in Sternsystemen herrschen. Dabei offenbaren sich wichtige Details fundamentaler Wechselwirkungen und natürlicher Prozesse, die unser Weltbild entscheidend beeinflussen können.

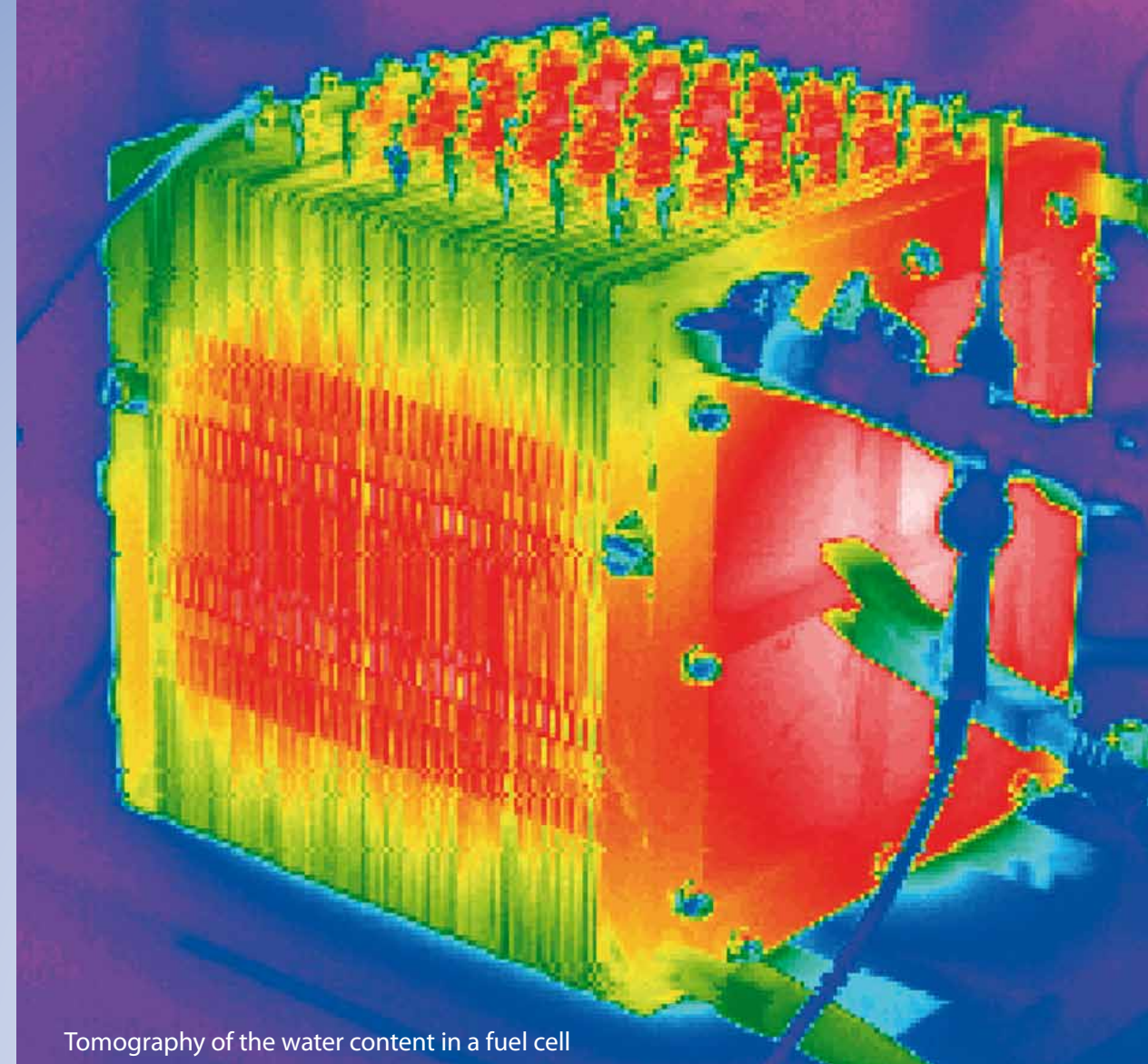
Hohe Temperaturen und hohe Drücke

Für das Verständnis der Prozesse im Erdinneren, die beispielsweise zu Vulkanausbrüchen oder Erdbeben führen können, ist die Kenntnis von Deformationseigenschaften von Gesteinen, Fließverhalten, Glasbildung oder Phasenumwandlungen unter geologischen Bedingungen von entscheidender Bedeutung. Neutronenstrukturuntersuchungen bei Drücken bis zu 25 GPa und Temperaturen bis zu 2000 °C liefern dazu wichtige Informationen.



Tiefe Temperaturen und hohe Magnetfelder

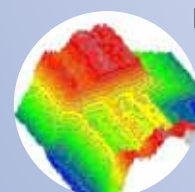
Die Beherrschung magnetischer Eigenschaften von Festkörpern hat es ermöglicht, große Mengen an Daten auf kleinstem Raum zu speichern. Dennoch sind viele magnetische Phänomene und Wechselwirkungen noch unverstanden. Ein bekanntes Beispiel dafür ist der Mechanismus der Hochtemperatur-Supraleitung. Details magnetischer Wechselwirkungen werden in Neutronenstreuexperimenten bei hohen Feldern bis zu 30 T, dem mehr als 600000-fachen des Erdmagnetfeldes, und tiefsten Temperaturen bis hinab in den Nanokelvin-Bereich sichtbar.



Tomography of the water content in a fuel cell

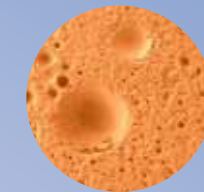
Reaktive Umgebungen und chemische Reaktionen

Der Verlauf und die Kontrolle chemischer Reaktionen unter oxidierenden oder reduzierenden Bedingungen, die Wirkung von Katalysatoren unter Einsatzbedingungen lassen sich mit Neutronen gezielt untersuchen. Strukturveränderungen liefern dabei Aussagen über Mechanismen und Tomographie-Aufnahmen von Brennstoffzellen im Betrieb bilden reale Systeme detailgetreu ab.



Echtzeit-Untersuchungen

Mit neu-entwickelten Echtzeit-Methoden lassen sich Prozesse in kondensierter Materie, wie chemische Reaktionen, Phasenumwandlungen oder Schaltprozesse in Speichermaterialien mit Neutronen charakterisieren. Dabei sind nicht allein Strukturänderungen zugänglich; vielmehr kann auch die Veränderung der chemischen Bindung in inelastischen Streuexperimenten nachgewiesen werden. Nicht-Gleichgewichtszustände und Nanostrukturen lassen sich dabei beobachten und auch gezielt herstellen.

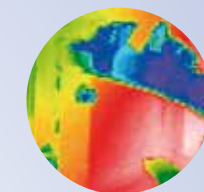


High temperatures and pressures

For an understanding of the processes within the earth that lead, for example, to volcanic eruptions or earthquakes, a knowledge of rock deformation, creep or phase transformations under geological conditions is of the utmost importance. Here, structural investigations using neutrons at pressures up to 25 GPa and temperatures up to 2000 °C provide valuable information.

Low temperatures and high magnetic fields

Control of the magnetic properties of solids allows huge amounts of data to be stored within very small volumes. Nevertheless, many magnetic phenomena and interactions are still not understood. A well-known example is the mechanism of high-temperature superconductivity. Details of magnetic interactions can be observed with neutron scattering experiments at high fields up to 30 T, which is more than the 600000-fold of the Earth's magnetic field, and lowest temperatures down into the nano-kelvin region.



Aggressive reactive environments and chemical reactions

The evolution and control of chemical reactions under oxidizing or reducing conditions and the performance of catalysts under realistic conditions can be studied in dedicated neutron experiments. Structural variations provide information about basic mechanisms while tomographic studies of fuel-cells, e.g., image technical systems in great detail.

Real-time investigations

Using innovative real-time methods, neutrons help characterise processes in condensed matter such as chemical reactions, phase transformations or switching processes in storage materials. Not only can structural changes be followed, but variations in chemical bonding can also be detected through inelastic scattering experiments. Non-equilibrium states and nanostructures can thus be observed and even selectively produced.

Matter under extreme conditions

Materials and natural processes

Modern materials have to meet ever more demanding requirements: They have to tolerate high or low temperatures, retain their mechanical properties even under high pressures and remain invariant under chemical reactive condition or high electric and magnetic fields. Moreover, heavy-duty materials are expected to withstand cyclic (alternating) loads. Neutrons are almost ideal probes for the investigation of suitable materials under such extreme conditions due to their ability to penetrate even sophisticated and complex sample environments. These experiments are aimed, however, not only at the optimisation of the properties of materials but also at the study of nature under extreme conditions such as those found deep in the interior of earth, in space or in stars. The results reveal important details of fundamental interactions and natural processes that might significantly improve our view of the world.

Verkehr

Materialentwicklung

Eine tragende Säule moderner Industriestaaten ist die Verkehrsinfrastruktur. Diese umfasst die mobilen Verkehrsträger (z.B. Auto, Zug, Schiff, Flugzeug) und deren Transportwege (Straße, Schiene, Wasser, Luft). Neutronenstreuung setzt sich mit den Materialien auseinander, die sowohl in den Verkehrsträgern wie auch in den Transportwegen zur Anwendung kommen. Dabei leisten sie wesentliche Beiträge zur Entwicklung möglichst leichter Strukturmaterialien zur Erhöhung der Energieeffizienz von Transportmitteln, aber auch zur Entwicklung modernsten Fügeverfahren für die Verbindung verschiedener Materialien.

Leicht und spannungsfrei

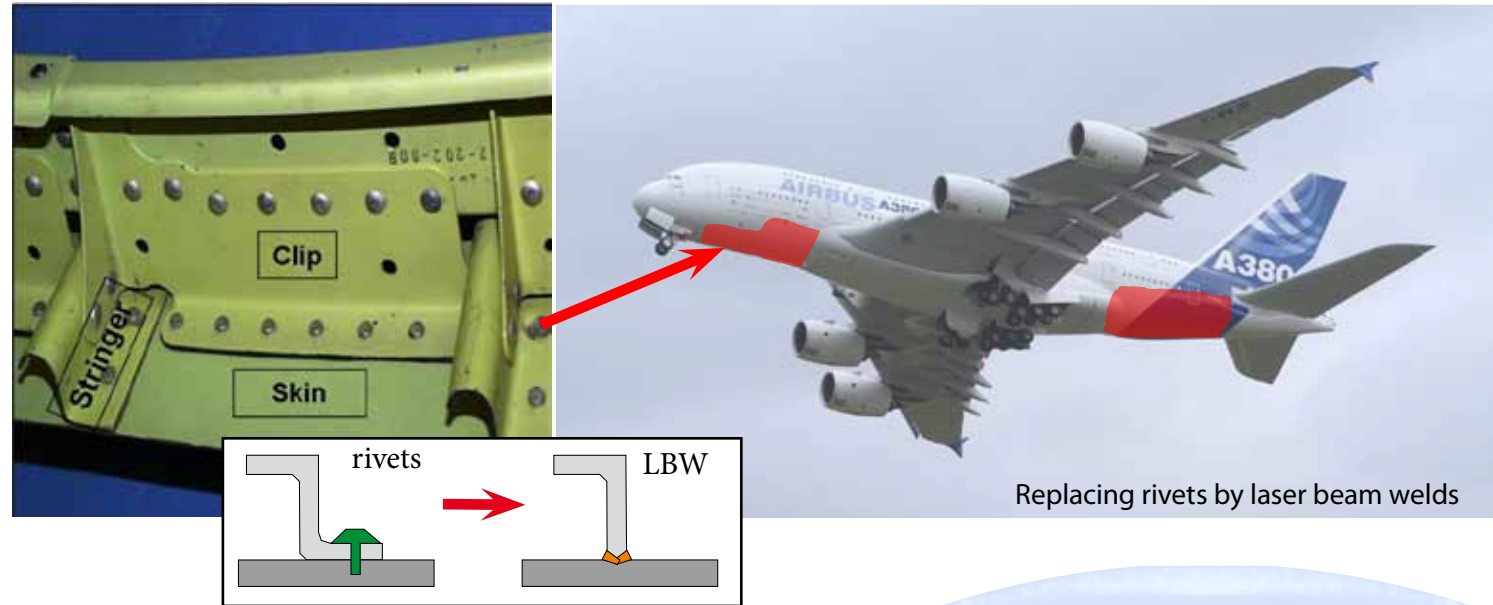
Beispiele für besonders leichte Materialien sind metallische Schäume oder kohlenfaserbasierte Materialien, deren Struktur aufgrund der hohen Durchdringungsfähigkeit bzw. der Empfindlichkeit für leichte Elemente besonders gut mit Neutronen bestimmt werden kann. Ein Beispiel für die Entwicklung moderner Fügeverfahren ist das Laserstrahlschweißen, das als Alternative für das gewichtsintensive Nieten im Flugzeugbau genutzt wird: Auch moderne Flugzeuge werden noch mit Millionen Metallnieten zusammengehalten. Trotz der möglichen Gewichtsersparnis von ca. 1 kg pro Quadratmeter dürfen natürlich keinesfalls Kompromisse hinsichtlich der Sicherheit eingegangen werden: Es muss gewährleistet sein, dass beim Schweißen keine größeren inneren Spannungen entstehen, die im Nachhinein zur Rissbildung oder zum Bruch führen könnten.

Schweißen

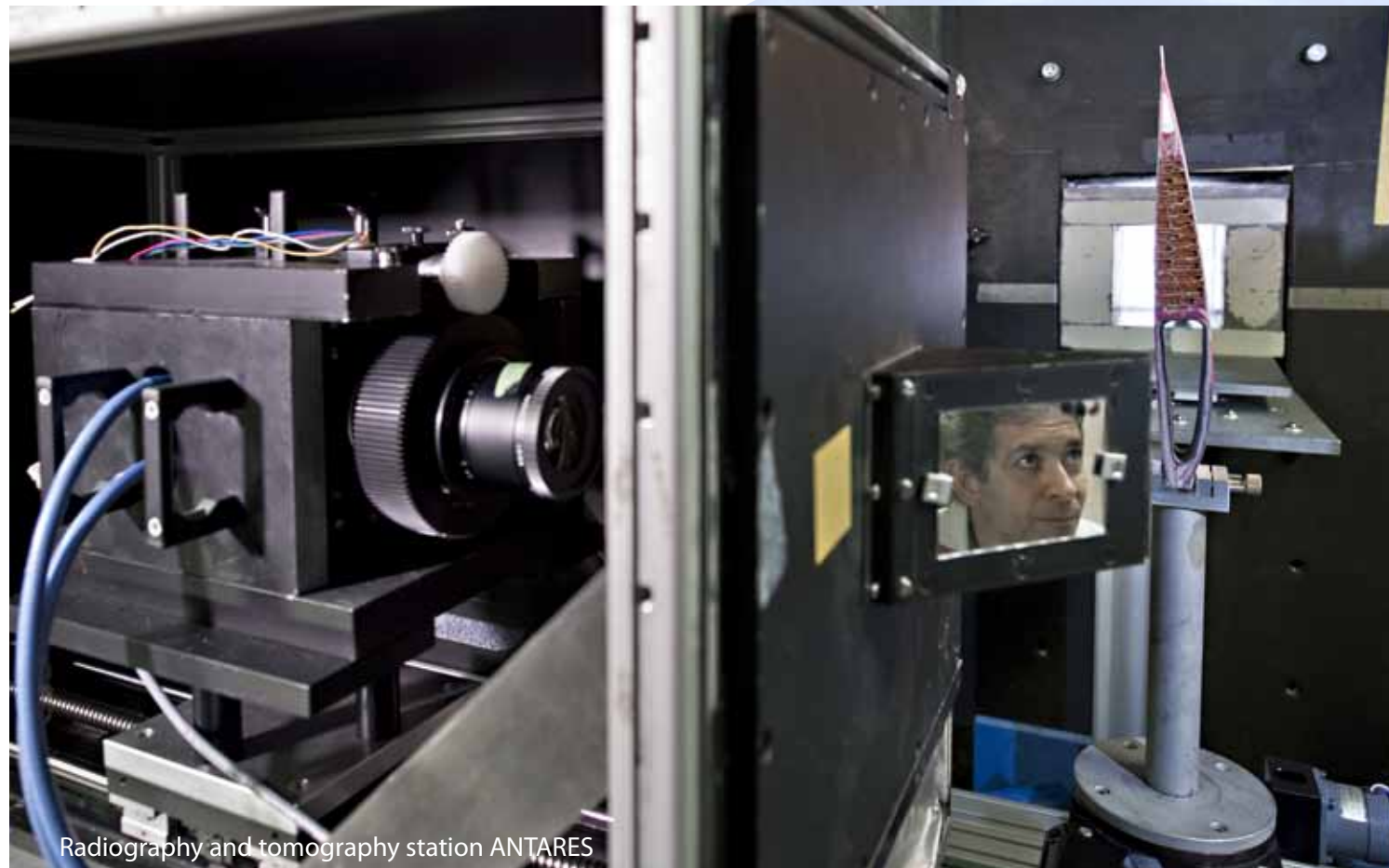
Neutronen mit ihrer hohen Eindringtiefe sind die ideale Sonde, um die Verteilung von inneren Spannungen räumlich aufgelöst mit Hilfe von Diffraktion zu vermessen. Damit können verschiedene Schweiß-Sequenzen getestet und schließlich validiert werden.

Komponenten

Weitere Themenfelder im Verkehrsbereich, bei denen die Neutronenstreuung wichtige Beiträge liefert, sind u.a. Bremsblöcke, Getriebegehäuse, Kolbenmechanik und vor allem Materialien für die effiziente Speicherung von Wasserstoff als Brennstoff in Verkehrsträgern.



Replacing rivets by laser beam welds



Radiography and tomography station ANTARES

Transport

Materials development

One of the mainstays of modern industrialised countries is their transport infrastructure. This comprises mobile carriers (trucks, trains, ships, planes) as well as transportation routes (roads, tracks, water, air). Neutron scattering deals with the materials used for both the carriers and their routes. In this context, neutron scattering contributes to the development of lightweight structural materials to enhance the energy efficiency of transportation as well as the techniques required to join different materials.

Light and stress-free

Examples of particularly light materials are metallic foams and graphite fibre based materials whose structure can be very well determined using neutrons due to their high permeability as well as their sensitivity to light elements. One example of the development of joining techniques is welding using laser beams as an alternative to the use of weight-intensive riveting in the construction of aeroplanes. Even modern aeroplanes are constructed using millions of metal rivets. However, in spite of the weight saving possibility, which is about 1 kg per square meter, safety issues can not in any way be compromised. Therefore, it has to be ensured that no internal stresses are generated during the welding process that could later lead to cracks or fractures.

Welding

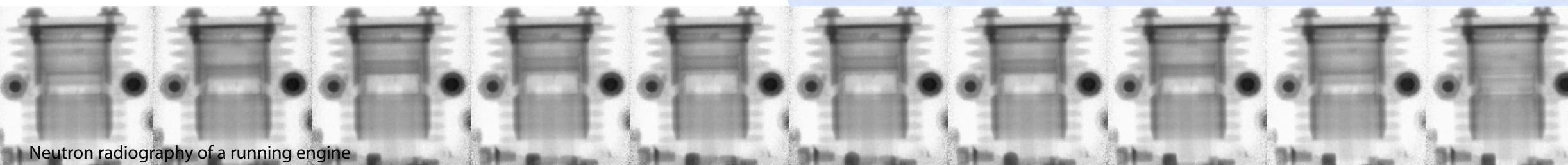
Neutrons with their penetration power are an ideal sensor for probing internal stresses and their spatial distribution which can be studied using high resolution neutron diffraction. With this technique different laser welding sequences can be tested and finally validated.

Components

Further areas where neutron research can contribute to materials development in the field of transport are brake pads in trucks, gears and gear housings, piston mechanics and, in particular, materials for the efficient storage of hydrogen as a fuel in transport carriers.



Railway track



Neutron radiography of a running engine

Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung

Hervorragendes Werkzeug

Seine besonderen Eigenschaften machen das Neutron zu einem hervorragenden Werkzeug für die zerstörungsfreie Materialprüfung. Eine ganze Reihe wichtiger Untersuchungsmethoden stehen dem Ingenieur zur Verfügung.



Eigenspannungsanalyse, Phasen- und Texturbestimmung durch Neutronenstreuung

Insbesondere aufgrund ihrer Fähigkeit, tief in Metalle einzudringen, wurden Neutronen in den letzten Jahren für Ingenieure ein immer wichtigeres Werkzeug. Diese Eigenschaft erlaubt es, Materialeigenschaften wie innere Spannungszustände, mikrostrukturelle Ausrichtung und Phasenzusammensetzung auch tief im Inneren eines massiven metallischen Bauteils quantitativ zu bestimmen. Damit gelingt die Optimierung von Fertigungsprozessen industrieller Werkstücke, sowie von Werkstoffeigenschaften wie Verformbarkeit, Elastizität und Zugfestigkeit. Darüber hinaus lassen sich in der Materialanalyse mit Neutronenstreuung auch Erkenntnisse über Werkstoffe bei extremen äußeren Bedingungen wie hohen Druck- oder Zugspannungen und / oder hohen Temperaturen gewinnen.

Radiographie und Tomographie

Das hohe Durchdringungsvermögen gepaart mit besonderer Empfindlichkeit für einzelne chemische Elemente bzw. Isotope prädestiniert die Neutronen für tomographische und radiographische Untersuchungen. Dies gilt insbesondere für das zerstörungsfreie Sichtbarmachen von Materialien, die leichte Elemente wie Wasserstoff, Lithium oder Bor enthalten und sich im Inneren metallischer Objekte befinden. Ganze Baugruppen wie zum Beispiel ein Automotormotor oder eine Batterie können untersucht werden, um verschiedenste Fragestellungen, wie die nach der Schmiermittelverteilung im laufenden Motor oder gar elementspezifisch nach der Konzentration von Lithium-Ionen im Inneren der in Betrieb befindlichen Batterie zu beantworten. Ebenso kann die Entstehung von Wasser während der katalytischen Umsetzung von Wasserstoff in Brennstoffzellen an der laufenden Zelle verfolgt werden. Der Wechsel zwischen leichtem und schwerem Wasserstoff erlaubt es, die Kinetik von Austauschprozessen zu untersuchen.



Neutronenaktivierungsanalyse

Auf Grund der hohen Empfindlichkeit ist die Neutronenaktivierungsanalyse eine ausgezeichnete Methode zur Bestimmung von Nebenbestandteilen eines Werkstoffs, welche in geringer Konzentration bis in den sub-ppm Bereich vorliegen.

Darunter fallen Spurenelemente als Verunreinigungen in technischen Halbleitermaterialien, in biologischen Materialien, zur Herkunftsbestimmung archäologischer Artefakte und geologischer Proben. Man unterscheidet die instrumentelle Neutronenaktivierungsanalyse, bei der die Aktivität der Radionuklide nach einer Bestrahlung im Reaktor untersucht wird, und die Prompte-Gamma-Aktivierungsanalyse (PGAA), welche die durch Bestrahlung mit einem intensiven Neutronenstrahl freigesetzten prompten Gammaquanten zur Elementbestimmung nutzt.

Non-destructive testing of materials

Great tool

The unique properties of the neutron make it particularly suitable as a tool for the non-destructive testing of materials. A whole range of important experimental methods is available to engineers.



Residual stress analysis, phase and texture analysis

Due to their ability to penetrate deep into metals, neutrons have become more and more important as a valuable tool for engineers in recent years. It is this property that allows the quantitative determination of material properties such as internal strain states, microstructure or phase behaviour even deep within a massive metallic component. This makes it possible to optimise the production processes of industrial workpieces as well as properties such as ductility, elasticity and tensile strength. In addition, neutron scattering provides information about the behaviour of materials under extreme conditions such as high compression or tensile stresses and/or high temperatures.



Neutron activation analysis

Due to its extreme sensitivity, neutron activation analysis is an excellent method for the determination of minor components in materials, which exist in concentrations as low as the sub-ppm region. This encompasses trace elements as impurities in technical semiconductors, biological materials and the determination of the origin of archaeological objects or geological samples. Two techniques can be distinguished: Neutron activation analysis, on the one hand, determines the activity of radionuclides after irradiation of a sample within the reactor while, on the other, prompt gamma-ray activation analysis (PGAA) uses the prompt gamma-rays that are emitted during irradiation with an intense neutron beam to determine the elements present.



Residual stress analysis using the diffractometer E3



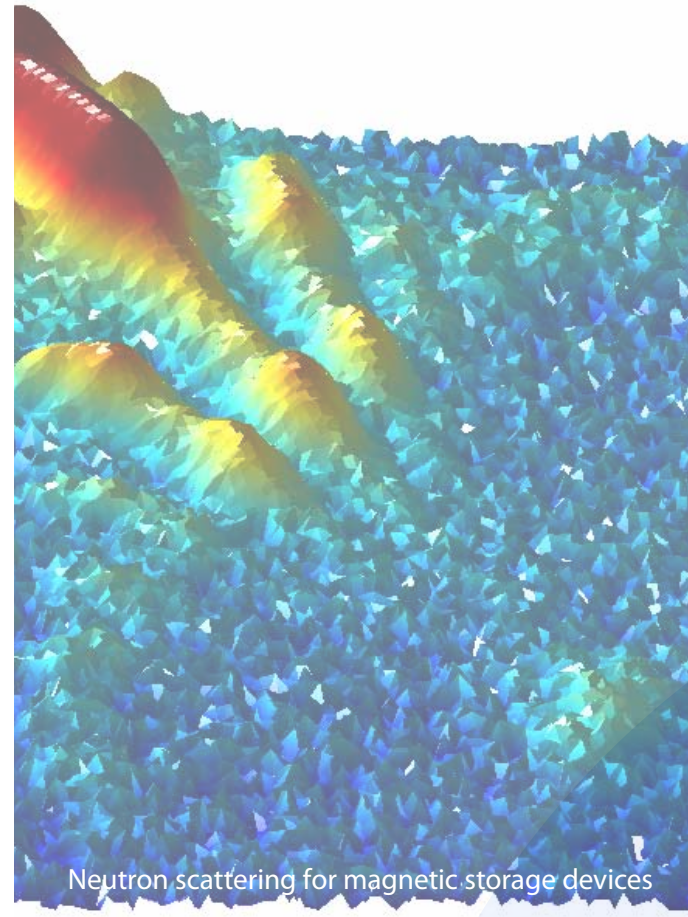
Radiography and tomography

Their high penetration property in combination with an extraordinary sensitivity to particular chemical elements or isotopes ensures the role of neutrons in tomographic or radiographic studies. An impressive example is the non-destructive imaging of materials that contain light elements such as hydrogen, lithium or boron within the interior of metallic objects. Entire assemblies such as car engines

Informationstechnologie

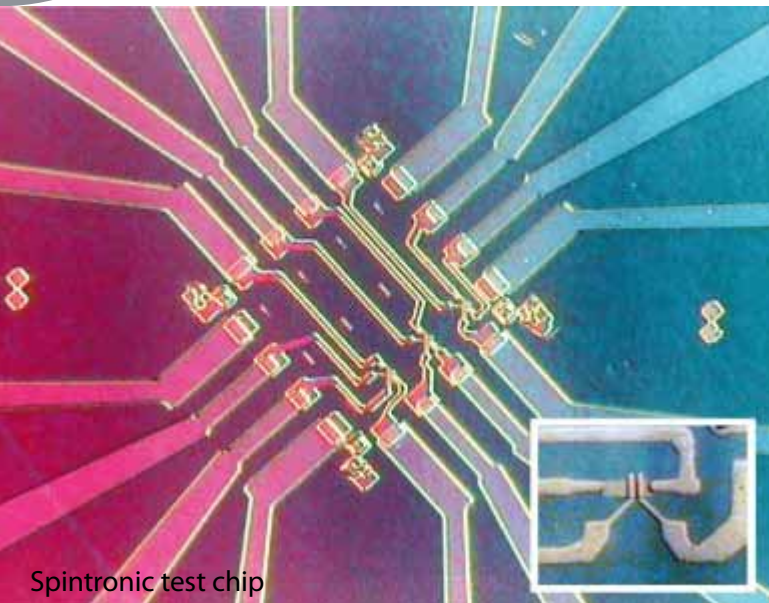
Magnetismus und Nanotechnologie

Moderne Industriegesellschaften sind wissensbasiert und undenkbar ohne moderne Technologien zur Informationsspeicherung, zum Informationsaustausch und zur Informationsverarbeitung. Zukunftstechnologien erfordern kontinuierliche Miniaturisierung von integrierten Schaltungen, wobei der begrenzende Faktor in der Wärmeentwicklung durch Ohm'sche Verluste liegt. Verschiedene Wege zur Effizienzsteigerung für die Informationstechnologie der Zukunft werden gegenwärtig in der anwendungsorientierten Grundlagenforschung beschritten. Ein vielversprechender Weg ist das Gebiet der Spintronik, welches durch die bahnbrechenden Entdeckungen von Albert Fert (Paris) und Peter Grünberg (Jülich) begründet wurde. Ihre Entdeckung des Riesenmagneto-Widerstandseffekts war die erste Anwendung der Nanotechnologie im Bereich des Magnetismus. Sie hat über die Anwendung des Effekts in Festplatten und in der Magnetosensorik eine große ökonomische Bedeutung erlangt. Diese Entdeckung wurde 2007 mit dem Physik-Nobelpreis ausgezeichnet.



Spintronik

Spintronik bezeichnet Informationsspeicherung, -transport und -verarbeitung unter Nutzung des Spinfreiheitsgrades des Elektrons, zusätzlich zu seiner Ladung. Spintronische Bauelemente basieren auf dem Einsatz von ferromagnetischen Schichten, die durch andere Materialien (nicht-magnetische Metalle, Halbleiter, Oxide) getrennt sind. Neutronenstreuung spielt bei der Charakterisierung nanomagnetischer Hybridstrukturen eine überragende Rolle, denn mit ihr lassen sich magnetische Domänen und Ummagnetisierungsprozesse in vergrabenen Schichten präzise untersuchen, die für komplementäre elektronengestützte Methoden nicht mehr zugänglich sind. Die Methode der Neutronenreflektivität hat sich hervorragend bewährt, um Schichtstrukturen und Magnetisierungsprofile zu bestimmen. Aus diesem Grund werden neben Neutronenkleinwinkel-Spektrometern immer mehr Neutronenreflektometer an Reaktoren installiert, die magnetische Momente von Monolagen und Magnetisierungsverteilungen in magnetischen Teilchen von wenigen Nanometern Durchmesser ermitteln können.



Information technology

Magnetism and nanotechnology

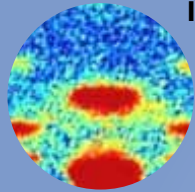
Present-day industrialised societies are based on knowledge and are inconceivable without modern technologies for the storage, exchange and processing of information. Advanced technologies require ever greater miniaturisation of integrated circuits, where the limiting factor is the heat development due to Ohmic losses. Different ways of increasing the efficiency of future information technologies are currently being considered in application-oriented basic research. A highly promising direction is the field of spintronics, which is based on the pioneering discoveries of Albert Fert (Paris) and Peter Grünberg (Jülich). Their discovery of the giant magneto-resistance effect (GMR) was the first application of nanotechnology in the field of magnetism. The use of this effect in hard disk technology and magnetic sensors in various environments is of great economic significance. The GMR effect was awarded the Nobel Prize for Physics in 2007.

Spintronics

Spintronics encompasses information storage, transport, and processing by using the spin degree of freedom of electrons, in addition to their charge. Spintronic components consist of ferromagnetic films which are separated by other materials (non-magnetic metals, semiconductors, oxides). Neutron scattering plays a crucial role in characterising nanomagnetic hybrid structures, as this allows magnetic domains and magnetisation reversal mechanism that are buried in layers below the surface and which are no longer accessible to complementary methods such as electron microscopy to be precisely investigated. Neutron reflectivity has proved to be an outstanding probe for the analysis of magnetic heterostructures and magnetization profiles. For this reason, in addition to small angle neutron spectrometers, ever more neutron reflectometers which can determine the magnetic moments in monolayers and magnetization distributions in magnetic nanoparticles of only a few nanometers in diameter are being installed at research reactors.



Magnetismus



Innere Magnetfelder

Aufgrund ihres magnetischen Dipolmoments sind Neutronen für innere Magnetfelder in kondensierter Materie empfindlich. Sie erlauben es nicht nur, die Anordnung statischer magnetischer

Momente im Festkörper oder Molekülen zu bestimmen, sondern auch die magnetischen Anregungen und Fluktuationen, die Auskunft geben über die quantenmechanischen magnetischen Wechselwirkungen. Neutronenstreuung ist die Methode der Wahl - ja oft sogar die einzige Methode - um mikroskopisch atomare Information über den Magnetismus zu erhalten und quantitativ mit *ab-initio* Rechnungen vergleichen zu können. Beispiel für neue Materialien und Materialsysteme sind:

Neue Phänomene

Hochkorrelierte Elektronensysteme, die unerwartete Phänomene und Funktionalitäten zeigen (z. B. Hochtemperatursupraleitung, kolossaler Magnetowiderstandseffekt, multiferroische Ordnungen), die sich nicht mit dem „Standardmodell“ der Festkörperphysik erklären lassen. Neutronenstreuung zeichnet sich in der Vielfalt der Untersuchungsmethoden darin aus, dass sie direkt Paarkorrelationen im Festkörper misst und zwar auf allen relevanten Längen- und Zeitskalen.

Einzigartige Einblicke

Nanomagnetismus, bei dem die Eigenschaften wesentlich durch die Atome an der Oberfläche oder an Grenzflächen bestimmt werden und die daher neuartige Phänomene und Funktionalitäten aufweisen (Beispiel erhöhte Anisotropie in Nanoteilchen oder der Riesenmagnetowiderstandseffekt in Schichtsystemen). Neutronen ermöglichen einzigartige Einblicke in diese Systeme

- etwa durch tiefenaufgelöste Vektormagnetometrie, polarisierte Diffraktion zur Bestimmung der Spindichteverteilung in molekularen Magneten, inelastische Streuung zur Vermessung der relevanten Anregungen etc. - Informationen, die so mit keiner anderen Methode erzielt werden können. Magnetismus kann auch räumlich abgebildet werden: Tomographie mit polarisierten Neutronen erlaubt die 3D-Abbildung freier Magnetfelder sowie interner Felder von magnetischen Materialien. Sogar magnetische Domänen können neuerdings in 3D mittels Phasengitter-Tomographie im Inneren von Magneten sichtbar gemacht werden.

Nanostruktur und elektronische Korrelation

Nanostrukturierte Systeme aus Materialien mit starken elektronischen Korrelationen, wo sich die beiden

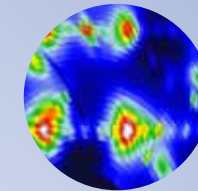
größten Herausforderungen der modernen Festkörperphysik treffen: Grenzflächenphänomene und elektronische Korrelationen. Beispiele für ungewöhnliche Grenzflächenphänomene, die mit Neutronenstreuung untersucht wurden, sind ferromagnetische Grenzflächen zwischen zwei Antiferromagneten oder supraleitende Grenzschichten, die sich zwischen zwei Isolatoren ausbilden.

Magnetism

Internal magnetic fields

Neutrons are particularly sensitive to internal magnetic fields in condensed matter since they possess a magnetic moment. They allow us to determine not only the

structural arrangement of static magnetic moments in solids or molecules, but also the magnetic excitations and fluctuations that provide information about quantum mechanical magnetic interactions. Neutron scattering is the method of choice – quite frequently even the only method – by which to obtain microscopic information on the atomic scale about magnetic phenomena which can be compared quantitatively with predictions of *ab-initio* calculations. Some examples of novel materials and material systems currently being intensively investigated are:



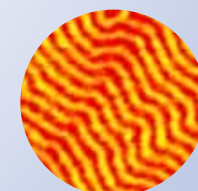
New phenomena

Highly correlated electron systems that exhibit unexpected phenomena and functionalities (such as high-temperature superconductivity, colossal magnetoresistance effects or multiferroic ordering)

which cannot be explained using the “standard-model” of solid state physics. Among the variety of different experimental methods, neutron scattering is uniquely characterised by the fact that it allows the determination of pair correlations in solids at all relevant lengths and time-scales.

Unique insight

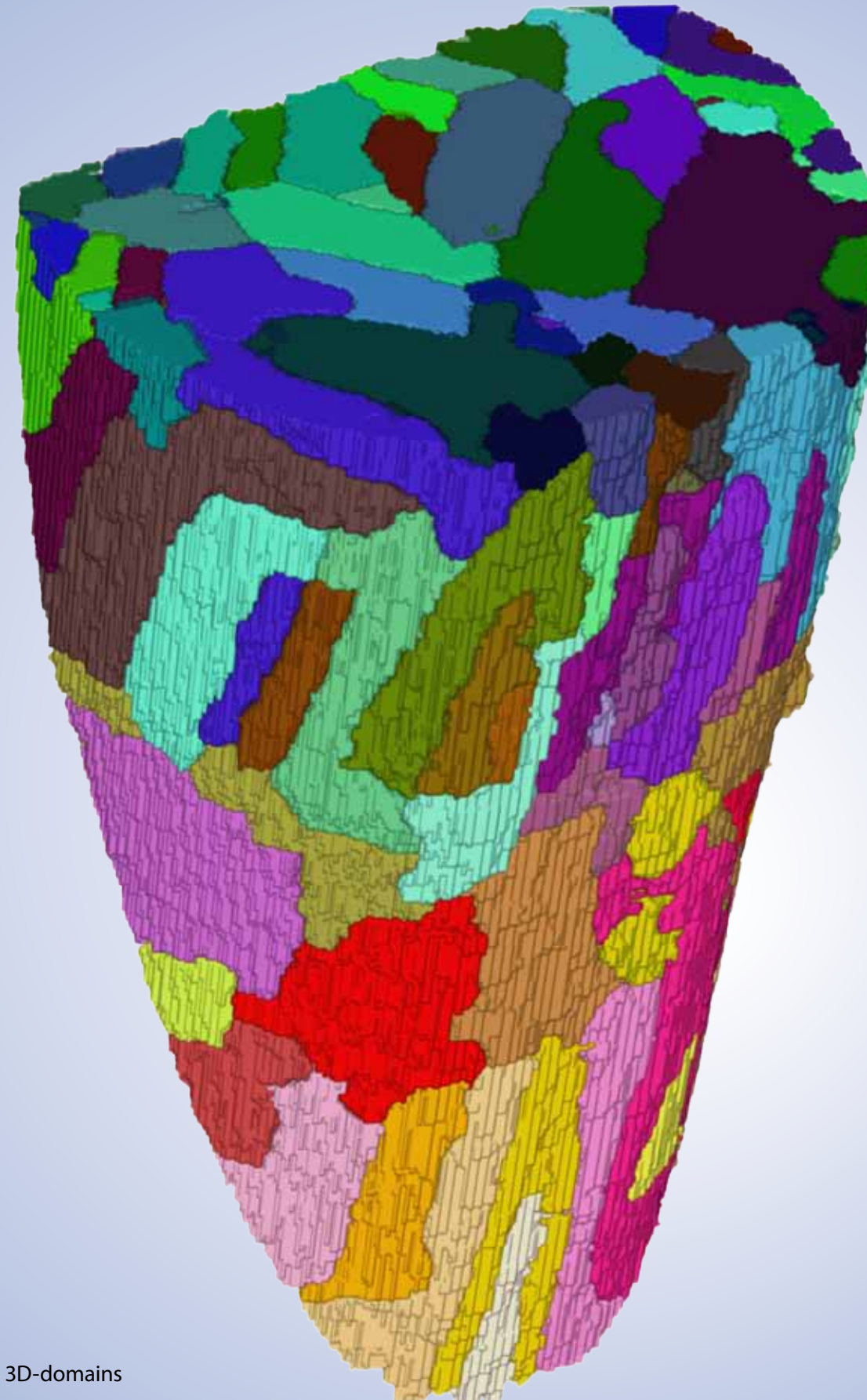
Nanomagnetism with properties that are essentially determined by atoms at surfaces or interfaces leads to novel phenomena and functionalities (such as enhanced anisotropy of nanoparticles or the giant magnetoresistance effect in layered systems). Neutrons provide unique insight into these systems by depth-resolved vector magnetometry and polarised diffraction for the determination of the spin density distribution in molecular magnets or by inelastic scattering for the measurement of relevant excitations – information that cannot be obtained by any other method. Magnetism can also be spatially mapped: tomography using polarised neutrons allows the 3D imaging of free magnetic fields as well as of internal fields in magnetic materials. It has recently even become possible to visualize magnetic domains in the interior of magnets in three dimensions using phase contrast tomography.



Nano-structured systems

Nano-structured systems of materials with strong electronic correlations – a field where the two major challenges of modern solid state physics meet:

interfacial phenomena and electronic correlations. Examples of unusual interfacial phenomena that have been investigated using neutron scattering methods are ferromagnetic interfaces between two anti-ferromagnets or superconducting interfaces that form between two insulators.



3D-domains

Struktur und Aufbau der Materie

Von den Grundlagen zur Anwendung

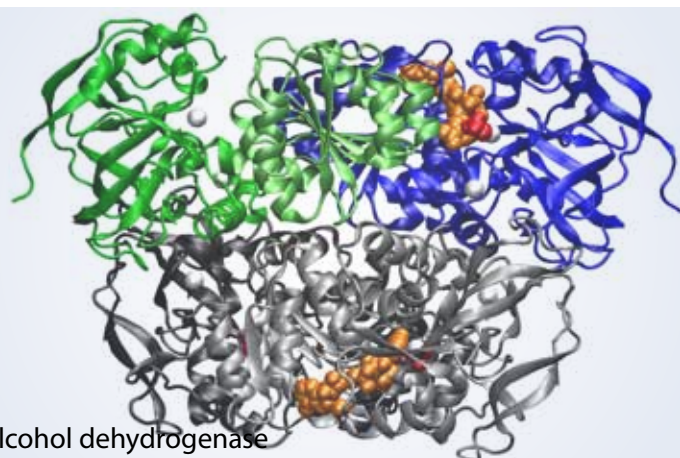
Die wirklich großen technologischen Entwicklungssprünge resultieren nicht aus anwendungsbezogener Entwicklung, sondern aus zweckfreier, aber anwendungsoffener Grundlagenforschung. Ein Beispiel ist die Entdeckung des Lasers im Jahre 1960, resultierend aus der Vorhersage der stimulierten Emission (Einstein, 1916). Inzwischen hat der Laser ein breites Anwendungsspektrum, von Materialbearbeitung, über Medizintechnik und Messtechnik bis zum massenhaften Einsatz in CD-Spielern. Ein jüngeres Beispiel ist die Entdeckung des Riesenmagnetowiderstandseffekts durch Fert und Grünberg im Jahre 1988, resultierend aus der Grundlagenforschung im Bereich des Nanomagnetismus. Die Anwendung in Leseköpfen von Computer-Festplatten stellte die erste kommerzielle Nutzung der Nanotechnologie im Magnetismus dar, mit Umsätzen im zweistelligen Milliarden Dollar Bereich.

Materie verstehen

In der Erforschung des Aufbaus kondensierter Materie tragen Neutronen Wesentliches zu einem grundsätzlichen Verständnis auf atomarer Skala bei. Diese Untersuchungen betreffen die vielen Dinge, mit denen wir täglich in Berührung kommen und die hochkomplexen Phänomene, die aus dem Zusammenspiel der Teilkomponenten resultieren.

Lebenswissenschaften

Am deutlichsten zeigt sich die hiermit verbundene Herausforderung wohl in den Lebenswissenschaften. Nach Aufklärung der atomaren Struktur von Proteinen steht ein Verständnis der molekularen biologischen Prozesse an. Neutronen als Sonden besitzen ein enormes

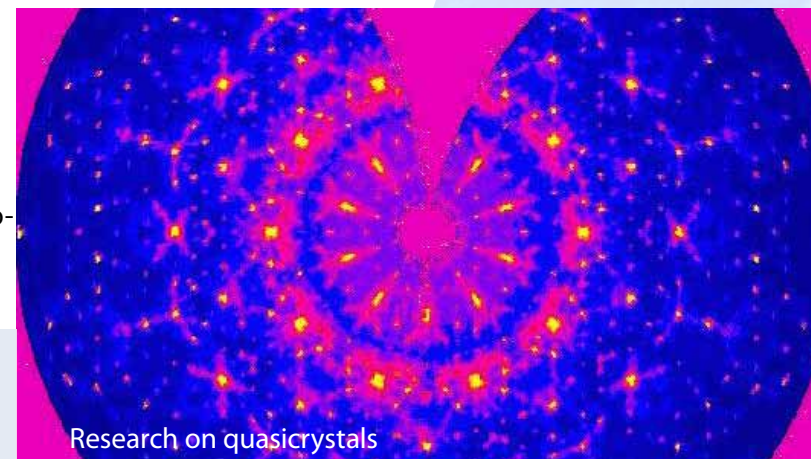


Potential, solche dynamischen Vorgänge aufzuklären, insbesondere wenn Quellen der nächsten Generation

zur Verfügung stehen. Die Physik als Basiswissenschaft nähert sich der Biologie über die Untersuchung von Weicher Materie, die in mehrkomponentigen Systemen komplexe Selbstorganisation zeigt. Vorgänge auf mikro- bis mesoskopischer Längenskala in derart komplexen Systemen lassen sich hervorragend mit Neutronenstreuung aufklären, erlaubt sie es doch, durch gezielte Deuterierung und mehrdimensionale Kontrastvariation einzelne Bausteine selektiv abzubilden.

Komplexität

Komplexität ist auch die große Herausforderung der modernen Festkörperchemie und -physik. Mit der Empfindlichkeit für Wasserstoff oder für molekulare Schwingungen liefern Neutronen einzigartige Beiträge, z. B. für die supramolekulare Chemie oder die Katalyse. Faszinierende makroskopische Quantenphänomene, wie die Hochtemperatursupraleitung oder der kolossale Magnetowiderstand, treten in komplexen Übergangsmetalloxiden mit hohen elektronischen Korrelationen auf. Das empfindliche Wechselspiel zwischen den Spin-, Ladungs-, Orbital- und Gitterfreiheitsgraden führt zur Selbstorganisation auf einer Nanometerskala. Damit versprechen solche Verbindungen mit komplexen Kristallstrukturen noch viele überraschende Entdeckungen und neuartige Anwendungen, etwa in der Sensorik oder Magnetoelektronik. Neutronen-Untersuchungen erlauben es, die Ordnung und Anregungen der relevanten Freiheitsgrade empfindlich nachzuweisen, und führen damit zu einem grundlegenden Verständnis der zugrundeliegenden mikroskopischen Mechanismen.



Research on quasicrystals

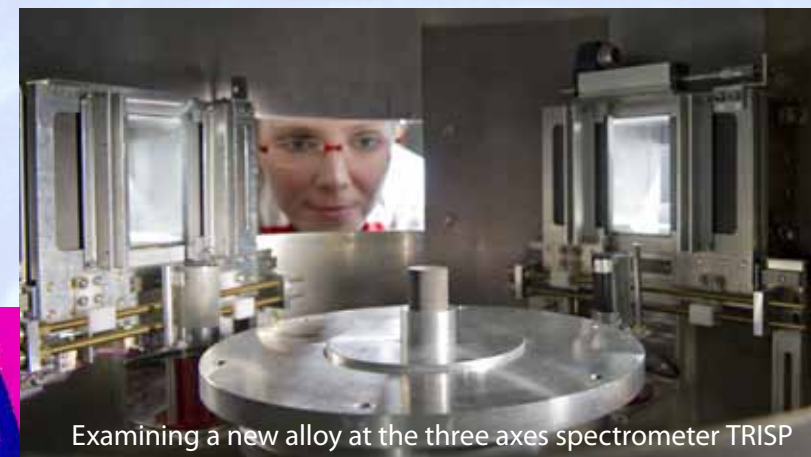
Geologische Skala

Neutronen als Sonden in der Nanowelt eignen sich jedoch nicht nur für Untersuchungen auf kleinster Skala (pm bis μm) und auf kürzesten Zeiten (ps bis μs). In der Geologie gestatten Texturuntersuchungen mit Neutronen - verbunden mit entsprechender Modellierung - Aussagen über geodynamische Vorgänge, die über Millionen von Jahren und Kilometer von Tiefenbewegungen verlaufen.

Structure and dynamics of matter

From the basics to applications

Truly great technological advances do not emanate from applied scientific investigations but from pure, fundamental research that nevertheless holds the potential for future practical application. An example is the discovery in 1960 of the laser, based on the prediction of stimulated emission by Einstein in 1916. In the meantime, laser technology has formed the basis of a broad spectrum of applications, ranging from the processing of materials and medical and measuring technology to its prodigious use in CD-players. A more recent example is the discovery of the giant magneto-resistance effect by Fert and Grünberg in 1988, which resulted from fundamental research in the field of nano-magnetism. Its use in pick-up devices of computer hard-discs was the first commercial application of magnetic nanotechnology, with a turnover in the range of tens of billions of dollars.



Examining a new alloy at the three axes spectrometer TRISP

Understanding matter

In research into the structure of condensed matter, neutrons make a considerable contribution to a basic understanding at an atomic scale. These studies affect many things associated with our daily life and the highly complex phenomena that result from the interplay of the various individual components.

Life sciences

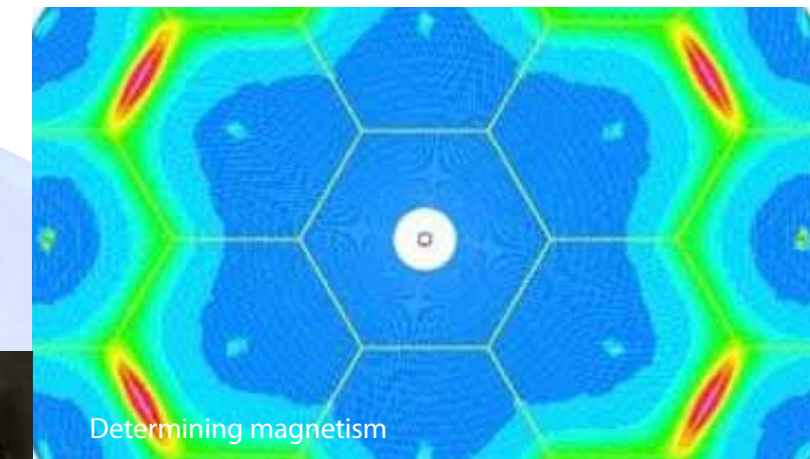
The challenge of this type of research is most clearly to be seen in the field of life sciences. Following the explanation of the atomic structure of proteins, the next step is the exploration of biological processes at molecular level. Neutrons, as probes, possess enormous potential in explaining dynamical processes, in particular when the next generation of sources becomes available.

Physics, as a fundamental discipline, has greater affinity with biology when it comes to investigating soft matter

which manifests complex self-organisation in multi-component systems. Processes in the range of microscopic to mesoscopic length scales in such complex systems can be very effectively explained using neutron scattering since targeted deuteration and multidimensional contrast variation allows the selective mapping of individual building blocks.

Complexity

Complexity is also the major challenge of modern solid state chemistry and physics. Due to their sensitivity to hydrogen or molecular vibrations, neutrons make a unique contribution to e.g. supramolecular chem-



Determining magnetism

istry or catalysis. Fascinating macroscopic quantum phenomena such as high-temperature superconductivity or colossal magneto-resistance are observed in complex transition metal oxides with strong electronic correlations. The delicate interplay between spin, charge, orbital and lattice, degrees of freedom leads to self-organisation effects at nanometer scales. Such compounds having complex crystal structures hold the promise of many surprising new discoveries and novel applications in sensor systems or magneto-electronic devices. Investigations using neutrons allow detailed characterisation of the ordering and excitations of the relevant degrees of freedom and thereby lead to a fundamental understanding of the basic microscopic mechanisms.

Geological scale

As probes in the nano-world, neutrons are well-suited to investigations at the smallest length scales (pm to μm) and shortest time-scales (ps to μs). In geology, studies of texture using neutrons – combined with the relevant model calculations – can give insight into geodynamical processes extending over millions of years and movement at kilometres in depth.

Industrielle Nutzung



Siliziumdotierung

Neutronen spielen bei der Herstellung homogen dotierten Siliziums – eines Grundstoffs für elektronische Bausteine – eine wichtige Rolle. Dazu werden Blöcke von einkristallinem Silizium in Reaktoren mit Neutronen bestrahlt, wobei über eine Kernreaktion etwa eines von 1 Million Siliziumatomen in ein Phosphoratom umgewandelt wird. Die große industrielle Bedeutung dieser als Transmutationsdotierung bezeichneten Methode ist in der exzellenten Homogenität begründet, die damit erreicht wird. So werden wesentlich höhere Leistungsdichten bei Transistoren und Thyristoren, wie sie zum Beispiel in der Bahntechnik eingesetzt werden, möglich.

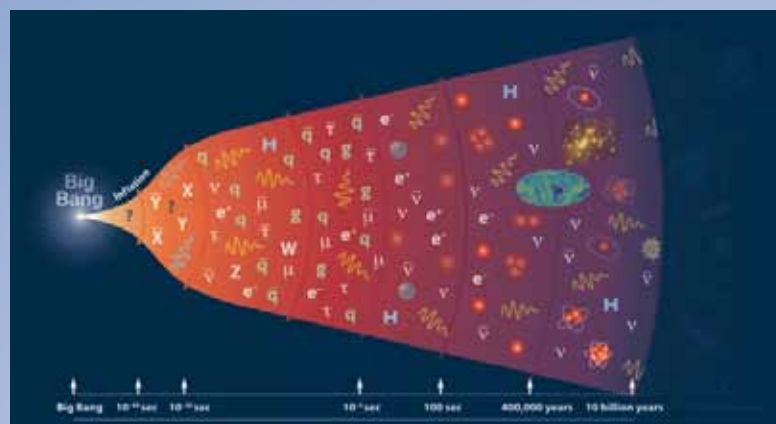
Isotopenproduktion

Neutronen werden zur Produktion von Radionukliden über Kernreaktionen genutzt. Beispiele wichtiger durch Bestrahlung mit Neutronen hergestellter Isotope sind:

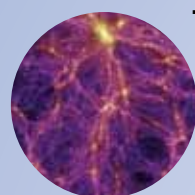
- ^{177}Lu zur Krebstherapie
- ^{32}P und ^{188}Re zur Stenosetherapie
- ^{60}Co für Industriekunden als Gammastrahlungsquelle
- ^{79}Kr als gasförmiges Tracermaterial
- ^{99}Tc (^{99}Mo) für die medizinische Diagnostik



Lutetium-177 for the treatment of cancer



Die grundlegenden Wechselwirkungen



Teilchenphysik

Mit Hilfe von Neutronen ist es möglich, einigen grundlegenden Fragen der Teilchenphysik nachzugehen. Dies fängt an mit der Präzisionsmessung der Stärke der elementaren Wechselwirkungen. Tatsächlich stammen die genauesten Werte für einige dieser „Kopplungskonstanten“ aus der Neutronenphysik und sind auch für andere Wissenschaftsgebiete sehr wichtig.

Konstanten

Beispiele sind die Kopplungskonstanten g_A und g_V der schwachen Wechselwirkung; die Kopplungskonstante der elektromagnetischen WW, die Feinstrukturkonstante α aus $\hbar/m_n$; die Neutron-Proton Bindungsstärke der starken Wechselwirkung, und andere.



Symmetrien

Es geht weiter mit der Frage nach den Symmetrien in den Gesetzen der Natur und deren Brechung. Beispiele für solche „spontanen Symmetriebrechungen“ sind:

- Warum bevorzugen grundlegende Wechselwirkungen links vor rechts („Paritätsverletzung“)?
- Woher kommt die merkwürdige Unsymmetrie, wenn man die zeitliche Abfolge eines elementaren Prozesses in umgekehrter Reihenfolge ablaufen lässt („Zeitumkehrverletzung“)?
- Können sich Teilchen spontan in ihre eigenen Antiteilchen verwandeln, wie von einigen Theorien der Elementarteilchenphysik vorausgesagt? („Baryonenzahlverletzung“).
- Wie genau gilt Einsteins Gesetz $E = mc^2$, welches jüngst in Neutronenexperimenten mit unübertroffener Genauigkeit geprüft wurde?

Dies sind nur einige der gegenwärtig mit Neutronen untersuchten Fragen zur Physik der Teilchen und ihrer elementaren Wechselwirkungen.

Industrial use

Silicon doping

Neutrons play an important role in the production of homogeneously doped silicon – an important raw material for electronic components. Here, blocks of monocrystalline silicon are irradiated with neutrons in nuclear reactors whereby, during the course of a nuclear reaction, about one in a million silicon atoms is converted into a phosphorous atom. The important industrial implication of this method known as transmutation doping stems from the excellent homogeneity that can be achieved. Thus, considerably higher power densities are possible in transistors and thyristors as used, for example, in railway technology.



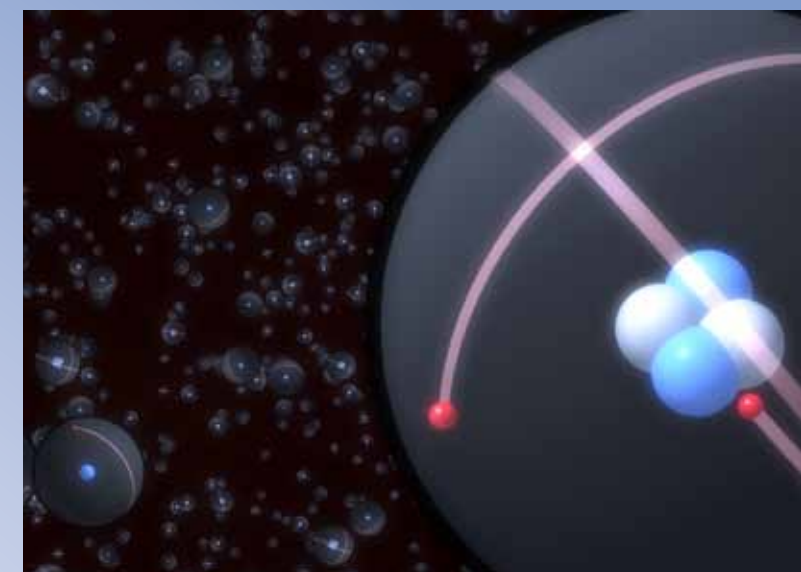
Isotope production

Neutrons are used to produce radionuclides for medical or material science applications using nuclear reactions. Some important examples of isotopes that are generated by irradiation with neutrons are:

- ^{177}Lu in cancer therapy
- ^{32}P and ^{188}Re in the treatment of spinal stenosis
- ^{99}Tc (^{99}Mo) for medical diagnosis
- ^{79}Kr as a gaseous tracer material
- ^{60}Co and ^{192}Ir for industrial users as a source of gamma rays for material testing



Silicon doping at FRM II



Fundamental interactions

Particle physics

Some of the fundamental questions in particle physics can be tackled with the aid of neutrons. This begins with the precise determination of the strength of fundamental interactions. In fact, the most accurate values for some of these coupling constants stem from neutron experiments and are also very important in other scientific disciplines.



Constants

Examples include the coupling constants g_A and g_V of the weak interactions, the coupling constant for electromagnetic interactions, the fine structure constant α as obtained from $\hbar/m_n$, the neutron-proton binding energy of the strong nuclear force, etc.

Symmetries

Moreover, the symmetry of physical laws and its violation is still an unsolved problem. Some open questions of spontaneous symmetry breaking phenomena are:

- Why do fundamental interactions prefer left- to right-handedness (parity violation)?
- What is the reason for the strange asymmetry that occurs if the sequence of elementary processes is reversed (time-reversal violation)?
- Are particles able to transform spontaneously into their own anti-particles, as predicted by some theories (non-conservation of baryon number)?
- How accurate is Einstein's law $E = mc^2$, which was recently checked with unsurpassed precision in neutron experiments?

These are only a few of the questions that arise in the physics of particles and their fundamental interactions and are currently being investigated using neutrons.

Ursprung des Universums

Das frühe Universum

Teilchenphysik und Kosmologie stehen in engem Zusammenhang, da jeder Epoche des frühen Universums nach dem Urknall ein bestimmter hoher Energiezustand der Elementarteilchen entspricht. Daher sind auch viele der im Abschnitt „Die grundlegenden Wechselwirkungen“ genannten Ergebnisse der Neutronenphysik wichtig für das Verständnis des frühen Universums. Eine der hier verfolgten Fragen ist: Wie sind die Elementarteilchen aus dem Nichts entstanden („Baryogenese“)?

Urknall-Modell

Im Urknall-Modell sollte sich dies aus den bekannten Gesetzen der Physik herleiten lassen. Dies gelingt aber nur, wenn man einige ungewöhnliche Annahmen macht („Sakharov Kriterien“), was sich am besten über ein unerwartetes exotisches Verhalten des Neutrons in elektrischen Feldern überprüfen lässt („elektrisches Dipolmoment des Neutrons“), nach dem von verschiedenen internationalen Forschergruppen intensiv gesucht wird. Viele der im Abschnitt „Die grundlegenden Wechselwirkungen“ genannten Symmetriebrechungen der Natur lassen sich auf Prozesse im frühesten Universum zurückführen, in denen sich der Aggregatzustand des Vakuums spontan ändert, woraus sich konkrete, z.B. im Zerfall des freien Neutrons zu prüfende Voraussagen ergeben („rechtshändige Ströme“).

Weitere Dimensionen

Untersucht wird auch die Frage, ob das All weitere räumliche Dimensionen hat, wie von den meisten modernen Theorien verlangt. Dadurch würde das Newtonsche Gravitationsgesetz bei kleinsten Abständen verletzt, was sich besonders empfindlich mit „ultrakalten“ Neutronen studieren lässt. Schließlich ist die Entstehung der chemischen Elemente während des Urknalls (leichte Elemente) und später in nuklearen Sternprozessen (schwere Elemente) aufs Engste mit der Physik der Neutronen verknüpft, und der Bedarf an entsprechenden Neutronendaten wächst mit den fortschreitenden Erkenntnissen der Astrophysik.

The origin of the universe

The early universe

Particle physics and cosmology are closely related since each epoch of the early universe following the big bang corresponds to a particular high energy state of fundamental particles. Consequently, many of the results of neutron science mentioned in the paragraph about “fundamental interactions” are important for an understanding of the early universe. One of the question pursued here is: How were fundamental particles created from the void (baryogenesis)?

Big bang model

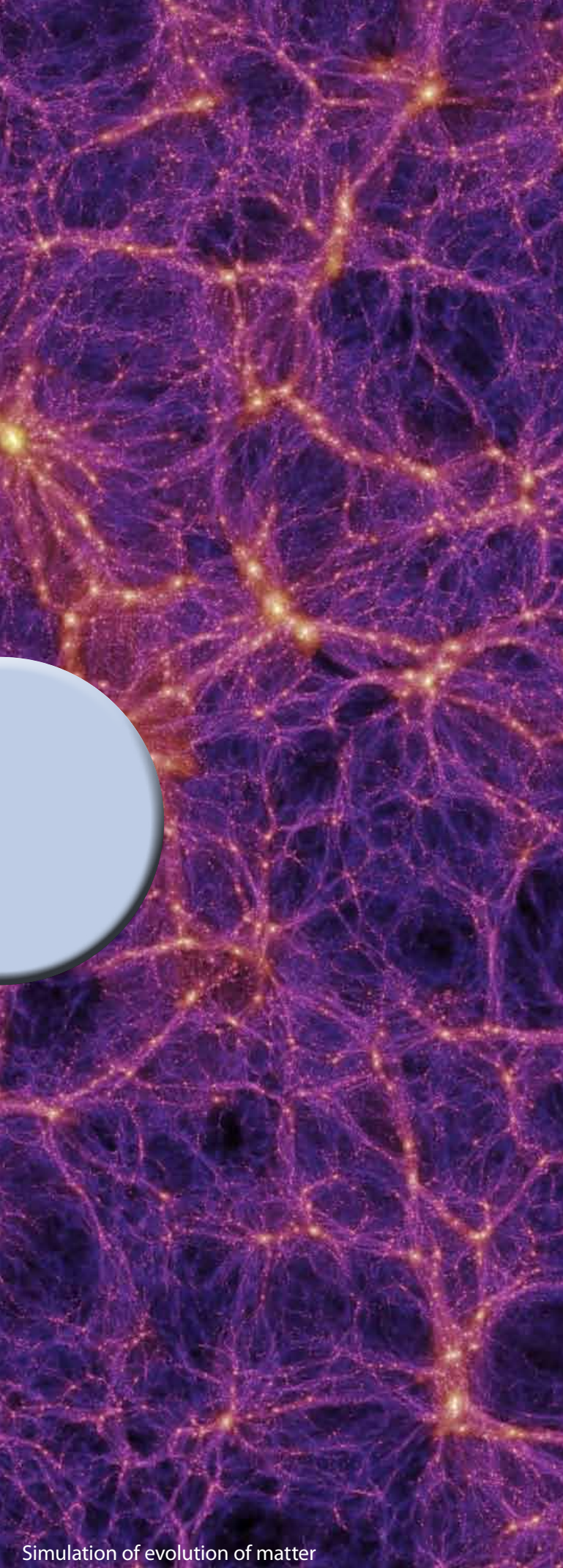
According to the big bang model, it should be possible to deduce this from the well-known laws of physics. However, this approach only succeeds if some unusual assumptions are made, the so-called “Sakharov criteria”, which could best be verified through unexpected and exotic behaviour of neutrons in electric fields (electric dipole moment of neutrons), for which various international research groups are intensively searching. Many of the symmetry breaking phenomena in nature mentioned in the paragraph about “basic interactions” can be traced back to processes in the early universe associated with a spontaneous change in the state of aggregation of the vacuum, which leads to specific predictions such as right-handed currents that can be verified by the investigation of the decay of free neutrons.

Other dimensions

Another question being looked at is whether the universe contains further spatial dimensions, as most modern theories require. This would imply that Newton’s law of gravitation is violated at small distances, a phenomenon that can be studied most effectively using ultracold neutrons. Finally, the origin of chemical elements during the big bang (light elements) and later during nuclear processes within stars (heavy elements) is intimately related to the physics of neutrons, and the demand for corresponding neutron data increases with the advances in knowledge in astrophysics.

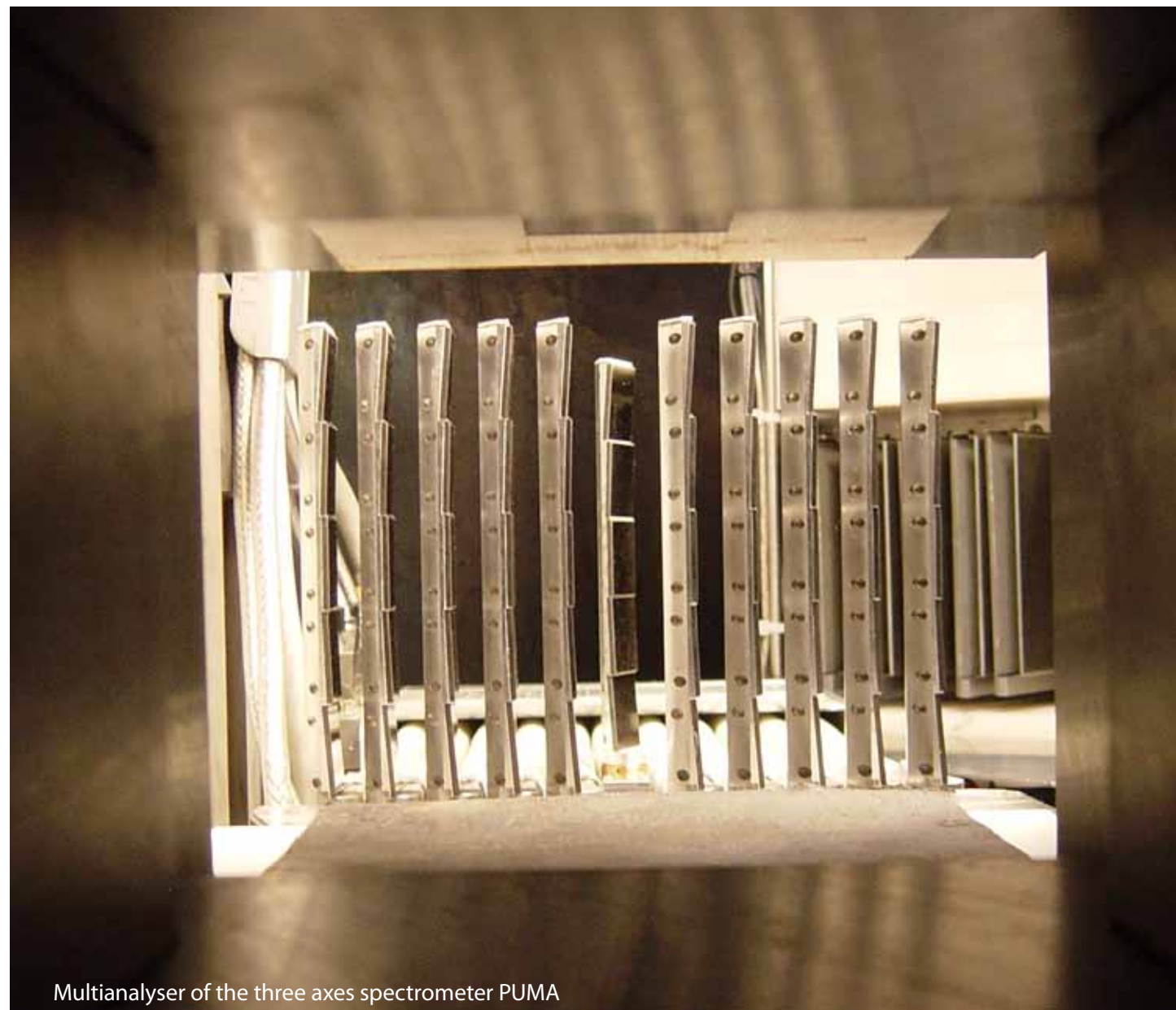


Xenon dipole experiment



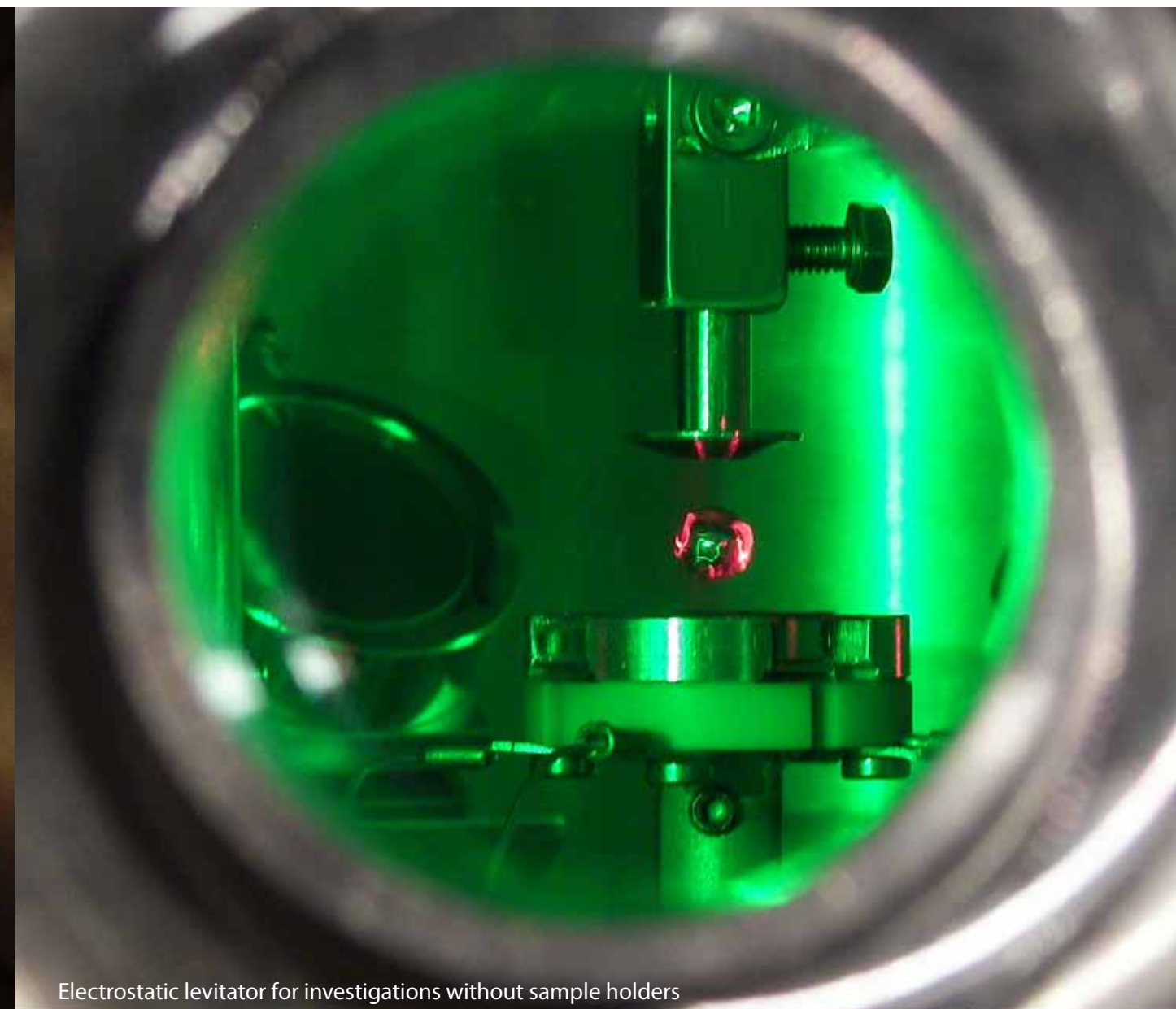
Simulation of evolution of matter

Innovative Neutronen-Techniken



Multianalyser of the three axes spectrometer PUMA

Innovative Neutron Techniques



Electrostatic levitator for investigations without sample holders



Watching the analysers at the backscattering spectrometer SPHERES

Komponenten

Neue Horizonte

Das Potential der Forschung mit Neutronen ist riesig und wird nur durch die vorhandenen Neutronenflüsse begrenzt. Forschungsreaktoren haben die praktisch realisierbare Grenze der Leistungsdichte erreicht, so dass bei den Quellen nur die nächste Generation von gepulsten MW-Spallationsquellen Abhilfe schaffen kann. Umso mehr sind Neutronenforscher extrem findig und kreativ, wenn es um Methodenentwicklung und Instrumentierung geht. Innovationen der Messtechnik erlauben es, zu neuen Horisonen vorzustoßen. Hierbei nehmen gerade die deutschen Neutronenstreuer eine Vorreiterrolle ein, z. B. bei den folgenden aktuellen Entwicklungen:

Innovative Entwicklungen

- Die Phasenraumtransformation mit bewegten Kristallen erhöht die Strahlbrillanz.
- Schnell drehende Chopper mit Magnetlagern und Kohlefaserscheiben können z.B. für das Strahlmultiplexing verwendet werden, welches bei einer Langpulsquelle wie der ESS Intensitätsgewinne bis zu einer Größenordnung erwarten lässt.
- Fokussierende Elemente, wie Toroidspiegel oder gekühlte MgF_2 -Linsen, werden erfolgreich zur Erhöhung der Intensität und der Auflösung an Kleinwinkelanlagen eingesetzt.

- Elliptische fokussierende Leiter erlauben es, den Fluss an der Probe um erhebliche Faktoren zu erhöhen, bei gleichzeitiger Anpassung der Divergenzverteilung.
- „Larmor-Markierung“ unter Ausnutzung der Spinpräzession der Neutronen in Magnetfeldern ermöglichen eine Auflösungsverbesserung um mehrere Größenordnungen bei Beibehaltung der Intensität.
- 3He -Filterzellen in Kombination mit großflächigen Detektorbänken erlauben die simultane Polarisationsanalyse über einen großen Raumwinkelbereich.
- Bei polarisierenden Superspiegeln werden inzwischen Polarisationsgrade von über 98 % erreicht.
- Bragg-Monochromatoren aus Graphit-Interkalationsverbindungen erlauben es, wesentlich größere Wellenlängen von kalten Neutronen herauszufiltern als es bisher möglich war.

Probenumgebungen

- Auch bei der Entwicklung von Probenumgebungen für extreme Drücke, Temperaturen und Magnetfelder sowie für zeitlich veränderliche Bedingungen nimmt die deutsche Neutronengemeinde von jeher eine Führungsrolle ein. Dadurch lassen sich auch exotische Zustände der Materie im Detail untersuchen.

Simulationen

Alle diese innovativen Komponenten werden - wie die gesamten Instrumente - mit Hilfe von Monte-Carlo-Simulationen ausgelegt und ständig verbessert.

Components

New horizons

The potential of neutron research is wide-ranging and only limited by the availability of neutron flux. Research reactors have reached the practical limit of their power density and, hence, another step forward requires the realisation of the next generation MW-spallation sources. This makes neutron researchers all the more ingenious and creative in developing new methods and instruments. Novel and innovative measuring techniques are the key to advancing towards new horizons and the German neutron community is keen to take a leading role. Some examples are:

Innovative developments

- Phase space transformation with moving crystals increases the brilliance of the neutron beam.
- Fast rotation choppers with magnetic bearings and discs made from carbon fibres may be used for beam multiplexing, holding out the promise of an intensity gain of up to one order of magnitude at a long-pulse source such as the ESS.
- Focussing elements such as toroidal mirrors or cooled MgF_2 lenses are successfully used to increase both intensity and resolution at small angle facilities.
- Elliptical focussing guides make it possible to increase the flux at the sample position by huge gain factors and, simultaneously, adapt the distribution of divergences.

- “Larmor-coding” using the spin-precession of neutrons in magnetic fields leads to an increase in resolution by orders of magnitude without loss of intensity.
- 3He -filter cells in combination with large area detectors provide simultaneous polarisation analysis over a large solid angle.
- Polarising supermirrors nowadays reach polarisation levels of more than 98 %.
- Bragg monochromators made from intercalated graphite can now be used to separate cold neutrons with much larger wavelengths than was hitherto possible.

Sample environment

- The development of sample environments for extreme pressures, temperatures and magnetic fields or for time-variable conditions is a broad field in which the German neutron community has played a leading role for decades, making it possible to investigate even exotic states of matter in detail.

Simulation

All these innovative components – as well as the entire instruments - are being designed and continuously upgraded using Monte-Carlo computer-simulations.



Entry adaptors of a cryomagnet

Datenerfassung und Datenanalyse

Riesige Datenmengen

Mit den hohen Datenraten, die etwa durch moderne Quellen (FRM II, ILL, SNS, in Zukunft ESS), optimierte Strahlführung (elliptische Neutronenleiter) und großflächige Detektorabdeckung erhalten werden, rückt ein anderes Problem in den Vordergrund: die Erfassung und Analyse dieser riesigen Datenmengen. So erreicht ein Hochintensitätsdiffraktometer an einer MW-Spallationsquelle maximale Datenraten von 40 TByte pro Stunde. Diese Daten fallen außerdem im mehrdimensionalen Parameter-Raum an: Einkristall-Flugzeitspektrometer mit ortsauflösenden Detektorbänken zur Messung der Streufunktion $S(\mathbf{Q}, \omega)$ liefern vier-dimensionale Datensätze: Intensität als Funktion der x, y und z-Komponenten des Streuvektors und des Energieübertrages. Bei parametrischen Studien in Abhängigkeit von thermodynamischen Parametern wie Temperatur, Druck, Magnetfeld etc. kommen weitere Dimensionen hinzu. Bei kinetischen Experimenten zur Untersuchung von chemischen Reaktionen oder Umwandlungsprozessen müssen die Daten in Echtzeit analysiert werden, wodurch eine weitere Dimension erschlossen wird.

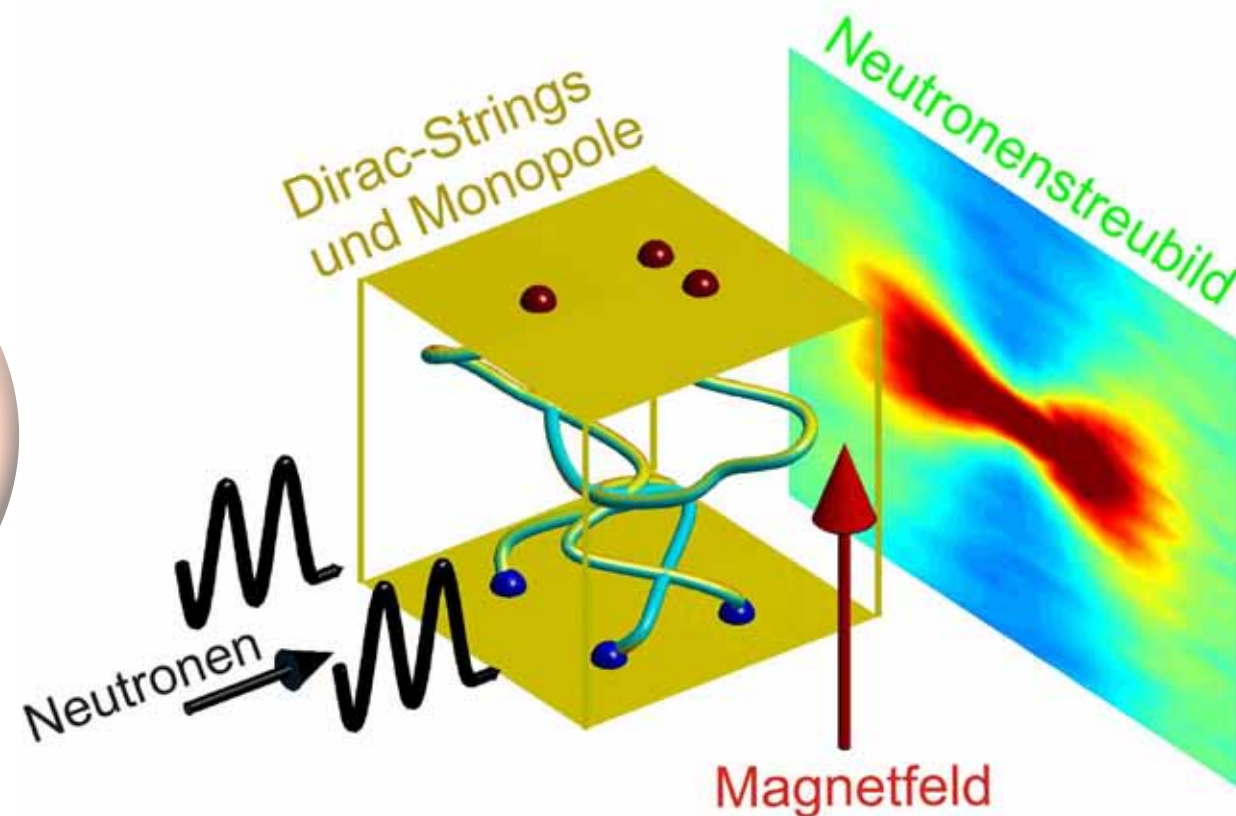
Datenanalyse-Strategie

Aufgrund dieser Problematik haben sich die auf dem Gebiet der Forschung mit Photonen, Neutronen und Ionen arbeitenden Zentren in Deutschland zu einer gemeinsamen Datenanalyse-Strategie verpflichtet, die auf den folgenden Grundsätzen basiert:

- Ein einheitliches Datenformat wird definiert.
- Grundsätze einer Datenzugangspolitik werden formuliert.
- Spezielle Hard- und Software zur schnellen Datenverarbeitung und graphischen Darstellung in Echtzeit während des Experimentes werden entwickelt.
- Einheitliche Programme zur Datenanalyse, Datenmodellierung und -simulation werden erstellt, die es den Nutzern erlauben, eigene Module einzubinden.

Darstellungen im Realraum

Ziel ist es, die Streudaten so aufzuarbeiten, dass letztlich Darstellungen im Realraum von Struktur und Dynamik auf atomaren bis mesoskopischen Längenskalen möglich werden, entsprechend dem Traum aller Wissenschaftler, Bewegungen von Atomen und Spins direkt sichtbar zu machen und quantitative Informationen über die relevanten Wechselwirkungen zu erhalten.



Direct space visualisation

Data acquisition and data reduction

Huge amounts of data

The huge data rates obtained at modern sources (FRM II, ILL, SNS, ESS in the future) using optimised beam optics (elliptical neutron guides), large area detectors etc. pose a new challenge, namely the acquisition and the reduction of these large amounts of data. For example, a high-intensity diffractometer placed at a MW-spallation source, produces data rates of 40 TBytes per second! These data are registered within multidimensional parameter space: single-crystal time-of-flight spectrometers with position sensitive detectors provide four dimensional datasets for the determination of the scattering function $S(\mathbf{Q}, \omega)$, i.e. the scattered intensity as a function of the three components of the scattering vector and the energy transfer. In parametric studies dependent on thermodynamic variables such as temperature, pressure, magnetic field etc., these provide additional dimensions. Kinetic experiments for the investigation of chemical reactions or transformation processes require the data to be analysed in real-time, thereby opening up another dimension.

Common strategy on data analysis

In view of this problem, the research centres in Germany that are engaged in research with photons, neutrons and ion beams have agreed on a common strategy on data analysis based on the following approach:

- Defining a common data format.
- Formulating the basis of a data access policy.
- Developing dedicated hard- and software for fast data treatment and graphical representation in real time to be used during the experiment.
- Providing standardised programs for data analysis, model calculation and simulation that allow users to incorporate their own modules.

Direct visualisation

It is the aim of this initiative to reduce the experimental data in such a way that, ultimately, the representation of structure and dynamics from atomic to mesoscopic length scales becomes feasible and, hence, realises the dream of all scientists to visualise the motions of atoms and spins directly and to obtain quantitative information about their relevant interactions.

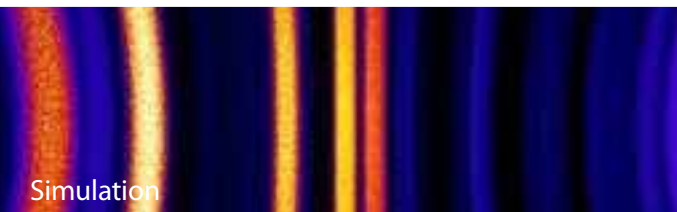


High performance computer at the Leibniz-Rechenzentrum

Hilfestellung für Nutzer – Simulationsmodule

Optimierung von Versuchsaufbauten

Die engagierte Betreuung der Messgäste ist ein wichtiger Aspekt für die effiziente Nutzung der hochentwickelten Instrumente an Neutronenquellen. Neben der persönlichen Beratung durch wissenschaftliches Personal kommt dabei der Bereitstellung und Verwendung von Simulationstechniken eine zunehmende Bedeutung zu. Bereits bei der Auslegung neuer Geräte werden Monte-Carlo Techniken verwendet, um die einzelnen Komponenten zu optimieren. Die Flexibilität moderner Spektrometer erlaubt es, aus einer Vielzahl unterschiedlicher Konfigurationen zu wählen, um ein Experiment auszuführen. Hier helfen Simulationsprogramme, den für ein konkretes Messproblem günstigsten Aufbau zu wählen. Auslösungsprogramme sind dabei seit langem an nahezu allen Instrumenten verfügbar und erlauben es, die geeignete Wellenlänge, Kollimation etc. abzuschätzen. Als neue Entwicklung kommen Programme hinzu, die den Verlauf einer Messreihe graphisch darstellen und dem Nutzer so den komplexen Ablauf bei einer Messung veranschaulichen.



Simulation von Messreihen

Häufig ist es das Zusammenspiel zwischen direktem Raum, in dem das Experiment tatsächlich abläuft, und reziprokem Raum, in dem das Experiment häufig beschrieben wird, das insbesondere neuen Nutzern Probleme bereiten kann. Auf der Grundlage von Modellvorstellungen über das untersuchte System – der Streufunktion – können aber vollständige Messreihen simuliert werden; d.h. es wird modellmäßig berechnet, welche Streuintensitäten, Linienformen etc. zu erwarten sind. Das ist eine enorme Hilfe nicht nur bei der Vorbereitung von Experimenten sondern ebenfalls bei der ersten Bewertung der Resultate und der späteren detaillierten Auswertung.

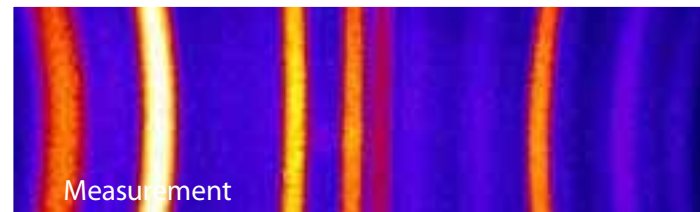
Weiterentwicklung wichtig

Derartige Simulationsprogramme sind an vielen Stellen in der Entwicklung und bieten eine wichtige Unterstützung zur effizienten Nutzung der zur Verfügung stehenden Messzeit. Die Weiterentwicklung von Programmbibliotheken mit besonderem Augenmerk auf die Funktionalität der Module für gepulste Neutronenquellen ist dazu in besonderem Maße wichtig.

Neue Instrumentierungskonzepte

Erfüllung von Nutzerwünschen

Die Instrumentierung des FRM II wie auch die Erneuerungsprogramme am ILL (Millennium programme 0, 1, etc.) fordern zu neuen Instrumentierungskonzepten auf. Diese Konzepte werden auf der einen Seite von den Wünschen der Nutzer angetrieben, auf der anderen Seite durch innovative Entwicklungen in den Bereichen der Detektoren, der Neutronenoptik, und der Probenumgebung. Die Wünsche der Nutzer gehen in Richtung kleinerer Probenvolumina, höherer Zeitauflösung, genauerer Paarkorrelationen sowie größerer dynamischer Bereiche. Die Realisierung dieser Anforderungen würde Messungen bei höheren Drücken und höheren Magnetfeldern ermöglichen, Messungen von schnelleren kinetischen Prozessen und Anregungen über einen weiteren Energiebereich. In allen Bereichen gibt es inzwischen vielversprechende Entwicklungen, die entweder durch Pilotexperimente bereits einen Test erfolgreich bestanden haben, oder Komponenten, die auf Integration in neue Spektrometer warten.



Verwendung neuer Techniken

Mit Hilfe eines Neutronenprismas kann die Neutronenreflexion an Grenzflächen und dünnen Schichten simultan über einen weiten Wellenlängenbereich gemessen werden. Neue CCD – Detektoren für Neutronen verbessern die Ortsauflösung der bisher verwendeten Flächendetektoren um ein Vielfaches. Die Polarisation von Neutronen erreicht Werte über 98 % und die Lebensdauer von ^3He -Spinfiltern für die Spinanalyse über einen weiten Streuwinkelbereich erreicht viele Tage. Durch Phasenraumtransformation werden Neutronen zu gepulsten Quellen mit präziser Energie kompaktiert. Codierung von Neutronen durch Larmorpräzession ermöglicht es, die kontinuierliche Verwendung des gesamten Wellenlängenspektrums um sowohl strukturelle wie dynamische Experimente mit hoher Orts- und Energieauflösung durchzuführen. Die zusätzliche Intensitätsmodulation des Neutronenstrahls (MIEZE) erweitert das Spektrum der Probenysteme, die mit der Larmor-Codierung untersucht werden können, hin zu wasserstoffhaltigen und magnetischen Systemen. Darüber hinaus eröffnet diese neue Methode auch Messungen mit sehr hoher Zeitauflösung im Mikrosekundenbereich und darunter.

Assistance for users - simulation modules

Experimental set-up optimization

The dedicated support given to neutron users is an important aspect of the efficient use of the highly sophisticated instruments at neutron sources. In addition to personal advice from scientific staff, the provision and application of simulation techniques is becoming ever more important. Monte-Carlo techniques are already being used in the set-up of new instruments in order to optimise individual components. The flexibility of modern spectrometers allows one to perform experiments in a variety of different configurations. Here, simulation tools help to select the most convenient set-up for particular measurement problems. Resolution programs have long been available at almost all instruments, allowing the most appropriate wavelength, collimation etc. to be estimated. Recently developed computer programs are now available that illustrate graphically the progress of a series of measurements and allow the user to visualize the complex process during a measurement.

Simulation of test series

Frequently, it is the interplay between direct space where the experiment is actually taking place and reciprocal space where the experiment is usually described that can, in particular, present problems for new users. On the basis of theoretical models describing the system under consideration – i.e. the scattering function – entire scans can be simulated; that is to say, model calculations about the expected scattering intensities, spectral line shapes etc. can be made. This is of tremendous assistance, not only for the preparation of experiments but also for the initial evaluation of the results and subsequent detailed analysis.

Importance of further development

Such simulation modules are being developed at many places and provide important support for the efficient use of the available beam time. The further development of program libraries with special emphasis on the functionality of modules for pulsed neutron sources is of the utmost importance.

New concepts for instrument development

Meeting user requests

The instrumentation of the FRM II and the upgrade programmes of the ILL (Millennium programmes 0, 1 etc.) call for the development of new concepts. These ideas are driven by the requests of neutron users on the one hand, and by innovative developments in the fields of detectors, neutron optics or sample environments on the other. The user wishes tend towards smaller sample volumes, increased time resolution, more accurate pair correlations and greater dynamical ranges. The realisation of these requests would make possible measurements at higher pressures and magnetic fields and the investigation of more rapid kinetic processes and excitations over a broad energy range. Promising developments are currently underway in all of these fields. Some have already been successfully tested in pilot experiments, while others have produced components that are waiting to be integrated into new spectrometers.



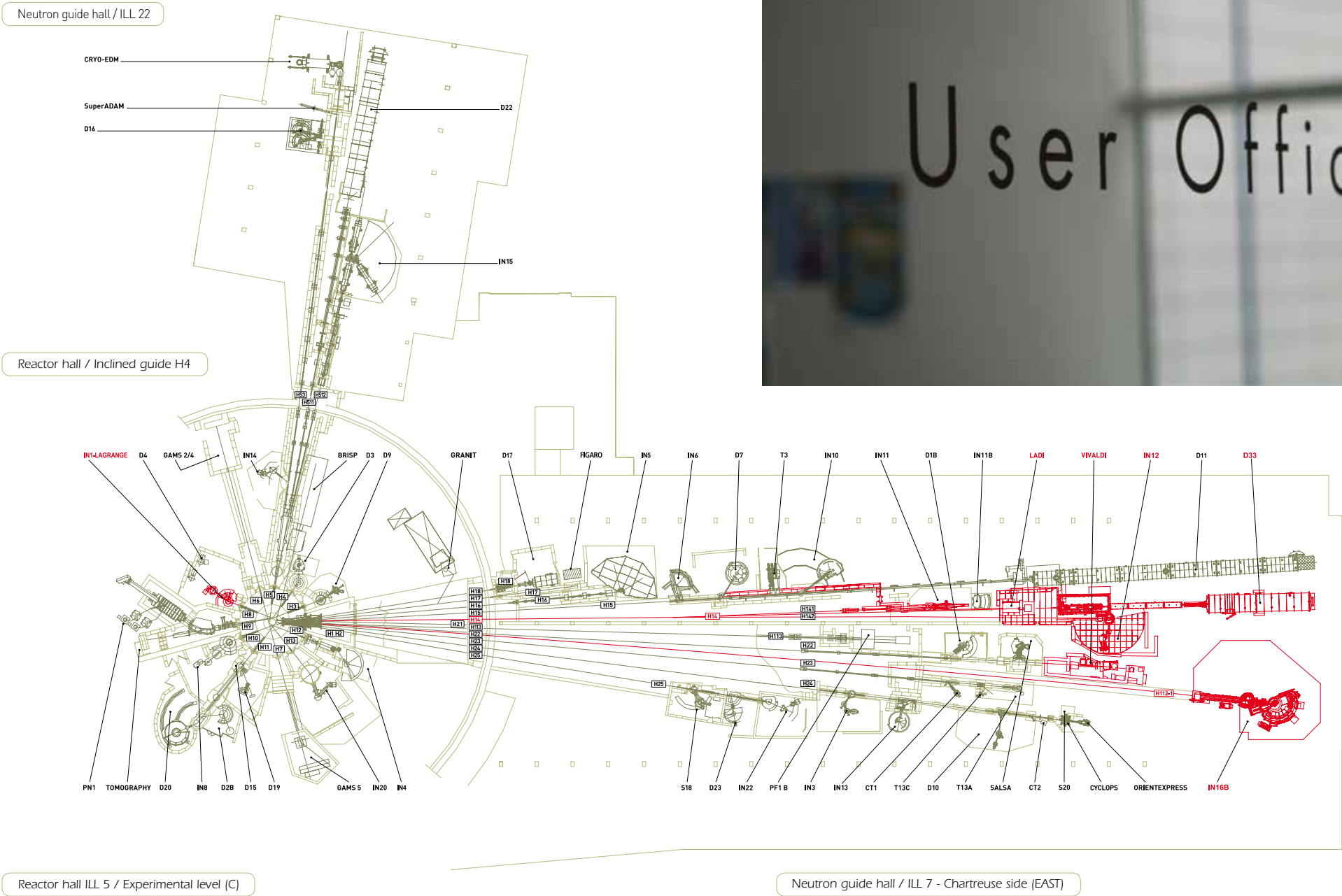
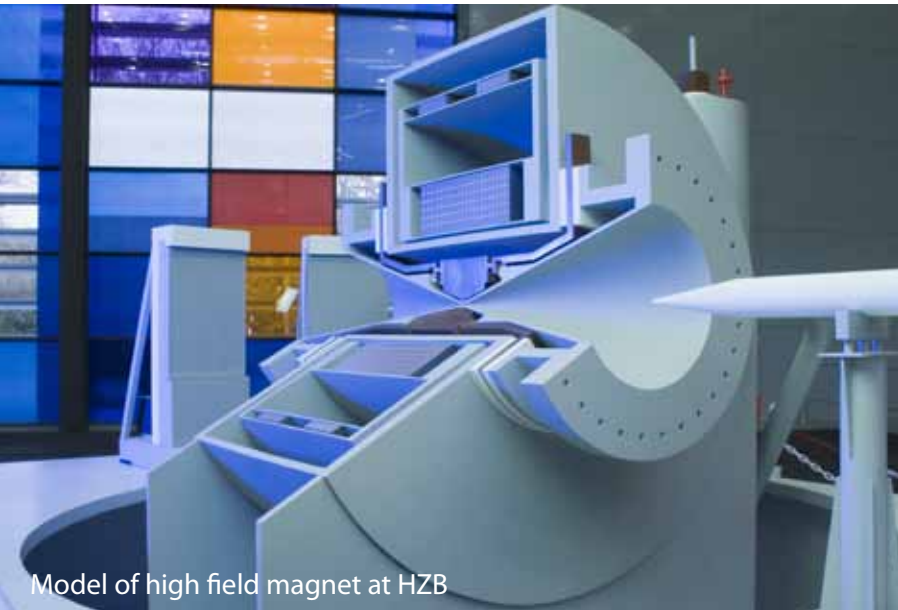
Using new techniques

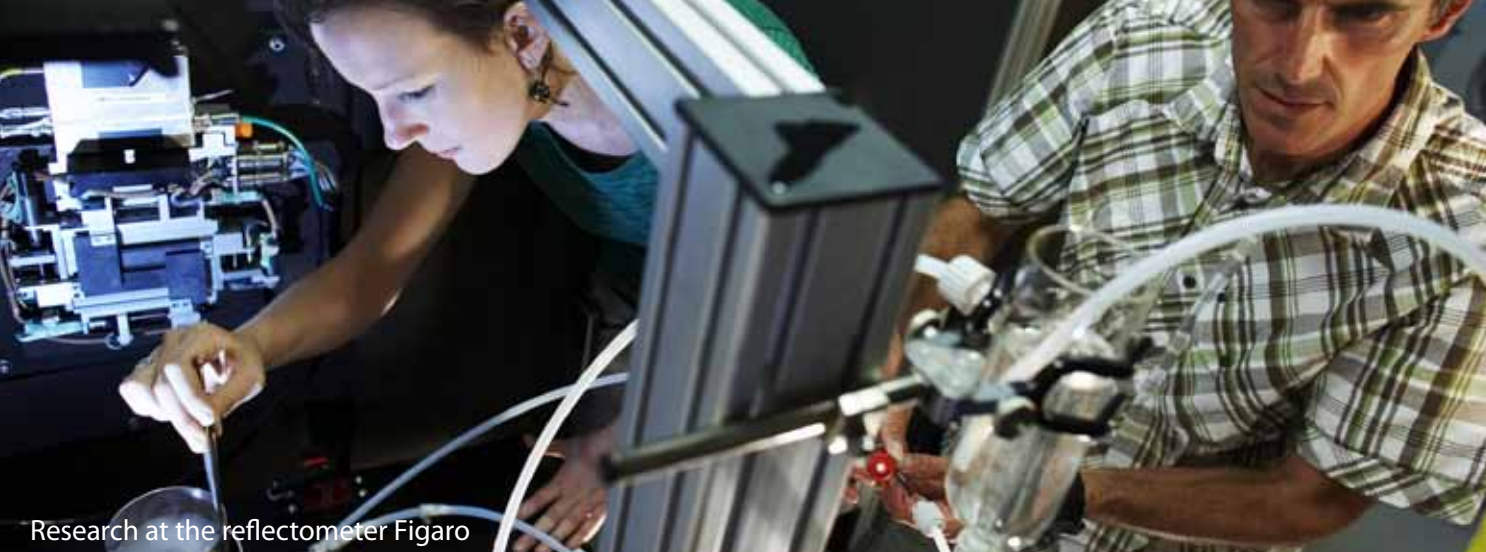
Using a neutron prism, the reflection of neutrons at interfaces and thin layers can be measured simultaneously over a broad wavelength range. Novel CCD detectors for neutrons improve the spatial resolution of area detectors considerably. The polarisation of neutrons achieves values of more than 98 %, and the life-time of the ^3He -spin filter cells that are used for spin analysis over a wide scattering angle range extends to several days. Phase-space transformation is a novel technique that allows the compression of neutron pulses with extremely well defined energies. Coding of neutrons by Larmor precession allows continuous use of the entire wavelength spectrum both for structural and dynamical investigations with high spatial and energy resolution. The additional intensity modulation of the neutron beam (MIEZE principle) extends the variety of samples that can be investigated using Larmor-coding to hydrogen-containing and magnetic systems. Moreover, this new method provides the opportunity for kinetic experiments with very high time-resolution in the microsecond range, or even below.

Zukunftsweisende Nutzungskonzepte



Pioneering New Concepts





Research at the reflectometer Figaro

Effektive Nutzung der Neutronen

Hoher Durchsatz

Standardisierte Verfahren der Quellen mit international besetzten Gutachtergremien sowie die Vernetzung auf europäischer Ebene sind Schlüssel zum Erfolg und garantieren die optimale Nutzung der Neutronen in Europa. Höherer Fluss und optimierte Instrumente, wie sie bereits jetzt an FRM II, BER II und ILL zur Verfügung stehen, bedeuten größeren Durchsatz an Nutzer-Experimenten. Komplexere Aufbauten erfordern zwingend eine verstärkte Zahl von Spezialisten und damit zeit- und kostenintensive Betreuung. Mit der Komplexität des Experiments wächst die Multidisziplinarität der experimentellen Teams. Dabei wird in Zukunft, insbesondere an der ESS als leistungstärkster Neutronenquelle Europas, nur eine Untergruppe einer Messmannschaft vor Ort sein müssen. „Remote-collaborations“ zur schnellen und effektiven Beurteilung der Daten und zur Entscheidungsfindung durch das gesamte Team der Experten werden eine wichtige Rolle spielen. Die nationalen Neutronen-Zentren werden hier als „Relaisstationen“ wirken und verstärkt entsprechende Internet- und Zugangswerkzeuge entwickeln. Insbesondere Experimentsimulationen parallel zum realen Experiment werden unumgänglich für komplexe Untersuchungen. Die nationalen Zentren werden ihre wissenschaftliche Kompetenz für die bestmögliche Durchführung von Experimenten mit größtmöglicher wissenschaftlichen Qualität an der ESS bereit stellen.

Auftragsexperimente

Mit hohem Durchsatz an standardisierten Aufbauten werden Auftragsexperimente wichtiger. Nutzer werden in diesen Fällen ihre Proben schicken, und im idealen Fall über Roboter einjustieren und vermessen lassen. Großes Potential haben solche Verfahren im Bereich der Kristallographie und der Materialwissenschaften. Diese Art der Experimentführung ist insbesondere für die Industrie von großer Bedeutung. Sie wird in einem Umfang auf

Neutronen für die Qualitätskontrolle komplexer Werkstoffe zurückgreifen können, die das bisherige Maß um ein Vielfaches übersteigt. Auftragsexperimente verlangen nach intensiver Betreuung. IT-Konzepte sind anzupassen und Software für Analyse und Auswertung zu entwickeln. Auch hier können die nationalen Neutronengemeinden einen erheblichen Beitrag liefern.

Hervorragende Wissenschaftler

Neben der Weiterentwicklung der Nutzungskonzepte werden auch die Instrumente selbst stetig voran zu treiben sein. Dies wird gelingen mit hervorragend ausgebildeten und einer hinreichenden Zahl von Instrumentwissenschaftlern. Neue Nutzergruppen, die Neutronenstreuung zu einer wesentlichen, jedoch keineswegs ausschließlichen Charakterisierungstechnik ihres wissenschaftlichen Portfolios machen, stellen neue Anforderungen an die Instrumentierung. Adaption und Weiterentwicklung der Instrumente im Sinne einer immer breiter angelegten interdisziplinären Nutzer-gemeinde ist zeitintensiv, jedoch eine unabdingbare Investition in eine prosperierende Zukunft. Gerade an dieser Stelle ist die deutsche Neutronenstreugemeinde besonders qualifiziert und wird mit ihren Nachwuchs fördernden Programmen an den nationalen Quellen in Verbindung mit den Hochschulen diesem Anspruch auch in Zukunft gerecht werden.

EU-Förderung

Einen wesentlichen Beitrag zur Nutzung der Neutronen in Europa leistet die Europäische Gemeinschaft mit ihren Förderprogrammen. Nicht nur werden Nutzergruppen bei der Durchführung ihrer Experimente an den Neutronen-Zentren unterstützt, darüber hinaus leistet die Europäische Union einen nicht zu unterschätzenden Beitrag zur Entwicklung der instrumentnahen Infrastruktur sowie neuer Methoden und Technologien für die Neutronenstreuung durch die finanzielle Förderung multinationaler gemeinsamer Forschungsaktivitäten, sogenannter „Joint Research Activities“. In diese Programme, durchgeführt an den nationalen Zentren, wird die Deutsche Neutronengemeinde ihr Wissen und ihre Expertise zum Nutzen aller und für die ESS erfolgreich einbringen.

The new way of using neutrons

High throughput

Standardized proposal procedures of neutron sources with international review panels and networking at European level are key to success and ensure the optimal use of neutrons in Europe. Higher flux and optimised instruments, the latter being already available at BER II and FRM II and ILL, invoke greater throughput of user experiments. More complex set-ups require a greater number of specialists and produce a time-consuming and costly support. With the ever growing complexity of conducted experiments, the multidisciplinary nature of the experimental team is essential. Here, in future, and particularly at the ESS as the most powerful neutron source in Europe, only a subset of an experimental team may be on site. Therefore “remote collaborations” for rapid and effective assessment of the data and for decision making by the total team of experts will play an important role. National neutron centres will work as “relay stations” and develop more appropriate internet and access tools. In particular, experiment simulations in parallel with the real experiment will become essential for complex investigations. The national centres are well prepared for utilizing their scientific skills for the best possible accomplishment of experiments with the greatest possible scientific quality at the ESS.

Commissioned experiments

With high throughput at standardized set-ups commissioned experiments will gain importance. In these cases users will send their samples, and ideally, robots will then conduct alignment and measurement. Such procedures have great potential in the field of crystallography and materials science. This type of experimental procedure is particularly important for industry. They will have access to neutrons for quality control of complex

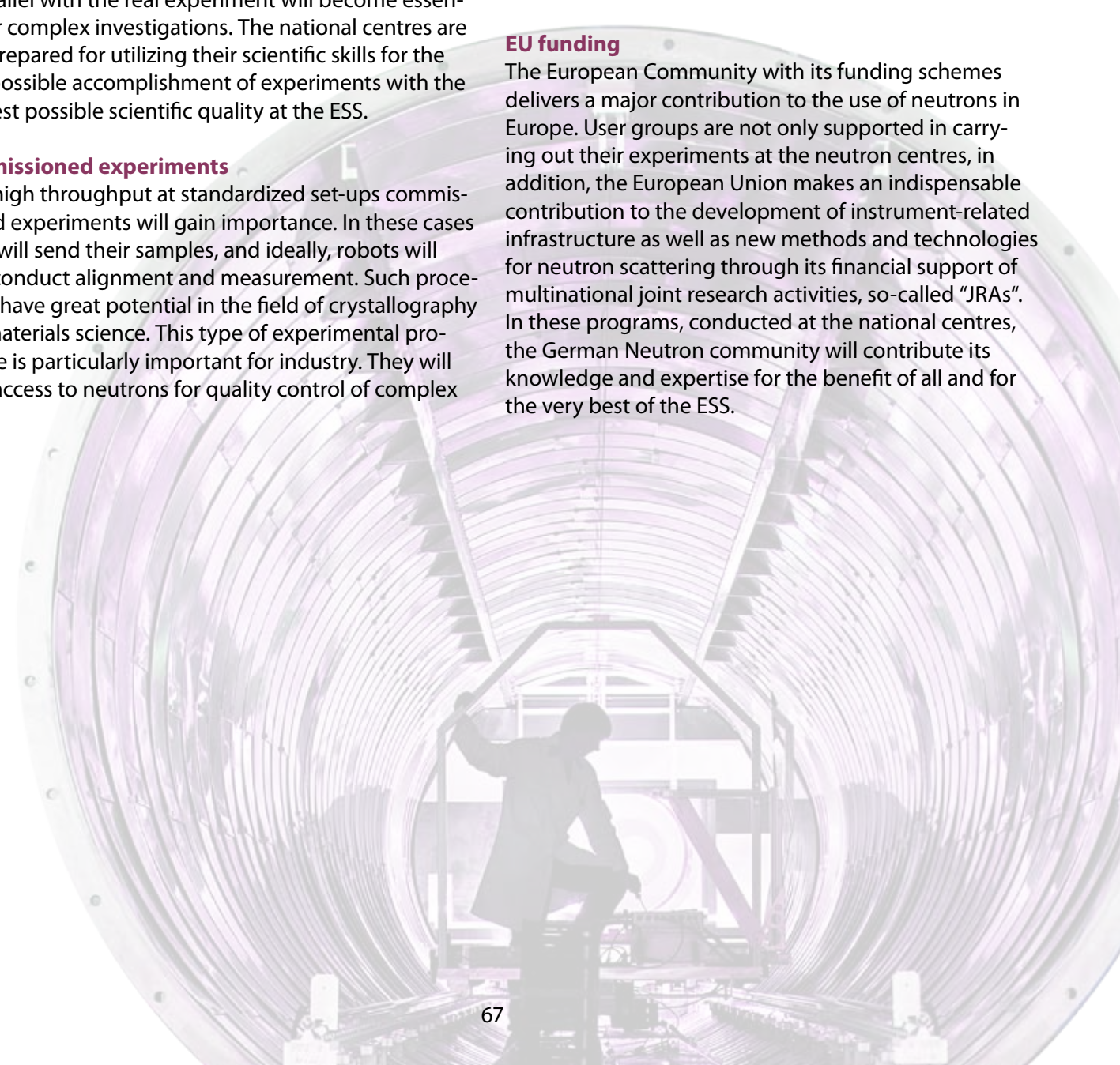
materials to an extent that exceeds existing usage of neutrons by a wide margin. Commissioned experiments require intensive support. Matching IT concepts are to be adapted and software for analysis and evaluation to be developed. Here, the national neutron communities will also make significant contributions.

Instrument scientists

Further to the development of frameworks of neutron usage, the instruments themselves will have to be continuously developed. This will succeed with highly educated and a sufficient number of instrument scientists. New user groups to which neutron scattering is a substantial but not exclusive characterization tool of their scientific portfolio will put new demands on the instrumentation. Adaptation and development of instruments covered by an ever wider interdisciplinary user community takes time, but is an indispensable investment in a prosperous future. The German neutron scattering community is uniquely qualified for the latter issue with its promotional programs for junior scientists at its national sources interlinked with universities and can meet these demands now, and also in the future.

EU funding

The European Community with its funding schemes delivers a major contribution to the use of neutrons in Europe. User groups are not only supported in carrying out their experiments at the neutron centres, in addition, the European Union makes an indispensable contribution to the development of instrument-related infrastructure as well as new methods and technologies for neutron scattering through its financial support of multinational joint research activities, so-called “JRAs”. In these programs, conducted at the national centres, the German Neutron community will contribute its knowledge and expertise for the benefit of all and for the very best of the ESS.



Picture credits

Title image Yoshiharu Nishiyama et al.

p. 4/5 ESS AB

p. 6/7 left: ILL, right: Serge Claisse (ILL)

p. 8 left: ESS AB, right: JCNS

p. 9 Andreas Heddergott (TUM)

p. 10/11 Wenzel Schürmann (TUM)

p. 12 left column top: Wolfgang Treimer (HZB), middle: TUM, bottom: TUM, right column top: JCNS, bottom: SDSS Collaboration; www.sdss.org

p. 13 left column top: Burkhard Schillinger (FRM II), middle: Ralf Biehl (JCNS), bottom: HZB, right column top: JCNS, bottom: Exzellenzcluster Universe (TUM)

p. 14/15 HZG, background: MOUNTAIN HIGHmaps, Digital Wisdom

p. 16 data: Thomas Brückel (JCNS)

p. 17 Wilhelm-Peter Schneider (JCNS)

p. 18 Wenzel Schürmann (TUM)

p. 19 Jochen Heinrich (HZB)

p. 20/21 Wilhelm-Peter Schneider (JCNS), data: Peter Link (FRM II)

p. 22 ESS AB

p. 22/23 Klaus Pranzas (HZG)

p. 23 top: Juliette Savin (FRM II), bottom: HZG

p. 24 HZB

p. 25 JCNS

p. 26 JCNS

p. 27 HZG

p. 28 HZB

p. 28/29 JCNS

p. 30/31 Karin Griewatsch (Univ. Kiel, KFN)

p. 32/33 NMI3

p. 34 left column top: Tao Wang, bottom: David Saintilan and Michael Shelley, right column top: Dieter Richter (FZJ), bottom: Thorsten Naeser

p. 35 left column top: JCNS, bottom: Manfred Roessle (EMBL Hamburg), right column top: Ralf Biehl (JCNS), bottom: ESS AB

p. 36 left column: Ralf Biehl (JCNS),

p. 36/37 Klinikum Rechts der Isar (TUM)

p. 37 ITG AG

p. 38 Astrid Eckert/ Andreas Heddergott (TUM)

p. 38/39 Alfred-Wegener-Institut

p. 39 André Alain Rouvière (HZB)

p. 40 left column top: Astrid Eckert/ Andreas Heddergott (TUM), bottom: TUM, right column: Götz Eckold (Univ. Göttingen)

p. 40/41 JCNS

p. 41 right column top: Andreas Kahle (Univ. Frankfurt), bottom: JCNS

p. 42 top left: Klaus Pranzas (HZG), top right: Peter Staron (HZG), middle: Astrid Eckert/ Andreas Heddergott (TUM), bottom: Wolfgang Treimer (HZB)

p. 43 top: Airbus S.A.S. 2007, Philippe Masclet (e^xm company), bottom: HZB

p. 44 left column top: Ralph Gilles (FRM II), bottom: Burkhard Schillinger (FRM II), right column: HZB

p. 44/45 HZB

p. 45 left column top: Ralph Gilles (FRM II), bottom: HZG, right column: TUM

p. 46 left: Christopher Schierholz (Univ. Hamburg), right: Helmut Zabel (Ruhr-Univ. Bochum)

p. 47 Wenzel Schürmann (TUM)

p. 48 top: Max Wolff (Univ. Uppsala), bottom: Ingo Manke (HZB)

p. 48/49 Ingo Manke (HZB)

p. 49 top: JCNS, bottom: Guido Meier (Univ. Hamburg)

p. 50 left: Ralf Biehl (JCNS), right: FRM II

p. 51 left: Astrid Eckert/ Andreas Heddergott (TUM), right: JCNS

p. 52 left column top: Wenzel Schürmann (TUM), bottom: ITG AG, right column top: Exzellenzcluster Universe (TUM), middle: Volker Springel (MPI für Astrophysik), bottom: Carin Cain from K. Jungmann Physics 2; 68 (2009)

p. 53 left column top: ITG AG, bottom: Wenzel Schürmann (TUM), right column top: Marc Hermann (Tricklabor), bottom: Karin Griewatsch (Univ. Kiel, KFN)

p. 54 Volker Springel (MPI für Astrophysik)

p. 55 Astrid Eckert/ Andreas Heddergott (TUM)

p. 56 Götz Eckold (Univ. Göttingen)

p. 57 Andrea Voit (FRM II)

p. 58 JCNS

p. 59 HZB, background: HZB

p. 60 HZB

p. 61 Helmut Payer (gsiCom)

p. 62 Andreas Ostermann/ Tobias Schrader (FRM II)

p. 63 JCNS

p. 64 middle: HZB, top: HZG

p. 64/65 ILL

p. 65 Ina Lommatzsch (FRM II)

p. 66 ILL

p. 67 background: Astrid Eckert/ Andreas Heddergott (TUM)