

› Fachbereich
Physik

› Department of
Physics



› Inhaltsverzeichnis

› Table of Contents

Impressum | Imprint

Herausgeber / Publisher:
Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Fachbereich Physik
Wilhelm-Klemm-Str. 9
D-48149 Münster

Editor:
Tilmann Kuhn, Stefan Heusler
und
Dekanat des Fachbereichs Physik

Design:
goldmarie design

Druck / Print:
Druckerei Buschmann GmbH & Co. KG

Münster, 2012

01	Der Fachbereich Physik / <i>The Department of Physics</i>	04
02	Studieren und Leben in Münster / <i>Studying and Living in Münster</i>	08
03	Lehre und Studium der Physik und Geophysik / <i>Teaching Programmes in Physics and Geophysics</i>	12
04	Forschungsschwerpunkte / <i>Main Research Fields</i>	30
	› Nanophysik / <i>Nanophysics</i>	32
	› Nichtlineare Physik / <i>Nonlinear Physics</i>	42
	› Teilchenphysik / <i>Particle Physics</i>	50
	› Geophysik / <i>Geophysics</i>	56
	› Fachdidaktik / <i>Science Education</i>	62
05	Die Fachschaften im Fachbereich Physik / <i>Student Associations in the Department of Physics</i>	68
06	Kontakt und Anfahrt / <i>Contact Details and Directions</i>	74

> 04

> Der Fachbereich **Physik**

> The Department of Physics

> 05

› Der Fachbereich Physik

Die Physik als eine – wenn nicht die – grundlegende Naturwissenschaft untersucht eine faszinierende Fülle von Phänomenen auf allen Zeit- und Längenskalen.

Von Attometern (einem Milliardstel eines milliardstel Meters), also der räumlichen Ausdehnung der kleinsten Elementarteilchen bis hin zu vielen Milliarden Lichtjahren in der Astrophysik reichen die räumlichen Skalen. Auch die Zeitskalen sind gewaltig: Sie reichen von Attosekunden (einem Milliardstel einer milliardstel Sekunde), etwa bei ultrakurzen Laserpulsen, bis hin zum Alter des Universums von über 13 Milliarden Jahren.

Der Fachbereich Physik an der Universität Münster zeichnet sich durch eine außergewöhnliche Breite von Forschungsaktivitäten aus, die sich in einer entsprechenden thematischen Breite von Lehrveranstaltungen widerspiegelt. Studierende können bei der Auswahl ihrer Vertiefungsstudien sowie bei der Wahl der Bachelor- und Masterarbeiten zwischen den **Forschungsschwerpunkten Nanophysik, Nichtlineare Physik, Teilchenphysik und Geophysik** wählen. Lehramtsstudierende können sich zusätzlich noch im Forschungsschwerpunkt **Fachdidaktik** mit der Vermittlung physikalischer Inhalte beschäftigen und dort ihre Abschlussarbeiten anfertigen. In allen diesen Schwerpunkten bestehen auch vielfältige Möglichkeiten zur Anfertigung einer Doktorarbeit. Die Forschungsaktivitäten in allen Instituten zeichnen sich durch hohe Interdisziplinarität aus. In fachübergreifenden Zentren wie dem **Centre for Nonlinear Science (CeNoS)**,

› The Department of Physics

As one of the fundamental natural sciences – if not THE fundamental natural science – physics investigates a fascinating abundance of phenomena on all time and length scales.

Spatial scales in physics range from attometres (a billionth of a billionth of a metre), the spatial extent of the smallest elementary particles, to many billions of light years in astrophysics. The temporal scales are also enormous: They range from attoseconds (a billionth of a billionth of a second) in ultra-short laser pulses for example, to the age of the universe at over 13 billion years.

The Department of Physics at the University of Münster is distinguished by an extraordinary range of research activities that are reflected in a broad spectrum of course subjects. When selecting their specialist areas, both for their study programme and for their Bachelor's and Master's theses, students can choose between the **main research fields of nanophysics, nonlinear physics, particle physics, and geophysics**. Students aspiring to a teaching profession may write their thesis in the field of **science education**. All these research fields also offer many possibilities to do a PhD. Research activities in all institutes are characterised by their highly interdisciplinary nature. Within the University of Münster, scientists from the Department of Physics collaborate with their colleagues from other departments in interdisciplinary centres such as the **Centre for Nonlinear Science (CeNoS)**, the **Centre for Nanotechnology (CeNTech)**, the **Cells in Motion Interfaculty Centre (CiMIC)**, the

dem **Centrum für Nanotechnologie (CeNTech)**, dem **Interdisziplinären Centrum für Elektronenmikroskopie (ICEM)**, dem **Cells in Motion Interfaculty Centre (CiMIC)**, dem **European Institute for Molecular Imaging (EIMI)** sowie dem **Zentrum für Wissenschaftstheorie (ZfW)** arbeiten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus dem Fachbereich Physik interdisziplinär mit Forschungsgruppen aus anderen Fachbereichen der Universität Münster zusammen. Die Forschungsaktivitäten des Fachbereichs sind zudem in zahlreiche internationale Forschungskooperationen und Forschungsprojekte eingebunden.

Um Schüler und Schülerinnen über das Studium der Physik und die Arbeit als Physiker bzw. Physikerin zu informieren, organisiert der Fachbereich Physik in regelmäßiger Turnus die **Herbstakademie Physik**. Ferner werden Workshops und Seminare im Schülerlabor **MExLab ExperiMINTe** angeboten, zu denen Schulklassen sich anmelden können. In der Hands-On Ausstellung **MExLab Experimentum** gewinnen Schüler und Schülerinnen einen Einblick in die verschiedenen Forschungsaktivitäten im Fachbereich Physik. Neben einem mannshohen Tornado kann z.B. die nichtlineare Physik von Schwingungen, granularen Medien, sowie Effekte der Strukturbildung, der Selbstorganisation und des Chaos erlebt werden. Weitere Exponate zu Themen wie Neutrino-Oszillationen, seismischen Wellen oder kosmischer Strahlung zeigen einmal mehr die Bandbreite der Forschung im Fachbereich Physik der Universität Münster.

This brochure can only present a small sample of the variety in teaching and research at the University of Münster's Department of Physics. More detailed information can be found on the websites of the department and its associated institutes, listed at the back of this brochure.

Diese Broschüre kann nur einen kleinen Einblick in die vielfältigen Lehr- und Forschungsaktivitäten des Fachbereichs Physik an der Universität Münster geben. Viele weitergehende Informationen finden sich auf den Internetseiten des Fachbereichs und der ihm angehörenden Institute, deren Adressen am Ende dieser Broschüre aufgeführt sind.

Interdisciplinary Centre for Electron Microscopy (ICEM), the European Institute for Molecular Imaging (EIMI) and the Centre for Philosophy of Science (ZfW). The Physics department's research activities are also an integral part of numerous international research collaborations.

In order to inform prospective students about what both studying physics and working as a physicist entail, the Department of Physics regularly organises the **Autumn Physics Academy**. Furthermore, workshops and seminars are offered at the **MExLab ExperiMINTe** students' laboratory, where school classes are welcome to enrol. In the **MExLab Experimentum** hands-on exhibition, pupils can gain insight into the various research activities in the Department of Physics. Besides a life-size tornado, other experiences include granular media, the nonlinear physics of oscillations, and exciting phenomena of structure formation, self-organisation, and chaos. Other exhibits on neutrino oscillations, seismic waves, and cosmic radiation likewise illustrate the breadth of research in the Department of Physics at the University of Münster.

Der Fachbereich Physik an der Universität Münster zeichnet sich durch eine außergewöhnliche Breite von Forschungsaktivitäten aus.

The Department of Physics at the University of Münster is distinguished by an extraordinary range of research activities.



> 08

> Studieren und Leben in Münster

> Studying and Living
in Münster

09



› Studieren und Leben in Münster

*Münster verbindet wie kaum eine andere Stadt
Wissenschaft und Lebensart – geprägt von über
50.000 Studierenden an insgesamt acht Hochschulen.*



Für Studentinnen und Studenten bietet die Wissenschaftsstadt Münster eine besondere Kombination aus Lebensqualität, kulturellen Angeboten und einem lebendigen Forschungsumfeld. Münster ist eine Großstadt, in der man trotz ihrer Größe von fast 300.000 Einwohnern alles zu Fuß oder zumindest mit dem Fahrrad erreichen kann. So gilt auch das Fahrrad als das Hauptverkehrsmittel in Münster. In Münster gibt es 500.000 Fahrräder – fast doppelt so viele wie Einwohner! Kaum eine andere Stadt verfügt über ein ähnlich dichtes Netz von Fahrradwegen. Einzigartig ist der autofreie Ring um die Innenstadt, die sogenannte Promenade. Hier haben Radfahrer freie Fahrt.

Für seine Lebensqualität ist Münster weithin bekannt. So wurde im Jahr 2004 der Stadt Münster beim vom Umweltprogramm der Vereinten Nationen unterstützten LivCom-Wettbewerb der Titel „Lebenswerteste Stadt der Welt“ in der Kategorie Großstädte von 200.000 bis 750.000 Einwohner verliehen.

Studentinnen und Studenten prägen in vielen Bereichen das Bild der Stadt, sei es in der Altstadt, am Aasee, am Hafen oder am Schloss. Sportliche und musikalische Angebote bieten neben dem Studium eine willkommen Abwechslung und Ausgleich. Viele Rad- und Laufstrecken in den Parks und Münsters grüner Innenstadt, Reitwege und das umfassende Angebot vom Hochschulsport bieten vielfältige Möglich-

› Studying and Living in Münster

*With over 50,000 students and a total of eight institutes
of higher education, Münster unites science and savoir
vivre in a manner that few other cities do.*

For students, Münster as a city of science offers an exciting combination of cultural facilities, a lively research environment and quality of life. Despite having a population of almost 300,000 people, Münster is a city in which everything is within walking (or at least cycling) distance. Consequently, the bicycle is the main mode of transportation here. There are 500,000 bicycles in Münster – almost twice as many as there are inhabitants! Hardly any other city has such a dense network of cycle paths. The car-free path encircling the city centre – called the Promenade – is a unique experience. Cyclists have a clear run there.

Münster is renowned for the quality of life that it offers. In 2004, this led to Münster winning the “Liveable Communities” (LivCom) Award in the category “City Awards, population 200,000 to 750,000” endorsed by the United Nations Environment Programme.

Students shape the image of the city in many areas, whether in the historic city centre, on the shores of lake Aasee, at the port or the castle. Apart from studying, sports and musical activities offer welcome opportunities for diversion and relaxation. The many cycling and walking routes in the parks and around Münster’s green inner city, the bridleways, and the broad range of sports offered by the university provide plenty of opportunities for getting involved in physical exercise. Besides the symphony orchestra, for

keiten, sportlich aktiv zu werden. Für Musikliebhaber gibt es neben dem Symphonieorchester zahlreiche Ensembles unter dem Dach von Universität und Musikhochschule. Bedeutende Musikfestivals finden in Münster statt, wie z.B. das internationale Jazz-Festival, und zahlreiche andere Festivals. Eine lebhafte Club- und Kneipenszene, Geschäfte und Märkte, Museen, Theater, Kirmes, Kinos, Cafes, Restaurants (von gut und günstig bis *Haute Cuisine*) und Eiscafes bieten Abwechslung und Unterhaltung für jeden Geschmack.

Das Motto *wissen.leben* der Westfälischen Wilhelms Universität beschreibt diese Nähe von Wissenschaft und Lebensqualität, die ein Studium in Münster in ganz besonderer Weise bieten kann!



music lovers there are numerous ensembles associated with the University and the Conservatory of Music. Important music festivals are also held in Münster, for example the International Jazz Festival and many others. In addition, a lively clubbing scene, shops and markets, museums, theatre, fun fairs, cinemas, cafes, restaurants (from cheap and cheerful to *haute cuisine*), and ice cream parlours cater to many tastes in enjoyment and entertainment.

The catchphrase “*living.knowledge*” of the University of Münster embodies this close relationship between science and the very special quality of life that studying in Münster can offer!



Münster wurde im Jahr 2004 der Titel „Lebenswerteste Stadt der Welt“ verliehen. In 2004 Münster was awarded the commendation “World’s Most Livable City”.

> Lehre und Studium der
Physik und Geophysik

> Teaching Programmes in
Physics and Geophysics



› Lehre und Studium der Physik und Geophysik

› Teaching Programmes in Physics and Geophysics

Der Fachbereich Physik bietet Bachelor- und Masterstudiengänge in Physik und Geophysik an, sowie Lehrerstudiengänge für Grund-, Haupt- und Realschulen, Gymnasien, Gesamtschulen sowie Berufskollegs, die sich ebenfalls jeweils wieder in einen Bachelor- und einen Masterstudiengang aufgliedern. Darüber hinaus bestehen vielfältige Möglichkeiten für ein Promotionsstudium.

Der Fachbereich Physik der Universität Münster hat etwa 1.300 Studierende in den Fächern Physik und Geophysik einschließlich Lehramt, sowie etwa 230 Doktorandinnen und Doktoranden. Er zählt damit seit Jahren zu den größten Physik-Fachbereichen in Deutschland. Durch seine Größe ist er in der Lage, ein breites Themenspektrum sowohl in der Forschung als auch in der Lehre abzudecken. Entsprechend breit gefächert sind auch die Angebote für Bachelor-, Master- und Doktorarbeiten, so dass sich je nach Interesse viele Möglichkeiten der Spezialisierung bieten.

Trotz der für einen Physik-Fachbereich großen Zahl von Studierenden legt der Fachbereich großen Wert auf eine intensive und persönliche Betreuung während des Studiums. Die theoretischen Übungen und experimentellen Praktika werden in kleinen Gruppen durchgeführt,

The Department of Physics offers Bachelor's and Master's courses in physics and geophysics, as well as teacher training programmes for primary and secondary schools. The latter likewise consist of consecutive Bachelor's and Master's courses. In addition, there are many possibilities to enrol in a PhD programme.

The Department of Physics at the University of Münster has approximately 1,300 students of physics and geophysics (including those in physics education), plus about 230 PhD students. It has long been one of Germany's largest physics departments. Due to its size, the department is able to cover a broad range of subjects in both research and teaching, with programmes for both undergraduates and postgraduates offering many possibilities for specialisation, depending on students' interests.

Despite the large number of students (for a physics department at least), the department places great value on intensive and personal study guidance. Theoretical and laboratory assignments are carried out in small study groups, offering many opportunities for

in denen vielerlei Gelegenheiten zu ausführlichen Diskussionen sowohl der Studierenden untereinander als auch mit den Betreuerinnen und Betreuern bestehen. Zur Erleichterung des Studieneinstiegs hat der Fachbereich Mentorprogramme ins Leben gerufen und bietet vor Semesterbeginn einen Vorkurs zur Auffrischung des Schulstoffs in Physik und Mathematik an.

Nicht nur in der Forschung sondern auch bereits im Studium spielen internationale Erfahrungen eine immer wichtigere Rolle. Um Auslandsaufenthalte auch organisatorisch gut in das Studium integrieren zu können, hat der Fachbereich im Rahmen des **Erasmus-Programms** der Europäischen Union Studierendenaustauschabkommen mit Universitäten in Bialystok, Dublin, Enschede, Glasgow, Lund, Nice, Palma, Paris, Seville, und York unter der ausprägung des European Union's **Erasmus programme**.



Nur die Anfangsvorlesungen finden in großen Hörsälen statt: Physik ist kein Massenstudium, sondern lebt von individueller Betreuung.
Only the introductory lectures are delivered in large lecture halls. Rather than being taught in large classes, physics relies upon individual tuition and supervision.

› Bachelor of Science und Master of Science in Physik

Für ein Vollstudium der Physik bietet der Fachbereich die Kombination aus einem dreijährigen Bachelor- und einem zweijährigen Masterstudiengang in Physik an.

Der Einstiegsstudiengang mit dem Abschluss **Bachelor of Science in Physik** dient dabei in erster Linie dem Erwerb einer breiten, wissenschaftsorientierten physikalischen Allgemeinbildung. Der Studienplan umfasst deshalb ein breites Spektrum angefangen von der klassischen Mechanik und Elektrizitätslehre bis hin zu aktuellen Themen beispielsweise aus der Kern- und Teilchenphysik, der Optik, der Festkörper- und Nanophysik oder der Astrophysik. Wie alle Bachelor- und Masterstudiengänge gliedert er sich in einzelne Module. Schon seit vielen Jahren typisch für Münster ist die Integration von experimenteller und theoretischer Physik bereits vom ersten Semester an in den Modulen *Physik I (Teilchen und Teilchensysteme)*, *Physik II (Thermodynamik und Elektromagnetismus)*, *Physik III (Wellen und Quanten)* sowie *Atom- und Quantenphysik*, die von Lehrenden dieser beiden Fachrichtungen gemeinsam veranstaltet werden. Hierdurch soll von Anfang an vermittelt werden, dass in der Physik die Kombination von experimenteller Untersuchung der Natur, die Bildung physikalischer Modelle und die theoretische Beschreibung der Vorgänge in der Natur auf der Basis dieser Modelle eine Einheit bilden.

› Bachelor of Science and Master of Science in Physics

The department offers the combination of a three-year Bachelor's degree course and a two-year Master's degree course in physics.

The course that leads to the **Bachelor of Science in Physics** qualification is designed first and foremost to provide a broad, science-oriented general education in physics. The curriculum therefore covers a broad spectrum, starting with classical mechanics and electricity and leading on to modern subjects such as nuclear and particle physics, optics, condensed matter physics, nanophysics, and astrophysics. Like all Bachelor's and Master's degree courses it is subdivided into modules. The integration of experimental and theoretical physics right from the first semester in the *Physics I (Particles and Particle Systems)*, *Physics II (Thermodynamics and Electromagnetism)*, *Physics III (Waves and Quanta)* and the *Atomic and Quantum Physics* modules has been a long-standing feature of Münster's degree courses in physics. These modules are jointly organised by the teaching staffs from both disciplines. Their purpose is to show from the outset that in physics, the combination of the experimental investigation of nature, the creation of physical models, and the theoretical description of the studied processes on the basis of these models forms a single unit.

Vertiefungen im Bereich der experimentellen Physik folgen dann in den Modulen *Struktur der Materie* und *Messtechnik und Signalverarbeitung* und im Bereich der theoretischen Physik im Modul *Quantentheorie und Statistische Physik*. Das Einüben experimenteller Techniken steht im Mittelpunkt der Praktika in den Modulen *Experimentelle Übungen I* und *II*, erste Erfahrungen im Bereich der Forschung können bei der Anfertigung der Bachelorarbeit gemacht werden.

In der Physik als einer exakten Naturwissenschaft spielen die Mathematik als „Sprache“ zur Formulierung von Gesetzmäßigkeiten und der Computer zur Lösung komplexer numerischer Probleme eine zentrale Rolle. Begleitet wird deshalb die Ausbildung in Physik durch eine fundierte mathematische und numerische Grundausbildung in den Modulen *Grundlagen der Mathematik*, *Integrationstheorie* und *Computational Physics*. Schließlich bietet das Modul *Fachübergreifende Studien* vielfältige Möglichkeiten für individuelle Spezialisierungen entweder zur thematischen Ergänzung des Studiums oder zur Erlangung zusätzlicher Qualifikationen für die nachfolgende Berufstätigkeit.

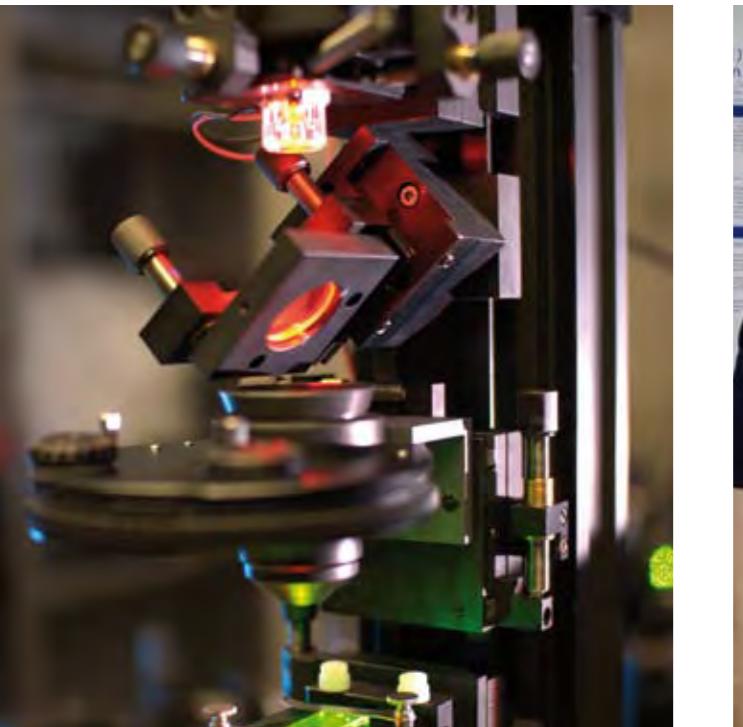
Insbesondere für Studierende, die bereits im Bachelor eine stärker berufsfeldbezogene Qualifikation erreichen möchten, bietet der Fachbereich Physik alternativ den Bachelorabschluss Physik mit Studienrichtung **Scientific Instrumentation** an. Hier wird anstelle des Moduls *Quantentheorie und Statistische Physik*, das Modul *Anwendungen physikalischer Messmethoden* studiert, wobei der Fachbereich Physik in Münster die große Breite der hier vorhandenen modernen physikalischen Methoden gewinnbringend einsetzen kann.

Schon seit vielen Jahren typisch für Münster ist die Integration von experimenteller und theoretischer Physik bereits vom ersten Semester an.

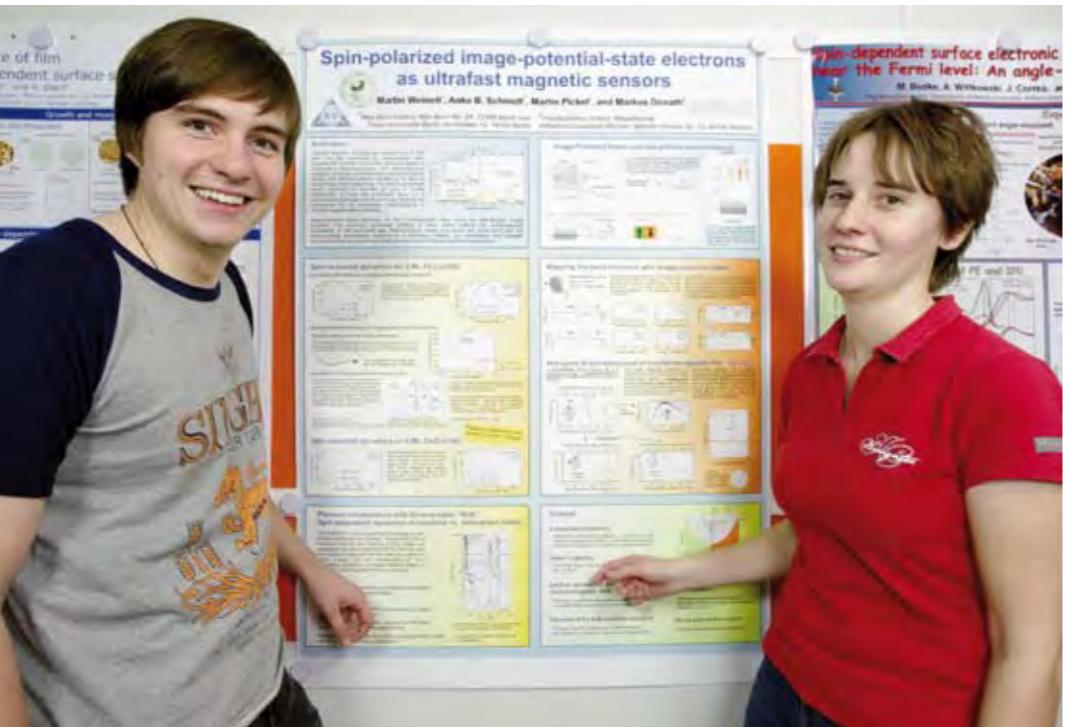
The integration of experimental and theoretical physics right from the first semester has been a long-standing feature of Münster's degree course in physics.

Bereits während des Bachelorstudiums werden Fertigkeiten im Experimentieren und Präsentieren eigener Ergebnisse trainiert.

The Bachelor programme includes the acquisition and training of skills in conducting experiments and presenting one's own findings.



Auch wenn der Bachelorstudiengang bereits einen ersten berufsqualifizierenden Abschluss liefert, werden in vielen Berufsfeldern, in denen Physiker und Physikerinnen typischerweise eingesetzt werden, Qualifikationen erwartet, die erst im nachfolgenden Studiengang **Master of Science in Physik** erlernt werden. Hauptziel dieses Studiengangs, dessen Lehrveranstaltungen bei Bedarf auf Englisch angeboten werden, ist die Befähigung zum effizienten, selbständigen Arbeiten an der vordersten Front der physikalischen Forschung bzw. an der Innovationsfront in Technik und Wirtschaft. Daher ist er in Münster so angelegt, dass hier ausgesprochen breite Wahlmöglichkeiten bestehen. So werden in den beiden Modulen *Physikalische Vertiefung I* und *II* exemplarisch zwei aktuelle Forschungsbereiche aus dem Angebot des Fachbereichs vertieft studiert. Diese werden ergänzt durch frei wählbare Veranstaltungen im Modul *Physikalische Wahlstudien*. Im Modul *Fachübergreifende*



Even though the Bachelor programme provides the students with a first qualification in preparation for employment, many professions in which physicists typically work expect qualifications that are not acquired until the subsequent **Master of Science in Physics**. The main aim of the Master's course (lectures are in English when required) is to train students to work efficiently and independently at the forefront of physical research and on the frontline of innovation in technology and commerce. For that reason, courses in Münster are designed so that a very wide range of options is available for students to choose from. In the two modules *Physical Specialisation I* and *II*, for example, two current fields of research covered by the department are studied in greater depth. These are supplemented by a free choice of options in the module *Elective Studies in Physics*. In the *Interdisciplinary Studies* module, physics-related areas such as geophysics or molecular biophysics can

Semester	Module für BSc in Physik	Modules for BSc in Physics
01 (WS)		
02 (SS)	Physik I–III <i>Physics I–III</i>	Mathematische Grundlagen <i>Fundamental Mathematics</i>
03 (WS)		Fachübergreifende Studien <i>Interdisciplinary Studies</i>
04 (WS)	Atom- und Quantenphysik <i>Atomic and Quantum Physics</i>	Messtechnik und Signalverarbeitung <i>Measuring Technology and Signal Processing</i>
05 (SS)	Struktur der Materie <i>Structure of Matter</i>	Quantentheorie und Statistische Physik <i>Quantum Theory and Statistical Physics</i>
06 (WS)	Experimentelle Übungen I und II <i>Laboratory Course I and II</i>	oder / or Physikalische Instrumente und Messmethoden <i>Scientific Instrumentation</i>
	Computational Physics <i>Computational Physics</i>	
	Examensmodul Bachelor Thesis	

Seit vielen Jahren typisch für Münster ist die Integration von experimenteller und theoretischer Physik bereits in den Kursen Physik I–III im Bachelorstudiengang. Weiterhin kann neben einer ausgewogenen Mischung aus Praktika und Vorlesungen im Bachelor-Studium ein Nebenfach aus einem sehr breiten Angebot von Fachübergreifenden Studien gewählt werden. For many years Münster has been renowned for its integration of experimental and theoretical physics, starting in the Bachelor courses Physics I–III. In addition to a well-balanced assortment of experimental exercises and lectures within the Bachelor programme, a subsidiary course can be selected from a broad range of interdisciplinary subjects.

› 03 Lehre und Studium der Physik und Geophysik

Studien können physiknahe Bereiche wie Geophysik oder Molekulare Biophysik gewählt werden, aber auch z.B. Volks- oder Betriebswirtschaftslehre oder Deutsch als Fremdsprache.

Ein wesentliches Element der Ausbildung im Masterstudiengang Physik ist die Forschungsphase im zweiten Studienjahr. Sie dient dem Erlernen selbstständigen wissenschaftlichen Arbeitens. Neben einem Einführungsprojekt zum wissenschaftlichen Arbeiten ist ihr zentrales Element die Masterarbeit. In dieser Phase ist die wissenschaftliche Forschung untrennbar verbunden mit dem Erwerb von Schlüsselqualifikationen wie zum Beispiel Projektmanagement, Teamarbeit sowie Darstellung und Präsentation wissenschaftlicher Ergebnisse.

Wie auch im Bachelorstudiengang kann im Masterstudiengang ein **Auslandsaufenthalt**, beispielsweise im Rahmen des Erasmus-Programms, in das Studium integriert werden. So können bei einem Aufenthalt im ersten Studienjahr Lehrveranstaltungen an der gastgebenden Universität die Wahlpflichtmodule dieses Studienjahrs ergänzen oder ersetzen. Im zweiten Studienjahr kann ein Teil des zur Masterarbeit führenden Forschungsprojekts bei einer ausländischen Arbeitsgruppe durchgeführt werden.

Semester	Module für MSc in Physik	Modules for MSc in Physics
01	Physikalische Wahlstudien <i>Elective Studies in Physics</i>	Physikalische Vertiefung I und II <i>Physical Specialisation I and II</i>
02		Fachübergreifende Studien <i>Interdisciplinary Studies</i>
03	Fachliche Spezialisierung und Projektplanung <i>Professional Specialisation and Project Design</i>	
04	Masterarbeit <i>Master Thesis</i>	

Im Masterstudium können sich die Studierenden aus einem breiten Wahlangebot gemäß ihrer eigenen fachlichen Spezialisierung Vorlesungen und Seminare auswählen. Im dritten und vierten Semester steht die eigene wissenschaftliche Arbeit im Vordergrund. From a gamut of lectures and seminars, Master's students can take those subjects that best match their chosen field of specialisation. The focus in the third and fourth semester is on one's own scientific endeavours.

be chosen, along with, for example, economics or business administration, or German as a foreign language for students from abroad.

The research phase in the second year is an important element of the Master's course in physics. Its aim is to teach students how to conduct independent scientific work. In addition to preparatory courses introducing scientific research, its central element is the Master's thesis. In this phase, the scientific research is inseparable from the acquisition of key skills such as project management, teamwork, and the presentation of scientific results.

Like in the Bachelor programme also in the Master programme a **period abroad** can be integrated, for example in the framework of the Erasmus programme. In the case of a stay during the first year, courses taken at the host university can be used to complement or replace modules of the course programme in Münster. In the case of a stay during the second year, part of the research project leading to the Master's thesis can be carried out at a foreign research group.



› Bachelor of Science und Master of Science in Geophysik

› Bachelor of Science and Master of Science in Geophysics

Als einer von wenigen Standorten in Deutschland bietet der Fachbereich Physik in Münster auch ein Vollstudium in Geophysik, bestehend aus einem dreijährigen Bachelor- und einem zweijährigen Masterstudiengang an.

Ziel des Einstiegsstudiengangs mit dem Abschluss **Bachelor of Science in Geophysik** ist dabei vornehmlich der Erwerb eines breiten und soliden Basiswissens, wie es sowohl für angewandte als auch für theoretische Bereiche der Geophysik unverzichtbar ist. Methodenkompetenz und berufsqualifizierendes Wissen werden in praxisorientierten Modulen vermittelt, in denen die Studierenden mit den Grundlagen geophysikalischer Mess- und Auswertungsverfahren vertraut gemacht werden.

Auch erwerben sie Grundkenntnisse in wichtigen numerischen Techniken, z.B. für Computersimulationen geodynamischer Prozesse oder die geophysikalische Datenverarbeitung, die heute in vielen Bereichen der Geowissenschaften eine zentrale Rolle spielen. Die Module aus dem engeren Bereich der Geophysik werden ergänzt durch Module, in denen die Grundlagen aus der Physik, der Mathematik und den Geowissenschaften bereitgestellt werden.

The Department of Physics at the University of Münster is one of the few places in Germany that also offers a two-level programme in geophysics, consisting of a three-year Bachelor's course and a two-year Master's course.

The programme that leads to the degree of **Bachelor of Science in Geophysik** is aimed primarily at acquiring the broad and fundamental knowledge essential for both applied and theoretical geophysics. Methodological competence and knowledge to qualify the students for their future career are delivered in practical modules, in which students are familiarised with the principles of geophysical measurement and evaluation procedures.

They also acquire a basic knowledge of important numerical techniques, such as used in computer simulation of geodynamic processes and geophysical data processing that play a central role in many areas of the geosciences today. The specific geophysics-related modules are supplemented by modules in which the principles of physics, mathematics, and the geosciences are taught.

Semester	Module für BSc in Geophysik	Modules for BSc in Geophysics
01 (WS)		
02 (SS)	Geophysik I–III Geophysics I–III	Physik I–III Physics I–III
03 (WS)		Mathematische Grundlagen Fundamental Mathematics
04 (WS)		Geowissenschaften I–II Geoscience I–II
05 (SS)	Geophysik IV–VI Geophysics IV–VI	Experimentelle Übungen I Laboratory Course I
06 (WS)		Examensmodul Bachelor Thesis
		Allgemeine Studien General Studies

Der Bachelor of Science in Geophysik zielt ähnlich wie der Physikstudiengang auf den Erwerb eines breiten und soliden Basiswissens in Geophysik einschließlich der Grundlagen aus Physik und Mathematik. Anstelle der Fachübergreifenden Studien treten hier aber spezielle Module in den Geowissenschaften. Like the Physics degree course, a Bachelor of Science in Geophysics aims to establish a solid, broad understanding of geophysics including its foundations in physics and mathematics. But instead of the general interdisciplinary studies, special modules in the geosciences are taken.



Vertieft werden die so erworbenen Kenntnisse dann im nachfolgenden Studiengang **Master of Science in Geophysik**. Hier werden Studierende an aktuelle Themen aus der Geophysik herangeführt. Er orientiert sich daher stark an den Hauptforschungsfeldern des Instituts für Geophysik mit den Themen Geodynamik, Seismologie und angewandte Geophysik. Wie im Masterstudiengang Physik spielt auch hier die Forschungsphase im zweiten Studienjahr eine besonders wichtige Rolle, in der die Studierenden zunehmend selbstständig eine vorgegebene wissenschaftliche Fragestellung bearbeiten und lernen, ihre Ergebnisse in mündlicher und schriftlicher Form zu präsentieren.

Semester	Module für MSc in Geophysik		Modules for MSc in Geophysics	
01	Fortgeschrittene Feldstudien, Analyse und Interpretation geophysikalischer Daten <i>Advanced Field Course, Analysis and Interpretation of Geophysical Data</i>	Numerische Simulation geodynamischer Prozesse <i>Numerical Simulation of Geodynamic Processes</i>	Nichtlineare Physik oder Materialphysik <i>Nonlinear Physics or Physics of Materials</i>	
02			Geowissenschaften <i>Geoscience</i>	
03			Allgemeine Studien <i>General Studies</i>	
04	Masterarbeit <i>Master Thesis</i>			

Im Masterstudium können sich die Studierenden der Geophysik gemäß ihrer eigenen fachlichen Spezialisierung Vorlesungen und Seminare auswählen. Feldkurse und Computersimulationen spielen hierbei eine besondere Rolle. Im dritten und vierten Semester steht die eigene wissenschaftliche Arbeit im Vordergrund. In the Master's course of Geophysics, lectures and seminars can be taken that best meet a student's chosen field of specialisation. Field courses and computer simulations are especially important here. The focus in the third and fourth semester is on one's own scientific endeavours.

Methodenkompetenz und berufsspezifizierendes Wissen werden in praxisorientierten Modulen vermittelt.

Methodological competence and knowledge to qualify the students for their future career are delivered in practical modules.



Magnetotellurische Feldmessung in Skandinavien (Lappland).
Magnetotelluric field experiment in Scandinavia (Lapland).

› Bachelor- und Masterstudiengänge für das Lehramt

› Bachelor's and Master's Courses in Physics Education

Traditionell ist Münster eine Hochburg der Lehramtsausbildung in Nordrhein-Westfalen. Entsprechend bietet der Fachbereich Physik die volle Breite von Lehramtsstudiengängen mit dem Schwerpunkt Physik für die unterschiedlichen Schultypen an.

So wie die fachlich orientierten Studiengänge bestehen auch die Lehramtsstudiengänge für alle Schultypen aus einem dreijährigen Bachelorstudiengang, an den sich ein zweijähriger Studiengang zum Master of Education anschließt.

Die erste Stufe für das **Lehramt an Gymnasien und Gesamtschulen** (GyGe) sowie das **Lehramt an Berufskollegs** (BK) bildet ein 2-Fach-Bachelorstudiengang, bei dem Physik mit einem weiteren Schulfach des jeweiligen Schultyps kombiniert wird. Hierbei handelt es sich um einen stark fachlich orientierten Studiengang, der polyvalent ausgerichtet ist, d.h. er ermöglicht neben dem Wechsel in den Master of Education auch einen erleichterten Übergang in fachlich orientierte Masterstudiengänge. Wie der Bachelor of Science in Physik bietet auch der 2-Fach-Bachelorstudiengang eine breite Grundausbildung in Physik, allerding in etwas reduziertem und auf den Einsatz im Lehramt angepasstem Umfang. Wegen der großen

Münster has traditionally been a stronghold for teacher training in North-Rhine Westphalia, and in keeping with this tradition the Department of Physics offers the full range of teacher training courses in physics for the various types of education.

Teacher training courses for all types of education below academic level consist of a three-year Bachelor's course followed by a two-year course to obtain the qualification Master of Education.

The first stage for the qualification as a **secondary school teacher at the German school types Gymnasium and Gesamtschule** (referred to by their German abbreviation GyGe) and the vocational **Berufskolleg** (German abbreviation: BK) is a Bachelor's course in which physics is combined with a second subject taught at the respective school type. This is a strongly subject-oriented "polyvalent" course, i.e., besides giving students access to the Master of Education course there are also possibilities to enter the Master of Science courses. Like the Bachelor of Science in Physics, the Bachelor's course with two subjects also offers broad fundamental instruction in physics, albeit with a somewhat reduced scope and adapted for use in an

Bachelorstudiengänge für das Lehramt Bachelor Courses for Teaching Profession			
Semester	2-Fach-Bachelor Fach Physik <i>Bachelor with 2 Subjects Subject Physics</i>	Bachelor (HRGe) Fach Physik <i>Bachelor (HRGe) Subject Physics</i>	Bachelor (G) Natur- u. Gesellschaftswiss. <i>Bachelor (G) Natural and Social Sciences</i>
01	Physik I–III <i>Physics I–III</i>	Fachliche Grundlagen I, II <i>Basic Physics I, II</i>	Naturwissenschaften im Sachunterricht <i>Natural Sciences at Primary School</i>
02	Experimentelle Übungen <i>Laboratory Courses</i>	Experimentelle Übungen <i>Laboratory Courses</i>	Gesellschaftswissenschaften im Sachunterricht <i>Social Sciences at Primary School</i>
03			Sachunterrichtsdidaktik I, II <i>Primary Science Education I, II</i>
04	Atom- und Quantenphysik <i>Atomic and Quantum Physics</i>	Fachdidaktische Grundlagen <i>Fundamentals of Didactics</i>	ggf. Bachelorarbeit <i>if applicable: Bachelor Thesis</i>
05	Struktur der Materie und Anwendungen der Physik <i>Structure of Matter and Applications of Physics</i>	Physik in der Schule <i>Physics at School</i>	
06	ggf. Bachelorarbeit <i>if applicable: Bachelor Thesis</i>	ggf. Bachelorarbeit <i>if applicable: Bachelor Thesis</i>	

Der 2-Fach-Bachelorstudiengang mit dem Ziel Lehramt an Gymnasien und Berufskollegs (GyGe und BK) beginnt ebenfalls mit dem integrierten Kurs Physik I–III. Anstelle der Vorlesungen in Mathematik treten Module im zweiten Unterrichtsfach, das nicht zwingend Mathematik sein muss. Die Studiengänge für Haupt- und Realschulen (HRGe) und für Grundschulen (G) haben geringere fachliche Anforderungen, dafür aber mehr Anteile in den Erziehungswissenschaften. The Bachelor's course with two subjects for students aiming to become a teacher at secondary school or vocational college (GyGe or BK) also starts with the integrated courses Physics I–III. But instead of following the mathematical lectures, students take classes in their secondary teaching subject (not necessarily mathematics). The Bachelor's courses for the other school-levels (HRGe and G) have lower requirements in physics, but a higher proportion of educational science.



Bedeutung der Mathematik für die Physik bietet sich insbesondere die Kombination Physik und Mathematik im 2-Fach-Bachelor an. Es sind aber auch Kombinationen mit anderen Fächern möglich.

Für das **Lehramt an Haupt- und Realschulen und den entsprechenden Jahrgangsstufen der Gesamtschulen** (HRGe) wird der Bachelor HRGe angeboten, der ebenfalls zwei Fächer umfasst, von denen eines Physik sein kann. Im Vergleich zum 2-Fach-Bachelor ist in diesem Studiengang der fachliche Anteil reduziert. Dafür ist er sehr praxisnah in Hinblick auf die Sekundarstufe I angelegt und setzt neben dem Fachstudium einen zusätzlichen Schwerpunkt im Bereich der Erziehungswissenschaften.

Um als Lehrerin oder Lehrer tätig werden zu können, muss aufbauend auf das Bachelorstudium ein auf das jeweilige Lehramt (GyGe, BK, bzw. HRGe) ausgerichteter Masterstudiengang mit dem Abschluss

educational setting. Due to the great importance of mathematics to physics, the combination of physics and mathematics in the Bachelor's course with double subject is particularly appropriate. However, combinations with other subjects are also possible.

A separate Bachelor's course is offered for prospective teachers of the 1st to 6th year of **secondary school of German school types Haupt-, Real-, and Gesamtschule** (German abbreviation HRGe). This likewise covers two subjects, one of which being physics. The subject-oriented component of this course is smaller than in the Bachelor's course with two subjects; its structure instead emphasises the educational sciences.

To enter the teaching profession, a student must follow the Bachelor's degree with a Master's course tailored to their specific teaching post (GyGe, BK, or HRGe – see above), culminating in the **Master**

Master of Education (MEd) absolviert werden. Insbesondere im Vergleich zum polyvalenten 2-Fach-Bachelor ist dieser sehr konkret auf das Berufsfeld Schule ausgerichtet. So treten hier die fachlichen Anteile gegenüber den fachdidaktischen und erziehungswissenschaftlichen Anteilen in den Hintergrund. Zusätzlich ist in den zweijährigen Studiengang ein Praxissemester an der Schule integriert.

Das **Lehramt an Grundschulen** umfasst im Bachelorstudiengang ebenfalls ein Physik-Modul, das neben anderen technisch-naturwissenschaftlichen und erziehungswissenschaftlichen Modulen sowie dem Modul *Didaktik des Sachunterrichts* umfassend auf die Arbeit an der Grundschule vorbereitet. Im **Master of Education (G)**-Studiengang werden Forschungsmethoden in der Didaktik des Sachunterrichts, insbesondere empirische Forschungsmethoden eingeführt und vertieft. Hier können auch naturwissenschaftliche Themen Gegenstand der Untersuchung sein.

of Education (MEd) qualification. In contrast to the polyvalent Bachelor's course, this is aimed specifically at the teaching profession. Consequently, the subject-related elements of the course take a back seat with respect to the didactics of physics and educational science aspects. The two-year course also includes a semester-long internship at a school.

Training as a **primary school teacher (German school type Grundschule, abbreviation G)** at **Bachelor level** also includes a physics module, which, in addition to other technical, natural science, and educational science modules and the *Elementary Science Education* module, gives the student a broad basis for working in a primary school. In the **Master of Education (G)** course, methods of elementary science education research are introduced and elaborated upon, in particular empirical research methods. Natural science subjects can also be the object of investigation here.

Semester	Masterstudiengänge für das Lehramt <i>Master Courses for Teaching Profession</i>		
	MEd (GyGe)	MEd (HRGe)	MEd (G)
01	Didaktik der Physik <i>Didactics of Physics</i>	Fachdidaktik I <i>Didactics of Physics I</i>	Lehren und Lernen im Sachunterricht erforschen <i>Researching Teaching and Learning in Science Education</i>
02	Praxissemester <i>Practical Work at School</i>	Praxissemester <i>Practical Work at School</i>	Praxissemester <i>Practical Work at School</i>
03	Experimentelle Übungen <i>Laboratory Courses</i>	Fachdidaktik II <i>Didactics of Physics II</i>	Aktuelle Themen der Sachunterrichtsdidaktik <i>Current Topics in Science Education</i>
04	ggf. Masterarbeit if applicable: Master Thesis	ggf. Masterarbeit if applicable: Master Thesis	ggf. Masterarbeit if applicable: Master Thesis

Im Master of Education treten fachdidaktische Module sowie die Reflexion eigener Schulerfahrungen im Praxissemester in den Vordergrund. Die Masterarbeit kann wahlweise sowohl in der Didaktik als auch der Fachdidaktik, oder aber im zweiten Unterrichtsfach geschrieben werden. The Master of Education programme has a strong emphasis on science-education modules, as well as on the evaluation of one's own teaching experiences during a semester-long internship. The subject of the Master's thesis can be chosen either in physics, science education, or the secondary teaching subject.

> Forschungs- schwerpunkte

> Main Research Fields

› Nanophysik

In Münster ist im letzten Jahrzehnt ein einzigartiges Netzwerk der Nanowissenschaften gewachsen, in das viele Forschergruppen des Fachbereichs Physik und darüber hinaus eingebunden sind. Oberflächenveredlung, intelligente nanoskalige Materialien, Sensoren oder Nanomotoren sind nur einige Beispiele der faszinierenden Anwendungen aus diesem Bereich. Was ist das Besondere an Nanophysik?

Die Nanophysik beschäftigt sich mit Materialien, deren charakteristische Abmessungen auf einer Skala von nur wenigen Nanometern liegen (1 Nanometer = 1 millionst Millimeter). Funktionen auf dieser Skala beruhen auf Prozessen, an denen nur ein paar Atome beteiligt sind. Oft ist es nicht mehr möglich zu entscheiden, ob ein Atom eher der Oberfläche oder dem Volumen zuzurechnen ist. Oberflächeneigenschaften unterscheiden sich häufig drastisch von Volumeneigenschaften. In der Nanophysik treffen diese beiden Bereiche aufeinander, so dass sich unerwartete, neue Materialeigenschaften ergeben.

Ein Beispiel für die außerordentliche technologische Relevanz nanoskaliger Systeme bilden magnetische Schichtstrukturen. Die enorme Zunahme der Speicherkapazität von Festplatten in den vergangenen Jahren wäre undenkbar ohne die Entdeckung des Riesenmagnetowiderstands in Multischichtsystemen, die aus unterschiedlichen magnetischen und unmagnetischen Materialien mit Schichtdicken im Nanometerbereich bestehen. Auch in der Natur finden wir eine große Variabilität der Eigenschaften auf der Nanometerskala. Ein bekanntes Beispiel ist der so genannte Lotuseffekt, d.h. die Selbstreinigungsfähigkeit einer nanostrukturierten Oberfläche. Viele der für den Aufbau und die Funktion von Lebewesen zentralen Moleküle wie

› Nanophysics

Over the past decade, a unique network of the nanosciences has developed in Münster that encompasses many groups of researchers from the Department of Physics and elsewhere. Surface finishing, intelligent nanoscale materials, sensors, and nano-motors are just a few examples of the fascinating applications in this field. What is so special about nanophysics?

Nanophysics deals with materials with characteristic dimensions on a scale of just a few nanometres (1 nanometre = 1 millionth of a millimetre). Features on this scale are based on processes in which only a few atoms are involved. Often, it is no longer possible to determine whether an atom should be assigned to the surface or rather to the bulk, yet surface properties frequently differ drastically from bulk properties. In nanophysics, these two areas meet and the result is unexpected new material properties.

Magnetic layer structures is one example of the extraordinary technological relevance of nanoscale systems. The enormous increase in the memory capacity of hard drives in recent years would be inconceivable without the discovery of the giant magnetoresistance in multilayer systems that consist of different magnetic and nonmagnetic materials with layer thicknesses in the nanometre range. In nature too, we find great variability in the properties on the nanometre scale. A well-known example is the so-called lotus effect, i.e., the self-cleaning capability of a nanostructured surface. Many of the molecules that are key to the structure and functioning of living organisms, such as proteins or the genetic material DNA, also fall into this size class. This means that nano-



Auch in der Natur finden wir eine große Variabilität der Eigenschaften auf der Nanometerskala.

In nature too, we find great variability in the properties on the nanometre scale.

Proteine oder die Erbsubstanz DNA gehören ebenfalls dieser Größenklasse an, so dass die Nanophysik hier natürliche Anknüpfungspunkte an Nachbardisziplinen wie Chemie, Biologie und Medizin hat.

Die Themenfelder des Forschungsschwerpunktes Nanophysik an der Universität Münster erstreckt sich von magnetischen Materialien und Halbleiterstrukturen über nanokristalline Materialien bis hin zur Untersuchung von organischen Molekülen und lebenden Zellen. Im Fachbereich Physik wird der Forschungsschwerpunkt Nanophysik wesentlich vom **Physikalischen Institut**, dem **Institut für Materialphysik** und dem **Institut für Festkörpertheorie** getragen. Darüber hinaus wirken auch Arbeitsgruppen aus dem Institut für Angewandte Physik und dem Institut für Theoretische Physik mit ihren Aktivitäten an der Schnittstelle zwischen nichtlinearer Physik und Nanophysik bei der Forschung in diesem Schwerpunkt mit.

Die Forschungsaktivitäten im Schwerpunkt Nanophysik sind eng verknüpft mit den Angeboten in der Lehre. Charakteristisch für den Fachbereich – sowohl in der Forschung als auch in der Lehre – ist dabei die enge Verzahnung zwischen Theorie und Experiment. Bereits in den Bachelorstudiengängen werden grundlegende Konzepte der Nanophysik vermittelt. Im Masterstudiengang sind nanophysikalische Fragestellungen Inhalt von drei verschiedenen Vertiefungsmodulen: **Funktionale Nanosysteme, Materialphysik und Physik dimensionsreduzierter Festkörper**, die von den beteiligten Instituten organisiert werden.

Der Schwerpunkt Nanophysik trägt auch wesentlich die Forschungen im **Centrum für Nanotechnologie (CeNTech)**. In den beiden Gebäuden dieses inter-

physics has a natural overlap with related disciplines such as chemistry, biology, and medicine.

At the University of Münster, the main research areas of nanophysics range from magnetic materials and semiconductor structures through nanocrystalline materials to the investigation of organic molecules and living cells. In the Department of Physics, the research activities in the field of nanophysics are primarily conducted at the **Institute of Physics**, the **Institute of Materials Physics** and the **Institute of Solid State Theory**. These activities are complemented by research groups at the Institute of Applied Physics and the Institute of Theoretical Physics which contribute at the border between nonlinear physics and nanophysics to the research in this key area.

The research activities in the field of nanophysics are reflected in the content of the teaching curriculum. A close interrelationship between theory and experiment – in terms of both research and teaching – is characteristic of the department. Basic nanophysics concepts are taught as early as in the Bachelor's courses. In the Master's programme, nanophysics subjects comprise three advanced modules: **Functional nanosystems, materials physics, and the physics of low-dimensional solids**. These are jointly organised by the participating institutes.

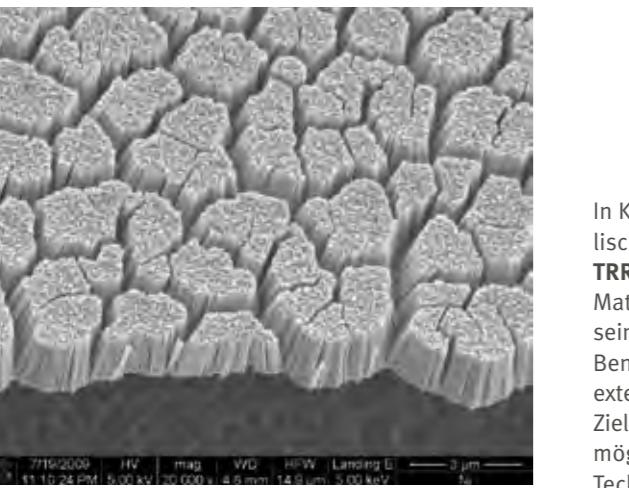
Groups from the research field of nanophysics also contribute significantly to the activities carried out at the **Centre for Nanotechnology (CeNTech)**. In the two buildings of this interdisciplinary centre specific conditions for nanoresearch are maintained, such as clean rooms and a floor that is particularly resistant to vibrations. The centre's interdisciplinary nature is

disziplinären Zentrums wurden spezifische Voraussetzungen für die Nanoforschung wie Reinräume und ein besonders schwingungsarmer Boden geschaffen. Fachübergreifend betreiben hier auch Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus Biologie, Chemie und Medizin Labore. Neben dem Erkenntnisgewinn im Bereich der Nanowissenschaften steht die Umsetzung in technisch anwendbare Verfahren und Produkte im Mittelpunkt. So sind aus den Forschungsgruppen ausgetragene Start-up-Firmen ein integraler Bestandteil von CeNTech.

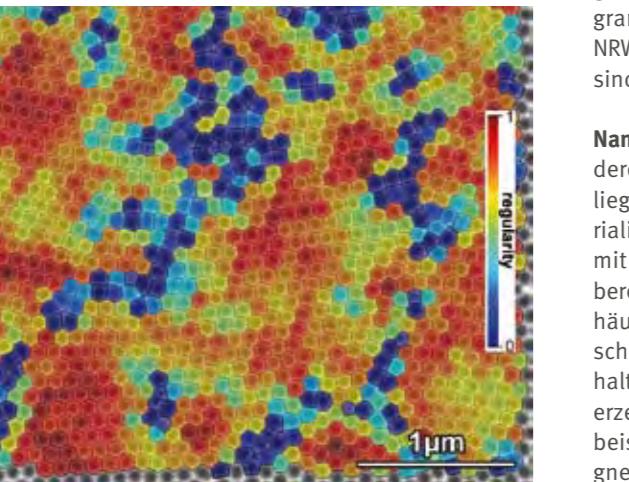
evident from the presence of biological, chemical, and medical laboratories. Besides gaining knowledge in the field of nanosciences, the focus is also on realising technologically feasible processes and products. Consequently, start-up companies spun off from the research groups are an integral component of CeNTech.



Physiker und Physikerinnen arbeiten im Centrum für Nanotechnologie (CeNTech) in interdisziplinären Forschungsgruppen und mit ausgetragenen Start-up-Firmen zusammen. At the Centre for Nanotechnology, physicists cooperate in interdisciplinary scientific teams and with new start-up companies.



Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme von magnetischen Nanodrähten aus Nickel, welche durch Deposition in eine selbstorganisierte Aluminiumoxid-Membran hergestellt wurden. / Scanning electron microscopy image of nickel nanowires that were synthesized by deposition onto a self-assembled aluminium oxide membrane.



Überlagerung der Falschfarben-Darstellung der Regularität von senkrechten Poren in einer selbstorganisierten Aluminiumoxid-Membran mit der Mikrostruktur der Membran.

False-colour representation of the pore regularity in a self-assembled aluminium oxide membrane overlaid upon the actual microstructure of the membrane.

In Kooperation mit der Organischen und der Physikalischen Chemie werden im **Sonderforschungsbereich TRR 61 Beijing – Münster** schaltbare, responsive Materialien erzeugt und untersucht, die in der Lage sein sollen, ihre Form, Funktion und Eigenschaften wie Benetzung und Transmissionsverhalten auf einen externen Stimulus hin zu verändern. Dieses ehrgeizige Ziel ist nicht mit konventioneller „Reagenzglas“-Chemie möglich, sondern soll mit speziellen katalytischen Techniken der Nanophysik u.a. im Ultrahochvakuum erreicht werden.

Im Forschungsschwerpunkt sind derzeit **zwei Nachwuchsgruppen** tätig, deren Leiter bzw. Leiterin aufgrund von hochangesehenen externen Förderprogrammen (Emmy-Noether-Programm der DFG bzw. NRW-Rückkehrerprogramm) in die Lage versetzt worden sind, eigenständige Arbeitsgruppen aufzubauen.

Nanokristalline Materialien bestehen aus Kristalliten, deren Größen im Bereich von wenigen Nanometern liegen. Das von den inneren Grenzflächen der Materialien beeinflusste Volumen ist dann vergleichbar mit dem Volumen der Kristallite selbst. Da sich wie bereits erwähnt die Eigenschaften von Grenzflächen häufig drastisch von denjenigen im Volumen unterscheiden, zeigen nanokristalline Materialien ein Verhalten, wie es mit konventionellen Werkstoffen nicht erzeugbar ist. Daraus resultiert eine große Variabilität beispielsweise im mechanischen, elektrischen, magnetischen, optischen und katalytischen Verhalten dieser neuen Funktionsmaterialien, die im Institut für Materialphysik untersucht wird.

Die thermisch oder elektrisch ausgelöste Diffusion zwischen ultradünnen Schichten kann gewünschte

In collaboration with the fields of organic and physical chemistry, the aim of the **Collaborative Research Centre TRR 61 Beijing – Münster** is to create and investigate switchable, responsive materials that are capable of changing their shape, function, and properties such as wettability and transmission behaviour in response to an external stimulus. This ambitious aim is not achievable with conventional “test tube” chemistry. Instead, it can be achieved by means of special catalytic techniques in nanophysics, for example in an ultrahigh vacuum.

Currently, **two junior research groups** are contributing to the research in the field of nanophysics, their group leaders having been given the possibility of establishing independent research groups thanks to prestigious external funding programmes (the Emmy Noether Programme of the German Research Foundation and the returnee programme of the State of North Rhine-Westphalia).

Nanocrystalline materials consist of crystals a few nanometres in size. The volume of the material affected by the inner interfaces is comparable with the volume of the crystallites themselves. Since, as mentioned above, the properties of interface layers are often dramatically different from bulk properties, nanocrystalline materials display desirable properties that conventional materials lack. This results in great variability in, for example, the mechanical, electrical, magnetic, optical, and catalytic behaviour of these new functional materials, which are investigated at the Institute of Materials Physics.

Thermally or electrically triggered atomic transport between ultra-thin layers can give rise to desired

Funktionen auslösen, aber auch die Stabilität von Nanostrukturen gefährden. Solche Prozesse können im Institut für Materialphysik mittels der **tomographischen Atomsonde** sogar quantitativ und in ihrer räumlichen Verteilung Atom für Atom studiert werden. Dieses Analyseverfahren spielt auch bei der Aufklärung von Transportvorgängen in Membranen, wie sie in Brennstoffzellen oder Batterien zum Einsatz kommen, eine große Rolle. Daher bestehen auch enge Kontakte zum MEET-Institut (Münster Electrochemical Energy Technology) an der WWU.

Eine Vielzahl weiterer Analyseverfahren wird im Physikalischen Institut zur Charakterisierung von Materialien im Nanometerbereich eingesetzt. So wird bei der **Raster- und der Transmissions-Elektronen-Mikroskopie** zur Bildgebung die Streuung von schnellen Elektronen an Atomen im zu untersuchenden Objekt ausgenutzt. Durch Analyse des Energieverlustes der Elektronen gelingt es darüber hinaus, mit hoher Ortsauflösung auf die Elementzusammensetzung der Probe zu schließen.

Die Verteilung von Elementen und Molekülen in den verschiedenen Probensystemen aus den Material-, Geo- und Lebenswissenschaften kann mittels **Sekundärionen-Massenspektrometrie (SIMS)** abgebildet werden. Hier wird die zu untersuchende Probe mit einem sehr feinen Ionenstrahl abgerastert; die von jedem Ort emittierten Ionen werden in einem hochauflösenden Massenspektrometer nachgewiesen. So kann u.a. die Verteilung von pharmazeutischen Wirkstoffen in Gewebe bestimmt werden.

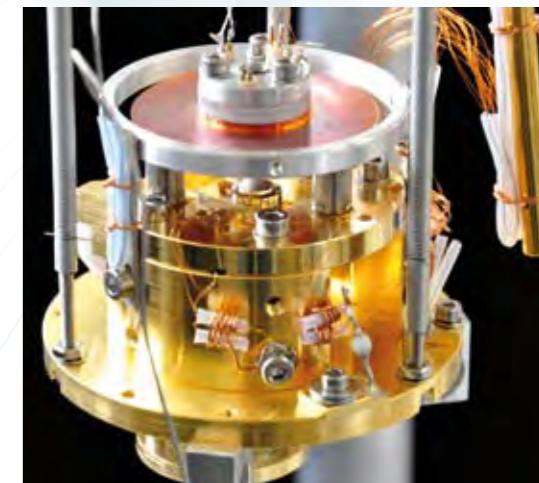
Eine besondere Variante der **Kraftmikroskopie** erlaubt es, die Kraftwirkungen zwischen Atomen in einem

properties, but it can also jeopardise the stability of nanostructures. Using the **tomographic atom probe**, such processes can even be studied atom by atom, quantitatively and in terms of their spatial distribution. This method of analysis also plays a major role in clarifying transport processes in membranes of the type used in fuel cells or batteries. Consequently close links also exist with the MEET (Münster Electrochemical Energy Technology) Institute at the WWU.

At the Institute of Physics, a large number of other analytical methods are used for characterising materials in the nanometre range. In **scanning electron microscopy** and **transmission electron microscopy**, imaging is based on the scattering of fast electrons by the atoms in the object under investigation. By analysing the energy loss of the electrons, it is also possible to draw conclusions about the sample's elemental composition with high spatial resolution.

The distribution of elements and molecules in the various sample systems from materials sciences, geosciences and life sciences can be monitored by means of **secondary ion mass spectrometry (SIMS)**. Here, the sample being investigated is scanned with a very fine ion beam, and the ions emitted from every location are detected in a high-resolution mass spectrometer. This enables, for example, the distribution of pharmaceutical active ingredients to be determined in tissue.

A particular variant of **atomic force microscopy** allows the force effects between atoms in a bond or on surfaces to be directly measured in three dimensions. In combination with optical excitation,



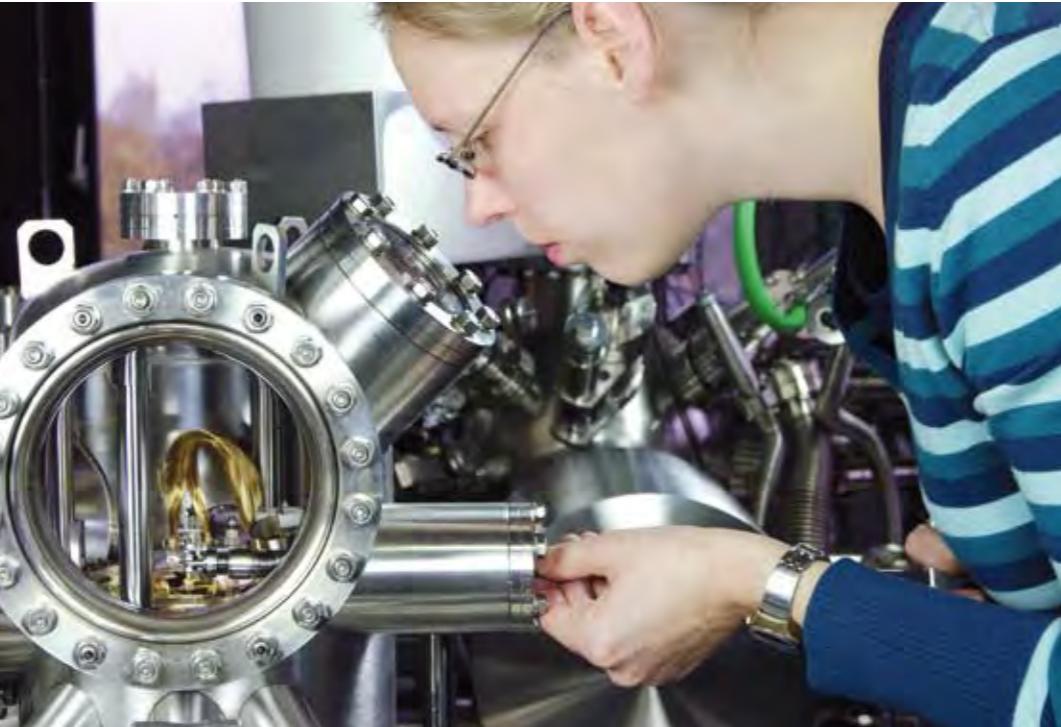
Mit einem auf -269°C abgekühlten Rastertunnelmikroskop können Oberflächen mit atomarer Auflösung abgebildet werden. A scanning tunneling microscope cooled down to -269°C enables atomic-scale resolution of surfaces.

Das Zusammenspiel von Theorie und Experiment ist die Grundlage physikalischer Forschung. The interplay between theory and experiment is at the heart of research in physics.



Verbund oder auf Oberflächen direkt dreidimensional zu vermessen. Durch eine Kombination mit optischen Anregungen kann man lokal mit einer Auflösung von weniger als 10 nm optische Eigenschaften von Systemen, insbesondere auch in Flüssigkeiten, studieren.

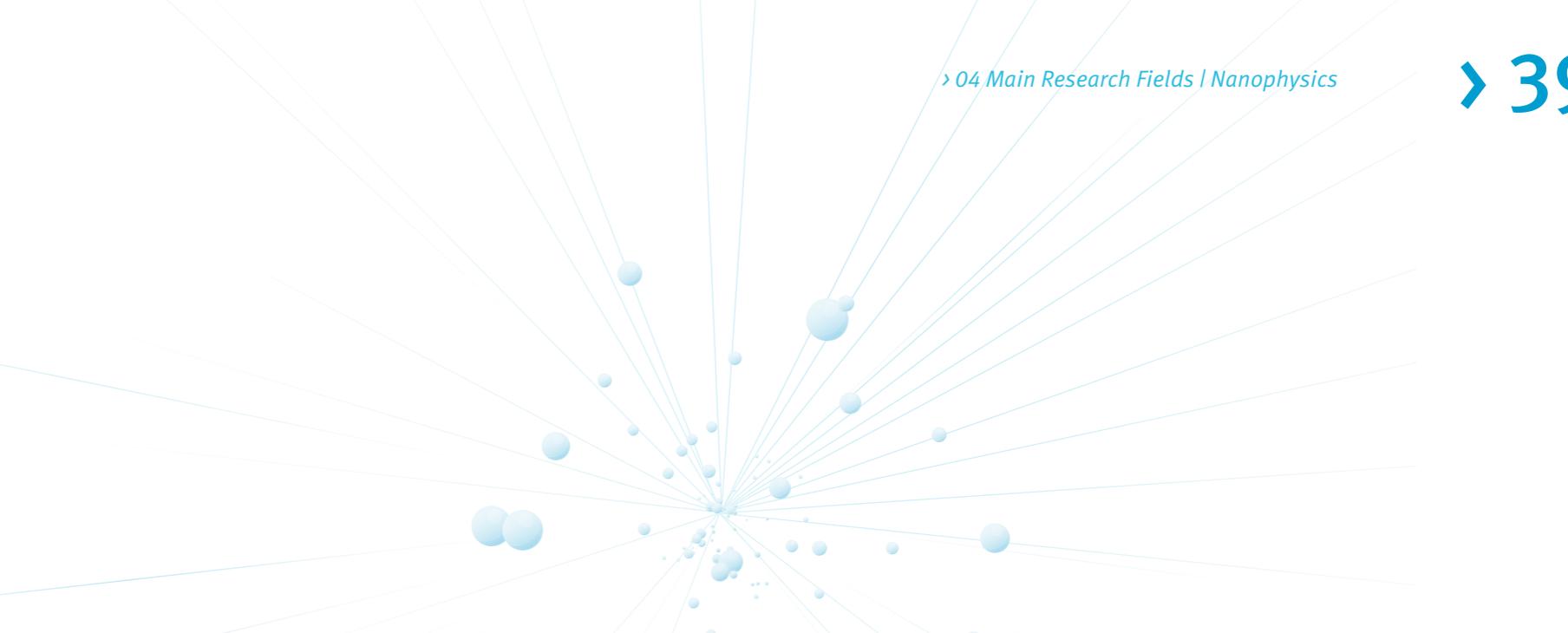
Ultradünne magnetische Schichten spielen, wie bereits erwähnt, eine zentrale Rolle bei der magnetischen Datenspeicherung. Als effiziente Sonde zur Untersuchung von magnetischen Eigenschaften solcher Schichten kann der Eigendrehimpuls, der sogenannte Spin, von Elektronen ausgenutzt werden. Hierzu werden **spinaufgelöste Elektronenspektroskopien** eingesetzt, bei denen der Spin der Elektronen entweder präpariert oder analysiert wird. Im Rahmen der so genannten „Spintronik“ geht man sogar noch einen Schritt weiter und strebt an, den Elektronenspin direkt zur Informationspeicherung und -verarbeitung zu nutzen.



the optical properties of systems (particularly in fluids) can be studied locally at a resolution of less than 10 nm.

As mentioned above, ultra-thin magnetic layers play a central role in magnetic data storage. The intrinsic angular momentum or “spin” of electrons can be used as an efficient probe for investigating magnetic properties. For this purpose, **spin-resolved electron spectroscopies** are used, where the spin of the electrons is either prepared or analysed. The so-called field of “spintronics” goes even further by aiming for a direct use of the electron spin in information storage and processing.

In order to understand the magnetic behaviour of very small structures, their nanomagnetic properties must be investigated at the molecular level. To do this, **scanning tunneling microscopy**



Um das Verhalten sehr kleiner magnetischer Strukturen zu verstehen, müssen deren **nanomagnetische Eigenschaften** auf der molekularen Ebene untersucht werden. Hierzu werden mittels Rastertunnelmikroskopie Atome und Moleküle auf Oberflächen bei tiefen Temperaturen gezielt bewegt, um damit magnetische Moleküle zu erzeugen. Als Fernziel sollen damit Beiträge zum Verständnis extrem miniaturisierter magnetischer Datenspeicher und möglicher Bauelemente für die Spintronik geleistet werden.

Organische Moleküle zeigen auf geeigneten Trägern oft großflächig das Phänomen der Selbstorganisation, womit man **nanostrukturierte Schichten** erzeugen kann. Die Vielfalt organischer Moleküle erlaubt es, durch Wahl entsprechender Endgruppen funktionale Materialien und somit auch Schichten mit ganz neuen, maßgeschneiderten Eigenschaften herzustellen. Ein Beispiel sind farbige organische Leuchtdioden (OLED's), die für Bildschirme oder sogar flächige Beleuchtungen entwickelt werden.

Von zentraler Bedeutung für den Stoffwechsel von Organismen sind **Transportprozessen an biologischen Membranen**. Diese werden mittels optischer Nahfeld-Mikroskopie und Nanoantennen untersucht, um so optische Informationen mit einer räumlichen Auflösung zu erhalten, die um einen Faktor zehn kleiner als die Wellenlänge des Lichtes ist. Solch kleine Längenskalen sind mit konventioneller Optik nicht zugänglich.

is used to move atoms and molecules on surfaces at low temperatures in a controlled manner in order to create magnetic molecules. The ultimate goal here is to contribute to the understanding of extremely miniaturised magnetic data storage devices and possible components for spintronics applications.

On suitable substrates, organic molecules often exhibit the phenomenon of self-organisation, which makes it possible to create **nanostructured layers**. By selecting corresponding end groups, the wide variety of organic molecules allows for the creation of functional materials and therefore also layers with completely new, customised properties. One example is coloured organic light-emitting diodes (OLEDs) that are developed for screens and flat surface lighting.

Transport processes on biological membranes are of central importance to the metabolism of living organisms. These are investigated by means of near-field optical microscopy and nano-antennae in order to obtain optical information with a spatial resolution ten times smaller than the wavelength of light. Such small length scales are not accessible with conventional optical set-ups.

Photo-induced electron transfer processes at interfaces and membranes allow catalytic reactions, information transfer, and much more. Here, the primary processes occur on a time scale of a few femtoseconds (1 femtosecond = 1 millionth of a billionth

Elektronentransferprozesse ermöglichen an Grenzschichten und Membranen katalytische Reaktionen, photoinduzierte Prozesse, Informationstransfer und vieles mehr. Die primären Prozesse laufen dabei auf der Zeitskala von wenigen Femtosekunden (1 Femtosekunde = 1 Millionstel einer milliardstel Sekunde) ab. Für eine Aufklärung dieser grundlegenden elektronischen Dynamik werden **ultrakurze Laserpulse** eingesetzt. Untersuchungsobjekte sind Graphen, Fullerene und mit organischen Molekülen funktionalisierte Substrate. Methodenentwicklung und Anwendung von intensiven Femtosekundenpulsen von Freien Elektronenlasern wird im Rahmen des **Forschungsschwerpunkts „FLASH“** des Bundesministeriums für Bildung und Forschung geleistet, mit denen zukünftig mit holographischen Verfahren die Strukturen von komplexen Biomolekülen abgebildet werden sollen.

Femtosekunden-Laserpulse werden auch zum Studium fundamentaler ultraschneller Prozesse in nanoskopischen Systemen basierend auf Halbleitern, Isolatoren und Metallen eingesetzt. Besonderes Interesse gilt hier sogenannten Hybridsystemen aus diesen Materialien, welche neue Funktionalitäten im Bereich der Spintronik, Quantenoptik und Plasmonik eröffnen, die mit Methoden der **ultraschnellen Nanooptik** untersucht werden.

Fortschritte beim Verständnis der Eigenschaften von Grenzflächen und Nanostrukturen werden nicht nur durch präzise Experimente erzielt, sondern auch durch eingehende **theoretische Untersuchungen**, wie sie im Institut für Festkörpertheorie durchgeführt werden. Die Entwicklung von theoretischen Verfahren und deren numerische Umsetzung in Höchstleistungsrechnern gehen dabei Hand in Hand.

Grundlage für das Verständnis von elektronischen, mechanischen, optischen und magnetischen Eigenschaften bildet eine genaue Kenntnis der elektronischen und atomaren Struktur des untersuchten Materials. Diese können auf quantenmechanischer Basis mit so genannten *ab initio* Methoden (d.h. Methoden, die ohne anpassbare Parameter auskommen) wie beispielsweise der **Dichtefunktionaltheorie**

of a second). **Ultra-short laser pulses** are used to analyse these fundamental electronic dynamics. Materials under investigation are graphene, fullerenes, and substrates with organic molecules. Methodological development and application of intense femtosecond pulses from free electron lasers are performed within the framework of the **“FLASH” research focus** of the Federal Ministry of Education and Research with the ultimate goal to map the structures of complex biomolecules using holographic processes.

Femtosecond laser pulses are also used for studying fundamental ultraschnell processes in nanoscopic systems based on semiconductors, insulators, and metals. There is particular interest here in so-called “hybrid” systems made from these materials, which open up new properties in the area of spintronics, quantum optics, and plasmonics that are investigated by using **ultrafast nano-optic methods**.

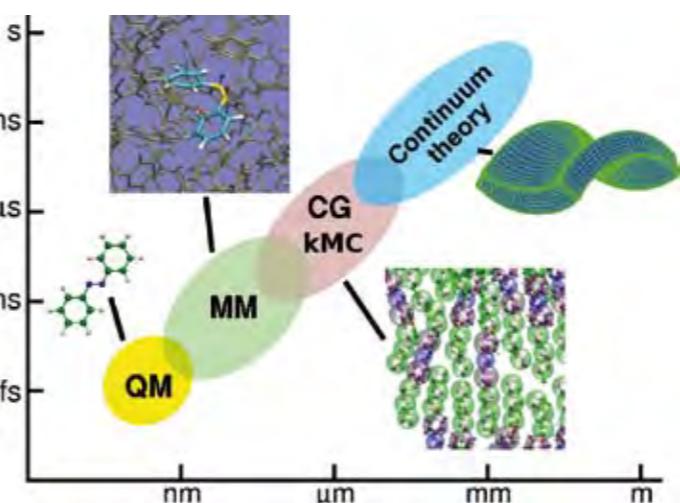
Advances in understanding the properties of surfaces, interfaces, and nanostructures are made not only via precise experimental studies but also through detailed **theoretical investigations** as undertaken at the Institute of Solid State Theory. The development of theoretical models and their numerical implementation in high-performance computing go hand in hand here.

The detailed knowledge of the electronic and atomic structure of the material being investigated forms the basis for understanding electronic, mechanical, optical, and magnetic properties. These can be calculated on a quantum-mechanical basis using what are known as *ab initio* methods (i.e., methods that do not use adjustable parameters), for example **density functional theory** and its extension by **many-body methods**.

In the case of functional nanostructures, the main focus is on non-covalent interactions between individual constituents, mostly organic molecular groups. These are highly relevant for self-assembly in ordered systems and for molecular recognition. Here,

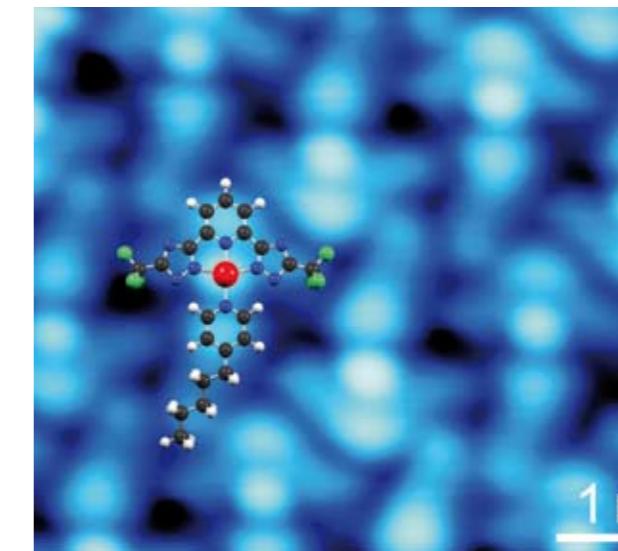
sowie darauf aufbauender **Vielteilchenmethoden** berechnet werden. Bei funktionalen Nanostrukturen stehen die nicht-kovalenten Wechselwirkungen zwischen einzelnen Konstituenten, meistens organische Molekülgruppen, im Mittelpunkt des Interesses. Diese spielen bei der Selbst-Assemblierung in geordneten Systemen oder der molekularen Erkennung eine große Rolle. Die erwähnten quantenmechanischen Methoden werden dann um **molekulardynamische Simulationen** erweitert.

Einen weiteren Bereich der theoretischen Arbeiten bildet die theoretische Untersuchung und Modellierung **ultraschneller dynamischer Prozesse in nanostrukturierten Systemen**. Ein Schwerpunkt liegt hierbei auf der optischen Kontrolle von Halbleiter-Quantenpunktstrukturen, deren Zustand durch geeignete Anregungen mittels ultrakurzer Laserpulse gezielt gesteuert und manipuliert werden kann, was für zukünftige Anwendungen z.B. im Bereich der Quanteninformationstheorie von großer Bedeutung ist.



the quantum-mechanical methods mentioned above are supplemented with **molecular dynamics simulations**.

The theoretical investigation and modelling of **ultrafast dynamical processes in nanostructured systems** is another area of theoretical exploration. Special emphasis here is on the optical control of semiconductor quantum dot structures. The quantum state of these systems can be controlled and manipulated by means of suitable excitations using ultra-short laser pulses. This is of great importance to future applications such as in the field of quantum information theory.



Links: Die Dynamik einzelner Moleküle wird durch die Quantenmechanik beschrieben. Für immer größere Zeit- und Längenskalen können jeweils passende theoretische Näherungsmethoden verwendet werden.
Rechts: Rastertunnelmikroskopische Aufnahme einzelner Moleküle auf einer Oberfläche.
Left: The dynamics of single molecules can be described by quantum mechanics. For increasing time- and length scale, suitable approximate theoretical models can be applied. (QM: Quantum Mechanics, MM: Molecular Mechanics, CG/kMC: Coarse-Grained kinetic Monte Carlo).
Right: Scanning tunnelling microscopy image of single molecules on a surface.

› Nichtlineare Physik

In der Natur bilden sich komplexe Strukturen wie Bäume, das Wetter oder Gesellschaften von alleine. Was sind die Gesetzmäßigkeiten dahinter? Warum entstehen in manchen Fällen durch Selbstorganisation hochgeordnete Strukturen, während andere Systeme gerade ein ausgesprochen ungeordnetes, chaotisches Verhalten zeigen? Solche Fragen stehen im Mittelpunkt des Forschungsschwerpunkts Nichtlineare Physik.

Die Gemeinsamkeit der hier untersuchten Systeme ist, dass sie aus vielen Einzelteilen zusammengesetzt sind, die auf ganz unterschiedliche Weise miteinander wechselwirken. Im Zusammenspiel der Bausteine miteinander entstehen dabei ganz neue Verhaltensweisen und Muster. Für alle diese Systeme gilt: Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile! Die Konzepte zur Beschreibung solcher komplexer Systeme gehen weit über die Physik hinaus, deshalb hat sich für dieses Forschungsgebiet der Begriff „Nonlinear Science“ herausgebildet. Entsprechend werden in Münster diese Fragen auch in hohem Maße interdisziplinär zusammen mit Forscherinnen und Forschern aus anderen Fachbereichen bearbeitet.

› Nonlinear Physics

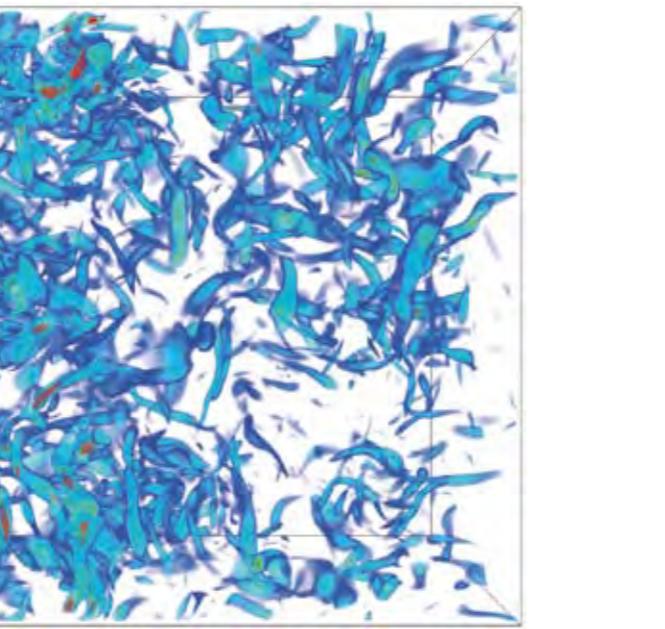
In nature, complex structures such as trees, the weather, and societies form on their own. What are the laws behind this? Why do highly-ordered structures arise through self-organisation in some cases, whereas other systems develop extremely disordered, chaotic behaviour? These questions are the focus of the research field of Nonlinear Physics.

The common feature of the systems investigated here is that they are made up of many individual parts that interact with each other in very different ways. As the elements interact, this gives rise to completely new ways of behaviour and patterns. For all these systems we find: The whole is more than the sum of its parts! The concepts for describing these complex systems extend far beyond physics, and this has given rise to the term “nonlinear science” to describe these areas of research. Accordingly, in Münster these questions are to a great extent dealt with on an interdisciplinary basis, involving researchers from several departments.



Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile!

The whole is more than the sum of its parts!



Wirbelfeld aus einer numerischen Simulation einer turbulenten Strömung.
Vorticity field from a numerical simulation of a turbulent flow.

Sandhaufen, Laser oder das Gehirn sind Beispiele für solche Systeme, die aus vielen Teilen zusammengesetzt sind und deren komplexes Verhalten durch die Wechselwirkung dieser Teile zustande kommt.

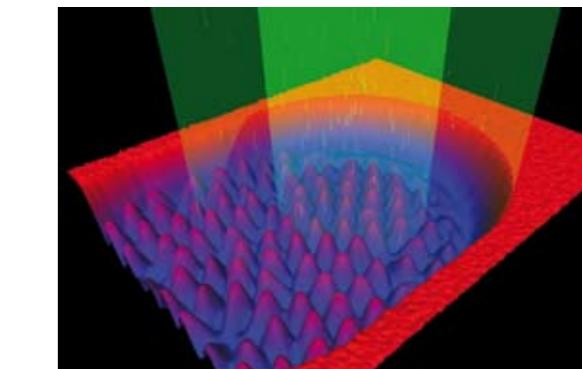
Sandrippel am Strand entstehen erst durch Selbstorganisation vieler Sandkörner, der Laser funktioniert nur durch die Wechselwirkung vieler Lichtteilchen – den Photonen – mit den Atomen eines Lasermaterials, und das Gehirn kann erst durch das komplexe Mit-einander vieler Neuronen „denken“. Wie und warum gerade die beobachteten Strukturen entstehen, ist in vielen Fällen noch nicht verstanden. Dennoch beginnen bereits heute Forscherinnen und Forscher, das komplexe Verhalten mit Konzepten wie Chaos, Selbstorganisation oder Strukturbildung immer besser zu verstehen und entwickeln auf der Basis dieser Erkenntnisse neue Anwendungen.

Sand heaps, lasers, and the brain are examples of systems that consist of many parts, and whose complex behaviour results from the interaction of these parts.

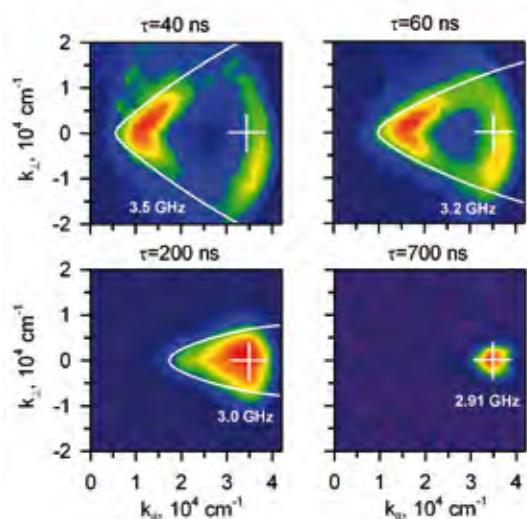
Self-organisation of many grains of sand is required to create sand ripples on the beach, the laser works only through the interaction of many light particles – photons – with the atoms of a laser material, and the brain can only “think” as a result of complex interrelationships between many neurons. In many cases, we do not yet understand precisely how and why these observed structures are created. Nevertheless, researchers are already gaining a better understanding of this complex behaviour using concepts such as chaos, self-organisation, and structure formation, and are developing new applications on the basis of these findings.

Der Fachbereich Physik der Universität Münster gehört international zu den Spitzenforschungszentren in Nonlinear Science. Die im Forschungsschwerpunkt Nichtlineare Physik bearbeiteten Themen umfassen ein breites Spektrum experimenteller und theoretischer Fragestellungen, die diesen Schwerpunkt insbesondere mit dem Schwerpunkt Nanophysik, aber auch mit dem Schwerpunkt Geophysik verbinden. Das komplexe Verhalten von optischen, photonischen und magnetischen Systemen, aber auch die nichtlineare Physik von technologisch relevanten Feldern wie Fluiden, Gasen, Polymeren und granulären Systemen sind Inhalt der Arbeiten im **Institut für Angewandte Physik** und im **Institut für Theoretische Physik**, die diesen Forschungsschwerpunkt hauptsächlich tragen. Aber auch in anderen Instituten wie dem Institut für Geophysik, dem Institut für Festkörpertheorie und dem Physikalischen Institut werden Fragestellungen mit engem Bezug zur nichtlinearen Physik bearbeitet.

Aspekte der nichtlinearen Physik fließen an vielen Stellen bereits in Veranstaltungen des Bachelorstudiengangs ein. Im Masterstudium können Studierende entsprechend den Forschungsthemen der Arbeitsgruppen die Vertiefungsfächer **Nichtlineare Physik** sowie **Photonik und Magnonik** wählen. Neben einführenden Vorlesungen werden in jedem Semester verschiedene Fachvorlesungen und Seminare angeboten und insbesondere Praktika in Kleingruppen durchgeführt. Der Forschungsschwerpunkt ist zudem in zahlreiche internationale Forschungsprojekte mit Partnern in Europa, Australien und Asien eingebunden, so dass Auslandsaufenthalte leicht in das Studium oder eine Promotion integriert werden können.



Numerische Simulation der Oberflächenentwicklung von Halbleitern bei fokussierter Ionenstrahlerosion.
Numerical simulation of the surface evolution of semiconductors during focussed ion-beam erosion.



Bose-Einstein-Kondensation von Magnonen (d.h. den Quanten der Spinpräzession) bei Raumtemperatur, abgebildet mit Lichtstreupektroskopie: die Magnonen sammeln sich nach einiger Zeit in einem Punkt und bilden einen makroskopisch kohärente Zustand. Bose-Einstein condensate of magnons (the quantum of spin precession) at room temperature, directly mapped using light-scattering spectroscopy: eventually the magnons accumulate in one point and build a macroscopically coherent state.



Der Fachbereich Physik ist maßgeblich an dem deutschlandweit einzigartigen **Center for Nonlinear Science (CeNOS)** der Universität Münster beteiligt – einer interdisziplinären Einrichtung, die Fragestellungen nichtlinearer Systeme in vielen aktuellen Querschnittstechnologien – von Mathematik und Informatik, Physik, Chemie und Pharmazie über Medizin und Sportwissenschaft bis hin zu den Wirtschaftswissenschaften – untersucht. Fortgeschrittene Studierende können die Veranstaltungen dieses Zentrums belegen und ihre Abschlussarbeiten interdisziplinär gestalten.

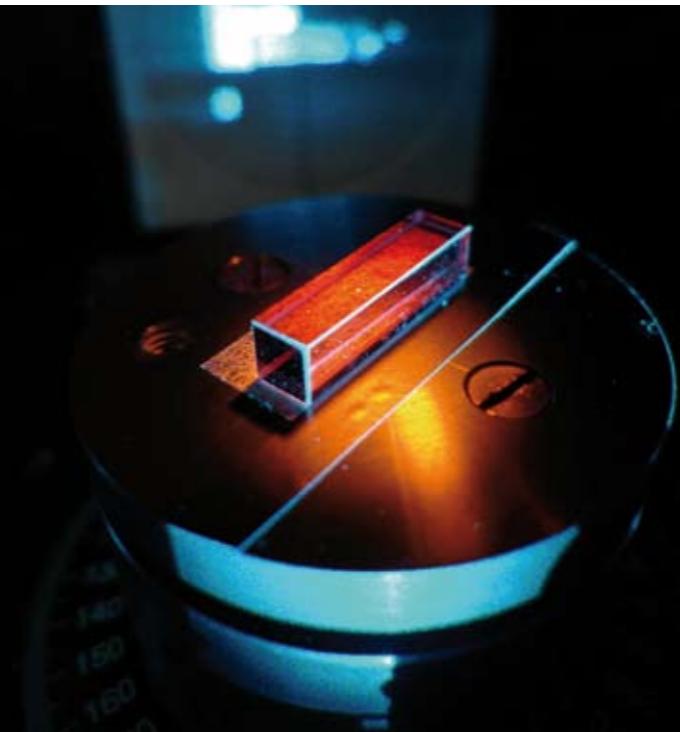
Im Institut für Angewandte Physik werden vier verschiedene Forschungsbereiche bearbeitet. Im Bereich **Nichtlineare Magnetische Dynamik** wird die nichtlineare Dynamik magnetischer Nanosysteme, und hier insbesondere die Dynamik von Spinwellen, untersucht. Bei Spinwellen handelt es sich um fundamentale Anregungen der elementaren magnetischen Momente, die aus ihrer geordneten Ruhelage ausgelenkt werden. An der Universität Münster ist für solche Spinwellen erstmals der Nachweis eines besonderen quantenmechanischen Grundzustandes gelungen, dem sogenannten Bose-Einstein-Kondensat, was international für Aufsehen gesorgt hat.

Im Zentrum des Forschungsbereichs **Nichtlineare Photonik** steht die Vision, vollständig optische Systeme für Anwendungen in Informationstechnologie und Biomedizin zu realisieren. Dies verlangt die Kontrolle von Licht in all seinen Eigenschaften. Dazu sind raumzeitliche nichtlineare Effekte und deren Kontrolle von großer Bedeutung. Zu den aktuellen Forschungsthemen gehören zum einen die Realisierung neuer Strukturen und Systeme für die Datenkommunikation, Lichtpropagation

The Department of Physics is significantly involved in Germany's unique **Centre for Nonlinear Science (CeNOS)** at the University of Münster – an interdisciplinary centre that investigates questions relating to nonlinear systems in many current interdisciplinary technologies – from mathematics and information technology, physics, chemistry and pharmacy to medicine, sports science, and economics. Advanced students can attend this Centre's courses and make their final thesis interdisciplinary.

Four different areas of research are covered at the Institute of Applied Physics. The nonlinear dynamics of magnetic nanosystems, in particular the dynamics of spin waves, is the subject of investigation in the research area **nonlinear magnetic dynamics**. Spin waves are fundamental excitations of the elementary magnetic moments that are dispersed from their ordered resting position. On this subject, the University of Münster attracted international attention when its researchers found the first-ever evidence of a special quantum mechanical ground state known as Bose-Einstein condensate.

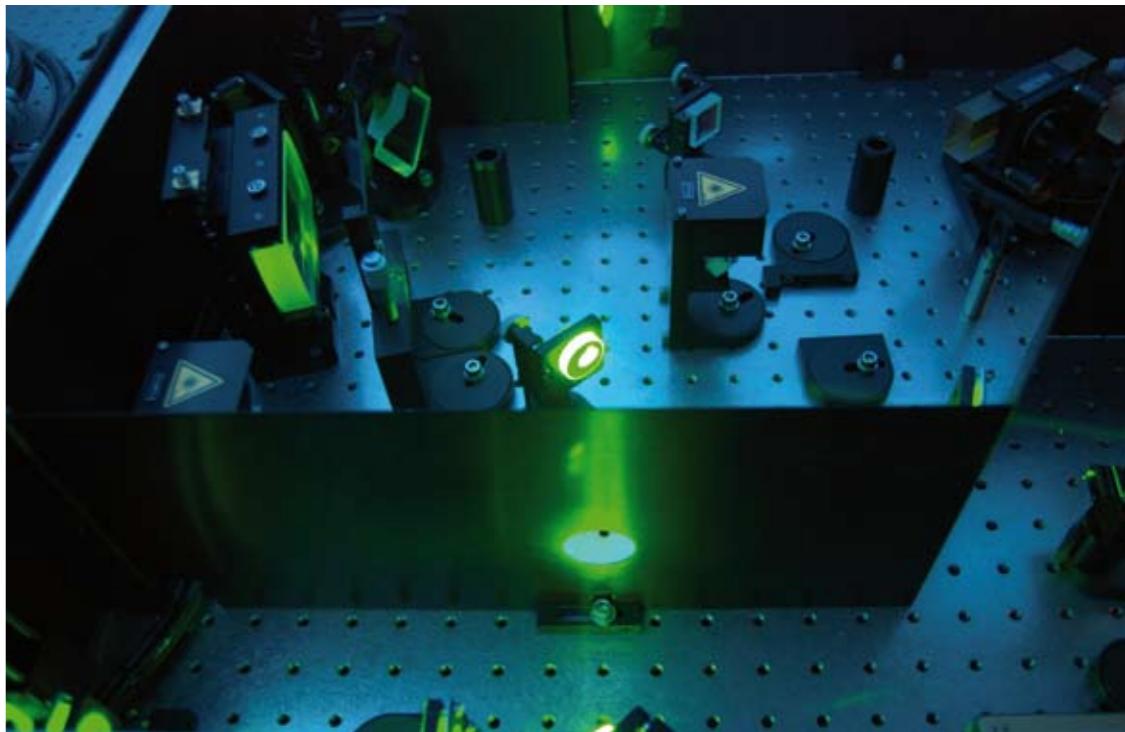
The vision of realising completely optical systems for applications in information technology and biomedicine is the focus of the research area known as **nonlinear photonics**. This requires the control of all of light's properties, with spatio-temporal nonlinear effects and their control being of particular importance. Current research topics include the creation of new structures and systems for data communication, light propagation in randomly arranged materials, and new processes in microscopy and optical manipulation ("optical tweezers") on the basis of nonlinear refractive index changes.



in zufällig angeordneten Materialien sowie neue Verfahren der Mikroskopie und optischer Manipulation („optische Pinzette“) auf der Basis nichtlinearer Brechungsindexänderungen.

Im Forschungsbereich **Optische Technologien** wird sowohl die zeitliche und räumliche Wechselwirkung sowie Kontrolle von optischen Wellen in photonischen Wellenleitern als auch in geordneten oder ungeordneten Strukturen aus nichtlinearen oder laseraktiven Nanopartikeln untersucht. Speziell werden nichtlineare Materialeigenschaften ausgenutzt, um beispielsweise extrem breitbandiges Licht (sogenannte Superkontinua) oder Frequenzkämme zu erzeugen, die in der Präzisionsmesstechnik eingesetzt werden können.

Die Strukturierung unterschiedlicher optischer Materialien und metallischer Oberflächen steht im Zentrum des Forschungsbereichs **Nichtlineare optische Lithographie**. Hier werden ultrakurze



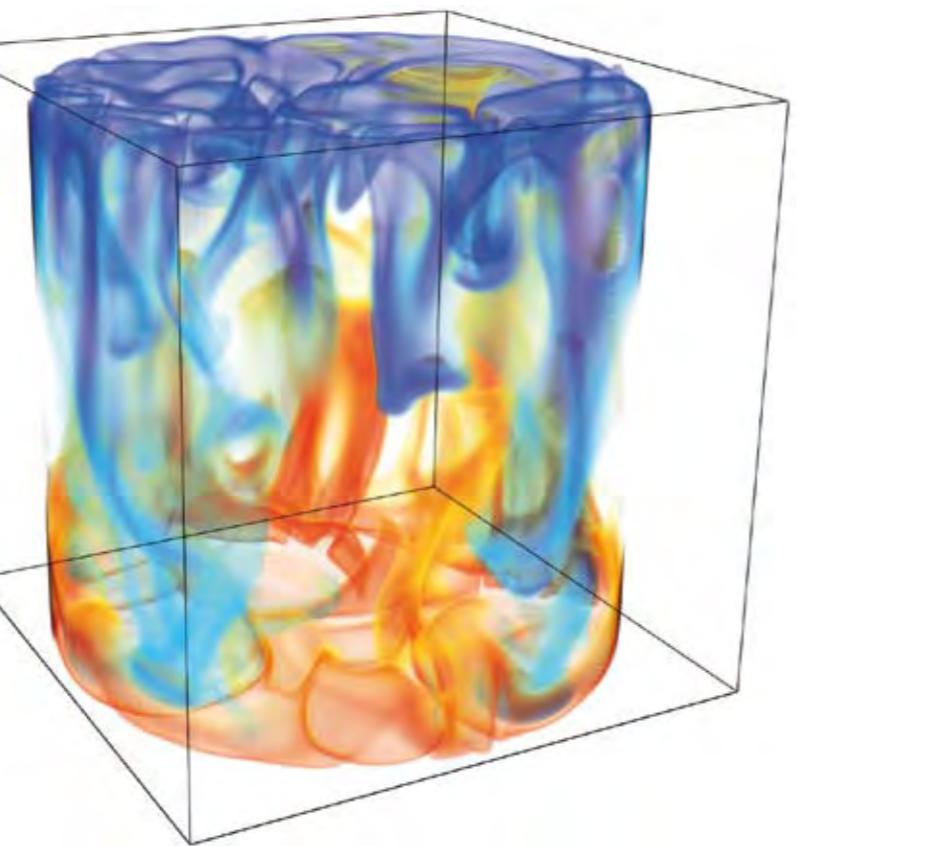
The research area of **optical technologies** investigates both the temporal and spatial interactions between, and the control of, optical waves in photonic waveguides as well as in ordered and disordered structures made of nonlinear or laser-active nano-particles. In particular, nonlinear material properties are used, for example, to generate extremely broadband light (known as supercontinua) and frequency combs that can be used in precision metrology.

The structuring of different optical materials and metallic surfaces is at the centre of the research field of **nonlinear optical lithography**. Here, ultra-short laser pulses are used in order to create the corresponding structures directly in various types of materials.

These four experimental research areas are supplemented by two theoretical research areas that are based in the Institute of Theoretical Physics. The research area of **self-organisation and**

In nichtlinearen photonenischen Materialien kann Licht verlangsamt werden (links) oder ultrakurze Pulse zur nichtlinearen Materialstrukturierung verwendet werden (rechts). In nonlinear photonic materials, light may be slowed down (left), or ultra-short pulses may be used for the nonlinear structuring of these materials (right).

Temperaturfeld in einer zylindrischen Konvektionszelle, erhalten aus einer numerischen Simulation. Warme und aufsteigende Flüssigkeit ist rot, kalte und absinkende Flüssigkeit blau dargestellt. Temperature field in a cylindrical convection cell, obtained from a numerical simulation. Warm, rising fluid is shown in red, while cold, sinking fluid is shown in blue.



Laserpulse verwendet, um damit die entsprechenden Strukturen direkt in verschiedene Typen von Materialien zu schreiben.

Diese experimentell orientierten Forschungsbereiche werden ergänzt durch zwei theoretisch orientierte Bereiche, die im Institut für Theoretische Physik angesiedelt sind. Im Forschungsbereich **Selbstorganisation und Komplexität** werden Systeme in Zuständen fern vom thermischen Gleichgewicht behandelt. Es zeigt sich, dass solche Systeme häufig ein erstaunlich universelles Verhalten aufweisen. Im Zentrum der Untersuchungen steht die Erforschung

complexity deals with systems in states far from thermal equilibrium. It is apparent that these systems frequently display surprisingly universal behaviour. Research related to such universal properties is therefore central to the investigations. Examples of phenomena explored here are hydrodynamic instabilities, turbulence, nonlinear optical structure formation, and nonlinear dynamics in biological systems.

Finally, the research area of **structure formation and nonlinear dynamics** is mainly devoted to the modelling and theoretical

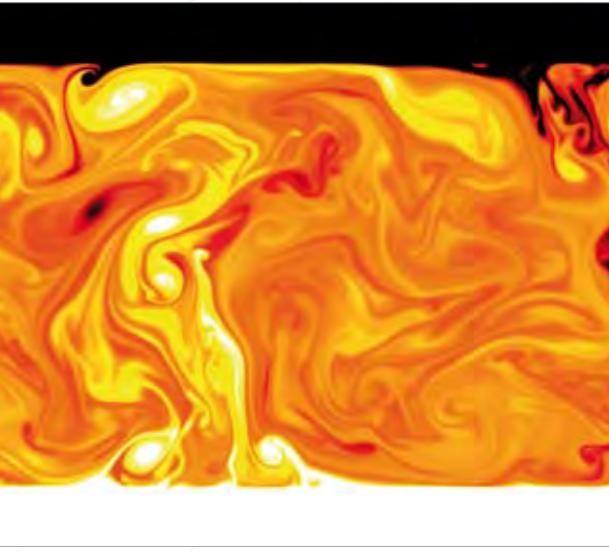
solcher universeller Eigenschaften. Beispiele für hier untersuchte Phänomene sind hydrodynamische Instabilitäten, Turbulenz, nichtlineare optische Strukturbildung sowie nichtlineare Dynamik in biologischen Systemen.

Der Forschungsbereich **Strukturbildung und nichtlineare Dynamik** widmet sich der Modellierung und theoretischen Analyse raumzeitlicher Dynamik in Systemen, die spontan durch das Wechselspiel von Nichtgleichgewicht, Nichtlinearität und Dissipation ihr Verhalten ändern. Spezifisch untersuchte Fragestellungen sind derzeit beispielsweise die Dynamik granularer Materie, die Strukturbildung bei Depositions- und Erosionsprozessen und Aspekte der Theorie dynamischer, insbesondere chaotischer Systeme.



analysis of spatio-temporal dynamics in systems that change their behaviour spontaneously due to the interactions of non-equilibrium, nonlinearity, and dissipation. Examples of topics currently under investigation are the dynamics of granular materials, structure formation in deposition and erosion processes, and aspects of the theory of dynamical (particularly chaotic) systems.

Temperature field während des Aufheizens einer Flüssigkeit. Warme Flüssigkeit steigt von unten auf, kalte Flüssigkeit sinkt von oben hinab. Links ist der Beginn, rechts ein weiter fortgeschrittenes Zustand des Aufheizvorgangs gezeigt. Temperature field during the heating of a fluid. Warm fluid rises up from the bottom, cold fluid sinks down from the top. The left and right panel show an early and an advanced state of the heating process, respectively.



› Teilchenphysik



Wie ist das Universum entstanden? Woraus besteht die Materie? Was ist es, was die Welt im Innersten zusammenhält? Diesen Fragen, die so alt sind wie die Menschheit, gehen Physikerinnen und Physiker im Forschungsschwerpunkt Teilchenphysik auf den Grund.

Untersucht werden dazu die Eigenschaften der kleinsten Bausteine der Materie und ihre fundamentalen Wechselwirkungen. Diese sind entscheidend für die Entwicklung des Universums, insbesondere in der Anfangsphase kurz nach dem Urknall, als Quantenfluktuationen die Antimaterie zum Verschwinden brachten, Quarks und Gluonen sich zu Protonen und diese sich mit Elektronen zu Wasserstoff verbanden, der schließlich die Bildung von Sternen und Galaxien ermöglichte. Gerade in jüngster Zeit haben Beobachtungen in der Kosmologie zu unerwarteten Rückschlüssen in der Teilchenphysik geführt.

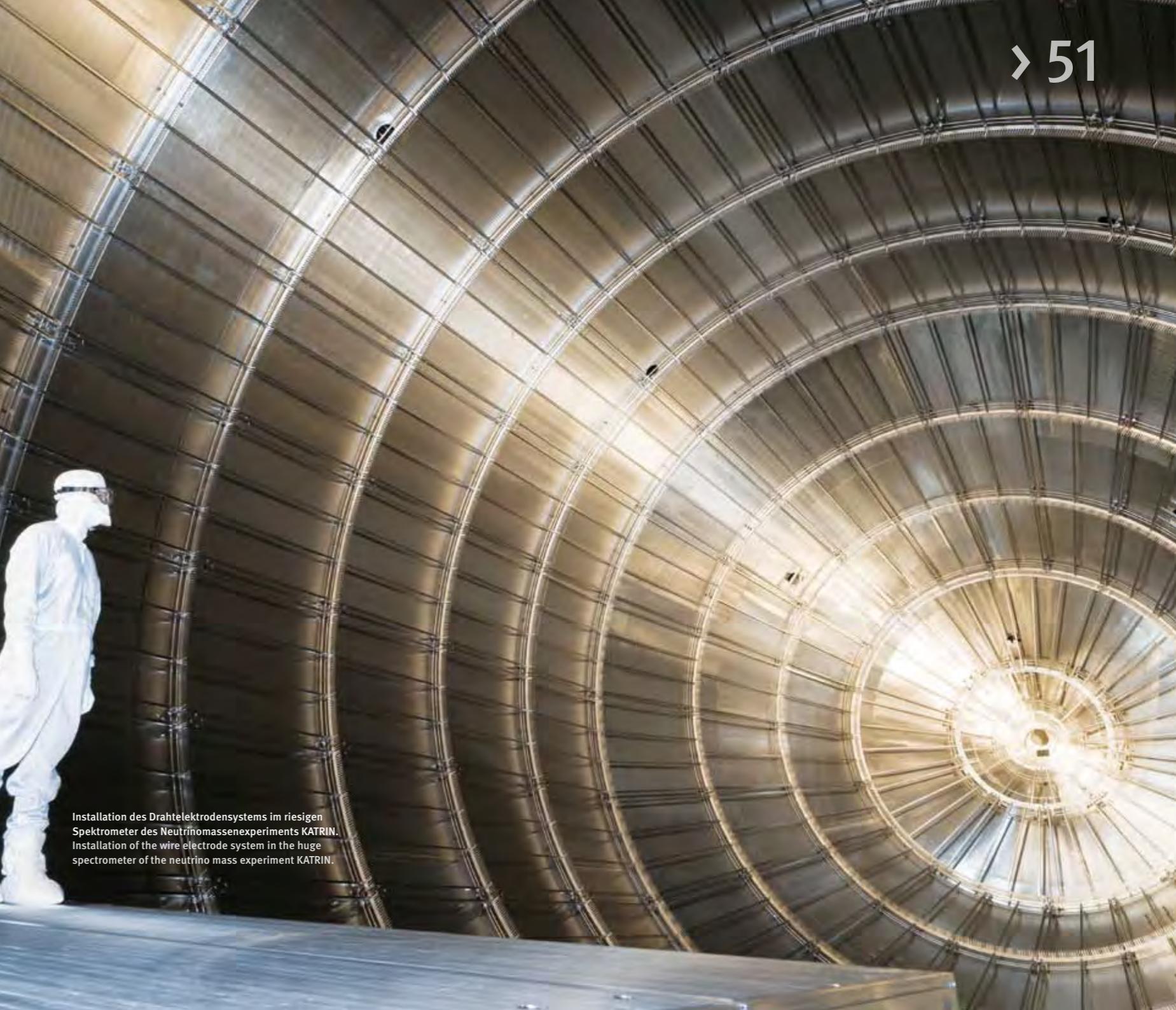
Wie wir heute aus kosmologischen Beobachtungen wissen, spielt eine noch unerforschte „Dunkle Materie“ eine entscheidende Rolle bei der Bildung von Sternen und Galaxien. In der Energiebilanz des Universums schlägt sie mit 23% viel stärker zu Buche als die uns bekannten Atome mit nur 4%. Den weitaus größten Anteil mit 73% hat allerdings eine mysteriöse „Dunkle Energie“, die das Universum immer schneller expandieren lässt. Albert Einstein hatte diese über das gesamte Universum verteilt dunkle Energie als sogenannte kosmologische Konstante zunächst in seine Gleichungen der Allgemeinen

› Particle Physics

How was the universe created? What does matter itself consist of? What are the fundamental laws of nature? These questions, which are as old as mankind itself, are what physicists investigate in the research area of particle physics.

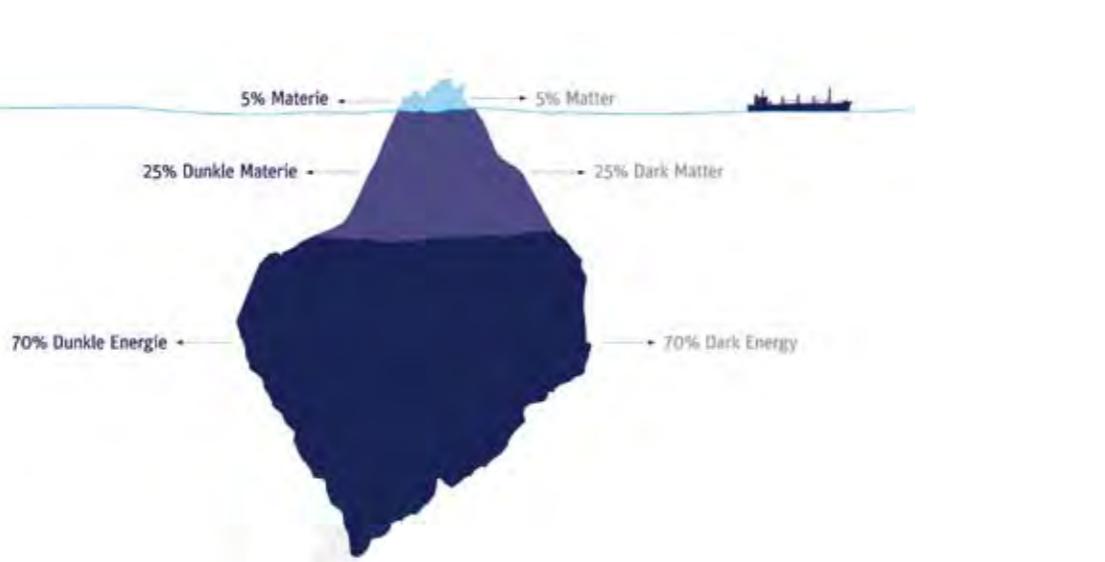
Particle physicists investigate the properties of the smallest building blocks of matter and their fundamental interactions. These are crucial to the evolution of the universe, particularly during its initial phase, shortly after the Big Bang. Then, quantum fluctuations caused antimatter to vanish, quarks and gluons combined to form protons, and the latter combined with electrons to produce hydrogen, which subsequently enabled the formation of stars and galaxies. Only recently have observations in cosmology led to unexpected conclusions in particle physics.

Nowadays, cosmological observations lead us to conclude that still unexplored “dark matter” plays a decisive role in the formation of stars and galaxies. In the universe’s energy balance it accounts for 23% – far more than the atoms that are familiar to us, which make up only 4%. However, a mysterious “dark energy” that causes the universe to expand ever faster accounts for the lion’s share of 73%. This dark energy is distributed throughout the entire universe. Albert Einstein initially introduced it into the equations of his general theory of relativity as the so-called cosmological constant, only to



Installation des Drahtelektrodensystems im riesigen Spektrometer des Neutrino massenexperiments KATRIN.
Installation of the wire electrode system in the huge spectrometer of the neutrino mass experiment KATRIN.

Der Eisberg der Teilchenphysik:
Nur ca. 5% des Universums
bestehen aus bekannter
Materie. Den Rest bilden die
bisher unbekannte dunkle
Materie und dunkle Energie.
The iceberg of particle physics:
Only about 5% of the universe
consists of known types of
matter. The rest is formed by
the currently unknown dark
matter and dark energy.



Relativitätstheorie eingeführt, später aber wieder verworfen. Heute wissen wir, dass diese dunkle Energie tatsächlich eine wichtige Rolle spielt, auch wenn die genaue Form dieser Energie unbekannt ist. Der weitaus größte Anteil des Materie- und Energiegehalts unseres Universums ist somit noch nicht verstanden – eine unerwartete Erkenntnis für die Elementarteilchenphysik, denn somit fehlen noch weitere Bausteine im Puzzle der kleinsten Teilchen. Auf diese Weise ist die Erforschung des Allerkleinsten durch die Teilchenphysik und des Allergroßten durch die Astrophysik und Kosmologie heute untrennbar in der „Astroteilchenphysik“ verbunden.

Diese Fragen werden im Forschungsschwerpunkt Teilchenphysik in Kooperation vom **Institut für Kernphysik** und dem **Institut für Theoretische Physik** erforscht. Die Themen spiegeln sich auch in den Lehrangeboten für den Bachelor- und Masterstudiengang wider. Bereits im Bachelorstudiengang werden die grundlegenden Erkenntnisse der Kern- und Teilchenphysik sowie der Astrophysik vermittelt. Im Masterstudiengang kann dann als Vertiefungsfach Kern- und Teilchenphysik gewählt werden, das entweder mit theoretischem oder experimentellem Schwerpunkt studiert werden kann.

Die Studierenden, die ihre Bachelor-, Master- oder Doktorarbeit anfertigen, sind in internationale Forschungsteams eingebunden. Inner-

reject it again later. Today we know that this dark energy does in fact play an important role, even though the exact form of this energy is unknown. By far the largest proportion of the universe's matter and energy is therefore not understood – an unexpected finding for elementary particle physics. It implies that many pieces are still missing from the puzzle of the smallest particles. This is how research into the very smallest (in particle physics) and the very largest (in astrophysics and cosmology) are now inseparably conjoined in the subject of “astroparticle physics”.

Research into these questions is conducted in the main research field of particle physics, in a collaboration between the **Institute of Nuclear Physics** and the **Institute of Theoretical Physics**. The topics are also reflected in the Bachelor's and Master's courses. Basic knowledge of nuclear and particle physics and astrophysics is already taught in the Bachelor's course. Nuclear and particle physics can then be chosen at Master's level with an emphasis on either theory or experimental work.

Students writing their Bachelor's, Master's, or PhD theses are also part of international research teams. As a result of the two

halb Deutschlands findet durch die beiden **Helmholtz-Allianzen** zu „Extreme Matter“ und zur „Astroteilchenphysik“ eine enge Vernetzung der Studierenden an der Universität Münster mit Forschenden und Studierenden der beteiligten Großforschungseinrichtungen (DESY, GSI, FZ Jülich, KIT), verschiedener Max Planck-Institute und anderer Universitäten statt.

Teilchenphysikerinnen und -physiker führen Experimente in internationalen Kollaborationen durch. Diese arbeiten an großen Beschleunigeranlagen im In- und Ausland wie dem CERN in Genf und am Brookhaven National Laboratory (BNL) im amerikanischen Bundesstaat New York, aber auch an der im Aufbau befindlichen Facility for Antiproton and Ion Research (FAIR) und der GSI in Darmstadt, am Forschungszentrum Jülich und am RCNP in Osaka. Andere Experimente kommen ohne Beschleuniger aus und befinden sich zum Beispiel am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), aber auch an entlegenen Plätzen wie dem Gran Sasso Untergrundlabor in Italien. Verglichen werden die Messungen mit theoretischen Rechnungen, für die oft die größten kommerziellen und sogar eigens dafür entwickelte Supercomputer benötigt werden.

Bevor sich Quarks und Gluonen zu Kernmaterie verbanden, konnten sie im frühen, heißen Universum noch als freie Teilchen existieren. Dieses sogenannte **Quark-Gluon-Plasma** kann heute in ultrarelativistischen Schwerionenstößen am CERN und zukünftig bei FAIR künstlich erzeugt und auf seine Eigenschaften hin untersucht werden. Theoretisch beschreiben lässt sich das Quark-Gluon-Plasma durch die Theorie der starken Wechselwirkung, die sogenannte **Quantenchromodynamik (QCD)**, wohl nur unter Einbeziehung statistischer Methoden. So ergibt sich sowohl theoretisch als auch experimentell eine Möglichkeit, den faszinierenden Zustand extrem hoher Dichte und Temperatur des Universums kurz nach dem Urknall zu untersuchen.

Im Zuge der Abkühlung des Universums könnten später nicht nur die uns bekannten, sondern auch **exotische**

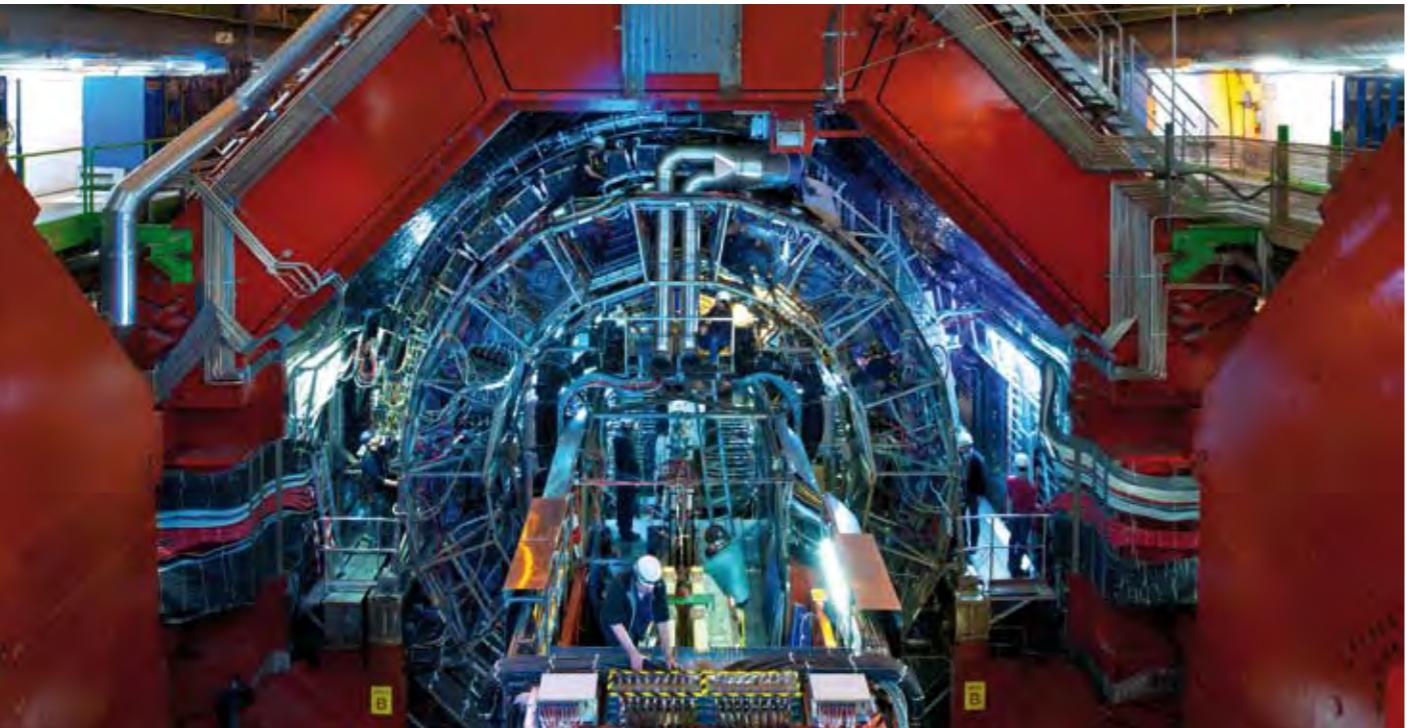
Die Studierenden, die ihre Bachelor-, Master- oder Doktorarbeit anfertigen, sind in internationale Forschungsteams eingebunden.

Students writing their Bachelor's, Master's or PhD theses are also part of international research teams.

Mesonen für kurze Zeit entstanden sein. Nach ihnen wird derzeit an Beschleunigern mit mittlerer Energie gefahndet, und die Masse und Wechselwirkungen der uns bekannten Mesonen werden genau bestimmt.

An der Schnittstelle zwischen starker und schwacher Wechselwirkung befinden sich Experimente zum Elektroneneinfang, wie er in Supernova-Explosionen auftreten kann, und zum **doppelten β -Zerfall**, bei dem keine Neutrinos austreten, von denen wichtige Erkenntnisse zur möglichen Leptonenzahlverletzung mit daraus folgenden dramatischen Konsequenzen für unser Verständnis der Kosmologie erwartet werden.

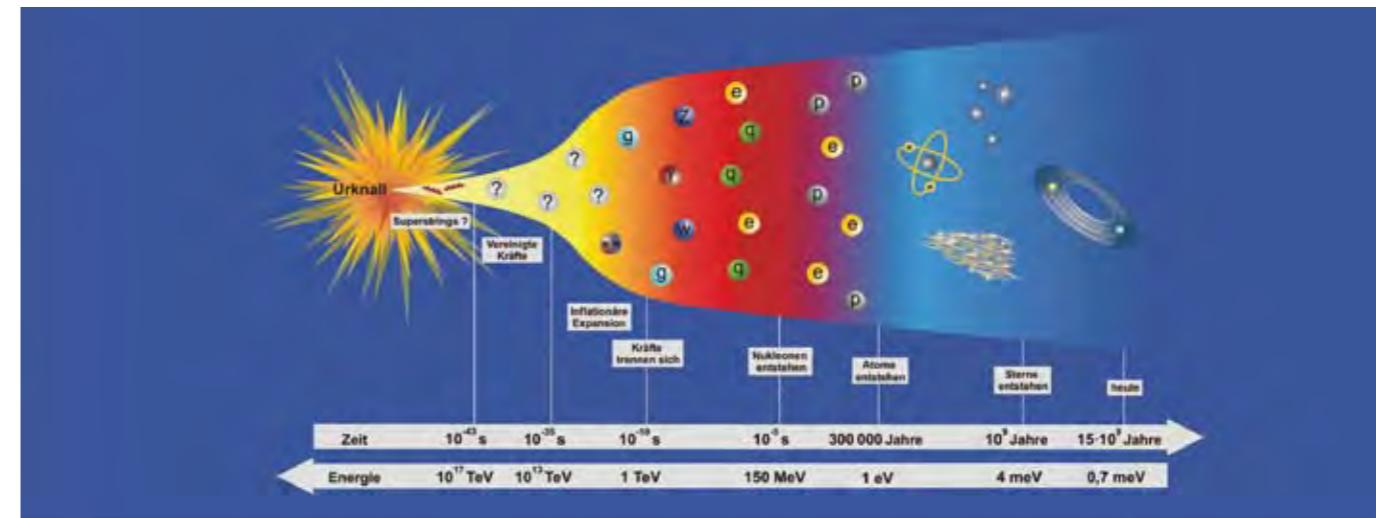
Da **Neutrinos** nur schwach wechselwirken, sind sie nur sehr schwer nachweisbar. Dennoch ist seit 1998 bewiesen, dass sie nicht, wie ursprünglich angenommen, masselos sind. Dadurch ergibt sich die bizarre Eigenschaft, dass ein Elektron-Neutrino, das von der Sonne



Das ALICE Experiment am Large Hadron Collider (LHC) des CERN. The ALICE experiment at the Large Hadron Collider (LHC) at CERN.

At the interface between strong and weak interaction, there are experiments related to electron capture of the type that can occur in supernova explosions, and to the so-called **double β decay**, where no neutrinos are emitted. This may lead to important findings relating to possible lepton number violation, with dramatic consequences for our understanding of cosmology.

Since **neutrinos** interact only weakly, it is very difficult to prove their existence. Nevertheless, since 1998 it has been shown that they are not massless, contrary to the original assumption. This gives rise to the interesting property whereby an electron-neutrino coming from the Sun “vanishes” on its way to Earth and transforms into another neutrino type. However, it is still necessary to clarify various questions about this newly created neutrino type and the absolute neutrino mass, which should soon be determined with ten times greater accuracy than ever before.



kommt, auf dem Weg zur Erde sozusagen „verschwindet“ und sich in eine andere Neutrinoart umwandelt. Geklärt werden müssen allerdings noch die Fragen nach der neu entstehenden Neutrinoart und nach der absoluten Neutrinomasse, die bald mit zehnfach höherer Genauigkeit als bisher bestimmt werden soll.

Ähnlich schwierig nachzuweisen ist die **dunkle Materie**. Viel deutet allerdings darauf hin, dass in Kürze neben der Bestimmung ihrer Restdichte im Universum auch ihr direkter Nachweis in Experimenten im Gran Sasso Untergrundlabor gelingen könnte. Die theoretische Beschreibung der dunklen Materie erfordert **Erweiterungen des Standardmodells** der Teilchenphysik, z.B. im Rahmen des Konzepts der Supersymmetrie.

Neue Technologien aus der Kern- und Teilchenphysik haben immer wieder zu wichtigen Anwendungen geführt. Beispielsweise beruhen wichtige **medizinischen Bildgebungsverfahren** auf solchen Methoden, so zum Beispiel die Magnetresonanztomographie. So forschen auch die Münsteraner Teilchenphysiker an neuen Verfahren der automatisierten Mikroskopie (Scanning) in Biologie und Medizin und an der molekularen kardiovaskulären Bildgebung. Aus der Grundlagenforschung bei der Suche nach einem tieferen Verständnis für den Zustand der Materie unseres Universums vor über 13 Milliarden Jahren ergeben sich somit auch technische Anwendungen wie bildgebende Verfahren in der Medizin, die heute aus dem Alltag gar nicht mehr wegzudenken sind.

Dien Entwicklung des Universums vom Urknall bis zur heutigen Zeit. Die Teilchenphysik erforscht die Naturgesetze, die die ersten Entwicklungsstufen des Universums bestimmen. Evolution of the universe from the Big Bang to the present day. Particle physicists investigate the laws of nature which already governed the earliest developmental stages of the universe.

It is similarly difficult to prove the existence of **dark matter**. There are however many indications that in addition to determining its relic density in the universe, experiments in the Gran Sasso underground laboratory could soon furnish direct evidence of it. The theoretical description of dark matter requires **extensions of the standard model** of particle physics, e.g., within the framework of the concept of supersymmetry.

Time and again, new technologies from nuclear and particle physics have led to important applications. For example, important **medical imaging processes** such as magnetic resonance tomography are based on such methods. Particle physicists in Münster also perform applied research in automated microscopy (scanning) related to biology and medicine, and in molecular cardiovascular imaging. Consequently, basic research conducted in search of a deeper understanding of the state of matter in our universe over 13 billion years ago has also resulted in technological applications such as imaging processes in medicine, without which our everyday lives would now be inconceivable.

Experimentelle und theoretische Kenntnisse werden in der Regel kombiniert vermittelt.

Experimental and theoretical aspects are taught in an integrated way.

› Geophysik

Erdbeben und Vulkanausbrüche führen uns immer wieder vor, dass wir auf einem unruhigen Planeten leben. Solche Naturphänomene lassen uns erahnen, welche Kräfte im Innern der Erde wirken.

Diese Kräfte, die oft in Sekunden Menschenwerk vernichten, haben über lange Zeiträume die Oberfläche der Erde geprägt, haben Gebirgsketten und Ozeanbecken entstehen lassen und so den Rahmen für die Entwicklung auch des menschlichen Lebens geschaffen. Der Forschungsschwerpunkt Geophysik untersucht die Dynamik unseres Planeten sowohl experimentell als auch theoretisch mit verschiedensten physikalischen Methoden.

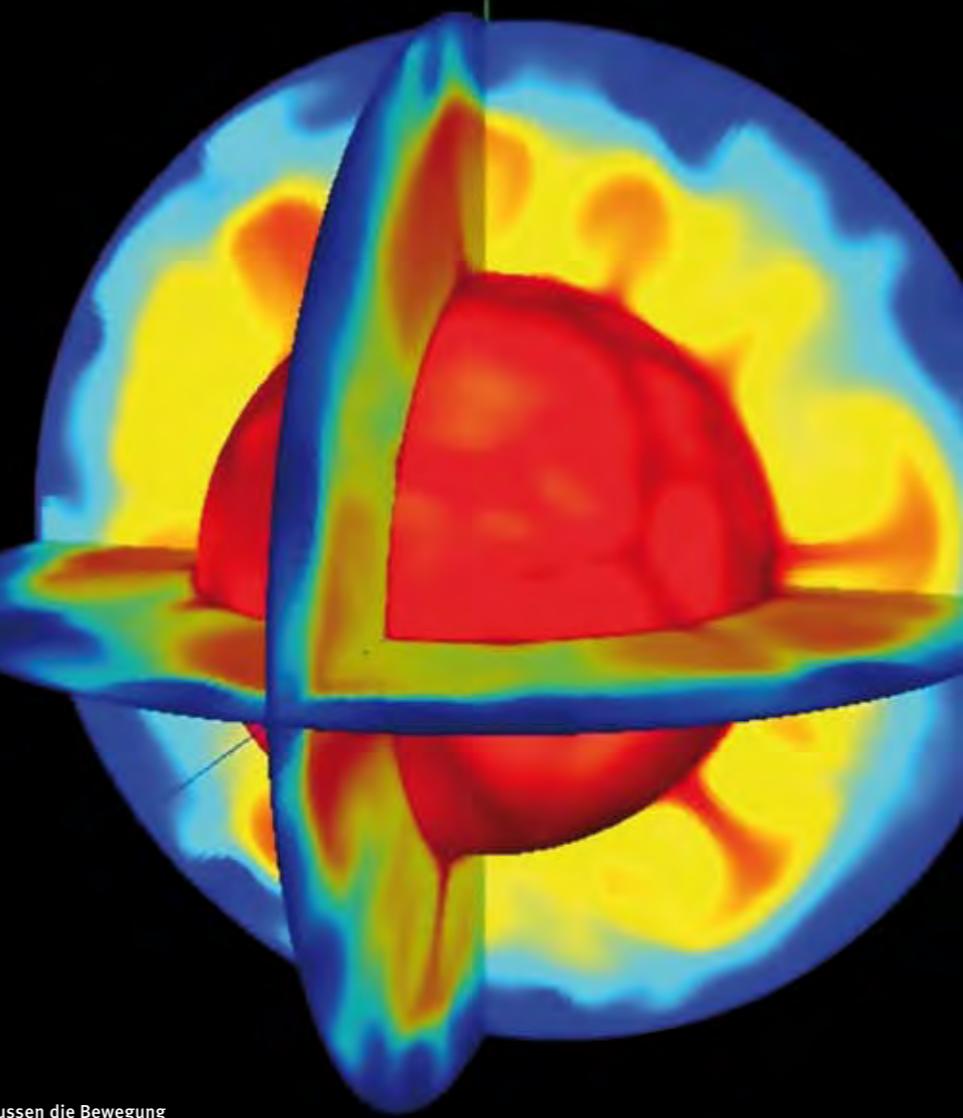
Prozesse in Tiefen von mehr als 3.000 km erzeugen das Magnetfeld der Erde, das weit in den Weltraum hinausreicht und uns vor dem Strom elektrisch geladener Teilchen von der Sonne abschirmt. Andererseits ist die für uns so wichtige Erdatmosphäre nicht zuletzt ein Produkt von Austauschprozessen zwischen dem Erdinnern, den Ozeanen und der Lufthülle. Moderne globale Beobachtungssysteme machen deutlich, dass die Veränderungen unseres Lebensraums auf allen räumlichen und zeitlichen Skalen auftreten. Genannt seien hier Schwankungen des Erdmagnetfeldes als globales Phänomen, die Veränderung der Eisbedeckung an den Polen als Schwankung auf intermediärer

› Geophysics

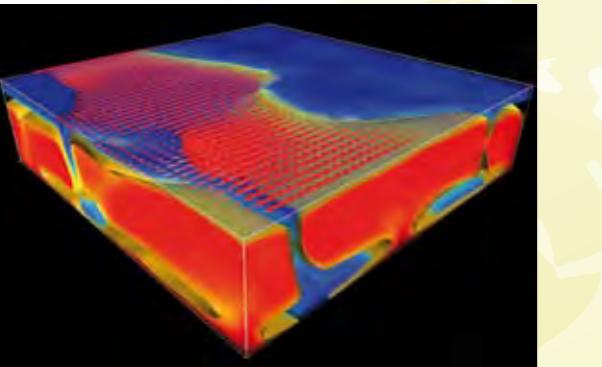
Earthquakes and volcanic eruptions are a constant reminder that we live on a restless planet. Such natural phenomena give us an idea of the forces at work deep within the Earth.

These forces, which can often destroy the works of man within seconds, have shaped the Earth's surface over billions of years. They have created mountain chains and ocean basins, and in so doing have also created the framework for the development of human life. The main focus of geophysics research is on investigating the dynamics of our planet, both experimentally and theoretically, by employing a wide range of (geo)physical methods.

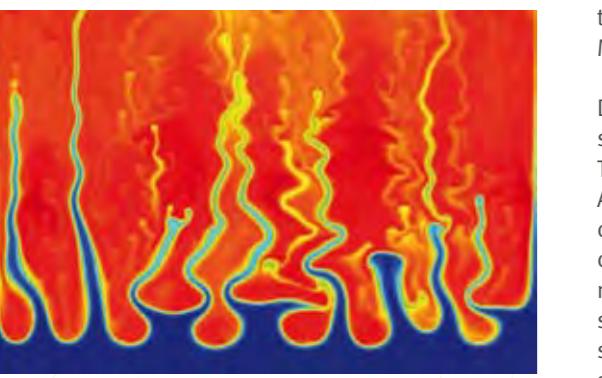
Processes at depths of more than 3,000 km generate the Earth's magnetic field which extends far out into space and shields us from a stream of electrically charged particles from the Sun. Conversely, the Earth's atmosphere which is of such importance to us, is partly a product of exchange processes between the Earth's interior, the oceans, and the air that envelopes the planet. Modern global observations show that changes in our habitat occur on all spatial and temporal scales. Examples include fluctuations in the Earth's magnetic field as a global phenomenon, changes to the polar ice caps as a fluctuation on an intermediate scale, as well as changes in the transport of ground-



Konvektive Strömungen im Innern der Erde beeinflussen die Bewegung der Erdplatten und somit Erdbeben und Vulkanausbrüche. Mit Hilfe von numerischen Simulationen lassen sich die dynamischen Vorgänge und Mechanismen untersuchen.
Convective currents in the Earth's interior affect the motion of the surface plates, causing earthquakes and volcanic eruptions. Numerical simulations help to study the associated dynamical processes and mechanisms.



Das farbkodierte Temperaturfeld in dieser numerischen Simulation (rot: heiß, blau: kalt) zeigt die Bewegung der Oberflächenplatten (s. Pfeile) von den warmen Aufströmen zu den Subduktionszonen. The colour-coded temperature field of this numerical simulation (red: hot, blue: cold) shows plate motions (cf. arrows) from hot upwellings towards subduction zones.



Computersimulation der Entwicklung einer Magmakammer, in der heißes, an schweren Komponenten angereichertes Material über kaltem, an schweren Komponenten verarmtem Material liegt. Die Entwicklung hawaiianischer Vulkane (Kilauea Iki) wird vermutlich durch eine ähnliche Dynamik geprägt. Der Fachbereich Physik bietet als einer von wenigen Standorten in Deutschland einen **eigenständigen Studiengang in Geophysik** sowohl auf Bachelor- als auch auf Master-Niveau. Die Lehre ist dabei eng mit

Größenordnung, sowie Änderungen im Schadstoff-transport des Grundwassers als lokales Phänomen. Moderne Techniken der Geophysik machen es heute möglich, derartige Phänomene zu erfassen (Monitoring) und die zugrunde liegenden Prozesse durch Modell-Bildung (Modeling) quantitativ zu verstehen.

Der im **Institut für Geophysik** angesiedelte Forschungsschwerpunkt Geophysik widmet sich mit den drei Themenbereichen Seismologie, Geodynamik und Angewandte Geophysik theoretisch und experimentell den faszinierenden geophysikalischen Grundlagen der Dynamik unseres Planeten. Durch das hochgradig nichtlineare Verhalten der Dynamik im Erdinnern bestehen enge Anknüpfungspunkte an den Forschungsschwerpunkt Nichtlineare Physik und hier insbesondere an Arbeitsgruppen aus dem Institut für Theoretische Physik. Eine Kooperation findet auch im Rahmen des Center for Nonlinear Science (CeNoS) statt.

The Department of Physics is one of the few places in Germany that offers a separate **course in geophysics** at both Bachelor's and Master's level. Here, the teaching is closely linked to the research activities at the Institute of Geophysics. Consequently, experimental and theoretical aspects are taught in an integrated way.

water contaminants as a local feature. Today, modern geophysical techniques enable us to monitor such phenomena and to have a quantitative understanding of the underlying processes through numerical modeling.

Covering the three subject areas of seismology, geodynamics, and applied geophysics, the main geophysical research based in the **Institute of Geophysics** is devoted to the theoretical and experimental study of the fascinating geophysical principles of our planet's dynamics. Given that the dynamics in the Earth's interior behave in an extremely nonlinear manner, close links exist with nonlinear physics and in particular with research groups from the Institute of Theoretical Physics and the Centre for Nonlinear Science (CeNoS).

The Department of Physics is one of the few places in Germany that offers a separate **course in geophysics** at both Bachelor's and Master's level. Here, the teaching is closely linked to the research activities at the Institute of Geophysics. Consequently, experimental and theoretical aspects are taught in an integrated way.

den Forschungsaktivitäten im Institut für Geophysik verbunden. So werden experimentelle und theoretische Kenntnisse in der Regel kombiniert vermittelt. Bereits während der Bachelorausbildung werden kleinere Forschungsarbeiten in der Seismologie, der Geodynamik als auch der angewandten Geophysik angeboten. Im Masterstudiengang werden die Kenntnisse weiter vertieft, so dass die Studierenden an die aktuelle Forschung herangeführt werden und aktiv mitwirken können. Darüber hinaus kann Geophysik auch von Studierenden des Bachelor- und Masterstudiengangs Physik als Wahlpflichtmodul im Rahmen der Fachübergreifenden Studien gewählt werden.

Die **Geodynamik** befasst sich mit raumzeitlichen Prozessen im Erdinnern. Unter Verwendung von Hochleistungsrechnern können Wärme- und Massentransportprozesse im Erdkern und Erdmantel simuliert und so untersucht werden. Diese Arbeiten dienen der Erforschung des Antriebs der Plattentektonik, der Entstehungsmechanismen von planetaren Magnetfeldern und der thermischen Entwicklung von Planeten, im speziellen der Erde.

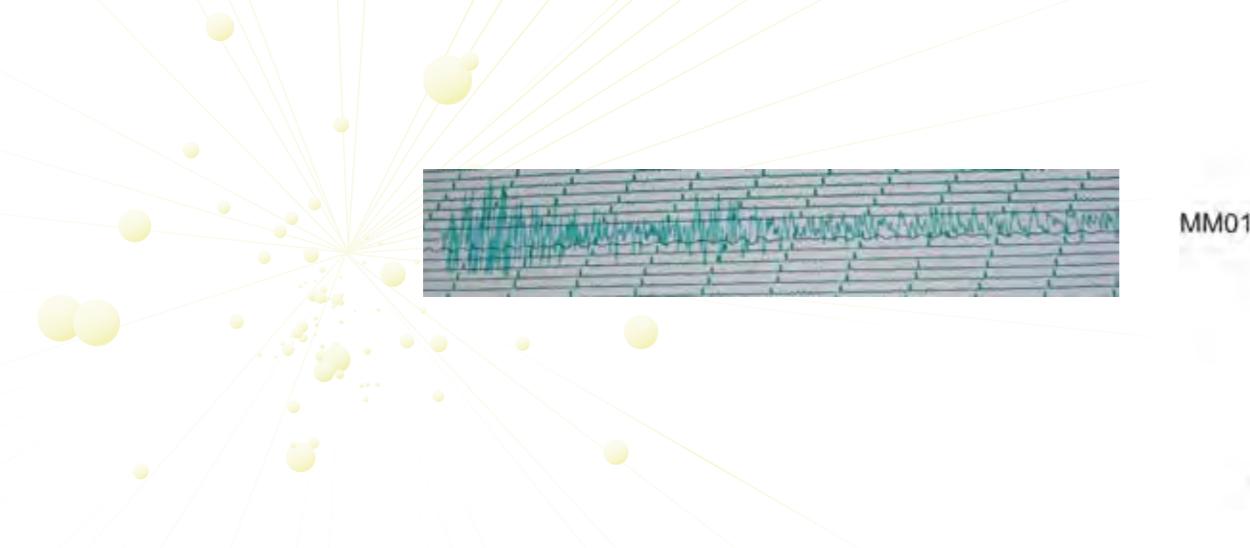
Das Erdinnere ist direkten Messungen unzugänglich. Die tiefsten Bohrungen reichen bis ca. 10 km Tiefe. Bei einem Erdradius von ca. 6.400 km ritzen diese daher gerade einmal die äußerste Hülle der Erde an. Die **Seismologie** ist die Teildisziplin der Geophysik, die



Smaller-scale research projects in seismology, geodynamics, and applied geophysics are typically already included in the Bachelor's course. In the Master's course, knowledge is developed further, familiarising students with current research topics, allowing them to participate actively. In addition, students in both the Bachelor's and Master's courses in physics can choose geophysics as an elective module as part of their interdisciplinary studies.

Geodynamics deals with spatio-temporal processes inside the Earth. Using high-performance computing, it is possible to simulate and thereby investigate heat and mass transport processes at the Earth's core and in the Earth's mantle. This work helps us to conduct research into what drives plate tectonics, the mechanisms behind the creation of planetary magnetic fields, and the thermal development of planets, in particular the Earth.

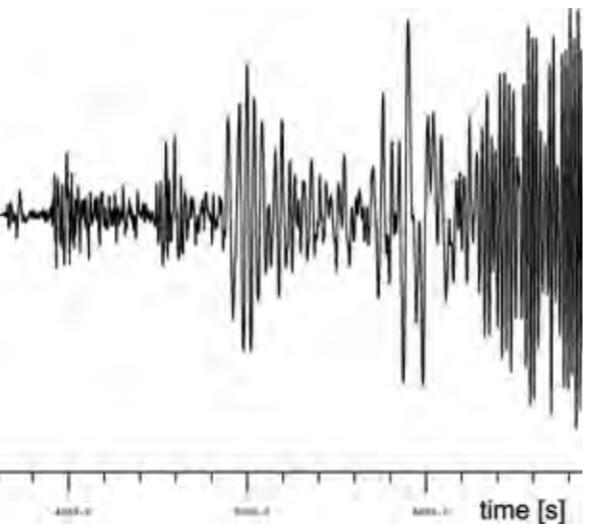
Our planet's interior is inaccessible for taking direct measurements. The deepest drilling operations reach a depth of approximately 10 km. Given that the Earth's radius is approximately 6,400 km, they barely scratch the outermost shell of the Earth. **Seismology** is the subdiscipline of geophysics that derives the internal structure of the Earth from the propagation characteristics of seismic waves. Today, modern seismological procedures do much more than just determine the one-dimensional depth structure of the Earth.



Aufnahme eines seismischen Ereignisses (Italien) am Seismographen im Keller unter dem Institut. Die Zeitmarken stehen für eine Minute.
Recording of a seismic event (Italy) at the seismometer in the vault beneath the Institute of Geophysics in Münster. Tick marks denote minutes.

in der Lage ist, aus den Ausbreitungseigenschaften von Erdbebenwellen die innere Struktur des Erdkörpers abzuleiten. Moderne seismologische Verfahren leisten heute längst mehr, als nur die eindimensionale Tiefenstruktur der Erde zu entschlüsseln. Die Verwendung vieler Erdbebenereignisse und die Einbeziehung vieler Registrierungen erlauben es, unter Zuhilfenahme leistungsfähiger Computer dreidimensionale Schnittbilder der Erde zu entwerfen. Weltweit registrierte Daten werden mit modernen Methoden analysiert, um so beispielsweise Strukturen an der Grenze zwischen Erdmantel und Erdkern in 2.900 km Tiefe aufzulösen.

Das Institut für Geophysik verfügt über eigene seismische Stationen, die im Rahmen von internationalen Kampagnen eingesetzt werden, um die Untersuchungen des Erdinneren voranzutreiben. So ist man bemüht zu verstehen, wo Zonen besonderer seismischer Aktivität liegen, und unter welchen Umständen Erdbeben entstehen, die geeignet sind, Flutwellen (Tsunamis) auszulösen.



Seismische Aufzeichnung des Tohoku Ereignisses in Japan von einer Station des Münster Arrays in Marokko (MM01). Klare P (Longitudinal-) und S (Transversal-) Wellen sind sichtbar.
Seismic recording of the Tohoku event in Japan, recorded at the seismic station MM01 of the Münster array in Morocco. P (longitudinal) and S (transversal) wave arrivals are clearly visible.

The use of many earthquake events and the inclusion of many measurements per quake enables us to produce three-dimensional sectional images of the Earth with the aid of powerful computers. Data registered globally is analysed using modern methods, allowing us for example to get a clearer picture of structures at the boundary between the Earth's mantle and the Earth's core, at a depth of about 2,900 km.

The Institute of Geophysics has its own seismic stations that are employed as part of international efforts aimed at advancing investigations of the Earth's interior. This is how we strive to understand where zones of particular seismic activity lie and under what conditions earthquakes capable of triggering tsunamis can occur.

The field of **applied geophysics** is also represented at the Institute of Geophysics. Applied geophysics plays an important role in

Weiterhin vertreten am Institut für Geophysik ist der Bereich der **Angewandten Geophysik**. Die Angewandte Geophysik spielt eine wichtige Rolle bei der Exploration von Rohstoffen. Messungen des Schwerkrafts und des Magnetfeldes der Erde werden genutzt, um Aufschlüsse über den oberflächennahen Untergrund zu erhalten. Weiterhin werden elektromagnetische und Radarverfahren genutzt. Neben der Rohstoffexploration stehen heute umweltrelevante Fragestellungen im Mittelpunkt der Forschungen. So wird mit geophysikalischen Methoden die Verteilung von Schadstoffen im Untergrund, aber auch die Dicke der Eisbedeckung auf Gletschern untersucht.

the exploration of raw materials. Measurements of the Earth's gravitational and magnetic fields are used here to gain insight into what is occurring at shallow depths below the Earth's surface. Electromagnetic and radar methods are also employed. Besides exploration, environmentally-relevant questions are an additional focal point of research today. Geophysical methods are for example used to investigate the distribution of contaminants underground, as well as the thickness of glaciers.



Aufbau einer seismischen Station in Marokko (im hohen Atlas) als Teil des Münster-Markökkarrays. Der Sensor, Datenlogger, die GPS-Antenne sowie die Solarzellen müssen installiert werden.
Deployment of a seismic station in Morocco (High Atlas region) as part of the Münster-Morocco array. Sensors, datalogger, GPS antenna and solar panels have to be installed.

› Fachdidaktik

Wie können physikalische Gesetzmäßigkeiten und die Grundzüge naturwissenschaftlichen Denkens von Schülerinnen und Schülern unterschiedlicher Altersstufen erlernt werden? Wie kann man erkennen, ob durch bestimmte Unterrichtskonzepte und Unterrichtsmaterialien dieses Ziel auch erfolgreich erreicht wird?

Um diese Fragen zu beantworten, beschäftigen sich die Fachdidaktiken des Sachunterrichts und der Physik mit der Analyse von Lehr-Lernprozessen sowie mit der Entwicklung und Evaluierung von Unterrichtskonzepten. Ziel ist hierbei, Interesse für naturwissenschaftliche Fragen zu wecken, in Denk- und Arbeitsweisen der Naturwissenschaften einzuführen und grundlegendes Wissen in den Naturwissenschaften zu vermitteln. Naturwissenschaftliches Lernen beginnt schon im vorschulischen Bereich – entsprechend beziehen sich Forschung und Lehramtsausbildung im Schwerpunkt Didaktik auf alle Bildungsstufen vom Elementar- bis in den Sekundarbereich II.

Ein wichtiges Themenfeld bilden **Naturphänomene und Alltags-technologien**. Dabei zeigt sich, dass erst gelernt werden muss, das Alltägliche aus einer physikalischen Perspektive heraus zu betrachten. Dieser Ansatz ist nicht auf eine spezielle Schulform oder Altersstufe beschränkt, da die physikalische Deutung in ihrer Tiefe auf das betreffende Niveau ausgelegt werden kann. Die Verknüpfung von Physik, Technologie und Alltag ist nicht nur aus bildungspolitischen, sondern auch aus lerntheoretischen Gründen geboten. Denn sie hilft, physikalische Inhalte besser zu verstehen, weil gelernt wird, Physikalisches auch im Alltag entdecken zu können.

› Science Education

What kinds of support do primary and secondary school pupils need in order to understand the laws of physics and the basic principles of scientific thinking? How are successful teaching concepts and materials developed and evaluated?

Research into teaching and learning processes as well as the development and evaluation of teaching materials are the mainstay of Science Education. The main intention is to stimulate scientific inquiry, to inspire scientific questions, to introduce scientific ways of thinking and to develop a fundamental knowledge of the natural sciences. Learning about the natural sciences begins even before a child starts school – thus, research and teacher training that focus on science education relate to all stages of education and incorporate elementary, primary, and secondary level.

An important topic in science education comprises **natural phenomena and everyday technologies**. From the outset, it is necessary to learn to observe the everyday world from a physics perspective. This approach is not limited to a particular type of school or age group, since the depth of interpretation can be tailored to the appropriate level of understanding of each group. Physics, technology, and everyday life ought to be linked in response to both the requests of educational policy and the educational requirements of the pupils. When children learn how physics relates to everyday life, they can achieve a better understanding of the concepts of physics.



Lange Zeit hat man Naturwissenschaften und Technik als zu schwierig für Kinder eingeschätzt. Untersuchungen zeigen das Gegenteil.

For a long time, topics from natural sciences and technology were regarded as being too difficult for small children. But studies have shown the opposite to be true.

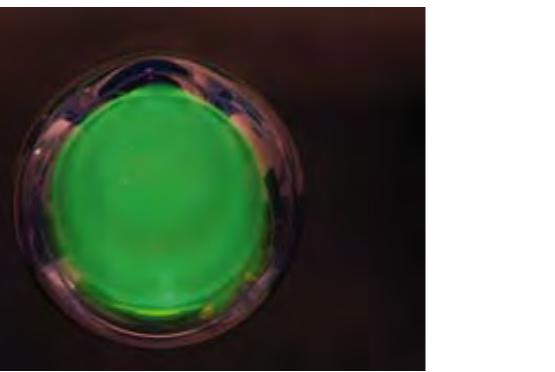


Schüler können die eigene Digitalkamera zur Analyse von Bewegungen einsetzen; gezeigt ist im Beispiel die Langzeitbelichtung eines blinkenden Flummis.
Students can take their own long-exposure photographs using digital cameras. The image above shows the long exposure of a flashing bouncing ball.

Am **Institut für Didaktik der Physik** gilt das besondere Interesse der **Entwicklung von Unterrichtskonzepten für die Sekundarstufe I und II zu Themen der aktuellen Physik**, von der Atom- und Molekülphysik über Magnetismus bis hin zur nichtlinearen Physik.

Eine besondere Herausforderung ist es, gerade beim Übergang zur Sekundarstufe I dem abnehmenden Interesse der Mehrzahl von Schülerinnen und Schülern an Naturwissenschaften entgegenzuwirken. Da Studien belegen, dass moderne Physik das Interesse am Unterricht steigern kann, konzentrieren sich die Forschungsarbeiten des Instituts für Didaktik der Physik auf diesen Bereich.

Bei der Entwicklung neuer und empirisch gesicherter Unterrichtskonzepte zur modernen Physik arbeitet das Institut mit Forschungsgruppen aus der Fachwissenschaft und der Bildungsforschung, aber auch mit professionellen Medienschaffenden zusammen, um hochwertige Lehrmedien zu erstellen. Studierende



Alltagsphysik führt oft zu unerwarteten Entdeckungen: In Wasser, das etwas Spülmittel enthält, entstehen ab und zu sogenannte „Anti-Blasen“, bei denen genau umgekehrt wie bei Seifenblasen in der Luft eine hauchdünne Luftsicht eine Wasserkugel umhüllt.
Unexpected discoveries of interesting physical phenomena can be made in everyday life: The occasional formation of anti-bubbles in soap water is only one of many examples – unlike regular soap bubbles, anti-bubbles consist of a sphere of water enclosed by a thin layer of air.

The main goal of the **Institute of Didactics of Physics**, is the **development of teaching concepts at secondary school-level in relation to subjects in modern physics**, from atomic and molecular physics to magnetism or nonlinear physics.

One particular challenge here is to counteract most pupils' declining interest in science upon entering secondary level education. Since international empirical studies such as TIMSS show that modern physics can boost interest in education, the research at the Institute of Didactics of Physics puts its focus in this area.

In developing new and empirically sound education concepts for modern physics, the Institute works with specialist physicists, education researchers, and media professionals in order to produce high-quality teaching materials. Students are integrated in the development and evaluation of new educational concepts. These range from hands-on experiments

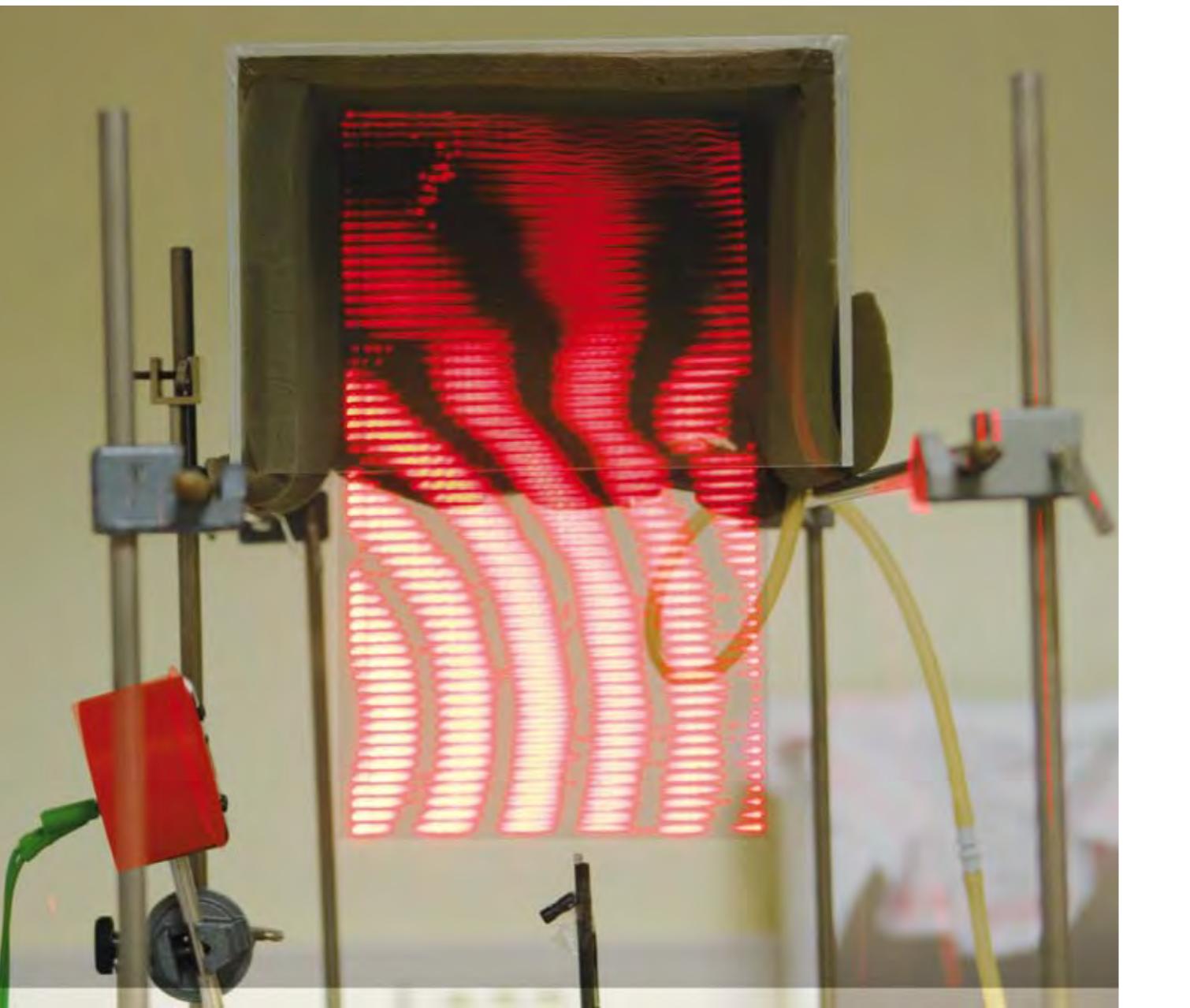
werden aktiv in die Entwicklung und Evaluation neuer Unterrichtskonzepte mit einbezogen. Die Bandbreite reicht von Freihandexperimenten über Laborexperimente bis zu deren Modellierung und Simulation am Computer. Im Rahmen des Praxissemesters können eigene Projekte an der Schule erprobt und getestet werden.

Im Mittelpunkt der Arbeiten am **Seminar für Didaktik des Sachunterrichts** steht das **naturwissenschaftliche und technische Lernen von Grundschülerinnen und -schülern sowie Kindergartenkindern**. Lange Zeit hat man Naturwissenschaften und Technik als zu schwierig für Kinder eingeschätzt. Untersuchungen zeigen das Gegenteil: Jüngere Kinder können grundlegende naturwissenschaftliche und technische Konzepte lernen und sind zudem besonders interessiert an diesen Bereichen.

Die Forschungsarbeiten am Seminar untersuchen, wie man das naturwissenschaftliche Lernen jüngerer Kinder gezielt unterstützen kann; dazu werden die Lernprozesse von Kindern und die Wirksamkeit von Lernumgebungen erforscht. Ein zweiter Forschungsbereich bezieht sich auf die Lehrpersonen: Dabei geht es insbesondere um die Frage, wie man (angehende) Lehrkräfte und Erzieher/-innen aus- und fortbilden muss, damit sie guten Unterricht bzw. gute Lernsituationen gestalten können. Außerdem werden in enger Kooperation mit Lehrpersonen und Erzieher/-innen Materialien entwickelt, erprobt, optimiert und z. B. als sogenannte Klassenkisten zur Verfügung gestellt.



Direkte Visualisierung von Schallwellen beim Übergang von Luft zu Helium durch eine phasenkonstante Rasterung der Schallintensität: Aufgrund der höheren Schallgeschwindigkeit in Helium wird bei konstanter Frequenz die Wellenlänge größer.
 Visualisation of sound waves at the air-helium interface by measuring the intensity of the sound in phase-matched intervals. While the frequency remains stable, the velocity and thus the wavelength of the sound waves increases as they cross the interface.



Studierende werden in Lehrveranstaltungen sowohl in die Forschungs- als auch in die Entwicklungsarbeiten einbezogen. Neben der Integration der Forschung in die Lehre ist die Verknüpfung von Theorie und Praxis besonders wichtig. Viele Lehrveranstaltungen umfassen außer den Phasen an der Universität auch Praxisphasen, in denen Studierende z. B. in der Schule oder im Kindergarten Lernsequenzen erproben und evaluieren, um so ihr theoretisches Wissen anzuwenden und zu differenzieren.



Hands-on experiments to demonstrate: Primary school children find out that water from a stone on the ground is compressed and that stones can float and swim when they have holes.
 Primary school pupils experiencing floating and sinking phenomena with hands-on experiments.

> Die Fachschaften im Fachbereich Physik

> Student Associations in the
Department of Physics



Erstsemesterbegrüßung durch die
Fachschaften Physik und Geophysik.
Freshmen welcome by the Student Associations
in the Department of Physics.

› Die Fachschaften im Fachbereich Physik

› Student Associations in the Department of Physics

Jede Studentin und jeder Student, die / der neu nach Münster an die Universität kommt – sei es nun direkt nach der Schule für das erste Semester in einem der Bachelorstudiengänge oder nach einem abgeschlossenen Bachelorstudium zu einem der Masterstudiengänge des Fachbereichs – muss sich zunächst einmal orientieren. Wo finde ich meine Hörsäle, wie melde ich mich für Prüfungen an, wen muss ich bei Fragen zum Studium ansprechen, ...? Für diese Fragen – und alle anderen natürlich auch – stehen die Fachschaften als Ansprechpartner zur Verfügung.

Im Fachbereich Physik gibt es drei Fachschaften, welche sich für die Studierenden der verschiedenen Studiengänge einsetzen. Das ist zum einen die Fachschaft Physik, welche sich aus Studierenden der verschiedenen Physik-Studiengänge zusammensetzt. Für die Studierenden in den Geophysik-Studiengängen gibt es die Fachschaft Geophysik und für die Studierenden in den Lehramtsstudiengängen mit Studienziel Lehramt an Grund-, Haupt- und Realschule die Fachschaft Lehramt GHR. Für alle gilt, dass die ehrenamtlich engagierten Fachschaftsmitglieder neben ihrem eigenen Studium den Studierenden bei Fragen und Problemen rund ums Studium mit Rat und Tat zur Seite stehen. Gleichzeitig setzen sie sich im Fachbereich für die Interessen der Studierenden

Whether they've just finished school to start their first semester of a Bachelor's degree course, or are starting a Master's course in the department having already gained a Bachelor's degree, all new students arriving at the University of Münster first need to find their feet. Where are my lecture theatres, how do I register for exams, whom do I need to contact if I have any questions about my course ...? The student associations are available as liaison to answer these and any other questions.

The Department of Physics features three student associations for the students in the different courses. Firstly there is the Physics Student Association, made up of students of the various physics courses. For students on the geophysics courses there is the Geophysics Student Association, and students on the teacher training courses have the GHR Student Association (GHR being the German abbreviation for the German primary and secondary school types Grund-, Haupt- and Realschule). In addition to pursuing their own studies the volunteers at these three associations are available to provide students with help and advice whenever questions or problems arise in relation to any aspect of their studies. At the same time they pursue students' interests within the department



Sommerfest des Fachbereichs Physik, organisiert von der Fachschaft Physik. Summer festival of the Department of Physics, organised by the Physics Student Association.

ein. Dazu sind sie in allen Gremien des Fachbereichs und darüber hinaus vertreten. Um dies demokratisch zu legitimieren, stellen sie sich jedes Jahr zur Wahl.

Neben der Beratung in Studienfragen (insbesondere auch vor dem Studium) und der Vertretung in Gremien haben die Fachschaften noch viele weitere Aktivitäten. So verleihen sie beispielsweise Klausuren und Prüfungsprotokolle aus vergangenen Studienjahren, um die Vorbereitung auf Prüfungen zu erleichtern. Natürlich gibt es dazu auch noch den einen oder anderen Tipp. Die Fachschaft Physik organisiert zudem jedes Jahr im Oktober in der Woche vor Vorlesungsbeginn die Ersti-Woche, eine Einführungsveranstaltung für die neuen Physik-Studierenden. Etwas später gibt es dann noch eine Wochenendfahrt, damit sich die neuen Studierenden besser kennenlernen und etwas den Stress des Studienalltags abschütteln können. Für die höheren Semester werden seit langer Zeit Info-Tage für die Vorbereitung auf die Bachelor- und Masterarbeit angeboten. Schließlich führt die Fachschaft Physik für den Fachbereich in jedem Semester die Evaluation der Lehrveranstaltungen durch, um Schwachpunkte festzustellen und die Qualität der Veranstaltungen weiter zu verbessern.

through representation in all bodies up to the departmental level and beyond. They are annually elected to ensure that they have a legitimate democratic mandate.

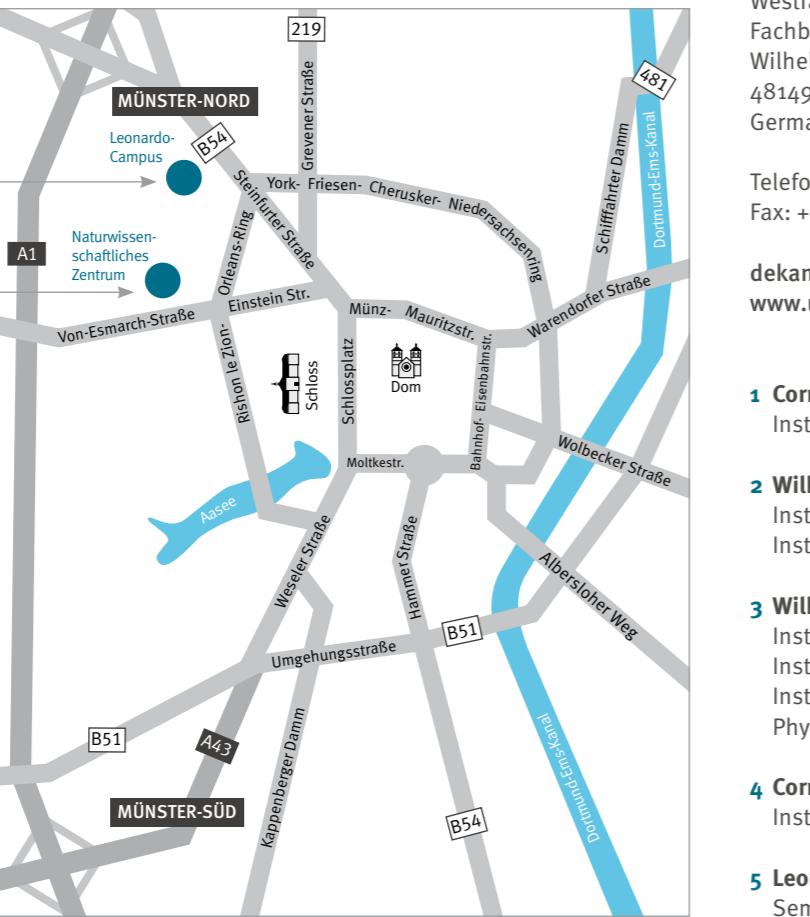
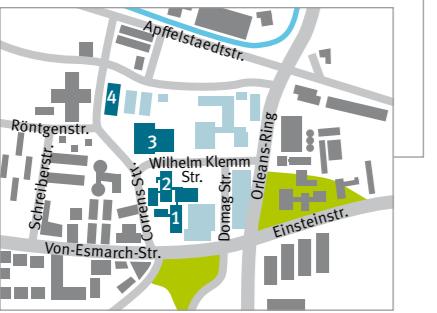
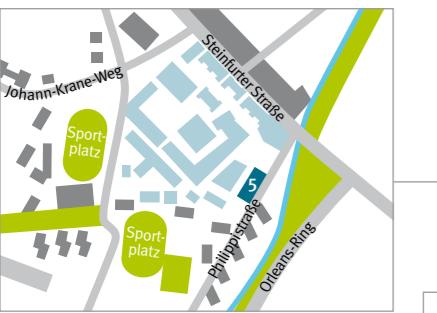
Besides representing students on various committees and providing advice on student matters (especially also regarding those issues that arise before commencing a degree course), the student associations are involved in many other activities. For example, they provide past exam papers and examination records in order to facilitate exam preparations. And of course they also provide some tips. In addition, every October the Physics Student Association organises a "Freshers' Week." This is an introductory event for new physics students during the week before regular lectures begin. Later on, a weekend outing offers new students an opportunity to get to know each other better, and to relieve some of the stress of their daily studies. In subsequent semesters, information days are organised to help students prepare for their Bachelor's or Master's thesis. Finally, on behalf of the department the Physics Student Association conducts an evaluation of the courses every semester, in order to identify any weaknesses and to further improve the quality of the degree programmes.

> Kontakt
und Anfahrt

> Contact Details and Directions

› Kontakt und Anfahrt

› Contact Details and Directions



Westfälische Wilhelms-Universität Münster
 Fachbereich Physik
 Wilhelm-Klemm-Str. 9
 48149 Münster
 Germany

Telefon: +49 (0) 251 83-33646 oder 83-33091
 Fax: +49 (0) 251 83-33090

dekanphy@uni-muenster.de
www.uni-muenster.de/Physik

1 Corrensstraße 2/4
 Institut für Angewandte Physik

2 Wilhelm-Klemm-Straße 9
 Institut für Kernphysik
 Institut für Theoretische Physik

3 Wilhelm-Klemm-Straße 10
 Institut für Didaktik der Physik
 Institut für Festkörpertheorie
 Institut für Materialphysik
 Physikalisches Institut

4 Corrensstraße 24
 Institut für Geophysik

5 Leonardo Campus 11
 Seminar für Didaktik des Sachunterrichts

Fotos / Photos :
 Presseamt Münster / Arigelia Klauer (S.8)
 Presseamt Münster / Joachim Büsch (S.11)
 Presseamt Münster / Tilman Rößnöller (S.11)
 slüterstöck (S.12)
 Thomas Hauss (S.18)
 Peter Leßmann (S.21)
 Christopher I. Fürn (S.30)
 Thomas Hauss (S.33)
 CeNTech (S.35)
 Thomas Hauss (S.38)
 Christopher I. Fürn (S.43)
 Christopher I. Fürn (S.47)
 Michael Zacher (S.51)
 DESY (S.52)
 CERN / A. Saha (S.54)
 Fachschaft Physik (S.68)
 Fachschaft Physik (S.71)
 Stephan Dökmann (S.72)

Komitee für Elementarteilchenphysik (KE) (S.55)
 Fachschaft Physik (S.68)
 Fachschaft Physik (S.71)
 Stephan Dökmann (S.72)

Das Copyright aller weiteren Fotos liegt bei den jeweiligen Instituten des Fachbereichs Physik.

