

Fakultät für Physik

Faculty of Physics

Energy-Science – die Einführung des Bachelorstudiengangs ist nur konsequent, da es sich bei diesem Themenfeld um eine der wichtigsten Herausforderungen unserer Zeit handelt und Studienangebote dazu äußerst rar sind. In der Fakultät für Physik befassen sich einige Arbeitsgruppen schon seit Jahren intensiv mit Forschungsfragen aus diesem Bereich. Beispielsweise beschäftigen sich Mitglieder der Gruppe um Prof. Dietrich Wolf in der Theoretischen Physik mit der Nutzung von Temperaturunterschieden zur Stromerzeugung, in der Gruppe von Prof. Peter Kratzer arbeitet man an Halbleiternanostrukturen, die sich vielleicht bald als Nanodrähte in Solarzellen wiederfinden.

A Bachelor's degree programme in Energy Science has been introduced at the University of Duisburg-Essen to meet one of the major challenges of our time in an area in which corresponding study programmes are extremely rare. In the Faculty of Physics several groups are working intensively on questions relating to this field. Members of the theoretical physics group of Professor Dietrich Wolf, for example, investigate the possibility of using differences in temperature to generate currents, while the group of Professor Peter Kratzer is working on semiconductor nanostructures which could soon be found as nanowires in future solar cells.



Weltweit ist ein Wettstreit um die interessantesten Entdeckungen zum Thema Graphen entbrannt, dem „Wundermaterial“ aus Kohlenstoff, für dessen Entdeckung 2010 der Physik-Nobelpreis vergeben wurde. Mehrere Gruppen unserer Fakultät sind mit erfolgreichen Forschungsprojekten dabei: So wird in der Gruppe um Prof. Marika Schleberger Graphen mit Ionen beschossen – die daraus resultierenden veränderten Strukturen sind für elektronische Bauteile interessant. Wie der Stromtransport in kleinsten Einheiten funktioniert, untersuchen Mitglieder der Forschungsgruppe von Prof. Rolf Möller mit höchster räumlicher Auflösung. Anregungszustände in Supraleitern, die in der Forschungsgruppe von Prof. Uwe Bovensiepen analysiert werden, spielen eine wichtige Rolle beim Transport von Energie.

Die Vielfalt der Physik spiegelt sich aber auch in der Vielzahl anderer Forschungsthemen in unserer Fakultät wider: Dazu stehen im folgenden Forschungsbericht stellvertretend für die Bereiche „Nanomagnete“ die Professoren Heiko Wende, Michael Farle und Peter Kratzer, für „ultraschnelle Phänomene“ Prof. Michael Horn-von Hoegen, für die „Planetenentstehung“ Prof. Gerhard Wurm und in der Didaktik der Physik für die „Physikkompetenz von Lehrkräften“ Prof. Hans E. Fischer sowie für „PC-basierter Test für Kompetenz“ Prof. Heike Theyßen.

Forschungshighlights

„Energiewandlung“ und „Energietransport“ sind die Schlagwörter, die für die Forschung in der AG (Arbeitsgruppe) Wolf charakteristisch sind. Hier sucht die Theoretische Physik die Nähe zur Anwendung und zu den Ingenieurwissenschaften.

Beispiel Thermoelektrik: Materialien, mit denen man kostengünstig und umweltverträglich aus Temperaturunterschieden elektrischen Strom gewinnen kann, müssen eine geeignete Mikrostruktur haben. Diese ist oft genauso wichtig wie die chemische Zusammensetzung, weil sie die thermoelektrischen Transportkoeffizienten beeinflusst.

Worldwide the race is on for the most interesting discoveries relating to graphene. In 2010 the Nobel Prize was awarded for the discovery of this “magic” carbon material. A number of research groups from the Faculty of Physics are part of the race with their own successful research projects. In the group of Professor Marika Schleberger graphene is irradiated by ions, producing modified structures that are of interest for electronic applications; electric currents in extremely small structures are studied with very high spatial resolution by the members of the research group of Professor Rolf Möller; and excitation states in superconductors, analyzed in the group of Professor Bovensiepen, are important for the transport of energy.

The diversity of physics is also reflected in the diversity of research topics covered by the faculty. In the following research report, this diversity is represented in the field of nanomagnets by Professors Heiko Wende, Michael Farle and Peter Kratzer, for ultrafast phenomena by Professor Michael Horn-von Hoegen, for planet formation by Professor Gerhard Wurm, in the research groups on Physics Education for “Professional knowledge of science teachers” by Professor Hans E. Fischer, and for a PC-based test for process-based analysis of students’ experimental skills by Professor Heike Theyßen.

Research Highlights

“Energy conversion” and “energy transport” are key words characterizing the research of the theoretical physics group of Professor Wolf. For more than a decade it has been working on basic research themes for engineering and applications. Thermoelectrics is one example: materials that convert temperature differences into electricity directly without detouring via a heat engine gain efficiency if they have a beneficial microstructure. This factor is at least as important as the chemical composition, because it influences the thermoelectric transport coefficients.

A second example is magnetic friction: a magnetic probe scanning a ferromagnetic surface decelerates because of the conversion of kinetic



Beispiel magnetische Reibung: Wird eine magnetische Sonde, die eine ferromagnetische Oberfläche abrastert, abgebremst, indem sie kinetische Energie in magnetische Anregungsenergie umwandelt? Die Antwort lautet „ja“. Diese Reibungskraft ist im Allgemeinen geschwindigkeitsabhängig, und dazu trägt auch die magnetische Wirbelschleife bei, die eine schnell bewegte Sonde hinter sich her zieht. Für Überraschung sorgte das Ergebnis, dass die Reibung unter bestimmten Bedingungen magnetische Ordnung hervorrufen kann.

Beispiel Ohmsches Gesetz: In Nanostrukturen bei sehr niedrigen Temperaturen gilt das Ohmsche Gesetz nicht. Wie es bei höheren Temperaturen durch Quantendekohärenz zustande kommt, wurde mit Hilfe eines ganz neu entwickelten Modellierungskonzepts analysiert.

Weitere Forschungsthemen aus der AG Wolf sind Elektromigration, das heißt die Drift von Atomen aufgrund eines elektrischen Stroms sowie Scherlokalisierung und elastisches Verhalten granularer Materie.

Wendet man die Quantenphysik, die den Mikrokosmos perfekt beschreibt, nicht auf Atome und Lichtteilchen an, sondern auf greifbare Objekte, so führt sie zu Vorhersagen, die unsere „klassische“ Alltagserfahrung auf den Kopf stellen. Ein und derselbe Gegenstand sollte sich dann gleichzeitig an mehreren Orten befinden können, und in seinem Verhalten auch dadurch bestimmt werden, ob man ihn beobachtet oder nicht. Die Arbeitsgruppe von Prof. Klaus Hornberger erforscht Systeme, die im Übergangsbereich zwischen dem Quantenregime und der klassischen Physik liegen. Speziell untersucht sie im Rahmen der Theorie offener Quantensysteme, inwieweit sich die Entstehung klassischer physikalischer Eigenschaften und Gesetzmäßigkeiten verstehen lässt, wenn man die Quantentheorie als universell gültig annimmt.

Solche Fragen lassen sich konkret studieren, indem man die Dynamik immer größerer Moleküle in der Wechselwirkung mit ihrer natürlichen Umgebung betrachtet. Die zunehmende Komplexität solcher Makromoleküle macht eine voll-

energy into magnetic excitation energy. In general, the magnetic friction force depends on the scanning velocity, and at sufficiently high velocities a vortex street forms in the wake of the scanning probe. A particularly important and surprising result here is that, under certain conditions, friction may induce magnetic order.

A further example is Ohm's law, which does not hold in nanostructures at low temperatures. A novel modelling concept makes it possible to analyze how Ohm's law emerges at higher temperatures due to the loss of quantum coherence. Further research topics in Professor Wolf's group include electromigration (the drift of atoms due to an electric current), shear localization, and elasticity in granular media (like sand).

Quantum physics is known to work perfectly for microscopic particles such as atoms and photons; however, its predictions turn "classical" everyday experience upside down if it is applied to palpable objects. According to it, for instance, one and the same object should be able to exist simultaneously in different places, and its dynamic behaviour should depend on whether or not it is observed. A main goal in the group of Professor Klaus Hornberger is to investigate systems that belong to the transition region between the quantum regime and classical physics. Based on the theory of open quantum systems, the group is studying to what extent it is possible to understand the emergence of classical physical properties and classical laws if quantum theory is viewed as universally valid.

These questions arise naturally when dealing with the dynamics of ever larger molecules as they interact with their natural environment. The increasing complexity of such macromolecules makes a complete microscopic description practically impossible and requires identification of the general principles and mechanisms behind the quantum-to-classical transition. In parallel to this, the group is developing experimentally realizable proposals to probe the boundary region between quantum behaviour and classical physics, and to verify quantum phenomena on scales that have not been reached so far. This includes

ständig mikroskopische Beschreibung praktisch unmöglich, und erzwingt es, die allgemeinen Prinzipien und Mechanismen zu identifizieren, die den quanten-klassischen Übergang bestimmen. Parallel dazu werden experimentell realisierbare Vorschläge ausgearbeitet, die den Grenzbereich zwischen quantenmechanischem Verhalten und der klassischen Physik ausloten und den Nachweis von Quantenphänomenen auf bisher unerforschten Skalen ermöglichen. Dazu gehört der Beweis der Wellennatur ultra-massiver Teilchen, etwa von Metallclustern, durch spezielle Nahfeld-Interferenzeffekte, sowie Vorschläge zum Nachweis von Verschränkung, also von „spukhafter Fernwechselwirkung“, in den Eigenschaften mesoskopischer Systeme.

Theoretische Aspekte bei der Herstellung von Halbleiter-Nanostrukturen wurden in der Arbeitsgruppe von Prof. Peter Kratzer untersucht. Dabei geht es um die Aufklärung der Elementarprozesse auf atomare Ebene, die bei der Abscheidung von kristallinen Materialien aus der Gasphase ablaufen. Mit Hilfe eines Gold-Nanopartikels können beispielsweise Nanodrähte aus Galliumarsenid auf einer Unterlage aufgewachsen werden. In der Arbeitsgruppe konnten durch Berechnungen gezeigt werden, dass eine wesentliche Funktion der Goldpartikel darin besteht, Arsen-Moleküle aus der Gasphase aufzufangen. Diese chemische Reaktionsfähigkeit ist überraschend, wenn man bedenkt, dass Gold ein Edelmetall ist; die Arbeitsgruppe fand allerdings, dass in die Gold-Oberfläche eingebaute Gallium-Atome beim Festhalten des Arsens mithelfen. Die Untersuchungen schlagen eine Brücke zwischen Halbleiterphysik, Chemie und Materialwissenschaften, und präzisieren, in welcher Weise Goldpartikel beim Kristallwachstum als Katalysator wirken, wobei bekannte Prinzipien aus der Chemie auch hier Gültigkeit behalten. Mögliche Anwendungen der Halbleiter-Nanodrähte liegen zum Beispiel im Bereich von Solarzellen und werden innerhalb von CENIDE verfolgt.

Nanomagnete ermöglichen heute die fortschrittliche Datenspeicherung, dienen als Kontrastmittel bei der MRT-Untersuchung und werden für Hyperthermie-Behandlungen bei



Dekan/Dean: Prof. Dr. Michael Schreckenberg

demonstrating the wave nature of ultra-massive particles, such as large metal clusters, by means of a near-field interference effect, as well as proving entanglement, i.e. “spooky action at a distance”, in the properties of mesoscopic systems.

In the research group of Professor Kratzer, the fabrication of semiconductor nanostructures is explored from a theoretical perspective. The aim is to identify the elementary processes on the atomic scale which are active in the deposition of crystalline materials from the gas phase. For example, nanometer-sized gold particles are known to be instrumental in growing thin crystalline needles of the semiconductor gallium arsenide. The group’s calculations provided evidence that the major role of the gold must be seen in capturing and dissociating arsenic molecules from the gas phase. This reactivity of gold comes as a



Krebspatienten eingesetzt. Dies sind nur einige Beispiele der Einsatzmöglichkeiten, doch machen sie bereits deutlich, dass bei so vielfältigen Anwendungen ebenso unterschiedliche Eigenschaften der Nanomagnete gefragt sind: Für die Datenspeicherung in Computern müssen die Nanomagnete zum Beispiel fest in eine Richtung ausgerichtet bleiben, um Daten für lange Zeit speichern zu können. Für die hyperthermische Behandlung von Krebspatienten wiederum braucht man Nanomagnete, die sich ganz leicht umpolen lassen. Für die Behandlung bringt man die winzigen Partikel direkt in den Tumor ein und ändert durch Magnetfelder von außen in schneller Geschwindigkeit ihre Magnetisierungsrichtung. Dadurch erzeugen die Nanomagnete Hitze, die die umliegenden Krebszellen lokal zerstört.

In Zusammenarbeit der Arbeitsgruppen von den Experimentalphysikern Prof. Heiko Wende und Prof. Michael Farle sowie dem Theoretischen Physiker Prof. Peter Entel wurden nun konkrete Regeln definiert, mit denen es möglich ist, schon bei der Herstellung der Nanomagnete deren Eigenschaften genau zu bestimmen. Dazu haben die Arbeitsgruppen von Prof. Wende und Prof. Farle die Nanopartikel mit unterschiedlichen Metallen ummantelt und anschließend deren Effekt auf die magnetischen Eigenschaften der innenliegenden Partikel gemessen. Um möglichst aussagekräftige, detaillierte Messwerte zu erhalten, haben die Forscher die Synchrotronstrahlungsquelle BESSY II vom Helmholtz-Zentrum Berlin eingesetzt. Die dadurch erzeugten hochbrillanten Röntgenstrahlen lassen Rückschlüsse auf die magnetischen Eigenschaften der Probe zu. Dr. Carolin Antoniak, Mitarbeiterin der Arbeitsgruppe Wende, koordinierte diese Messungen und brachte deren Analyse voran. Durch diese Messungen konnte die verschiedenen Magnetisierungstypen unterschieden werden. Parallel dazu hat Dr. Markus Gruner aus der Arbeitsgruppe von Prof. Entel den Einfluss der verschiedenen Ummantelungsmetalle theoretisch berechnet – und zwar für jedes einzelne Atom in einem Nanomagnet. Für diese komplizierten Rechnungen nutzte der Theoretische Physiker

surprise, considering it is a noble metal; however, gallium atoms alloyed in the gold surface layer may help to bind the arsenic atoms more strongly. As a major outcome of this interdisciplinary study, it has been possible to give a precise meaning to the statement that gold acts as a growth catalyst, and thus to make use of known principles in chemical catalysis in this new context. Possible applications of the needle-like semiconductor nanostructures, e.g. for solar cells, are explored by other groups within CENIDE (Center for Nano-integration Duisburg-Essen).

Nanomagnets make advanced data storage possible, serve as contrast media in MRI tests and are used for hyperthermic treatment in cancer patients. These are but a few examples of their applications, yet it is clear to what extent nanomagnets are in demand for so many applications and with so many different properties. In computer memory, for example, nanomagnets have to remain in fixed alignment if they are to store data for any length of time. Hyperthermic treatment of cancer patients, by contrast, requires nanomagnets that can switch polarity very easily. This treatment involves introducing the minute particles directly into the tumour and then rapidly reversing their magnetization using external magnetic fields. The nanomagnets thereby produce heat that locally destroys the surrounding cancer cells.

The research groups of the experimental physicists Professor Heiko Wende and Professor Michael Farle have been working together with the theoretical physicist Professor Peter Entel and have now defined concrete rules by which to precisely determine the properties of nanomagnets during their production. On the experimental side, the groups of Professor Wende and Professor Farle coated the nanoparticles in various metals and then measured the effects of these metals on the magnetic properties of the particles inside. To obtain the most meaningful and detailed data, the researchers used the BESSY II synchrotron radiation facility of the Helmholtz Zentrum Berlin. The high brilliancy X-rays deliver information on the magnetic properties of the sample. Dr. Carolin Antoniak, member of Professor Wende's

Professorinnen und Professoren

Professors

- Prof. Dr. Udo Backhaus
- Prof. Dr. Uwe Bovensiepen
- Prof. Dr. Gernot Born
- Prof. Dr. Volker Buck
- Prof. Dr. Hans Werner Diehl
- Prof. Dr. Peter Entel
- Prof. Dr. Michael Farle
- Prof. Dr. Hans E. Fischer
- Prof. Dr. Hilmar Franke
- Prof. Dr. Thomas Guhr
- Prof. Dr. Klaus Hornberger
- Prof. Dr. Michael Horn-von Hoegen
- Prof. Dr. Boris Kerner
- Prof. Dr. Jürgen König
- Prof. Dr. Peter Kratzer
- Prof. Dr. Axel Lorke
- Prof. Dr. Hartmut Machner (FZ-Jülich)
- Prof. Dr. Dieter Mergel
- Prof. Dr. Rolf Möller
- Prof. Dr. Hermann Nienhaus
- Prof. Dr. Markus Peschel
- Prof. Dr. Lothar Schäfer
- Prof. Dr. Marika Schleberger
- Prof. Dr. Claus M. Schneider (FZ-Jülich)
- Prof. Dr. Michael Schreckenberg
- Prof. Dr. Ralf Schützhold
- Prof. Dr. Hans-Jürgen Sommers
- Prof. Dr. Heike Theyßen
- Prof. Dr. Stefan Thomae
- Prof. Dr. Heiko Wende
- Prof. Dr. Dietrich Wolf
- Prof. Dr. Andreas Wucher
- Prof. Dr. Gerhard Wurm

Europas größten akademischen Forschungsrechner JUGENE am Forschungszentrum Jülich.

Beide Ansätze – experimentell und theoretisch – ergänzen sich hier ideal: Die theoretische Berechnung ist zwar extrem genau, beruht jedoch auf Annahmen. Annahmen, die im Experiment bewiesen wurden. So ist es der Forscherkooperation nun möglich, vorauszusagen, mit welcher Metallummantelung welche Eigenschaften zu erreichen sind. Das bedeutet, dass die Nanomagnete je nach Art der gewünschten Eigenschaften bereits in der Produktion maßgeschneidert werden können. Eine ungemeine Erleichterung für Anwender jeder Art. In der Zukunft planen die Professoren Wende und Farle, die Nanomagnete mit organischen Materialien zu ummanteln. Die visionäre Idee ist, die Eigenschaften dieser Hybridsysteme durch externe Anregung wie zum Beispiel mit Licht zu verändern.

Die Arbeitsgruppe von Prof. Marika Schleberger arbeitet daran, die Eigenschaften von Graphen kontrolliert zu verändern. Das Wundermaterial ist seit seiner Entdeckung im Jahr 2004 durch die Nobelpreisträger Andre Geim und Konstantin Novoselov für viele Forschergruppen weltweit von Interesse. Wegen seiner außerordentlichen elektronischen, mechanischen und thermischen Eigenschaften werden die ultradünnen Kohlenstofflagen für alle möglichen Anwendungen vor-

group, was responsible for coordinating measurement and analysis of the beamtimes. These measurements made it possible to distinguish the various types of magnetization. Dr. Markus Gruner from the group of Professor Entel computed the influence of the different coating metals on every single atom inside a nanomagnet. To perform these complex calculations, the theoretical physicist worked on JUGENE, one of Europe's largest academic research computers, at the Forschungszentrum Jülich research centre.

Both approaches – experimental and theoretical – complement each other ideally here: while the theoretical calculation is extremely precise, it is still based on assumptions, and those assumptions must be confirmed by experiment. The research cooperation is now able to predict which properties can be achieved with which metal coating, meaning that nanomagnets can be tailored to the desired properties during their production. This makes life much easier for all kinds of users. In the future, Professor Wende and Professor Farle plan to coat the nanomagnets with organic materials. Their vision is to modify the properties of these hybrid systems using external stimuli such as light.

The group of Professor Marika Schleberger is working on the controlled modification of graphene. This special material has been of interest to many

geschlagen. Für viele dieser Anwendungen wäre es überaus nützlich, Graphen gezielt manipulieren zu können. Die AG Schleberger verfolgt dabei den Ansatz, energiereiche Teilchenstrahlen zu benutzen. Mit dieser Technik ist es der Gruppe gelungen, eine ganze Reihe von Modifikationen zu realisieren, wie beispielsweise das Einbringen von Fehlstellen und Fremdatomen in das Kristallgitter, aber auch das Falten von Graphen. Die Graphen-Origamis sind dabei nicht nur besonders ästhetische Nanoobjekte, sondern eignen sich vielleicht auch für Anwendungen, da sie ganz besondere Transporteigenschaften aufweisen sollen.

In der Arbeitsgruppe von Prof. Rolf Möller werden Vorgänge an Oberflächen mit höchster räumlicher Auflösung untersucht, so dass die einzelnen Atome und Moleküle und deren Eigenschaften sichtbar werden. In Hinblick auf die Entwicklung zukünftiger elektronischer Bauteile wird zum Beispiel der Stromtransport durch kleinste Strukturen analysiert. So konnten für eine Silberschicht auf Silizium ($\text{Si}(111)-\sqrt{3}\times\sqrt{3}\text{-Ag}$) als elementare Ursache für den Ohmschen Widerstand einzelne atomare Stufen identifiziert werden. In einem anderen Experiment wurde der so genannte „ballistische“ Transport, das heißt ohne nennenswerten Energieverlust, von Elektronen durch einzelne organische Moleküle studiert. Dabei zeigen sich innerhalb eines Moleküls Variationen der Transportkanäle. Unter anderen Bedingungen wird beim Transport von Elektronen durch ein Kupfer-Phthalocyanin Molekül dieses so angeregt, dass es seine Position auf einer Oberfläche geringfügig ändert. Das Molekül kann zwischen zwei oder drei Positionen hin und her springen, und in dem Strom durch das Molekül treten charakteristische Sprünge auf. In enger Zusammenarbeit mit der Gruppe von Prof. Nicolas Lorente aus Barcelona, die theoretische Berechnungen zu dem Verhalten des Moleküls auf der Oberfläche durchgeführt hat, konnten diese Experimente erklärt werden.

Die Gruppe um Prof. Michael Horn-von Hoegen beschäftigt sich mit dem Wachstum dünnster kristalliner und epitaktischer Schichten. So wurde die Gitterausdehnung von Graphen auf

research groups worldwide since its discovery in 2004 by the Nobel Prize winners A. Geim and K. Novoselov. Because of its unique electronic, mechanical and thermal properties, the ultrathin carbon layers are envisaged to play an important role in many future applications. For many of these, the controlled manipulation of graphene would be highly desirable. Professor Schleberger's group uses ionizing particle radiation to achieve this goal. With this technique the group has been able to achieve a number of modifications, such as the introduction of defects and foreign atoms but also graphene folding. These graphene origami are not only aesthetic nano objects, they are also predicted to have special transport properties and may therefore be of interest in applications.

In the group of Professor Rolf Möller, processes at surfaces are studied with very high spatial resolution to show the individual atoms and molecules. Electronic transport through small structures is analyzed in detail, providing basic information for the development of future electronics. Here it was possible, for example, to determine the electric resistivity of individual atomic steps for a layer of silver on silicon ($\text{Si}(111)-\sqrt{3}\times\sqrt{3}\text{-Ag}$). In another experiment, what is known as 'ballistic' transport of electrons, or transport without significant loss of energy and change of momentum, is studied for single molecules, revealing different paths for electronic transport. If the electrons lose energy within the molecule, this may lead to the molecule moving slightly on the surface. Jumps between three different positions are observed for a copper phthalocyanine molecule. In collaboration with the group of Professor Nicolàs Lorente from Barcelona, who has performed theoretical calculations for the behaviour of the molecule on the surface, the observed fluctuations were able to be explained in detail.

Professor Michael Horn-von Hoegen and his group are experts in the growth of ultrathin crystalline and epitaxial films. Recently, the lattice expansion of graphene on a supporting iridium substrate has been determined with an unmatched resolution of 1/3000 of the atomic distance. A second important research topic is the investiga-



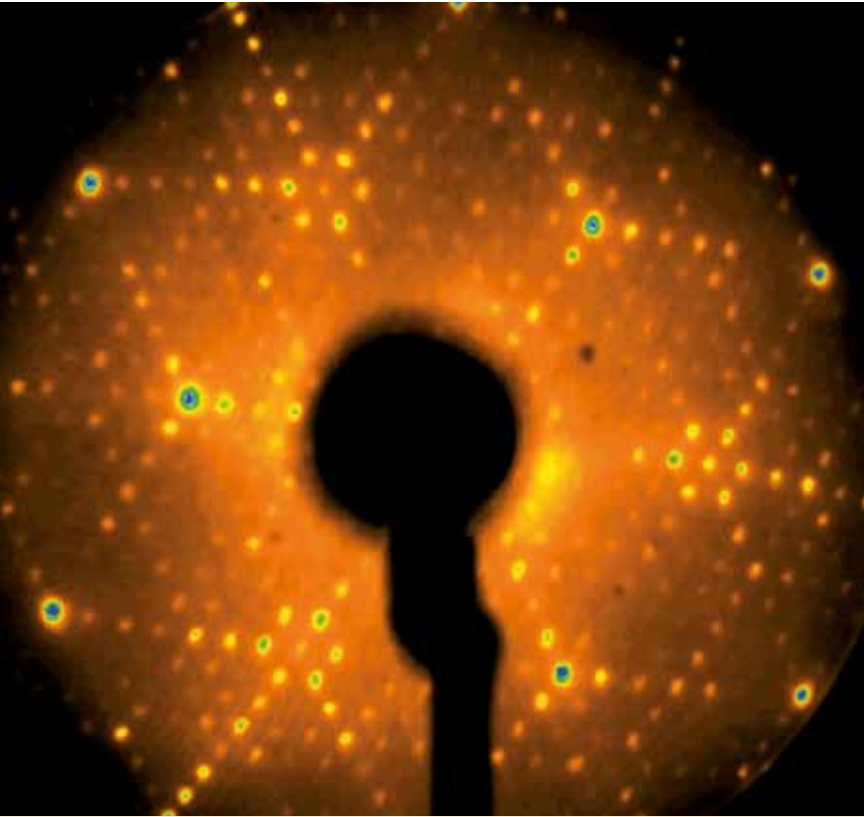
einem Iridium-Substrat mit einer Genauigkeit $1/3000$ des Atomabstandes bestimmt, auch mit der ultraschnellen Dynamik von Elektronen und Atomen an Oberflächen. Die Elektronendynamik wird in einem direkt abbildenden Photoelektronen-emissionsmikroskop mit Femtosekunden-Zeitauflösung und einer Phasenstabilität von unter 20 Attosekunden sichtbar gemacht: Die Bewegung eines Plasmons, das sich mit halber Lichtgeschwindigkeit durch ein nur $10\ \mu\text{m}$ großes Silberpartikel bewegt, kann mit extremer Zeitlupe in einem nur 8 Femtosekunden langen Film verfolgt werden! Eine solche elektronische Anregung wird innerhalb von einer Pikosekunde auf die Atome des Kristallgitters übertragen, die sich daraufhin bewegen und beispielsweise einen Phasenübergang durchmachen. Diese strukturelle Änderung wird mit ultraschneller Elektronenbeugung an Oberflächen studiert – ein weltweit einmaliges Experiment, das in den letzten zwei Jahren zu aufsehenerregenden Ergebnissen geführt hat.

Ultraschnelle Phänomene an Festkörpern und deren Grenzflächen werden in der Arbeitsgruppe Bovensiepen mit Femtosekunden-zeitaufgelösten Experimenten untersucht. Hierzu werden pump-probe Verfahren der Elektronen- und Röntgenspektroskopie, der Beugung und der nicht-linearen Optik in Kombination mit Kurzpuls-Lasersystemen eingesetzt. Im Fokus des Interesses stehen schnelle Änderungen der elektronischen und atomaren Struktur, die direkt in der Zeitdomäne untersucht wird. Ziel ist es, die mikroskopischen Wechselwirkungen und die Dynamik elementarer Anregungen zu verstehen. Die Arbeiten in der Arbeitsgruppe behandeln zum Beispiel die Relaxation angeregter Ladungsträger in Eisen-basierten Supraleitern. So konnte gezeigt werden, dass die magnetischen Eigenschaften dieser Materialien, welche durch die Elektronen bestimmt werden, zu einer deutlich langsameren Relaxation der angeregten Elektronen als der „unbeteiligten“ Löcher führen. Weitere Arbeiten in Kooperation unter anderem mit Wissenschaftlern des SLAC National Accelerator Lab. und des Lawrence Livermore National Lab. beschäftigten sich mit der Gitterdynamik in ferroelektrischen Materialien und

tion of the ultrafast dynamics of electrons and atoms at surfaces. The electron dynamics is measured in a directly imaging photo electron emission microscope with femtosecond time resolution and attosecond phase stability: the motion of a plasmon, which propagates with half the speed of light in a $10\ \mu\text{m}$ large silver particle, is displayed in extreme slow motion in a film lasting only 8 femtoseconds. Such an electronic excitation is transferred in picoseconds to the lattice of atoms, which triggers either motion of the atoms or a phase transition. Such structural transitions at surfaces are studied using ultrafast electron diffraction – a unique experiment that has produced exciting results over the last two years.

Ultrafast phenomena in solids and at their interfaces are the focus of research carried out in the group of Professor Uwe Bovensiepen. Femtosecond time-resolved optical, electron and X-ray spectroscopy and diffraction in combination with short-pulse laser systems are used to study transient changes in the electronic and atomic structure of materials. The aim is to gain an understanding of the microscopic interaction processes and the dynamics of elementary excitations. For example, work on the relaxation of excited carriers in iron-based superconductors revealed that the magnetic interactions between electrons lead to a significantly slower relaxation of the excited electrons compared to the magnetically non-interacting holes. Other work, in collaboration with scientists from the SLAC National Accelerator Laboratory and Lawrence Livermore National Laboratory, addressed the transient lattice response of ferro-electric materials after laser excitation, as well as the dynamics of fast order-disorder transitions (melting and plasma formation) in carbon, which are induced by intense femtosecond X-ray pulses. In the semimetal bismuth it was found that irradiation with femtosecond laser pulses leads to a direct light-induced excitation of the lattice.

Planet formation is at the heart of research carried out by Professor Gerhard Wurm and his group. More than 800 extrasolar planets are known to date. How they – and our own solar system – were formed is one of the most topical research



Elektronenbeugungsbild der 7x7-Rekonstruktion von Silizium (111)
Electron diffraction image of the silicon (111) 7x7 reconstruction

mit schnellen Ordnungs-Unordnungs-Übergängen (Schmelzen/Plasmabildung) in Kohlenstoff, welche durch die Bestrahlung mit intensiven Röntgenimpulsen hervorgerufen werden. Im Halbmetall Wismut konnte in der Arbeitsgruppe durch Femtosekunden-Laserbestrahlung eine direkte licht-induzierte Anregung des Kristallgitters, die bis zu 150 ps lang erhalten bleibt, beobachtet werden.

Planetenentstehung steht im Zentrum der Arbeiten von Prof. Gerhard Wurm. Weit mehr als 800 Extrasolaren Planeten wurden in den letzten Jahren entdeckt. Wie sie – und unser eigenes Sonnensystem – entstanden sind, ist eine der aktuellsten Fragen der modernen Astrophysik. Duisburg ist dabei einer der wenigen Orte auf der Welt, in denen die Vorgänge des Wachstums von Planeten im Labor untersucht werden. Experimentell – erdgebunden, auf Parabelflügen und im

fields in astrophysics. Within this field, Duisburg is one of the few locations worldwide where the process of planetary growth is studied in laboratory experiments – earthbound, under microgravity in parabolic flights and in the drop tower. One special aspect of the work here is to understand how micron-size dust particles grow to larger km-size planetesimals. The group was able to show that growth of dusty matter is possible even at 180 km/h. This is the current experimental basis for explaining the first steps of planet formation. Other research includes interaction of stellar (and solar) radiation with dusty surfaces. Particle ejections due to this interaction provide an explanation for processes, such as planet-encircling dust storms on Mars, that up to now have remained unexplained. To also give students better access to observational astronomy, a 14" telescope has been installed on top of the university building.

Research on physics education above all describes and explains subject-specific teaching and learning processes and classroom interaction for all types of schools from primary school to university. The focus is on analysis and optimization of teaching and learning processes in physics lessons and the development of quality criteria and quality assessment for teaching and teacher education in physics.

The head of DFG Research Unit 511, Professor Hans E. Fischer, and his group are working on physics competence among students in upper and lower secondary school in order to analyze the effect of specifically designed lesson plans and modifications. A number of projects funded by the German Federal Ministry of Education (BMBF) deal with the coherence between teachers' professional knowledge and their activities during lessons; their aim is to draw conclusions for new or modified content of teacher training at universities. The differences between Finnish and German teachers and their activities in the classroom are also analyzed in order to better understand the PISA ranking of Finnish students and optimize German physics education.

One of the topics in the research group of Professor Heike Theyßen concerns the experi-



Fallturm – wird im Detail untersucht, wie aus Mikrometerpartikeln größere Körper wachsen. Es wurde zum Beispiel gefunden, dass Wachstum von Partikeln bei hohen Geschwindigkeiten von 180 km/h möglich ist. Dies bietet derzeit die experimentelle Grundlage für die Erklärung, wie man in den ersten Schritten von Staub bis zu km-Größe (Planetesimalen) kommt. Weitere Forschungsfelder sind die Wechselwirkung der Strahlung eines Sterns (oder der Sonne) mit kleinen Körpern aber auch der Oberfläche des Mars, wo die Arbeiten Erklärungen für bislang rätselhafte Beobachtung bieten, beispielsweise die Existenz von Planeten umspannenden Staubstürmen auf dem Mars. Um Studenten auch den Anschluss an die beobachtenden Astronomie zu erlauben wurde ein 14” Teleskop auf dem Dach der Universität installiert.

Die Forschung in der Didaktik der Physik beschreibt und erklärt unter anderem für das Fach spezifische Lehr- und Lernprozesse in der Interaktion von Lehrpersonen und Schülerinnen und Schülern aller Schulformen von der Primarstufe bis zur Universität. Sie untersucht und optimiert Unterrichtsprozesse, und sie entwickelt Instrumente zur Qualitätsentwicklung für den Physikunterricht und die Ausbildung von Physiklehrenden.

Der Sprecher der DFG-Forschergruppe 511, Prof. Hans E. Fischer, und seine Arbeitsgruppe bearbeiten mit Projekten der Forschergruppe und weiteren DFG-Projekten die Messung und Modellierung von Physikkompetenzen in Mittel- und Oberstufe, um damit Vorhersagen über die Wirkung unterrichtlicher Maßnahmen machen zu können. In Projekten unter Förderlinien des BMBF wird der Zusammenhang zwischen professionellem Wissen von Lehrkräften und ihrem Handeln im Unterricht untersucht, um daraus Schlussfolgerungen für universitäre Inhalte der Lehrerbildung zu ziehen. Die Unterschiede im Unterricht finnischer und deutscher Lehrpersonen werden analysiert, um den Erfolg der finnischen Schülerinnen und Schüler bei PISA besser zu verstehen, damit Physikunterricht in Deutschland gegebenenfalls optimiert werden kann.

mental skills of lower secondary school students. Up to now, experimental skills have usually been assessed in large-scale studies like TIMSS and PISA using paper and pencil tests. However, these instruments do not account for process aspects of experimental skills. In a cooperation project funded by the BMBF, a PC-based test instrument is being developed for process-based analysis of experimental skills in large-scale assessments.

Awards and Distinctions

Dr. Carolin Schmitz-Antoniak, member of the group of Professor Heiko Wende, received the IXAS Dale Sayers Young Scientist Award at the 15th International Conference on X-ray Absorption Fine Structure in Beijing and prize money of 500 US dollars for her research on the structure and magnetism of systems on the nanoscale. Since 2003, the International X-ray Absorption Society has been awarding this prize for outstanding contributions to the XAFS field.

Caroline de Beule, member of Professor Gerhard Wurm’s group, received the award of the Center of Applied Space Technology and Microgravity, Bremen (ZARM) and prize money of 1000 euros. She was awarded first prize for her diploma thesis “Gravitationsabhängigkeit licht-induzierter Stauberuptionen”.

Professor Andreas Ney, who took up the professorship for Solid State Physics at the Johannes Kepler University Linz (Austria) on 1 February 2012, received the Gottschalk-Diederich-Baedeker Prize worth 5000 euros for his outstanding habilitation thesis.

Vural Kaymak from the research group of Professor Thomas Guhr was recognized by the Ministry of Research of North Rhine-Westphalia for his outstanding achievements. He was one of ten prize winners at the “Absolventenbegegnung 2011” alumni meeting in Düsseldorf to receive a certificate and an elaborately engraved glass plate from Minister Svenja Schulze.

Graduate physicist Hanna Bukowska was honoured by the University of Duisburg-Essen in cooperation with the Turkish Consulate General in Essen for her excellent degree results.



Die Arbeitsgruppe von Prof. Heike Theyßen befasst sich unter anderem mit experimentellen Fähigkeiten von Schülerinnen und Schülern. Experimentelle Fähigkeiten werden bislang in großflächigen Leistungserhebungen, beispielsweise im Rahmen von TIMSS und PISA, meist nur mit schriftlichen Verfahren erhoben, die die handlungsorientierten Kompetenzen nicht abbilden können. In einem Verbundprojekt, das vom BMBF gefördert wird, wird ein PC-basiertes Testinstrument entwickelt, mit dem es möglich sein soll, handlungsorientierte experimentelle Fähigkeiten auch in großflächigen Leistungserhebungen zu erfassen.

Preise

Dr. Carolin Schmitz-Antoniak aus der Forschungsgruppe von Prof. Wende erhielt für die Erforschung der Struktur und des Magnetismus nanoskaliger Systeme den mit 500 US-Dollar dotierten IXAS Dale Sayers Young Scientist Award für Nachwuchswissenschaftler auf der 15. Internationalen Röntgenabsorptionskonferenz XAFS15 in Peking. Seit 2003 vergibt die International X-ray Absorption Society alle drei Jahre den Preis für Nachwuchswissenschaftler, die herausragende Beiträge auf dem Gebiet der Forschung mit Synchrotronstrahlung geliefert haben.

Caroline de Beule aus der Arbeitsgruppe von Prof. Wurm hat den mit 1.000 Euro dotierten Förderpreis des ZARM (Center of Applied Space Technology and Microgravity, Bremen) erhalten. Sie wurde für ihre Diplomarbeit „Gravitationsabhängigkeit lichtinduzierter Stauberuptionen“ mit dem ersten Platz ausgezeichnet.

Prof. Andreas Ney, der zum 1. Februar 2012 die Professur für Festkörperphysik an der Johannes Kepler-Universität in Linz (Österreich) angetreten hat, erhielt den mit 5.000 Euro dotierten Gottschalk-Diederich-Baedeker-Preis für seine herausragende Habilitation.

Vural Kaymak aus der Forschungsgruppe von Prof. Thomas Guhr wurde für seine herausragenden Leistungen vom Wissenschaftsministerium NRW ausgezeichnet. Auf der „Absolventenbegeg-

The Sparkasse Duisburg also distinguished two members of the Faculty of Physics for their outstanding achievements: physicist Dr. David Krix, member of the scientific group of Professor Hermann Nienhaus, explored uncharted waters in his experiments and theories for his doctoral thesis, in which he analyzed electronic excitation during the oxidation of the surfaces of alkali metal with molecular oxygen.

Kai Wagner of Professor Michael Farle's group received a distinction for his outstanding work for his Bachelor's degree.

Dr. Mario Kieburg, member of the scientific group of Professor Thomas Guhr, was honoured at the Dies Academicus for his doctoral thesis "Supersymmetry in Random Matrix Theory". Hanna Bukowska of Professor Marika Schleberger's research group received a prize for the best degree thesis. Parts of her scientific work on Raman spectroscopy on graphene have been published in the *New Journal of Physics*.

Associate professor Frank-Joachim Meyer zu Heringdorf was awarded the Gottschalk-Diederich-Baedeker Prize worth 5000 euros for his outstanding habilitation thesis entitled "Frontiers of In-Situ and Time-Resolved Surface Electron Microscopy". During his work at the University of Duisburg-Essen, F.-J. Meyer zu Heringdorf used low-energy electron microscopy and the photoemission electron microscope to analyze different phenomena in surface science. The key to his success lay in researching the dynamics of surface plasmon polaritons in nanoscale silver structures.

Outlook

The implementation of the Energy Science Bachelor's programme and the related preparation have made the overlap between the research topics of the different groups in the Faculty of Physics very visible, with the resulting cooperation promising to produce some interesting findings. The Nano-EnergieTechnikZentrum (NETZ) reflects the connection between the nanosciences and energy research to the outside world and stands for pioneering research projects as a collaboration between several faculties (Physics, Chemistry, Engineering).

nung 2011“ in Düsseldorf war er einer von zehn Ehrenpreisträgern, die Urkunden und kunstvoll gravierte Glasplatten von Ministerin Svenja Schulze erhielten.

Diplomphysikerin Hanna Bukowska wurde von der Universität Duisburg-Essen in Kooperation mit dem türkischen Generalkonsulat Essen für ihren herausragenden Abschluss geehrt.

Die Sparkasse Duisburg hat zwei Mitglieder der Fakultät für Physik für ihre herausragenden Leistungen geehrt: Physiker Dr. David Krix aus der Forschungsgruppe von Prof. Hermann Nienhaus hat in seiner Doktorarbeit experimentell und theoretisch Neuland betreten, indem er die Natur und Ursache elektronischer Anregungen bei der Oxidation von Alkalimetaloberflächen mit molekularem Sauerstoff untersucht hat.

Kai Wagner aus der Forschungsgruppe von Prof. Farle ist für seine herausragende Arbeit im Rahmen seines Bachelorstudiums ausgezeichnet worden.

Dr. Mario Kieburg aus der Forschungsgruppe von Prof. Guhr wurde am Dies Academicus für seine Promotion „Supersymmetry in Random Matrix Theory“ ausgezeichnet. Hanna Bukowska aus der Forschungsgruppe von Prof. Schleberger wurde mit einem Preis für das beste Diplom ausgezeichnet. Teile ihrer Forschungsarbeit über Ramanspektroskopie an Graphen wurden in der renommierten Zeitschrift *New Journal of Physics* publiziert.

Privatdozent Frank-Joachim Meyer zu Heringdorf erhielt den mit 5.000 Euro dotierten Gottschalk-Diederich-Baedeker-Preis für seine herausragende Habilitation mit dem Titel *Frontiers of In-Situ and Time-Resolved Surface Electron Microscopy*. Während seiner Tätigkeit an der Universität Duisburg-Essen hat Meyer zu Heringdorf die Mikroskopie mit langsamen Elektronen (LEEM) und Photoemissionsmikroskopie (PEEM) verwendet, um damit verschiedene Phänomene in der Oberflächenphysik zu untersuchen. Sein Meisterstück hat er dann mit der Untersuchung der Dynamik von Oberflächenplasmonen in Silberrnanostrukturen geliefert.

Ausgewählte Publikationen

Selected Publications

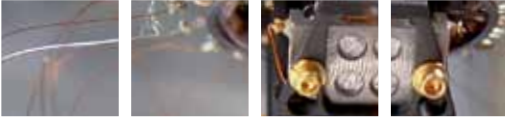
- Antoniak, C., M. E. Gruner, M. Spasova, A. V. Trunova, F. M. Römer, A. Warland, B. Krumme, K. Fauth, S. Sun, P. Entel, M. Farle, H. Wende (2011): A guideline for atomistic design and understanding of ultrahard nanomagnets, *Nature Communications* 2, Article number: 528.
- Akcöltekin, S., H. Bukowska, T. Peters, O. Osmani, I. Monnet et al. (2011): Unzipping and folding of graphene by swift heavy ions. *Appl. Phys. Lett.* 98, 103103 (2011); doi: 10.1063/1.3559619.
- Bobisch, C. A., R. Möller (2012): Electron transport at surfaces and interfaces, *CHIMIA, International Journal for Chemistry* 66 23–30.
- Cottin, M. C., C. A. Bobisch, J. Schaffert, G. Jnawali, A. Sonntag, G. Bihlmayer, and R. Möller (2011): Anisotropic scattering of surface state electrons at a point defect on Bi(111), *Appl. Phys. Lett.* 98, 022108.
- Fischer, H. E., Borowski, Tepner, O. (2012): Professional knowledge of science teachers; In B. Fraser; K. Tobin, C. McRobbie (Eds.): *Second International Handbook of Science Education* (pp.435–448), New York: Springer.
- Hattab H., A. T. N'Diaye, D. Wall, C. Klein, G. Jnawali, J. Coraux, C. Busse, R. van Gastel, B. Poelsema, T. Michely, F.-J. Meyer zu Heringdorf, M. Horn-von Hoegen (2012): Interplay of wrinkles, strain, and lattice parameter in Graphene layers on Iridium, *Nanoletters* 12, 678.
- Hornberger, K., S. Gerlich, P. Haslinger, S. Nimmrichter, M. Arndt (2012): Colloquium: Quantum interference of clusters and molecules, *Rev. Mod. Phys* 84, 157.
- Jankowski, T., G. Wurm, T. Kelling, J. Teiser, W. Sabolo, P. J. Gutierrez, I. Bertini (2012): Crossing Barriers in Planetary Formation: The Growth of mm-Dust Aggregates with Large Constituent Grains, *Astronomy and Astrophysics*, 542:A80 1–8.
- Kratzer, P., S. Sakong, V. Pankoke (2012): Catalytic role of gold nanoparticle in GaAs nanowire growth: a density functional theory study, *Nano Letters* 12, 943.
- Latz, A., L. Brendel, D. E. Wolf (2012): A three-dimensional self-learning kinetic Monte Carlo model: application to Ag(111), *J. Phys.: Condens. Matter* 24, 485005.
- Rettig, L., R. Cortes, S. Thirupathaiah, P. Gegenwart, H. S. Jeevan, M. Wolf, J. Fink, and U. Bovensiepen (2011): Ultrafast momentum-dependent response of electrons in antiferromagnetic EuFe₂As₂ driven by optical excitation *Phys Rev. Lett.* 108, 097002.

Perspektiven

Die Einführung des neuen Studiengangs Energy-Science und die Vorarbeiten bei dessen Konzipierung haben Überlappungen von Forschungsgebieten verschiedener Arbeitsgruppen in der Fakultät für Physik sichtbar gemacht – die konsequent daraus entstandenen Zusammenarbeiten versprechen interessante Resultate.

Das neue Gebäude des NanoEnergieTechnik-Zentrum (NETZ) macht die Verbindung des Profilschwerpunktes Nanowissenschaften mit dem Thema Energie nach außen sichtbar und steht für zukunftsweisende Forschungsprojekte im Zusammenschluss verschiedener Fakultäten (Physik, Chemie, Ingenieurwissenschaften). Erfolgreich kann Forschung an der Universität nur sein, wenn der studentische Nachwuchs nicht nur talentiert ist, sondern auch exzellent ausgebildet wird – das Nano-Schülerlabor soll dabei helfen, vielversprechende Schülerinnen und Schüler zu uns zu holen. Das neue Spiegelteleskop auf dem Dach der „Keksdosen“ soll das Interesse von Studierenden an Astronomie wecken und bei der Ausbildung helfen. Für unsere Fakultät ist es neu – für die Physik an sich war es schon immer ein zentraler Forschungsbereich.

Successful research is only possible if it has talented and highly educated students, and the nano school lab helps in winning promising future physicists for the University of Duisburg-Essen. The new reflecting telescope on the building of the Faculty of Physics is designed to encourage students' interest in astronomy and help them in their education. It may be new to the Faculty of Physics, but to physics itself this has always been a central component of scientific research.



Kontakt

Contact

Dekanat Physik

Universität Duisburg-Essen
Lotharstraße 1
47048 Duisburg

☎ +49 (0) 203 / 379 - 35 52

☎ +49 (0) 203 / 379 - 16 14

@ dekanat@physik.uni-duisburg-essen.de

🌐 www.uni-duisburg-essen.de/physik