



Innenhafen Duisburg.  
Duisburg Inner Harbour.

© Foto: Fakultät für Physik

## Fakultät für Physik Faculty of Physics

Auch in diesem Berichtszeitraum sind in unserer Fakultät für Physik wieder zahlreiche interessante Projekte mit oft überraschenden Ergebnissen realisiert worden. Einen außergewöhnlichen Erfolg konnten fünf Studierende aus der Forschungsgruppe von Prof. Gerhard Wurm feiern. Sie hatten ein eigenes Experiment auf der International Space Station (ISS) und konnten dem Raketenstart des Experimentes in Cape Canaveral beiwohnen. Sogar ins Schloss Bellevue wurden sie für einen Termin mit dem Bundespräsidenten eingeladen. Schließlich konnten sie die Ergebnisse des erfolgreichen Experimentes zur Erforschung der Entstehung von Planeten feiern – insgesamt bestimmt ein Highlight aus dem Forschungsbericht der Physik.

The current reporting period again features numerous interesting projects with often surprising results in the Faculty of Physics. Five students from Prof. Gerhard Wurm's research group celebrated an extraordinary success when their experiment was accepted for the International Space Station (ISS) and they were able to witness the rocket launch of the experiment in Cape Canaveral. They were even invited to Bellevue Palace for an appointment with the President of Germany, and ultimately they were able to celebrate the results of their successful experiment exploring planet formation – all in all undoubtedly one of the highlights of the Physics research report.

Eine große mediale Resonanz war ebenfalls die Folge der Ergebnisse einer Masterarbeit in unserem Studiengang Energy Science. Masterstudent Lennart Korsten hatte mit seiner Arbeit „Technische und ökologische Auswirkungen alternativer Kraftstoffe auf die Entwicklung des zukünftigen regionalen Verkehrssystems“ herausgefunden, dass neben Diesel-PKW in Rhein-Städten wie z.B. Düsseldorf auch Binnenschiffverkehr wesentlich zur Belastung beiträgt. Das Beispiel zeigt, dass der Studiengang Energy Science sein Ziel erreicht, Themen mit hoher gesellschaftlicher Relevanz zu behandeln.

Dieser Forschungsbericht der Fakultät für Physik kann auf den folgenden Seiten Forschungsergebnisse nur anreißen, gibt aber eine Vorstellung davon, welche enorme Bandbreite behandelt wird. Dabei trägt unser Sonderforschungsbereich SFB 1242 „Nichtgleichgewichtsdynamik kondensierter Materie in der Zeitdomäne“ zur großen Zahl von hochrangigen Publikationen im Berichtszeitraum bei. Das ist von besonderer Bedeutung, da im nächsten Jahr die Begutachtung für eine Verlängerung ansteht.

Der Exzellenzcluster „Ruhr Explores Solvation“ (kurz: RESOLV) hat die Verlängerung schon geschafft: Er wird ab 2019 für weitere sieben Jahre im Rahmen der Exzellenzstrategie des Bundes und der Länder gefördert. Die Fakultät für Physik wird an diesem Cluster künftig nicht nur in Person von Prof. Uwe Bovensiepen beteiligt sein, sondern auch mit einer neuen, eigens dafür eingerichteten Professur.

### Forschung im Sonderforschungsbereich 1242 „Nichtgleichgewichtsdynamik kondensierter Materie in der Zeitdomäne“

Durch genügend kurzzeitige, externe Stimuli wie Lichtblitze, impulsive Druckänderungen, elektrische Spannungstöße oder Partikelein-schlag lassen sich Nichtgleichgewichtszustände in kondensierter Materie präparieren, die durch eine statische Energiezufuhr nicht erreicht werden können.

Die starken Anregungen der Elektronen und Gitterschwingungen im Festkörper verändern sich dabei sehr dynamisch in Zeit und im Raum, wobei charakteristische Zeit- und Längenskalen

There was also a great media response to the findings of a Master's thesis in our Energy Science degree course. Master's student Lennart Korsten discovered in his thesis, “Technical and ecological effects of alternative fuels on the development of the future regional transport system”, that besides diesel cars in Rhine cities such as Düsseldorf, inland waterway transport also contributes significantly to pollution. This example shows that the Energy Science degree course is achieving its goal of dealing with topics of great social relevance.

This research report of the Faculty of Physics can only outline research results in the following pages, but it nevertheless gives an idea of the enormous range of topics covered. Our Collaborative Research Centre CRC 1242 “Non-Equilibrium Dynamics of Condensed Matter in the Time Domain” contributes to the large number of high-ranking publications in the reporting period. This is of particular importance with the evaluation for renewal due next year.

An extension has already been granted to the “Ruhr Explores Solvation” cluster of excellence (RESOLV for short): from 2019 it will be funded for a further seven years within the framework of the federal and state excellence strategy. In future, the Faculty of Physics will be involved in this cluster through Prof. Uwe Bovensiepen and a new professorship established especially for the purpose.

### Research in Collaborative Research Center 1242 “Non-Equilibrium Dynamics of Condensed Matter in the Time Domain“

With sufficiently short-term external stimuli such as light flashes, impulsive pressure changes, electrical voltage surges or particle impact, non-equilibrium states can be prepared in condensed matter, which cannot be achieved with a static energy supply. The strong excitations of the electrons and lattice oscillations in the solid state change very dynamically in time and space, with characteristic time and length scales up to the femtosecond and nanometer ranges being of particular interest to the members of CRC 1242. They can only get there with the most modern detection methods, for example in optics,





bis in den Femtosekunden- bzw. Nanometerbereich die Mitglieder der SFB 1242 besonders interessieren. Dorthin können sie nur durch modernsten Nachweisverfahren beispielsweise im Bereich Optik, der Elektronenspektroskopie und der Elektronen- bzw. Röntgenbeugung vordringen. Diese erlauben es, Prozesse in Echtzeit, auf den mikroskopischen Zeitskalen, auf denen sich Atome und Elektronen in Materie bewegen, zu verfolgen – vergleichbar mit Filmen, die mit Hochgeschwindigkeitskameras aufgenommen werden, aber um einige Größenordnungen schneller.

Im Folgenden werden mehrere Projekte vorgestellt.

#### **Ultrakurzzeit- und Terahertzphysik**

In den Jahren 2017 bis 2018 war die Gruppe von Prof. Turchinovich an der Anzahl der Projekte beteiligt, mit den Schwerpunkten THz-Physik des Graphens und THz-Spinelektronik. Eines der wichtigsten Ergebnisse war die Demonstration einer äußerst effizienten Erzeugung von THz-Harmonischen höherer Ordnung in Graphen.

Wenn die Anregung von Elektronen im Graphen durch eine mehrzyklische, quasi monochromatische THz-Welle erfolgt, führt die resultierende Schwingung der Graphenleitfähigkeit aufgrund der Dynamik der elektronischen Aufwärmung-Abkühlung zu einem hoch nichtlinearen elektrischen Strom im Graphen, der zur elektromagnetischen Wiederabstrahlung bei höheren Harmonischen der treibenden THz-Frequenz führt. Die Mitglieder der Forschungsgruppe Turchinovich fanden heraus, dass Graphen nichtlineare optische THz-Koeffizienten besitzt, die um viele Größenordnungen über denen anderer elektronischer Materialien liegen, was Graphen möglicherweise zum nichtlinearsten Material macht, das bisher bekannt ist.

#### **Zeitaufgelöste Elektronenmikroskopie**

Im Bereich der zeitaufgelösten Elektronenmikroskopie an Elektronendichtewellen konzentrierten sich die Arbeiten der Forschungsgruppe von Prof. Horn-von Hoegen und Prof. Meyer zu Heringdorf auf Eigenschaften von Oberflächen-Plasmon-Polaritonen (SPPs), longitudinale Grenzflächenwellen, die im Elektronensystem ausgewählter Edelmetalle (z.B. Gold, Silber)

electron spectroscopy and electron or X-ray diffraction. These allow processes to be tracked in real time on the microscopic time scales on which atoms and electrons move in matter – comparable to films recorded with high-speed cameras but several orders of magnitude faster. Several projects are presented below.

#### **Ultrashort and Terahertz physics**

In 2017 to 2018, the Turchinovich research group was involved in the projects focusing on THz physics of graphene and THz spin electronics. One of the most important outcomes was demonstration of extremely efficient terahertz high-harmonic generation in graphene.

If electrons in graphene are excited by a multicycle quasi-monochromatic THz wave, the oscillation of the graphene conductivity resulting from the heating and cooling dynamics of the electrons leads to a highly nonlinear electrical current in the graphene, which leads to electromagnetic radiation at higher harmonics than the driving THz frequency. The members of the Turchinovich group discovered that graphene has nonlinear optical THz coefficients that are many orders of magnitude higher than those of other electronic materials, which may make graphene the most nonlinear material known to date.

#### **Time-resolved electron microscopy**

In the field of time-resolved electron microscopy on electron density waves, the work of the Horn-von Hoegen and Meyer zu Heringdorf research groups concentrated on properties of surface plasmon polaritons (SPPs), longitudinal waves at an interface that are capable of propagating in the electron system of selected noble metals (e.g. gold, silver). Surface structuring with focused ion beams permits targeted control of the optical excitation of SPPs, making it possible to influence the form of the electron density wavefronts more precisely. In time-resolved photoemission microscopy, the waves can be “filmed” in super-slow motion as they move over the surface virtually at the speed of light in a vacuum.

A highlight of this research is the work being conducted on two-dimensional plasmonic singularities generated by spiral excitation structures.

propagieren können. Durch Strukturierung der Oberfläche mittels fokussierter Ionenstrahlen kann die optische Anregung von SPPs gezielter kontrolliert, und somit präziser Einfluss auf die Form der Wellenfronten der Elektronendichtewelle genommen werden. In zeitaufgelöster Photoemissionsmikroskopie können die Wellen in Super-Zeitlupe ‚gefilmt‘ werden, wie sie sich mit nahezu Vakuumlichtgeschwindigkeit über die Oberfläche bewegen.

Ein Highlight dieser Forschung stellen die Arbeiten an zweidimensionalen plasmonischen Singularitäten dar, die durch spiralförmige Anregungsstrukturen erzeugt werden können. Ähnlich einer Wendeltreppe, bei der im Zentrum der Treppe die Stufenhöhe unbestimmt ist (und deswegen im Zentrum von Wendeltreppen immer ein Loch oder ein Pfosten sein muss), so ist die Phasenlage der SPP-Wellenfront im Zentrum der Anregungsstruktur unbestimmt. Es kommt zur Ausbildung einer Singularität, und das Zentrum der Struktur ist von dem SPP aus topologischen Gründen zu allen Zeiten abgeschirmt.

Diese Arbeit ist in enger Kooperation mit Arbeitsgruppen aus Stuttgart, Kaiserslautern und Haifa (Israel) entstanden. Die Publikation bildet die Grundlage für weitergehende Arbeiten, die durch einen mehrmonatigen Besuch von Prof. Tim Davis von der Universität Melbourne (Australien) im Jahr 2018 weiter forciert wurden.

#### **Nanoskalige Oxide für die Energiekonversion**

Ein Forschungsschwerpunkt der Arbeitsgruppe von Prof. Rossitza Pentcheva ist die Untersuchung thermoelektrischer Materialien für die Umwandlung von Abwärme in elektrischen Strom. Neueste Untersuchungen der AG zeigen, dass sich die benötigten n- und p-Typ Systeme aus derselben Materialkombination herstellen lassen, indem lediglich die Stapelfolge der Schichten an den sog. polaren Grenzflächen gezielt variiert wird. Eine weitere Möglichkeit, die thermoelektrischen Eigenschaften zu verbessern, bieten die reduzierten Dimensionen: insbesondere zeigen Übergitter aus jeweils einer Monolage des korrelierten Metalls Lanthan-Nickelat und des Bandisolators Lanthan-Aluminat unter Zugspannung einen deutlich höheren Seebeck-Koeffizienten.

Hochaktuell und zugleich herausfordernd ist die Beschreibung der zeitlichen Evolution von



Dekan/Dean: Prof. Dr. Michael Schreckenberg

Like in a spiral staircase, where the riser height at its centre is indeterminate (the reason there always has to be a hole or a post in the middle of a spiral staircase), the phase of the SPP wavefront at the centre of the excitation structure is also indeterminate. A singularity occurs, and the centre of the structure is shielded for topological reasons at all times from the SPP.

This study is the result of close cooperation with research groups from Stuttgart, Kaiserslautern and Haifa (Israel). Its publication is the basis for further studies, which also benefited in 2018 from a visit by Prof. Tim Davis from the University of Melbourne (Australia).

#### **Nanoscale oxides for energy conversion**

A focus of research in Prof. Rossitza Pentcheva's group is on thermoelectric materials for converting waste heat into electrical energy. The



## Professor\*innen | Professors

Prof. Dr. Uwe Bovensiepen	Jun.-Prof. Dr. Martina Müller
Prof. Dr. Volker Buck	Prof. Dr. Hermann Nienhaus
Prof. Dr. Hans Werner Diehl	Prof. Dr. Rossitza Pentcheva
Prof. Dr. Peter Entel	Prof. Dr. Marika Schleberger
Prof. Dr. Michael Farle	Prof. Dr. Claus M. Schneider *
Prof. Dr. Hans E. Fischer	Prof. Dr. Michael Schreckenberger
Prof. Dr. Thomas Guhr	Prof. Dr. Ralf Schützhold
Prof. Dr. Hendrik Härtig	Prof. Dr. Martina Schmid
Prof. Dr. Klaus Hornberger	Prof. Dr. Björn Sothmann
Prof. Dr. Michael Horn-von Hoegen	Prof. Dr. Heike Theyßen
Prof. Dr. Boris Kerner	Prof. Dr. Stefan Thoma
Prof. Dr. Jürgen König	Prof. Dr. Heiko Wende
Prof. Dr. Peter Kratzer	Prof. Dr. Dietrich Wolf
Prof. Dr. Axel Lorke	Prof. Dr. Andreas Wucher
Prof. Dr. Frank Meyer zu Heringdorf	Prof. Dr. Gerhard Wurm
Prof. Dr. Rolf Möller	* FZ-Jülich

laserinduzierten elektronischen Anregungen in Volumenmaterialien und an Grenzflächen, die in einem Projekt im Sonderforschungsbereich 1242 in Zusammenarbeit mit Kolleg\*innen aus der Experimentalphysik durchgeführt werden.

### Zweidimensionale Halbleiter

Die Entdeckung von Graphen hat viele Forscher\*innen dazu angespornt, nach vergleichbaren Materialien, die nur aus wenigen Atomlagen bestehen, zu suchen. Insbesondere sollten diese zweidimensionalen Atomlagen im Gegensatz zu Graphen die elektrischen Eigenschaften eines Halbleiters haben. Chemische Verbindungen aus den Elementen Gallium oder Indium mit Schwefel oder Selen erfüllen genau diese Eigenschaften und lassen sich, ähnlich wie Graphen, durch „entblättern“ eines Schichtkristalls herstellen. Damit eröffnet sich die Möglichkeit, auch künstliche Schichtstrukturen aus mehreren verschiedenen Materialien aufzubauen, die unter mechanischer Spannung stehen können. Mitglieder der Forschungsgruppe von Prof. Kratzer haben mittels Computerberechnungen den Zusammenhalt solcher Schichtstapel und die gegenüber den Einzelmaterialien veränderten elektronischen Eigenschaften untersucht. In Zukunft werden sie

group's latest studies show that the necessary n- and p-type systems can be produced from the same combination of materials by varying the order of the layers at the so-called polar interfaces in a specific way. Reduced dimensions are another possibility for improving thermoelectric properties: in particular, superlattices comprising a monolayer of the correlated metal lanthanum nickelate and of the insulator lanthanum aluminate show a significantly higher Seebeck coefficient under tension.

An extremely topical and simultaneously challenging issue is modelling the time evolution of laser-induced electronic excitations in bulk materials and at interfaces, which is the subject of a project in Collaborative Research Centre 1242 in collaboration with colleagues from Experimental Physics.

### Two-dimensional semiconductors

The discovery of graphene has inspired many researchers to search for other comparable materials that consist of only a few atomic layers. They are looking in particular for two-dimensional atomic layers that, unlike graphene, have the electrical properties of a semiconductor. Chemical compounds of the elements gallium or indium with sulphur or selenium have precisely these properties and can, like graphene, be fabricated by “de-layering” a multilayer crystal. This makes it possible to also compose artificial layered structures of several different materials, which can be under mechanical tension. Members of the Kratzer research group have computed the cohesion of such stacks of layers and explored the changed electronic properties compared to those of the individual materials. Future research will look at possible applications for these types of materials in photovoltaics.

### 2D materials

The Schleberger research group is concerned with the fabrication and study of 2D materials. 2D materials are ultrathin (usually between one and three atomic layers) yet surprisingly stable. This combination makes them interesting for many applications. For example, they can be made into filters, membranes for sequencing, or transparent electrodes. Methods are currently being developed for CRC 1242 to fabricate special

die Einsatzmöglichkeiten derartiger Materialien in der Photovoltaik in den Blick nehmen.

### 2D-Materialien

Die Forschungsgruppe von Prof. Schleberger befasst sich mit der Herstellung und Untersuchung von 2D-Materialien. Diese sind ultradünn (i.d.R. ein bis drei Atomlagen) und dennoch überraschend stabil. Diese Kombination macht sie für viele Anwendungen interessant. So können Filter, Membranen für die Sequenzierung oder auch transparente Elektroden daraus hergestellt werden. Für den SFB 1242 werden aktuell Herstellungsverfahren für spezielle, großflächige freitragende Membranen aus Kohlenstoff entwickelt. Diese Graphen-Membranen halten dem Beschuss durch Ionen stand, emittieren dabei aber Elektronen. Diese wiederum können mit einer speziellen Kamera zeitlich aufgelöst nachgewiesen werden und fungieren so als Zeitmesser für die zeitliche Länge des Ionenpulses. Dies ist ein wichtiger Baustein der Ultrakurzpuls-Ionen-Quelle, die im SFB 1242 von den AGs Wucher, Sokolowski-Tinten und Schleberger gemeinsam entwickelt wird.

### Ladungen auf der Spur

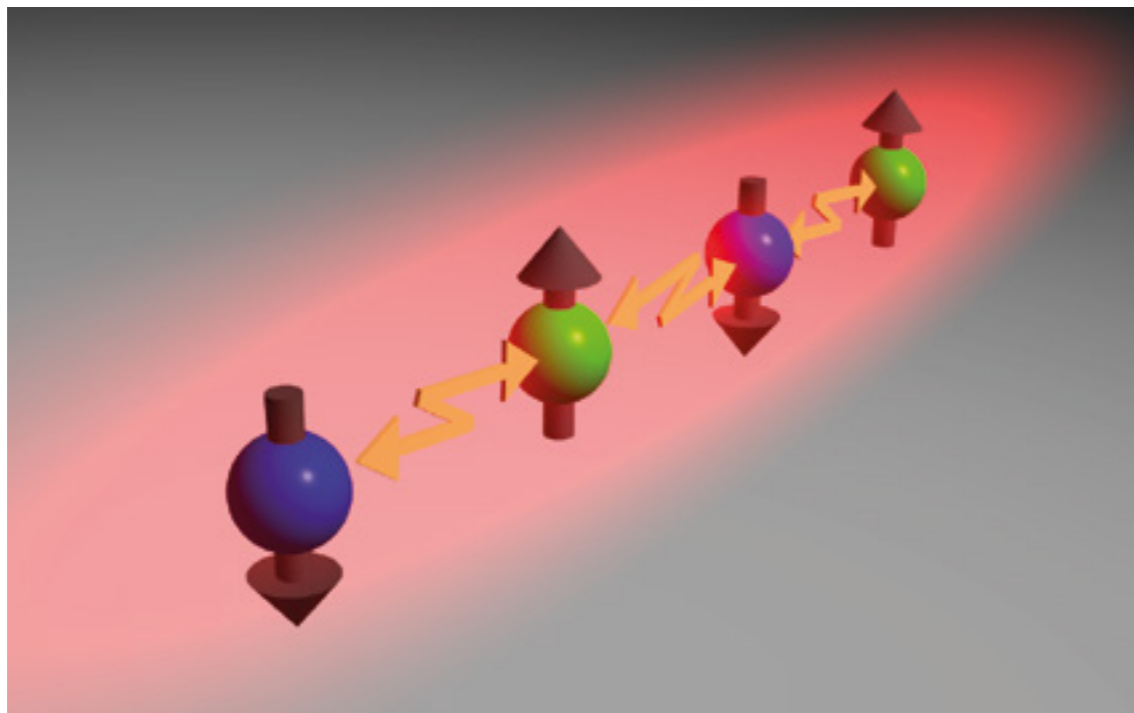
Die kleinste elektrische Ladung ist die Elementarladung  $e_0$ . Alle beobachtbaren Ladungen sind ganzzahlige Vielfache von  $e_0$ . Beispielsweise trägt ein Elektron eine negative Elementarladung, ein Proton eine positive. Die Messung kleinster Ladungsveränderungen ist enorm wichtig u.a. zum Verständnis von Photoeffekten, chemischen Reaktionen, mechanischen Stößen auf der Nanometerskala oder zur Untersuchung von elektrostatisch geladenen Staubteilchen und Tröpfchen, wie sie in vielen technischen Prozessen auftreten. Ein aktuelles Forschungsfeld der Arbeitsgruppe von Prof. Möller und Prof. Nienhaus beschäftigt sich mit der schnellen Messung extrem kleiner Ladungsströme. Mit Hilfe eines gekühlten Sperrschicht-Feldeffekttransistors (JFET) konnten Ströme unterhalb einer Elementarladung pro Sekunde ( $<10^{-19}$  A) nachgewiesen werden, was jedes kommerzielle Elektrometer um Größenordnungen übertrifft. Im Labor wird die Methode derzeit für die präzise Messung von Umladungsprozessen beim Stoß geladener Kugeln auf Metallplatten eingesetzt. Fällt wie in der Abbildung eine geladene Kugel auf die Platte eines Kondensators,

large-scale self-supporting carbon membranes. These graphene membranes withstand bombardment with ions but emit electrons in the process. A special camera makes time-resolved tracking of these electrons possible, which means that they act as a measure of time for the length of the ionic pulse. This is an important component of the ultrashort-pulse ion source that the Wucher, Sokolowski-Tinten and Schleberger research groups are jointly developing in CRC 1242.

### Tracking charges

The smallest electrical charge is the elementary charge  $e_0$ . All observable charges are integer multiples of  $e_0$ . An electron carries a negative elementary charge, for example, and a proton a positive one. The ability to measure the smallest changes in a charge is extremely important for understanding photo effects, chemical reactions, nanoscale mechanical impact or for investigating electrostatically charged dust particles and droplets as they occur in many technical processes. A current area of research in Prof. Möller and Prof. Nienhaus's group concerns fast measurement of extremely small charge currents. Using a cooled junction field effect transistor (JFET), it was possible to detect currents under one elementary charge per second ( $<10^{-19}$  A), which is significantly better than any commercial electroscopes. The method is currently being used in the lab to precisely measure charge transfer processes using the example of charged spheres impacting on metal plates. If, as shown in the figure, a charged sphere drops onto the plate of a capacitor, the sphere bounces several times until it loses its kinetic energy. The charge can be transferred between the sphere and plate each time they contact. This becomes apparent if the induced and transmitted charge is measured in time with the JFET. The figure shows an example of a 1-mm-diameter steel sphere hitting a copper plate. From the parabolic curves it is possible to study quantitatively details of the charge and energy transfer. Initially, the sphere drops onto the plate with a positive charge of 47 fC (approx. 290000  $e_0$ ). The first and second time the sphere contacts with the plate, its polarity is reversed, which leads to inversion of the parabola. Every other time the sphere impacts, the amount of charge on it changes, but not the polarity. The





© Foto: AG Guhr

Eine Kette wechselwirkender Spins.  
A chain of interacting spins.

springt sie mehrfach, bis sie ihre kinetische Energie verloren hat. Bei jeder Berührung kann es zu einer Umladung zwischen Kugel und Platte kommen. Dieses wird sichtbar, wenn die influenzierte und übertragene Ladung mit dem JFET in der Zeit gemessen wird. Die Abbildung zeigt ein Beispiel für eine Stahlkugel mit einem Durchmesser von 1 mm, die auf eine Kupferplatte trifft. Aus den parabolischen Kurven lassen sich Details des Ladungs- und Energietransfers quantitativ studieren. Zu Beginn fällt die Kugel mit einer positiven Ladung von 47 fC (ca. 290000  $e_0$ ) auf die Platte. Beim ersten und zweiten Kontakt mit der Platte kehrt sich die Polarität der Kugel um, was zu dem Umlappen der Parabel führt. Bei den weiteren Stößen verändert sich der Betrag der Ladung auf der Kugel, die Polarität aber nicht. Der Hintergrund der Messungen sind aktuelle, astrophysikalische Forschungen, die die Rolle von Stößen zwischen geladenen Staubpartikeln oder Chondren in protoplanetaren Scheiben für die Planetenentstehung klären sollen.

background to these measurements is current astrophysics research, which is seeking to explain the role collisions between charged dust particles or chondrules in protoplanetary disks play in planetary evolution.

### Research in theoretical physics

#### **Statistical physics of complex systems: chaotic scattering – over-50-year-old problem solved**

The word “chaos” is associated with a lack of structure, but precisely it can lead to universal statistical properties. Much of what we know about quantum systems comes from scattering experiments. Over 50 years ago, the question of universal distribution of cross sections first came up in nuclear physics. Later, when the close relationship between chaotic dynamics and the general nature of the question for the chaotic scattering of random quantum systems was understood, it was still impossible to solve

### Forschung in der Theoretischen Physik

#### **Statistische Physik komplexer Systeme: Chaotische Streuung – über 50 Jahre altes Problem gelöst**

Das Wort „Chaos“ verbindet man mit Strukturlosigkeit, allerdings können gerade daraus universelle statistische Eigenschaften entstehen. Ein Großteil dessen, was wir über Quantensysteme wissen, stammt aus Streuexperimenten. Vor über 50 Jahren stieß man in der Kernphysik auf die Frage, wie universell die Verteilung der Wirkungsquerschnitte ist. Später verstand man den engen Zusammenhang zur chaotischen Dynamik und die große Allgemeinheit der Fragestellung für die chaotische Streuung beliebiger Quantensysteme, konnte aber das Problem wegen seiner sehr komplizierten mathematischen Struktur nicht lösen. Dies gelang den Mitgliedern der Forschungsgruppe von Prof. Guhr nun in einer internationalen Kollaboration, die ein in der Gruppe entwickeltes supersymmetrisches Verfahren zur Lösung des statistischen Problems benutzte.

#### **Nanoteilchen im Quantenregime**

Wendet man die Quantenphysik, die den Mikrokosmos perfekt beschreibt, nicht auf Atome oder Lichtteilchen an, sondern auf große 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. Hornberger erforscht Systeme, die im Übergangsbereich zwischen diesem Quantenregime und der klassischen Physik liegen.

Ein Schwerpunkt der letzten beiden Jahre liegt hier in der theoretischen Beschreibung der Kreiseldynamik von nanoskaligen Stäbchen, die durch Laserlicht in der Schwebe gehalten werden. In Anwendung dieser Theorien konnte ein höchst präziser Druck- und Drehmomentsensor demonstriert sowie ein realistischer Vorschlag ausgearbeitet werden, den Zustand des Nanoteilchens in eine Schrödinger-Katze unerreichter Makroskopizität zu verwandeln.

the problem on account of its very complicated mathematical structure. The members of the Guhr research group have now succeeded in doing this in international collaboration using a supersymmetrical method developed in the group to solve the statistical problem.

#### **Nanoparticles in the quantum regime**

Quantum physics is known to work perfectly for microscopic particles such as atoms and photons, but its predictions turn our “classical” everyday experience upside down if they are applied to tangible objects. It should then be possible for one and the same object to exist simultaneously in different places and its dynamic behaviour be determined by whether or not it is observed. Prof. Klaus Hornberger’s group investigates systems that belong to the transition region between the quantum regime and classical physics.

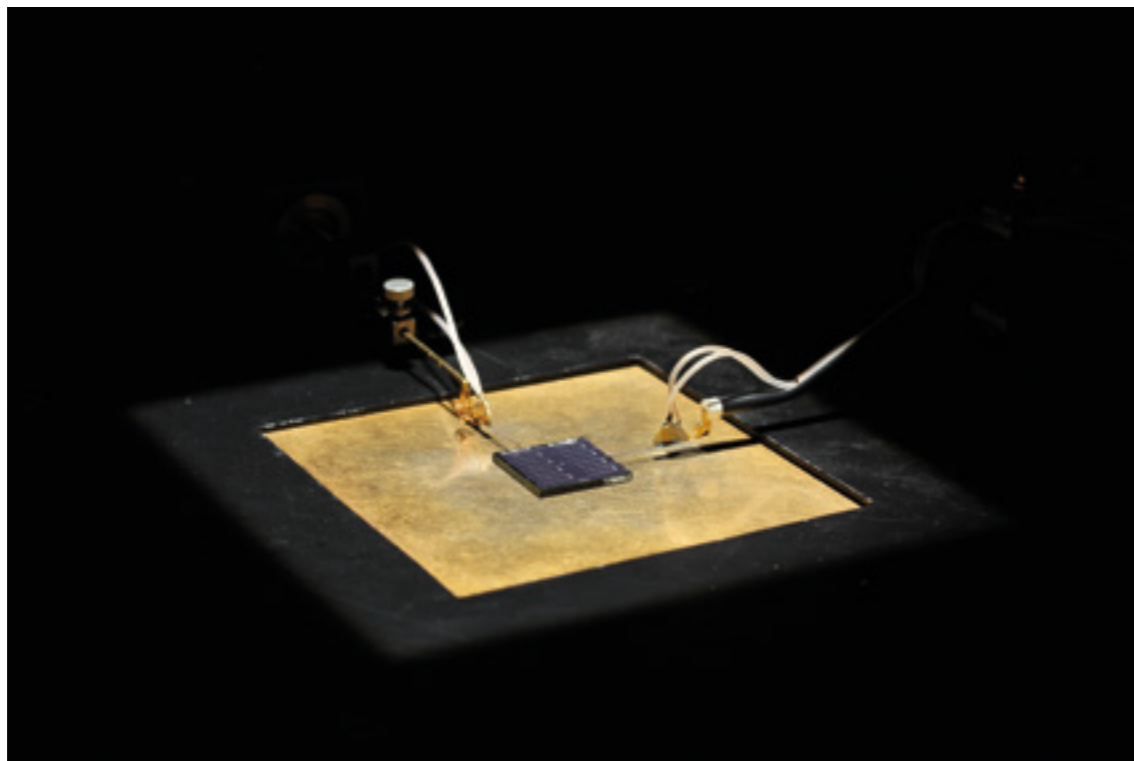
A focus of the group’s work over the past two years has been in theoretical modelling of the gyro-dynamics of nanoscale rods suspended by laser light. By applying these theories, the researchers were able to demonstrate an ultraprecise pressure and torque sensor and develop a realistic proposal for transforming the state of the nanoparticle into a Schrödinger’s cat of unachieved macroscopicity.

### Research on planetary evolution

#### **Planetary evolution, Mars and Mercury**

Triboelectric charging of particles in collisions has long been known about, little understood and, on account of the attraction of charged particles, significant in the early stages of planetary evolution. Charging and its effects therefore became a focal point of laboratory and other experiments of the Wurm research group in the drop tower in Bremen. The same topic was also a central issue at the start of an experiment that was conducted in 2018 (and is still ongoing) as part of the Alexander Gerst Mission on the International Space Station. From the charge distribution to aggregation, there are many interesting aspects to be observed in this work.

Other experimental work on planetary evolution is looking at the stability of planetesimals in specially developed parabolic-flight low-pressure



Dünnschichtsolarzelle auf dem Prüfstand.  
Thin film solar cell on the test bench.

© Foto: Andreas Reichert

## Forschung zur Planetenentstehung

### Planetenentstehung, Mars und Merkur

Die triboelektrische Aufladung von Partikeln in Stößen ist lange bekannt, unverstanden und aufgrund der Anziehung geladener Partikel von Bedeutung für die frühen Phasen der Planetenentstehung. Die Aufladung und deren Effekte entwickelten sich deshalb zum Mittelpunkt von Laborexperimenten und Experimenten der Forschungsgruppe von Prof. Wurm im Fallturm Bremen. Als zentrale Fragestellung stand die Aufladung auch am Beginn eines Experiments, das 2018 im Rahmen der Alexander Gerst-Mission erfolgreich auf der internationalen Raumstation durchgeführt wurde und wird. Von der Ladungsverteilung bis zur Aggregation lassen sich zahlreiche interessante Aspekte beobachten.

Weitere experimentelle Arbeiten zur Planetenentstehung behandeln die Stabilität von Planetesimalen in eigens entwickelten Parabelflug-Niederdruck-Windkanälen und das magnetische Aggregationsverhalten in den Feldern

wind tunnels and at magnetic aggregation behaviour in the fields of protoplanetary disks, which could explain the special features of the planet Mercury.

### Didactics research

The Theyßen and Härtig research groups, both working in the Didactics of Physics, benefited in 2017 and 2018 from the extended senior professorship of Prof. Hans E. Fischer. The following externally funded projects were in progress and completed during the two years of the report: Research Unit: "Studying and academic success in the initial phase of scientific and technical degree courses" (DFG up to 2018; Fischer & Theyßen); "Understanding of Scientific Texts as Interaction between Person and Text Characteristics" (DFG up to 2018; Härtig); ProViel – Professionalisation for Diversity (BMBF, Theyßen); SuSe I junior research group on transitions from general studies to lower secondary level (MIWF NRW, Theyßen), "Ganz In" (up to 2018; Stiftung Mercator; Härtig & Fischer); and ProfileP (BMBF up to 2018; Fischer).

## Ausgewählte Publikationen | Selected Publications

**Graf, P., M. Flebbe, D. Utzat, H. Nienhaus, R. Möller (2017):**

*Electrometer with sub-attoampere current load, Rev. Sci. Instrum. 88 084702.*

**Hafez, H.A., S. Kovalev, J.-C. Deinert, Z. Mics, B. Green, N. Awari, M. Chen, S. Germanskiy, U. Lehnert, J. Teichert, Z. Wang, K.-J. Tielrooij, Z. Liu, Z. Chen, A. Narita, K. Müllen, M. Bonn, M. Gensch, D. Turchinovich (2018):**

*Extremely efficient terahertz high-harmonic generation in graphene by hot Dirac fermions. Nature 561, 407.*

**Kalthoff, B., H. Theyßen, N. Schreiber (2018):**

*Explicit Promotion of Experimental Skills. And What About the Content-Related Skills? International Journal of Science Education 40(11), 1305-1326.*

**Kozubek, P.E., C. Herbig, T. Michely, M. Schleberger (2018):** *Fabrication of Defective Single Layers of Hexagonal Boron Nitride on Various Supports for Potential Applications in Catalysis and DNA Sequencing. ACS Applied Nano Materials 1, 3765.*

**Kuhn, S., B.A. Stickler, A. Kosloff, F. Patolsky, K. Hornberger, M. Arndt, J. Millen (2017):**

*Optically driven ultra-stable nanomechanical rotor. Nature Communications 8, 1670.*

**Kumar, S., B. Dietz, T. Guhr, A. Richter (2017):**

*Distribution of Off-Diagonal Cross Sections in Quantum Chaotic Scattering: Exact Results and Data Comparison: Physical Review Letters 119 244102.*

**Ligges, M., I. Avigo, D. Golež, H.U.R. Strand, Y. Beyazit, K. Hanff, F. Diekmann, L. Stojchevska, M. Kalläne, P. Zhou, K. Rossnagel, M. Eckstein, P. Werner, U. Bovensiepen (2018):**

*Ultrafast Doublon Dynamics in Photoexcited 1T-TaS<sub>2</sub>, Physical Review Letters 120, 166401.*

**Musiolik, G., M. Kruss, T. Demirci, B. Schrinski, J. Teiser, F. Daerden, M. D. Smith, L. Neary, G. Wurm (2018):**

*Saltation under Martian Gravity and its Influence on the Global Dust Distribution. Icarus 306, 25-31.*

**Rahman, A.U., J.M. Morbec, G. Rahman, P. Kratzer (2018):**

*Commensurate versus incommensurate heterostructures of group-III monochalcogenides. Phys. Rev. Materials 2, 094002.*

**Samuelsson, P., S. Kheradsoud and B. Sothmann (2017):**

*Optimal quantum interference thermoelectric heat engine with edge states. Phys Rev. Lett. 118, 256801.*

**Schmitz-Antoniak, C., D. Schmitz, A. Warland, M. Darbandi, S. Haldar, S. Bhandary, B. Sanyal, O. Eriksson, H. Wende (2018):** *Suppression of the Verwey Transition by Charge Trapping. Ann. Phys. (Berlin) 530, 1700363.*

**Sonntag, J., A. Kurzmann, M. Geller, F. Queisser, A. Lorke, R. Schützhold (2017):**

*Giant magneto-photoelectric effect in suspended graphene. New J. Phys. 19, 063028.*

**Spektor, G., D. Kilbane, A.K. Mahro, B. Frank, S. Ristok, L. Gal, P. Kahl, D. Podbiel, S. Mathias, H. Giessen, F.-J. Meyer zu Heringdorf, M. Orenstein, M. Aeschlimann (2017):**

*Revealing the subfemtosecond dynamics of orbital angular momentum in nanoplasmonic vortices. Science 355(6330), 1187-1191.*

**Stender, A., M. Schwichow, C. Zimmerman, H. Härtig (2018):**

*Making inquiry-based science learning visible: the influence of CVS and cognitive skills on content knowledge learning in guided inquiry, International Journal of Science Education, 40:15, 1812-1831.*

**Vranken, T., B. Sliwa, C. Wietfeld, M. Schreckenberger (2018):**

*Performance comparison of dynamic vehicle routing methods for minimizing the global dwell time in upcoming smart cities. IEEE 88th IEEE Vehicular Technology Conference (VTC-Fall), Chicago, USA.*

**Yin, G., P. Manley, M. Schmid (2018):**

*Light trapping in ultrathin CuIn<sub>1-x</sub>GaxSe<sub>2</sub> solar cells by dielectric nanoparticles. Solar Energy 163, 443.*





protoplanetarer Scheiben, das die besonderen Eigenschaften des Planeten Merkur erklären könnte.

### Forschung in der Didaktik

Die Arbeitsgruppe von Prof. Heike Theyßen und die Arbeitsgruppe von Prof. Hendrik Härtig beide in der Didaktik der Physik wurden auch in den Jahren 2017 und 2018 durch die verlängerte Seniorprofessur von Prof. Hans E. Fischer ergänzt. In diesen zwei Jahren wurden bestehende Drittmittelvorhaben weitergeführt und abgeschlossen: „Forschungsgruppe: Akademisches Lernen und Studienerfolg in der Eingangsphase von naturwissenschaftlich-technischen Studiengängen“ (DFG bis 2018; Fischer & Theyßen); „Naturwissenschaftliches Textverständnis als Interaktion von Personen- und Textmerkmalen“ (DFG bis 2018; Härtig); ProViel – Professionalisierung für Vielfalt (BMBF, Theyßen); Graduiertenkolleg SuSe I – Übergänge Sachunterricht-Sekundarstufe I (MIWF NRW, Theyßen), GanzIn (bis 2018; Stiftung Mercator; Härtig & Fischer) sowie ProfileP (BMBF bis 2018; Fischer).

Die Arbeitsgruppen der Didaktik der Physik widmen sich in diesen Projekten sowohl der Grundlagenforschung als auch Entwicklungsforschung bezüglich des Erwerbs physikalischer Kompetenzen. Der Bereich „Experimentelle Kompetenz“ ist ein gemeinsames Anliegen der AGs Theyßen und Härtig, hier finden aktuell Arbeiten zur individuellen Förderung experimenteller Fähigkeiten im Sachunterricht und zu binnendifferenzierten Experimentiergelegenheiten für die Sekundarstufe I statt. Ferner widmet sich die AG Härtig dem „Einfluss der Sprache beim Physiklernen“; hier werden einerseits konkrete Lerngelegenheiten entworfen und evaluiert, andererseits Schwierigkeiten beim Textverständnis in Physik erforscht. In der AG Theyßen wird die Entwicklung der diagnostischen Fähigkeiten Lehramtsstudierender untersucht, insbesondere mit Blick auf die Wirkung einer fachdidaktisch begleitenden Theorie-Praxis-Verknüpfung im Lehr-Lern-Labor.

Für die zukünftigen Jahre konnte einerseits erfolgreich das Projekt ProViel unter Beteiligung von Prof. Theyßen verlängert werden, andererseits gelang es Prof. Härtig gemeinsam mit Kolleg\*innen der UA Ruhr, bei der RAG-Stiftung

The Didactics of Physics research groups are committed in these projects to conducting basic and developmental research relating to competency acquisition in physics. “Experimental competence” is an interest shared by the Theyßen and Härtig research groups, where studies are currently being undertaken on individual support with developing experimental competence in general studies teaching and on differentiated opportunities for experimentation at lower secondary level. The Härtig group is also working on the influence of language on physics learning, where its members are devising and evaluating specific learning opportunities and simultaneously researching text comprehension problems in Physics. In the Theyßen group the researchers are exploring the development of diagnostic skills among teacher training students, especially in relation to the effect of combining theory and practice in the teaching and learning lab.

Looking ahead to the coming years, the ProViel project, in which Prof. Theyßen is involved, has been extended, and Prof. Härtig has succeeded with colleagues from the University Alliance Ruhr in securing funding from the RAG Foundation for a project on language-sensitive teaching. Proposals to the DFG and an internal junior research group at the University are currently under review.

### Sustainability research

The Faculty of Physics began offering its Energy Science programme in 2011. The main motivation behind the concept was an observation that many professors have knowledge that they can contribute to creating sustainable energy supply. That is especially apparent in the case of Prof. Martina Schmid, who has succeeded in optimising the efficiency of solar cells. Prof. Michael Schreckenberg – a well-known traffic congestion researcher – is contributing through his research to reducing the number of vehicles senselessly causing pollution on the roads. Prof. Rossitza Pentcheva and Prof. Björn Sothmann are concerned with the conversion of heat into electrical energy. Prof. Michael Farle and Prof. Heiko Wende are helping to cut energy consumption by developing energy-optimised permanent magnets for electric motors and more efficient magnetocaloric materials for innovative refrigeration

ein Projekt zum sprachsensiblen Unterricht einzuwerben. Darüber hinaus sind aktuell Anträge bei der DFG und ein universitätsinternes Graduiertenkolleg in Begutachtung.

### Forschung zum Thema Nachhaltigkeit

Seit 2011 gibt es in der Fakultät für Physik den Studiengang Energy-Science. Den entscheidenden Anstoß für das Konzept gab die Beobachtung, dass die Erkenntnisse von vielen Professor\*innen zur nachhaltigen Energieversorgung beitragen können. Besonders offensichtlich ist das bei Prof.

technologies. Prof. Axel Lorke is conducting research into carrier materials for electrochemical applications, such as catalysts and micro fuel cells, while energy-efficient IT systems are the goal of Prof. Claus Schneider’s work.

### Thin film solar cells

The Schmid group focuses in its research on thin-layer chalcopyrite-based solar cells with the aim of achieving highly resource-efficient solar conversion. Here the researchers are exploring ultrathin solar cells with nanostructures on the one hand and developing micrometre-scale solar cells



© Foto: Oliver Heisch

Stau im Dekansbüro.  
Traffic jam in dean’s office.

Martina Schmid. Sie hat den Wirkungsgrad von Solarzellen optimiert. Prof. Michael Schreckenberg – bekannt als Stauforscher – trägt durch seine Forschung dazu bei, dass weniger Fahrzeuge sinnlos auf den Straßen stehen und Schadstoffe ausstoßen. Prof. Rossitza Pentcheva und Prof. Björn Sothmann beschäftigen sich mit der Umwandlung von Wärme in elektrischen Strom. Mit der Entwicklung von energieoptimierten Permanentmagneten für Elektromotoren und effizienteren magnetokalorische Materialien für innovative Kühltechnologien tragen Prof. Michael Farle und Prof. Heiko Wende dazu bei, weniger Energie zu verbrauchen. Prof. Axel Lorke forscht an Trägermaterialien für elektrochemische Anwendungen, z.B. Katalysatoren und Mikrobrennstoffzellen. Energieeffiziente IT-Systeme sind das Ziel von Prof. Claus Schneider.

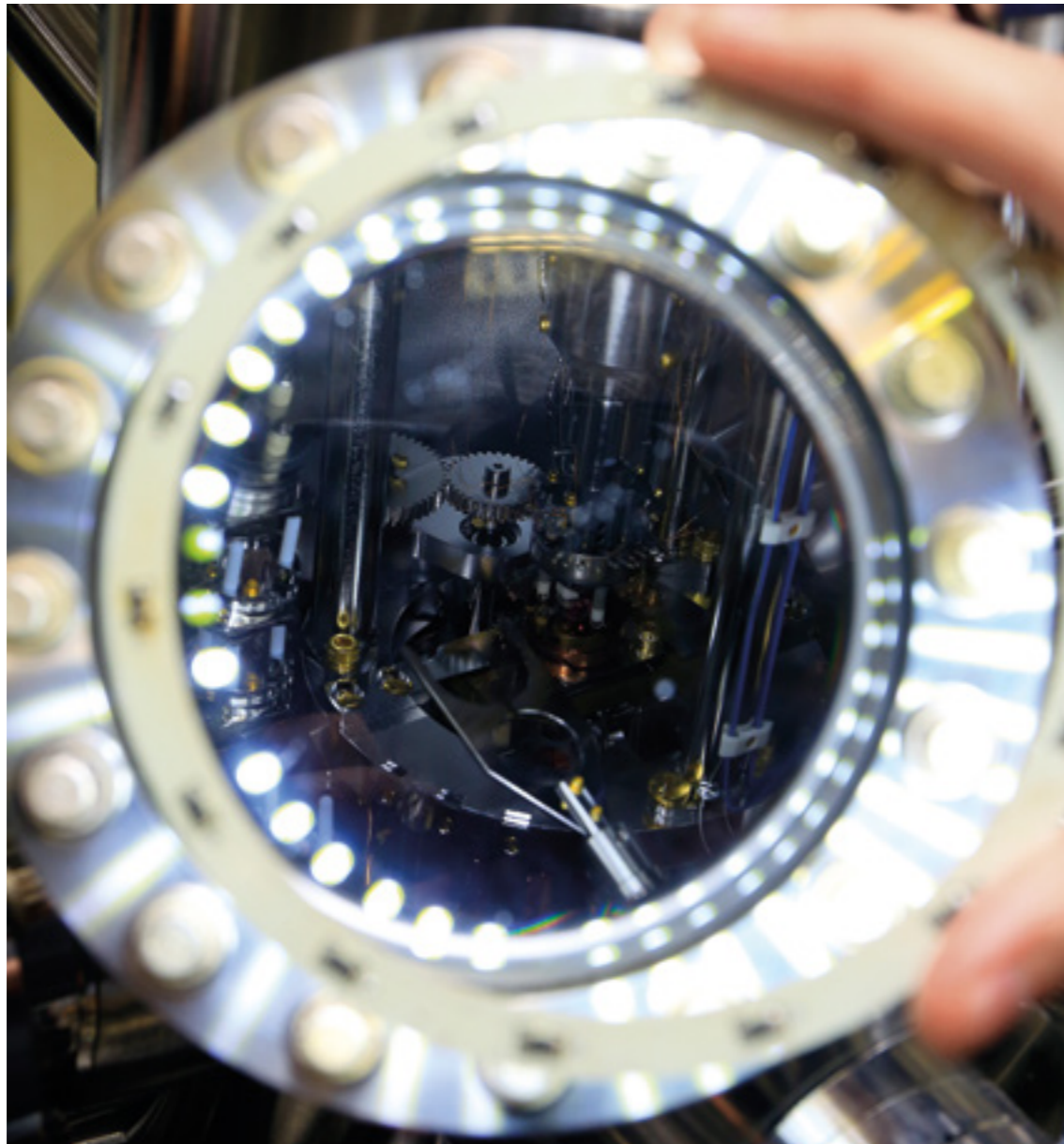
for light concentration on the other. A baseline for production of these solar cells was established during the reporting period and measuring systems for optoelectronic characterisation are available. Planning is already under way to expand the infrastructure to make way for further development in these areas.

### Physics of transport and traffic

The Schreckenberg research group on Physics of Transport and Traffic is concerned with a variety of issues relating to the field of mobility research.

As part of CRC 876, the group is collaborating with electrical engineers to analyse inner-city traffic based on the example of Düsseldorf. Their aim is to cut congestion and travelling times without expanding road capacity. There are plans





Blick auf ein Rasterkraftmikroskop in einer Ultrahochvakuum-Anlage.  
View of an atomic force microscope inside an ultra-high vacuum system.

© Foto: Andreas Reichert

### Dünnschichtsolarzellen

Forschungsschwerpunkt der Arbeitsgruppe Schmid sind Dünnschichtsolarzellen auf Basis von Chalkopyriten. Ziel ist eine möglichst ressourceneffiziente Sonnenumwandlung des Sonnenspektrums. In diesem Hinblick werden einerseits ultradünne Solarzellen mit integrierten Nanostrukturen untersucht. Andererseits werden

to extend simulation models to factor in the behaviour of automated vehicles so that hybrid traffic can also be simulated, analysed and optimised.

The MEC-View project, funded by the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi), is exploring automated driving in complex urban traffic scenarios, for example automatically entering a priority road. Its aim is

mikrometergroße Solarzellen für Lichtkonzentration entwickelt. Für die Herstellung dieser Solarzellen wurde im Berichtszeitraum eine Baseline aufgebaut. Zudem stehen Messaufbauten zur optoelektronischen Charakterisierung bereit. Eine Erweiterung der Infrastruktur in Richtung Weiterentwicklung der Themen ist in Planung.

### Physik von Transport und Verkehr

Die Arbeitsgruppe Schreckenbergs „Physik von Transport und Verkehr“ beschäftigt sich mit vielfältigen Themen rund um das Forschungsfeld Mobilität.

Im Rahmen des SFB 876 wird in Kooperation mit Elektroingenieuren der Innenstadtverkehr am Beispiel der Stadt Düsseldorf analysiert. Das Ziel ist hierbei, Staus zu reduzieren und die Fahrzeiten zu verkürzen, ohne die Kapazität der Straßen zu erweitern. Geplant ist, Simulationsmodelle um das Verhalten automatisierter Fahrzeuge zu erweitern, um Hybridverkehr simulieren, analysieren, und optimieren zu können.

Das vom BMWi geförderte Projekt MEC-View erschließt das hochautomatisierte Fahren in komplexen urbanen Verkehrsszenarien, wie z.B. dem automatisierten Auffahren auf eine vorfahrtsberechtigten Straße. Ziele sind eine höhere Sicherheit und Effizienz des Verkehrs im urbanen Raum. In Zusammenarbeit mit den Projektpartnern entwickelt die Arbeitsgruppe hierzu theoretische Verkehrsmodelle auf Basis von realen Verkehrsdaten.

### Thermoelektrisches Energy Harvesting auf der Nanoskala

Die gegenwärtige Energiekrise erfordert die Erschließung neuer Energiequellen. Eine mögliche solche Quelle stellt Energy Harvesting mittels Thermoelektrik dar, bei der Wärmeenergie in elektrische Energie umgewandelt wird. Thermoelektrische Effekte sind besonders stark in nanoskaligen Systemen ausgeprägt, in denen quantenmechanische Effekte eine wichtige Rolle spielen. In Zusammenarbeit mit Peter Samuelsson von der Universität Lund haben Mitglieder der Forschungsgruppe Sothmann allgemeine Schranken für die Leistung und Effizienz von Wärmekraftmaschinen, deren Funktionieren auf quantenmechanischer Phasenkohärenz beruht, hergeleitet. Thermoelektrische Effekte sind aber

to make urban traffic safer and more efficient. In collaboration with the project's partners, the research group is developing theoretical traffic models based on real traffic data.

### Thermoelectric energy harvesting on the nanoscale

The current energy crisis makes it necessary to explore and develop new sources of energy. One such possible source is thermoelectric energy harvesting, which converts thermal energy into electrical energy. Thermoelectric effects are especially strong in nanoscale systems, where quantum mechanical effects play an important role. Working with Peter Samuelsson from Lund University, members of the Sothmann research group have derived general boundaries for the power and efficiency of heat engines that work on the basis of quantum mechanical phase coherence. Thermoelectric effects are not only interesting on account of their potential applications, however, and can also have a role in characterising quantum states. In collaboration with Pablo Burset from Aalto University in Helsinki, for example, researchers were able to show that a finite Seebeck effect is a sure sign of superconducting correlations that are nonlocal in time.

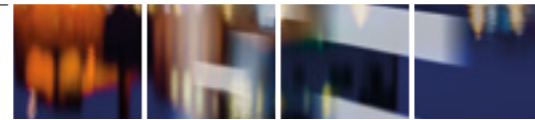
### Nanoscale oxides for energy conversion

The diverse physical properties of transition metal oxides mean that they have many electronic, spintronic and energy conversion applications. For practical reasons, it is very important that they are ecological, stable and inexpensive. For ten years, the interfaces of transition metal oxides have been a focus of scientific inquiry, as it is here that new phenomena not found in the bulk occur and present new possibilities for targeted optimisation of functionality. The Pentcheva research group is interested in understanding and predicting the complex behaviour of such systems using large-scale quantum mechanical computer simulations based on density function theory.

### Nanoscale magnetic systems

The Farle research group works on the static and dynamic properties of nanoscale magnetic systems. Synthesis and characterisation of new materials open up a range of applications, including energy-optimised permanent magnets for





nicht nur wegen potentieller Anwendungen interessant, sie können auch dazu dienen exotische Quantenzustände zu charakterisieren. So konnte in Zusammenarbeit mit Pablo Buset von der Aalto-Universität in Helsinki gezeigt werden, dass ein endlicher Seebeckeffekt ein untrügliches Zeichen für supraleitende Korrelationen ist, die nichtlokal in der Zeit sind.

#### Nanoskalige Oxide für die Energiekonversion

Mit ihren vielfältigen physikalischen Eigenschaften eignen sich die Übergangsmetalloxide für zahlreiche Anwendungen in Elektronik, Spintronik und Energiekonversion. Dabei ist von großem praktischen Interesse, dass sie umweltfreundlich, stabil und kostengünstig ist. Seit zehn Jahren stehen insbesondere die Grenzflächen von Übergangsmetalloxiden im wissenschaftlichen Fokus, da an ihnen neuartige Phänomene auftreten, die nicht im Volumen vorhanden sind und damit Möglichkeiten zur gezielten Optimierung der Funktionalität eröffnen. Die Arbeitsgruppe Pentcheva befasst sich mit dem Verständnis und der Vorhersage des komplexen Verhaltens solcher Systeme mittels großskaliger quantenmechanischer Computersimulationen, die auf der Dichtefunktionaltheorie basieren.

#### Nanoskalige magnetische Systeme

Die Arbeitsgruppe von Prof. Farle beschäftigt sich mit den statischen und dynamischen Eigenschaften nanoskaliger magnetischer Systeme. Die Synthese und Charakterisierung neuer Materialien eröffnet dabei eine Vielzahl von Anwendungen wie energieoptimierte Permanentmagnete für Elektromotoren und magnetokalorische Materialien für innovative Kühltechnologien.

Ein weiterer Schwerpunkt der AG Farle liegt auf der Entwicklung von maßgeschneiderten Hybrid-Nanopartikeln für die medizinische Theranostik. Diese Kombination aus Therapie und Diagnostik eröffnet neue Therapieformen, zum Beispiel gegen Krebs. Die biokompatiblen Magnetit-Gold Nanopartikel erhöhen den Kontrast in der Magnetresonanztomographie dreifach im Vergleich zu kommerziellen Kontrastmitteln und eignen sich zum Transport von Arzneimitteln zum Krankheitsherd bei gleichzeitiger Visualisierung. Zusätzlich können Tumorzellen durch eine Wärmebehandlung, erzeugt durch

electric motors and magnetocaloric materials for innovative refrigeration technologies.

Another main interest of the Farle group is in the development of customised hybrid nanoparticles for medical theranostics. This combination of therapy and diagnosis presents new types of therapy to fight diseases such as cancer. Biocompatible magnetite-gold nanoparticles improve contrast in magnetic resonance imaging threefold compared to commercial contrast agents and can simultaneously be used during visualisation to transport drugs to the seat of disease. Cancer cells can additionally be targeted by thermal treatment, generated by magnetic alternating fields in the 300 kHz range.

#### Solid-state physics in different dimensions

The Lorke research group is concerned with structures that are limited in one or more spatial dimensions. Graphene is an example of such a system. It consists of only a single layer of carbon atoms, which means that the electrons within it can only move in two dimensions – in the third dimension they are “frozen” in the quantum mechanical ground state. This results in many unusual properties, which are interesting both for basic research and applications. For example, vertically aligned multiple layers of graphene – so-called carbon nanowalls – have potential as carrier materials for electrochemical applications, e.g. catalysts and micro fuel cells, on account of their large surface area. Research in this area is being conducted as part of a three-year project, MoreInnomat, funded by the European Union, with researchers from Chemistry, the hydrogen and fuel cell centre ZBT, and industrial partners.

#### Suppression of the Verwey transition in magnetite nanoparticles

Magnetite nanoparticles are utilised for both basic research and application purposes thanks to their interesting inherent properties. Magnetite is distinguished by a phase transition at 123 K (-150°C), the Verwey transition, where the physical properties, e.g., electrical conductivity, change abruptly.

It is difficult to characterise this phase transition in an ensemble of nanoparticles via diffraction methods. In cooperation between Dr. Carolin Schmitz-Antoniak (Forschungszentrum

magnetische Wechselfelder im 300-kHz Bereich, angegriffen werden.

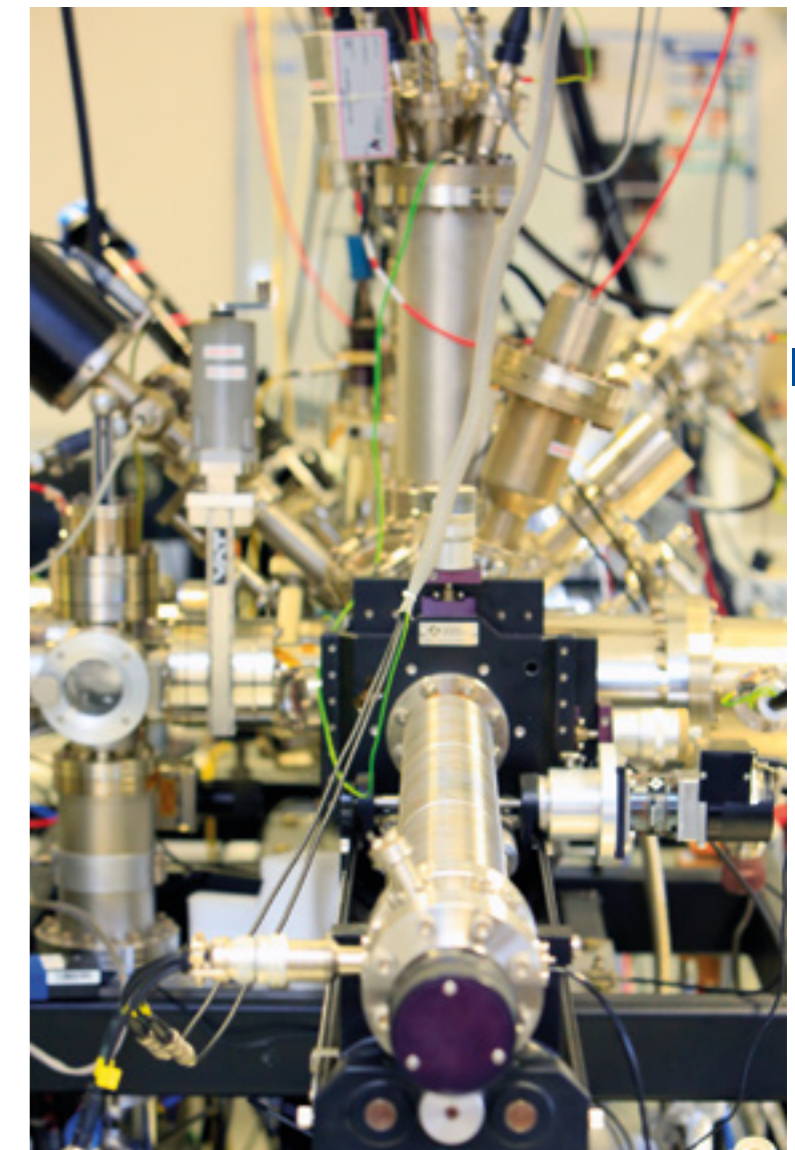
#### Festkörperphysik in verschiedenen Dimensionen

Die Arbeitsgruppe Lorke beschäftigt sich mit Strukturen, die in einer oder mehreren Raumdimensionen eingeschränkt sind. Graphen ist ein Beispiel für ein solches System. Es besteht aus nur einer einzigen Lage von Kohlenstoffatomen, so dass sich die Elektronen darin nur in zwei Dimensionen bewegen können – in der dritten Dimension sind sie im quantenmechanischen Grundzustand „eingefroren“. Daraus ergeben sich viele ungewöhnliche Eigenschaften, die für die Grundlagenforschung ebenso interessant sind wie für die Anwendung. Senkrecht stehende Vielfach-Lagen aus Graphen – sogenannte „Kohlenstoff-Nanowände“ – sind beispielsweise aufgrund ihrer hohen Oberfläche erfolgversprechende Trägermaterialien für elektrochemische Anwendungen, z.B. Katalysatoren und Mikrobrennstoffzellen. Dies wird im Rahmen eines dreijährigen Projekts, MoreInnomat, gefördert durch die Europäische Union, gemeinsam mit Wissenschaftler\*innen aus der Chemie, dem Zentrum für Brennstoffzellen und industriellen Partnern untersucht.

#### Unterdrückung des Verwey-Übergangs in Magnetit-Nanopartikeln

Aktuell werden Nanopartikel aus Magnetit (einem bestimmten Eisenoxid) aufgrund ihrer spannenden Eigenschaften sowohl in der Grundlagenforschung aber auch im Hinblick auf neue technische Anwendungen sehr intensiv untersucht. Magnetit zeichnet sich durch einen Phasenübergang bei 123 K (-150°C) – den sogenannten Verwey-Übergang – aus, an dem sich physikalische Eigenschaften wie z.B. die elektrische Leitfähigkeit sprunghaft ändern.

Es ist schwierig, diesen Phasenübergang in einem Ensemble aus Nanopartikeln mittels Beugungsmethoden zu charakterisieren. In einer Zusammenarbeit von Dr. Carolin Schmitz-Antoniak (FZ Jülich) und Wissenschaftler\*innen der theoretischen Physik an der Uppsala University (Schweden) gelang es nun Mitarbeiter\*innen der Arbeitsgruppe von Prof. Wende, den Verwey-Übergang in Nanopartikeln mittels Röntgenabsorptionsspektroskopie an der



Ultrahochvakuum-Anlage zur Untersuchung von physikalischen Oberflächen.  
Ultra-high vacuum system for investigating physical interfaces.

© Foto: Andreas Reichert

Jülich), members of Prof. Heiko Wende’s research group and theoreticians from Uppsala University (Sweden), the Verwey transition in nanoparticles was successfully analysed in detail using x-ray absorption spectroscopy at the BESSY-II synchrotron radiation source in Berlin.

#### New insight into redox reactions at interfaces

The Schneider research group is exploring the properties of new materials for information and energy technologies. One methodological focus of their work is on spectroscopy and





Synchrotronstrahlungsquelle BESSY-II in Berlin detailliert zu analysieren.

### Neuer Einblick in die Redox-Prozesse an Grenzflächen

Die Arbeitsgruppe von Prof. Schneider erforscht die Eigenschaften neuer Materialien für die Informations- und Energietechnologien. Ein methodischer Fokus liegt dabei auf der Spektroskopie und Spektromikroskopie mit Synchrotronstrahlung an den Quellen BESSY (Berlin), PETRA (Hamburg) und Elettra (Triest). Ein Forschungsschwerpunkt beschäftigt sich mit der Spinelektronik, d.h. spin-basierten Phänomenen. Hier spielen verdünnte magnetische Halbleiter eine zentrale Rolle, da sie die Eigenschaften von Halbleitern und Magneten in einem Material kombinieren. Mit Hilfe der Hartröntgen-Photoelektronenspektroskopie haben Mitglieder der Forschungsgruppe die volumenelektronische Struktur von GaMnAs und GaMnP im Detail untersucht, und erstmals die Beiträge der einzelnen chemischen Komponenten getrennt. Dies ist eine Grundlage, um die Ursache des Ferromagnetismus in diesen Materialien, die immer noch kontrovers diskutiert wird, zu bestimmen.

### Preise und Auszeichnungen

Auf der Jahresfeier der Nordrhein-Westfälischen Akademie der Wissenschaften und der Künste am 16. Mai 2018 wurde der Dekan der Fakultät für Physik Prof. Michael Schreckenbergs neben elf weiteren Professor\*innen als neues Mitglied der Akademie aufgenommen.

Für ihre Dissertation "Zeitaufgelöste optische Transportspektroskopie an einzelnen selbstorganisierten Quantenpunkten" wurde Dr. Annika Kurzmann aus der Forschungsgruppe von Prof. Axel Lorke auf dem diesjährigen Dies Academicus mit einem der Dissertationspreise der Universität Duisburg-Essen ausgezeichnet.

Für seine herausragende Dissertation wurde 2017 Dr. Joachim Landers (AG Wende) mit einem Preisgeld von 2.000 € ausgezeichnet. In seiner Arbeit hat er das magnetische Verhalten von Nanopartikeln in verformbaren Medien wie Gelen oder Flüssigkeiten untersucht. Für ihre besondere Studienleistung wurde Magdulin Dwedari (Studiengang Energy Science, AG Wolf) geehrt. Sie erhielt ein Preisgeld von 1.000 €.

spectromicroscopy with synchrotron radiation at the BESSY (Berlin), PETRA (Hamburg) and Elettra (Trieste) sources. A main research interest is in spin electronics, i.e., spin-based phenomena. Diluted magnetic semiconductors play a central role in this area, as they combine the properties of semiconductors and magnets in a single material. Using hard x-ray photoemission spectroscopy, members of the research group have examined the bulk-electronic structure of GaMnAs and GaMnP in detail and for the first time separated the contributions made by the individual chemical components. This provides a basis for determining the cause of ferromagnetism in these materials, which is still a matter of some debate.

### Awards and Distinctions

At the annual event of the North Rhine-Westphalian Academy of Sciences, Humanities and the Arts on 16 May 2018, the dean of the Faculty of Physics, Prof. Michael Schreckenbergs, was one of twelve professors to be welcomed as new members.

At the University of Duisburg-Essen's "Dies Academicus" event in the same year, Dr. Annika Kurzmann of Prof. Dr. Axel Lorke's research group was awarded one of the University's dissertation prizes for "Time-resolved transport spectroscopy on single self-assembled quantum dots".

In 2017 Dr. Joachim Landers (Wende research group) received prize money of € 2,000 for his outstanding dissertation, in which he studied the magnetic behaviour of nanoparticles in deformable media like gel or fluids. Magdulin Dwedari (Energy Science, Wolf research group) was awarded prize money of € 1,000 for academic achievement.

In 2018 Dr. Philipp Stegmann (König research group) received prize money of € 2,000 for his outstanding dissertation. Its title is "Generalized factorial cumulants applied to Coulomb-blockade systems". Nico Hahn was awarded prize money of € 1,000 for academic achievement.

In 2017 Dr. Boris Weidtmann received the Diversity Prize of the University of Duisburg-Essen in the Diversity Engagement category. He takes care of a "Service-Point" for students to support

2018 wurde Dr. Philipp Stegmann (AG König) mit einem Preisgeld von 2.000 € für seine herausragende Dissertation ausgezeichnet. Der Titel seiner Arbeit lautet: „Generalized factorial cumulants applied to Coulomb-blockade systems“. Für seine besondere Studienleistung wurde Nico Hahn geehrt. Er erhielt ein Preisgeld von 1.000 €.

Dr. Boris Weidtmann hat 2017 den Diversity-Preis der Universität Duisburg-Essen in der Kategorie Diversity-Engagement erhalten. Er betreut in Essen einen „Service-Point“ für Studierende zur Unterstützung der Lehre im Bereich des physikalischen Grundlagenpraktikums. Er engagiert sich weit über das mit dieser Aufgabe verbundene Maß für Studierende, die im Rahmen ihres Studiums oft nur für kurze Zeit mit Physik in Berührung kommen und eine Prüfung ablegen oder ihre Praktikumsprotokolle anfertigen müssen.

### Perspektiven

Von zentraler Bedeutung für die Fakultät für Physik ist die Verlängerung des SFB 1242 „Nichtgleichgewichtsdynamik kondensierter Materie in der Zeitdomäne“, der am 25. Mai 2016 bewilligt worden ist. Anfang 2020 wird die Begehung stattfinden. Bis dahin werden in einigen Workshops die Ergebnisse der einzelnen Projekte im Zusammenhang diskutiert und die strategische Ausrichtung für die nächste Antragsperiode festgelegt. Dann kommt die Detailarbeit – die Erstellung des Antrags und die Vorbereitung der Projektposter und Vorträge für die Begehung.

Die beiden Mitglieder Prof. Rossitza Pentcheva und Prof. Heiko Wende des im Mai 2018 bewilligten SFB/TRR 247 „Heterogene Oxidationskatalyse in der Flüssigphase“ haben noch etwas mehr Zeit bis zur nächsten Begutachtung – um bis dahin noch hochrangige Veröffentlichungen in den Projekten zu realisieren, ist aber noch intensive Forschung nötig.

Stellvertretend für viele weitere Projekte in der Fakultät für Physik steht Prof. Martina Schmid, die mit ihrem Forschungsthema Solarzellen einen wichtigen Platz im Studiengang Energy Science einnimmt. Die aktuell laufenden Umbaumaßnahmen sind Voraussetzung für einen optimalen Laborbetrieb, der dann innovative Ergebnisse liefert.

education in the physics lab course in physics. He shows exceptional commitment in assisting students who often only briefly come into contact with physics in their studies and are required to sit an exam or produce a lab report.

### Prospects

Centrally important to the Faculty of Physics is the extension of CRC 1242 "Non-Equilibrium Dynamics of Condensed Matter in the Time Domain", which was approved on 25 May 2016. The evaluation will take place in early 2020. Until then, several workshops will discuss the results of each project in context and set the strategic direction for the next application period. That will be followed by work on the detail – preparation of the application and of the project posters and lectures for the evaluation.

Prof. Rossitza Pentcheva and Prof. Heiko Wende, both members of CRC/TRR 247 "Heterogeneous Oxidation Catalysis in the Liquid Phase", which was approved in May 2018, have a little more time until the next assessment. In the meantime, intensive research is still needed to realise high-level publications in the projects.

Representing many other projects in the Faculty of Physics is Prof. Martina Schmid, who holds an important position in the Energy Science course with her research on solar cells. The renovation work that is currently under way is a prerequisite for optimal laboratory operation that will deliver innovative results.

## Kontakt | Contact

### Dekanat Physik

Universität Duisburg-Essen  
Lotharstraße 1  
47048 Duisburg

☎ +49 203 379 3552  
☎ +49 203 379 1614  
@ dekanat@physik.uni-duisburg-essen.de  
🌐 www.uni-due.de/physik