



Fakultät für Physik

Faculty of Physics

Die meisten Physikerinnen und Physiker freuen sich, dass die physiktypische Grundlagenforschung Freiraum lässt, auch zufällig gemachten Entdeckungen nachzugehen. Eine technische Anwendung steht dabei oft nicht direkt im Fokus und ergibt sich oft erst Jahrzehnte später. Dieser Forschungsbericht zeigt allerdings, dass sich die Mitglieder der einzelnen Forschungsgruppen unserer Fakultät durchaus dafür interessieren, ob die Ergebnisse für interessante Anwendungen einsetzbar sind. Eine Zunahme von Forschungsförderungen, die gezielt eine frühe Zusammenarbeit mit der Industrie fördern, unterstützt die Forscherinnen und Forscher dabei.

Most physicists appreciate the freedom that typical basic physics research gives them to also follow up chance discoveries. Often, technical application of their work may not be directly apparent, only to emerge decades later. Nevertheless, as this research report shows, the members of the research groups within our faculty are indeed interested in whether their results can be used in interesting applications. An increase in research funding, which specifically encourages early collaboration with industry, is supporting our researchers in their efforts.



So arbeitet die Forschungsgruppe von Prof. Heiko Wende in einem EU-Projekt mit der Firma Seagate und der Universität Uppsala in Schweden zusammen. Bei Cloud-Speichersystemen zählen Festplatten keineswegs zum alten Eisen – der Einsatz von seltenen Erden in metallischen Schichtstrukturen verspricht dabei eine deutliche Kapazitätserweiterung. Letztendlich könnten allerdings die in der Forschungsgruppe Wende außerdem erforschten multiferroischen Systeme die Lösung für Speicher sein, die extrem klein sein können, da beim Speichern fast keine Ströme mehr fließen und so kaum Wärme produziert wird.

In eine ganz andere Richtung geht der Einsatz von Ionen bei der Forschungsgruppe von Prof. Marika Schleberger. Die Ionen erzeugen Poren in Nanometerbereich, die als Filtermembran zum Beispiel für Viren aussichtsreich erscheinen – es überrascht wenig, dass Firmen bei der Entwicklung gern mit im Boot sind.

Prof. Axel Lorke hat umgehend ein Patent angemeldet, als klar wurde, dass die in seiner Forschungsgruppe hergestellten Nanopartikel aus Silizium-Eisenverbindungen sich für Batterien eignen, sobald sie sich zwischen Elektroden befinden, an denen eine Spannung angelegt wurde.

Die auf chaotische Systeme spezialisierte Forschungsgruppe von Prof. Thomas Guhr konnte quantitativ zeigen, wie dramatisch die gegenseitigen Abhängigkeiten der Kreditnehmer das Risiko für den Kreditgeber erhöhen.

Diese und weitere Beispiele werden im Folgenden Text ausführlicher vorgestellt.

Forschung

Datenspeicher

Schon Ende der 1950er Jahre prophezeite der amerikanische Physiker und spätere Nobelpreisträger Richard Feynman, alles Wissen der Welt könne irgendwann in einem Speicher von der Größe eines kleinen Sandkorns untergebracht werden. Nun bringen wir zwar heute schon Terabyte auf dem Volumen eine Butterbrotdose unter, während erste Computer mit nur wenigen Kilobyte Speicherleistung vor 70 Jahren noch ganze Hallen füllten. Doch auch den heutigen Möglichkeiten sind

It is on this basis that the research group of Prof. Heiko Wende is working in an EU project with Seagate and Uppsala University in Sweden. Hard disk drives are by no means a thing of the past when it comes to cloud storage systems, an area in which the use of rare earth elements in metallic layer structures promises a significant expansion in capacity. But maybe the answer to the storage issue lies in another of the Wende group's research areas, multiferroic systems, which can be extremely small because the virtual absence of a current during storage means that little to no heat is generated.

The work in the research group of Prof. Marika Schleberger considers ions in an entirely different capacity. Here, the ions create nanometre-sized pores in materials and have potential as filter membranes for e. g. viruses, so it comes as little surprise that industry is keen to be involved in their development.

Prof. Axel Lorke lost no time in applying for a patent when it became clear that the silicon-iron compound nanoparticles fabricated in his research group can be used as a type of battery as soon as they are introduced between electrodes to which a voltage is applied.

In its specialist area of chaotic systems, the research group of Prof. Thomas Guhr has been able to show the dramatic extent to which the mutual dependencies of borrowers increases credit risk.

These and other examples of the work in the faculty are described in greater detail in the following report.

Research

Data storage

It was at the end of the 1950s that the American physicist and later Nobel laureate Richard Feynman prophesied that all the knowledge in the world would one day be stored in a memory the size of a grain of sand. Today we can fit terabyte capacity into the volume of a lunch box, while the first computers with just a few kilobytes of storage filled entire halls 70 years ago. Yet the possibilities today are not infinite – the system can no longer be reduced in size or made faster at will. That is why new technologies are needed to accommodate the increasingly complex tasks.



Grenzen gesetzt – das System ist nicht mehr beliebig zu verkleinern oder zu beschleunigen. Für die immer komplexer werdenden Anforderungen müssen also neue Techniken her.

Das vom Team um die Experimentalphysiker Prof. Heiko Wende, Prof. Wolfgang Kleemann und Dr. Carolin Schmitz-Antoniak untersuchte System besteht aus einer Schicht aus Bariumtitanat, in der winzige, nur wenige Nanometer große Säulen aus Cobaltferrit eingebettet sind. Beide Bestandteile dieses Komposits unterscheiden sich in zwei entscheidenden Eigenschaften: Die Säulen sind ferrimagnetisch, d.h. sie richten sich wie kleine Kompassnadeln an einem Magnetfeld aus. Zusätzlich werden sie durch ein Magnetfeld verformt. Die umgebende Schicht hingegen, auch „Matrix“ genannt, ist ferroelektrisch und baut eine elektrische Spannung auf, wenn sie unter mechanischem Druck steht. Diesen sogenannten „piezoelektrischen Effekt“ nutzt man übrigens auch bei Feuerzeugen ohne Zündstein: Beim Druck auf den Knopf schlägt eine Feder einen Stößel auf den Piezokristall und erzeugt so eine große elektrische Spannung. Dadurch entsteht an den anliegenden Metallkontakten ein Funke, der das Feuerzeuggas entzündet.

Das Ziel ist es, die nanoskaligen Säulen über ein Magnetfeld zu verformen und so mechanischen Druck auf die Matrix auszuüben. Man spricht dabei auch von der „magnetoelektrischen Kopplung“ eines „multiferroischen Kompositsystems“. Die magnetoelektrische Kopplung beruht tatsächlich auf winzigsten Bewegungen der Atome im Komposit: Legt man entlang der langen Säulenachse ein Magnetfeld an, so ziehen sich die Säulen in dieser Richtung zusammen. Ihr Umfang vergrößert sich dabei, um das Volumen konstant zu halten, und so drücken sie an allen Seiten auf die umgebende Matrix. Unter dem Druck baut diese elektrische Spannung auf.

Verläuft das Magnetfeld hingegen senkrecht zu den Säulen, ziehen sich diese in Feldrichtung zusammen, während sie sich quer dazu ausdehnen. So wird die Matrix nur quer zum Magnetfeld gestaucht und bildet eine asymmetrische elektrische Polarisationsverteilung aus, die in

The system investigated by the team led by the experimental physicists Prof. Heiko Wende, Prof. Wolfgang Kleemann and Dr. Carolin Schmitz-Antoniak comprises a layer of barium titanate in which tiny pillars of cobalt ferrite just a few nanometres in size are embedded. The components of this composite differ in two significant ways: The pillars are ferrimagnetic, i. e. they align themselves like miniature compass needles to a magnetic field. They are also deformed by a magnetic field. The surrounding layer, also known as the “matrix”, is ferroelectric and generates an electric voltage when under a mechanical load. This “piezoelectric effect”, as it is called, is used in flintless fire lighters: When pressure is applied to the button, a spring forces a small hammer onto the piezo crystal and produces a large electrical voltage. This in turn causes a spark on the adjacent metal contacts, which ignites the gas to light the flame.

The aim is to deform the nanopillars with a magnetic field and exert mechanical pressure on the matrix. This is also referred to as magneto-electric coupling of a multiferroic composite system. Magneto-electric coupling is actually based on the minute movements of the atoms in the composite: If a magnetic field is applied along the long axis of the pillars, they contract in this direction. At the same time, their surface area increases to keep the pressure constant, causing them to press against the surrounding matrix on all sides. Under this pressure, the matrix generates an electric voltage.

If the magnetic field is perpendicular to the pillars, they contract in the direction of the field while expanding perpendicular to it. This means that the matrix is only compressed perpendicular to the magnetic field and produces an asymmetrical electric polarisation never before observed in this system.

The system is interesting for digital data storage because the electric polarisation remains, even after the magnetic field has been switched off. The researchers have already developed a strategy by which specific pillars are compressed in a lengthwise and perpendicular direction with electric pulses to write bits of information.

diesem System zuvor noch niemand beobachtet hat.

Für die digitale Datenspeicherung wird das System dadurch interessant, dass die elektrische Polarisation auch noch erhalten bleibt, wenn das Magnetfeld wieder ausgeschaltet ist. So haben die Forscher bereits eine Strategie entwickelt, einzelne Säulen durch Strompulse in Längs- und Querrichtung gezielt zu stauchen, um so Informationen bitweise einzuschreiben.

Grundsätzlich sollte das Prinzip auch umgekehrt funktionieren: Nur über eine elektrische Spannung, also ohne Stromfluss, kann die Magnetisierungsrichtung umgeschaltet und so ein Bit geschrieben werden. Das Auslesen der Information würde wie bislang über die magnetische Struktur möglich sein. Auf diese Weise würde auch keine Wärme produziert, die gerade für die Datensicherheit der extrem dicht gepackten Speicherelemente äußerst schädlich wäre. Magnetoelektrische Speicher funktionieren zudem im Gegensatz zu manch anderen High-Tech-Visionen ohne zusätzliche Kühlung bei Zimmertemperatur und sichern die in ihnen gespeicherten Daten extrem stabil.

Nanostrukturen

Die Forschungsgruppe von Prof. Lorke beschäftigt sich mit den optischen und elektronischen Eigenschaften von Nanostrukturen. Wie der Name sagt, haben Nanostrukturen Abmessungen von nur wenigen Nanometern, also wenigen Milliardstel Metern. Sie werden entweder durch chemische (man denke an feinstverteilten Rauch) oder physikalische Methoden hergestellt (man denke an winzigste Nebeltröpfchen). Eine dritte Methode ist die Lithographie, bei der die gewünschten Strukturen mit Nanometer-Präzision aus unterschiedlichsten Materialien herausgeschnitten werden. Dazu steht die sogenannte „Nanowerkbank“ zur Verfügung, in der mit hochfokussierten Elektronen- und Ionen-Strahlen nahezu beliebige Formen definiert werden können. Mit diesem Instrument ist es gelungen, das dünnste Material der Welt in Form zu schneiden: Es handelt sich dabei um „Graphen“, das aus nur einer Atomlage von Kohlenstoffatomen

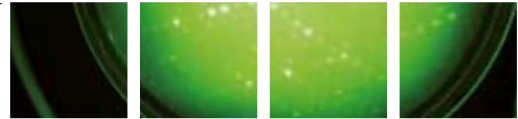


Dekan/Dean: Prof. Dr. Michael Schreckenberg

The principle should also work in the opposite direction: The direction of magnetisation can only be switched and a bit written when there is an electric voltage but no current flowing. The information could then be read out in the same way as to date through the magnetic structure. This would also mean that no heat is generated, which is important since heat would be very damaging to the extremely densely packed storage elements. Unlike some other high-tech visions, magneto-electrical storage devices also work at room temperature without additional cooling and offer extreme stability for the data stored on them.

Nanostructures

One of the themes of the Lorke research group is the optical and electronic properties of nanostructures. As the name suggests, nanostructures



besteht, die –wie eine Hängematte – zwischen zwei Metallstreifen aufgehängt wird. Die gesamte Struktur ist dabei nur so groß wie ein Hundertstel des Durchmessers eines Haars. Ziel ist es, durch Maßschneidern der Form funktionelle elektronische Bauelemente wie Transistoren und Gleichrichter herzustellen.

Auch selbstorganisierte Nanostrukturen werden auf ihr Potenzial für neuartige Bauelemente untersucht. So ist es zum Beispiel Mitgliedern der Arbeitsgruppe gelungen, einzelne Elektronen in sogenannte Quantenpunkte zu füllen und die Zahl der Elektronen innerhalb von nur drei Nanosekunden (0,000'000'003 Sekunden) elektrisch auszulesen – ein erster Schritt zur Realisierung eines Quantenpunkt-Informations-Speichers.

Eine überraschende Beobachtung wurde an Nanopartikeln aus einer Silizium-Eisen-Verbindung gemacht. Mit ihnen lässt sich auf einfachste Weise eine Art Batterie realisieren. Dazu müssen die Partikel nur zwischen zwei Elektroden gebracht werden, an die eine Spannung angelegt werden kann. Der genaue Mechanismus ist noch nicht entschlüsselt – in der AG Lorke konnte aber schon gezeigt werden, dass Wasser (und andere gängige Lösungsmittel) in der Umgebungsluft eine wichtige Rolle spielen. Wegen des Anwendungspotenzials zur Energiespeicherung und zur Gasetektion in der Luft wurde diese Zufallsentdeckung zum Patent angemeldet.

Aber Nanopartikel können noch mehr: In Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern aus der Elektrotechnik der UDE und der University of Minnesota wurden Zinkoxid-Partikel hergestellt, die besonders gute Leuchteigenschaften aufweisen. Dies macht sie zu interessanten Kandidaten für energieeffiziente Leuchtdioden, die dazu noch ohne seltene Elemente wie Gallium auskommen. Eine weitere internationale Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Optik gab es mit der japanischen University of Tsukuba. An mikroskopischen Kugeln aus einem neuartigen Polymer wurden sogenannte „Whispering Gallery“-Moden beobachtet, bei denen das Licht im Innern der Kugeln wie auf einer Rennstrecke kreist. Dies belegt die hohe optische Qualität der Polymerkugeln und eröffnet damit

have dimensions of just a few nanometres – millionths of a millimetre. They are fabricated either chemically (extremely finely distributed particles in smoke) or physically (the tiniest droplets in a spray mist). A third method is lithography, in which the required structures are cut out of various materials with nanometre precision. This is possible on the “nanoworkbench”, which can be used to define virtually any shape with highly focused beams of electrons and ions. This instrument has been used to cut the thinnest material in the world into shape. That material is “graphene”, comprising just a single layer of carbon atoms, which is suspended like a hammock between two metal strips. The entire structure is one hundredth of the diameter of a hair in size. The goal is to use this technique to manufacture functional electronic components such as transistors and rectifiers.

Self-organised nanostructures are also being investigated for their potential in novel components. For example, members of the research group have been able to enter single electrons in quantum dots and read out the number of electrons electrically in just three nanoseconds (0.000'000'003 seconds) – an initial step towards creating a quantum dot memory.

A surprising observation was made on nanoparticles made of a silicon-iron compound when it was found that they can be used to make a kind of battery. The particles simply need to be introduced between two electrodes to which a voltage can be applied. The exact mechanism has not been deciphered yet, but the Lorke research group has nevertheless been able to show that water (and other common solvents) in the ambient air plays an important role. Given the potential applications for energy storage and gas detection in air, a patent has been filed for this chance discovery.

That is not all nanoparticles can do, however: In collaboration with scientists from Electrical Engineering at the UDE and the University of Minnesota, zinc-oxide particles were manufactured which have particularly good illuminating properties. This makes them interesting as potential energy-efficient light-emitting diodes, which additionally work without scarce elements such

Professorinnen und Professoren

Professors

- Prof. Dr. Uwe Bovensiepen
- Prof. Dr. Volker Buck
- Prof. Dr. Hans Werner Diehl
- Prof. Dr. Peter Entel
- Prof. Dr. Michael Farle
- Prof. Dr. Hans E. Fischer
- 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
- Jun.-Prof. Dr. Martina Müller (FZ-Jülich)
- Prof. Dr. Hermann Nienhaus
- Prof. Dr. Rossitza Pentcheva
- 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

Perspektiven für Laser und sogenannte photonische Kristalle aus organischen Materialien.

Die Arbeitsgruppe von Prof. Marika Schleberger befasst sich damit, wie sich ultradünne, sogenannte „2D-Materialien“, herstellen und gezielt verändern lassen. Zunächst standen nur atomar dünne Kohlenstofflagen („Graphen“) im Mittelpunkt des Interesses, inzwischen werden aber auch weitere Materialien untersucht, darunter hexagonales Bornitrid („weißer Graphit“) oder auch das als Schmierstoff bekannte Molybdändisulfid (MoS_2). Ein wichtiges Werkzeug zur Manipulation der Materialeigenschaften ist die Bestrahlung mit energiereichen Ionen. Die in der AG Schleberger durchgeführten Experimente zeigen zum Beispiel, dass aus Graphen hergestellte Transistoren deutlich höheren Strahlenbelastungen widerstehen als Transistoren basierend auf MoS_2 . Momentan wird untersucht, durch welchen minimalen Energieeintrag solche ultradünnen Schichten geschädigt werden. Die Ergebnisse erlauben Aussagen darüber, ob die neuartigen Materialien in zukünftigen Elektronik-Bauteilen verwendet werden können, die extremer Belastung durch ionisierende Strahlung ausgesetzt sind, also zum Beispiel im Weltall oder in Fusionskraftwerken.

Die zerstörerische Wirkung der Teilchenstrahlung kann aber auch konstruktiv genutzt werden. Die Forschungsgruppe konnte zeigen,

as gallium. Further international collaboration in the field of optics took place with the Japanese University of Tsukuba. On microscopic spheres of a novel polymer, the researchers discovered what are known as whispering gallery modes, in which light travels around the inside of the spheres as if on a racing track. This is evidence of the high optical quality of the polymer spheres and opens up potential for laser and photonic crystals made of organic materials.

The research group of Prof. Marika Schleberger is concerned with how ultrathin two-dimensional materials can be manufactured and specifically modified. Initially their interest was limited to single-atom carbon layers (“graphene”); now, however, they are exploring other materials, including hexagonal boron nitride (“white graphene”) or molybdenum disulfide (MoS_2), a known lubricant. An important tool in manipulating the material properties is irradiation with energetic ions. The experiments conducted in the Schleberger research group show, e.g. that transistors made of graphene withstand substantially higher levels of radiation exposure than transistors based on MoS_2 . They are currently examining what minimum level of energy input is sufficient to damage such ultrathin films. The results will enable the researchers to determine whether the novel materials are suitable for future electronics components

dass sich unter geeigneten Bedingungen winzige Poren in die genannten Materialien brennen lassen. Die Porengröße liegt dabei typischerweise im Nanometerbereich, so dass eine Verwendung als Filtermembran für kleinste Objekte wie zum Beispiel Viren aussichtsreich erscheint. Allerdings sind bis dahin noch eine ganze Reihe von Problemen zu lösen. Graphen zum Beispiel ist zwar gut hundert mal reißfester als Stahl, aber eben nur bei vergleichbarer Dicke. Und da Graphen nur genau eine Atomlage dick ist, würden schon geringe Belastungen ausreichen, um einen Graphen-Filter zu zerstören. Die aktuellen Forschungsarbeiten in Kooperation mit anderen Forschern zielen also darauf ab, einerseits die genauen Bedingungen für die erforderlichen Porengrößen zu bestimmen und andererseits ein geeignetes Trägermaterial zu entwickeln.

Planetenentstehung

In der Forschungsgruppe von Prof. Wurm wurden zahlreiche Arbeiten zu den ersten Phasen der Entstehung terrestrischer Planeten durchgeführt und Prozesse der Wechselwirkung zwischen der Atmosphäre des Mars und seiner Oberfläche untersucht. Dabei sind zwei Highlights herauszuheben. In einem neuartigen Experiment konnten die Kräfte und erstmals auch Drehmomente bestimmt werden, die in den Kontakten zwischen nanometergroßen Eispartikeln wirken.

Dies stellt eine Grundlage für die Modellierung des Wachstums größerer Aggregate dar, das von fraktalen Eisstrukturen bis hin zu kompakten Gebilden reicht.

Als weiteres Highlight konnte in Mikrogravitationsexperimenten im Fallturm Bremen erstmals nachgewiesen werden, dass thermisches Kriechen des Gases bei den geringen Drücken auf der Marsoberfläche dazu führt, dass ein Großteil des staubbedeckten Marsbodens wie eine Pumpe wirkt, die Gas an warmen, von der Sonne beschienenen Stellen aus dem Boden in die Atmosphäre pumpt, in schattigen Bereichen aber einsaugt, was die Wechselwirkung zwischen Boden und flüchtigen Komponenten (zum Beispiel Wasser) verändert. Dieser Mechanismus war bislang nicht bekannt.

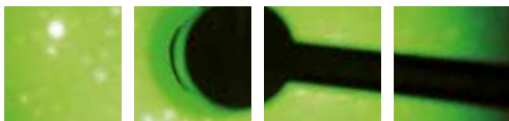
which are exposed to extreme levels of ionising radiation, e.g. in space or in fusion power plants.

The destructive effects of particle radiation can also be put to constructive use. The research group has shown that it is possible to burn tiny pores into the aforementioned materials under the right conditions. The pore size is typically within the nanometre range, which suggests possible applications as filter membranes for minute particles, such as viruses. However, there is a range of problems to be solved before that will become possible. For example, although graphene is a good hundred times more tear-resistant than steel, that only applies at a comparable thickness. And because graphene is exactly a single atomic layer thick, it should only take minimal loads to destroy a graphene filter. The current research work in cooperation with other researchers therefore aims to determine the exact conditions for creating the necessary pore sizes and develop a suitable carrier material.

Planet formation

Prof. Gerhard Wurm's research group has conducted a series of studies exploring the first phases of the formation of terrestrial planets and interactions between the atmosphere of Mars and its surface. Two examples of this work deserve special mention. In a novel experiment, the researchers succeeded in determining the forces and for the first time also the torques effective in contact between nanometre-sized ice particles. This information provides a basis for modelling the growth of larger aggregates, ranging from fractals to more compact structures.

In another highlight, the researchers proved for the first time in microgravitation experiments in the drop tower in Bremen that thermal creep in the gas under low pressure on the surface of Mars causes a large area of that dust-covered surface to act like a pump, conveying gas from the surface and into the atmosphere in warm, sunlit areas and sucking it back in again in shaded areas. This alters interactions between the surface and volatile components (e.g. water). The mechanism was unknown to date.



Chaos und Wirtschaft

Allgemein nennt man in der Welt des Großen ein System chaotisch, wenn kleine Änderungen in der Ursache eine große Wirkung auslösen. Das Wetter ist ein hervorragendes Beispiel. Nun ist aber die Welt des Großen aus den kleinen Dingen zusammengesetzt. Es ist also eine wichtige Frage, ob chaotisches Verhalten in der Welt des Großen schon in der Welt des Kleinen angelegt ist. Dies zu beantworten ist aber sehr schwierig, weil die Naturgesetze in den beiden Welten unterschiedlich sind, denn in der Welt des Kleinen gilt die Quantenmechanik.

Etwas vereinfacht versteht man unter komplexen Systemen solche, bei deren Verständnis die traditionellen Ansätze nicht weiterhelfen. Häufig ändern sich die Systemeigenschaften ständig in unvorhersagbarer Weise. Komplexe Systeme kann man nicht selten modellieren, indem man manche Systemeigenschaften als in gewissen Grenzen zufällig annimmt. Mit dieser Theorie der Zufallsmatrizen reduziert man im Ergebnis die Zahl der Systemvariablen erheblich. Die Forschungsgruppe benutzt sie in verschiedensten Bereichen der Physik.

Interessante – und wichtige – komplexe Systeme finden sich nicht nur innerhalb der traditionellen Physik, sondern auch in der Wirtschaft, zum Beispiel die Finanzmärkte. Man kann als Physiker viel zur Untersuchung solcher Systeme beitragen – allerdings nur, weil es viele Daten und quantitative Informationen gibt. Die Gruppe konnte quantitativ zeigen, wie dramatisch die gegenseitigen Abhängigkeiten der Kreditnehmer das Risiko für den Kreditgeber erhöhen. Die darin liegende Gefahr wurde offenbar in den Jahren vor der Finanzkrise massiv unterschätzt. Physik und Mathematik bewegen sich leider seit einigen Jahrzehnten auseinander. Die Forschungsgruppe Guhr befasst sich mit Problemen, die aktuell sowohl in Physik als auch Mathematik wichtig sind. Insbesondere verwendet sie die Supersymmetrie, um unsere statistischen Modelle zu lösen. Die normalen Zahlen kommutieren, also $3 \cdot 4 = 4 \cdot 3$. Es gibt aber auch antikommutierende Variablen, für die $a \cdot b = -b \cdot a$

Chaos and the economy

A system is generally termed chaotic in the world on a large scale if minor causes can have major effects. The weather is an excellent example. Because the larger world is made up of small things, however, it is important to ask whether chaotic behaviour on the large scale has its origins in the smaller world. This is a very difficult question to answer, since the two worlds are subject to very different natural laws. In the world of the small, the laws of quantum mechanics apply.

Somewhat simplified, complex systems are systems which cannot be understood by taking traditional approaches. Often, the attributes of the system change constantly in unpredictable ways. In some cases, complex systems can be modelled by assuming some attributes of the system to be random within certain limits. This random matrices theory helps to significantly reduce the number of system variables in the outcome. The research group uses this theory in many different areas of physics.

Interesting – and important – complex systems are not only found in traditional physics but also in the economy, for example the financial markets. Physicists can make a considerable contribution to exploring such systems – albeit only because a lot of data and quantitative information is available. Here the group was able to quantify the dramatic effects of the mutual dependencies of borrowers on the risk to lenders. This inherent risk appears to have been massively underestimated in the years prior to the financial crisis. Unfortunately, physics and mathematics have been moving apart for several decades. The Guhr research group deals with problems which are currently significant in both physics and mathematics, specifically applying supersymmetry to solve our statistical models. In mathematics, the normal numbers commute; in other words, $3 \cdot 4 = 4 \cdot 3$. However, anticommuting variables also exist, for which it applies that $a \cdot b = -b \cdot a$. Surprisingly, these two types of variables can be used together so as to significantly reduce the effective number of variables in certain statistical models.

gilt. Erstaunlicherweise kann man diese beiden Arten von Variablen solcherart gemeinsam verwenden, dass die effektive Zahl der Variablen in gewissen statistischen Modellen enorm reduziert wird.

Kohlenstoffverbindungen

Neben der Fortführung der Arbeiten im Bereich der Synthese nanokristalliner bordotierter Diamantschichten als Modellsystem für thermoelektrische Anwendungen konnte die AG-Buck ihr Spektrum um weitere Projekte erweitern.

Nach ersten Arbeiten zur Synthese von Graphen mittels Heißdraht-CVD konnte gezeigt werden, dass Single Layer Graphen in deutlich kürzeren Prozesszeiten von wenigen Minuten mittels Mikrowellen-Plasma CVD in einem weiten Parameterbereich auf unterschiedlichen Substraten abgeschieden werden kann; die Reduktion der Syntheszeit hat in Kombination mit den großen beschichteten Flächen einen großen Nutzen für die technologische Anwendung des Materials. Diese Ergebnisse wurden zu Beginn des Jahres von Dr. Wöhrl im open Access Journal AIP Advances veröffentlicht.

Einen weiteren Forschungsschwerpunkt der AG bildet das durch MERCUR im Rahmen der UAR geförderte Kooperationsprojekt zur „Erzeugung und Untersuchung oberflächennaher Spin-Zentren in hochreinem Diamant“. Das in diesem Projekt untersuchte Spin-Zentrum ist die Stickstoff-Fehlstelle, deren Spin mit Kohärenzzeiten von bis zu 1,8 ms bei Raumtemperatur ein vielversprechendes technisch nutzbares Quantensystem darstellt. Untersucht wird der Einfluss des Abstands zur Oberfläche auf die Eigenschaften – insbesondere die Kohärenzzeit. Die Vorteile gegenüber anderen technisch genutzten Quantensystemen liegen in der vergleichsweise einfachen Präparation und Manipulation.

Energieumwandlung

Im Mittelpunkt der Arbeiten der AG Nienhaus steht die Frage, wie chemische Energie direkt in elektrische umgewandelt wird. Dabei werden einfache Reaktionen zwischen Gasen und Metalloberflächen studiert, wie sie alltäglich in Umwelt

Carbon compounds

Alongside its ongoing work on the synthesis of nanocrystalline boron-doped diamond layers as a model system for thermoelectrical applications, the Buck group also added further projects to its research. After initial work on graphene synthesis with hot-filament CVD, the group was able to show that the processing time for single-layer graphene deposition on different substrates can be shortened within a wide parameter range to just a few minutes using microwave CVD; the combination of reduced synthesis time and large coated area has major benefits for the technological application of the material. The findings were published at the beginning of the year by Dr. Wöhrl in the open access journal AIP Advances.

A further research focus in the group is the cooperative project funded by MERCUR through the UAR on the “Generation and investigation of spin centres close to the surface of high-purity diamond”. The spin centre examined in this project is the nitrogen point defect; its spin has coherence times of up to 1.8 ms at room temperature and potential as a technically viable quantum system. The group is exploring the influence of the distance to the surface on its characteristics, especially the coherence time. The advantage of this system over other quantum systems in technical use lies in its comparatively easy preparation and manipulation.

Energy conversion

Central to the work of the Nienhaus research group is the question of how chemical energy is converted directly into electrical energy. In their work, the researchers study simple reactions between gases and metallic surfaces as they occur in the environment and technology on an everyday basis. They are developing and fabricating special silicon-based chemical sensors which deliver an electric current when exposed to reactive gas particles – comparable to when light is shone onto a solar cell. This method permits precise measurement during reactions and energy conversion processes, since the strength of the current is a direct representation of the reaction rate. The



und Technik stattfinden. In der Gruppe werden spezielle chemische Sensoren auf Silizium-Basis entwickelt und hergestellt, die einen elektrischen Strom liefern, wenn reaktive Gasteilchen auf-treffen – vergleichbar mit einer Solarzelle, die mit Licht beschienen wird. Diese Methode erlaubt präzise Messungen des Reaktionsverlaufs und der Energieumwandlungsprozesse, da die Stromstärke ein direktes Abbild der Reaktionsrate ist. Die jüngsten Studien fokussieren sich auf die Oxidation von Magnesium, Aluminium und Kalium durch reinen Sauerstoff. Das sind zwar alltägliche Reaktionen, aber sie werfen immer noch viele ungeklärte Fragen auf. Die Arbeiten konnten an Kaliumoberflächen die unterschiedlichen Umwandlungswege von chemischer in elektrische Energie erstmalig getrennt voneinander untersuchen. Als treibende Kraft hinter diesen Prozessen wurde die ultraschnelle Bewegung der Sauerstoff-atome im Molekül während der Reaktion identifiziert. Überraschenderweise ist ein Auseinanderbrechen des Moleküls dafür nicht erforderlich, was bis dahin als essentiell galt. Ein besonders auffälliger Quanteneffekt erscheint an nanometer-dünnen Magnesiumfilmen. Bei bestimmten Film-dicken oxidiert das Metall doppelt so effektiv wie im Normalfall. In solchen Filmen werden die Metallelektronen auf einer charakteristischen Länge eingesperrt. Die Größe dieses ‚Gefängnisses‘ manipuliert die Reaktivität der Oberfläche massiv, weil bei der Oxidation Elektronen vom Metall in das Molekül übergehen.

Spintronik

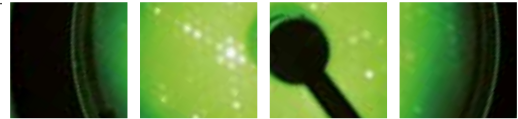
In der Spintronik wird ein besonderes Augen-merk auf das magnetische Moment der Elektronen gerichtet – sie bildet einen Forschungsschwerpunkt innerhalb der Theoretischen Festkörperphysik. In der Forschungsgruppe Kratzer wird in Zu-sammenarbeit mit der Forschungsgruppe Entel eine Variante der Spintronik untersucht, bei der ein Temperaturunterschied benutzt wird, um einen spinpolarisierten Strom anzutreiben. Die dazu nö-tige elektrische Spannung wird durch den Magneto-Seebeck-Koeffizienten beschrieben. Für dieses Forschungsgebiet, das von der Deutschen For-

most recent studies focus on the oxidisation of magnesium, aluminium and potassium with pure oxygen. While these are everyday reactions, they are still a source of many unanswered questions. It was possible for the first time in this work to examine separately the different conversion pro-cesses from chemical to electrical energy on potas-sium surfaces. The ultrafast motion of the oxygen atoms in the molecule during the reaction was identified as the driving force behind the processes. Surprisingly, it is not necessary for the molecule to break apart, which was previously thought to be essential. A particularly noticeable quantum effect is observed on nanometre-thin magnesium films. On certain thicknesses of film, the metal is oxidised twice as effectively as under normal conditions. In these films, the metal electrons are confined at a characteristic length. The size of this ‘confinement’ massively affects the reactivity of the surface, because during oxidation electrons pass from the metal to the molecule.

Spintronics

The magnetic moment of electrons is the special focus of attention in spintronics, which is one of the research priorities in Theoretical Solid State Physics. The Kratzer and Entel research groups are working together to investigate a type of spintronics in which a temperature difference is used to generate a spin-polarised current. The necessary electrical voltage is described by the magneto-Seebeck coefficient. For this field of research, which is funded by the German Research Foundation (DFG) under a Priority Programme, the term spin caloritronics was coined. The methods used in the research group to calculate the electronic structure (density functional theory) permit them to make material-specific predictions and are therefore useful in the selection of suitable materials and structures for spin caloritronics.

Our calculations showed, for example, that it is possible using the magneto-Seebeck effect to read out the direction of magnetisation of a thin-film component made of copper and cobalt. According to our theoretical predictions, specific metal alloys (Heusler alloys, which are semimetallic ferromag-



schungsgemeinschaft im Rahmen eines Schwerpunktprogramms gefördert wird, wurde die Bezeichnung Spinkaloritronik geprägt. Die in der Arbeitsgruppe verwendeten Berechnungsmethoden für die elektronische Struktur (Dichtefunktionaltheorie) ermöglichen materialspezifische Aussagen und können somit die Auswahl geeigneter Materialien und Strukturen für die Spinkaloritronik unterstützen.

Unsere Berechnungen zeigten zum Beispiel, dass über den Magneto-Seebeck-Effekt ein elektrisches Auslesen der Magnetisierungsrichtung eines Dünnschicht-Bauelements aus Kupfer und Kobalt möglich ist. Ferner sollten sich unseren theoretischen Voraussagen zu Folge bestimmte Metalllegierungen (Heusler-Legierungen, die halbmetallische Ferromagnete sind) besonders gut zur thermischen Erzeugung eines spinpolarisierten Stromes eignen. Die Magneto-Seebeck-Koeffizienten von Schichtstrukturen, die eine dünne Lage einer Heusler-Legierung enthalten, wurde für verschiedene Materialkombinationen berechnet. Die Heusler-Schicht war dabei zwischen zwei Kontaktschichten eingebettet, die entweder aus Platin oder aus Aluminium bestehen. Die Platin-Kontakte bieten die Möglichkeit zum experimentellen Nachweis des spinpolarisierten Stromes. Aluminium-Kontakte erweisen sich als nützlich, wenn man den spinpolarisierten Strom über größere Distanzen aufrecht erhalten möchte.

Preise und Auszeichnungen

Dr. Hichem Hattab wurde als einer von elf hervorragenden Absolventinnen und Absolventen mit Migrationshintergrund aus allen Fakultäten der Universität Duisburg-Essen für seinen überdurchschnittlichen Abschluss ausgezeichnet. Er wurde in Oberhausen geboren, wuchs aber in Tunesien auf und machte dort sein Abitur. Als 20-Jähriger kam er nach Deutschland zurück, um Physik an der UDE zu studieren. Hichem Hattab promovierte über hochauflösende Elektronenbeugung.

Für seine herausragende Doktorarbeit wurde Dr. Julian Hirschfelder aus der AG Lustfeld und für seine ebenfalls herausragende Bachelorarbeit

(nets) should be particularly suitable for thermal generation of a spin-polarised current. The magneto-Seebeck coefficient of layered structures containing a thin film of a Heusler alloy was calculated for different combinations of materials. The Heusler layer was sandwiched between two contact layers of either platinum or aluminium. The platinum contacts make it possible to experimentally verify the spin-polarised current, while aluminium contacts are useful if the spin-polarised current is to be maintained over longer distances.

Awards and Distinctions

Dr. Hichem Hattab was honoured as one of eleven outstanding graduates with a migrant background from all the faculties of the University of Duisburg-Essen for his excellent doctoral degree. He was born in Oberhausen but raised in Tunisia, where he also gained his school-leaving qualifications. He returned to Germany when he was 20 to study Physics at the UDE. Hichem Hattab completed his doctorate on high-resolution electron diffraction.

Prizes were awarded to Dr. Julian Hirschfelder of the Lustfeld research group for his outstanding doctoral thesis and Christoph Dürmann of the Wurm group for his equally outstanding Bachelor's thesis at the DIES ACADEMICUS.

The title of "Honorary Professor of the University of Silesia" was bestowed on Prof. Wolfgang Kleemann on 1 October 2013 by the University of Silesia in Katowice, Poland. During his many years of research collaboration (since 1995) with the Faculties of Physics and Material Sciences there, and in particular with Prof. Jan Dec and his research group, Prof. Kleemann had "made a special contribution to the development of the University of Silesia".

Prof. Hans E. Fischer received the Medal of Honour of the German Society for Didactics of Chemistry and Physics (GDGP) for his many years of outstanding achievements in the field. The distinction is awarded every year to a scientist who has made a significant contribution to the profile of physics or chemistry didactics and to research and development in the same areas.

At the annual meeting of the Heinz-Bethge Foundation for Applied Electron Microscopy on

wurde Christoph Dürmann aus der AG Wurm auf dem DIES ACADEMICUS ausgezeichnet.

Prof. Wolfgang Kleemann ist am 1. Oktober 2013 der Ehrentitel eines „Honorary Professor of the University of Silesia“ der Schlesischen Universität Kattowice in Polen verliehen worden. Herr Kleemann hat durch seine langjährige Zusammenarbeit in der Forschung (seit 1995) mit den dortigen Fachbereichen Physik und Materialwissenschaften, insbesondere mit Prof. Jan Dec und dessen Arbeitsgruppe einen „besonderen Beitrag zur Entwicklung der Schlesischen Universität geleistet“.

Prof. Hans E. Fischer hat von der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDGP) die Ehrenmedaille für langjährige hervorragende Leistungen in der Didaktik der Chemie und Physik erhalten. Die Auszeichnung wird jährlich einer Wissenschaftlerin oder einem Wissenschaftlern verliehen, die oder der zur Profilierung der Physik- oder Chemiedidaktik und zur chemie- oder physikdidaktischen Forschung und Entwicklung maßgeblich beigetragen hat.

Zur Jahresversammlung der Heinz-Bethge-Stiftung für angewandte Elektronenmikroskopie am 14. November 2013 in Halle (Saale) wurde der diesjährige Bethge-Nachwuchspreis an Dr. Vadim Migunov aus der Russischen Föderation verliehen. Dr. Migunov hat an der Universität Duisburg-Essen an der Fakultät für Physik in der Forschungsgruppe von Prof. Michael Farle eine Doktorarbeit zum Thema „Elastic properties and electron transport in InAs nanowires“ angefertigt und erfolgreich verteidigt. Die Auszeichnung ist mit der Übergabe eines Bethge-Würfels und eines Preisgeldes von 500 Euro verbunden. Die Verleihung des Bethge-Nachwuchspreises erfolgt nach europaweiter Ausschreibung jährlich zur Jahresversammlung der Bethge-Stiftung.

PD Dr. Rudi Schäfer ist mit dem Gottschalk-Diederich-Baedeker-Preis 2014 ausgezeichnet worden. Damit werden seine herausragenden Leistungen in Forschung und Lehre gewürdigt.

Anlässlich des zweiten bundesweiten Diversity Tags konnte jede Fakultät der Universität Duisburg-Essen Personen für entsprechende Preise nominie-

Ausgewählte Publikationen

Selected Publications

- Braam, D., A. Mölleken, G. M. Prinz, C. Notthoff, M. Geller, A. Lorke (2013): Role of the ligand layer for photoluminescence spectral diffusion of CdSe/ZnS nanoparticles. *Phys. Rev. B* 88, 125302.
- de Beule, C., G. Wurm, T. Kelling, M. Küpper, T. Jankowski, J. Teiser (2013): The martian soil as a planetary gas pump. *Nature physics Letters*, 1 DECEMBER 2013, doi: 10.1038/NPHYS2821.
- Geisler, B., P. Kratzer, V. Popescu (2014): Interplay of growth mode and thermally induced spin accumulation in epitaxial Al/Co₂TiSi/Al and Al/Co₂TiGe/Al contacts, *Phys. Rev. B* 89, 184422.
- Krix, D., H. Nienhaus (2014): Non-adiabatic processes in the charge transfer reaction of O₂ molecules with potassium surfaces without dissociation. *Journal of Chemical Physics* 141, 074711.
- Landers, J., S. Salamon, M. Escobar Castillo, D. C. Lupascu, H. Wende, (2014): Mössbauer Study of Temperature-Dependent Cycloidal Ordering in BiFeO₃ Nanoparticles, *Nano Lett.* 14 (11), 6061–6065.
- Ochedowski, O., K. Marinov, G. Wilbs, G. Keller, N. Scheuschner, D. Severin, M. Bender, J. Maultzsch, F. J. Tegude, and M. Schleberger (2013): Radiation hardness of graphene and MoS₂ field effect devices against swift heavy ion irradiation. *Journal of Applied Physics* 113, 214306, doi: 10.1063/1.4808460.
- Schmitt, T. A., D. Chetalova, R. Schäfer and T. Guhr (2014): Credit risk and the instability of the financial system: An ensemble approach, *Europhysics Letters* 105, 38004, preprint: arXiv:1309.5245.
- Woehrl, N. et al. (2014): Plasma-enhanced chemical vapor deposition of graphene on copper substrates. *AIP Advances* 4(4), 047128, doi:10.1063/1.4873157.

14 November 2013 in Halle (Saale), the year's Bethge Young Scientist Award was presented to Dr. Vadim Migunov from the Russian Federation. Dr. Migunov completed and successfully defended his doctoral thesis at the University of Duisburg-Essen with Prof. Michael Farle's research group in the Faculty of Physics. His thesis was on the theme of "Elastic properties and electron transport in InAs nanowires". The distinction was accompanied by a Bethge cube and 500 euros prize money. The Bethge Young Scientist Award is granted every year at the annual meeting of the Bethge Foundation following a Europe-wide call for applications.

ren. Dr. Christian Bobisch wurde am 3. Juni 2014 in einem Festakt mit dem Diversity-Engagementpreis ausgezeichnet. Er hat sich in den Vorkursen für Physik intensiv dafür eingesetzt, die Startbedingungen für die Studierenden auf ein vergleichbares Niveau zu bringen. Die Kurse sind gerade für Studierende sehr wichtig, die durch äußere Lebensumstände benachteiligt sind.

Dr. Christian Bobisch ist am Dies Academicus zum zweiten Mal innerhalb kurzer Zeit ausgezeichnet worden. Er erhielt den mit 5000 Euro dotierten Lehrpreis der Universität Duisburg-Essen. Zu diesem Preis wurde er vom Fachschaftsrat Physik vorgeschlagen, der besonders seine Entwicklung und Integration neuer Lehr- und Lernmethoden für das Fach Physik hervorgehoben hat.

Am Dies Academicus wurde außerdem Kevin Schröder aus der Arbeitsgruppe von Prof. Dietrich Wolf mit 300 Euro für seine herausragenden Abschlussarbeiten ausgezeichnet.

Am 10. November 2014 wurde Dr. Simon Sindermann für seine mit „summa cum laude“ bewertete Dissertationsschrift der Dissertationpreis der Sparkasse Duisburg verliehen. Sindermann wurde bei PD. Dr. Frank Meyer zu Heringdorf in der Forschungsgruppe von Prof. Horn-von Hoegen promoviert. Der Preisträger war extra für die Preisverleihung aus den USA angereist, wo er mit finanzieller Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft seine Postdoktorandenzeit bei der Forschungsabteilung der Firma IBM verbringt.

Perspektiven

Die Mehrheit der Mitglieder der Fakultät für Physik konzentriert sich aktuell auf zwei Schwerpunkte. Zum Ersten geht es um magnetische Wechselwirkungen in Hybridsystemen, bei denen magnetische Moleküle mit anderen Materialien kombiniert werden. Werden die Moleküle beispielsweise mit magnetischen Filmen, Graphen und Kohlenstoffnanoröhren verbunden, entstehen Spin-Eigenschaften, die nicht durch die Einzelkomponenten alleine erzielt werden können und deren Einsatz in zukünftigen Technologien große Erfolge versprechen.

PD Dr. Rudi Schäfer was awarded the Gottschalk-Diederich-Baedeker Prize 2014 in recognition of his exceptional achievements in research and teaching.

As part of the second nationwide Diversity Day, each of the Faculties at the University of Duisburg-Essen was invited to nominate candidates for prizes in this context. Dr. Christian Bobisch was awarded the Diversity Engagement Prize at a ceremony on 3 June 2014. He worked unstintingly in the preliminary courses for Physics to ensure that students begin their studies at a comparable level. The courses are very important for precisely those students who are disadvantaged on account of their life circumstances.

Dr. Christian Bobisch received his second award in quick succession at the Dies Academicus when he was awarded the University of Duisburg-Essen teaching prize, which is endowed with 5000 euros. He was put forward for the prize by the Physics Teaching Council, which drew special attention to his development and integration of new teaching and learning methods for Physics.

Also at the Dies Academicus, Kevin Schröder from the research group of Prof. Dietrich Wolf was awarded a prize of 300 euros for his outstanding final paper.

On 10 November 2014, Dr. Simon Sindermann was awarded the dissertation prize of the Sparkasse Duisburg for his summa cum laude dissertation. Sindermann gained his doctorate under PD Dr. Frank Meyer zu Heringdorf in the research group of Prof. Horn-von Hoegen. The prize-winner travelled from the USA especially to accept the award. There he is spending a period of time as a postdoc at the research department of IBM with the support of the German Research Foundation.

Outlook

The majority of members of the Faculty of Physics are currently concentrating on two main research areas. One is magnetic interactions in hybrid systems in which magnetic molecules are combined with other materials. If the molecules are combined with magnetic films, graphene and carbon nanotubes for example, spin properties are