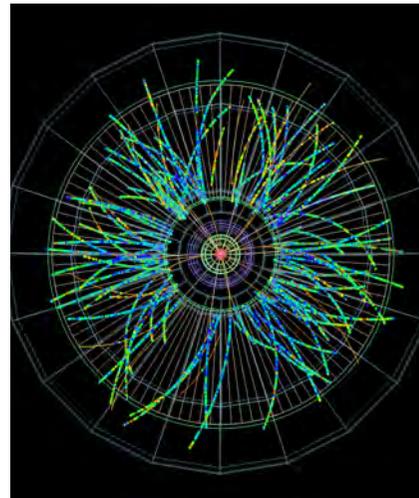
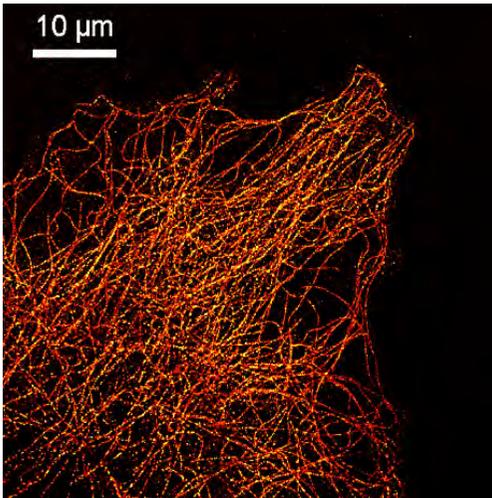
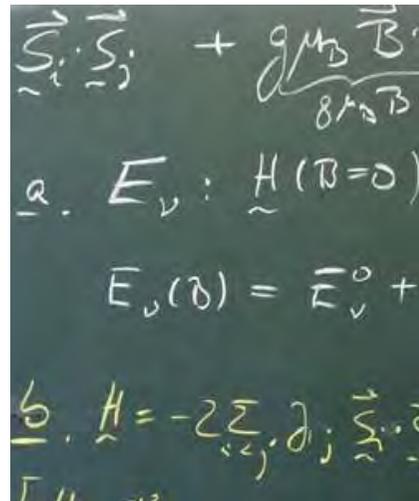


# Physik in Bielefeld



Fakultät für Physik  
www.physik-in-bielefeld.de

## Was kann man als Physikerin und Physiker werden?

„Sie können den Regenbogen erklären, verstehen die Technik des iPhones und wissen viel über ‚Schwarze Löcher‘: Physiker sind absolute Allrounder. Rund 93.000 Physiker arbeiten in Deutschland. Wer Physik studiert, hat beste Chancen auf dem Arbeitsmarkt. Denn die Absolventen dieses Fachbereichs sind transdisziplinär in den unterschiedlichsten Berufsfeldern einsetzbar. Nach dem Abschluss gibt es vor allem zwei Wege: Die einen zieht es in die Wirtschaft, die anderen verbleiben in der Wissenschaft an Hochschulen oder Forschungseinrichtungen.“ [1]



[1] <https://www.academics.de/ratgeber/beruf-physiker>

[2] <https://www.weltderphysik.de/thema/beruf/>

[3] <http://www.e-fellows.net/e-fellows.net-Stipendium/Infos-spezial-fuer/Naturwissenschaftler/Wissen-fuer-Naturwissenschaftler/Berufe-fuer-Physiker>

[4] <https://www.dpg-physik.de/veroeffentlichungen/magazine-und-online-angebote/pj/arbeitsmarktartikel>



## Physik für das 21. Jahrhundert – Forschen und Studieren in Bielefeld

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an Universitäten entdecken neues Wissen und gestalten damit die Zukunft. Dies gilt insbesondere auch für die Forschung an der Fakultät für Physik der Universität Bielefeld. Sie können als Studentin oder Student der Physik ein Teil dieses kreativen Prozesses werden.



In Bielefeld können Sie Physik in mehreren Ausrichtungen studieren, zum Beispiel als klassisches **Physikstudium** – wir nennen das 1-Fach-Bachelor, als **Lehramtsstudium**, wenn Sie später in der Schule unterrichten möchten oder als Nebenfach zu vielen anderen Studienfächern wie z.B. Mathematik.

Alle Studiengänge sind in Bachelor und Master unterteilt. Das **Bachelorstudium** dauert drei Jahre. Es umfasst Mathematik als wichtige Grundlage sowie grundlegende physikalische Themen wie Mechanik und Quantenmechanik sowie das Experimentieren im Praktikum. Das anschließende **Masterstudium** dauert zwei Jahre und beinhaltet fortgeschrittene Themen. Praktisch alle unsere Studierenden durchlaufen beide Abschnitte, mehr als jeder dritte Masterabsolvent promoviert anschließend auch.

Informationen, wie Ihr Studium abläuft, bekommen Sie von uns. **Studienberatung** und **Fachschaft** stehen Ihnen gern hilfreich zur Verfügung. Sie finden auch alle Informationen auf den entsprechenden Webseiten der Universität und unserer Fakultät.

Wir bieten Ihnen in Bielefeld **kleine Lerngruppen** mit möglichst weniger als 15 Teilnehmern und eine **sehr gute Betreuung**. Ein **integrierter Vorkurs** bereitet Sie

insbesondere auf die universitäre Mathematik vor. Wir haben einen größeren Bereich für Sie als **Diskussionsflur** ausgestattet. Dort können Sie sich mit Kommilitonen treffen, um zu diskutieren, gemeinsam Übungsaufgaben zu bearbeiten und zu lernen. Etwa 20 Professorinnen und Professoren sowie ihre Mitarbeiter begleiten Sie in Vorlesungen, Übungen, Praktika, Seminaren und in den Arbeitsgruppen. Unsere Türen stehen Ihnen bei allen Problemen offen.



Im neuen **Servicebüro** der Fakultät haben Sie eine zentrale Anlaufstelle für organisatorische oder inhaltliche Fragen zum Studium.

**Vorlesungen** werden von **Übungen** begleitet, in denen Ihnen erfahrene Studenten als Tutoren zur Seite stehen. Das Experimentieren lernen Sie im **Praktikum**. Nach dem Anfängerpraktikum werden Sie im Fortgeschrittenenpraktikum an die modernen Methoden der experimentellen Arbeitsgruppen herangeführt. Gleiches geschieht in der theoretischen Physik, wo Sie z.B. das Rechnen mit **Supercomputern** lernen. Davon erfahren Sie in diesem Heft mehr.



### Fachliche Schwerpunkte sind z.B. Astrophysik, Biophysik, Kern- und Teilchenphysik, Materialphysik, Optik und Photonik

Die in der heutigen Zeit so wichtigen digitalen Kompetenzen werden bei uns schon ab dem ersten Semester vermittelt, unter anderem mit der Programmiersprache Python.

Zwei Beiträge im Heft sind auf Englisch verfasst, was dokumentiert, dass Sie in höheren Semestern auch englischsprachige Veranstaltungen besuchen können. Oft finden unsere Forschungen in internationalen Kontexten statt, die es Ihnen erlauben werden, ins Ausland zu gehen, und das auch schon vor der Promotion. Eine weitere Möglichkeit ist ein Erasmus-Auslandsaufenthalt an einer unserer Partneruniversitäten.

Und die späteren Berufsaussichten? Sind phänomenal. Fragen Sie uns!



Prof. Dr. Walter Pfeiffer (Dekan der Physik)

## Absolventen der Physik und ihre heutigen Berufe



**Jonas Korenke** arbeitet seit dem Physikstudium bei der Unternehmensberatung d-fine. Dort beschäftigt er sich mit der mathematischen Modellierung von Risiken und der Verarbeitung von großen Datenmengen z.B. bei Banken. Seine Tätigkeiten reichen von der theoretischen Lösungskonzeption bis zur programmiertechnischen Umsetzung. Da jedes Unternehmen ganz individuelle Anforderungen und verschiedene Systeme besitzt, sind nicht nur analytische und technologische Fähigkeiten wichtig, sondern auch eine strukturierte Herangehensweise an komplexe Probleme. Das Physikstudium hat Jonas ideal auf diese Herausforderungen vorbereitet.

**Ayse Eren** arbeitet in der IT-Abteilung einer Dienstleistungsfirma. Dort werden große Datenmengen strukturiert, um wichtige Informationen für ein Unternehmen transparent zu machen. Sie entwickelt verschiedene Datenstrukturen mit Hilfe von Sprachen wie SQL oder LUA. Mit Hilfe dieser Daten können insbesondere Logistikprozesse, z.B. Online-Bestellungen, optimiert werden. Durch das Physikstudium hat sie gelernt, komplexe Aufgaben einfach und zielorientiert zu lösen.



**Dr. Martin Höck** hat in Bielefeld Physik studiert und in theoretischer Physik promoviert. Er arbeitet für einen Produzenten optischer Messtechnik. Als Entwicklungsingenieur und C++-Spezialist programmiert er Algorithmen für Messsysteme, mit denen z.B. in der Automobil- und Luftfahrtindustrie sichergestellt wird, dass Bauteile den hohen Qualitätsanforderungen genügen. An seiner Arbeit fasziniert ihn, dass die Messsysteme in Kombination mit geeigneter Software in Sekundenschnelle die Qualität realer Bauteile bewerten können.

**Dr. Beate West** hat nach ihrem Physikstudium in theoretischer Physik promoviert. Heute arbeitet sie als Entwicklungsingenieurin und Projektleiterin bei einem Kabelhersteller. Sie ist für die Auslegung supraleitender Kabelsysteme und Strombegrenzer verantwortlich. Zusätzlich betreut sie die Fertigung der supraleitenden Kabel. Viele Inhalte aus dem Physik-Studium kann sie in ihrem Beruf anwenden, vor allem aber das systematische Denken.



**Dr. Torsten Hübner** hat an der Fakultät für Physik in Bielefeld studiert und im Anschluss in experimenteller Physik promoviert. Sein Arbeitgeber ist ein mittelständisches Unternehmen, das sich auf die Lecksuche spezialisiert hat. Als Ingenieur in der Forschungsabteilung ist es seine Aufgabe, neue Technologien für die Lecksuche an Erdgasleitungen, Wasserleitungen oder auch an Biogasanlagen zu erforschen. Er findet, dass das Physikstudium in Bielefeld eine ideale Vorbereitung für das industrielle als auch das wissenschaftliche Arbeitsleben ist.

**Dr. Mareike Dieding** hat in experimenteller Physik promoviert und arbeitet aktuell am Franziskus-Hospital Bielefeld als Medizinphysikerin. Sie ist dort in der Strahlentherapie für die Qualitätssicherung am Linearbeschleuniger verantwortlich. Außerdem erstellt sie computergestützte Bestrahlungspläne, mit denen Krebspatienten behandelt werden. Die in ihrem Studium erworbene analytische Herangehensweise kann sie bei der Erstellung und Beurteilung von Bestrahlungsplänen anwenden. Ihre Laborerfahrung aus der Promotion hilft ihr in ihrem täglichen Umgang mit Messmitteln.

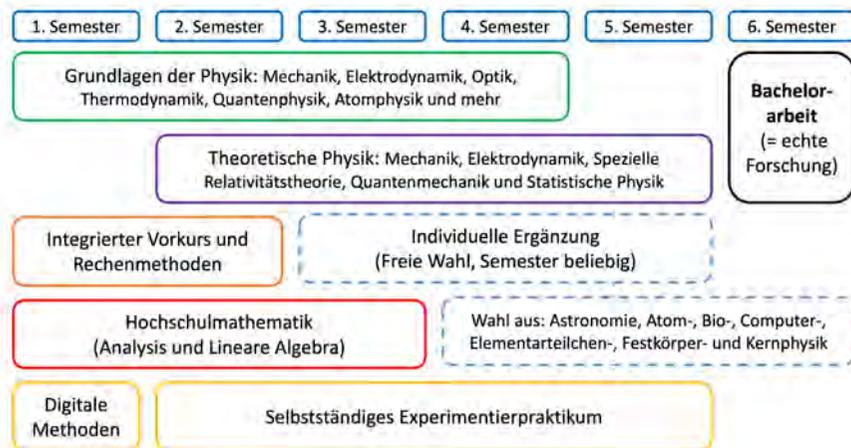


**Dr. Jan Regtmeier** hat in Bielefeld Physik studiert und in der experimentellen Biophysik promoviert. Er arbeitet heute als Bereichsleiter bei einem großen mittelständischen Unternehmen (Harting Electric GmbH), das auf Steckverbinder und moderne Connectivity-Lösungen spezialisiert ist. Im Unternehmen ist er für den Aufbau eines neuen Geschäftsfeldes verantwortlich. Er profitiert vom Physikstudium vor allem durch das analytische Denken, die Fähigkeit, sich schnell in neue Themen einarbeiten zu können und durch ein solides Grundverständnis von physikalischen Grundlagen der Messtechnik und Datenverarbeitung.

**Unsere Physik-Absolventen arbeiten u.a. bei Airbus, Beckhoff, Boge, Dekra, d-fine, dSPACE, Elastogran, Gildemeister, Harting, Helaba, itelligence, KME, LaVision-Biotec, Lufthansa Systems, McKinsey, Miele, Philipps Research, Plasmidfactory, Reply, Rosen, TÜV Nord, Zeiss sowie an Berufs-, Grund-, Haupt-, Real-, Gesamtschulen und Gymnasien.**

## Aufbau des Physikstudiums

Das **Studium** ist eine Zeit der **Freiheit**, in der man vieles ausprobieren kann. So gibt es auch viele Optionen, sein Physikstudium zu gestalten. Es gibt Grundlagenvorlesungen, die man als Voraussetzung für andere Veranstaltungen braucht, insbesondere Analysis, Lineare Algebra und Rechenmethoden aus dem Bereich der Mathematik. Die Physik beginnt mit den **Einführungsvorlesungen**, die an die Schule anknüpfen und mit Mechanik und Elektrodynamik starten. In diesen Vorlesungen werden physikalische Phänomene in Experimenten vorgeführt und erklärt. In den Praktika experimentieren alle Studenten in Zweiergruppen selbstständig. Nach den ersten Semestern kann man stärker seinen eigenen Interessen folgen und Wahlpflichtveranstaltungen belegen. Man kann aber jederzeit beliebige Vorlesungen aus dem gesamten Angebot der Universität belegen, die einen interessieren. Der abgebildete Netzplan stellt die Variante vor, die wir für alle Studenten mit **Kernfach Physik** als gut geeignet ansehen. Für das Lehramt und Physik als Nebenfach



gibt es ähnliche Pläne auf unseren Webseiten.

Zum Ende des Bachelorstudiums schreibt man seine **Bachelorarbeit**. Dazu kann man völlig frei eine Arbeitsgruppe aussuchen, um dort ein Thema zu bearbeiten, das man attraktiv findet. Dieses Heft möchte einen ersten Eindruck vermitteln, welche Gebiete in Bielefeld bearbeitet werden.

Praktisch alle Bachelorabsolventen setzen das Studium im Master fort. Unsere Masterstudiengänge enthalten nur noch sehr wenige Pflichtveranstaltungen und erlauben ein sehr freies Studium entsprechend der eigenen Vorlieben. Man kann hier neue Themen ausprobieren und seine Masterarbeit in einem anderen Gebiet verfassen, als dies bei der Bachelorarbeit der Fall war. Es ist gar nicht so selten, dass man während der Masterarbeit auf eine Konferenz fährt oder an einer Publikation mitarbeitet.

Während der Bachelorarbeit und noch intensiver während der Masterarbeit wird die **Arbeitsgruppe**, in der man seine Arbeit schreibt, beinahe zu einer zweiten Familie. Zu den Freunden, die man im Studium zum Beispiel in den Lerngruppen kennengelernt hat, kommen jetzt neue Kontakte in der Arbeitsgruppe. Viele Arbeitsgruppen treffen sich regelmäßig zum Gruppenseminar und gehen zusammen Mittag essen. Wissenschaftliche Diskussionen werden intensiver, nicht nur mit Studenten, sondern auch mit Doktoranden, Mitarbeitern und Professoren. Oft tragen all diese Menschen zur Betreuung der Abschlussarbeiten bei, da viele Themen so komplex sind, dass sie nur mit großem technischem Aufwand und im Team bearbeitet werden können. Spätestens jetzt sind Sie in der physikalischen **Spitzenforschung** angekommen.



Mit dem Masterabschluss bewirbt sich etwa die Hälfte der Absolventen in den unterschiedlichsten Branchen (Industrie, IT, Finanzwesen, Medizinphysik usw.) und hat dort **hervorragende Chancen**. Die andere Hälfte unserer Masterabsolventen beschäftigt sich weiter mit universitären Forschungsfragen und promoviert.

## Bachelor in Medizinphysik

Der neue Studiengang **Medizinphysik** steht im Wesentlichen auf drei Säulen: Die erste Säule bildet die solide Grundausbildung in Physik, die über die Module „Einführung in die Physik“ abgedeckt wird. Im ersten Studienjahr wird dies durch eine Einführung in die Rechentechniken und die digitalen Methoden ergänzt. Im zweiten Studienjahr folgt ein erster Einblick die theoretischen Methoden der Physik.



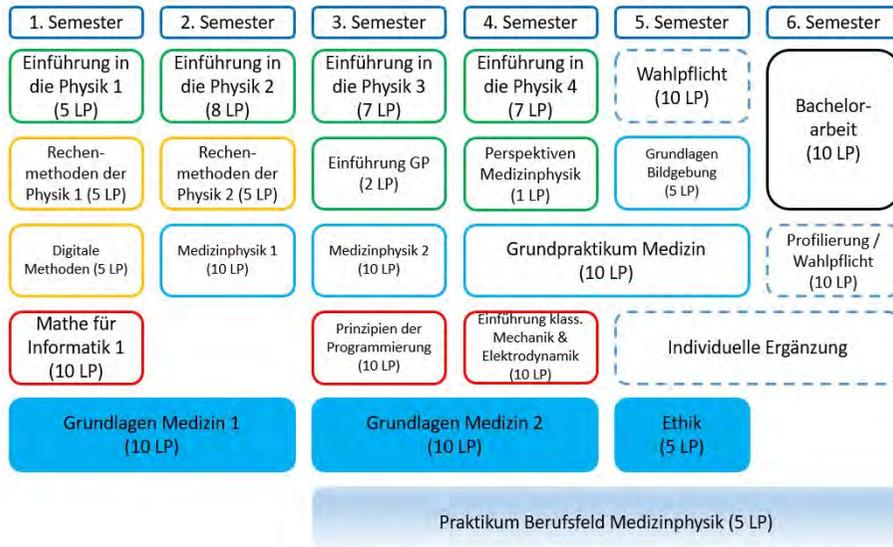
Die zweite Säule wird durch Module zu den medizinischen Grundlagen gebildet. Diese von der Medizinischen Fakultät Ostwestfalen-Lippe angebotenen Module geben einen Einblick in die Gebiete der Anatomie, Physiologie und Radiologie. Diese Säule wird durch ein Modul zu Ethik medizinisch-technischer Systeme, sowie einem medizinischen Praktikum abgerundet.



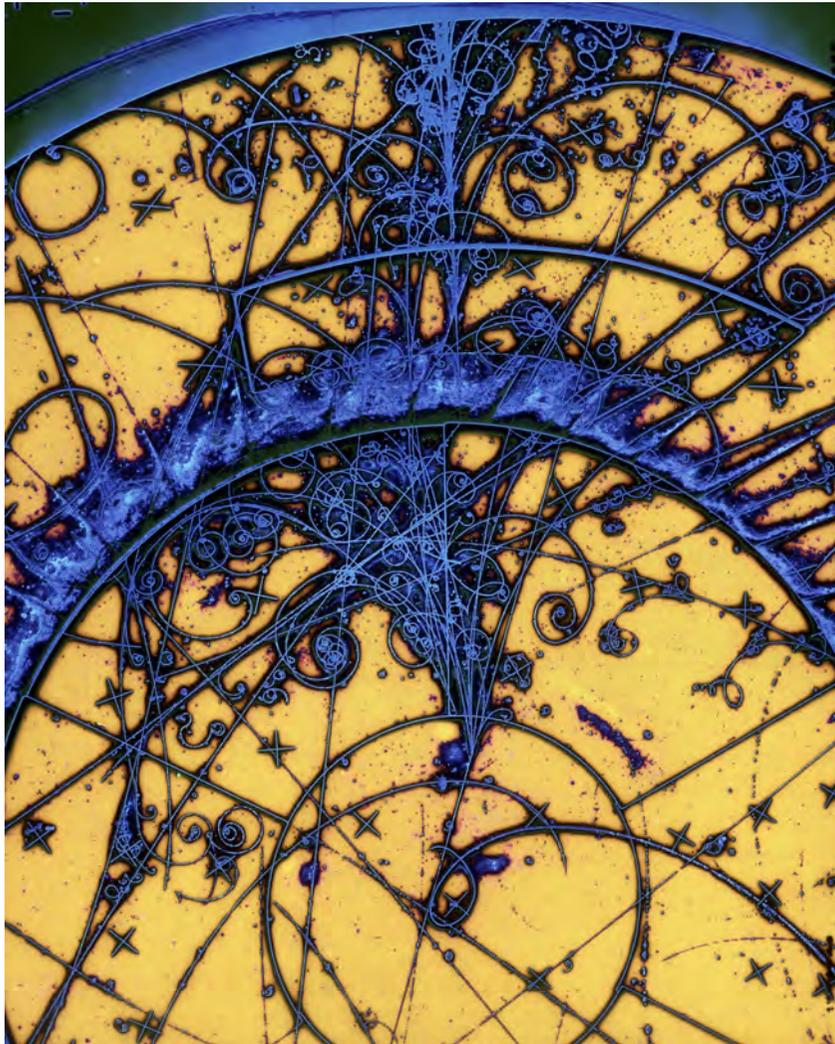
Die verbindende Säule wird durch die Module, Medizinphysik (1+2) und Grundlagen der Bildgebung gebildet. Diese Module sind auf das Studium der Medizinphysik zugeschnitten und bauen auf den in Physik bzw. Medizin vermittelten Grundlagen auf. Auch wird das Grundpraktikum Medizinphysik (Experimentieren im Labor) durch geeignete Versuche zu diesen Themen eine verbindende Rolle einnehmen.

Das letzte Studienjahr zeichnet sich neben der Abschlussarbeit durch eine hohe Wahlfreiheit aus. Hier können und sollen die Studierenden einen individuellen Fokus auf einen der angebotenen strukturierten Ergänzungsbereiche (theoretische Physik, experimentelle Physik oder Informatik) legen.

Die Einrichtung eines **Masterstudienganges Medizinphysik** ist in Vorbereitung.



## Warum gibt es etwas und nicht nichts?



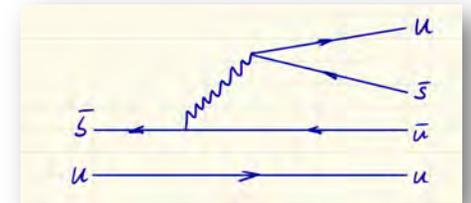
Teilchenspuren in einer Blasenkammeraufnahme: Teilchen und Antiteilchen bewegen sich auf entgegengesetzt gekrümmten Bahnen im Magnetfeld.

CERN

Gäbe es gleich viel Materie und Antimaterie, würden diese sich gegenseitig zerstrahlen. Das Universum bestände dann nur aus Licht, und es gäbe keine Materie. Experimentell findet man aber etwas mehr Materie als Antimaterie, d.h. nicht alles zerstrahlt, sondern es bleibt etwas übrig. Aus diesem etwas bestehen wir.

Damit liegt die Frage nahe, warum es mehr Materie als Antimaterie gibt. War das von Anfang an so, d.h. seit dem Urknall? Es gibt gute Gründe anzunehmen, dass diese Ungleichheit erst danach entstanden ist, durch physikalische Prozesse, die wir verstehen und erforschen können. Daher untersuchen wir Prozesse, die möglicherweise im frühen Universum stattgefunden haben und berechnen, ob und wieviel mehr Materie als Antimaterie entstanden ist.

Wir berechnen diese Prozesse mit Hilfe der Quantenfeldtheorie. Diese beschreibt die Physik der Quanten im Einklang mit der Relativitätstheorie Einsteins. Einerseits ist dies eine sehr abstrakte Theorie, andererseits lassen sich damit Prozesse mit Hilfe von Feynman-Diagrammen, wie dem abgebildeten, anschaulich beschreiben.



Viele Aspekte der Quantenfeldtheorie sind Gegenstand aktueller Forschung. Bei uns bekommen Sie den Einstieg in dieses faszinierende Gebiet im ersten Semester des Masterstudiums.



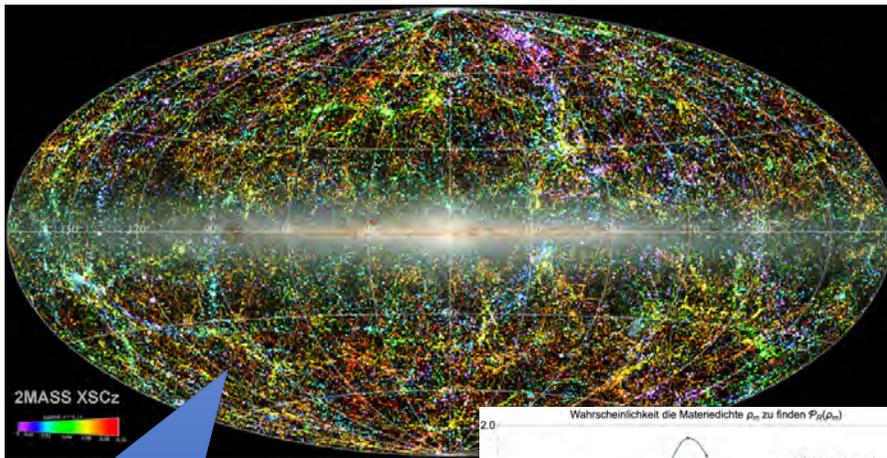
**Prof. Dr. Dietrich Bödeker** hat Physik an der Universität Hannover studiert, ging dann ans DESY und hat an der Universität Hamburg promoviert. Sein Weg führte ihn über Minneapolis, Heidelberg, Kopenhagen und Brookhaven nach Bielefeld. Er beschäftigt sich hier mit Grundlagenfragen der Elementarteilchenphysik.

## Das kosmische Galaxiennetz im dunklen Universum

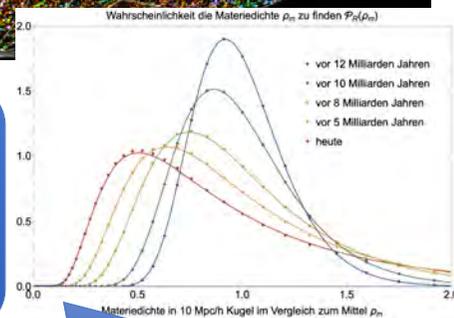
Die Kosmologie beschäftigt sich mit der Bildung von kosmischen Strukturen wie Galaxien und Galaxienhaufen und der Bestimmung der Zusammensetzung unseres Universums. In Bielefeld untersuchen wir, was uns die Anordnung von Millionen von Galaxien entlang einer spinnennetzartigen Struktur über die Vergangenheit und Zukunft unseres Universums verrät. Bisherige Beobachtungen haben gezeigt, dass normale Materie wie die Atome und Elemente, aus denen unser Sonnensystem zusammengesetzt ist, nur 5% der Energiedichte unseres aktuellen Universums ausmachen. Die restlichen 95% sind mysteriöse dunkle Zutaten – die dunkle Materie, die durch ihre Gravitationskraft die Strukturbildung im Universum befördert, und die dunkle Energie, die die Expansion des Universums vorantreibt. In Bielefeld entwickeln wir Methoden, um diese Beobachtungen von Millionen von Galaxien effizient zusammenzufassen und durch den Vergleich mit theoretischen Vorhersagen herauszufinden, welche Eigenschaften die dunkle Materie, die dunkle Energie und das frühe Universum haben.

Durch den Vergleich der Galaxienverteilungen bei unterschiedlicher Rotverschiebung können wir das Tauziehen der Gravitation der dunklen Materie und der Expansion durch dunkle Energie beobachten. Die dunkle Materie ist sehr wichtig für die Strukturbildung, da sie nur von der Gravitation beeinflusst wird und sich so viel schneller ansammeln kann als normale Materie die durch viele andere Prozesse am Zusammenklumpen gehindert wird. Aber wenn die Expansion des Universums sich weiter verschnellert, dann könnte es die Dichte der dunklen Materie soweit verdünnen, dass sich in Zukunft keine neuen kosmischen Strukturen mehr bilden können.

Wir können mit den Galaxiendurchmusterungen aber auch in die Vergangenheit schauen. Aus Beobachtungen der kosmischen Mikrowellenstrahlung wissen wir, dass die Materie im frühen Universum zufällig und ziemlich fair verteilt war, also dass etwa die Hälfte der Regionen überdurchschnittlich viel Materie hatte und die andere Hälfte unterdurchschnittlich viel – als ob man eine Münze geworfen hätte. Durch die Gravitation, die Materie in überdichteten Regionen befördert und die unterdichteten Regionen leert, ist die ursprüngliche Verteilung der Materie im späten Universum aber deutlich verschoben. In unserer Forschungsgruppe arbeiten wir daran, genau vorherzusagen, wie die Gravitation die Galaxienverteilung verändert, sodass die meisten Regionen ziemlich leer sind, man aber auch einige Regionen mit sehr vielen Galaxien findet. Durch den Vergleich von eher leeren und eher vollen Regionen können wir auch unterschiedlichen Teilchen besser auf die Spur kommen. Wir wissen zwar, dass es dunkle Materie geben muss, um eine Vielzahl an Beobachtungen zu erklären, wissen aber noch nicht, wie schwer diese Teilchen sind. Zum Beispiel verhalten sich sehr leichte Teilchen wie Neutrinos, die einen Teil der dunklen Materie ausmachen, anders als schwerere Teilchen, die einfacher zusammenklumpen und Strukturen bilden. Wenn die Teilchen der dunklen Materie ultraleicht wären, könnten sie sich auf kleineren Skalen sogar eher wie Wellen verhalten und charakteristische Muster hinterlassen.



Jeder Punkt auf der Karte entspricht einer Galaxie und die Farbe kodiert die Rotverschiebung, je rötlicher desto weiter in der Vergangenheit und von uns weg. Die helle Scheibe in der Mitte ist unsere eigene Galaxie, die Milchstraße, die wir schlecht beobachten können. Auf großen Skalen sieht man eine netzartige Struktur, die das Skelett unseres Universums ist. Es gibt viele dunkle Bereiche mit wenig Galaxien, aber auch einige extrem helle Bereiche mit sehr vielen Galaxien. Credit: 2MASS Extended Source Catalog, T. Jarrett (IPAC/Caltech)



Die Verteilung der dunklen Materie in einer kosmologischen Simulation (Datenpunkte) entwickelt sich von einer Verteilung nahe einer Gauß-Glocke zu frühen Zeiten (blau) in eine merklich verzerrte Verteilung. Zu späten Zeiten (rot) findet man am wahrscheinlichsten Bereiche mit einer Dichte deutlich unter dem Mittel, aber auch zunehmend Bereiche mit extrem hoher Dichte. Das liegt an der Gravitation, die über die Zeit hinweg zunehmend Materie aus unterdichteten in überdichtete Bereiche befördert. Die Linien entsprechen einer theoretischen Vorhersage, für die man nur die Breite der Verteilung kennen muss, um die Form zu rekonstruieren.



**Prof. Dr. Cora Uhlemann** hat in Physik an der Ludwig-Maximilians-Universität München promoviert. Sie arbeitete danach in Utrecht und war u.a. *Research Associate* am *Stephen Hawking Centre for Theoretical Cosmology* in Cambridge sowie *Lecturer* in Newcastle.

Ihre Arbeitsgruppe ist Mitglied im *Euclid Consortium* des ESA-Weltraumteleskops und arbeitet aktiv mit Wissenschaftlern in München, Wien und Paris zusammen.

## Nanomembranen aus Molekülen: Oberflächenphysik hebt ab

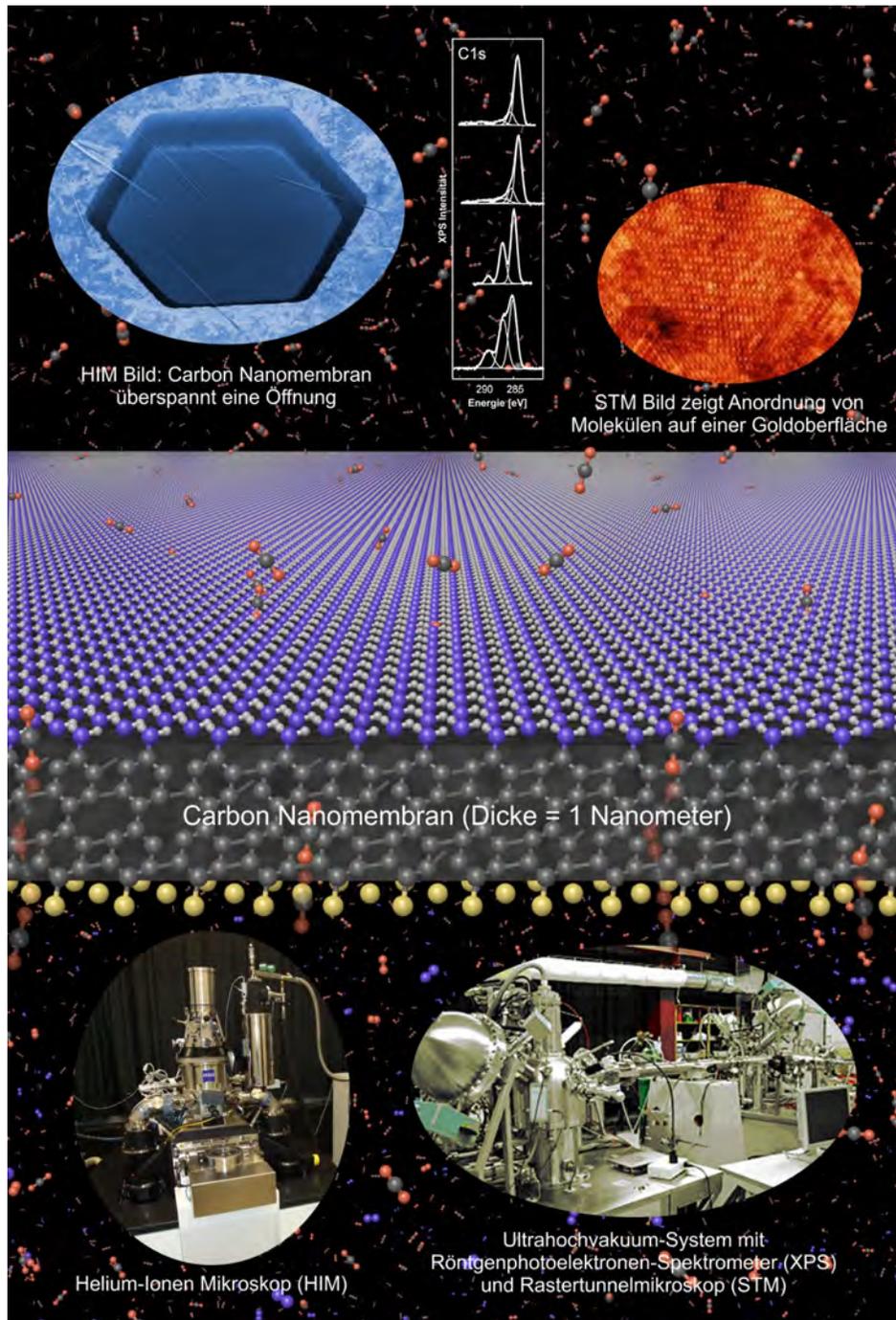
In unserer Arbeitsgruppe „Physik supramolekularer Systeme und Oberflächen“ wird ein experimenteller Zugang zur Untersuchung von atomaren und molekularen Prozessen auf Oberflächen gewählt. Ein zentrales Forschungsfeld ist die Herstellung, Charakterisierung und Anwendung von neuartigen zweidimensionalen Materialien: Kohlenstoff-Nanomembranen (engl.: Carbon Nanomembranes, CNMs) und Graphen. CNMs und Graphen werden durch von der Arbeitsgruppe entwickelte Verfahren, bei denen organische Moleküle zunächst auf Metalloberflächen aufgebracht und dann miteinander verknüpft werden, hergestellt. Die entstehenden zweidimensionalen Schichten können von der Oberfläche abgehoben und als freitragende Nanomembranen mit einer Dicke von 1 nm (1 Nanometer) oder als freitragende Graphenschicht mit einer Dicke von 0.3 nm (1 Atomlage) präpariert werden.

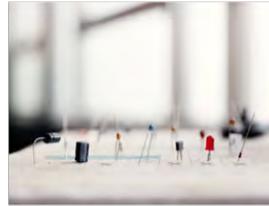
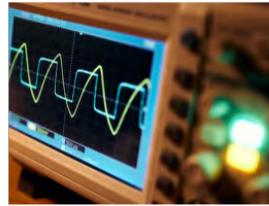
CNMs und Graphen gehören damit zu den „dünnsten“ Materialien überhaupt. Dennoch sind sie mechanisch sehr stabil und eignen sich für technische Anwendungen. Ein wichtiges Ziel unserer Forschung ist die Weiterentwicklung von CNMs als maßgeschneiderte Filter für Flüssigkeiten oder Gase. Die CNM soll dabei konkrete Trennaufgaben, wie die Entsalzung und Reinigung von Wasser oder die Abtrennung von Kohlendioxid aus Verbrennungsabgasen, erfüllen. Zur Erreichung dieser wirtschaftlich und ökologisch wichtigen Ziele wurde von Mitgliedern der Arbeitsgruppe eine Start-Up-Firma gegründet, die sich mit der praktischen Realisierung von CNM basierter Wasser- und Gasreinigung beschäftigt. Zukünftige CNM-Anwendungen liegen auch in der Elektronik. Kleinste elektronische und optische Bauteile, Kondensatoren, Sensoren und optische Filter, lassen sich aus CNMs und Graphen herstellen.

Die Arbeitsgruppe verwendet modernste wissenschaftliche Instrumente, die es erlauben, das Verhalten von Atomen und Molekülen auf Oberflächen im Detail zu beobachten, so zum Beispiel das erste Helium-Ionen-Mikroskop in Deutschland.



**Prof. Dr. Armin Gölhäuser** promovierte 1993 an der Universität Heidelberg. Danach ging er mit einem Stipendium für drei Jahre an die University of Illinois at Urbana-Champaign (USA). Im Jahr 2001 habilitierte er sich in Heidelberg und ist seit 2003 Professor für Physik an der Universität Bielefeld. Seine Forschung konzentriert sich auf die Herstellung, Charakterisierung und Anwendung von niedrig-dimensionalen Nano-strukturen und funktionellen Materialien.





## Physik unterrichten – Physikunterricht erforschen

Nicht selten ist „Physik“ die Antwort von Schülerinnen und Schülern auf die Frage nach dem unbeliebtesten oder schwierigsten Unterrichtsfach. Gleichzeitig ist „Physik“ jedoch auch Teil der Antwort auf viele Fragen unserer durch Technologie geprägten Gesellschaft. Der Erwerb einer physikalischen Grundbildung, beginnend beim Sachunterricht in der Grundschule bis hin zum Leistungskurs Physik, bildet die Grundlage für ein Leben in und die Partizipation an der Gesellschaft von morgen. Allerdings ist Physik seit langem ein Mangelfach an Schulen und grundständig ausgebildete Physiklehrerinnen und -lehrer werden deutschlandweit händeringend gesucht – es existieren also beste Berufschancen.

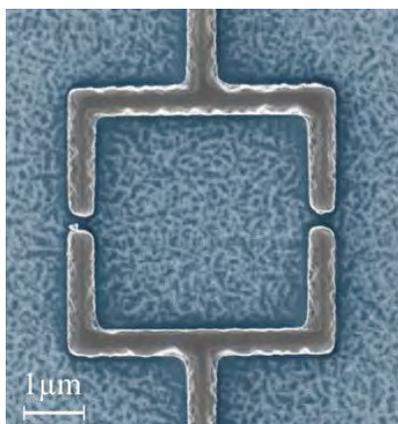
Die Arbeitsgruppe ‚*Physik und ihre Didaktik*‘ ist verantwortlich für die fachdidaktische Ausbildung von Physikstudierenden mit dem Berufsziel Lehramt an Haupt-, Real-, Sekundar-, Gesamtschulen oder Gymnasien und beteiligt an der Ausbildung von angehenden Grundschullehrkräften im Fach Sachunterricht. Der Schwerpunkt der physikdidaktischen Forschung und Lehre ist auf der experimentellen Erkenntnisgewinnung begründet. Die Erkenntnisgewinnung und insbesondere das Experiment stellt ein zentrales Element im Physikunterricht dar, welches aufgrund seiner starken Handlungsorientierung und der Möglichkeit zur aktiven Auseinandersetzung mit (Natur) Phänomenen und technischen Anwendungen großes Potenzial aufweist, Lernende für Physik zu begeistern und gleichzeitig den aktuellen bildungspolitischen Forderungen eines digitalen und inklusiven Fachunterrichtes erfolgreich zu begegnen. Digitale Medien nehmen dabei die Rolle des Mittlers im Spannungsfeld zwischen dem häufig barriereelastigen Physikunterricht und den Ansprüchen einer inklusiven Pädagogik ein, indem sie vielfältige Zugänge zu komplexen Fachinhalten ermöglichen, die Entwicklung naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen fördern und den Erwerb von Kompetenzen für den problemorientierten Einsatz moderner Technologien ermöglichen. Die Arbeitsgruppe arbeitet an der Schnittstelle zwischen fachdidaktischer Lehre, Forschung und Unterrichtspraxis, um innovative Lehr-Lernangebote für die Praxis zu entwickeln und Physikstudierende auf ihre zukünftige Rolle als Lehrkraft vorzubereiten.



**Prof.‘in Dr. Lisa Stinken-Rösner** studierte Physik und Mathematik auf Lehramt in Bremen und promovierte 2016 in Physikdidaktik an der WWU Münster. Anschließend arbeitete sie für knapp zwei Jahre an außerschulischen Bildungsstätten in den USA, bevor sie an die Universität Lüneburg ging. 2022 war sie Geschäftsführerin und wissenschaftliche Leitung der Zukunftswerkstatt Buchholz. Seit 2023 leitet Sie die Arbeitsgruppe ‚*Physik und ihre Didaktik*‘.



Kombinierte Sputter- und Molekularstrahlanlage der Arbeitsgruppe Reiss: mit dieser Anlage können dünne Schichten aus verschiedenen Materialien atomlagen genau hergestellt werden.



Rasterelektronenmikroskop-Bild eines Mikro-SQUIDs (Superconducting Quantum Interference Device) aus dem Supraleiter Nb (graue Linien) und der darunter liegenden Schicht aus dem topologischen Isolator SnTe. An solchen SQUIDs können Quanten-oszillationen gemessen werden, die auf neue Teilchenzustände schließen lassen.

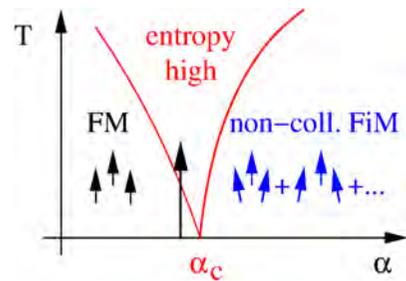
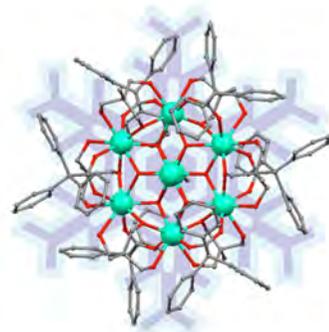
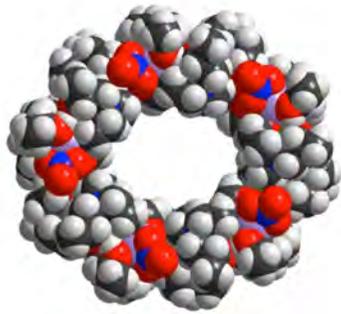
## Spinelektronik

Elektronen tragen eine elektrische Elementarladung – das wissen fast alle. Dass diese Teilchen aber auch einen Drehimpuls – den Spin – haben, ist schon weniger bekannt, obwohl dieser das magnetische Moment und Phänomene wie Ferromagnetismus verursacht. Das ist aber noch nicht alles: Spin und Bahn des Elektrons sind über die Spin-Bahn-Wechselwirkung gekoppelt. Im Extremfall kann dies dazu führen, dass sich Elektronen nur in eine Richtung bewegen können, die vom Spin vorgegeben wird. Das gibt es z.B. bei den Topologischen Isolatoren. Allgemein gilt, dass alle Eigenschaften eines Festkörpers wie elektrischer Widerstand, Wärmeleitfähigkeit, Magnetowiderstand und thermoelektrische Effekte von der Spin-Bahn-Wechselwirkung beeinflusst werden. Unsere Gruppe „Dünne Schichten und Physik der Nanostrukturen“ befasst sich mit solchen Phänomenen, z.B. bei der Kombination von Topologischen Isolatoren mit Supraleitern in SQUIDS, wo der Topologische Isolator bei tiefsten Temperaturen auch supraleitend wird und der Josephson-Strom Fraunhofer-Oszillationen zeigt.

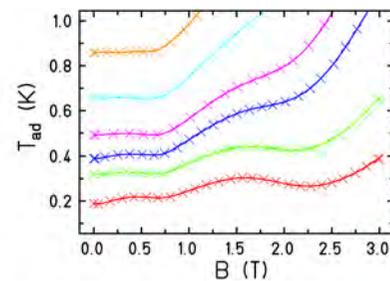
Spinabhängige Transporteigenschaften können aber auch zu interessanten Anwendungen führen: Für Datenspeicher ist der Spin-Transfer-Torque-Magnetspeicher mit wahlfreiem Zugriff (STT-MRAM) eine vielversprechende Perspektive, um die Vorteile schnellen Zugriffs und hoher Schreibgeschwindigkeit mit dauerhafter Datenspeicherung zu kombinieren. Dazu untersuchen und optimieren wir neue Materialien und integrieren diese mit moderner Mikro- und Nanostrukturierung in Bauelemente. Wir folgen dabei dem Konzept des „Integrated Computational Materials Engineering“, bei dem Eigenschaften neuer Materialien theoretisch modelliert und dann experimentell verifiziert werden. Dazu führen wir viele Messungen an Synchrotron-Strahlungsquellen aus und kooperieren mit Forschungsinstituten in Europa, Japan, Korea und USA. Als Ergebnis entstehen z.B. magnetische Tunnellelemente die als Speicher, Daten-Leseköpfe oder Sensoren verwendet werden.



**Prof. Dr. Günter Reiss** hat in Regensburg Physik studiert und in experimenteller Festkörperphysik promoviert. Seine Forschung zur Verbindung zwischen Magnetismus und elektrischem Transport reicht von grundlegenden Effekten bis zu neuen Datenspeichern und Sensoren.



Quantenphasenübergang bei  $\alpha_c$  für das magnetische Molekül  $\{Fe_{10}Gd_{10}\}$



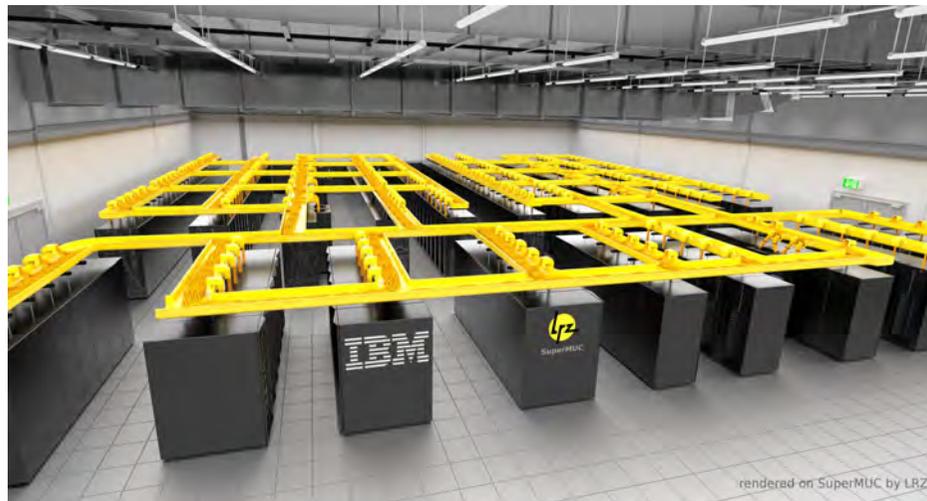
Kurven konstanter Entropie, auf denen sich das Molekül  $\{Gd_7\}$  abkühlt, wenn das Magnetfeld B verringert wird

## Molekulare magnetische Speicher, Qubits und Kühlschränke

Viele moderne Konzepte der Physik werden mit Hilfe von Quantenspinsystemen verwirklicht. Dazu gehören die Untersuchung von Quantenphasenübergängen genauso wie das Studium quantenmechanischer Zeitentwicklungen für zukünftige Quantencomputer. Möglich macht dies die fundamentale Eigenschaft elementarer Teilchen, einen intrinsischen quantenmechanischen Drehimpuls zu tragen, den Spin. Verknüpft mit dem Spin ist ein magnetisches Moment, das man sich wie eine kleine Kompassnadel vorstellen kann. Aus der Wechselwirkung dieser Spins untereinander und mit den sogenannten Bahndrehimpulsen entstehen alle magnetischen Phänomene, die wir kennen. Moderne Forschungen zielen darauf ab, diese Wechselwirkungen in Materialien so zu gestalten, dass bestimmte Phänomene erst möglich werden.

Quantenphasenübergänge zum Beispiel treten auf, wenn sich die Eigenschaften des magnetischen Materials am absoluten Temperaturnullpunkt als Funktion zum Beispiel des angelegten Magnetfeldes oder des äußeren Drucks dramatisch ändern. Dabei kann das quantenmechanische Energiespektrum der Substanz große Grundzustands-entartungen aufweisen. Dies ist mit einer sehr großen Entropie verbunden. Obwohl der Quantenphasenübergang am absoluten Nullpunkt auftritt, beeinflusst er das Verhalten der Substanz auch für höhere Temperaturen und bewirkt z.B., dass die Substanz große Temperaturänderungen erfährt, wenn Magnetfeld oder Druck variiert werden. Substanzen, die ein solches Verhalten zeigen, können zum Beispiel als moderne Kühlmittel verwendet werden, mit denen sich Temperaturen weit unterhalb eines Kelvins erreichen lassen. Quantencomputer wiederum benötigen diese tiefen Temperaturen.

In unserer Theoriegruppe berechnen wir dieses Verhalten auf normalen Supercomputern wie dem SuperMuc-NG in Garching bei München. In massiv parallelisierten Programmen werden die physikalischen Eigenschaften mit Hilfe von Matrizen und Vektoren berechnet, die lineare Dimensionen von  $10^{10}$  erreichen und über Tausende Cores verteilt sind. Neben den physikalischen Grundlagen erlernen Sie deshalb bei uns auch Methoden des Supercomputing und nutzen weltweit führende Superrechner.



**Prof. Dr. Jürgen Schnack** hat Physik an der TU Dresden und der TH Darmstadt studiert und in theoretischer Kernphysik promoviert. Er erforscht derzeit die quantenmechanischen Eigenschaften von magnetischen Molekülen. Solche Systeme können molekulare Realisierungen von Speicherbits oder Qubits sein und auch zu neuen Kühlmitteln führen, mit denen Temperaturen unterhalb eines Kelvins erreicht werden können.

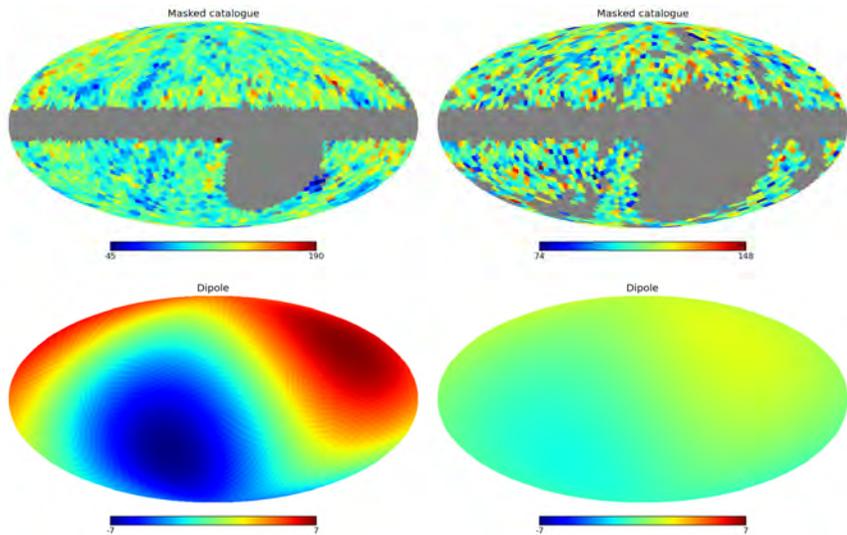
## Kosmische Prinzipien, Geschwindigkeiten und Radiowellen

Die Kosmologie beschäftigt sich mit der Entstehung und Entwicklung des Universums. In Bielefeld untersuchen wir, woraus das Universum besteht und wie kosmische Strukturen, z.B. Galaxien, entstehen. Eine wichtige Rolle spielt das sogenannte kosmologische Prinzip. Es besagt, dass das Universum für alle Beobachter, egal wer sie sind, wo sie leben und wohin sie schauen, gleich ist. Zum Beispiel könnte eine Beobachterin auf einer anderen Welt zwei Monde um ihren Heimatplaneten kreisen sehen, aber die Wahrscheinlichkeit, in einem erdartigen System zu leben, ist nach dem kosmologischen Prinzip überall gleich, das heißt, sie sollte die gleichen statistischen Eigenschaften des Universums beobachten wie wir.

In Bielefeld versuchen wir durch den Vergleich von theoretischen Vorhersagen und Beobachtungen, das kosmologische Prinzip auf Herz und Nieren zu prüfen. Dazu untersuchen wir den kosmischen Mikrowellenhintergrund, ein Relikt des Urknalls, und beobachten den Himmel mit Hilfe von Radiowellen. Dies erlaubt uns die größten Strukturen im Universum aufzuspüren. Eine Vorhersage des kosmologischen Prinzips ist, dass das Universum in die Richtung, in die sich das Sonnensystem bewegt, wärmer erscheint, als in die entgegengesetzte Richtung. Dies wird durch Effekte der Relativitätstheorie (Doppler-Effekt und Aberration) verursacht. In der kosmischen Mikrowellenstrahlung sehen wir einen sogenannten Dipol, aus dem wir schließen, dass das Sonnensystem mit einer Geschwindigkeit von 300 km/s durch das All rast.

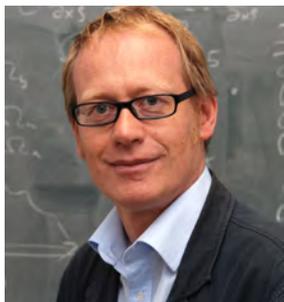
Die gleichen Effekte führen auch zu einer größeren Zahl von beobachteten Radiogalaxien in die Richtung der Bewegung des Sonnensystems. Die Analyse von alten Daten zeigt, dass wir tatsächlich die gleiche Richtung im Radiohimmel finden, die aus den Radiodaten gewonnene Geschwindigkeit ist aber mit über 1200 km/s deutlich größer. Dieser Unterschied könnte auf eine Verletzung des kosmologischen Prinzips hinweisen, oder auf supergroße, bislang unentdeckte Strukturen im Universum. Es könnten aber auch die Beobachtungen noch unentdeckte Fehler aufweisen. Daher arbeiten wir an einer riesigen Himmelsdurchmusterung mit dem Radioteleskop LOFAR. Der erste Katalog, der vor kurzem veröffentlicht wurde, kartiert rund 400 Quadratgrad des Nordhimmels und enthält in etwa 350.000 Radioquellen. In den nächsten Jahren soll mit LOFAR der gesamte Nordhimmel kartiert werden, und wir werden dann rund 16 Millionen Radiogalaxien gefunden haben (derzeit kennen wir rund eine Million). Wir erhoffen uns durch diesen Katalog, den wir LoTSS (Lofar Two-metre Sky Survey) nennen, eine deutlich genauere Messung des Radiodipols, womit wir die Gültigkeit des kosmologischen Prinzips genauer prüfen können.

Die Arbeitsgruppe Kosmologie und Astroteilchenphysik ist in das NRW-Profilbildungsprojekt „Big Bang to Big Data“ und in den Sonderforschungsbereich „Strong-interaction matter under extreme conditions“ Bielefeld-Darmstadt-Frankfurt a.M. eingebunden. Wir koordinieren ein Verbundforschungsprojekt des BMBF zum MeerKAT-Teleskop in Südafrika, sind am International LOFAR Teleskop beteiligt und kooperieren eng mit dem Max-Planck-Institut für Radioastronomie in Bonn.



Oben: Diese Karten zeigen den gesamten Himmel. Die Farbe kodiert die Zahl der Radioquellen pro Pixel in zwei Katalogen von Radiogalaxien bei 150 MHz (TGSS, links) und 1,4 GHz (NVSS, rechts). Die Ebene der Milchstraße und unbeobachtete Bereiche sind maskiert (grau). Unten: Dipol der Anzahl der Radioquellen: Die Richtungen der Dipole stimmen überein, die Stärke nicht. Dies könnte auf bislang unentdeckte supergroße Strukturen im Universum hinweisen.

[Siewert & Schwarz, 2018]



**Prof. Dr. Dominik Schwarz** hat Technische Physik an der TU Wien studiert und dort auch promoviert. Im Anschluss war er u.a. an der ETH-Zürich, der J.W.-Goethe-Universität Frankfurt a.M. und am Europäischen Kernforschungszentrum CERN in Genf tätig. Seit 2004 forscht er in Bielefeld. Seine Forschung befasst sich mit Themen der Astrophysik und Kosmologie und verknüpft theoretische Fragestellungen mit der Analyse radioastronomischer Beobachtungen mittels Methoden der modernen Datenwissenschaft.

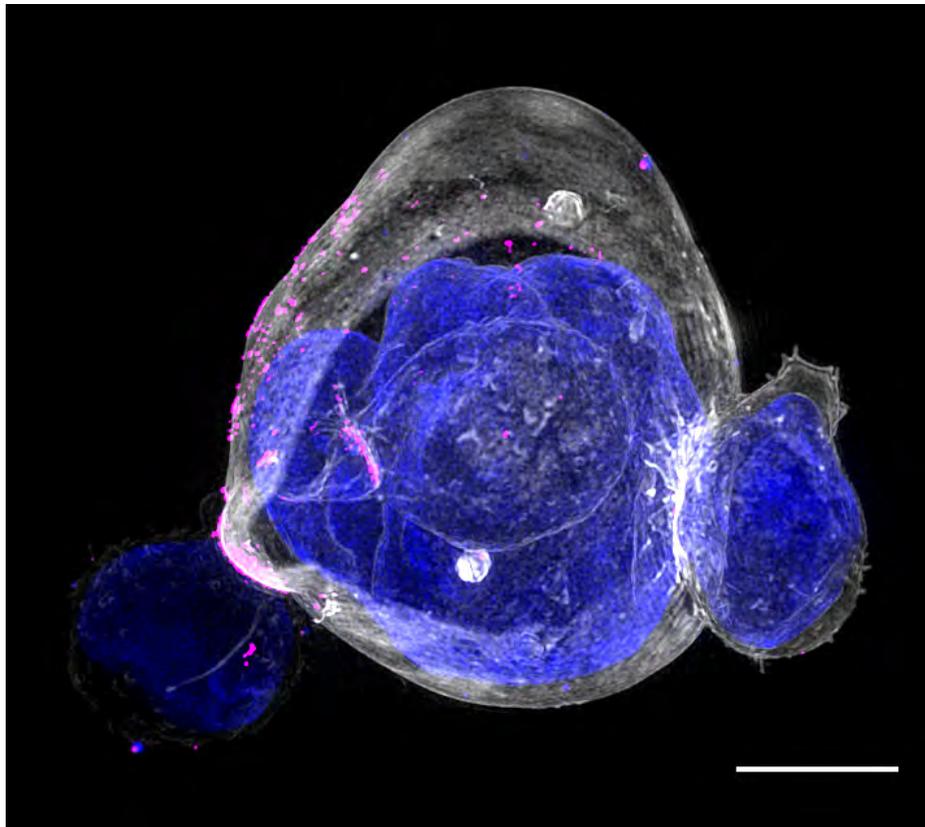
## Schneller, präziser, empfindlicher: mit Optik einzelne Viren sichtbar machen

Bei jedem Besuch beim Arzt begegnet man einer großen Zahl von Geräten, die von Physikern erfunden und entwickelt wurden, z.B. Blutdruckmessgeräten, Waagen, Thermometern, Ultraschallgeräten oder optischen Mikroskopen. Mikroskope sind jedoch in ihrer Auflösung durch die Wellenlänge eingeschränkt, weshalb wir mit optischen Mikroskopen bestenfalls Strukturen mit einer Größe von  $\frac{1}{4}$  Mikrometer unterscheiden können. Die meisten Viren sind jedoch viel kleiner. Daher kennen wir heute die Form und das Aussehen von Viren nur, da sie mit der extrem hohen Auflösung von Elektronenmikroskopen sichtbar gemacht werden können. Die Diagnose einer viralen Infektion könnte also relativ einfach sein, wenn man nur ein hochauflösendes Bild eines Virus „sehen“ könnte. Da dies jedoch aufgrund der Kosten und des Zeitaufwands in Arztpraxen nicht möglich ist, dauert es auch heute immer noch recht lange, bis man weiß, welches Virus oder Bakterium einen krank macht und bis eine gezielte Behandlung stattfinden kann.

In der Arbeitsgruppe „Biomolekulare Photonik“ werden neueste photonische Verfahren entwickelt, um die Auflösung der optischen Mikroskopie in den Bereich der Elektronenmikroskopie zu bringen und damit „alltagstauglich“ zu machen. Hauptmerkmale dabei sind die Erhöhung der Geschwindigkeit, mit der kleinste Objekte mit höchster Auflösung und höchster Empfindlichkeit abgebildet und verfolgt werden können. Dabei ist es uns bereits gelungen, z.B. Nanoporen in Zellen der Innenwand von Arterien oder Viren, wie das Virus HIV-1 in menschlichen Immunzellen (siehe Bild), mit bis zu 63 hochaufgelösten Bildern pro Sekunde sichtbar zu machen. Einzigartig in der Bielefelder Arbeitsgruppe ist, dass sie mit modernsten Hardware- und Software-Verfahren, z.B. durch konsequentes Ausnutzen von Parallelrechner-Architekturen (Graphikkarten), die Rekonstruktion der Bilddaten in Echtzeit durchführen kann. Sequentiell dauert es mehrere Minuten, bis ein hochauflösendes Bild dargestellt werden kann. Unsere Gruppe arbeitet eng mit Biomedizinern und Physikern in der gesamten Welt zusammen (Europäisches Institut für molekulare Bildgebung EIMI in Münster, Infektionsmedizin am Mt. Sinai Institut für Medizin in New York, medizinische Biologie in Tromsø, der Hong-Kong-Universität, oder dem geriatrischen Cera Institut in Sydney, Australien).



**Prof. Dr. Thomas Huser** hat Physik an der Universität Basel (Schweiz) studiert und in experimenteller Festkörperphysik promoviert. Er war nach der Promotion für 13 Jahre an verschiedenen Stellen in Kalifornien tätig, wo er sich auf den Bereich Biophotonik spezialisierte. Derzeit forscht er an der Entwicklung neuer bildgebender optischer Methoden mit denen auf möglichst schonende Weise die Prozesse des Lebens in einzelnen Zellen untersucht werden können.



Hochauflösendes Fluoreszenzmikroskopie-Bild einer mit HIV-1 infizierten menschlichen T-Zelle (grau, Bildmitte), die HIV-1 Viren (rosa) an primäre T-Zellen überträgt (kleine Zellen links und rechts). Die Zellkerne der Zellen sind blau angefärbt. Die Zelle am linken unteren Bildrand ist bereits von der Zelle in der Mitte infiziert worden. Insbesondere am Kontaktbereich der beiden Zellen erkennt man eine intensive Anlagerung von neuen HIV-1 Viren. Der weiße Strich am rechten unteren Bildrand markiert eine Breite von 5  $\mu\text{m}$ .

## Verknüpfungen zwischen makroskopischer und mikroskopischer Welt

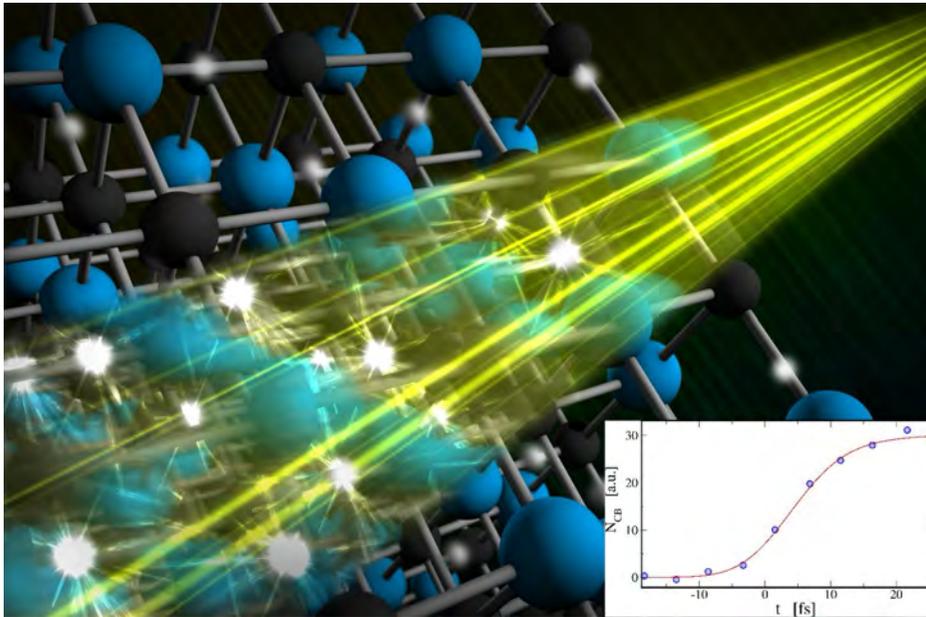
Die grundlegenden Gesetze der Physik sind in der Sprache der Quantenmechanik formuliert und beschreiben das Verhalten von mikroskopisch kleinen Teilchen, wie z.B. Atomen und Molekülen oder Elektronen und Kernen. Vom Menschen im Alltag direkt wahrnehmbar sind dagegen nur makroskopische Strukturen und Vorgänge, bei denen eine riesige Anzahl einzelner Atome oder Moleküle beteiligt ist. Viele dieser ganz alltäglichen Erfahrungstatsachen lassen sich aber nicht ohne Weiteres auf die ihnen zugrunde liegenden mikroskopischen Grundgesetze zurückführen oder scheinen ihnen auf den ersten Blick sogar zu widersprechen.

Stellen wir uns z.B. ein idealisiertes Billardspiel vor, ohne jegliche Energieverluste bei Stößen der Kugeln untereinander oder mit den Banden und ohne jegliche Abbremsung durch den Billardt Teppich oder den Luftwiderstand. Einmal angestoßen, kämen die Kugeln dann nie mehr zur Ruhe und wenn man ihre Bewegung filmen würde, dann wäre es für einen Zuschauer prinzipiell unmöglich zu merken, wenn ihm dieser Film heimlich rückwärts vorgeführt würde. Genau diese Zeitumkehrsymmetrie gilt auch für die mikroskopischen Grundgesetze der Quantenphysik.<sup>1</sup> Dagegen sind die meisten vom Menschen direkt wahrnehmbaren (makroskopischen) Vorgänge scheinbar offensichtlich unumkehrbar: Das Zerbrechen einer Tasse, die Bewegungen der Kugeln bei einem realen Billardspiel usw.. Wie können sich solche irreversiblen Vorgänge aus ursprünglich streng reversiblen Grundgesetzen ergeben?

Für unsere zweite Überlegung kann wieder ein Billardspiel als Ausgangspunkt dienen, bei dem es darum geht, in einer schwierigen Situation mittels mehrerer Stöße mit den Banden und mit anderen Kugeln zum Erfolg zu kommen: Schon die kleinste Ungenauigkeit beim Anstoßen der ersten Kugel führt dazu, dass die letzte Kugel ihr Ziel weit verfehlt. Eine solches sehr schnelles (exponentielles) Anwachsen einer kleinen anfänglichen Abweichung wird als chaotische Dynamik oder kurz als Chaos bezeichnet. Auch eine mikroskopische Dynamik, bei der hinreichend viele Teilchen beteiligt sind, ist praktisch immer chaotisch. Zwei Vorgänge mit minimal unterschiedlichen Anfangsbedingungen verlieren daher nach kurzer Zeit praktisch jegliche Ähnlichkeit zueinander. Bei der Wiederholung eines realen Experiments sind solche anfänglichen Unterschiede aber unvermeidlich, da man niemals den Anfangszustand jedes einzelnen Teilchens hinreichend genau reproduzieren kann. Wieso sind dann reale Experimente überhaupt wiederholbar?

Solche fundamentalen Fragen sind bis heute nicht wirklich zufriedenstellend beantwortet. Sie sind eines der zentralen Forschungsthemen unserer Arbeitsgruppe. Innerhalb dieses allgemeinen Kontexts haben wir z.B. unlängst ein quanten-mechanisches „Typikalitäts-Konzept“ entwickelt, mit dem sich die gesamte zeitliche Entwicklung für eine große Klasse makroskopischer Vorgänge ohne spezielle Annahmen quantitativ beschreiben lässt. Ein besonderes Merkmal dieses Forschungsgebietes ist es also, dass es von sehr grundlegenden theoretischen Fragen bis hin zu ganz konkreten experimentellen Beobachtungen und alltäglichen Erfahrungen reicht.

<sup>1</sup>Streng genommen gibt es winzige Abweichungen im Rahmen der sog. schwachen Wechselwirkung, die aber für makroskopische Vorgänge unmessbar klein sind.



Künstlerische Darstellung der atomaren Struktur einer dünnen Kohlenstoffschicht (SLAC National Accelerator Laboratory, Stanford, USA), die von einem Laserpuls schlagartig von Raumtemperatur auf ca. 2000 Grad Celsius erhitzt wird. Die kleine Graphik zeigt als Kurve die Voraussage unserer Theorie, wie das System im Verlauf der Zeit (fs=Femtosekunden) ins Gleichgewicht zurückfindet. Dabei wird mit den experimentellen Datenpunkten eine sehr gute Übereinstimmung erzielt.



**Prof. Dr. Peter Reimann** hat an der Universität Basel studiert und in theoretischer Physik promoviert. Die anschließenden 9 Jahre war er u. a. an der Universität Hasselt (Belgien), an der Eötvös-Loránd-Universität Budapest und an der Universität Augsburg tätig. Seit 2002 ist er Professor in Bielefeld, wo er sich insbesondere mit Transportvorgängen fern vom thermodynamischen Gleichgewicht, biophysikalischen Fragestellungen und den Grundlagen der statistischen Physik beschäftigt.

## Beispiele für aktuelle Abschlussarbeiten



**Sylvia Steinecker, Rasterkraftmikroskopie und Kraftspektroskopie an Proteoglykanen der Seegurke *Isostichopus badionotus*, Bachelorarbeit:** Seegurken können ihren Körper als Schutz gegen Fressfeinde aufgrund ihres besonderen Bindegewebes schnell in einen harten Zustand versetzen. Proteoglykane sind spezielle Biomoleküle, die dabei eine große Rolle spielen. Ich habe unter anderem Kraftwechselwirkungen zwischen diesen Biomolekülen mit Hilfe der dynamischen Kraftspektroskopie am Rasterkraftmikroskop aufgenommen.

**Philipp Krause, Stability of black-widow pulsars, Bachelorarbeit:** Black-Widow-Pulsare sind ein interessantes Gebiet der Radioastronomie! Diese Doppelsterne, in denen der Pulsar seinen Begleiter quasi „auffrisst“, gelten als instabil. Ich habe die orbitalen Eigenschaften von zwei Black Widows untersucht und festgestellt, dass nicht jeder Black-Widow-Pulsar so chaotisch ist wie angenommen.



**Patricia Päßler, CP-Verletzung aktiver Neutrinos, Bachelorarbeit:** Es gibt mehrere „Sorten“ von Neutrinos, welche sich ineinander umwandeln können. Findet diese Umwandlung für Antineutrinos analog statt oder liegt eine Asymmetrie vor? Ich habe mich neben den theoretischen Grundlagen dieser Fragestellung auch mit der Möglichkeit einer experimentellen Untersuchung beschäftigt. Eine spannende Frage ist dabei, ob die vermutete Asymmetrie die Materie-Antimaterie-Asymmetrie im Universum erklären kann.

**Patric Hölscher, Gravitational Waves in Conformal Gravity, Promotion:** Die Allgemeine Relativitätstheorie als Standardtheorie der Gravitation hat Probleme, Gravitationseffekte in extremen Situationen zu beschreiben. Daher habe ich mich in meiner Doktorarbeit mit einer alternativen Gravitationstheorie, genannt „Conformal Gravity“, beschäftigt. Diese Theorie habe ich anhand von Gravitationswellen, die in den letzten Jahren gemessen werden konnten, getestet und fand einen Parameterbereich der Theorie, der im Hinblick auf eine konsistente Quantengravitationstheorie sehr viel-versprechend ist.



**Riko Korzetz, Entwicklung eines Aufbaus zur Messung der Ionendiffusion durch Kohlenstoff-Nanomembranen, Masterarbeit:** Um der drohenden Trinkwasserknappheit infolge des Klimawandels entgegenzuwirken, ist die Erschließung zusätzlicher Frischwasserquellen unabdingbar. Eine Option stellt die Aufbereitung von Meerwasser mittels nano-strukturierter Membranen dar, welche Wasser und Meersalz energieeffizient voneinander trennen können. Meine Masterarbeit diente der Erforschung dieses Trennverhaltens am Beispiel von Kohlenstoff-Nanomembranen.

**Katharina Till, Single-molecule tracking of DNA repair proteins and qualitative characterisation of laminar flow cells, Masterarbeit:** DNA-Reparatur-Proteine entdecken und beheben Veränderungen in der DNA-Struktur, damit unsere Zellen gesund bleiben und Krankheiten wie Krebs möglichst nicht entstehen können. In meiner Arbeit konnte ich mittels Fluoreszenzmikroskopie analysieren, wie sich einzelne Proteine an einem DNA-Strang entlang bewegen. Dadurch lernen wir, wie die DNA-Reparatur-Proteine arbeiten und die Suche nach Veränderungen in der DNA-Struktur funktioniert.



**Christian Eidecker, Theoretische Untersuchungen zur DNA-Sequenzierung mittels Feldeffekttransistoren, Masterarbeit:** Ein wichtiger Baustein künftiger medizinischer Forschung ist die schnelle und günstige DNA-Sequenzierung für Patienten. Eine Möglichkeit hierzu liegt in der Analyse der Stromstärke, die durch die DNA in leitfähigen Nanomaterialien sequenz-abhängig modifiziert wird. In meiner Masterarbeit habe ich ein Modell zur Simulation der Ströme in einem bestimmten System entwickelt.

**Ann-Christin Sprenger, Magnetokalorischer Effekt am Spin-1/2-System, Bachelorarbeit Lehramt:** Thermodynamik ist die Grundlage aller Wärmekraftmaschinen, d.h. sowohl von Kraftwerken als auch von Kühlschränken. Für die Diskussion von Umweltfragen in der Schule ist dieses Hintergrundwissen unerlässlich. In meiner Arbeit habe ich die fundamentalen Relationen am Beispiel des magnetokalorischen Effektes untersucht, mit dessen Hilfe man z.B. Substanzen auf sehr tiefe Temperaturen unterhalb eines Kelvins abkühlen kann.



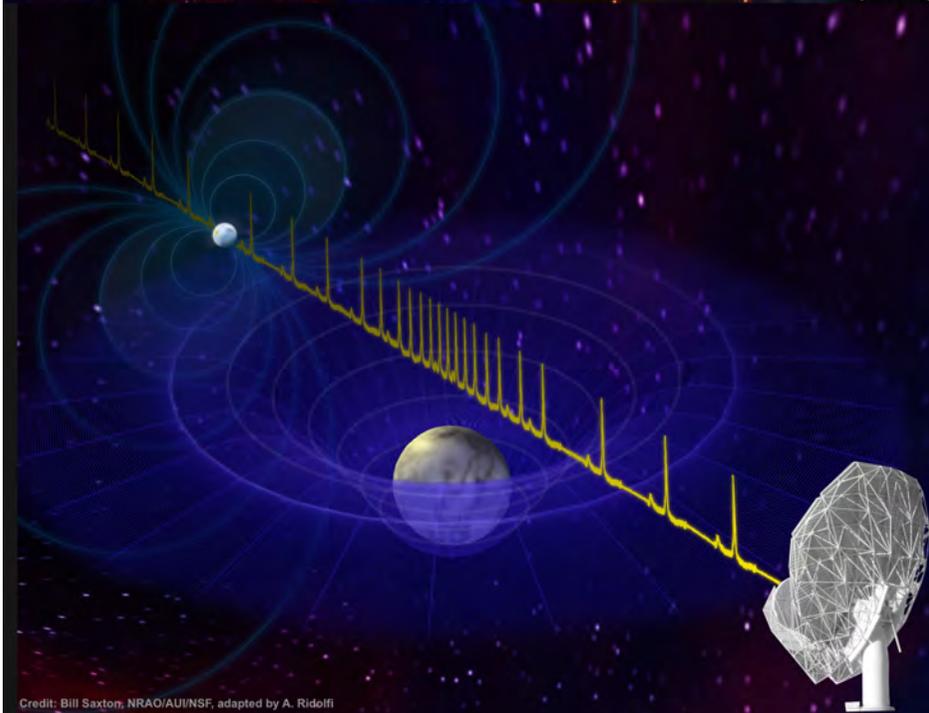
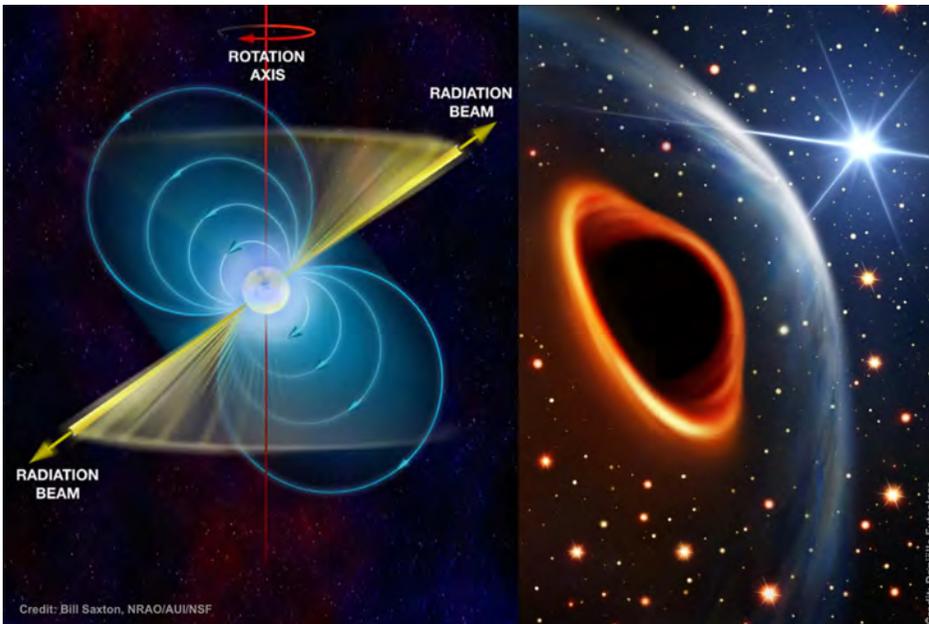
## Pulsars: space spinning-tops and super-precise cosmic clocks

Among the most extreme objects that we can find in the Universe, there are “pulsars”. These particular objects are the result of the death of a massive star (8-15 times the mass of our Sun), which, once it has run out of the “fuel” that was keeping it in equilibrium against its own gravity, collapses on itself in a powerful explosion, the so-called “supernova”. In such a catastrophic event, what is left is a tiny sphere (around 10 km in radius, more or less the size of a city like Bielefeld!) made of neutrons, spinning very fast and emitting two highly collimated beams of radiation: a pulsar is born. When one of the beam points towards the Earth, we receive one pulse of radiation for every rotation of the pulsar, exactly like a lighthouse. Given that they also rotate in a very stable fashion, we can consider pulsars as extremely precise natural clocks, where their pulses of radiation mark their “ticking”. Thanks to this property and by “listening” to their “rhythm”, pulsars can literally be used as probes to study a wealth of phenomena in the Universe, such as plasma physics, stellar evolution, gravitational waves, general relativity and much more.

As they emit primarily in the radio band of the electromagnetic spectrum (the same band that we use for our cellphones, Wi-Fi and telecommunication systems), in order to leverage their full scientific potential, we must observe pulsars with extremely sensitive radio telescopes, which are often built in remote areas. In recent years, the technological development, in particular with the advent of high-performance-computing and machine learning techniques, is revolutionizing the field, enabling new and unprecedented ways in which pulsars are observed and exploited for groundbreaking scientific applications.



**Jun.-Prof. Dr. Alessandro Ridolfi** obtained his degree in physics at the University of Rome “La Sapienza” in 2012. He then moved to Germany, where he received a Ph.D. in Astrophysics at the Max-Planck-Institut für Radio-astronomie and University of Bonn, with a thesis on the timing of pulsars in globular clusters. From 2018 to 2024 he worked as a post-doctoral researcher at the INAF-Astronomical Observatory of Cagliari mainly on the search and timing of globular cluster pulsars with the South African “MeerKAT” radio telescope. In October 2024, Alessandro joined Bielefeld University as a Junior professor in Astrophysics.



Credit: Bill Saxton, NRAO/AUI/NSF

Credit: Danielle Fugère

Credit: Bill Saxton, NRAO/AUI/NSF, adapted by A. Ridolfi

## Quanten-Chaos in der perfekten Flüssigkeit

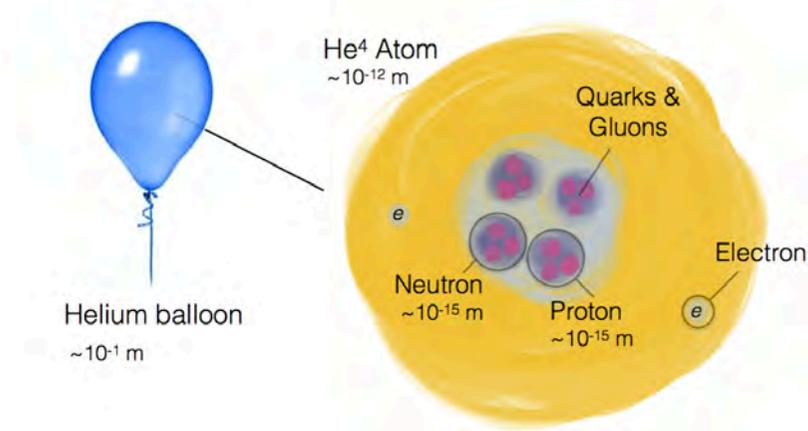
Wie bewegen sich die fundamentalen Bestandteile von Materie aus der wir alle bestehen? Diese Fragestellung wird derzeit in Experimenten am Large Hadron Collider (LHC) untersucht, in denen schwere Atomkerne mit bis zu 99,9999999 % der Lichtgeschwindigkeit miteinander kollidieren. Dadurch werden für einen kurzen Zeitraum extreme Bedingungen – analog zu denen im frühen Universum – hergestellt, bei denen die elementarsten Bausteine von Materie, sogenannte Quarks und Gluonen, erstmals in nahezu freier Form als Quark-Gluon-Plasma auftreten. Erstaunlicherweise verhält sich das Quark-Gluon-Plasma als eine geradezu ideale Flüssigkeit, was sich anhand verschiedener experimenteller Messgrößen manifestiert. Da sich diese Phänomene allerdings nur indirekt beobachten lassen, stellt sich weiterhin die Frage, was tatsächlich auf mikroskopischer Ebene geschieht.

Die mikroskopische Dynamik wird durch die Quantenfeldtheorie der starken Wechselwirkung, die Quanten-Chromo-Dynamik (QCD) beschrieben. Diese sagt unter anderem voraus, wie die elementaren Freiheitsgrade, also Quarks & Gluonen, miteinander wechselwirken um z.B. unter normalen Bedingungen Protonen und Neutronen zu formen, oder unter extremen Bedingungen zu einem Quark-Gluon-Plasma zu verschmelzen. Durch die enorme Komplexität der Theorie gestaltet es sich allerdings nach wie vor schwierig, theoretische Vorhersagen z.B. für Schwerionexperimente direkt aus der QCD abzuleiten.

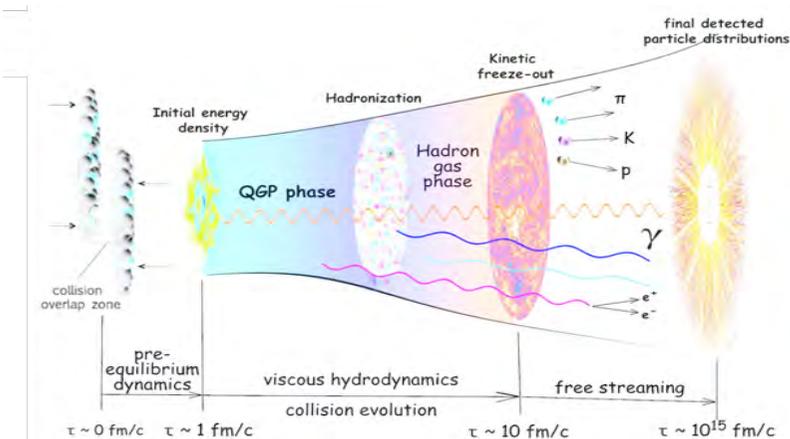
Die Arbeitsgruppe Nicht-Gleichgewichts-Quantenfeldtheorie & Hoch-Energie-QCD beschäftigt sich mit der Entwicklung theoretischer Methoden, um die Dynamik komplexer Systeme, wie z.B. einer Schwerionenkollision aus ersten Prinzipien zu beschreiben. Neben analytischen Herleitungen mit Zettel und Stift, kommen hierbei auch verstärkt mikroskopische Simulationen auf weltweit führenden Supercomputern zum Einsatz. Dadurch ist es uns z.B. erstmalig gelungen, ein theoretisches Verständnis der chaotischen Dynamik unmittelbar nach der Kollision zu entwickeln. Diese Forschungsaktivitäten sind in den Sonderforschungsbereich *Strong-Interaction Matter under Extreme Conditions* eingebunden, in dem gemeinsam mit Kollegen an den Universitäten Bielefeld, Darmstadt und Frankfurt a.M. ein breites Spektrum von Eigenschaften stark wechselwirkender Materie untersucht wird.



**Prof. Dr. Sören Schlichting** hat Physik an der Technischen Universität Darmstadt und der Michigan State University studiert und anschließend an der Universität Heidelberg in theoretischer Physik promoviert. Nach Forschungsaufenthalten am Brookhaven National Lab und der University of Washington ist er seit September 2018 in Bielefeld tätig. Er beschäftigt sich mit der Nicht-Gleichgewichts-Dynamik von Quantenfeldern und hoch-energetischen Prozessen in der QCD.



Schematische Darstellung des Aufbaus von Materie am Beispiel eines Helium-Ballons.



Durch die Kollisionen schwerer Atomkerne werden für einen Zeitraum von ca.  $10 \text{ fm}/c \approx 3 \times 10^{-23} \text{ s}$  Bedingungen erzeugt, bei denen sich die Dynamik elementarer Bestandteile von Materie studieren lässt. Ein Schwerpunkt der Bielefelder Arbeitsgruppe liegt in der theoretischen Beschreibung der mikroskopischen Dynamik, insbesondere zu sehr frühen Zeiten ("pre-equilibrium dynamics").

## Your next generation fridge might be magnetic

Your refrigerator at home uses a cycle where a fluid is periodically compressed and expanded. Such a thermodynamical cycle is able to transport heat (energy) from the inside to the outside and thereby keeps your goods in the fridge cold. This would not work on a mission to Mars! The reason is that the fluid assembles at the bottom of your fridge thanks to gravity. So how do you keep your Coke cold on a long journey to Mars?

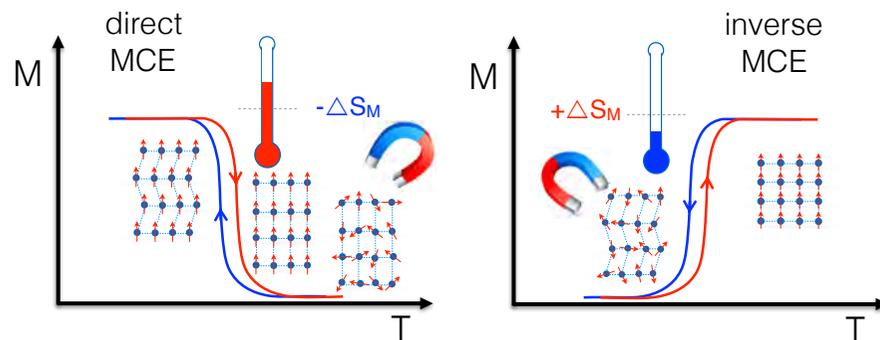
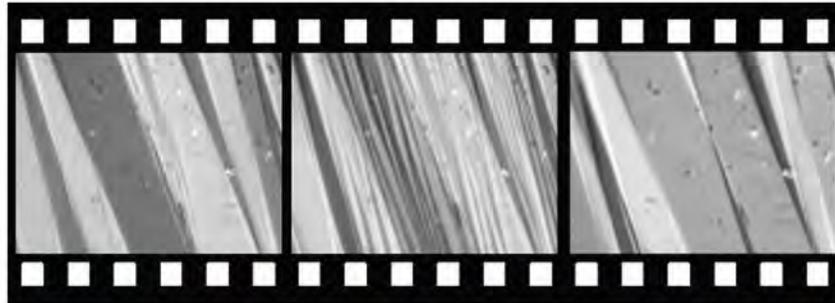
The solution is given by thermodynamical cycles that work with alternative media, for instance magnetic materials. A magnetic material shows a funny effect: when you expose the magnetic material to a magnetic field or you change this field, then the magnetic material changes its temperature. This is called the magnetocaloric effect. It was discovered about a hundred years ago. So why couldn't you buy magnetic fridges yet?

Well, magnetic refrigerators exist already for a long time, but they are mainly used to reach sub-Kelvin temperatures in physics laboratories. The production of fridges for everyday use – for instance in your kitchen – needs the development of new materials. That is what our group works on. We design new magnetic materials and test them to characterize and improve their properties in order to build more efficient and thus environmentally friendlier refrigerators.

And you may be using waste heat to generate electricity to run it. Now, while a change in magnetic field induces a change in temperature in these materials, the reverse is true: changing their temperature will change the magnetic field they produce. Place a copper coil around the material while you do that, and you generate an electric current!

That is the principle of an electric generator. The difference here is that instead of using mechanical work to move a magnet, you use heat to change the field the magnet produces. By adjusting the properties of these materials, we can use almost any source of heat, including waste heat which currently goes unused since it is not hot enough to produce steam.

Even if you won't go to Mars, your next fridge might be magnetic and your energy may come from waste heat (with materials from our lab)!



Magnetic material (top) that shows a temperature change when exposed to an external magnetic field (bottom).

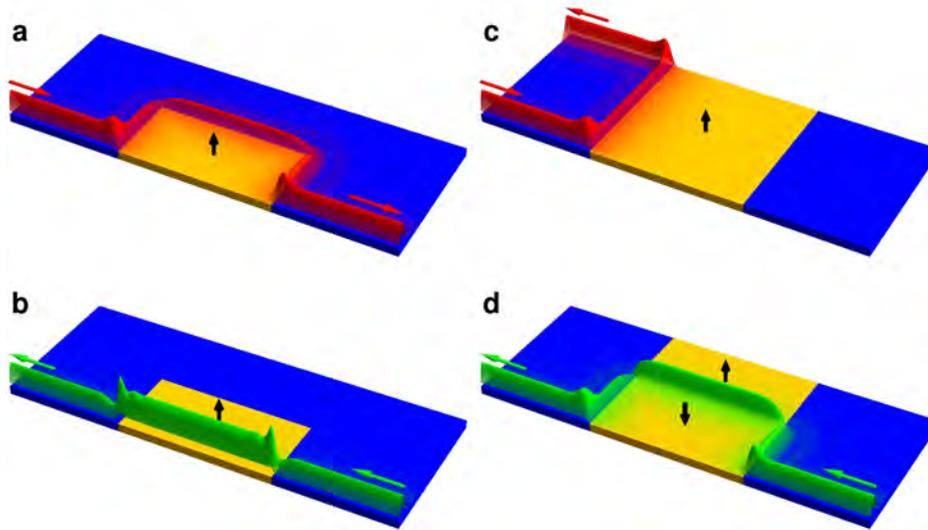


**Jun.-Prof. Dr. Luana Caron** studied physics at the State University of Campinas (Brazil), where she also did her Ph.D.. She then worked as a postdoctoral fellow at Delft University of Technology, Uppsala University and the Max Planck Institute for Chemical Physics of Solids. Her major topic is magnetocaloric materials.

## Leitfähige Isolatoren

In der Festkörperphysik wurden und werden immer wieder neue Materialien mit besonderen Eigenschaften entdeckt, die man technisch nutzbar machen kann. Ein bekanntes Beispiel sind die sogenannten Halbleiter, ohne die unsere heutige Computertechnologie nicht denkbar wäre. Ein anderes Beispiel sind Supraleiter, die den Strom vollkommen verlustfrei leiten können, wenn man sie unter eine bestimmte Temperatur abkühlt. In unserer Arbeitsgruppe untersuchen wir sogenannte "topologische Isolatoren". Diese Materialien wurden vor ca. 10 Jahren entdeckt und besitzen die Besonderheit, dass sie in ihrem Inneren isolierend sind, also keinen Strom leiten können, während sie sich an der Oberfläche metallisch verhalten. Schickt man also einen Strom durch einen topologischen Isolator, so fließt dieser an der Oberfläche des Materials entlang.

Eine weitere Besonderheit der topologischen Isolatoren besteht darin, dass die Bewegungsrichtung der Elektronen an der Oberfläche mit ihrem magnetischen Moment gekoppelt ist. Diese Besonderheit erlaubt es, die Ströme mit Hilfe von Magnetismus zu steuern und zu lenken. In unserer Theoriegruppe untersuchen wir, wie man daraus neuartige Konzepte für elektronische Bauelemente entwickeln kann. So kann man Bauelemente konstruieren, die reine Spinströme generieren, lenken und detektieren können. Wir untersuchen auch, ob sich möglicherweise neuartige Speicher mit den topologischen Isolatoren realisieren lassen.



Schematische Darstellung von Topologischen Isolatoren (blau), die magnetisch dotiert wurden (gelb). Mit Hilfe der magnetischen Bereiche ist es möglich, Elektronenströme mit unterschiedlicher Spinausrichtung (rot und grün) gezielt zu lenken.



**Prof. Dr. Thomas Dahm** hat an der Universität Hamburg Physik studiert und promoviert. Nach Forschungsaufenthalten in den USA, Japan und England ist er seit 2011 Professor in Bielefeld. In seiner Forschung befasst er sich mit ungewöhnlichen Zuständen der Materie, wie Supraleitern, Bose-Einstein-Kondensaten und topologischen Isolatoren.

## Experimente mit einzelnen Molekülen – Nanobiophysik

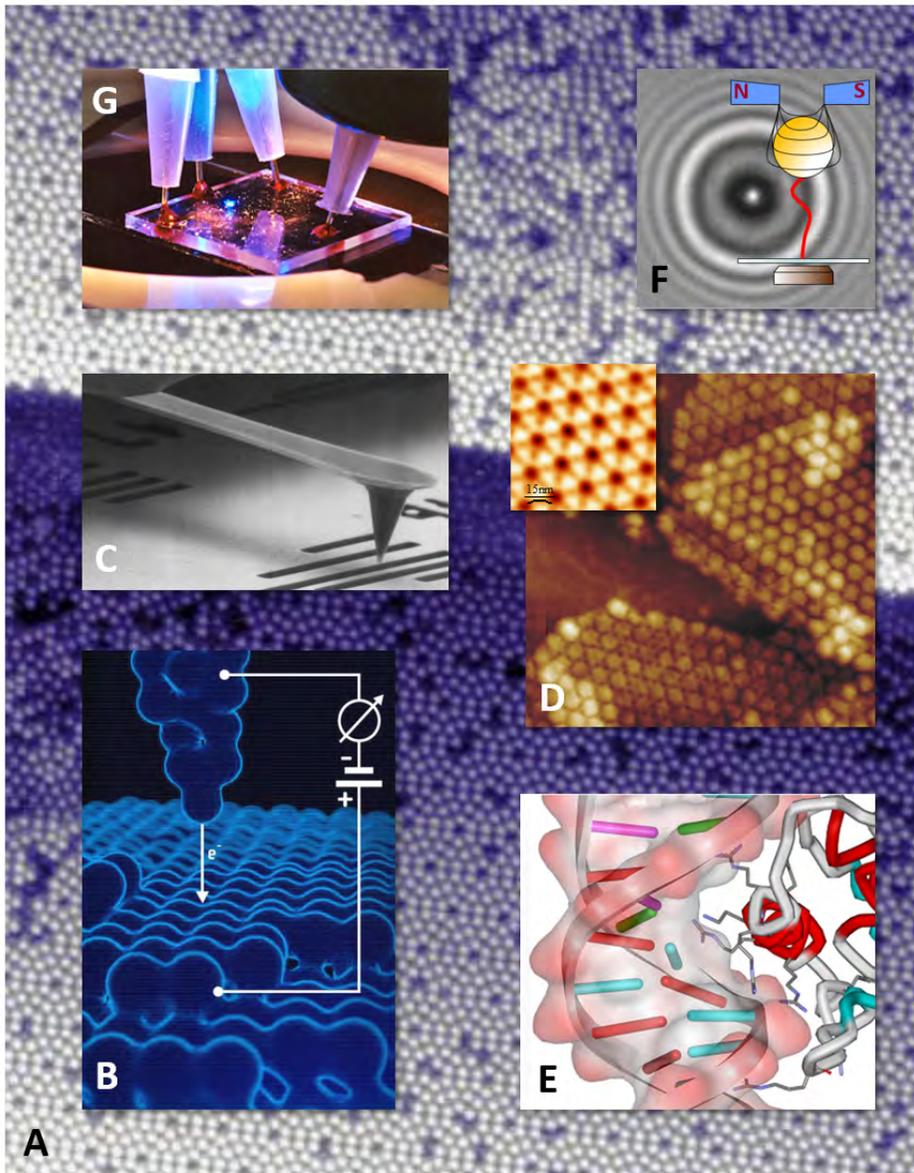
Mechanik und Biomedizin – wie passt das zusammen? Und dann noch mechanische Experimente mit einem einzelnen Molekül? Gerade in der Biophysik kennen wir viele Beispiele, wo dieses Wechselspiel erfolgreich von der Natur umgesetzt worden ist. Im Herz, einem Hohlmuskel, wird durch mechanische Kontraktion ein effizientes und ermüdungsfreies Pumpen von Blut sichergestellt. Aber auch die mechanische Stabilität und Festigkeit der einzelnen Zelle wird durch den Aufbau des sogenannten Zytoskeletts – einem Proteingerüst – ermöglicht. Letzteres ist von großer Bedeutung, wenn wie oben dargestellt, Zellen mechanische Beanspruchungen erfahren, oder diese sich dynamisch durch den Körper bewegen, wie beispielsweise bei der Tumor-Metastasierung. Neben der Erforschung der grundlegenden molekularen Mechanismen sind natürlich besonders die von Interesse, wo beispielsweise durch eine genetische Mutation eine Erkrankung vorliegt.

In der Biophysik erforschen wir nun mittels höchstempfindlicher mikroskopischer Methoden wie die Moleküle aussehen (Struktur), welche mechanischen Eigenschaften sie besitzen (Elastizität) und wie sie miteinander kommunizieren (Funktion). Die erhaltenen Resultate können mit Strukturmodellen interpretiert und die Bindung mittels mathematischer Modelle erklärt werden. Dies ergibt ein präzises Bild für die in einer Zelle ablaufenden Prozesse und erlaubt tiefgehende Einsichten darüber, was zum Beispiel bei der Mutation falsch läuft und eine Krankheit verursacht.

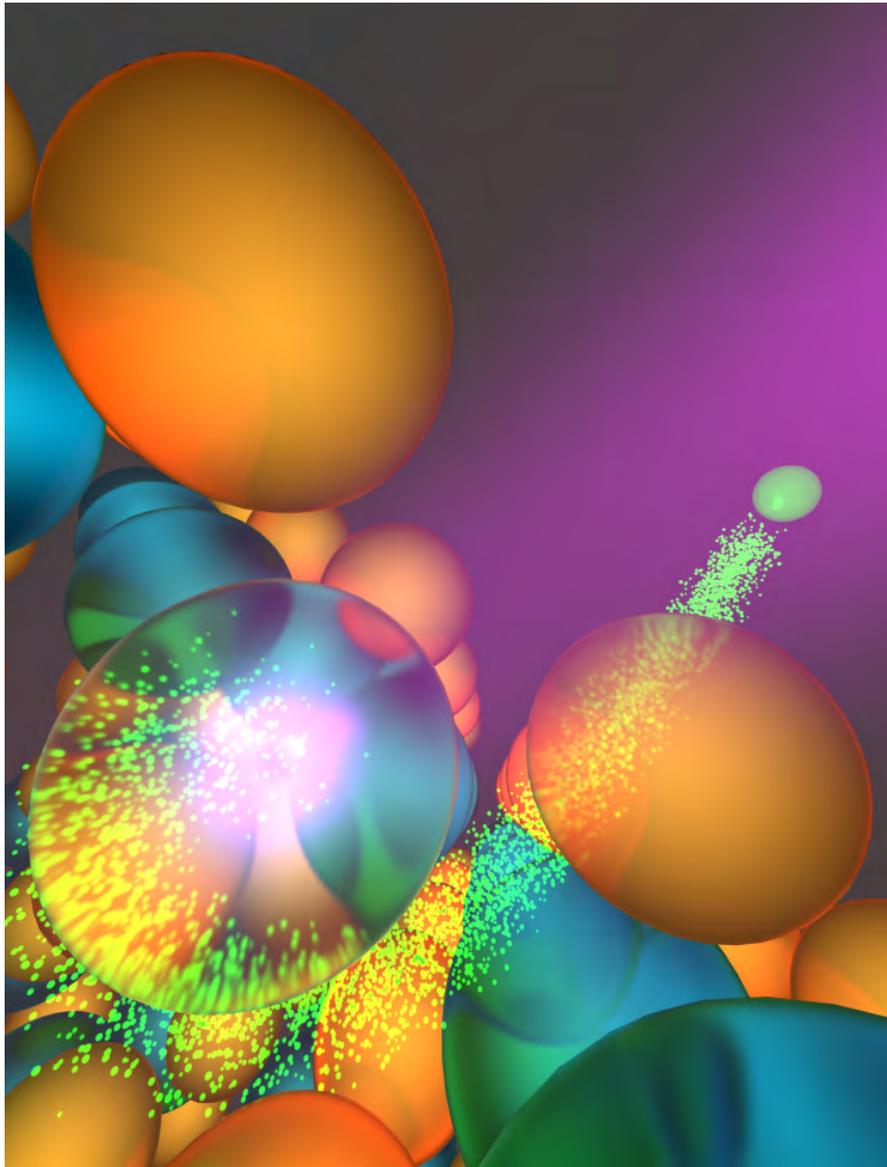
Solche abbildenden und kraftspektroskopischen Einzelmolekülexperimente können mittels der Rasterkraftmikroskopie und optischer oder magnetischer Pinzetten durchgeführt werden. Diese Methoden entwickeln wir in unserer Arbeitsgruppe stetig weiter, was neben den biophysikalischen Einsichten viel physikalisch-technisches Knowhow (Hardware und Software) voraussetzt. Daneben untersuchen wir aber auch, wie sich Makromoleküle durch mikro- und nanostrukturierte Kanalstrukturen bewegen (z.B. molekulare Dynamik in Nanoporen). Damit entwickeln wir neue und höchstempfindliche Methoden für die Analytik und Diagnostik.



**Prof. Dr. Dario Anselmetti** hat Physik an der Universität Basel studiert, wo er im Jahr 1990 auf dem Gebiet der Nanowissenschaften promovierte. Nach einem Forschungsaufenthalt am IBM-Forschungslabor in Rüschlikon und einem mehrjährigen Aufenthalt in der Industrie, wechselte er im Jahr 2000 an die Universität Bielefeld, wo er seither auf dem Gebiet der Experimentalphysik mit besonderem Schwerpunkt auf Biologischer Physik und Nanowissenschaften lehrt und forscht. Dario Anselmetti ist Initiator des Schülerlabors teutolab-PHYSIK, Gründungsmitglied des Bielefeld Institute for Biophysics and Nanosciences (BINAS) und ordentliches Mitglied der Nordrhein-Westfälischen Akademie für Wissenschaften und Künste.



Vor dem Hintergrund einer atomaren Siliziumlandschaft (A) bearbeiten wir mit der Rastertunnelmikroskopie (B) und der Rasterkraftmikroskopie (C) Fragestellungen zur Struktur von Biomolekülen (D) und deren Wechselwirkung (E). Daneben werden auch vielfältige Einzelmolekülexperimente mit optischen und magnetischen Pinzetten (F) oder mikrofluidischen Chipsystemen (G) durchgeführt.

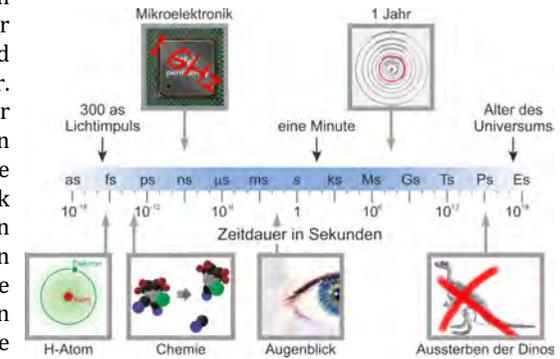


Trajektorie eines durch einen Lichtimpuls ausgelösten Photoelektrons (grün). Die orangenen und blauen Kugeln stellen die Atome des Kristalls schematisch dar. Unsere Attosekunden-zeitaufgelösten Messungen zeigen, dass die Photoelektronen das Material auf mehr oder weniger gekrümmten Bahnen verlassen.

## Beobachtung der Elektronenbewegung auf atomaren Längenskalen

Die Ultrakurzzeitspektroskopie beschäftigt sich mit der zeitaufgelösten Untersuchung der Elektronenbewegung in Materie. Ziel ist ein verbessertes Verständnis der komplexen Dynamik der Elektronen und damit der Eigenschaften von Materialien. Auch heute verstehen wir die Anregung von Elektronen durch Licht noch nicht vollständig, obwohl sich schon Einstein mit diesem Problem befasst hat.

Atome und damit auch die uns umgebende Materie sind aus Atomkernen und Elektronen aufgebaut. Die sehr leichten Elektronen bewegen sich dabei sehr schnell und die Kerne entsprechend ihrer großen Masse viel langsamer. Mit der Entwicklung immer kürzerer Lichtimpulse ist in den letzten Jahrzehnten die direkt zeitaufgelöste Beobachtung der Kern-dynamik gelungen, wie sie beispielsweise in einer chemischen Reaktion stattfindet. Mit Lichtimpulsen, die kürzer als 100 Femtosekunden ( $0.0000000000001$  s) sind, kann die Bildung einer chemischen Bindung beobachtet werden. Zur Beobachtung der viel schnelleren Elektronenbewegung benötigt man Lichtimpulse im Attosekundenbereich, da ein Elektron nur etwa 150 Attosekunden ( $0.0000000000000015$  s) benötigt, um im Wasserstoffatom den Kern zu umkreisen. Solche Zeiten verhalten sich zu einer Sekunde in etwa so, wie eine Sekunde zum Alter des Universums.



Im Attosekundenlabor in Bielefeld erzeugen wir Lichtimpulse mit ca. 300 Attosekunden Dauer und regen damit Elektronen in einem Festkörper an, die das Material als Photoelektron verlassen. Mit Hilfe eines weiteren Lichtfeldes können wir Zeitdifferenzen von 10 Attosekunden messen und damit subatomare Weglängendifferenzen feststellen. Anschaulich lassen sich unsere Beobachtungen damit erklären, dass unterschiedliche Photoelektronen auf unterschiedlich gekrümmten Bahnen zur Oberfläche fliegen und damit unterschiedlich lange Wege zurücklegen.

Im Attosekundenlabor in Bielefeld erzeugen wir Lichtimpulse mit ca. 300 Attosekunden Dauer und regen damit Elektronen in einem Festkörper an, die das Material als Photoelektron verlassen. Mit Hilfe eines weiteren Lichtfeldes können wir Zeitdifferenzen von 10 Attosekunden messen und damit subatomare Weglängendifferenzen feststellen. Anschaulich lassen sich unsere Beobachtungen damit erklären, dass unterschiedliche Photoelektronen auf unterschiedlich gekrümmten Bahnen zur Oberfläche fliegen und damit unterschiedlich lange Wege zurücklegen.



**Prof. Dr. Walter Pfeiffer** hat an der Universität Konstanz Physik studiert und promoviert. Zur Habilitation wechselte er an die Universität Würzburg und begann sich mit der Ultrakurzzeitspektroskopie zu befassen. Seit 2006 ist er Professor an der Universität Bielefeld. In seiner Forschung befasst er sich mit der ultraschnellen Dynamik von elektronischen Anregungen. Schwerpunkte bilden dabei die Attosekundenspektroskopie an Festkörperoberflächen sowie quantenoptische Kopplungsphänomene in Nanostrukturen.

## How fast are the fundamental processes which define the basic properties of materials? Terahertz physics can help to find out.

The macroscopic properties of materials, whether the material is electrically conductive or insulating, magnetic or not, optically transparent or opaque, a good or poor heat conductor, etc., are all defined by the extremely fast elementary dynamics of charge, lattice and spins in the materials. Such elementary acts of, e.g., electrical conduction and lattice oscillation occur on the ultrafast timescale ranging from a few femtoseconds ( $1 \text{ fs} = 10^{-15} \text{ s}$ ) to a few picoseconds ( $1 \text{ ps} = 10^{-12} \text{ s}$ ). This timescale matches the terahertz (THz) frequency range and corresponds to the period of oscillation of electromagnetic fields in the range of 10 ps to 30 fs, or to photon energies of 0.4 to 120 meV.

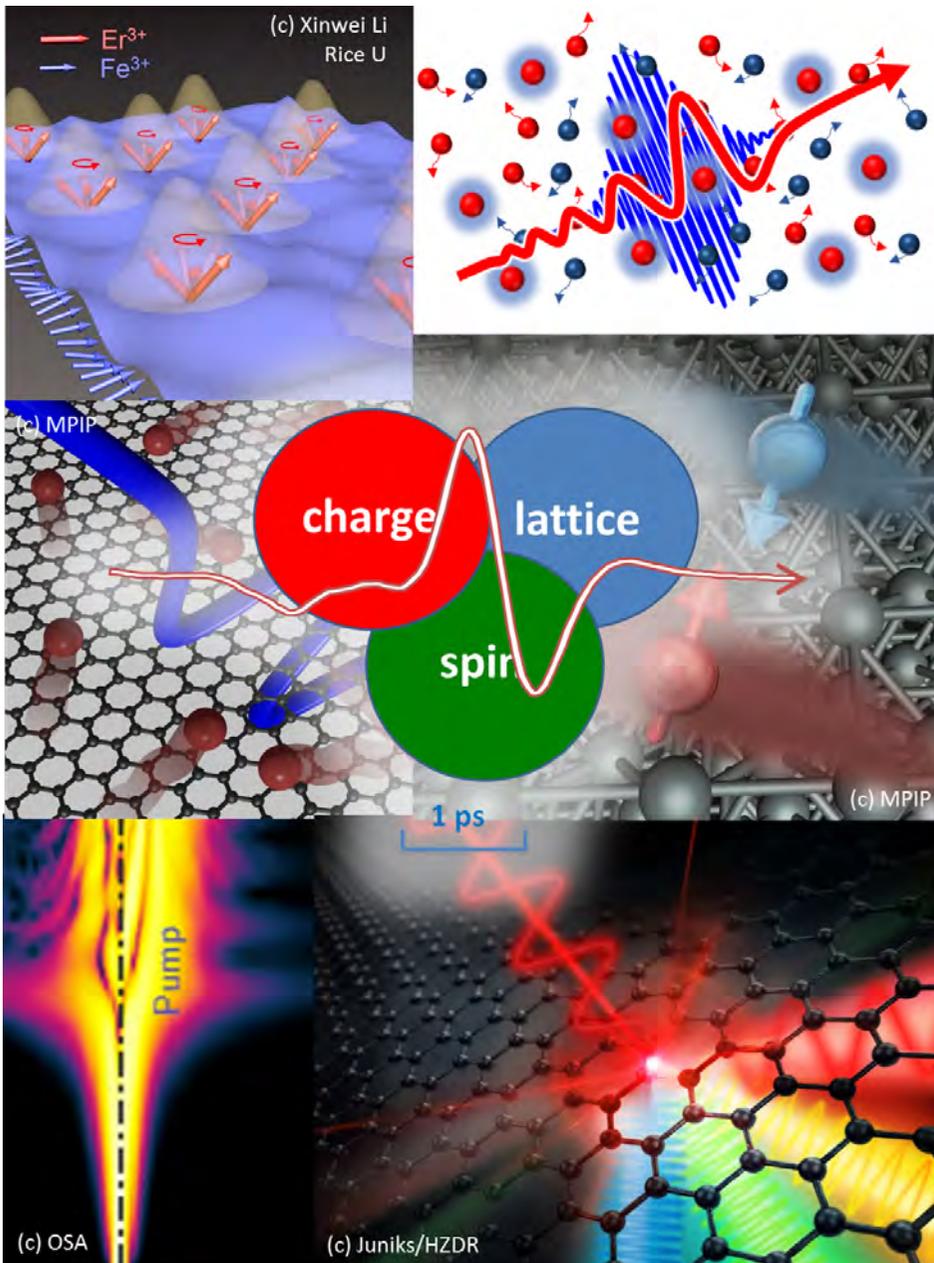
Based on modern femtosecond lasers, ultrafast THz spectroscopy allows one to directly probe equilibrium and non-equilibrium dynamics of charge, lattice and spins in materials with temporal resolution down to tens of femtoseconds, in a contact-free and non-destructive fashion. In ultrafast THz physics we work at the junction of many exciting disciplines in science and technology: laser science, condensed matter physics, electrodynamics, nonlinear optics, surface science, signal processing, and even telecommunication.

The all-optical, contact-free nature of ultrafast THz spectroscopy conveniently allows for investigation of ultrafast dynamics in nano-particles, semiconductor quantum wells, dots and wires, graphene, carbon nanotubes, or 2D materials without the need to attach contacts or embed markers. The information on such processes as e.g. linear and nonlinear nanoscopic motion of charge on the femtosecond timescale, or the ultrafast dynamics of spins and lattice, can be directly and reliably inferred from the experiments.

Some recent examples of our work include the extremely efficient generation of high-order THz harmonics in graphene using collective response of “massless” Dirac electrons, discovery of a quantum electrodynamics effect, so-called “Dicke cooperativity”, in magnetic crystals, demonstration of highly-efficient THz wave generation by hot electrons in magnetic nanostructures, and spin-resolution of electrical conduction in ferromagnetic metals.



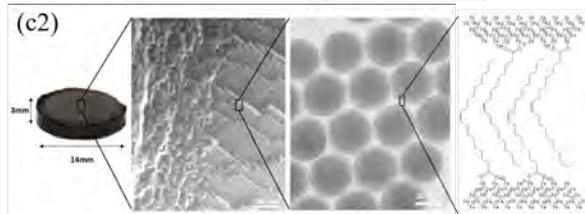
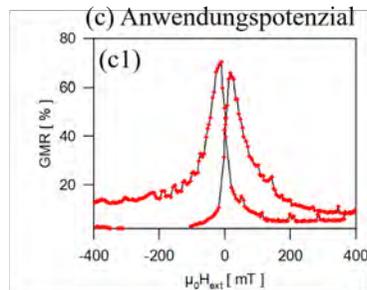
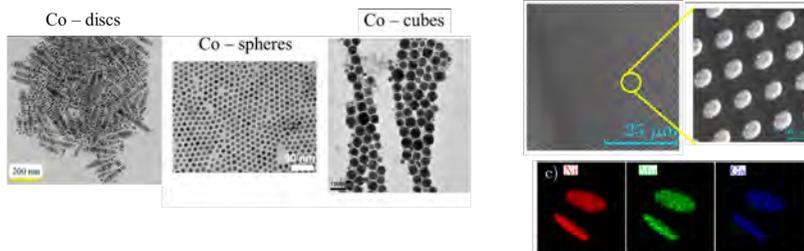
**Prof. Dr. Dmitry Turchinovich** studied physics and electrical engineering in St. Petersburg and received his Ph.D. in physics from the University of Freiburg. After several years of research in Utrecht and Mainz he became professor at the University of Duisburg-Essen. Dmitry Turchinovich was awarded with the European Union Career Integration Grant. Since 2018 he works as professor of experimental physics in Bielefeld. The research interests of Dmitry Turchinovich are ultrafast and terahertz dynamics of charge, lattice and spins in condensed matter systems, and general ultrafast science.



## Magnetische Nanopartikel

### Herstellung

(a) Chemischer „Bottom – up“ Ansatz (b) Physikalischer „Top – down“ Ansatz



Superparamagnetische Nanopartikel als Spielwiese für den Physiker: (a) und (b) Herstellungsverfahren, (c1) Supermagnetwiderstand, (c2) hochgeordnete Nanopartikel.

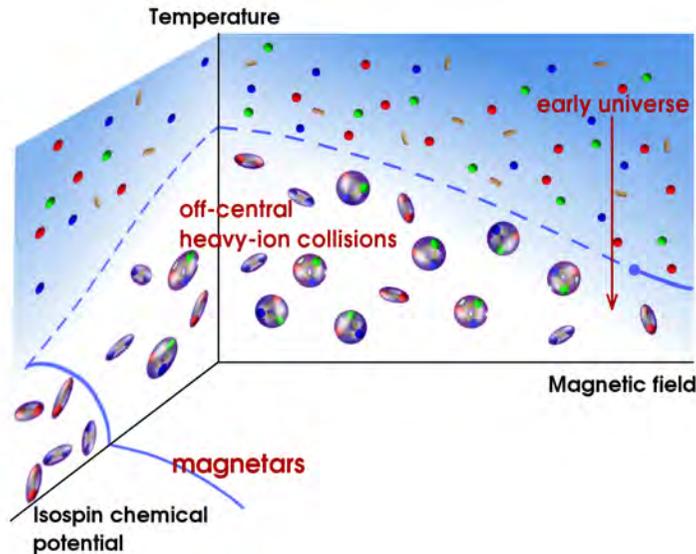
Die Herstellung von magnetischen Nanopartikeln, deren magnetische und mikrostrukturelle Charakterisierung auf atomarer Ebene und deren Anwendung im Grenzgebiet zwischen Chemie und Physik bilden den Fokus der wissenschaftlichen Arbeiten in der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Andreas Hütten. Allein die möglichen Herstellungsverfahren über eine chemische oder physikalische Route, siehe Abbildung, erlauben, über kontrolliert einstellbare Größen-verteilungen direkt Einfluss auf die magnetischen Eigenschaften dieser Nanopartikel zu nehmen. Als Ergebnis resultieren superparamagnetische Nanopartikel, deren ferromagnetische Eigenschaften über die Wechselwirkung in äußeren Magnetfeldern ein- und ausgeschaltet werden können und die somit eine wunderbare Spielwiese für die physikalische Anwendung bieten.

Werden diese Nanopartikel z.B. in elektrisch leitende Gel-Matrizen eingebettet, können granulare, magnetoresistive Sensoren realisiert werden, die durch den Supermagnetowiderstandseffekt (GMR-Effekt) ausgezeichnet sind und einfach ohne weitere Lithographieschritte für Sensoranwendungen auf diverse Unterlagen gedruckt und elektrisch kontaktiert werden können. Wird die elektrisch leitende Gel-Matrix durch eine Ligandenstruktur ersetzt, die bei der chemischen Herstellung als Stabilisierung für die Nanopartikel benötigt wird, dann lässt sich ein nanopartikulärer Festkörper herstellen, der aus hochgeordneten Nanopartikeln besteht. Quantenmechanisch gesehen, wirkt die Ligandenstruktur wie eine granulare 3D-Tunnelbarrierenlandschaft, die sich durch den Tunnelmagnetowiderstand manifestiert. Damit ist ein sehr interessantes Hybrid-Material realisierbar – eine mechanisch flexible 3D-Tunnelbarrierenlandschaft mit darin verteilten mechanisch harten superparamagnetischen Nanopartikeln. Ein von außen auf den nanopartikulären Festkörper ausgeübter Druck verändert den mittleren Abstand zwischen den superparamagnetischen Nanopartikeln und damit ebenfalls die Stärke des Tunnelmagnetowiderstandes. Damit kann ein Kraft- oder Drucksensor konstruiert werden, der Veränderungen im Sub-Angström-Bereich nachweisen kann.

Um diese als Beispiel aufgeführten Geräte zu realisieren, bedarf es neben der Expertise in der Herstellung natürlich auch einer intensiven Nutzung von atomar auflösenden transmissionselektronenmikroskopischen Methoden, die in der Arbeitsgruppe vorhanden sind, angewendet und weiterentwickelt werden. Diese Expertise bildet den Bielefelder Beitrag zum OWL Analytik Center, das gemeinsam mit der Universität Paderborn betrieben wird.



**Prof. Dr. Andreas Hütten** promovierte an der Universität Göttingen in Physik und forschte als Forschungs-stipendiat der Alexander von Humboldt-Stiftung an der Universität in Berkeley sowie am Lawrence Berkeley National Laboratory in den USA. In Deutschland arbeitete er auf dem Gebiet des granularen GMR und der Supraleitung in Dresden und an magnetischen Nanostrukturen in Karlsruhe. Er beschäftigt sich mit der Physik von dünnen Schichten und Nanostrukturen.



Schematisches Phasendiagramm der Quarkmaterie in Abhängigkeit von der Temperatur, dem magnetischen Hintergrundfeld und dem isospin-chemischen Potential. Die unterschiedlichen Phasen und die Phasenübergänge zwischen ihnen spielen für verschiedene physikalische Systeme eine wesentliche Rolle.

## Ein Videospiel mit Quarks und Gluonen

Wie sah das Universum kurz nach dem Urknall aus? Warum sind Neutronensterne so massiv und kompakt? Was passiert mit zwei Atomkernen, wenn man sie beschleunigt und aufeinanderprallen lässt?

Die Antworten auf alle obigen Fragen liefert die Theorie der starken Wechselwirkung – die Quantenchromodynamik. Interessanterweise erklärt diese Wechselwirkung auch, warum Atomkerne als solches stabil sein können. Dies ist in der Tat erstaunlich, wenn man bedenkt, dass innerhalb eines Kerns mit einer Ausdehnung von wenigen Femtometern (zwölf Größenordnungen kleiner als ein Millimeter) viele, einander elektrisch abstoßende Protonen eingeschlossen sind.

Laut der Quantenchromodynamik besteht jedes Proton aus drei Quarks und einer Vielzahl von Gluonen. Die Gluonen sind nicht nur dafür zuständig, die drei Quarks „zusammenzukleben“, sondern auch dafür, Protonen und Neutronen über kurze Entfernungen aneinander zu binden. Gleichzeitig sagt die Quantenchromodynamik auch vorher, dass sich die gluonische Wechselwirkung bei steigender Temperatur abschwächt – der Klebstoff zwischen den Quarks schmilzt bis die Klebkraft nicht mehr ausreicht, um das Proton zusammenzuhalten. Durch einen Phasenübergang entsteht dabei eine neue Form der Kernmaterie, das sogenannte Quark-Gluon-Plasma. Unter welchen Bedingungen genau dieser Phasenübergang stattfindet, wird am besten anhand des Phasendiagramms visualisiert (siehe Abbildung links).

Die Gleichungen der Quantenchromodynamik sind analytisch leider nicht lösbar. Stattdessen werden sie auf einem Gitter diskretisiert und numerisch behandelt. Diese Gittersimulationen sind sehr rechenzeitaufwendig und können oft nur mit Hilfe hochparalleler Computer-Architekturen realisiert werden. Dabei kommen unter anderem Grafikprozessoren zum Einsatz. Obwohl diese ursprünglich für Computerspiele entwickelt worden sind, eignen sie sich auch hervorragend für diese Art Numerik – die parallelisierten Schleifen iterieren statt der Pixel des Bildschirms die Eckpunkte des Gitters.

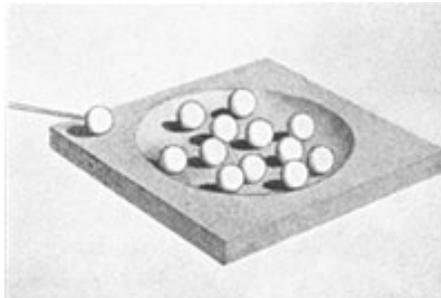
Unsere Arbeitsgruppe beschäftigt sich mit numerischen Gittersimulationen der starken Wechselwirkung bei hohen Temperaturen, Dichten und elektromagnetischen Hintergrundfeldern. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der Erforschung des Phasendiagramms und der Anwendung der gewonnenen Daten im Kontext der oben erwähnten Systeme: das frühe Universum, Neutronensterne und Schwerionen-kollisionen.



**Prof. Dr. Gergely Endrödi** hat an der Eötvös Universität Budapest Physik studiert und promoviert. Nach einem Forschungsaufenthalt an der Universität Regensburg hat er eine Emmy-Noether-Nachwuchsgruppe an der Goethe-Universität Frankfurt geleitet. Seit März 2020 ist er Professor an der Universität Bielefeld. In seiner Forschung untersucht er die Physik von Quarks und Gluonen unter extremen Bedingungen mit Hilfe numerischer Gittersimulationen.

## Zufall und Naturgesetz

In der Physik gibt es zwei Gebiete, in denen der Zufall und die damit verbundene Unbestimmtheit eine wichtige Rolle spielt: in der Quantenmechanik und in chaotischen Systemen. Auch wenn wir die Gleichungen, die z.B. ein Elektron im Wasserstoffatom beschreiben, genau hinschreiben und lösen können, vermögen wir nur Wahrscheinlichkeiten für seinen Ort und Geschwindigkeit zu berechnen. In klassischen, chaotischen Systemen wie dem Doppelpendel (oder dem Wetter) sind zwar die zugrundeliegenden Gleichungen deterministisch. Jedoch führen nur geringfügig verschiedene Anfangsbedingungen nach kurzer Zeit zu völlig unterschiedlichen Trajektorien. Es stellt sich daher die Frage, ob wir nicht trotz bekannter Naturgesetze in bestimmten Situationen eine statistische Beschreibung brauchen. Genau diese Idee hatte Niels Bohr, um die Verteilung von Energieniveaus in schweren Atomkernen statistisch zu erfassen. Diese enthalten viele Neutronen und Protonen und sind zugleich chaotisch und quantenmechanisch. Ein Billardmodell für Streuexperimente steht noch auf seinem Schreibtisch in Kopenhagen.

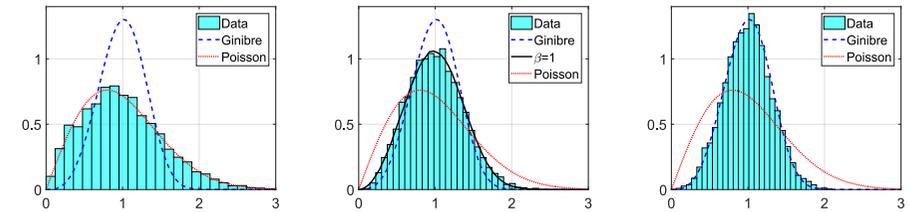


Billard als Modell für einen Kern  
(nbi.ku.dk)

Wie bewerkstelligen wir dies mathematisch? In der Thermodynamik ersetzen Größen wie Temperatur oder Druck die Informationen aus einer aberwitzigen Zahl von Gasmolekülen. Hier benötigen wir jedoch feinere Vorhersagen über das Energiespektrum, wie z.B. die Verteilung von Abständen zwischen aufeinander folgenden Energieniveaus des Atomkerns. Es stellt sich heraus, dass diese Verteilung dieselbe ist wie die einer großen Matrix mit zufälligen Einträgen, die dieselbe Symmetrie hat wie die Gleichung für den Atomkern. Mehr noch, welche Zufallsverteilung wir wählen spielt außer der Symmetrie keine Rolle, ob 0 und 1, oder kontinuierliche, Gauß-verteilte Matrixeinträge.

Eine ähnliche, universelle Verteilung tritt übrigens bei den Nullstellen der Riemannschen Zeta-Funktion auf, deren genauere Beschreibung eines der großen, ungelösten Millennium-Probleme der Mathematik ist. Ist das Zufall?

Auch wenn wir die Kernkräfte heute sehr viel besser verstehen als Bohr – Neutronen und Protonen sind aus Quarks zusammengesetzt und werden durch die Quantenchromodynamik (QCD) beschrieben – gibt es weiterhin Aspekte, die sich gut mittels einfacher, universeller Zufallsmatrixmodelle statistisch beschreiben lassen. Diese Modelle sind heute mathematisch viel komplizierter und enthalten Parameter wie Masse oder Dichte der Quarks. Natürlich brauchen wir trotz einfacher, statistischer Modelle weiterhin Naturgesetze, die die nicht universellen, spezifischen Eigenschaften der Materie beschreiben.



Übergang von integrablen (links) zu chaotischen (rechts) offenen Quantensystemen, am Beispiel getriebener Quanten-Spin-Ketten (Akemann, Kieburg, Mielke & Prosen, 2019). Die Abstandsverteilung in zwei Dimensionen bewegt sich zwischen der Poisson-Verteilung (links) unabhängiger Punkte und der Vorhersage von Zufallsmatrizen (rechts).



**Prof. Dr. Gernot Akemann** hat an der Universität Hannover studiert und in theoretischer Physik promoviert. Nach Forschungsaufenthalten in Kopenhagen, Marseille, Heidelberg und Paris wurde er 2004 an die Brunel University in London berufen. Seit 2011 ist er Professor für mathematische Physik an der Universität Bielefeld und beschäftigt sich mit mathematischen Aspekten von Zufälligkeit. Einfache, auf Symmetrie basierte Modelle erlauben die Beschreibung universeller Aspekte von der Quantenfeldtheorie bis hin zu chaotischen Quantensystemen.

## Ansprechpartner in der Fakultät für Physik

Die studentische Studienberatung der Fachschaft berät auch Schüler gern,  
0521 106 5257, [fachschaft@physik.uni-bielefeld.de](mailto:fachschaft@physik.uni-bielefeld.de)

Der Studiendekan Dr. Armin Brechling berät in allen Studienfragen, z.B. bei  
Anerkennungen,  
0521 106 5456, [armin.brechling@uni-bielefeld.de](mailto:armin.brechling@uni-bielefeld.de)

Über Lehramtsstudiengänge informiert Prof. Dr. Lisa Stinken-Rösner,  
0521 106 5255, [lisa.stinken-roesner@physik.uni-bielefeld.de](mailto:lisa.stinken-roesner@physik.uni-bielefeld.de)

Sie wollen ins Ausland gehen, z.B. mit Erasmus? Fragen Sie Dr. Mark Schüttpelz,  
0521 106 5445, [schuettpp@physik.uni-bielefeld.de](mailto:schuettpp@physik.uni-bielefeld.de)

Dekan: Prof. Prof. Dr. Walter Pfeiffer  
0521 106 5470, [pfeiffer@physik.uni-bielefeld.de](mailto:pfeiffer@physik.uni-bielefeld.de)

Prodekan: Prof. Dr. Gernot Akemann  
0521 106 6202, [akemann@physik.uni-bielefeld.de](mailto:akemann@physik.uni-bielefeld.de)

Bitte wenden Sie sich mit Ihren Fragen ruhig an uns. Wir helfen Ihnen gern.

## Vorträge in Schulen

Sollten Sie als Lehrerin oder Lehrer Interesse an einem der vorgestellten Themen haben,  
wenden Sie sich bitte an uns. Wir kommen gern zu Vorträgen in Ihre Schule.  
<https://www.uni-bielefeld.de/fakultaeten/physik/outreach/>

## Informationsveranstaltungen

Infowochen der Universität Bielefeld: 14.-28. Juni 2025  
<http://www.uni-bielefeld.de/info-wochen>

MINT-Sommer: 30. Juni bis 4. Juli 2025  
<https://www.uni-bielefeld.de/studium/studieninteressierte/mint-sommer/>

13. Auflage, Fakultät für Physik, Universität Bielefeld, November 2024  
Redaktion Prof. Dr. Jürgen Schnack, 0521 106 6193, [jschnack@uni-bielefeld.de](mailto:jschnack@uni-bielefeld.de)  
(beantwortet notfalls alle Fragen)

Universität Bielefeld

**Physik?** Natürlich in Bielefeld.

**Moderne Forschungsmethoden**  
Fachsprachenzentrum  
Universität der kurzen Wege \*  
Soft Skills inklusive

Von Bachelor über Master bis zur Promotion

Studium mit beruflicher Perspektive  
Interdisziplinäre Umgebung

Physikalische Forschung und Technologieentwicklung auf internationalem Spitzenniveau

Individuelle Schwerpunktsetzung

Gute Betreuungsrelation  
Präsenzbibliothek

Von der Grundlagenforschung zum Produkt

Internationaler Austausch  
Projektbezogenes Arbeiten

Vorkurse

Komm zum Physikstudium nach Bielefeld.  
**Wir freuen uns auf Dich!**

\* Praktikum für Schülerinnen und Schüler möglich

→ [www.physik-in-bielefeld.de](http://www.physik-in-bielefeld.de)