



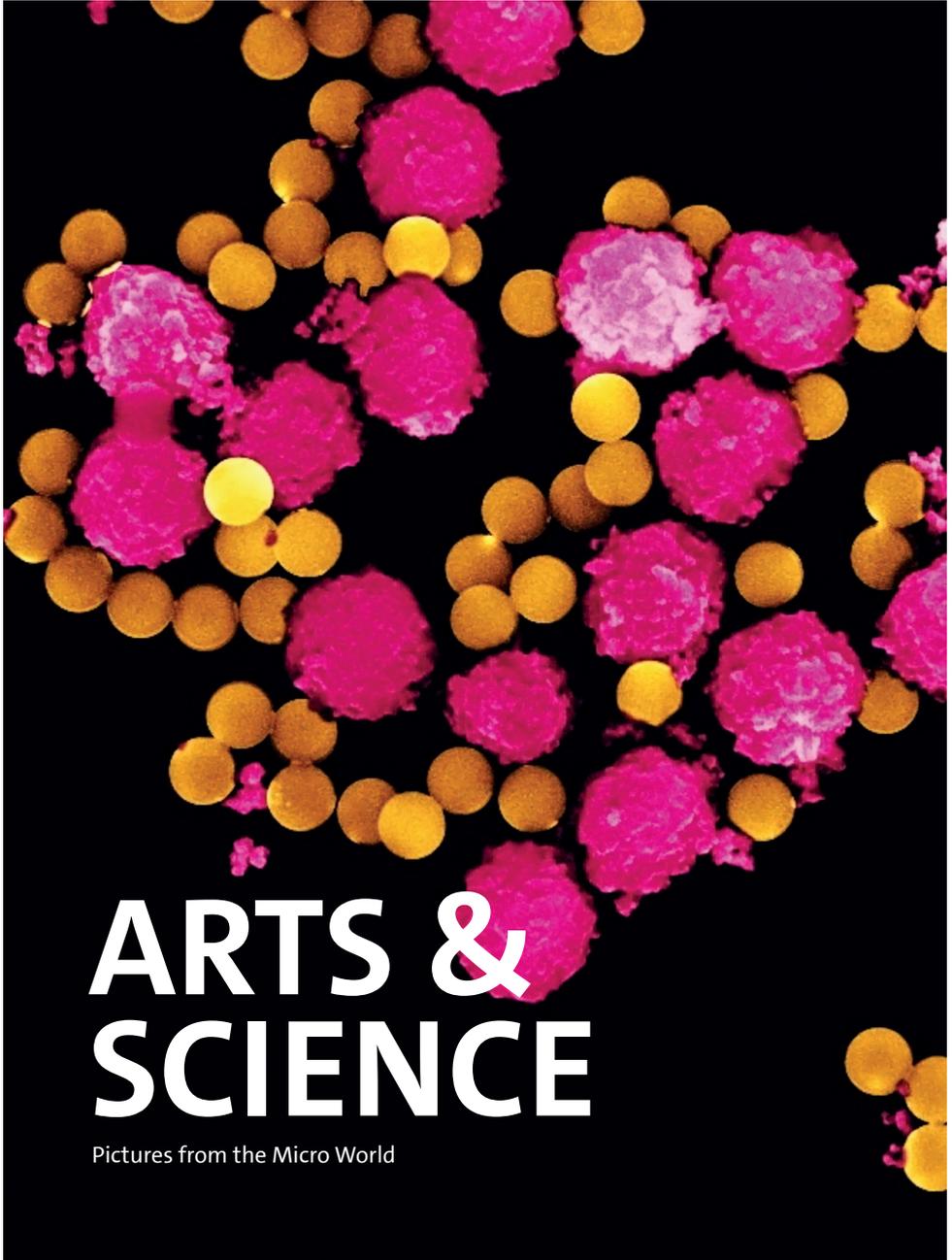
Universität Hamburg

DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

CLUSTER OF EXCELLENCE

CUI: ADVANCED

IMAGING OF MATTER



# ARTS & SCIENCE

Pictures from the Micro World



© CUI, Peter Garten, Blick in die Diele des Hamburger Rathauses und die Ausstellung „Arts & Science“/  
View into the foyer of Hamburg's City Hall and the exhibition „Arts & Science“



## Liebe Leserinnen und Leser,

Mit unserer „Arts & Science“-Initiative möchten wir eine Tür öffnen zu den hoch-komplexen Forschungsgebieten unseres Clusters „CUI: Advanced Imaging of Matter“. Hierfür bitten wir unsere Mitglieder, ästhetisch ansprechende Bilder aus ihren Forschungsgebieten einzureichen, die wissenschaftliche Aussagekraft bildet hier die Basis. Eine Jury entscheidet dann, welche Abbildungen für eine Ausstellung oder unseren Kalender ausgewählt werden. Fotos der hochmodernen Labore und Lichtquellen ergänzen die wissenschaftlichen Bilder, QR-Codes führen zu Videos, in denen Forschende ihre Arbeit erklären.

Die Idee zu der Initiative entwickelte sich bereits vor einigen Jahren: 2017 starteten wir mit einer ersten Ausstellung in der Diele des Hamburger Rathauses, 2023 folgte eine zweite Ausstellung im Rathaus, deren Bilder in dieser Broschüre dokumentiert sind.

„Arts & Science“ gibt sich erst auf den zweiten Blick zu erkennen: Sie präsentiert Bilder aus der Mikrowelt der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung – wellenförmige Gebilde und Farbexplosionen, aber auch direkte Aufnahmen aus dem Mikroskop. Der Interpretationsspielraum ist groß, und es bleibt den Betrachterinnen und Betrachtern überlassen, die Schönheit der Darstellungen wirken zu lassen oder über die begleitenden Texte einen Einstieg in die zugrundeliegende Physik und Chemie zu finden.

Wie in der Kunst geht es in unserer Forschung um Gleichgewicht und Ungleichgewicht, Symmetrien oder Unordnung. 160 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus Physik, Chemie und Strukturbiologie haben sich unter dem Dach des Clusters

zusammengeschlossen, um die Bewegungen von Atomen, Molekülen und Elektronen zu analysieren. Diese kleinsten Teilchen gehen Bindungen ein, sie interagieren und reagieren. Dabei entstehen neue Eigenschaften, die die Forschenden nicht nur verstehen, sondern auch kontrollieren möchten. Die Erkenntnisse dienen zunächst der Grundlagenforschung, sie geben aber auch wichtige Impulse für die Entwicklung neuer Materialien, neuer Technologien und auch neuer Medikamente. Der Cluster wird daher im Rahmen der Exzellenzstrategie des Bundes und der Länder seit Januar 2019 für sieben Jahre gefördert. Im Projekt kooperieren Forscherinnen und Forscher der Universität Hamburg mit Teams des Deutschen Elektronen-Synchrotron (DESY), des Max-Planck-Instituts für Struktur und Dynamik der Materie (MPSD) und des European XFEL.

Wir wünschen Ihnen viel Vergnügen mit den Bildern aus der Grundlagenforschung.

### *Ihr „Arts & Science“-Team*

*Ingeborg Adler, CUI-Öffentlichkeitsarbeit  
Dr. Hans Behringer, CUI-Geschäftsführung  
Dr. Joerg Harms, MPSD PR und Kommunikation  
Anika Ostermaier-Grabow, CUI-Geschäftsführung  
Prof. Peter Schmelcher, CUI-Vorstand  
Annika Schonefeld, CUI-Öffentlichkeitsarbeit*

## Dear readers,

With our „Arts & Science“ initiative, we want to open a door to the highly complex research areas of our Cluster of Excellence “CUI: Advanced Imaging of Matter”. For this purpose, we ask our members to submit aesthetically pleasing images from their fields of research, the scientific results and significance represents the corresponding basis. A jury then decides which images are selected for an exhibition or our calendar. The scientific images are complemented by photos of the state-of-the-art labs and light sources, QR codes lead to videos in which researchers explain their work.

The idea for the initiative developed several years ago: in 2017, we started with a first exhibition in the hallway of the Hamburg City Hall, followed by a second exhibition in the City Hall in 2023, which is documented in this brochure.

„Arts & Science“ reveals itself only at second glance: It presents images from the micro-world of basic scientific research - wave-like formations and color explosions, but also direct images from the microscope. There is plenty of room for interpretation, and it is up to the viewer to let the beauty of the images take effect or to find an introduction to the underlying physics and chemistry via the accompanying texts.

As in art, our research is about equilibrium and non-equilibrium, symmetries, or disorder. 160 scientists from physics, chemistry and structural biology have joined forces under the umbrella of the cluster to analyze the movements of atoms, molecules, and electrons. These smallest particles form bonds, interact and react. In the process, new properties emerge that the researchers not

only want to understand, but also control. The findings initially serve basic research, but they also provide important impetus for the development of new materials, new technologies and new drugs. The cluster has therefore been funded for seven years since January 2019, as part of the Excellence Strategy of the German federal and state governments. In the project, researchers from the Universität Hamburg cooperate with teams from the German Electron Synchrotron (DESY), the Max Planck Institute for the Structure and Dynamics of Matter (MPSD) and the European XFEL.

We hope you enjoy the images from basic research.

### **Your Arts & Science Team**

*Ingeborg Adler, CUI Public Outreach*  
*Dr. Hans Behringer, CUI Management*  
*Dr. Joerg Harms, MPSD PR and Communication*  
*Anika Ostermaier-Grabow, CUI Management*  
*Prof. Peter Schmelcher, CUI Board*  
*Annika Schonefeld, CUI Public Outreach*



© CUI, Fotograf: Peter Garten;  
MID-Experimentierstation am European XFEL

## Die vielen Arme des European XFEL

Am Ende des European XFEL-Tunnel steht die Abschwächer-Kammer der „Materials, Imaging and Dynamics“-Experimentierstation. Der Abschwächer befindet sich etwa 900 Meter entfernt vom eigentlichen Quellpunkt der Röntgenstrahlung. Trotzdem ist der Röntgenstrahl noch so intensiv, dass der Abschwächer zur Einstellung seiner Leistung verwendet wird. Er besteht aus vier Armen mit unterschiedlich dicken Materialien und unterschiedlichen Funktionalitäten. Durch die Kombination der Materialien auf den verschiedenen Armen können die Forschenden die Leistung des Röntgenstrahls genau steuern.

## The Many Arms of European XFEL

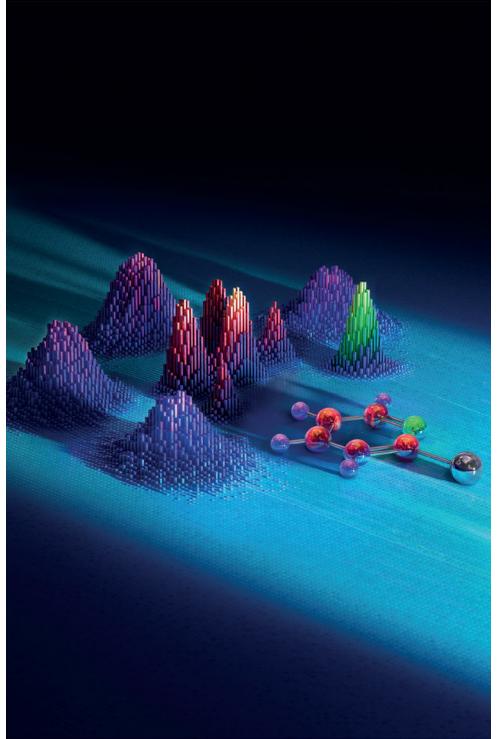
Standing guard at the end of one of the European XFEL tunnels is its materials, imaging and dynamics (MID) instrument's attenuator chamber. The attenuator is some 900 meters away from the source of the X-rays themselves. Even at this long distance, the X-ray beam is so strong that the attenuator is needed to control its power. It has four arms of various materials of different thicknesses and abilities. By using a combination of the materials within the different rods, scientists can carefully control the power of the X-ray beam.

# Explodieren und konstruieren

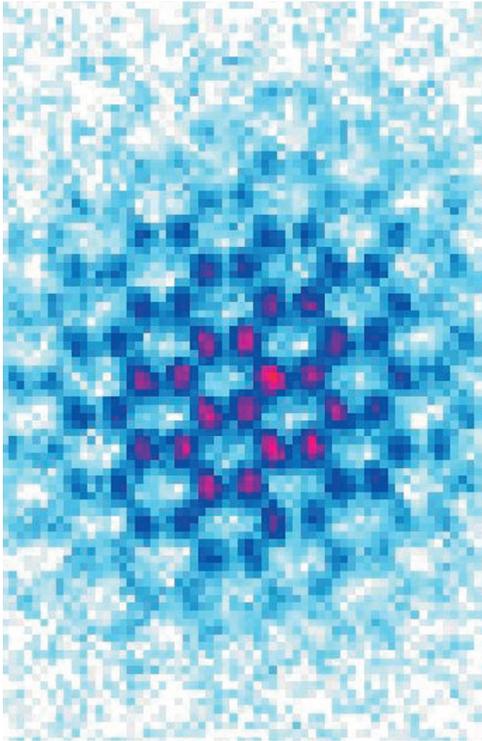
Diese Serie von bunten Bergen ist ein Schnappschuss des zyklischen Moleküls Iodopyridin, der mit einer neuen Bildgebungstechnik aufgenommen wurde. Seltsamerweise müssen die Forschenden das Molekül zunächst durch einen intensiven Röntgenstrahl zerstören, um ein Bild eines intakten Iodopyridin-Moleküls zu erhalten. Aus den Bruchstücken, die bei der Explosion entstehen, können sie ein Bild des Moleküls rekonstruieren, wie es vor der Explosion aussah. Diese Bilder sind ein wichtiger Schritt auf dem Weg zur Aufnahme von Molekularfilmen, mit denen die Forschenden Details biochemischer und physikalischer Reaktionen mit hoher Auflösung beobachten wollen.

## Explode and Construct

This series of colorful mountains is a snapshot of a cyclical molecule known as iodopyridine, taken using a new imaging technique. Confusingly, to take an image of an intact iodopyridine molecule, scientists using the European XFEL must first destroy the molecule using an intense blast of X-ray radiation. From the fragments that explode out of the blast, they can reconstruct an image of the molecule as it was before it exploded. These images are an important step on the path to recording molecular films, which researchers hope to use to observe details of biochemical and physical reactions at high resolutions.



© *illustratoren.de/Tobias Wuestefeld*  
in Kooperation mit European XFEL



© Marcel N. Kosch, Luca Asteria, Henrik P. Zahn, Klaus Sengstock, Christof Weitenberg (Universität Hamburg)

## Ultrakalte Atome im Honigwabengitter

Dieses Bild wurde mit einer neuen Technik aufgenommen, die hochauflösende Einblicke in die Quantenwelt erlaubt. Es zeigt eine Wolke aus 30.000 ultrakalten Atomen in einem optischen Honigwabengitter, das durch die Interferenz von Laserstrahlen entsteht. Die Atome verhalten sich dabei ähnlich wie Elektronen in Graphen und eignen sich zur Untersuchung von Quanten-Vielteilchenphysik in einem gut kontrollierten System. Die Auflösung dieser feinen Gitterstruktur gelang mit sogenannter Materiewellenoptik, mit der die Dichteverteilung der Atome stark vergrößert wurde, bevor sie durch einen resonanten Laserpuls optisch abgebildet wurde.

## Ultracold Atoms in a Honeycomb Lattice

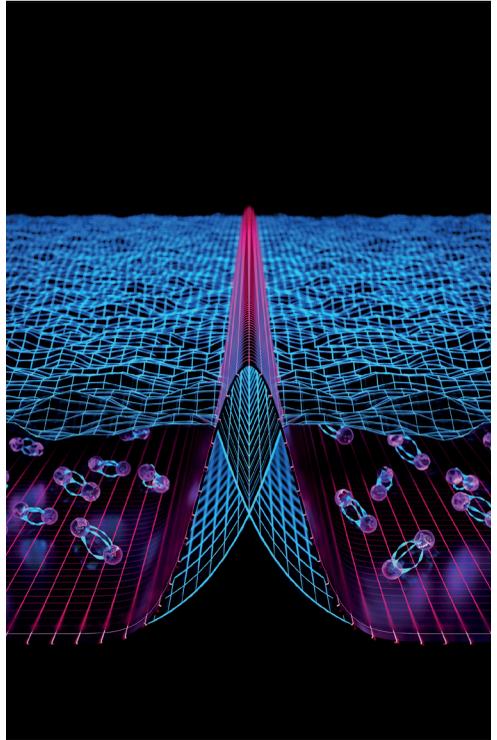
This image was taken with a new technique that allows highly resolving insights into the quantum world. It shows a cloud of 30,000 ultracold atoms in a honeycomb optical lattice, which is formed by interfering laser beams. The atoms emulate electrons in graphene and are well suited to study quantum many-body physics in these well-controlled systems. The resolution of this fine lattice structure was achieved by so-called matter-wave optics, which strongly magnifies the density distribution of the atoms before they are optically imaged via a resonant laser pulse.

## Durch die Wand fließen

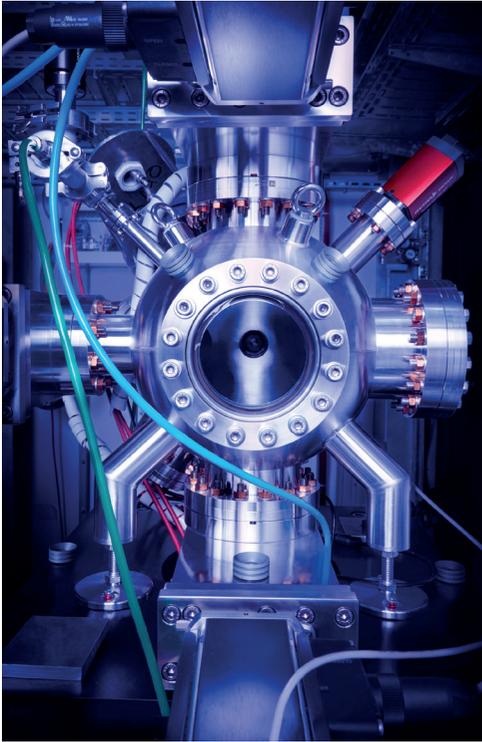
Eigentlich kann Wasser nicht durch die Wand von einem Glas in ein anderes fließen. Die Quantenmechanik erlaubt dies jedoch, wenn die Barriere dünn genug ist und die Flüssigkeiten reibungsfrei fließen können. Die Illustration zeigt zwei solcher Supra-Flüssigkeiten, die dank ihrer Wellennatur zwischen den beiden Seiten einer Barriere hin und her oszillieren. Kühlt man eine Gaswolke auf Temperaturen knapp über dem absoluten Temperaturnullpunkt, wird sie zu solch einem Suprafluid. Diese Systeme eignen sich für die Untersuchung von Teilchen, die stark miteinander wechselwirken und sich nur in zwei Dimensionen bewegen können – eine Kombination, die zentral für Hochtemperatursupraleitung ist.

## Flowing through the Wall

Actually, water cannot flow through the wall from one glass to another. However, quantum mechanics allows this, provided the barrier is thin enough and the liquids can flow without friction. The illustration shows two such superfluids oscillating back and forth between the two sides of a barrier thanks to their wave nature. If a gas cloud is cooled to a temperature just above absolute zero, it becomes such a superfluid. These systems are suitable for studying particles that interact strongly with each other and can only move in two dimensions - a combination that is central to high-temperature superconductivity.



© Electron Studios,  
AG Moritz (Universität Hamburg)



© CUI, Fotograf: Peter Garten;  
SCS-Instrument am European XFEL

## Im Auge der Vakuumkammer

Diese futuristische Zelle, eine so genannte Vakuumkammer, befindet sich in der Experimentierhütte des SCS-Instruments am European XFEL. Sie ist mehr als 400 Meter von der eigentlichen Röntgenstrahlungsquelle entfernt. Das Innere der Kammer befindet sich im Vakuum, d. h. die Luft wurde aus der Kammer abgesaugt, so dass die Bedingungen denen im Weltraum ähneln. Solche Kammern werden verwendet, um die Intensität des Röntgenstrahls nach der Wechselwirkung mit einer Probe zu messen. Gemessen wird vor und nach der Probe, denn die Veränderung gibt Aufschluss über die lokale Struktur und die elektronischen Eigenschaften von Atomen oder Molekülen.

## In the Eye of the Vacuum Chamber

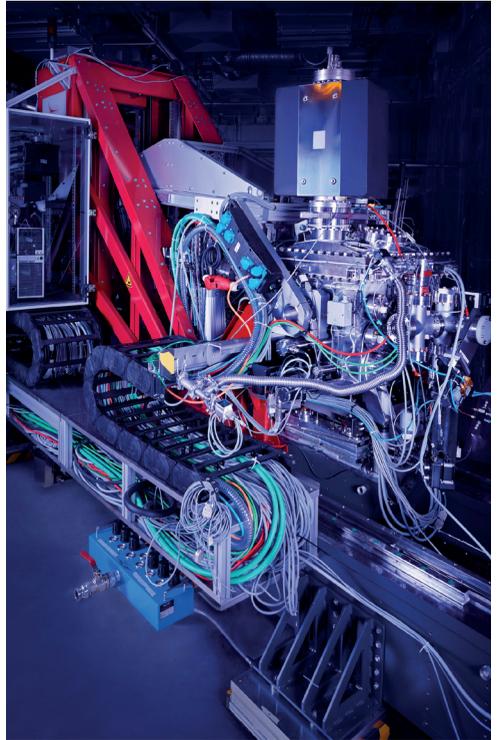
This futuristic cell, known as a vacuum chamber, is in the experiment hutch of European XFEL's SCS instrument. The hutch is more than 400 meters away from the source of the X-rays themselves. The inside of the chamber is held 'under vacuum' meaning that the air has been drained out of it, allowing it to resemble conditions that occur in outer space. Such chambers are used to measure the intensity of the X-ray beam after interaction with a sample. Measurements are taken before and after the sample, because the change provides information about the local structure and electronic properties of atoms or molecules.

## Spektrale Eigenschaften

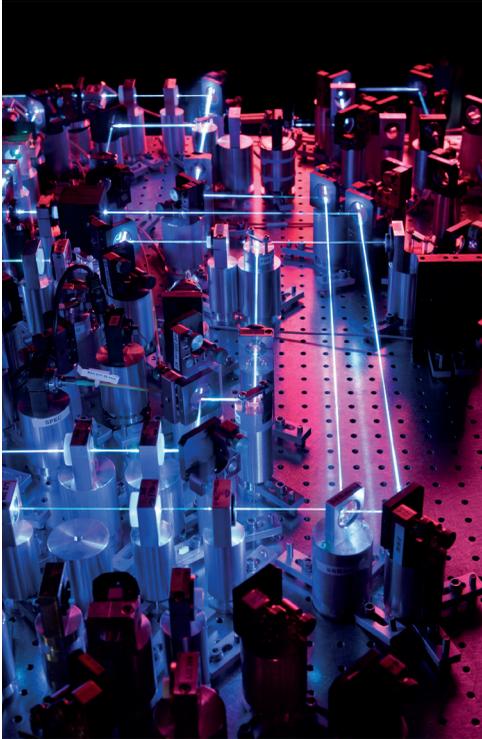
Sobald der Röntgenstrahl auf eine zu untersuchende Probe trifft, wird er in das Spektrometer zurückgeschickt und ermöglicht es den Forschenden, die spektralen Eigenschaften zu charakterisieren: Der eintreffende Strahl ist monochromatisch, er besteht also aus einer einzigen Wellenlänge, aber nach der Wechselwirkung mit der Probe enthält er eine Kombination verschiedener Wellenlängen. Dieser Prozess, der als spektrale Verbreiterung bezeichnet wird, kann mit dem Spektrometer sichtbar gemacht werden.

## Spectral Properties

Once an X-ray hits a sample that is under investigation, it is sent back into the spectrometer, allowing scientists to characterize its spectral properties. The scattered signal differs from incoming X-rays. The incoming beam is monochromatic (formed of a single wavelength), but after interacting with the sample, the light becomes a combination of different wavelengths. This process, known as spectral broadening, can be revealed by the spectrometer



© CUI, Fotograf: Peter Garten; hRIXS-Spektrometer, SCS-Experimentierstation am European XFEL



© CUI, Fotograf: Peter Garten;  
Ytterbium Labor, AG Sengstock (Universität Hamburg)

## Quantensimulation mit ultrakalten atomaren Gasen

Stark wechselwirkende Vielteilchensysteme, wie sie beispielsweise in der Festkörperphysik vorkommen, sind sehr komplex und schwer zugänglich. Ein relativ neuer Ansatz sind sogenannte Quantensimulationen. Dabei wird ein schwieriges Quantensystem durch ein einfacher zu analysierendes experimentell nachgestellt und untersucht - zum Beispiel durch ultrakalte atomare Quantengase. Zur Manipulation, Präparation und Detektion kalter Atome werden wie im Bild Laser unterschiedlicher Wellenlängen verwendet.

## Quantum Simulation Using Ultracold Atomic Gases

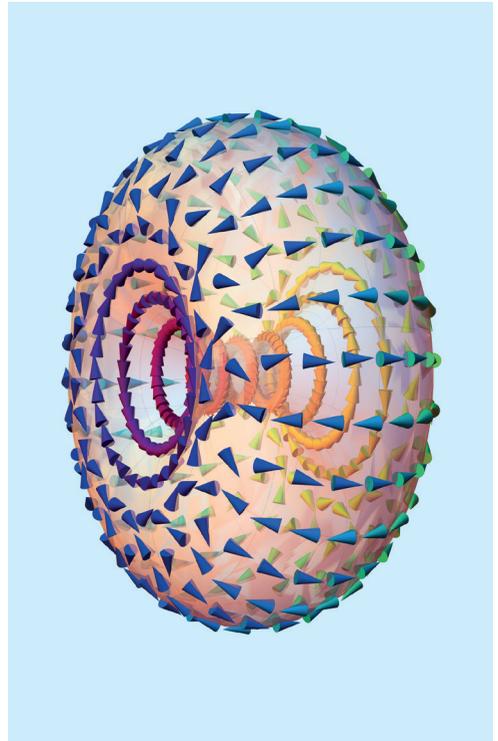
The properties of complex strongly interacting many-body systems are often hard to describe. A relatively new approach are so-called quantum simulations. The idea is as simple as this: instead of performing awfully complex calculations on a computer, the quantum system of interest is reenacted by another quantum system that can be controlled and analyzed far better - such as ultracold atomic quantum gases. For manipulation, preparation and detection of these cold atoms, lasers of all different wavelengths are used in the experiment as shown in the picture.

## Elektrischer Torus

In dieser Simulation wurde ein quadratisches Gitter auf die Oberfläche eines Torus gespannt. Die als kleine Kegel dargestellten elektrischen Dipole im Gitter minimieren ihre Energie, indem sie sich entlang von Kopf-Schwanz-Ketten auf ihren nächsten Nachbarn ausrichten. Eine Krümmung begünstigt die Bildung von separaten Domänen und kann die bevorzugten Dipolausrichtungen drastisch verändern. In der Abbildung führt der sich ändernde Gitterabstand zur Bildung von zwei Domänen: In der einen richten sich die Dipole entlang kreisförmiger Bahnen um das Zentrum des Torus aus, in der anderen stehen die Dipole senkrecht zu den Dipolen der ersten Domäne.

## Electric Torus

In this simulation, a square dipole lattice was stretched on the surface of a torus. The electric dipoles in a square lattice, represented as cones, minimize their energy by aligning with their nearest neighbor along head-tail chains. A curvature favors the formation of separate domains and can drastically change the preferred dipole orientations. In the figure, the changing lattice spacing leads to the formation of two domains: one domain in which the dipoles align along circular paths around the center of the torus, and one domain in which the dipoles align perpendicular to the dipoles of the first domain.



© Ansgar Siemens,  
AG Schmelcher (Universität Hamburg)



© Alejandro Romero Ros,  
AG Schmelcher (Universität Hamburg)

## Einsame Wellen

Ein Bose-Einstein-Kondensat ist ein Zustand der Materie, der bei niedrigsten Temperaturen von einem Bruchteil eines Millionstel Kelvin erreicht wird. Wird das Kondensat angeregt, können bestimmte Strukturen entstehen, etwa Solitonen. Das sind Wellen, die ihre Form beibehalten und sich ungestört ausbreiten. Sie sind für Anwendungen im Bereich der Optik, Quantenmechanik und Informationsübertragung interessant. Die einfachste Wellenform ist das dunkle Soliton, das eine Vertiefung auf einem Hintergrund darstellt, und das helle Soliton, das aus einer einzelnen Modulation besteht.

## Solitary Waves

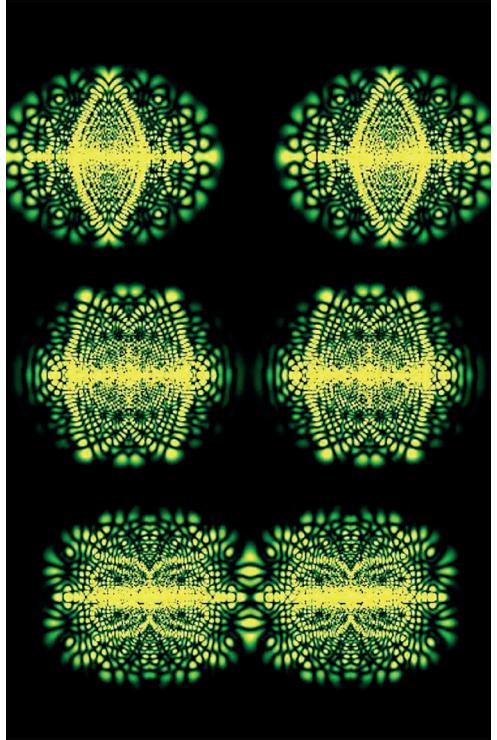
A Bose-Einstein Condensate is a state of matter reached at the lowest possible temperatures very close to the absolute zero. If the condensate is excited, some structures, such as solitons, can arise. These are solitary waves that maintain shape and propagate undisturbed. They are interesting for applications in the field of optics, quantum mechanics, and information transmission. The simplest ones are the dark soliton, which presents a dip on a background, and the bright soliton, which consists of a single peak.

## Molekulares Chladni-Muster

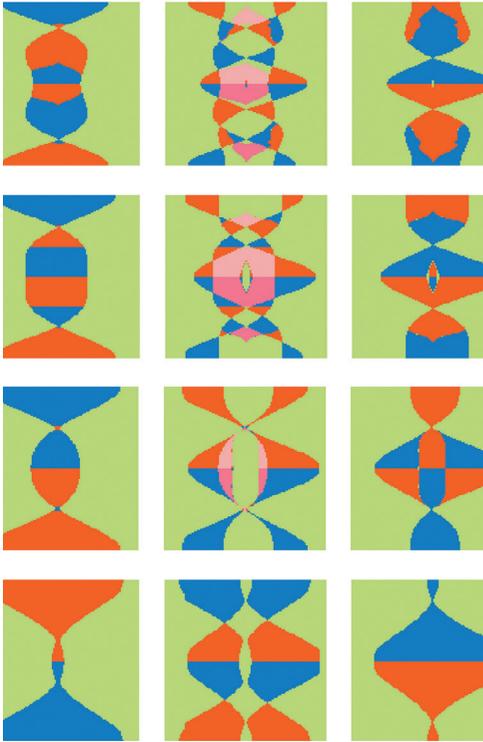
Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, ein angeregtes Elektron zu finden, wenn es zwischen zwei positiv geladenen Atomkernen geteilt wird, um ein Molekülion zu bilden? Dieses schöne Muster entstand bei einer Computer-Simulation zur Ermittlung dieser Wahrscheinlichkeit. Die Links-Rechts-Symmetrie zeigt an, dass die Wahrscheinlichkeit, dass sich das Elektron auf beiden Kernen befindet, gleich groß ist. In der Simulation wird das geteilte Elektron wie eine Welle behandelt. Der Reichtum des Musters ergibt sich aus dem Beitrag mehrerer Moden, analog zu den Chladni-Figuren, die häufig bei schwingenden Objekten mit vielen Schwingungsknoten wie bei einem Musikinstrument beobachtet werden.

## Molecular Chladni Pattern

What is the probability of finding an excited electron when it is shared between two positively charged nuclear cores to form a molecular ion? This beautiful pattern emerged from a computer simulation to determine this probability. The left-right symmetry indicates that there is equal probability for the electron to be on either core. In the simulation the shared electron is treated like a wave. The richness in the pattern comes from the contribution of multiple modes analogous to Chladni figures that are often observed for vibrating objects with many nodes of vibration like in a musical instrument.



© Rick Mukherjee,  
AG Schmelcher (Universität Hamburg)



© Marcel Kosch,  
AG Sengstock (Universität Hamburg)

## Kagome – japanische Flechtkunst

Das Kagome-Gitter ist nach dem Muster einer alten japanischen Flechtkunst benannt, bei der die Flechtbänder nicht rechtwinklig miteinander verwoben sind, sondern so, dass sich dreieckige Muster bilden. Ein Kagome-Gitter entsteht, wenn bei einem Gitter aus ultrakalten Atomen drei Laserstrahlen zweier Frequenzen überlagert werden. Bei der Überlagerung entstehen drei unterscheidbare Gitterplätze. Das Bild gibt numerische Berechnungen verschiedener topologischer Phasen wieder, die entstehen, wenn ein Kagome-Gitter periodisch angetrieben wird. Die horizontale Achse zeigt den Energieunterschied der drei unterscheidbaren Gitterplätze, die vertikale Achse die Phase.

## Kagome - Japanese Braiding Art

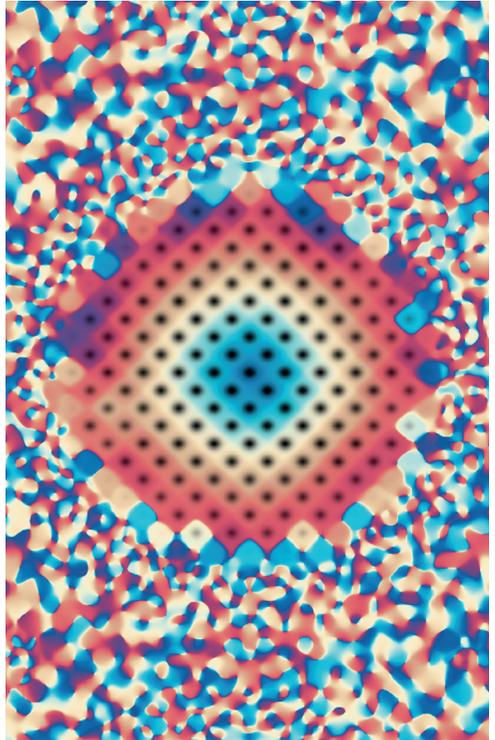
The numerical calculations show phase diagrams of the driven Kagome lattice. The Kagome lattice is a lattice with three distinguishable lattice sites, which is named after the pattern of Japanese woven baskets. The lattice can be realized by interfering three laser beams of two frequencies and ultracold atoms can fill up the ground state of the lattice. By periodic driving one can induce different topological phases which are depicted by the different colors. The horizontal and vertical axes refer to the energy difference of the three distinguishable lattice sites and the phase, respectively.

## Selbstorganisierte Atome

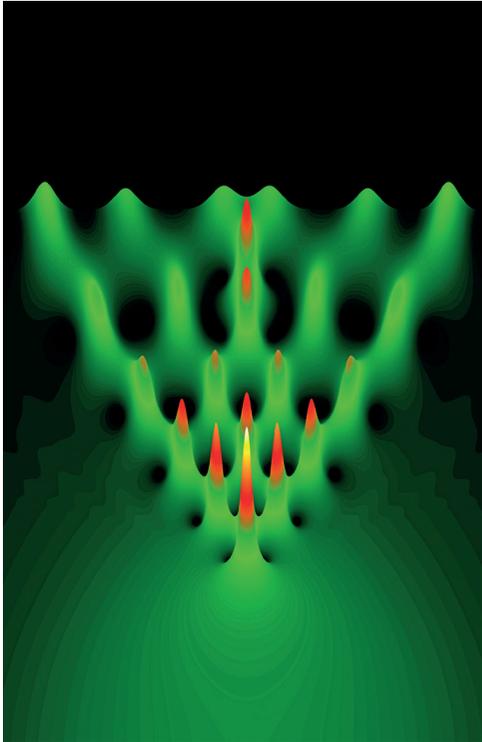
In einer Wolke von Atomen, welche bis auf ein Milliardstel eines Grades Kelvin heruntergekühlt ist, fangen die Atome an, sich kollektiv als ein großes quantenmechanisches Objekt zu verhalten. Dieses Phänomen wird Bose-Einstein Kondensation genannt. Wird ein solches Kondensat in einer Falle gefangen, einem Laserstrahl ausgesetzt und dabei zusätzlich zwischen zwei hoch reflektive Spiegel platziert, geht das System in eine superradiante Phase über: Die numerische Simulation zeigt, wie sich die Atome spontan selbstorganisiert und in einem Schachbrettmuster angeordnet haben, um das Licht vom Laserstrahl in die Richtung der Spiegel zu lenken.

## Self-organized Atoms

In a cloud of atoms that is cooled to less than a billionth of a Kelvin, the atoms start to behave collectively as one large quantum object. This phenomenon is called Bose-Einstein condensation. If such a condensate is trapped and irradiated by light from one direction and placed between carefully chosen and highly reflective mirrors in the other direction, the system enters a superradiant phase: The numerical simulation shows how the condensate spontaneously self-organizes into a checkerboard pattern in order to redirect light from the laser into the direction of the mirrors.



© Lukas Broers und Jim Skulte,  
AG Mathey (Universität Hamburg)



© Alejandro Romero Ros,  
AG Schmelcher (Universität Hamburg)

## Analytischer Weihnachtsbaum

Das Peregrine-Soliton ist eine in Raum und Zeit lokalisierte nichtlineare Welle, welche in Wassertank-Experimenten sowie in Plasmen und optischen Fasern realisiert wurde. Solche Strukturen können typischerweise aus breiten Wellenstrukturen entstehen; mit der Zeit nimmt die Amplitude des Peregrine-Solitons zu, bis sie ihren Höhepunkt erreicht, um dann abzufallen und spurlos zu verschwinden. In diesem Bild ist ein Peregrine-Soliton simuliert, das eine Kaskade kleinerer Peregrine-Wellen bildet. Passenderweise wird es als Weihnachtsbaum bezeichnet.

## Analytic Christmas Tree

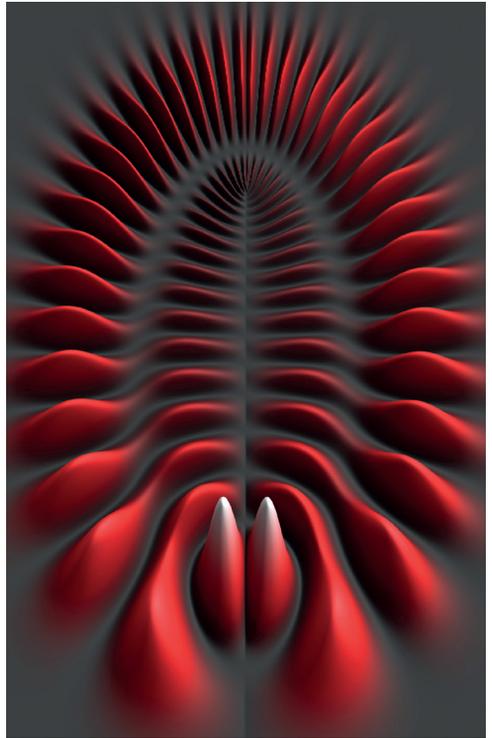
The Peregrine soliton is a nonlinear wave localized in space and time. It serves as an analytical solution to the Schrödinger equation, which has been realized in water tank experiments as well as in plasmas and optical fibers. Such structures can typically arise from broad wave pulses; over time, the amplitude of the Peregrine soliton increases until it peaks, at which point it falls off and disappears without a trace. In this image, a Peregrine soliton is simulated forming a cascade of smaller Peregrine waves called a Christmas tree.

## Molekulare Fossilien

Ultra-langreichweitige-Rydberg-Moleküle weisen einen exotischen chemischen Bindungsmechanismus auf, der erst vor Kurzem im Labor beobachtet wurde. Diese speziellen Moleküle können mehr als tausend Mal größer sein als herkömmliche Moleküle. Die Visualisierung zeigt die numerische Lösung für die elektronische Struktur eines Ultra-langreichweitigen-Rydberg-Moleküls, wobei die Höhe der roten Linie die Wahrscheinlichkeit darstellt, das Elektron an der jeweiligen Position zu finden. Da die Gesamtform einer Art Fossil ähnelt, werden diese Moleküle auch als Trilobiten bezeichnet.

## Molecular Fossils

Ultra-long-range Rydberg molecules pose an exotic chemical binding and have only recently been observed in a laboratory for the first time. They can be more than a thousand times larger than conventional molecules. This picture shows the numerical solution for the electronic structure of an ultra-long-range Rydberg molecule, where the height represents the probability to find the electron at the respective position. The overall shape resembles a type of fossil, which is why these molecules are also referred to as trilobites.



©Frederic Hummel,  
AG Schmelcher (Universität Hamburg)



© CUI, Fotograf: Peter Garten;  
Ultrafast Micro Photonics, AG Herr  
(CFEL, Universität Hamburg, DESY)

## Auf der Suche nach Leben außerhalb unseres Sonnensystems

Die Suche nach Planeten außerhalb unseres Sonnensystems macht große Fortschritte. Eine der innovativsten Techniken, wie sie auch im Exzellenzcluster entwickelt werden, ist die Verwendung von sogenannten Frequenzkämmen. Diese ermöglichen es, feinste Farbverschiebungen im Spektrum von Sternen zu entdecken, die ein Exoplaneten hervorruft. Die Analyse dieser Signale und andere Messungen liefern Informationen über die Größe, den Orbit und die Atmosphäre des Exoplaneten. Mit dem im Bild gezeigten Integrierten Photonischen Chip lassen sich geeignete Frequenzkämmen auch im sichtbaren Licht erzeugen. Hier ist die Informationsdichte besonders hoch, da besonders viele Spektrallinien im Sternenlicht vorhanden sind.

## In Search of Life Beyond Our Solar System

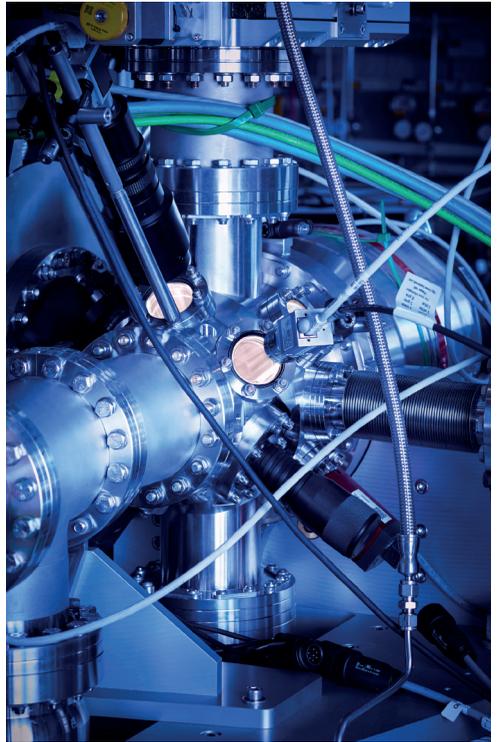
The search for planets outside our solar system has made great strides. One of the most innovative techniques, which are also developed in the cluster, is the use of so-called frequency combs. These allow us to detect minute color shifts in the spectrum of stars caused by an exoplanet. By analyzing these signals, and additional measurements, information about the size, orbit, and even atmosphere of the exoplanet can be obtained. With an Integrated Photonic Chip, as shown in the picture, suitable frequency combs can also be generated in visible light. Here, the information density is particularly high, as there are many spectral lines in starlight.

## Ein Fenster in die Quantenwelt

Dieser Metallmonolith ist eine so genannte Vakuumkammer. Bevor die Forschenden die Kammer für ihre Experimente nutzen, pumpen sie die gesamte Luft und alle atmosphärischen Partikel aus ihr heraus und schaffen so eine Umgebung, wie sie im Weltraum zu finden ist. Im Inneren der Kammer ist eine Hochdruckzelle für Gase installiert, mit der die Wechselwirkung zwischen intensiver Röntgenstrahlung und dichten Gasen mit Hilfe der Fluoreszenzspektroskopie untersucht wird. Durch die Fenster der Vakuumkammer lässt sich die Ausrichtung der Gaszelle überprüfen.

## A window into the Quantum World

This metal monolith is known as a vacuum chamber. Scientists use this chamber for their experiments, but not before pumping out all the air and atmospheric particles within it, creating an environment like that found in outer space. Inside the chamber a high-pressure gas cell is installed to study the interaction of intense X-rays and dense gases using fluorescence spectroscopy. The alignment of the gas can be checked through the windows on the vacuum chamber.



© CUI, Fotograf: Peter Garten;  
Vakuumkammer am European XFEL



© Wolfgang Brehm,  
AG Chapman (Universität Hamburg, DESY)

## Gebeugtes Licht

Ein Butandiol-Molekül wird durch elektromagnetische Wellen von oben beleuchtet. In einem solchen Experiment wird das einfallende Licht kaum beeinflusst; die Abbildung zeigt deshalb nur den Anteil, der gebeugt wird. Die Beugung lässt sich dank der Skalarwellen-Näherung ohne viel Aufwand berechnen: Die Helligkeit zeigt die Amplituden der elektromagnetischen Wellen an und der Farbton gibt die Phase wieder, die in Röntgenbeugungsexperimenten nicht direkt beobachtet werden kann.

## Diffracted Light

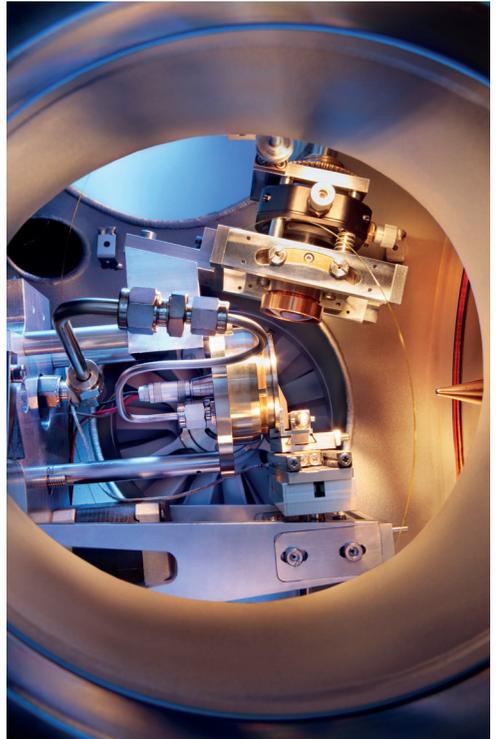
A butanediol molecule is illuminated by electromagnetic waves coming from above. In an experiment, the incident light passes through mostly unaffected; the picture, however, shows only the diffracted part. The simulation was created using the computationally very efficient scalar wave approximation: the brightness indicates the amplitudes of the electromagnetic waves and the hue reflects the phase, which is not observed in regular X-Ray diffraction experiments.

## Experimentieren ohne störende Effekte

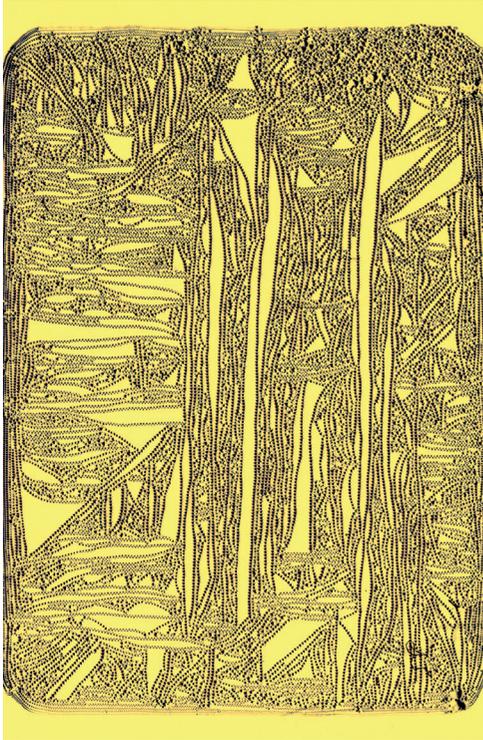
Um biologische Moleküle im Detail zu verstehen, muss man sie einzeln und ohne störende Effekte von anderen Molekülen untersuchen können. Viele einfache Moleküle, wie zum Beispiel Wasser, lassen sich durch Erwärmen in die Gasphase bringen; biologische Moleküle aber werden oft beim Erwärmen verändert – wie etwa ein Ei beim Kochen. Die gezeigte Quellkammer ist dafür konstruiert, biologische Moleküle unverändert in die Gasphase zu überführen: Sie werden blitzschnell mit einem Laser erhitzt und dann mit einem Gaspuls schnell wieder abgekühlt, bevor sie sich verändern können. Danach können sie gezielt untersucht werden - zum Beispiel mit den "Supermikroskopen" an Freie-Elektronen-Lasern.

## Investigating in Isolation

In order to understand biological molecules in detail, we need the ability to investigate them in isolation and without disturbances from other molecules. Many simple molecules such as water can be brought into the gas-phase through heating; biological molecules, however, often change when heated – like an egg when boiled. The shown apparatus allows us to bring biological molecules into the gas-phase by briefly heating them with a laser pulse and then rapidly cooling them down immediately with a pulse of cold gas, before they can change their structure. Then they can be studied in detail – for example with the "super microscopes" at free-electron lasers.



© CUI, Fotograf: Peter Garten;  
Quellkammer, AG Küpper (CFEL, DESY und  
Universität Hamburg)



© Saša Bajt (DESY), Henry Chapman (CFEL, DESY, Universität Hamburg), Sabrina Bolmer (DESY)

## Kupfer-Spannungsmuster

Die mit einem Flachbettscanner fotografierte Abbildung zeigt die Oberfläche eines daumennagelgroßen Wafers, der mit Schichten aus Kupfer und Wolfram bedeckt ist. Durch die Reaktion der Materialien baute sich eine hohe innere Spannung auf, die sich in den filigranen Oberflächenverformungen abbaute. Die Beschichtung wurde als Versuchsprobe für ein Röntgenlaser-Experiment hergestellt, war aber aufgrund der Oberflächenstruktur nicht geeignet.

## Copper Stress Pattern

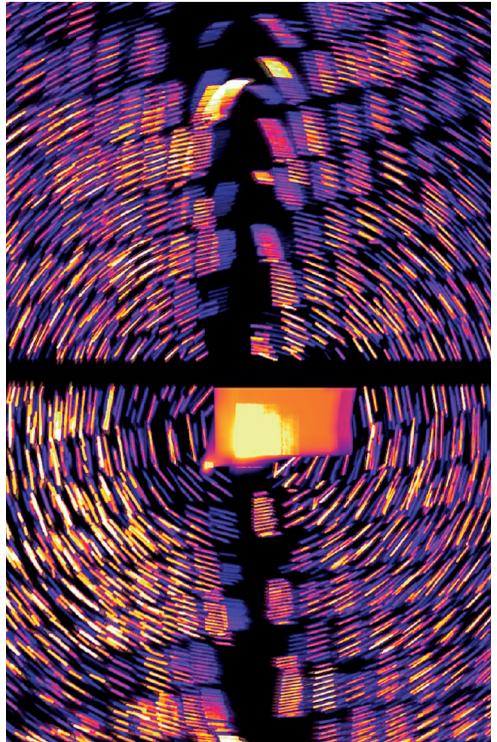
The image, photographed with a flatbed scanner, shows the surface of a thumbnail sized wafer coated with layers of copper and tungsten. These materials reacted to create high internal stress, which relieved itself through these intricate surface deformations. This coating was produced as a candidate sample for an X-ray laser experiment but was not suitable because of the surface structure.

## Reiches Strahlenmuster

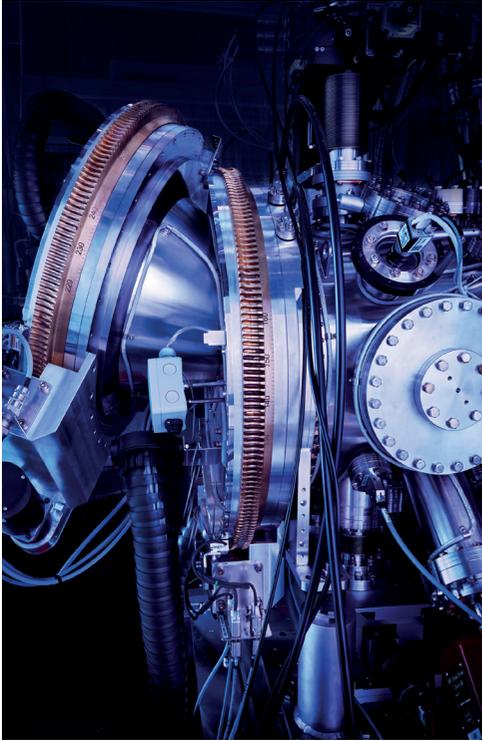
Wird ein Kristall in einen Röntgenstrahl gebracht, werden die Strahlen in viele verschiedene Richtungen reflektiert und bilden ein Muster. Dieses Muster erlaubt Rückschlüsse auf die Anordnung der Atome im Molekül. Für dieses Bild wurde eine neue Art von Röntgenlinse verwendet, um die Röntgenstrahlen auf einen Vitamin-B12-Kristall zu fokussieren. Das Resultat ist ein wesentlich reicheres Strahlenmuster, das die Auswertung deutlich einfacher und schneller machen könnte.

## Rich Pattern of Rays

When a crystal is placed in an X-ray beam, the rays are reflected in many different directions and form a pattern. This pattern allows conclusions to be drawn about the arrangement of atoms in the molecule. For this image, a new type of X-ray lens was used to focus the X-rays on a vitamin B12 crystal. The result is a much richer pattern of rays that could make the analysis much easier and faster.



© Nikolay Ivanov (DESY), Henry Chapman (DESY, Universität Hamburg) and Saša Bajt (DESY)



© CUI, Fotograf: Peter Garten;  
Röntgenresonanzbeugungskammer an der  
SCS Experimentierstation, European XFEL

## Rotierend wie ein Uhrwerk

Die Detailaufnahme zeigt einen dreifach rotierenden Flansch mit zwei von drei Drehdurchführungen sowie deren mechanische und elektrische Komponenten. Die auffälligen Ringe sind Schneckenräder mit einem Außendurchmesser von etwa 0,7 m. Der Flansch gehört zu einem Instrument, in dem der brillante Röntgenstrahl des European XFEL auf eine feste Probe trifft und es den Forschenden ermöglicht, Schnappschüsse von den tief im Material verborgenen atomaren Bausteinen zu machen. Dies geschieht, ohne dass das Material zerstört wird.

## Rotating like Clockwork

The detailed view shows a triple-rotating flange with two of three rotary feed-throughs and their mechanical and electrical components. The eye-catching rings are worm gears with an outer diameter of approximately 0.7 m. The flange is part of an instrument in which the brilliant X-ray beam of the European XFEL hits a solid sample and allows researchers to take snapshots of the atomic building blocks buried deep inside the material. This happens without destroying the material.

## Werkstoffe in Bewegung

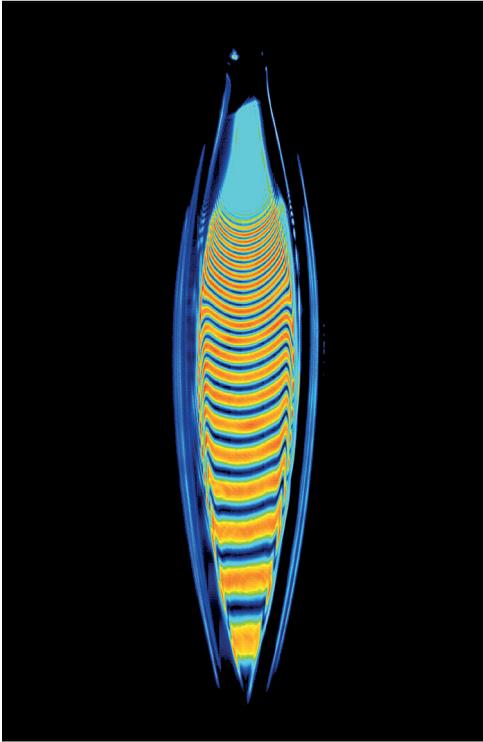
An dieser Experimentierstation können Materialien unter bestimmten Winkeln abgebildet werden. Das Bild zeigt die Verbindungsstruktur zwischen der Wechselwirkungskammer der Experimentierstation, in der die zu untersuchenden Proben untergebracht sind, und dem Röntgendetektor im Hintergrund. Dieser Verbindungsarm hat eine Balgstruktur, die sich wie eine lange Ziehharmonika zusammenzieht und ausdehnt, damit sich die Wechselwirkungskammer entlang der Schiene bewegen kann und die Nutzerinnen und Nutzer näher an die Probe herankommen oder sich von ihr entfernen können.

## Materials in Motion

At this instrument materials can be imaged at specific angles. The picture shows the structure connecting the instrument's interaction chamber, where samples under investigation are housed, and the X-ray detector, visible in the back. This connecting arm has a bellows structure that can contract and expand like a long accordion to allow the interaction chamber to move along the rail, enabling scientists to get closer to or further away from the sample.



© CUI, Fotograf: Peter Garten;  
Materials Imaging and Dynamics (MID) E  
xperimentierstation, European XFEL



© Gisel Pena-Murillo, Salah Awel (CFEL, DESY),  
AG Chapman (DESY, Universität Hamburg)

## Flüssige Wasserschicht

Optische Abbildung einer Schicht flüssigen Wassers aus einer Mikrodüse. Die Wasserschicht verbreitert sich auf etwa 0,4 mm, ist aber extrem dünn. Dadurch kommt es zu Interferenzen des Lichts, das von der hinteren und vorderen Oberfläche des Strahls reflektiert wird. So entstehen helle und dunkle Ränder, die zur Überwachung der Dicke und Stabilität der Schicht dienen. Derartige Wasserschichten werden für Beugungsexperimente mit Protein-Molekülen am Freie-Elektronen-Laser verwendet.

## A Sheet of Liquid Water

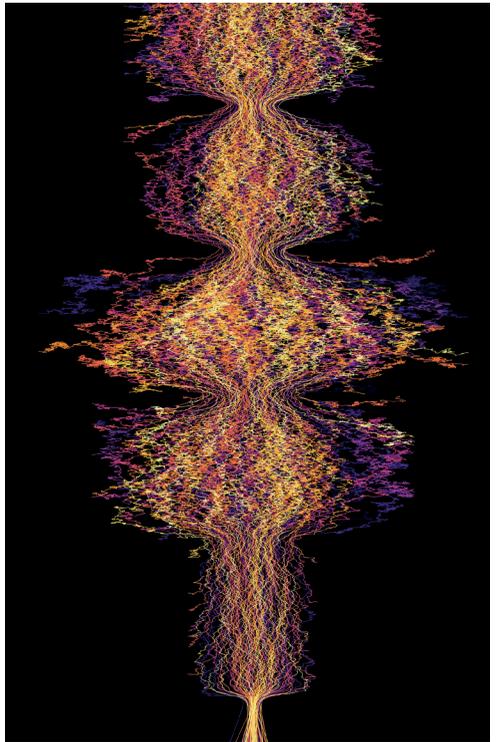
An optical image of a sheet of liquid water formed from a micronozzle. The sheet of water widens out to about 0.4 mm but it is extremely thin. This causes interference of the light reflecting from the rear and front surfaces of the jet, giving fringes of brightness and darkness that can be used to monitor the thickness and stability of the sheet. The sheets of water can be used for diffraction experiments of protein molecules at X-ray free-electron lasers.

## Nanopartikelbahnen

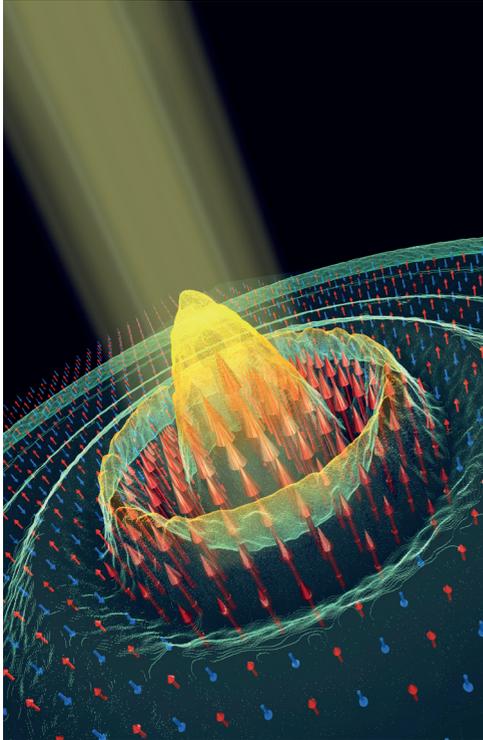
Dieses Bild zeigt die simulierte Bewegung zehn Nanometer großer Polystyrolkugel in einem Strahl durch ein aerodynamisches System aus Linsen. In solchen Systemen wird der Gasfluss durch eine Reihe von Lochblenden vorgegeben, bis der Teilchenstrahl nach unten austritt. Kleine Nanopartikel folgen weitgehend der Gasströmung durch das System, werden aber an den Öffnungen zur Mittellinie gedrückt. Die Partikel sind so klein, dass Brownsche Bewegungen zu stochastischen Wacklern in den Bahnen führen, was zu diesen kunstvollen Bahnen führt.

## Nanoparticle Tracks

This image shows the simulated motion of ten-nanometer polystyrene spheres in a particle beam through an aerodynamic lens system. In such systems, the gas flow is dictated by a set of apertures, until the beam emerges at the bottom. Small nanoparticles largely follow the gas flow through the geometry yet are pushed toward the centerline at the apertures. The particles are so small that Brownian motion creates stochastic wiggles in the trajectories, resulting in this artistic set of trajectories.



© AG Küpper (CFEL, DESY und Universität Hamburg)



© Jörg Harms, Ankit Disa, AG Cavalleri  
(Max-Planck-Institut für Struktur und Dynamik der Materie)

## Magnetische Zitronenpresse

Antiferromagnete bestehen aus abwechselnd nach oben und unten weisenden magnetischen Momenten. Durch diese Ausrichtung werden sie, im Gegensatz zu den momentan in der Informationstechnik verwendeten Ferromagneten, nicht stark von Magnetfeldern beeinflusst, was sie robust für die Informationsspeicherung macht, und auf viel kleinere Größen skalieren lässt. Die Darstellung zeigt einen Antiferromagneten, der sich unter optischer Anregung mit polarisierten Laser-Lichtpulsen in einen Ferromagneten verwandelt. Die roten und blauen Pfeile kennzeichnen die ursprünglichen antiparallelen Drehungen.

## Magnetic Lemon Squeezer

Antiferromagnets consist of alternating magnetic moments pointing up and down. This orientation means that, unlike the ferromagnets currently used in information technology, they are not strongly affected by magnetic fields, making them robust for information storage and scalable to much smaller sizes. The illustration shows an antiferromagnet transforming into a ferromagnet under optical excitation with polarized laser light pulses. The red and blue arrows indicate the original antiparallel rotations.

## Elektromagnetisches Schwarzes Loch

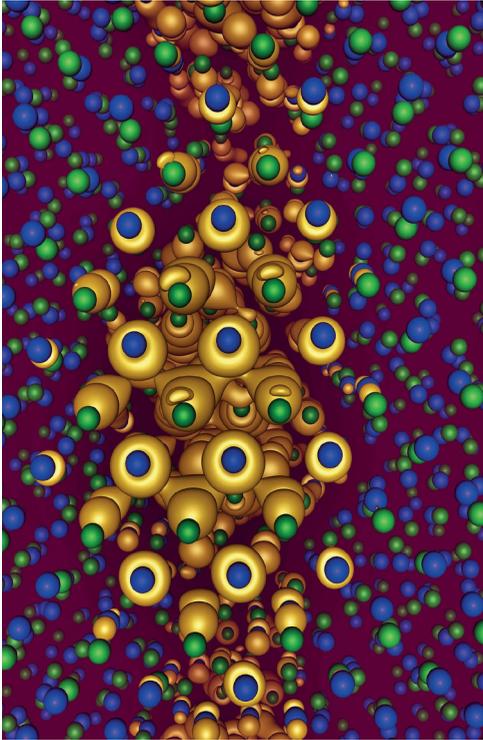
Mit einem ultraintensiven Röntgenblitz kann ein einzelnes Atom in einem Molekül kurzzeitig in eine Art elektromagnetisches ‚Schwarzes Loch‘ verwandelt werden. Anders als bei Schwarzen Löchern im Weltall saugt das beschossene Atom Elektronen über seine elektrische Ladung an – und lässt damit sein Molekül innerhalb eines winzigen Sekundenbruchteils explodieren. Die Visualisierung zeigt, wie der Röntgenblitz so viele Elektronen aus dem Iodatome (rechts) herausschlägt, dass er wie eine elektromagnetische Version eines Schwarzen Lochs die Elektronen der Methylgruppe (links) einzieht. Sobald die Elektronen von der Methylgruppe herausgelöst sind, gelingt es dem Blitz, sie zu ionisieren – und sie werden ausgespuckt.

## Electromagnetic Black Hole

An ultra-bright pulse of X-ray light can turn an atom in a molecule briefly into a sort of electromagnetic black hole. Unlike a black hole in space, the X-rayed atom draws in electrons with its electrical charge – causing the molecule to explode within the tiniest fraction of a second. The visualization shows how the X-ray flash knocks so many electrons out of the iodine atom (right) such that it pulls in the electrons of the methyl group (left) like an electromagnetic version of a black hole. As soon as the electrons are released from the methyl group, the flash manages to ionize them - and they are spit out.



© DESY/Science Communication Lab,  
AG Santra (DESY, Universität Hamburg)



© Lede Xian, AG Rubio / Joerg Harms  
(Max-Planck-Institut für Struktur und Dynamik der Materie)

## Verdrehte Materialien

Die Möglichkeiten, die durch das verdrehte Aufeinanderlegen von zwei atomar dünnen Materialschichten entstehen, sind größer als bislang gedacht, etwa für die Realisierung von neuen Quantenzuständen. Die Abbildung zeigt die Atome von verdrehtem, zweilagigem Germaniumselenid in Grün und Blau. Die gelbgoldenen Kugeln symbolisieren die Ladungsdichte an bestimmten Stellen zwischen den Atomen, die von den im System gebildeten effektiven eindimensionalen Quantenzuständen herrührt.

## Twisted Materials

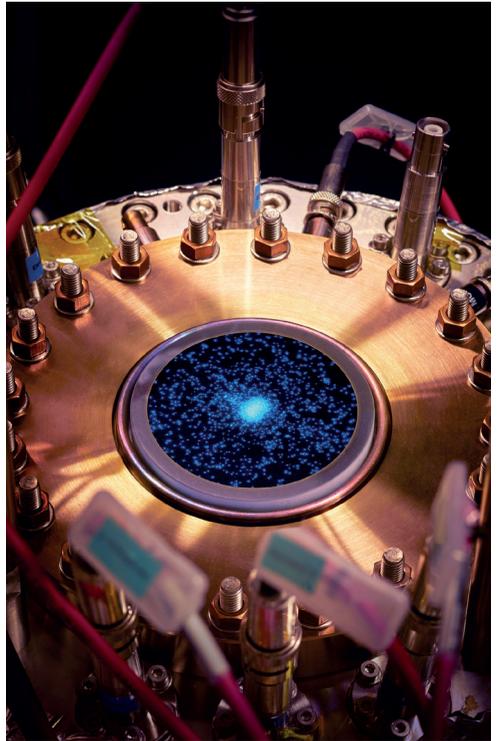
The possibilities created by the twisted layering of two atomically thin layers of material are greater than previously thought, for example for the realization of new quantum states. The figure shows the atoms of twisted, two-layer germanium selenide in green and blue. The yellow-golden spheres symbolize the charge density at specific points between the atoms caused by the effective one-dimensional quantum states formed in the system.

## Nachweis einzelner geladener Teilchen

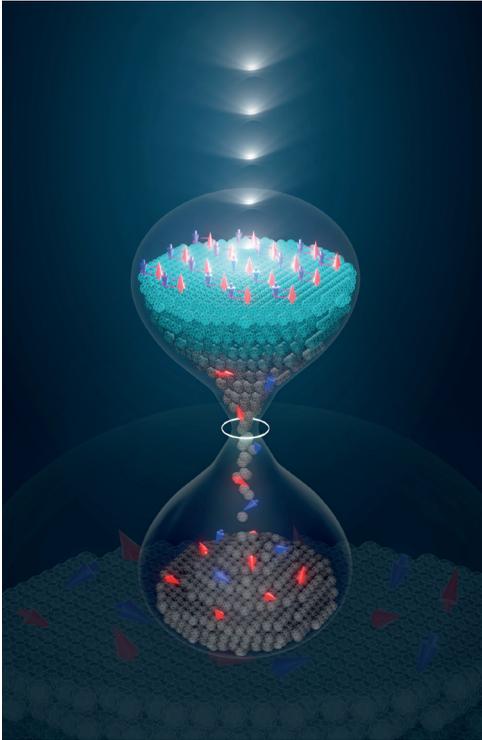
Um das Verhalten biologischer Moleküle im Detail zu verstehen, können sie mithilfe starker Laserfelder zur Explosion gebracht werden. Dabei entstehen geladene Teilchen wie Ionen. Das Bild zeigt einen Detektor und in der Mitte die Lichtblitze, die beim Aufprall einzelner Ionen auf dem Detektor entstehen. Die Positionen der Lichtblitze geben Aufschluss darüber, wie sich einzelne Atome innerhalb des Moleküls bewegen. Die Beobachtung dieser Bewegungen innerhalb und zwischen Molekülen ist zum Beispiel wichtig für ein tieferes Verständnis chemischer Reaktionen und die Entwicklung neuer Medikamente.

## Detection of Single Charged Particles

To understand the behavior of biological molecules in detail, they can be exploded using strong laser fields. This creates charged particles such as ions. The picture shows a detector and, in the center, the flashes of light from individual ions impinging on such a detector. The coordinates of the light flashes can be used to disentangle the motion of individual atoms within the molecule. Unraveling the atomic motion within and between molecules is important, for example, for a detailed understanding of chemistry and the development of new drugs.



© CUI, Fotograf: Peter Garten;  
CFEL-CMI-Labor, AG Küpper (DESY, Universität Hamburg)



© Jörg Harms, AG Cavalleri  
(Max-Planck-Institut für Struktur und Dynamik der Materie)

## Supraleitung in der Sanduhr

Supraleitung war bislang nur bei extrem tiefen Temperaturen möglich. In einem neuen Versuchsaufbau löst ein intensiver kurzer Infrarot-Laserpuls Supraleitung auch bei hohen Temperaturen aus. Der Puls regt Schwingungen in einem Material aus Kohlenstoffmolekülen an, wobei sich Elektronen-Paare formen, die sich längere Zeit schnell und verlustfrei über das Atomgitter bewegen. Die Sanduhr symbolisiert die Verlängerung des supraleitenden Zustandes: Oben wird der Zustand angeregt und löst sich mit jeder Schicht mehr auf, bis die Moleküle durch den Hals in ihren Urzustand zurückfallen. Der Laserpuls steuert die Dicke des Halses und damit die Zeit, in welcher der stabile Zustand existieren kann.

## Superconductivity in the Hourglass

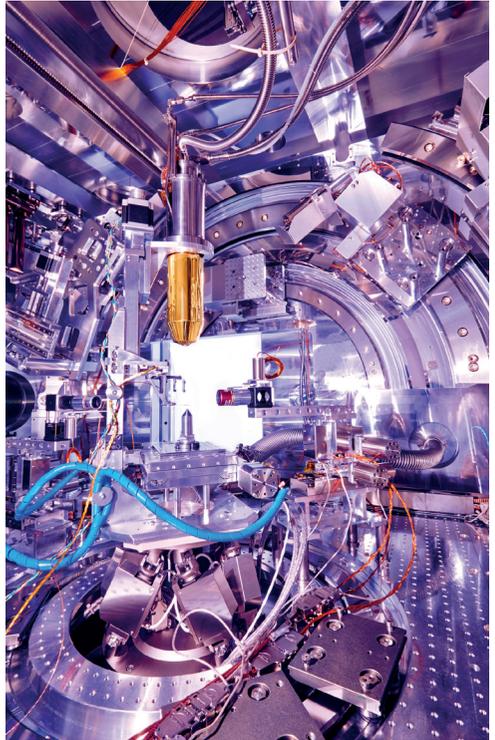
Superconductivity was previously only possible at extremely low temperatures. In a new experimental setup, an intense short infrared laser pulse triggers superconductivity even at high temperatures. The pulse excites vibrations in a material made of carbon molecules, forming electron pairs that move rapidly across the atomic lattice without loss for extended periods of time. The hourglass symbolizes the extension of the superconducting state: At the top, the state is excited and dissipates more with each layer until the molecules fall back through the neck to their original state. The laser pulse controls the thickness of the neck and thus the duration for which the stable state can exist.

## Physik bei außergewöhnlichen Energien

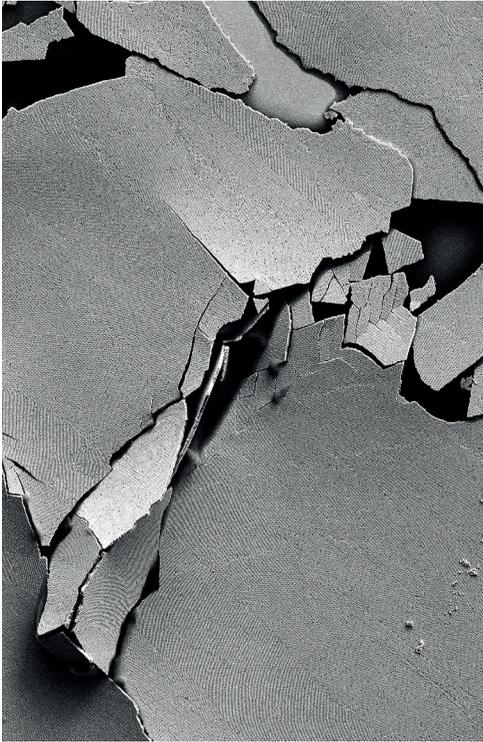
In der großen Wechselwirkungskammer des Hochenergiedichte-Instruments werden leistungsstarke Laserpulse auf Punkte fokussiert, die kleiner sind als der Durchmesser eines menschlichen Haares. In Materie entstehen dadurch extrem heiße Plasmen, die nur den Bruchteil einer Sekunde existieren. Im Herzen der Kammer wird ein neues Probenzuführungssystem getestet, das Gase auf bis zu  $-260^{\circ}\text{C}$  abkühlen kann. Das System stößt das gekühlte und verflüssigte Gas als sich schnell bewegendes Flüssigkeitsstrahl aus und ermöglicht die Untersuchung von Plasmen mit hochintensivem Röntgenlicht. Die Untersuchungen versetzen uns in das Zentrum extremer und energiereicher Systeme, wie z. B. das Innere von Gasriesenplaneten.

## Physics at Extraordinary Energies

In the large interaction chamber at the high-energy density instrument, powerful laser pulses are focused to spots smaller than the diameter of a human hair. When interacting with matter, extremely hot plasmas are created that live for a just a tiny fraction of a second. In the heart of the chamber, a new sample delivery system is tested, capable of cooling gases down to  $-260^{\circ}\text{C}$ . The system ejects the cooled and liquified gas as a fast-moving liquid jet, allowing the study of plasmas using brilliant X-ray light. The studies put us in the center of extreme and energetic systems, such as the interior of gas giant planets.



© CUI, Fotograf: Peter Garten;  
HED-Experimentierstation am European XFEL



© Florian Schulz, Holger Lange (Universität Hamburg)

## Gebrochener Superkristall

Wie funktioniert die Selbstorganisation von Nanopartikeln? Das Bild aus dem Rasterelektronenmikroskop zeigt einen Superkristall aus Goldnanopartikeln, die sich selbst organisiert haben. Die Polymere, die die Partikel stabilisieren und die Selbstorganisation steuern, führen zu einem steifen Film. Bei der Übertragung auf ein leitfähiges Substrat brach der Film jedoch, was zu dieser fragmentierten Anordnung führte, die an den Bruchkanten einen Blick auf die innere Struktur ermöglicht.

## Broken Supercrystal

How does the self-organization of nanoparticles work? The image from the scanning electron microscope displays a gold nanoparticle supercrystal that self-assembles. The polymers that stabilize the particles and guide the self-assembly lead to a stiff film. However, when transferred to a conductive substrate, the film broke, resulting in this raw-looking assembly, allowing a view of the internal structure at the edges.

## Goldkugel

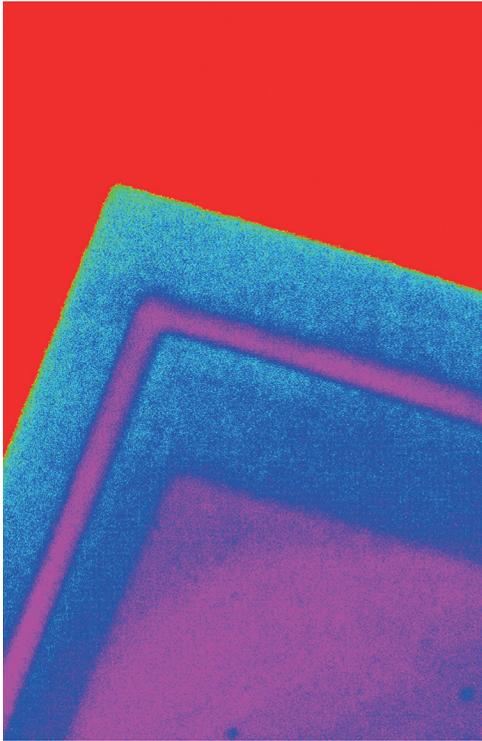
Diese faszinierende Aufnahme mit einem Rasterelektronenmikroskop zeigt eine Kugel mit einem Durchmesser von 2 Mikrometern, die aus Goldnanopartikeln mit einem Durchmesser von 40 Nanometern besteht. Die Goldnanopartikel sind mit einer stark unter Spannung stehenden Polystyrolhülle versehen, deren Polymere die Wechselwirkung mit sich selbst bevorzugen. Sobald sich die Spannung zum Beispiel an einer Bruchkante entladen kann, rollt sich der Nanopartikelfilm auf und bildet eine dicht gepackte Kugel.

## Golden Sphere

This fascinating image taken with a scanning electron microscope shows a sphere with a diameter of 2 micrometers consisting of gold nanoparticles with a diameter of 40 nanometers. The gold nanoparticles are coated with a strained polystyrene shell, whose polymers prefer to interact with themselves. As soon as the strain can relax, for instance at newly formed edges, the nanoparticles roll up and form a tightly packed sphere.



© Florian Schulz, AG Lange (Universität Hamburg)



© Andreas Kornowski (Universität Hamburg)

## Nanoblätter

Der steigende Bedarf nach effizienter Energieumwandlung und die Abkehr von der Verbrennung fossiler Brennstoffe erfordern innovative Materialsysteme. Für die Untersuchung des Transports von Ladungsträgern in heterostrukturierten Halbleitersystemen eignen sich zum Beispiel Zinnsulfid-Nanoblätter (SnS), die mit Zinnselenid (SnSe) umrandet sind. Das eingefärbte hochaufgelöste transmissionselektronenmikroskopische Bild zeigt einen Ausschnitt eines nasschemisch hergestellten heterostrukturierten SnS@SnSe-Nanoblatts.

## Nanosheets

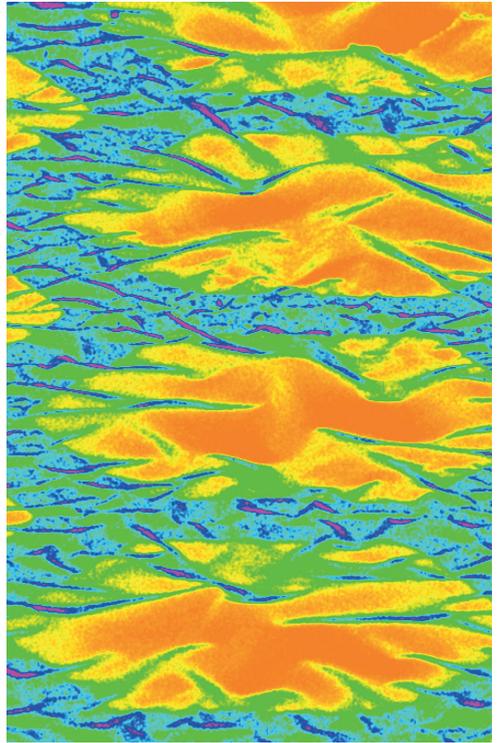
The increasing demand for efficient energy conversion and the move away from burning fossil fuels require innovative material systems. For studying the transport of charge carriers in heterostructured semiconductor systems, SnS nanosheets framed with tin selenide (SnSe) are suitable. The colored high-resolution transmission electron micrograph shows a section of a wet-chemically produced heterostructured SnS@SnSe nanosheet.

## Phasenumwandlung

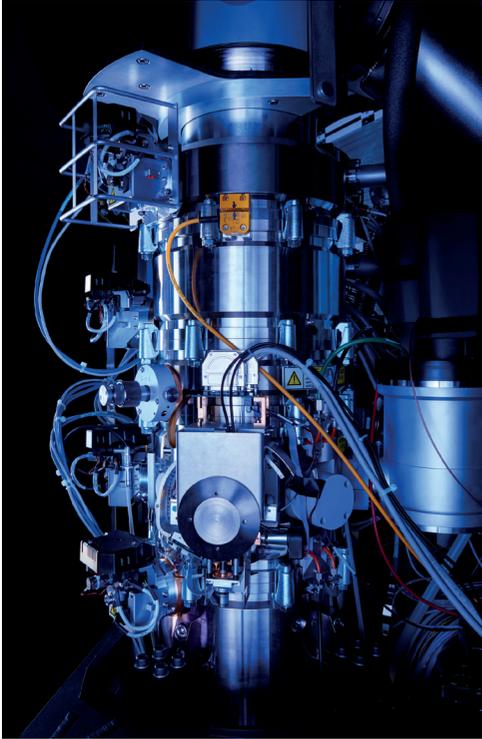
Die rasterelektronenmikroskopische Aufnahme zeigt die Schnittfläche eines Indiumselenid-Einkristalls, der zuvor mithilfe eines Mikrotoms präpariert und auf ein TEM-Grid überführt wurde. Durch Erhitzen ändert sich die Kristallstruktur und die Fläche ist nicht mehr glatt, sondern zeigt eine gewellte Unebenheit. Zur Verdeutlichung ist das Profil mithilfe einer Farbskala dargestellt.

## Phase Transformation

The scanning electron micrograph shows the cut surface of an indium selenide single crystal that was previously prepared using a microtome and transferred to a TEM grid. Heating changes the crystal structure, and the surface is no longer smooth but shows a wavy unevenness. For clarity, the profile is shown with color scale.



© AG Weller (Universität Hamburg)



© CUI, Fotograf: Peter Garten;  
Kryo-Elektronenmikroskop, Centre for  
Structural Systems Biology

## Hochmoderne Bildgebung

Die Kryo-Elektronenmikroskopie macht die Strukturen biologischer Moleküle und Komplexe mit hoher Auflösung sichtbar: Eine Probe des Moleküls wird in einer dünnen Eisschicht eingefroren und dann mit hochenergetischen Elektronen beschossen, um ein dreidimensionales Bild zu erzeugen. Die revolutionäre Kryo-EM ermöglicht es Forschenden, detaillierte Informationen über biologische Moleküle zu erhalten, darunter Proteine, Viren und sogar Zellorganellen. Das Foto zeigt das Innere eines 300 keV-Hochleistungs-Kryo-Elektronenmikroskops, mit dem hochauflösende Bilder erstellt werden, die die molekularen Strukturen und Mechanismen bei der Interaktion zwischen Wirt und Krankheitserreger enthüllen.

## Cutting-edge Imaging Technique

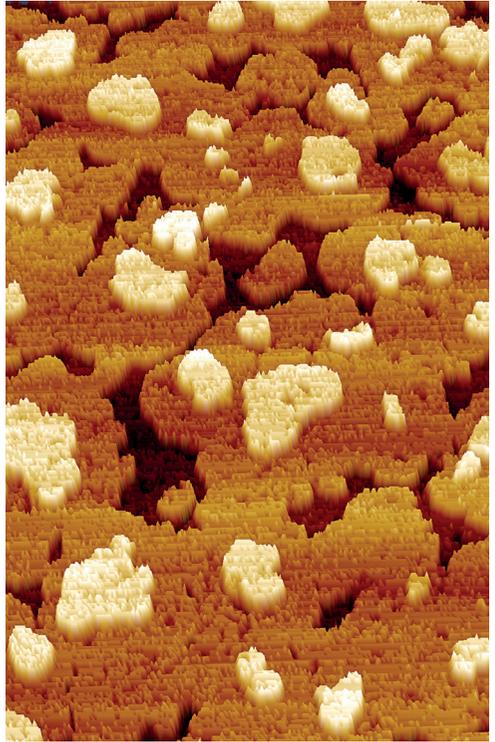
Cryo-electron microscopy visualizes the structures of biological molecules and complexes at high resolution: This technique involves freezing a sample of the molecule in a thin layer of ice, and then bombarding it with high-energy electrons to create a 3D image of the sample. Revolutionary Cryo-EM enables scientists to obtain detailed information on biological molecules, including proteins, viruses, and even cellular organelles. The photograph shows the inside of a high-end 300 keV cryo-electron microscope, which creates high-resolution images that unveil the molecular structures and mechanisms involved in host-pathogen interactions.

## Dünnschichten

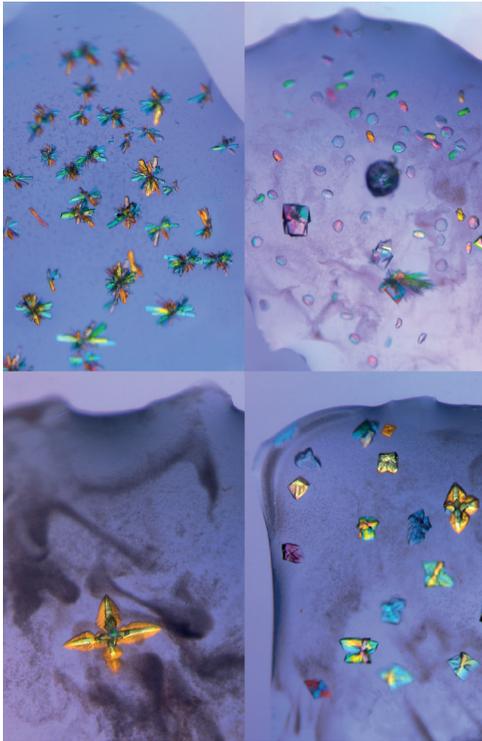
Die rasterkraftmikroskopische Aufnahme zeigt jeweils einen Nanometer dicke Dünnschichten aus Fulleridsalzen, die durch das Verfahren der Molekularstrahl-epitaxie und schichtweises Wachstum hergestellt wurden. Auf dem Bild sind nur die drei obersten von zehn Schichten zu erkennen. Die bedeutendste Eigenschaft dieser Fulleridsalze ist ihre Supraleitfähigkeit. In Kombination mit ultraschnellen Transporttechniken werden sie daher zur Untersuchung lichtinduzierter supraleitender Zustände verwendet.

## Thin Films

The Atomic Force Microscope image shows thin films, each one nanometer thick, of fulleride salts prepared by molecular beam epitaxy and layer-by-layer growth. Only the top three of ten layers are visible in the image. The most significant property of these fulleride salts is their superconductivity. In combination with ultrafast transport techniques, they are therefore used to study light-induced superconducting states.



© Dr. Eryin Wang, Humboldt Fellow,  
AG Cavalleri (Max-Planck-Institut für  
Struktur und Dynamik der Materie)



© Alexander Berkes, Eike Schulz,  
AG Pearson (Universität Hamburg)

## Kristallformen

Die Aufnahmen wurden mit einem Durchlichtmikroskop gemacht und zeigen verschiedene Formen von Kristallen, die aus dem Protein Beta-Lactamase bestehen. Diese Kristalle sind nur etwa 100 Mikrometer groß und haben sich aus demselben Protein in Lösung jeweils unter leicht unterschiedlichen chemischen Bedingungen gebildet. Die Aufnahmen verdeutlichen die Schwierigkeit, eine gewünschte Kristallform zu züchten. Die bunten Farben entstehen durch einen Polarisationsfilter und die Eigenschaft der Kristalle, unterschiedlich polarisiertes Licht unterschiedlicher Wellenlänge verschieden stark zu brechen.

## Forms of Crystals

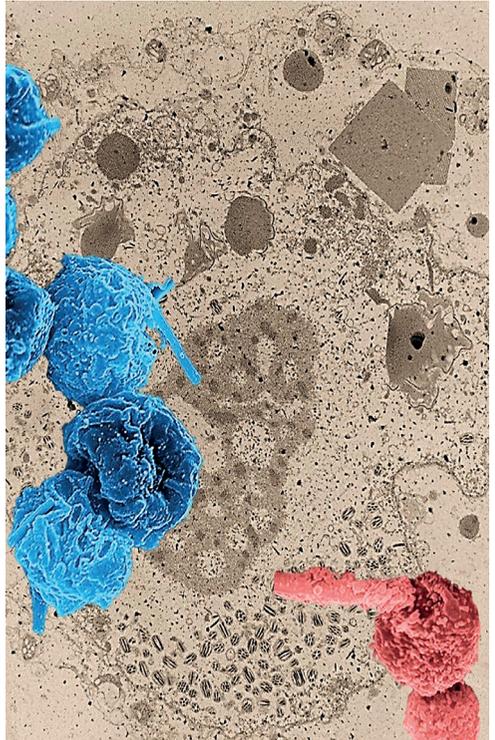
The images show different forms of crystals consisting of the protein beta-lactamase and were taken with a transmitted light microscope. These crystals are only about 100 micrometers in size and have formed from the same protein in solution. In each image slightly different chemical conditions were used. The photographs illustrate the difficulty of growing a desired crystal shape. The use of a polarization filter and the property of the crystals to refract polarized light of different wavelengths differently makes the crystals appear colorful.

## Nadelförmige Kristalle

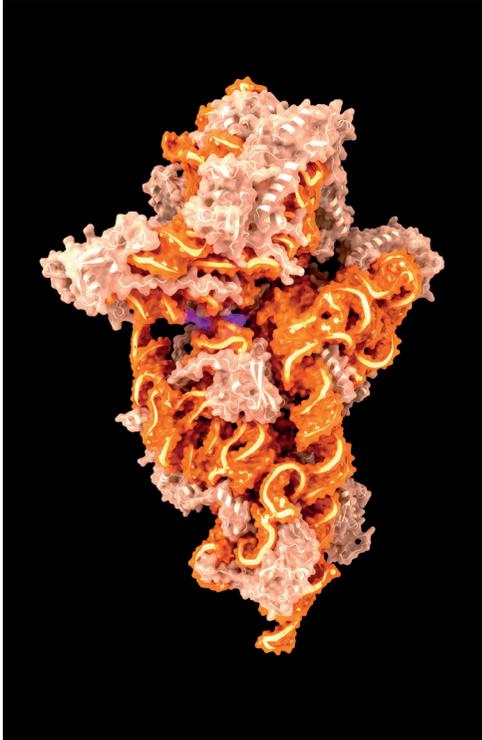
Das Bild entstammt einer Serie von raster- und transmissionsmikroskopischen Aufnahmen von bestimmten Insektenzellen, die dazu gebracht wurden, Biomoleküle in ihrem Inneren zu kristallisieren: Diese nadelförmigen Kristalle wurden rund 5 tausendstel Millimeter dick und bis zu 70 Mikrometer lang, so dass einige Kristalle sogar aus den produzierenden Zellen herausstachen. Mit Hilfe von sehr hellem Röntgenlicht konnte die Struktur der kristallisierten Biomoleküle dann analysiert werden. So lässt sich herausfinden, wie zum Beispiel Parasiten-Enzyme blockiert werden können, um passgenaue Medikamente zu entwickeln.

## Needle-shaped Crystals

The image is derived from a series of scanning and transmission microscopic images of certain insect cells that have been induced to crystallize biomolecules in their interior: These needle-shaped crystals became about 5 thousandths of a millimeter thick and up to 70 micrometers long, so that some of the crystals even protruded from the producing cells. The structure of the biomolecules crystallized could then be analyzed with the help of very bright X-ray light. In this way scientists can find out how parasite enzymes, for example, can be blocked in order to develop precisely tailored drugs.



© AG Betzel (Universität Hamburg)



© Elektronenmikroskopie: Schubert et al. (Protein-Datenbank-Eintrag 6Z0J), Rendering (Lizenz: CC-BY-SA): Lisa Schmidt, Johannes Kaub, AG Thorn (Coronavirus Structural Task Force, Universität Hamburg)

## Virusfabrik

Wenn das Coronavirus SARS-CoV-2 eine Lungenzelle infiziert, dann übernimmt es diese Zelle und wandelt sie in eine „Virusfabrik“ um, die mehr Viren herstellt. Das Bild zeigt den ersten Schritt dieser Übernahme: Ein winziges Eiweißmolekül des Virus (violett) blockiert einen Teil des Ribosoms (orange), sodass die Zelle fortan nur noch die Proteine des Virus herstellen kann, und nicht mehr ihre eigenen, um sich, zum Beispiel, gegen die Infektion zu verteidigen. Die Coronavirus Structural Task Force hat diesen Vorgang für Forschende genau beschrieben, um Medikamente gegen COVID-19 zu entwickeln.

## Virus Factory

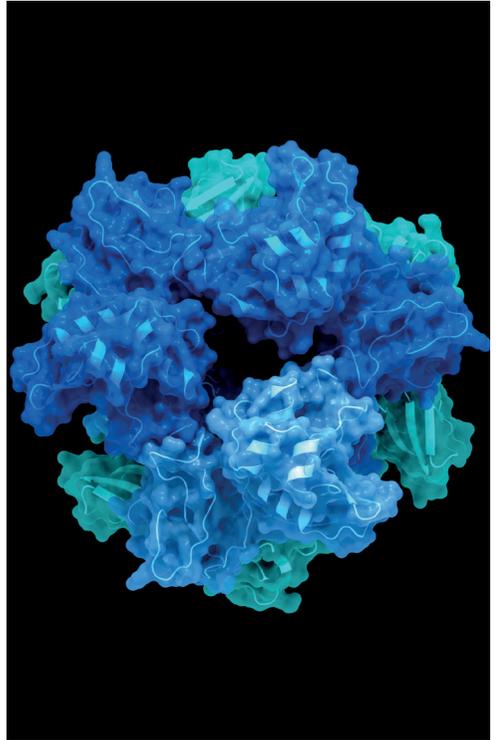
When the SARS-CoV-2 coronavirus infects a lung cell, it converts it into a „virus factory“ that produces more viruses. The picture shows the first step of this takeover: A tiny protein molecule of the virus (purple) blocks part of the ribosome (orange) so that the cell can subsequently only produce the proteins of the virus and no longer its own in order, for example, to defend itself against the infection. The Coronavirus Structural Task Force has described this process in detail, in order to develop drugs against COVID-19.

## Symmetrischer Proteinkomplex

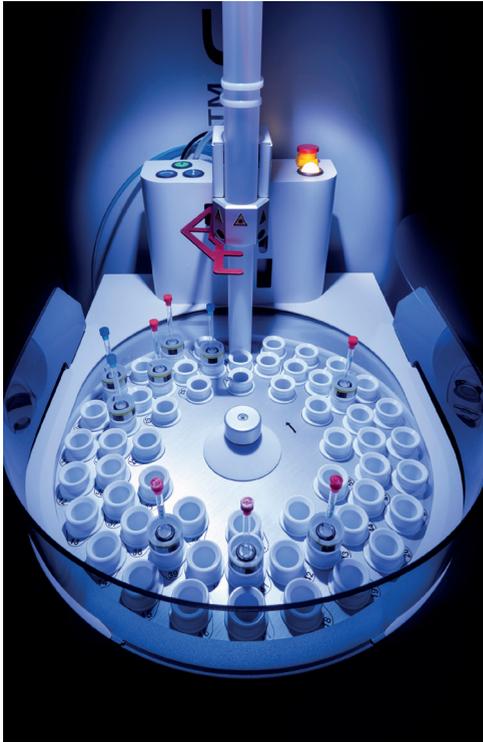
Dieses Proteinmolekül wird in Zellen produziert, die vom Coronavirus infiziert wurden. Ein einzelnes Molekül (hellblau) bildet mit zwei weiteren (blau) ein sogenanntes Trimer. Ein zweites Trimer (türkis) bindet auf der Rückseite an das erste. Die insgesamt sechs Einheiten bilden so zusammen einen symmetrischen Proteinkomplex. Dieser Komplex zerstört RNA-Bruchstücke, die beim Kopieren des Virus-Genoms versehentlich entstehen. Ohne diesen Mechanismus würde das Immunsystem unseres Körpers unkontrolliert auf das Virus reagieren.

## Symmetrical Protein Complex

This large protein molecule is produced in cells infected by the coronavirus. A single protein molecule (light blue) binds to two additional molecules to form a trimer. A second trimer (turquoise) then binds to the bottom of the first trimer to form a hexamer. Together, these six molecules form a symmetrical protein complex, which chews up stray pieces of RNA which are accidentally produced when the virus genome is replicated. Left unchecked, this stray RNA would alert our immune system.



© Röntgenkristallografie: Y. Kim et al.  
(Protein-Datenbank-Eintrag 6X4I), Rendering  
(Lizenz: CC-BY-SA): Lisa Schmidt, Dr. Sam Horrell,  
AG Thorn (Coronavirus Structural Task Force,  
Universität Hamburg)



© CUI, Fotograf: Peter Garten;  
Probenwechsler, AG Pearson (Universität Hamburg)

## Die Welt verändern – eine Probe nach der anderen

Wissenschaftliche Forschung erfordert die Analyse vieler Proben mit leistungsstarken, aber zeitaufwändigen Techniken. Damit die Forscher ihre Zeit effizient nutzen können, werden Probenwechsler wie der auf dem Bild eingesetzt. Die Forschenden legen die benötigte vorbereitete Probe in den Probenwechsler, der Probenwechsler erledigt den Rest: Er wartet, bis das Analysegerät zur Verfügung steht, und transportiert die Probe rechtzeitig zum und vom Gerät. Auf diese Weise können viele Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Analysen durchführen, ohne Zeit und Mühe zu verschwenden.

## Changing the World, one Sample at a Time

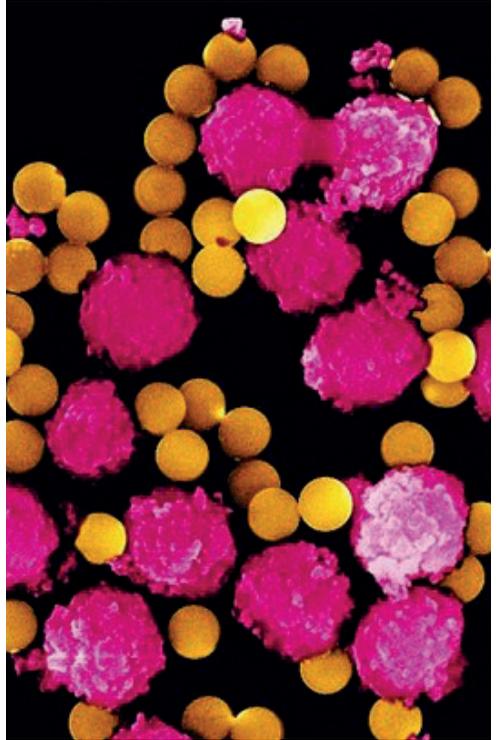
Scientific research requires the analysis of many samples using powerful, but time-consuming techniques. In order for researchers to use their time efficiently, sample changers such as the one in the picture are employed. The scientist places the prepared sample into the sample changer, the sample changer takes care of the rest, waiting for the analytical device to become available and transferring the sample to and from the device in a timely manner. In this way, many scientists can perform analyses without wasting time and effort.

## Verfolgungs-Kugeln

In dieser Aufnahme aus dem Rasterelektronenmikroskop mischen sich magnetische Kügelchen mit einem Durchmesser von einem Mikrometer (rosa) und Polystyrolkugeln mit einem Durchmesser von 500 Nanometern (gelb). Die rosa Kügelchen bestehen aus einem Eisenkern mit einer silikonbeschichteten Oberfläche und können dank ihrer magnetischen Eigenschaften zur Extraktion von DNA-Molekülen aus biologischen Proben wie Blut oder Speichel verwendet werden. Die stark fluoreszierenden Polystyrolkugeln helfen bei der Verfolgung der magnetischen Kügelchen und bei der Beobachtung von Flusslinien in mikrofluidischen Geräten und Lab-on-a-Chip-Systemen. Das Bild wurde offline eingefärbt.

## Tracking Beads

In this image from the scanning electron microscope, magnetic beads with a one-micrometer diameter (pink) and polystyrene beads with a diameter of 500 nanometers (yellow) mix. The pink beads consist of an iron core with a silicone-coated surface and, thanks to their magnetic properties, can be used to extract DNA molecules from biological samples such as blood or saliva. Due to their strong fluorescence properties, the polystyrene beads help in tracking the magnetic beads and observing flow lines in microfluidic devices and lab-on-a-chip systems. The image was colored offline.



Coverbild: © Franziska Esmek,  
Irene Fernandez-Cuesta (Universität Hamburg)

# Das Zusammenspiel von Kunst und Wissenschaft

Auch wenn sich die Untersuchungsmethoden und die Sprache unterscheiden, so sind Kunst und Naturwissenschaft doch nicht voneinander trennbar. Im Gegenteil: Wie in einem Tanz treten sie in Beziehung zueinander und nehmen aufeinander Einfluss.

Der Fortschritt in den Naturwissenschaften, speziell in der Physik und Chemie, wird von Neugier nach Wissen und Verständnis getrieben sowie der Suche nach den grundlegenden Prinzipien, welche für die Komplexität in der Natur verantwortlich sind. Angesichts des Reichtums und der enormen Vielfalt an Strukturen und Phänomen in der Natur ist es sehr überraschend, dass nur wenige fundamentale Prinzipien diese riesige Bandbreite organisierter Strukturen bestimmen sollen. Die Erfolge in den modernen Naturwissenschaften haben jedoch eindrucksvoll belegt, wie gewinnbringend und zielführend es für die Forschung ist, von wenigen fundamentalen Prinzipien auszugehen.

Zusätzlich zum wissenschaftlichen Streben nach Erkenntnis bieten die Naturwissenschaften eine beeindruckende Schönheit, die sich in vielen Visualisierungen zeigt und einen faszinierenden ästhetischen Blick auf die Wissenschaft bietet.

Zwar beschreiten Kunst und Naturwissenschaft unterschiedliche Wege zum Verständnis unserer Welt, doch sie nehmen Einfluss aufeinander. Die Schnittmenge ist das STAUNEN: der Wunsch, Dinge zu verstehen und Neues zu lernen, ausgelöst durch etwas Schönes, Besonderes oder Unbekanntes. Das Erstaunen führt dazu, dass wir weiter fragen und in die Tiefe gehen.

Visualisierungen erfüllen abstrakte physikalische Prinzipien mit Leben und machen die Forschung einem breiteren Publikum zugänglich. Die Wissenschaft erweitert unsere Sinne; sie lässt uns mikroskopische Welten und Sonnensysteme sehen, geschichtliche Ereignisse verstehen und Zukünftiges erkennen. Sie formt unser Verständnis von uns selbst und der uns umgebenden Welt. Sie beeinflusst unser Handeln, unsere Träume und unser Streben – und damit Kunst und Design.

## The interplay of arts and science

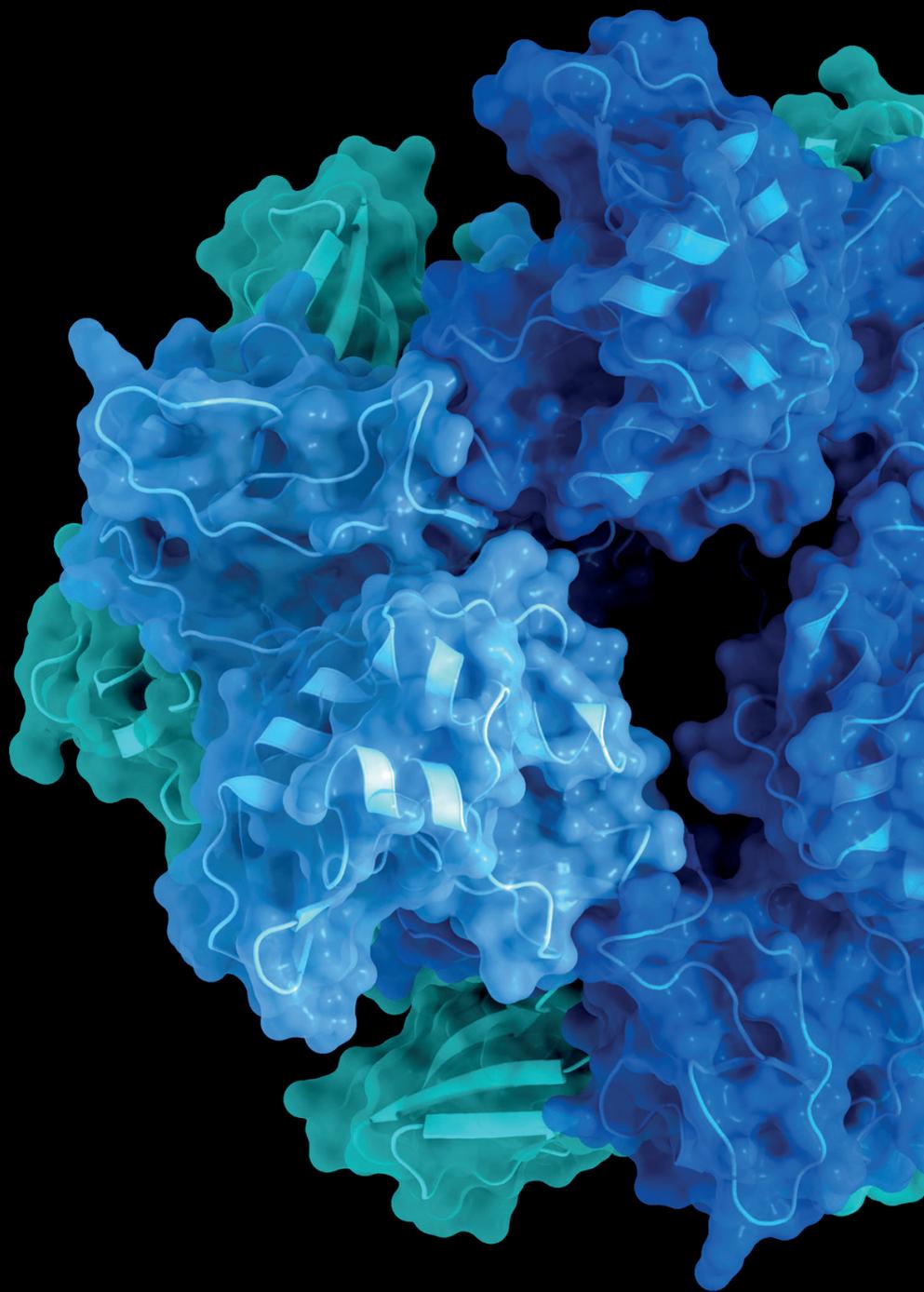
As much as the methods of investigation and the language we use to describe our work differ between art and the natural sciences, the two fields are not separate but enfolded into each other, each supporting the other's unique dance.

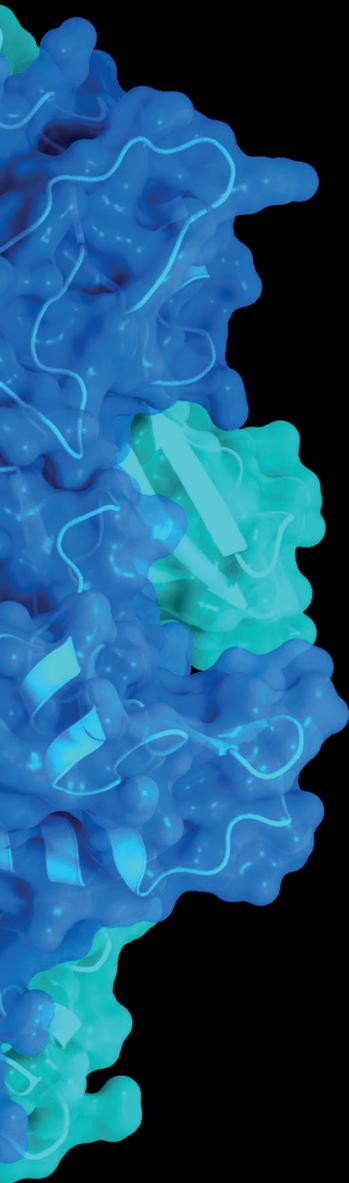
The advancement of the natural sciences and specifically of physics and chemistry is driven by human curiosity and the search for the fundamental principles that are responsible for the complexity we observe in nature. In view of the wealth and enormous diversity of structures and phenomena occurring in nature, it comes as a surprise that a few fundamental principles might govern this huge range of organized structures. The success story of modern natural science, however, has impressively demonstrated that the idea of few principles is a most fruitful starting point for scientific progress.

Besides the scientific quest for understanding, the natural sciences offer an impressive beauty which is manifest in many visualized research results – offering a fascinating aesthetic view on science.

Although art and the natural sciences follow two different ways of understanding our world, they could certainly influence one another. The overlap, as a common saying states, is WONDER: the desire to know and learn something, caused by something beautiful, remarkable, or unfamiliar. It is a feeling of amazement that leads us to ask deeper questions and investigate further.

Visualizations bring abstract physical principles to life and expand science's reach to a wider audience. The skillful engagement with a specimen to obtain a perfect microscopic image involves as much embodied skill as any other form of craft. Science expands our bodily senses, enabling us to see microscopic worlds and solar systems, conceive of long-gone histories and project the future. It shapes our understanding of self and the world around us. It influences our actions as well as our dreams and aspirations – and with it our art and design.





**Mehr Informationen über:  
More information about:**



CUI: Advanced  
German



CUI: Advanced  
English

Unsere Partner / Our partners:

