

Neue Batterien für mehr Klimaschutz
New Batteries for More Climate Protection



Körper-Preis für die Europäische Wissenschaft 2021

Körper European Science Prize 2021

- 04 Vorwort
Preface
- 12 Das Projekt
The Project
- 36 Die Preisträgerin
The Prize Winner
- 38 Interview mit Tatjana König
Interview with Tatjana König
- 40 Die Gremien
The Committees
- 42 Körper-Preise seit 1985
Körper Prizes Since 1985

Krisenkonkurrenz

Competing Crises

»Es war die beste und die schlimmste Zeit, ein Jahr der Weisheit und des Unsinns«, so könnte man, Charles Dickens paraphrasierend, das letzte Jahr für die Wissenschaft resümieren. Keine Rede kam aus, ohne das Hohelied der Wissenschaft zu singen, die uns früher oder später diese Pandemie besiegen lassen wird. Und tatsächlich ist es nahezu unglaublich und faszinierend zu sehen, wie hier in einer globalen Anstrengung Fortschritte erzielt wurden, die man kaum für möglich gehalten hätte. Gute Zeiten also wahrhaftig für die Sache der Wissenschaft, wie auch die Vertrauenszuwächse in aktuellen Umfragen belegen. Aber schlimme Zeiten eben auch, weil die Stimme der Vernunft längst nicht überall sich Gehör verschaffen konnte, schwierige Zeiten auch, weil von Wissenschaft Sicherheit und Gewissheit erwartet wurde, wo sie nur Wahrscheinlichkeiten, Modelle und Prognosen liefern konnte – was auch sonst?

Schwierige Zeiten aber auch, weil die Pandemie wie ein extrem starker Magnet wirkte, der alle Aufmerksamkeit an sich zog. Unbestritten ist: Die Pandemie erforderte eine Konzentration vieler Anstrengungen und nicht zuletzt massive staatliche und private Investitionen in die Entwicklung von Impfstoffen und jetzt auch Arzneimitteln. Wie sich das mittelfristig auf die Forschungsförderung auswirken wird, ist noch nicht klar abzusehen. Klar jedoch ist eine Verlagerung der Aufmerksamkeit hin auf die Bewältigung dieser unmittelbar lebensbedrohlichen Krise und weg von den Herausforderungen, die uns bis dahin die zentralen zu sein schienen, allen voran die Klimakrise, deren Auswirkungen die Lebensbedingungen mutmaßlich der gesamten Menschheit berühren werden.

So unabweisbar eine sofortige und massive Reaktion gefordert war und ist, so verkehrt wäre es in dieser Situation, die Anstrengungen zur Bewältigung dieser anderen Herausforderungen aus dem Blick zu verlieren. Umso mehr freuen wir uns, mit der diesjährigen Preisträgerin des Körber-Preises für die Europäische Wissenschaft eine Forscherin auszuzeichnen, deren Grundlegendurchbrüche im Bereich der Batterieforschung dazu angetan sind, dem Ziel der CO₂-Neutralität in der Verkehrs- und Energiewende einen großen Schritt näher zu kommen. Die Chemikerin Clare Grey von der Universität Cambridge verschafft uns mit der Anwendung neuer spektroskopischer Methoden völlig ungeahnte Einblicke in die Lade- und Entladevorgänge von Batterien und trägt damit entscheidend zur Steigerung von deren Leistungsfähigkeit bei. Clare Greys Forschung leistet unzweifelhaft einen Beitrag zur Bewältigung der »Grand Challenges«, vor denen wir derzeit stehen – ganz im Sinne der Idee unseres Stifters, dass »Wissenschaft einen Beitrag zur

»It was the best of times, it was the worst of times, it was the age of wisdom, it was the age of foolishness.« These words from Charles Dickens can be used to summarize the last year for science. There was no speech that did not sing the praises of science, which sooner or later would enable us to conquer the pandemic. And in fact it is nearly beyond belief as well as fascinating to see how progress has been achieved in a global effort that we would hardly have thought possible. These are truly good times for the cause of science, as is substantiated by the increase in trust shown in recent polling. Yet they are bad times, too, because the voice of reason has not managed to be heard everywhere, and bad ones furthermore because security and certainty are expected from science where it has only been able to provide probabilities, models, and prognoses—whatever else?

They are, moreover, difficult times because the pandemic has worked like an extremely powerful magnet, pulling all attention to itself. It is undisputed that the pandemic demands a concentration of numerous efforts and, not least, massive government and private investments in the development of vaccines and now medication as well. We cannot clearly predict how this will affect the funding of research in the medium term. It is clear, however, that there has been a shift of attention to overcoming this immediate and life-threatening crisis and away from the challenges that until now appeared to be central to us, most of all the climate crisis, whose consequences will presumably affect all of mankind.

As indisputable as the demands for an immediate and massive reaction have been, it would be just as amiss in this situation to lose sight of the efforts to deal with these other challenges. We are thus all the more pleased to present this year's Körber Prize for European Science to a scientist whose breakthroughs in basic research in the field of battery research are likely to help us take a big step closer toward the goal of CO₂ neutrality in the traffic sector and the energy transformation. The chemist Clare Grey from Cambridge University has employed new spectroscopic methods giving us completely unimaginable insights into the charging and discharging processes in batteries, contributing decisively to an increase in their performance. Clare Grey's research undoubtedly contributes to overcoming the grand challenges that we now face, entirely in the sense of our founder's idea that science must make »a contribution to improving our living conditions.« It is to her that we extend our sincere congratulations!



Verbesserung unserer Lebensbedingungen« leisten müsse. Ihr gilt daher unser ganz herzlicher Glückwunsch!

Unser Dank gilt den Gremien des Preises und dem Vorsitzenden unseres Kuratoriums, Professor Martin Stratmann, denn sie tragen nicht nur maßgeblich zum Erfolg und Renommee des Preises bei, sondern schaffen es jährlich aufs Neue, Preisträgerinnen und Preisträger vom Format Clare Greys zu identifizieren. Und in diesem Fall könnte man fast glauben, eine List der Vernunft hätte sie zu dieser Wahl bewogen: In einer Zeit der Krise des europäischen Projektes beharren sie darauf, dass zumindest in der Sphäre der Wissenschaft nationale Abschottung keine Option sein sollte. Für den Körber-Preis jedenfalls wird Großbritannien weiterhin ein geschätzter Mitbewohner im Haus der europäischen Wissenschaft sein. Das hätte auch unserem Stifter Kurt A. Körber mehr als gefallen, denn seine Absicht war es von Anfang an, mit dem Preis die Idee eines einigen und kooperierenden Europas voranzutreiben, wusste er doch genau, dass in einer starken europäischen Gemeinschaft der Schlüssel zu Freiheit, Demokratie und Wohlstand verborgen liegt.

Our thanks go to the committees behind the Prize and to the chairman of the Trustee Committee, Professor Martin Stratmann. Together they not only make a decisive contribution to the success and reputation of the Prize, but succeed every year once again in identifying Prize winners of the format of Clare Grey. And in this case one might almost believe that it was the cunning of reason that led them to make this choice: In a period of the crisis of the European project, they insist that national isolation should not be an option, at least not in the sphere of science. For the Körber European Science Prize at any rate, Great Britain will continue to be a valued member in the house of European science. This choice would have more than pleased the foundation's founder, Kurt A. Körber, for it was his intention from the very beginning for the Prize to promote the idea of a united and cooperative Europe. He was very aware that the key to freedom, democracy, and prosperity is enconced in a strong European community.

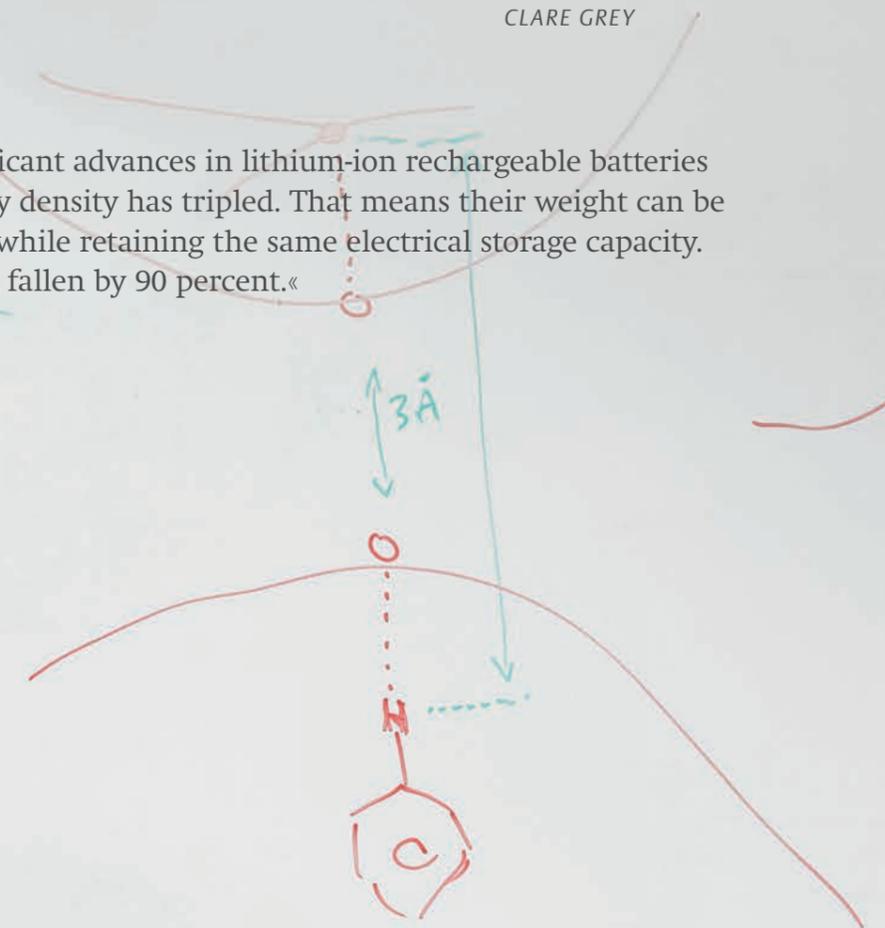
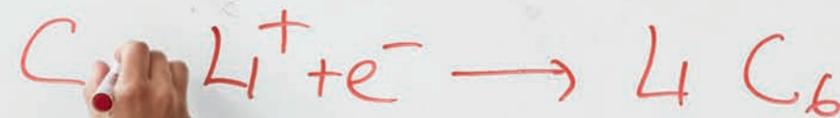
Matthias Mayer

Leiter des Bereichs Wissenschaft der Körber-Stiftung | Head of the Department of Science at Körber-Stiftung

»Seit 1991 gab es bei den Lithium-Ionen-Akkus deutliche Fortschritte. Ihre Energiedichte hat sich seitdem verdreifacht. Das heißt, ihr Gewicht hat sich bei gleichem elektrischem Speichervermögen gedrittelt. Zudem sind die Preise um 90 Prozent gefallen.«

CLARE GREY

»There have been significant advances in lithium-ion rechargeable batteries since 1991. Their energy density has tripled. That means their weight can be reduced by two thirds, while retaining the same electrical storage capacity. In addition, prices have fallen by 90 percent.«



Clare Grey erklärt die fundamentalen Grundlagen von Lithium-Ionen-Batterien. Die Formeln auf der Tafel beschreiben die Vorgänge beim Aufladen einer Batterie mit einer Kathode aus Lithium-Kobalt-Oxid. Clare Grey explains the fundamental basics of lithium-ion batteries. The equations on the board describe the processes when a battery with a lithium cobalt oxide cathode is being charged.

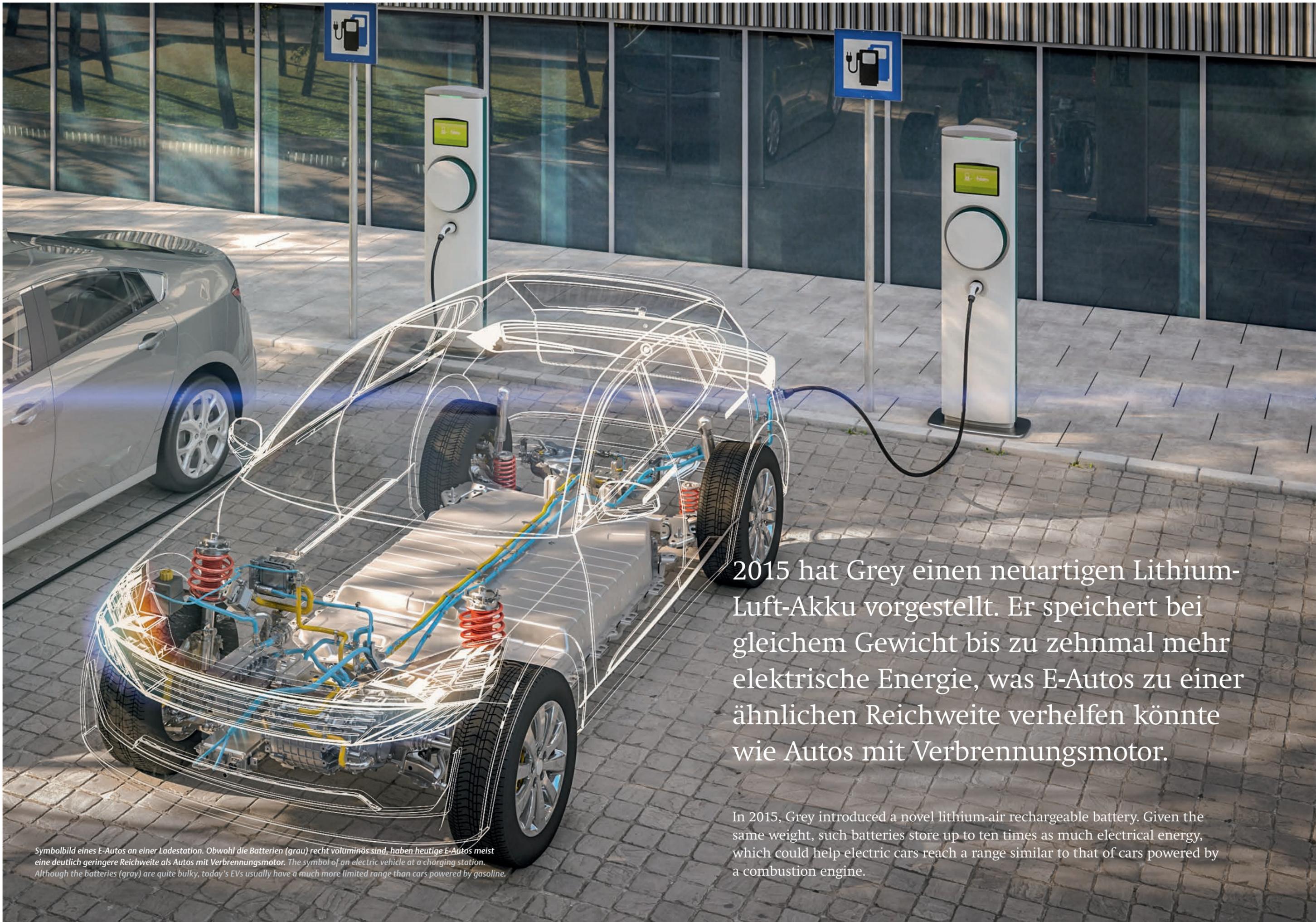


»Elektrochemische Zellen sind komplexe Systeme, in denen eine Vielzahl von Komponenten in faszinierender Weise interagieren. Wir können die Technologie nur voranbringen, wenn wir sehr genau und in jedem Detail verstehen, wie diese Materialien arbeiten und funktionieren.«

CLARE GREY

»Electrochemical cells are complex systems in which a multitude of components interact in a fascinating manner. We can only advance this technology if we understand very precisely and in every detail how these materials work and function.«

In diesem Messgerät – einem Potentiostaten – werden Labormuster von Lithium-Batterien auf ihre elektrochemische Leistungsfähigkeit getestet. Die Batterien unterscheiden sich in der Zusammensetzung ihrer Elektroden und Elektrolyten. This instrument—a potentiostat—is used to test the electrochemical performance of laboratory prototypes of lithium batteries. The batteries differ in the composition of their electrodes and electrolytes.



2015 hat Grey einen neuartigen Lithium-Luft-Akku vorgestellt. Er speichert bei gleichem Gewicht bis zu zehnmal mehr elektrische Energie, was E-Autos zu einer ähnlichen Reichweite verhelfen könnte wie Autos mit Verbrennungsmotor.

In 2015, Grey introduced a novel lithium-air rechargeable battery. Given the same weight, such batteries store up to ten times as much electrical energy, which could help electric cars reach a range similar to that of cars powered by a combustion engine.

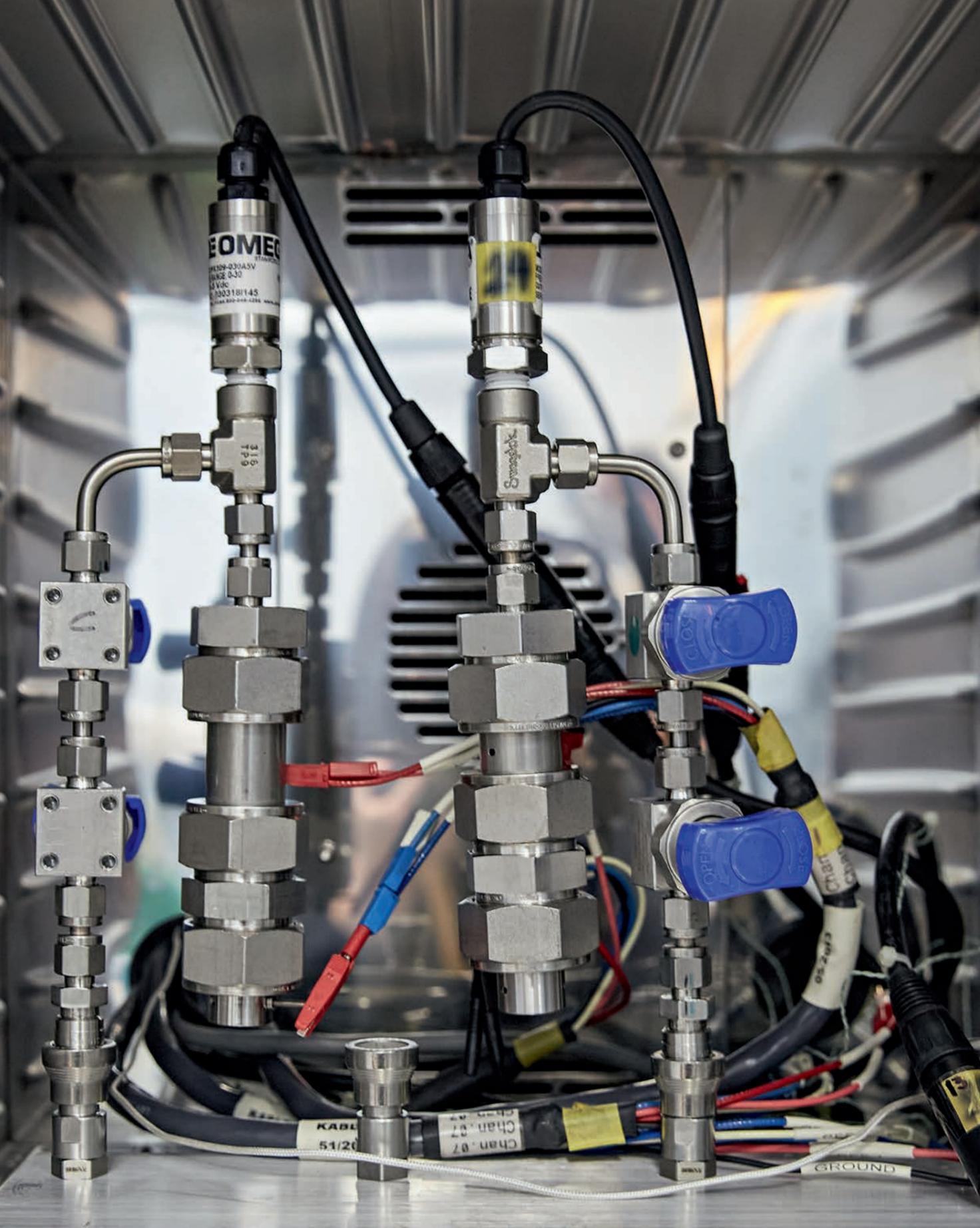
Symbolbild eines E-Autos an einer Ladestation. Obwohl die Batterien (grau) recht voluminös sind, haben heutige E-Autos meist eine deutlich geringere Reichweite als Autos mit Verbrennungsmotor. The symbol of an electric vehicle at a charging station. Although the batteries (gray) are quite bulky, today's EVs usually have a much more limited range than cars powered by gasoline.

Neue Batterien für mehr Klimaschutz New Batteries for More Climate Protection

Die britische Chemikerin Clare Grey leistete Pionierarbeit bei der Optimierung von Batterien mit Hilfe der NMR-Spektroskopie. Diese Technologie ermöglicht nichtinvasive Einblicke in das Innenleben von Batterien – und ähnelt der Kernspintomographie, mit der Ärzte Patienten »durchleuchten«. Greys NMR-Untersuchungen halfen, die Leistung von Lithium-Ionen-Akkus, die etwa Handys oder E-Autos mit Strom versorgen, deutlich zu steigern. Weiterhin war sie maßgeblich an der Entwicklung neuartiger Batterietypen beteiligt – darunter Lithium-Luft-Akkus, die eine zehnfach erhöhte Energiedichte aufweisen, und andere, die sehr schnell aufladen und besonders betriebssicher sind. Zudem forscht Grey an kostengünstigen und langlebigen Speichersystemen für Strom aus regenerativen Quellen. Die Britin sieht ihre Grundlagenforschung als wichtigen Beitrag, um das von der Europäischen Union erklärte Ziel der Klimaneutralität bis 2050 zu erreichen.

The British chemist Clare Grey has performed pioneering work in using NMR spectroscopy to optimize batteries. This technology has made it possible to noninvasively view the inner workings of batteries, analogous to how doctors employ magnetic resonance imaging to screen patients. Grey's NMR studies have helped to significantly increase the performance of lithium-ion rechargeable batteries, which supply power to, for example, mobile phones and electric cars. She was, furthermore, heavily involved in the development of novel types of batteries, including lithium-air rechargeable batteries that have the potential to exhibit a tenfold increase in energy density and other types that recharge very quickly and operate particularly reliably and safely. Grey also conducts research on economical and durable storage systems for electricity produced from renewable sources. She views her basic research as an important contribution to achieving the European Union's declared goal of climate neutrality by 2050.





Testapparatur für neuartige Lithium-Luft-Batterien, die bei gleichem Gewicht rund zehnmahl mehr Energie speichern können als ihre heutigen Pendanten. Lithium-Luft-Batterien nehmen beim Entladen Sauerstoff aus der Luft auf; beim Aufladen geben sie den Sauerstoff wieder ab. Die Apparatur misst den jeweils auftretenden Gasdruck. Test apparatus for novel lithium-air batteries, which at the same weight can store about ten times as much energy as today's counterparts. During discharging, lithium-air batteries take oxygen from the air, releasing it during charging. The apparatus measures the respective gas pressure.

TEXT: CLAUD-PETER SESÍN
FOTOS: ALICE WHITBY

Die ersten Handys erinnerten vom Volumen und Gewicht her an Ziegelsteine. Wirklich handlich wurden sie erst mit den Anfang der 1990er Jahre eingeführten Lithium-Ionen-Akkus. Dieser trotz hoher Leistung relativ leichte Batterie-Typ wurde ursprünglich für die ersten tragbaren Video-Kameras entwickelt, die mit den zuvor üblichen Nickel-Cadmium-Akkus zu stark auf die Schulter gedrückt hätten. Kaum einer der damaligen Ingenieure indes hatte geahnt, mit den Lithium-Ionen-Akkus das Tor für künftige tragbare und internetfähige Kommunikationsgeräte aufzustoßen, geschweige denn zur heutigen Ära der Elektromobilität.

»Seit 1991 gab es bei den Lithium-Ionen-Akkus deutliche Fortschritte«, erklärt Clare Grey. »Ihre Energiedichte hat sich seitdem verdreifacht. Das heißt, ihr Gewicht hat sich bei gleichem elektrischem Speichervermögen gedrittelt. Zudem sind die Preise um 90 Prozent gefallen.« Zu dieser Entwicklung hat die britische Chemikerin entscheidend beigetragen. Grey ist Pionierin bei Untersuchungen von Festkörpern mit Hilfe der NMR-Spektroskopie. Dabei werden Resonanzen von Atomkernen genutzt, um neuartige Einblicke in Materialien wie Batterien zu gewinnen. Mit Hilfe der NMR-Technologie konnte Grey die elektrochemischen Vorgänge beim Laden und Entladen von Akkus im laufenden Betrieb untersuchen und die Bewegung der Lithium-Ionen in und zwischen den unterschiedlichen Batteriematerialien verfolgen.

Clare Grey, 56, studierte Chemie an der britischen Oxford University. Bereits im Alter von 22 Jahren veröffentlichte sie ihren ersten Fachartikel im renommierten Wissenschaftsmagazin »Nature«. Nach ihrer Promotion im Jahr 1991 ging sie an die Radboud-Universität im niederländischen Nijmegen.

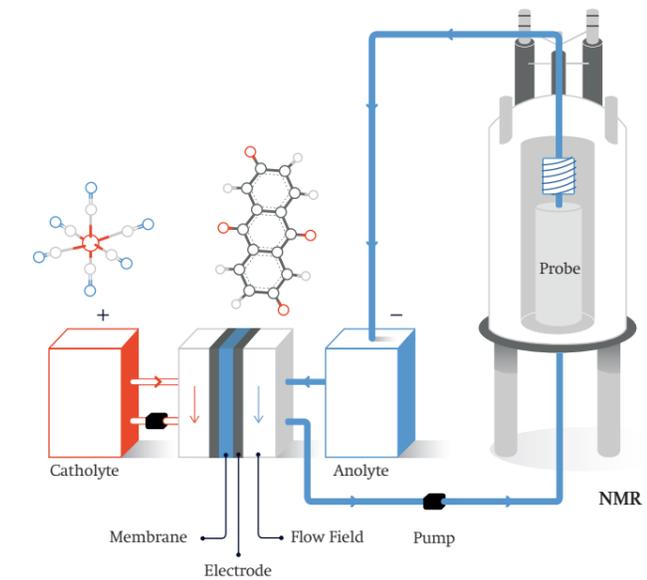
The size and weight of the first mobile phones were reminiscent of a large building brick. The phones did not become truly »handy« until the beginning of the 1990s with the introduction of lithium-ion rechargeable batteries. This type of battery, relatively light despite being powerful, was originally developed for the first portable video cameras, which with the previously customary nickel cadmium batteries were heavy burdens on the user's shoulder. Hardly any of the engineers of the time would have imagined that lithium-ion rechargeable batteries would open the door to future portable and internet-capable communication devices, let alone to the current era of electromobility.

»There have been significant advances in lithium-ion rechargeable batteries since 1991,« according to Clare Grey. »Their energy density has tripled. That means their weight can be reduced by two thirds, while retaining the same electrical storage capacity. In addition, prices have fallen by 90 percent.« The British chemist has made decisive contributions to this development. Grey is a pioneer in using NMR spectroscopy to conduct research on solids. In the process, the resonance of atomic nuclei is used to achieve novel views inside materials such as batteries. With the aid of NMR technology, Grey was able to examine the electrochemical processes that occur during the charging and discharging of rechargeable batteries while they were being used or operated and to follow the movement of lithium ions in and between the various materials in a battery.

Clare Grey, 56, studied chemistry in Great Britain at Oxford University. At the early age of 22, she published her first article in the distinguished science journal »Nature«.



NMR-Spektrometer im Labor von Clare Grey. Der darin enthaltene Elektromagnet erzeugt ein Magnetfeld, das etwa 260.000-mal so stark ist wie das der Erde. Im Innern dieses Spektrometers kann Greys Team unter anderem Mini-Versionen neuartiger Lithium-Akkus in laufendem Betrieb testen. An NMR spectrometer in Clare Grey's laboratory. The electromagnet in it produces a magnetic field that is approximately 260,000 times as strong as that of the Earth. Inside this spectrometer, Grey's team can, for example, test mini versions of novel lithium rechargeable batteries while they are in operation.



Symbolbild eines neuartigen Redox-Fluss-Akkus. Dieser auch als Flüssigkeitsbatterie bekannte Akku-Typ speichert elektrische Energie in zwei externen Chemikalien-Tanks. Auch Redox-Fluss-Akkus können mit Hilfe der NMR-Technologie optimiert werden. Symbol picture of a novel redox flow battery. This type of rechargeable battery, also known as a flow battery, stores electrical energy in two external tanks of chemical solutions. Redox flow batteries can also be optimized using NMR technology.

1992/93 arbeitete Grey als Gastwissenschaftlerin beim US-Chemiekonzern Dupont. Ab 1994 war sie Assistant Professor an der State University of New York at Stony Brook, wo sie 2001 eine volle Professur erhielt. 2009 wurde sie Geoffrey-Moorhouse-Gibson-Professorin an der britischen University of Cambridge. Seit 2011 ist sie zudem Fellow der Royal Society und zurzeit Royal-Society-Professorin.

Schon als Undergraduate-Studentin hatte sich Grey mit NMR-Spektroskopie befasst und damit Metalle wie Zinn untersucht. Das war damals Neuland, denn klassisch untersuchen Physiker und Chemiker die Struktur von Festkörpern meist, indem sie diese mit Röntgenstrahlen beschießen. Die Beugung der Röntgenstrahlen verrät den inneren Aufbau der Proben. Mit dieser Methode konnten die späteren Nobelpreisträger James Watson und Francis Crick 1953 die Doppelhelix-Struktur des Erbmoleküls DNA nachweisen.

KERSCHWINGUNGEN VERRATEN MOLEKÜL-STRUKTUREN

Eine besonders leistungsfähige Alternative dazu ist die NMR-Spektroskopie. Das Kürzel NMR steht für »nuclear magnetic resonance« – zu Deutsch: Kernspinresonanz. 1946 untersuchten die Physiker Felix Bloch und Edward Mills Purcell erstmals solche Schwingungen von Atomkernen. Sie setzten Ethanol-Moleküle einem starken statischen Magnetfeld aus. Dieses Feld zwingt bestimmte Atomkerne, die ein magnetisches Moment aufweisen – dazu zählen im Ethanol enthaltene Wasserstoff-Atomkerne –, sich entsprechend den magnetischen Feldlinien auszurichten, ähnlich

After being awarded her doctorate in 1991, she went to the Radboud University in the Dutch city of Nijmegen. In 1992-1993, Grey worked as a visiting scientist at the American chemical company Dupont. Starting in 1994, she was an assistant professor at the State University of New York at Stony Brook, where she became a full professor in 2001. In 2009, she became the Geoffrey Moorhouse Gibson Professor in Great Britain at the University of Cambridge. Since 2011, she has also been a Fellow of the Royal Society, furthermore she is currently also a Royal Society Professor.

Even as an undergraduate, Grey had already worked with NMR spectroscopy and studied metals such as tin. At the time, this was uncharted territory because physicists and chemists had classically examined the structure of solids by bombarding them with X-rays. The diffraction of the X-rays reveals the inner structure of the samples. This was the method with which the later Nobel prize winners James Watson and Francis Crick identified the double helix structure of the genetic molecule DNA in 1953.

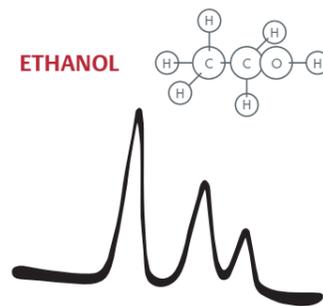
NUCLEAR RESONANCE REVEALS MOLECULAR STRUCTURES

A particularly powerful alternative to this is NMR spectroscopy. The abbreviation NMR stands for nuclear magnetic resonance. Such oscillations of atomic nuclei were studied for the first time by the physicists Felix Bloch and Edward Mills Purcell in 1946. They exposed ethanol molecules to a strong static magnetic field. The field forces certain atomic nuclei—those exhibiting a magnetic moment, such as the

Grey ist Pionierin bei Untersuchungen von Festkörpern mit Hilfe der NMR-Spektroskopie. Dabei werden Resonanzen von Atomkernen genutzt, um neuartige Einblicke in Materialien wie Batterien zu gewinnen.

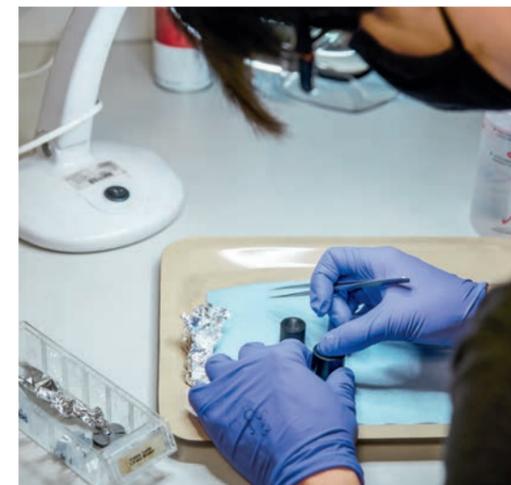
Grey is a pioneer in using NMR spectroscopy to conduct research on solids. In the process, the resonance of atomic nuclei is used to achieve novel views inside materials such as batteries.

wie Kompassnadeln im Erdmagnetfeld. Zusätzlich strahlten die beiden Physiker mit Hilfe einer Spule Radiowellen ein. Dabei stellten sie fest, dass die Wasserstoff-Atomkerne bei bestimmten Radiofrequenzen zu schwingen begannen. Sie führten – ähnlich einem torkelnden Spielzeugkreisel – mit ihren Spitzen eine kreisförmige Präzessionsbewegung aus. Bloch und Purcell machten beim Ethanol drei Resonanzen ausfindig, die bei unterschiedlichen Frequenzen auftraten. Sie konnten nun ein NMR-Spektrogramm zeichnen. Ethanol zeigt darin drei unterschiedlich hohe Schwingungsspitzen, weil der im Molekül enthaltene Wasserstoff in drei unterschiedlich starken Bindungen vorliegt (Abb.). NMR erlaubte somit auch Rückschlüsse auf die Struktur des Ethanol-Moleküls. Später nutzten Mediziner die NMR-Technologie abgewandelt in Kernspintomographen, bei denen Computer die Resonanzdaten zu Schnittbildern des menschlichen Körpers zusammensetzen.



nuclei of the hydrogen atoms contained in ethanol—to align according to the magnetic field lines, similar to the needles of a compass in the earth's magnetic field. They also radiated the ethanol molecules with radio waves from an appropriately designed coil. They thus determined that the atomic nuclei of hydrogen began to oscillate at certain radio frequencies. Similar to a wobbling toy top, the tips of the hydrogen nuclei performed precision circular movements. For ethanol, Bloch and Purcell identified three resonances that manifested at different frequencies. They were now able to draw an NMR spectrogram. Ethanol exhibited three different high oscillation peaks because the hydrogen contained in the molecule is present in bonds of three different strengths (figure). NMR thus made it possible to also draw conclusions about the structure of the ethanol molecule. Later, physicians used a modified form of NMR technology in magnetic resonance tomographs, in which computers combine the resonance data into images of slices of the human body.

Abbildung: Frühe NMR-Untersuchung von Ethanol. Die drei Spitzen im Spektrogramm rühren daher, dass die Wasserstoff-Atome im Ethanol-Molekül unterschiedlich stark gebunden sind. Das Spektrogramm erlaubt Forschenden somit Rückschlüsse auf die innere Struktur der Proben. *Figure: Early NMR study of ethanol. The three peaks in the spectrogram stem from the fact that the hydrogen atoms in the ethanol molecule are in bonds of varying strength. The spectrogram enables researchers to draw conclusions regarding the inner structure of the samples.*



Ein Doktorand aus Greys Team bereitet die Elektrode einer gebrauchten Lithium-Batterie für eine NMR-Untersuchung vor. Die Batterie wurde in einem bestimmten Zustand ihres Lebenszyklus in Einzelteile zerlegt, um Ursachen für Defekte oder vorzeitigen Verschleiß herauszufinden. A doctoral candidate in Grey's team is preparing the electrode of a used lithium battery for an NMR examination. At a certain stage of its life cycle, the battery was separated into its individual parts in order to determine the causes of defects or premature wear.

Clare Grey vor dem NMR-Spektrometer in ihrem Labor.
Clare Grey in front of the NMR spectrometer in her laboratory.



NMR funktioniert am einfachsten mit flüssigen Proben, in denen sich die Moleküle sehr schnell bewegen, was Wechselwirkungen zwischen ihnen wegmittelt. Grey hingegen untersuchte – als eine der Ersten ihrer Zunft – mit NMR auch Festkörper wie Metalle. In ihrer Zeit in den USA lernte sie Forscher der Firma Duracell kennen, die sie inspirierten, mit NMR-Technik Materialien in Batterien zu studieren. »Die zuvor üblichen Untersuchungen mit Röntgenstrahlen lieferten nur ein durchschnittliches Bild«, sagt Grey. »Mit Hilfe von NMR konnte ich nun auch die feinen Details in diesen oft unstrukturierten Materialien aufspüren.« Anfangs untersuchte sie einzelne Inhaltsstoffe, indem sie die Batterien in einem bestimmten Stadium ihres Lade- und Lebenszyklus öffnete. Ziel war unter anderem herauszufinden, welche chemischen Prozesse die Batterien altern lassen und wie sich deren Lebensdauer und Kapazität erhöhen lässt. Später verbesserte Grey die NMR-Technologie so, dass sie damit die Zellen auch im laufenden Betrieb zerstörungsfrei untersuchen konnte – in sogenannten In-situ-Experimenten. Diese halfen, auch kurzlebige Substanzen aufzuspüren und die Studien enorm zu beschleunigen.

Bei herkömmlichen Lithium-Ionen-Akkus besteht die Anode (Minuspol) meist aus Graphit und die Kathode (Pluspol) aus einem Metalloxid, in dem außer Lithium noch andere Metalle wie Kobalt, Nickel und/oder Mangan enthalten sind. Zwischen den beiden Elektroden befindet sich eine organische Elektrolyt-Lösung, meist Ethylenkarbonat. Beim Entladen des Akkus wandern positiv geladene Lithium-Ionen aus der Graphit-Anode zur Kathode und lagern sich im dortigen Metalloxid ein. Gleichzeitig fließt über die äußeren Anschlüsse ein elektrischer Strom (freie Elektronen), der beispielsweise einen Elektromotor antreibt. Beim anschließenden Aufladen des Akkus läuft es umgekehrt: Die Lithium-Ionen fließen zurück zur Anode und lagern sich im dortigen Graphit ein. Diese Lade-/Entlade-Zyklen lassen sich idealerweise Tausende Male wiederholen.

AKKUS FÜR E-AUTOS MIT HOHER REICHWEITE

2015 hat Grey einen neuartigen Lithium-Luft-Akku vorgestellt – mit einer Anode aus metallischem Lithium und einer Kathode aus porösem Kohlenstoff. Beim Entladen wandern die Lithium-Ionen zur Kathode, wo sie sich mit Sauerstoff aus der Luft in Lithiumperoxid oder Lithiumhydroxid umwandeln. Der Clou an den neuen Lithium-Luft-Akkus ist ihre bis zu zehnmals höhere Energiedichte. Sie speichern bei gleichem Gewicht bis zu zehnmals mehr elektrische Energie, was E-Autos zu einer ähnlichen Reichweite verhelfen könnte wie Benzinautos. Bislang altern Lithium-

NMR functions most simply with liquid samples in which the molecules move very quickly, which averages out the interactions between them. As one of the first in her field, Grey, in contrast, used NMR to examine solids such as metal oxides. During her stay in the U.S., she became acquainted with scientists working for Duracell, who encouraged her to employ NMR technology to study the materials in batteries. »The previously customary use of X-rays in examinations only produced an average view of the structure,« Grey said. »By using NMR I was now able to detect the fine details in these often disordered materials, as well.« In the beginning she studied individual materials after opening the batteries at a certain stage of their charging and life cycles. One of her aims was to determine which chemical processes cause the batteries to age and how their longevity and capacity could be increased. Later, Grey improved the NMR technology so that it became possible for her to examine the cells nondestructively while they were functioning, in what are called in situ experiments. These measurements helped her track down transient substances and enormously accelerate the studies.

In the usual lithium-ion rechargeable batteries the anode (the negative pole) usually consists of graphite and the cathode (the positive pole) of a metal oxide in which other metals such as cobalt, nickel, and/or manganese are present in addition to lithium. Between the two electrodes there is an organic electrolyte solution, usually ethylene carbonate. When the battery discharges, the positively charged lithium ions move from the graphite anode to the cathode, where they are inserted into the metal oxide. At the same time, an electrical current (free electrons) flows via external connections to, for instance, power an electrical motor. The process runs the other way around when the battery is being subsequently recharged. The lithium ions flow back to the anode and insert into the graphite there. Ideally, these charging-discharging cycles can be repeated thousands of times.

RECHARGEABLE BATTERIES FOR LONG DISTANCES

In 2015 Grey presented a novel type of lithium-air rechargeable battery, with an anode consisting of metallic lithium and a cathode of porous carbon. During discharging, the lithium ions flow to the cathode, where they, together with oxygen from the air, are transformed into either lithium peroxide or lithium hydroxide. The outstanding feature of the new lithium-air battery is its energy density, which can be as much as ten times higher. Given the same weight, such batteries store up to ten times as much electrical energy, which could help electric cars to reach a range similar to that

»Wir können die Technologie nur voranbringen, wenn wir sehr genau und in jedem Detail verstehen, wie diese Materialien arbeiten und funktionieren.«

»We can only advance this technology if we understand very precisely and in every detail how these materials work and function.«

Luft-Akkus allerdings noch zu schnell, sie überstehen nur wenige Ladezyklen. Grey arbeitet auch an der Entwicklung anderer Akku-Typen mit hohen Energiedichten.

Zwar könnten E-Autos – theoretisch – schon mit den heutigen Lithium-Ionen-Akkus so weit kommen wie ein Benzinauto mit einer Tankfüllung. Allerdings müssten dazu so viele Akkus eingebaut werden, dass ein Großteil des Innenraums damit gefüllt wäre. Zudem würden die E-Autos dadurch so schwer, dass sie bei jedem Anfahren, etwa nach roten Ampeln, enorm viel Energie verbrauchen würden, um diese große Masse zu beschleunigen. Im Stadtverkehr würde die Reichweite infolgedessen wieder deutlich sinken. Als Kompromiss verbauen die E-Auto-Hersteller weniger Lithium-Ionen-Batterien, wodurch die E-Autos relativ leicht und geräumig bleiben, aber mit einer Akkuladung eben auch nur typischerweise 150 bis 400 Kilometer weit kommen. Neue Akku-Typen mit hoher Energiedichte hingegen könnten E-Autos »Benziner-Reichweite« ermöglichen, ohne ihnen zusätzliches Akku-Gewicht aufzubürden.

Clare Grey und ihr Team bemühen sich um besonders präzise und systematische Vorgehensweisen: »Elektrochemische Zellen sind komplexe Systeme, in denen eine Vielzahl von Komponenten in faszinierender Weise interagieren«, sagt Grey. »Wir können die Technologie nur voranbringen, wenn wir sehr genau und in jedem Detail verstehen, wie diese Materialien arbeiten und funktionieren.«

BATTERIE-TESTS WIE IM KERNSPINTOMOGRAPHEN

Zu den wichtigsten Werkzeugen des Teams zählen NMR-Spektrometer. Die Geräte funktionieren ähnlich wie die Kernspintomographen in der Medizin, sind aber kleiner, und der Elektromagnet, der das starke statische Magnetfeld erzeugt, steht bei ihnen aufrecht. Die Experimente werden in einem Meßkopf oder einer Plattform innerhalb dieses Elektromagneten durchgeführt. Dort befindet sich –

of cars powered by gasoline. Until now, however, lithium-air rechargeable batteries age too quickly; they survive only a limited number of charging cycles. Grey is also working on the development of other types of rechargeable batteries with high energy densities.

Although—theoretically—it is already possible to build electric cars with today's lithium-ion rechargeable batteries that can go as far as a car on one tank of gasoline. But that would mean installing so many batteries that they would occupy a large portion of the car's interior. Furthermore, electric cars would then be so heavy that they would consume an enormous amount of energy at every start, such as at red lights, just to accelerate this large mass. As a consequence, a car's range in city traffic would sink noticeably. As a compromise, the manufacturers of electric cars install fewer lithium-ion rechargeable batteries, making the cars relatively light and spacious, but also limiting their typical range to 150 to 400 kilometers before having to recharge. New types of rechargeable batteries with a high energy density, in contrast, could make »gasoline ranges« possible without the burden of additional battery weight.

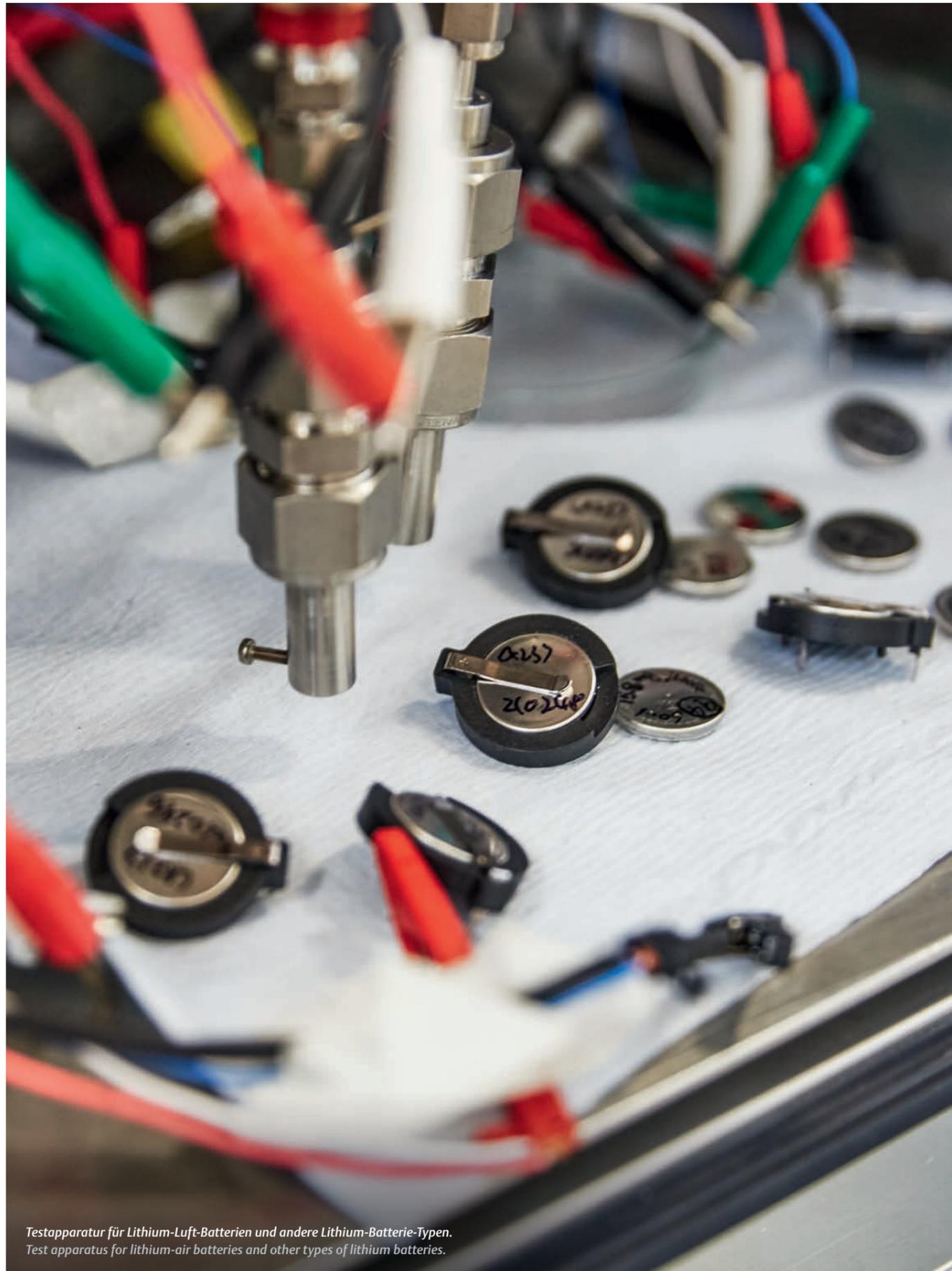
Clare Grey and her team strive for particularly precise and systematic procedures: »Electrochemical cells are complex systems in which a multitude of components interact in a fascinating manner,« Grey says. »We can only advance this technology if we understand very precisely and in every detail how these materials work and function.«

BATTERY TESTS AS IN NMR TOMOGRAPHS

Among the team's most important tools are NMR spectrometers. The devices function similarly to NMR tomographs in medicine, but are smaller, and the electromagnet that produces the strong static magnetic field stands upright. The experiments are performed in a probehead or platform inside the electromagnet. Located on it is a small copper or



Ein Doktorand setzt in einer Glove-Box, die mit dem Edelgas Argon gefüllt ist, Test-Batterien zusammen. Die Argon-Schutzatmosphäre ist erforderlich, weil viele Batteriekomponenten mit Sauerstoff, Kohlendioxid, Feuchtigkeit und anderen Bestandteilen der Raumluft reagieren würden. A doctoral candidate assembling test batteries in a glove box that is filled with argon, a noble gas. The argon protective atmosphere is necessary since many battery components would react in contact with oxygen, carbon dioxide, dampness, and other elements of ambient air.



Testapparatur für Lithium-Luft-Batterien und andere Lithium-Batterie-Typen.
Test apparatus for lithium-air batteries and other types of lithium batteries.

waagrecht ausgerichtet – eine kleine Kupfer- oder Silber-
spule, die Radiosignale zum Anregen der Proben erzeugt.
Die Proben selbst – darunter Mini-Batterien – werden in
kleinen, schnell rotierenden Glasröhrchen in diese Spule
eingeschoben.

Um das extrem starke Magnetfeld mit einer Stärke von 10
bis 20 Tesla (bis zum 300.000-fachen des Erdmagnetfelds)
erzeugen zu können, ist der Elektromagnet des NMR-
Spektrometers mit supraleitenden Spulen bestückt, die mit
flüssigem Helium auf Temperaturen knapp oberhalb des
absoluten Nullpunkts (-273,15 Grad Celsius) gekühlt wer-
den müssen. Die NMR-Spektrometer befinden sich in einem
Sicherheitsbereich des Labors, weil metallische Teile im
Umfeld mit so hoher Geschwindigkeit vom Magnetfeld an-
gezogen würden, dass dazwischenstehende Personen ernst-
haft verletzt und die Magneten zerstört werden könnten.

RADIONACHRICHTEN AUS DEN ATOMKERNEN

Um die Atomkerne in den Proben bei ihren jeweils typi-
schen Resonanzfrequenzen – die auch von der jeweiligen
chemischen Bindung und von benachbarten Atomkernen
abhängen – zum Schwingen zu bringen, legen die For-
schenden kurzzeitig eine hochfrequente Wechselspannung
an die Spule an. Diese Spannung erzeugt eine pulsformi-
ge Radiowelle, die sich entlang der Spulenmitte ausbreitet
und senkrecht zum starken statischen Magnetfeld ausge-
richtet ist. Der Radiopuls regt Atomkerne in einem brei-
ten Frequenzbereich zum Schwingen an. Sobald der Puls
ausklingt, richten sich die rotierenden Atomkerne wieder
entlang des statischen Magnetfeldes des Elektromagneten
aus. Bei diesem »Rücksturz« senden sie selber sehr schwache
Radiowellen aus, die von der Kupferspule, die nun wie
ein Radioempfänger arbeitet, registriert und anschließend
mit Computern ausgewertet werden. Die auf diese Weise
erzeugten Spektrogramme erlauben Rückschlüsse auf loka-
le Strukturen und elektronische Eigenschaften der Proben.
Sogar Schnittbilder lassen sich erzeugen, ähnlich denen
eines medizinischen Kernspintomographen.

Die NMR-Untersuchungsmethode funktioniert nur bei
Atomkernen, die – wie Wasserstoffkerne – ein magnetisches
Moment aufweisen, also selber winzigen Kompassnadeln
ähneln. Voraussetzung dafür ist, dass entweder die Zahl
der Protonen im Kern oder die Zahl der Neutronen (oder

silver coil—arranged horizontally—that produces radio
signals to excite the samples. The samples themselves are
placed in small glass tubes, zirconia rotors, or in Clare
Grey's case, very small batteries and inserted into the coil.

To be able to produce the extremely strong magnetic field
that is 10 to 20 Tesla strong (up to 300,000 times that of
the Earth's), the electromagnet of the NMR spectrometer
is equipped with superconducting coils, which have to be
kept cold, close to absolute zero (-273.15 degrees Celsius).
The NMR spectrometers are located in a secure area of the
laboratory because the magnetic field would pull metal
parts in its vicinity to it at such a high speed that any
individuals in their path could be seriously injured and
the magnets destroyed.

RADIO MESSAGES FROM THE NUCLEUS OF ATOMS

In order to get the atomic nuclei in the probes to oscillate
at their respective typical resonance frequencies—which
also depend on the respective chemical bond and on
neighboring nuclei—the researchers apply a pulse of
short high-frequency alternating voltage to the copper
coil. This voltage produces a pulsed radio wave in the
middle of the coil and is aligned perpendicular to the
strong static magnetic field. The radio pulse excites the
atomic nuclei over a wide frequency range and causes
them to oscillate. As soon as the pulse stops, the small
magnetic fields of the atomic nuclei rotate around the
static magnetic field of the electromagnet, in the same
way that a gyroscope or top rotates once it has been set
spinning. The nuclei themselves emit very weak radio
waves during this »precession,« which are registered by
the copper coil—now working like a radio receiver—and
subsequently evaluated on computers. The spectrograms
produced in this manner make it possible to draw conclu-
sions concerning the local structures and electronic pro-
perties of the samples. Cross-sectional images can even
be created, similar to those from a medical tomograph.

The NMR examination method only functions with atomic
nuclei that—like a hydrogen nucleus—have a magnetic
moment, i.e., which themselves are similar to tiny com-
pass needles. The prerequisite for this is that either the
number of protons in the nucleus or the number of neu-
trons (or both) is odd. Some 40 percent of all naturally

beide) ungeradzahlig sind. Etwa 40 Prozent aller natürlich vorkommenden chemischen Elemente erfüllen diese Bedingung. Dazu zählt das Alkalimetall Lithium, nicht aber beispielsweise die natürlich am häufigsten vorkommenden Formen von Kohlenstoff oder Sauerstoff: Der Kern des gewöhnlichen Kohlenstoffatoms (Ordnungszahl 12) besteht aus sechs Protonen und sechs Neutronen. Der Kern des gewöhnlichen Sauerstoffatoms (Ordnungszahl 16) enthält acht Protonen und acht Neutronen.

Als Abhilfe kann das Team von Grey andere natürlich vorkommende (aber seltene) Isotope wie Kohlenstoff-13 oder Sauerstoff-17 verwenden, deren Kerne jeweils ein zusätzliches Neutron beherbergen. Enthalten die untersuchten Proben solche Isotope, werden (in diesem Beispiel) auch Kohlenstoff oder Sauerstoff im NMR-Spektrogramm sichtbar. Auf die chemischen Eigenschaften der Moleküle (und damit der Batterien), die fast ausschließlich von Bindungen in den äußeren Elektronenhüllen der Atomkerne bestimmt werden, hat der Einbau von Isotopen praktisch keinen Einfluss.

In den NMR-Spektrometern untersucht das Team beispielsweise Ausgangsmaterialien für neue Elektrodentypen, aber auch millimeterkleine Testbatterien, deren innere Vorgänge damit im laufenden Betrieb – in Echtzeit – inspiziert werden können. Solche In-situ-Untersuchungen bringen enorme Vorteile gegenüber herkömmlichen Testverfahren: »Viele der chemischen Stoffe, die beim Auf- oder Entladen in den Akkus entstehen, sind nur sehr kurzlebig, aber an den Alterungsprozessen maßgeblich beteiligt«, erklärt Grey. »Werden die Batterien umständlich zerlegt, sind viele dieser Stoffe längst zerfallen.«

occurring chemical elements satisfy this condition. Among them is the alkali metal lithium, but not for example the most naturally occurring forms of carbon or oxygen. The nucleus of a carbon atom (atomic number 6) consists of six protons and six neutrons. The nucleus of an oxygen atom (atomic number 8) has eight protons and eight neutrons.

As a solution, Grey's team can employ other naturally occurring isotopes such as carbon-13 or oxygen-17, whose nuclei have an additional neutron, but are present in much lower natural abundance. If the samples being studied contain these isotopes, then carbon and oxygen (in this example) will be visible in the NMR spectrogram. The inclusion of isotopes has practically no influence on the chemical properties of the molecules (and thus of the batteries), which are determined almost exclusively by bonds in the external electron shells of atoms.

Using the NMR spectrometers, the team studies, for instance, the raw materials for new types of electrodes, but also trial batteries that are millimeter small and whose internal workings can then be inspected while in operation, i.e., in real time. Such in situ studies offer enormous advantages compared to conventional test procedures: »Many of the chemical substances that originate during the charging or discharging of rechargeable batteries are transient but still play a key role in the aging processes,« Grey explains. »Many of these materials will have long disintegrated by the time batteries are clumsily disassembled.«



Laborbücher von jetzigen und früheren Teammitgliedern. Sämtliche in vielen Jahren durchgeführte Experimente sind in diesen Unterlagen dokumentiert. Laboratory books of present and previous team members. All of the experiments conducted in the course of many years are recorded in these documents.



Mit diesem Analyse-System untersucht das Team Gase, die getestete Batterien (hier: eine Lithium-Luft-Batterie) im laufenden Betrieb aufnehmen oder freisetzen. The team uses this analysis system to study gases that the tested batteries (here a lithium-air battery) absorb or release during operation.



Lithium-Batterien werden hier auf ihre Leistungsfähigkeit und alterungsbedingten Verschleiß (Degradation) getestet.
Lithium batteries are tested here to measure their performance and to detect degradation due to aging.



Ein Doktorand montiert Batterie-Testmuster in einer Argon-Schutzatmosphäre. A doctoral candidate is mounting a battery prototype in an argon protective atmosphere.

Zu den größten Sorgenkindern der Batterieforscher zählen sogenannte Dendriten. Das sind winzige tannenbaumähnliche Strukturen aus metallischem Lithium, die aus der Graphit-Anode von Lithium-Akkus wachsen können. Dendriten bilden sich vor allem dann, wenn die Akkus zu schnell aufgeladen werden, weil dann die Lithium-Ionen nicht mehr geordnet in der Graphit-Anode eingelagert werden können. Stattdessen scheidet sich an der Anoden-Oberfläche eine Metallschicht ab.

Im schlimmsten Fall überbrücken diese Metallbäumchen den Elektrolyten und wachsen bis zur Kathode, was dann zu einem Kurzschluss und zu Bränden führt. Ein großer Handyhersteller musste 2016 sein neuestes Modell aus Sicherheitsgründen vom Markt nehmen. Das Problem ist, dass die Anwender sehr kurze Ladezeiten verlangen – das gilt erst recht für E-Autos –, bei zu schneller Aufladung jedoch grundsätzlich die Gefahr von Dendritenbildung steigt. »Mit der NMR-Technologie konnten wir den Dendriten erstmals beim Wachsen zusehen«, sagt Grey. Oft brechen solche Lithium-Bäumchen auch einfach nur von der Anode ab. Dann schwimmt »totes Lithium« im Elektrolyten – mit der Folge, dass die Speicherkapazität der Akkus alterungsbedingt sinkt.

UMWELTSCHONENDE HOCHLEISTUNGS-AKKUS

Grey ist vor allem daran interessiert, die Energiedichten der Akkus zu erhöhen, deren Ladezeiten (ohne Brandgefahr) zu verkürzen, die Herstellungskosten zu senken (aktuell sind E-Autos wegen der teuren Akkus noch recht kostspielig) und möglichst umweltschonende Ausgangsmaterialien zu verwenden. Um Letzteres umzusetzen, forscht Grey auch an Akkus der kommenden »Beyond Lithium«-Ära, die statt Lithium umweltfreundlichere Metalle wie Natrium enthalten. Natrium-Batterien sind jedoch

A large manufacturer of mobile phones had to take its newest model off the market in 2016 because of safety issues and safety remains a primary (or significant) concern for both battery scientists and battery users. One such safety problem is the so-called dendrites. These are tiny fir tree-like structures of metallic lithium that can grow out of the lithium battery's graphitic anode. Dendrites are formed in particular when batteries are charged too quickly, because then the lithium ions cannot be stored in the graphite anode in an orderly fashion. Instead, a metal deposit grows on the anode's surface.

In the worst case, these »metal saplings« bridge the two electrodes and reach the cathode, which can lead to a short circuit and start a fire. The users demand very short charging times—true all the more so for electrically powered cars—yet the danger of dendrite formation grows if charging proceeds too quickly. »Using NMR technology we were able for the first time to watch the dendrites while they were growing«, Grey said. Such lithium saplings often simply break loose from the anode. Then there is »dead lithium« swimming in the electrolytes, with the consequence that the storage capacity of the rechargeable battery declines with age.

ENVIRONMENTALLY FRIENDLY HIGH-PERFORMANCE BATTERIES

Above all, Grey is interested in increasing the energy density of rechargeable batteries, reducing charging times (without a danger of fire), reducing the production costs (the current electrically powered cars are still quite costly because of the expensive batteries), and employing raw materials that are as environmentally friendly as possible. To achieve the last of these goals, Grey is also conducting research on batteries for the »beyond lithium« era, which contain environmentally

»Silizium ist eine extrem wichtige Alternative zum bislang kommerziell genutzten Graphit, weil es beim Aufladen bis zu zehnmal mehr elektrische Energie speichern kann.«

»Silicon is an extremely important alternative to graphite, because it can store up to ten times more electrical energy during charging, but it is only just starting to be used commercially.«

schwerer als Lithium-Batterien – Lithium ist das leichteste aller Metalle – und eignen sich daher eher als kostengünstige stationäre Zwischenspeicher für Wind- oder Solarstrom. Auch das Erdalkalimetall Magnesium kann Lithium in den Akkus ersetzen.

Vielversprechend sind auch neue Akku-Varianten, deren Anoden statt Graphit das Halbmetall Silizium enthalten. Silizium gibt es buchstäblich wie Sand am Meer, es ist nach Sauerstoff das zweithäufigste Element auf unserem Planeten. »Silizium ist eine extrem wichtige Alternative zum bislang kommerziell genutzten Graphit, weil es beim Aufladen bis zu zehnmal mehr elektrische Energie speichern kann«, erklärt Grey. Leider hat es die unangenehme Eigenschaft, sich dabei um bis auf das Dreifache auszudehnen. Das ist nach herrschender Lehrmeinung der Grund für die bislang schwache Performance von Akkus mit Silizium-Anoden. Grey konnte jedoch mit Hilfe von NMR- und Röntgenuntersuchungen nachweisen, dass der entscheidende Faktor nicht die Volumenausdehnung ist, sondern es chemische Reaktionen des teils zerbröselnden Siliziums mit dem Elektrolyten sind. Dies führt zu schnell nachlassender Batterieleistung.

KURZSCHLÜSSE KÖNNEN BRÄNDE AUSLÖSEN

Auch an Verbesserungen des Elektrolyten arbeitet Grey: »Der ideale Elektrolyt leitet die Ionen sehr gut, ist chemisch stabil, kostengünstig und ungiftig.« Wie wichtig Elektrolyte für die Funktion eines Akkus sind, erkennt man daran, dass deren genaue Zusammensetzung zu den am besten gehüteten Geheimnissen der Batteriehersteller zählt. In Lithium-Ionen-Akkus werden meist organische Salzlösungen als Elektrolyt verwendet. Erhebliche Gefahren drohen bei einem Kurzschluss des Akkus: »Dann kann sich der Elektrolyt schnell auf Temperaturen von über 250 Grad Celsius erhitzen, was ebenfalls zu Bränden oder sogar Explosionen führen kann«, sagt Grey. Um die Sicherheit der Akkus zu erhöhen, versucht ihr Team, die bislang flüssigen Elektrolyten durch solche aus festem Polymer- oder Keramikmaterial zu ersetzen. Ein Kurzschluss herkömmlicher Lithium-Ionen-Akkus kann in E-Autos beispielsweise bei Unfällen auftreten.

more friendly metals such as sodium in place of lithium. Sodium batteries are however heavier than lithium batteries—lithium is the lightest of all metals—and are therefore more suitable to serve as less expensive stationary buffer storage for wind- and solar-generated power. Magnesium, from the alkaline earth metals group, can also replace lithium in rechargeable batteries.

Very promising are also new versions of rechargeable batteries whose anodes contain silicon, a metalloid (with properties between metals and nonmetals), in place of graphite. Silicon is very abundant—literally like the sand of the sea—being the second most common element on the planet after oxygen. »Silicon is an extremely important alternative to graphite, because it can store up to ten times more electrical energy during charging, but it is only just starting to be used commercially,« according to Grey. Unfortunately it has the disagreeable property that it expands up to three times in size. This is, according to the predominant school of thought, the reason for the current poor performance of rechargeable batteries with silicon anodes. Yet with the aid of NMR and X-ray studies, Grey was able to prove that the decisive factor was not the expansion in size per se but chemical reactions of the partially crumbling silicon with the electrolyte, which consume lithium and result in very rapid fading of the battery.

SHORT CIRCUITS CAN TRIGGER FIRES

Grey is also working on improving the electrolyte: »The ideal electrolyte conducts ions very well, is chemically stable, inexpensive, and not toxic.« The importance of electrolytes for the functioning of a rechargeable battery can be seen in the fact that knowledge of their precise ingredients belongs to the best kept secrets of battery manufacturers. Organic salt solutions are most frequently employed as the electrolyte in lithium-ion batteries. There is the threat of significant danger if the battery has a short circuit: »Then the electrolyte can quickly reach temperatures of over 250 degrees Celsius, which can also lead to fires or even explosions,« says Grey. To improve the safety of rechargeable batteries, her team is attempting to replace the



Warnhinweise auf der Tür des NMR-Labors: Im starken Magnetfeld des NMR-Spektrometers können Herzschrittmacher ihre Funktion einstellen. Auch der Zugang mit künstlichen Gelenken ist verboten. Besonders gefährlich sind vom Magneten angezogene Metallgegenstände, die Personen verletzen und den Magneten zerstören können. Kreditkarten können ihre magnetisch gespeicherten Informationen verlieren. Warning signs on the door of the NMR laboratory. In the strong magnetic field of the NMR spectrometer, heart pace makers can stop functioning. Entrance with artificial joints is also forbidden. Particularly dangerous are metal objects attracted by the magnets, which could injure people and destroy the magnets. Credit cards could also lose the information they store magnetically.



Clare Grey fährt gern mit dem Fahrrad zur Arbeit. Clare Grey enjoys cycling to work on her bicycle.

In einem weiteren Projekt arbeitet Grey an der Optimierung neuartiger Redox-Fluss-Akkus. Dieser auch als Flüssigkeitsbatterie bekannte Akku-Typ speichert elektrische Energie in zwei externen Chemikalien-Tanks. Diese Tanks können im Prinzip beliebig groß sein und lassen sich zur Erhöhung der Speicherkapazität bei Bedarf auch nachträglich erweitern. Die chemischen Reaktionen finden in einer galvanischen Zelle statt, in deren Mitte eine ionendurchlässige Membran die Flüssigkeiten voneinander trennt. Die beiden Flüssigkeiten zirkulieren im System mit Hilfe von Pumpen. Die häufigste Variante dieses Akku-Typs sind Vanadium-Redox-Fluss-Batterien, in deren Elektrolytlösungen Salze des Elements Vanadium gelöst sind. Das Vanadium kann darin unterschiedliche Oxidationsstufen annehmen. Vanadium ist ein relativ häufig vorkommendes Element, allerdings auch giftig.

Wegen ihrer Ausmaße und der relativ geringen Energiedichte von Vanadium eignen sich Redox-Fluss-Batterien vor allem als stationäre und langzeitstabile Energiespeicher – etwa für Wind- oder Solarstrom. »Solche großtechnischen Energiespeicher sind dringend erforderlich«, sagt Grey, »um bei den erneuerbaren Energien die Unterschiede in Angebot und Nachfrage auszugleichen.« Mittels NMR-Studien ist es ihrem Team bereits gelungen, die Vorgänge in den Elektrolyten solcher Flüssigkeitsbatterien »live« zu verfolgen und in Bildern (MRI) festzuhalten. Grey forscht zudem an kostengünstigen organischen Elektrolyten, die ohne das giftige Vanadium auskommen.

Mit den Mitteln des Körber-Preises will Grey die NMR-Spektroskopie künftig noch weiter verfeinern. Dazu dient unter anderem DNP-Technologie, bei der NMR-Proben zu-

existing fluid electrolytes by ones consisting of a solid polymer or ceramic material. A short circuit of a conventional lithium-ion battery can occur, for example, in electric cars in an accident.

In another project, Grey is working on optimizing novel redox flow batteries. This type of battery, also known as a flow battery, stores electrical energy in two external tanks of chemicals. These tanks can, in principle, be of any size and can be extended at any time as needed in order to increase the storage capacity. The chemical reactions take place in a galvanic cell, in the middle of which an ion-selective membrane separates the fluids from one another. The two fluids circulate through the system with the aid of pumps. The most common version of this type of battery is the vanadium redox flow battery, in which salts of the element vanadium are dissolved in the electrolyte solutions. In this context, vanadium can assume different stages of oxidation. It is an element that occurs relatively frequently, but is poisonous.

Because of their scale and the relatively low energy density of vanadium, redox flow batteries are suited above all for stationary and long-term stable energy storage, such as for electricity generated by wind or solar installations. »Such industrial-scale energy storage plants are urgently needed,« according to Grey, »in order to balance the differences between supply and demand regarding the different sources of renewable energy. By using NMR studies, her team has already succeeded in observing live the processes that occur in the electrolytes (or liquid fuels) and in recording images (MRI) of them. Grey is furthermore pursuing research on cost-efficient organic electrolytes that do not require poisonous vanadium.

»Zu meinen wichtigsten Zielen zählt, Studierende, die Öffentlichkeit und politische Entscheidungsträger davon zu überzeugen, dass die Technologien zum Erreichen der Zero-Carbon-Klimaziele bis 2050 nur dann rechtzeitig bereitstehen, wenn mit der Grundlagenforschung bereits jetzt begonnen wird – morgen ist es zu spät.«

»One of my most important goals is to convince students, the public, and political decision makers of the fact that the technologies for achieving the zero carbon climate goals by 2050 can only be made available in time if we begin with the basic research now—tomorrow is too late.«

sätzlich mit energiereichen Mikrowellen bestrahlt werden. DNP (das Kürzel steht für Dynamic Nuclear Polarization, deutsch: Dynamische Kernspinpolarisation) basiert auf der Übertragung bestimmter quantenmechanischer Eigenschaften von Elektronen (Spinpolarisation) auf die Atomkerne. »Einfacher ausgedrückt können Elektronen ähnlich wie Atomkerne – und in denselben Spulen – angeregt werden«, erklärt Grey. »Mit DNP steigt die Messempfindlichkeit von NMR-Spektrometern um bis auf das Tausendfache.«

SCHNELLER WEG ZU PRAKTISCHEN ANWENDUNGEN

Grey arbeitet jedoch nicht nur in der Grundlagenforschung, sondern ist auch an einer schnellen praktischen Anwendung neuer Batterietechnologien interessiert. Dazu hat sie sich bereits an mehreren Firmen beteiligt: Die 2019 gegründete Firma Nyobolt entwickelt neuartige Akkus mit einer Elektrode, die ein in Greys Labor konzipiertes Niobat enthält. Diese Akkus lassen sich ohne Brandgefahr in wenigen Minuten aufladen und haben eine deutlich höhere Lebensdauer und Energiedichte als herkömmliche Lithium-Ionen-Akkus. Die deutsche Firma NMR Service GmbH, in der Grey ebenfalls mitarbeitet, liefert von der Preisträgerin entwickelte NMR-Messtechnik an Forschungs- und Industrielabors in aller Welt: »Zu meinen wichtigsten Zielen zählt, Studierende, die Öffentlichkeit und politische Entscheidungsträger davon zu überzeugen, dass die Technologien zum Erreichen der Zero-Carbon-Klimaziele bis 2050 nur dann rechtzeitig bereitstehen, wenn mit der Grundlagenforschung bereits jetzt begonnen wird – morgen ist es zu spät.«

With the funds that accompany the Körber European Science Prize Grey wants to further refine NMR spectroscopy in the future. This is also the purpose of using DNP technology, during which NMR samples are additionally irradiated with high-energy microwaves. DNP (which stands for dynamic nuclear polarization) is based on the transference of certain quantum mechanical properties of electrons (spin polarization) to the atom's nucleus. »DNP,« according to Grey, »makes it possible to increase the sensitivity of NMR spectrometers by a factor of 1000.«

FAST TRACK TO PRACTICAL APPLICATIONS

Grey is not only active in basic research; she is also interested in a rapid practical application of new battery technologies. For this purpose, she already has an interest in several companies. The firm Nyobolt, founded in 2019, develops novel rechargeable batteries that have an electrode containing a niobate that was designed by Grey's lab, which can be recharged in just a few minutes without any danger of fire, and which exhibits a considerably longer lifespan and energy density than conventional lithium-ion rechargeable batteries. The German company NMR Service GmbH, in which Grey also works with, supplies NMR measurement technology developed by the Prize winner to research and industrial laboratories around the world. »One of my most important goals is to convince students, the public, and political decision makers of the fact that the technologies for achieving the zero carbon climate goals by 2050 can only be made available in time if we begin with the basic research now—tomorrow is too late.«



Die Dining Hall im Pembroke College dient Studenten und Fellows als Mensa und wird auch für Festessen verwendet. The dining hall in Pembroke College serves as a cafeteria for students and fellows and is also used for banquets.

Professor Dr. Clare Grey

Clare Grey, 56, wurde in der Stadt Middlesbrough im Nordosten Englands geboren. Als sie zwei Jahre alt war, zog sie mit ihren Eltern in die Niederlande. Ihr Vater, ein Chemiker, trat dort eine Stelle beim Chemiekonzern ICI an. Ihre Mutter ist promovierte Theologin.

»Als Siebenjährige konnte ich fließend Holländisch sprechen«, sagt Grey. »Heute spreche ich die Sprache leider schlechter als damals.« 1972 zogen ihre Eltern berufsbedingt nach Belgien um, wo die Preisträgerin eine britische Schule besuchte. 1979, als sie 14 war, zogen ihre Eltern nach England zurück, wo sie regulär zur Schule ging.

Anschließend studierte Clare Grey Chemie an der britischen Oxford University. Nach ihrer Promotion im Jahr 1991 ging sie an die Radboud-Universität im niederländischen Nijmegen: „Ich freute mich, dort mein Holländisch wieder auffrischen zu können.“ In den Jahren 1992/93 war Grey als Gastwissenschaftlerin beim US-Chemiekonzern Dupont tätig. 1994 lehrte sie als Assistant Professor an der State University of New York at Stony Brook, wo sie 2001 eine volle Professur erhielt. 2009 wurde sie Geoffrey-Moorhouse-Gibson-Professorin an der britischen University of Cambridge. Seit 2011 ist sie zudem Fellow der Royal Society. 2019 war sie Mitgründerin der Firma Nyobolt, die besonders schnell ladende und betriebssichere Akkus herstellt.

Als Kind wäre Clare Grey am liebsten Ärztin geworden. Der Vater schenkte ihr einen Chemie-Baukasten, »doch die Experimente mit Flammen und sprühenden Funken inspirierten mich nicht sonderlich. Heute weiß ich auch warum. Mir fehlte der Aspekt, mit den Experimenten etwas Neues herauszufinden.« Später als renommierte Forscherin genoss sie es, »in völlig neuen Themenbereichen zu arbeiten und Fragen stellen zu können, die zuvor noch niemand gestellt hatte«. In ihrer Freizeit spielt Grey Cello, unter anderem Brahms, und singt. Sie ist eine begeisterte Wanderin und betreibt als weitere Sportarten Squash und Ski-Langlauf.

Clare Grey, 56, was born in the city of Middlesbrough in the northeast of England. When she was two years old, she moved with her parents to the Netherlands. Her father, a chemist, took a position there with the chemical company ICI. Her mother is a doctor of theology.

»As a seven year old, I could speak fluent Dutch,« Grey says. »Today I unfortunately speak the language worse than then.« In 1972 her parents moved to Belgium because of work; there she attended a British school. In 1979, when she was 14, her parents moved back to England, where she attended school as usual.

Clare Grey then went on to study chemistry at Oxford University. After receiving her doctorate in 1991, she switched to the Radboud University in Nijmegen, The Netherlands: »I was happy to be able to refresh my Dutch again.« In 1992-1993 Grey was a visiting scientist at the American chemical company Dupont. In 1994 she became an assistant professor and taught at the State University of New York at Stony Brook, where she was made a regular professor in 2001. In 2009 she became the Geoffrey Moorhouse Gibson Professor at Cambridge University, back in Great Britain. Since 2011 she has also been a Fellow of the Royal Society. In 2019 she was a cofounder of the Nyobolt company, which manufactures rechargeable batteries that charge very rapidly and are reliable.

As a child, Clare Grey wanted most of all to become a physician. Her father gave her a chemistry set, »but the experiments with flames and spraying sparks didn't inspire me much. And today I know why. I missed the perspective of discovering something new in the experiments.« Later, as a distinguished researcher, she enjoyed »working in completely new fields and being able to ask questions that no one had posed before.« In her leisure time, Grey plays the cello, Brahms for example, and sings. She is an enthusiastic hiker and also plays squash and goes cross-country skiing.



»Clare Grey leistet mit ihrer anwendungsorientierten Grundlagenforschung einen entscheidenden Beitrag zur Entwicklung leistungsfähiger Speichermedien. Nur wenn wir hier Erfolg haben, wird uns die Mobilitätswende gelingen und die Erreichung unserer Klimaziele bis 2050 überhaupt realistisch sein.«

»Clare Grey's application-oriented basic research constitutes a decisive contribution to the development of more powerful storage media. It is only if we are successful in this matter that we can attain CO₂ neutrality in the traffic sector and that our chances of achieving our climate goals by 2050 will be at all realistic.«

Sind Wissenschaftspreise noch zeitgemäß?

Die Corona-Krise hat die Bedeutung von Wissenschaft eindrücklich untermauert, aber immer noch ist es keine Selbstverständlichkeit, auf die Stimme wissenschaftlicher Vernunft zu hören und ihr zu vertrauen. Umso wichtiger ist es, ihren Leistungen Aufmerksamkeit zu verschaffen und auch zu zeigen, dass und wie sie uns bei der Bewältigung großer gesellschaftlicher Herausforderungen hilft.

Und das gilt auch für die diesjährige Preisträgerin?

Unbedingt! In den letzten achtzehn Monaten hat die Wissenschaft phantastische Fortschritte in der Bekämpfung der Pandemie erzielt, aber darüber haben wir fast verdrängt, dass es noch einige andere zentrale Herausforderungen für uns gibt, die in ihren Auswirkungen vermutlich langfristiger und auch bedrohlicher sein dürften, an erster Stelle die Klimakrise. Clare Grey leistet mit ihrer anwendungsorientierten Grundlagenforschung einen entscheidenden Beitrag zur Entwicklung leistungsfähiger Speichermedien. Nur wenn wir hier Erfolg haben, wird uns die Mobilitätswende gelingen und die Erreichung unserer Klimaziele bis 2050 überhaupt realistisch sein.

Are science prizes out of step with the time?

The Covid crisis has emphatically confirmed the significance of science, yet it is still not a matter of course for people to listen to scientific reason and to trust it. This makes it all the more important for us to draw attention to the achievements of science and to demonstrate that and how it helps us cope with major social challenges.

And is that also true for this year's Prize winner?

Absolutely! In the last 18 months, science has achieved fantastic advances in fighting the pandemic, but in the process we have almost lost track of the fact that we face a few other major challenges whose consequences may probably be longer lasting and even more threatening, most of all the climate crisis. Clare Grey's application-oriented basic research constitutes a decisive contribution to the development of more powerful storage media. It is only if we are successful in this matter that we can attain CO₂ neutrality in the traffic sector and that our chances of achieving our climate goals by 2050 will be at all realistic.

Tatjana König über den Körber-Preis

Tatjana König about the
Körber Prize



Tatjana König
Vorständin der Körber-Stiftung | Executive Board

Ausgerechnet im Jahr des Brexits kommt die Preisträgerin aus England – steckt dahinter Absicht?

Nein, denn unsere Gremien orientieren sich strikt an wissenschaftlicher Exzellenz, aber eine List der Vernunft könnte man es doch nennen. Alle wesentlichen Krisen sind inzwischen global, und wir werden sie auch nur in gemeinsamen Anstrengungen bewältigen können. Einem wissenschaftlich starken und geeinten Europa kommt hier eine Schlüsselrolle zu. Jenseits politischer Entscheidungen halten wir für den Körber-Preis deshalb auch daran fest, dass Großbritannien, zumindest was die Wissenschaft angeht, weiterhin zur europäischen Familie gehört.

Persönlich freue ich mich über die Auszeichnung Clare Greys übrigens auch deshalb, weil wir uns in der Körber-Stiftung vorgenommen haben, der Diversität von und in der Wissenschaft stärkere Aufmerksamkeit zu geben – und Spitzenforscherinnen stehen immer noch weit seltener im Rampenlicht als ihre männlichen Kollegen. Umso schöner ist es, mit ihr so ein großartiges role model zu haben!

Precisely in the Brexit year the Prize winner comes from England. Is there a hidden intention?

No, for our committees are oriented strictly on scientific excellence, but it could be an expression of the cunning of reason. All major crises are now global in nature, and we will only be able to master them through joint efforts. A Europe that is strong and united in science will play a key role. Independent of political decisions, for us and the Körber Prize Great Britain continues to belong to the European family, at least as far as science is concerned.

Personally I am pleased by the Prize being awarded to Clare Grey, including because we at the Körber-Stiftung have resolved to pay more attention to diversity in science—important since leading female researchers continue to be in the spotlight much less frequently than their male colleagues. It is all the more rewarding for us to have her as such a great role model!

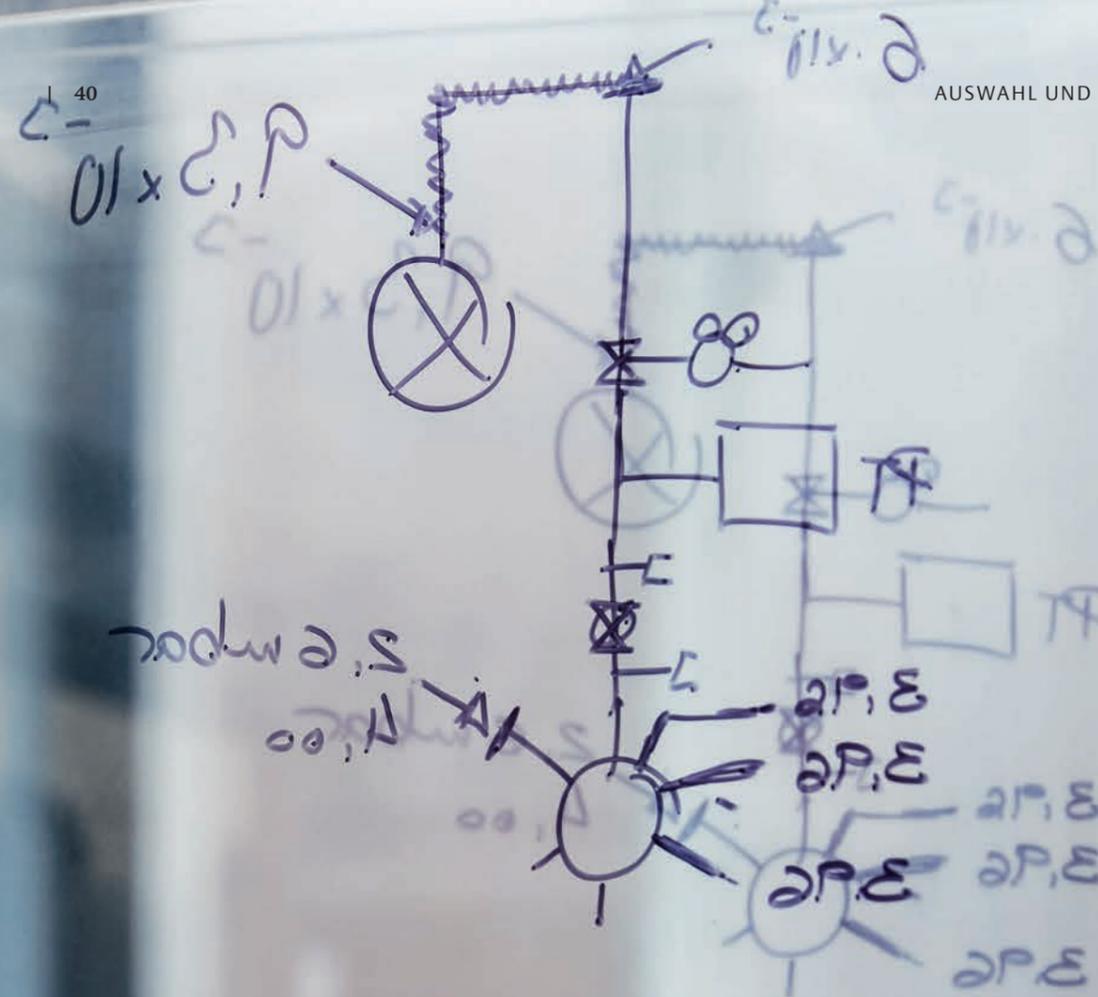
Auswahl und Entscheidung Selection and Decision

Der Körber-Preis für die Europäische Wissenschaft zeichnet jährlich herausragende und in Europa tätige einzelne Wissenschaftler aus. Prämiert werden exzellente und innovative Forschungsansätze mit hohem Anwendungspotenzial auf dem Weg zur Weltgeltung. Eine Bewerbung ist nicht möglich. Wie aber werden jedes Jahr die in Europa richtungweisenden Köpfe identifiziert?

Zunächst wählen renommierte Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus ganz Europa, zusammengefasst in zwei Search Committees, vielversprechende Kandidaten aus. Gesucht werden im jährlichen Wechsel geeignete Personen aus den Life oder Physical Sciences. Wer in die engere Wahl kommt, wird aufgefordert, einen detaillierten Vorschlag zu einem Forschungsprojekt einzureichen, das dann in zwei Bewertungsrunden vom Search Committee beurteilt wird. Unterstützt wird die Arbeit der Search Committees durch internationale Gutachter, die unabhängige Urteile über die Kandidaten und deren Projekte abgeben. Bis zu fünf Kandidaten werden abschließend dem Kuratorium vorgelegt, das in einer Gesamtschau von gutachterlicher Bewertung, bisher erbrachter Publikationsleistung und wissenschaftlichem Werdegang über die neue Preisträgerin oder den neuen Preisträger entscheidet.

The Körber European Science Prize is presented annually, honoring outstanding single scientists working in Europe. The Prize is awarded to excellent and innovative research projects that show great potential for possible application and international impact. A personal application is not allowed. But how are the most pioneering minds of Europe identified each year?

To begin with, renowned scientists from all over Europe, grouped into two Search Committees, select promising candidates. In alternate years, suitable individuals are sought from the field of life sciences and physical sciences respectively. Those who are shortlisted are then asked to submit a detailed proposal for a research project which is then judged in two rounds of assessment by the Search Committee. The work of the Search Committee is supported by international experts who give their independent opinions on the candidates and their projects. A maximum of five candidates are subsequently recommended to the Trustee Committee which, based on a summary of expert assessments, previous publications and scientific career history, decides on the new prize winner.



Search Committee Physical Sciences

Prof. Dr. Sir John O'Reilly, Vorsitz, Chairman
University College London, United Kingdom

Prof. Dr. Claudia Felser
Max Planck Institute for Chemical Physics of Solids,
Dresden, Germany

Prof. Dr. Daniela Jacob
Climate Service Center Germany (GERICS), Hamburg,
Germany

Prof. Dr. Rosa Menéndez
Spanish National Research Council (CSIC), Madrid, Spain

Prof. Amal El Fallah Seghrouchni
LIP6 – Sorbonne University, Paris, France

Prof. Dr. Martin Wegener
KIT Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe,
Germany

Prof. Dr. Alexander Wokaun
PSI Paul Scherrer Institute, Villigen, Switzerland

Kuratorium Trustee Committee

Prof. Dr. Martin Stratmann, Chairman
Max Planck Society, Munich, Germany

Prof. Dr. Sir Anthony Kevin Cheetham
University of Cambridge, United Kingdom

Prof. Dr. Sir Richard Friend
Cavendish Laboratory, Cambridge, United Kingdom

Prof. Dr. Alain Fuchs
Université PSL, Paris, France

Prof. Dr. Gerald Haug
German Academy of Sciences Leopoldina, Halle (Saale),
Germany

Prof. Dr. Edith Heard
EMBL Heidelberg, Germany

Prof. Dr. Urban Lendahl
Karolinska Institute, Stockholm, Sweden

Prof. Dr. Bert Meijer
Institute for Complex Molecular Systems, Eindhoven,
Netherlands

Prof. Dr. Felicitas Pauss
Institute for Particle Physics, ETH Zurich, Switzerland

Prof. Dr. Maciej Zyllicz
Polish Foundation of Science, Warsaw, Poland

Preisträger und Forschungsprojekte seit 1985

Prize Winners and Research Projects Since 1985

- | | | | | | | | |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1985 | Stoßwellen-Anwendungen in der Medizin
Applications of Shock Waves in Medicine
Walter Brendel, Michael Delius, Georg Enders, Joseph Holl, Gustav Paumgartner, Tilman Sauerbruch | 1992 | Ausbreitung und Wandlung von Verunreinigungen im Grundwasser
The Spread and Transformation of Contaminants in Ground Water
Philippe Behra, Wolfgang Kinzelbach, Ludwig Luckner, René P. Schwarzenbach, Laura Sigg | 1998 | Elektronische Mikronasen für mehr Sicherheit am Arbeitsplatz
Electronic Micronoses to Enhance Safety at the Workplace
Henry Baltes, Wolfgang Göpel, Massimo Rudan | 2008 | Medikamente gegen Krebs und das Altern
Drugs to Fight Cancer and Aging
Maria Blasco |
| 1985 | Gegendruck-Gieß-Technologie
Back Pressure Casting Technology
Teodor Balevski, Rumen Batscharov, Emil Momtschilov, Dragan Nenov, Rangel Zvetkov | 1993 | Bionik des Laufens – Technische Umsetzung biologischen Wissens
Bionics of Walking: The Technical Application of Biological Knowledge
Felix Chernousko, François Clarac, Holk Cruse, Friedrich Pfeiffer | 1999 | Hoch fliegende Plattformen für Telekommunikation
High-Altitude Platforms for Telecommunications
Bernd Kröplin, Per Lindstrand, John Adrian Pyle, Michael André Rehmet | 2009 | Graphen, das dünnste Material im Universum
Graphene, the Thinnest Material in the Universe
Andre K. Geim (Nobelpreis 2010) |
| 1986 | Retrovirus-Forschung (AIDS)
Retrovirus Research (AIDS)
Jean-Claude Gluckman, Sven Haahr, George Janossy, David Klatzmann, Luc Montagnier (Nobelpreis 2008), Paul Rác | 1994 | Moderne Pflanzenzüchtung – Von der Zelle zur Pflanze
Modern Plant Breeding: From the Cell to the Plant
Dénes Dudits, Dirk Inzé, Anne Marie Lambert, Horst Lörz | 2000 | Gestaltwahrnehmung in der Technik mit Erkenntnissen aus der Natur
Perception of Shape in Technology with Insights from Nature
Rodney Douglas, Amiram Grinvald, Randolph Menzel, Wolf Singer, Christoph von der Malsburg | 2010 | Auxin – Einsicht ins Pflanzenwachstum
Auxin – Understanding Plant Growth
Jiří Friml |
| 1987 | Weiterentwicklung der Elektronenholographie
Further Development of Electron Holography
Karl-Heinz Herrmann, Friedrich Lenz, Hannes Lichte, Gottfried Möllenstedt | 1995 | Gensonden in Umweltforschung und Medizin
Genetic Probes in Environmental Research and Medicine
Rudolf Amann, Erik C. Böttger, Ulf B. Göbel, Bo Barker Jørgensen, Niels Peter Revsbech, Karl-Heinz Schleifer, Jiri Wanner | 2001 | Optimierte Nutzpflanzen dank Gentechnik
Optimised Crops through Genetic Engineering
Wolf-Bernd Frommer, Rainer Hedrich, Enrico Martinoia, Dale Sanders, Norbert Sauer | 2011 | Lichtblicke in die Nano-Welt
Bright Spots in the Nano World
Stefan W. Hell (Nobelpreis 2014) |
| 1987 | Erzeugung von Ultratiefemperaturen
Creating Ultralow Temperatures
Riitta Hari, Matti Krusius, Olli V. Lounasmaa, Martti Salomaa | 1996 | Lebensraum tropische Baumkronen
The Habitat of Treetops in the Tropics
Pierre Charles-Dominique, Antoine Cleef, Gerhard Gottsberger, Bert Hölldobler, Karl E. Linsenmair, Ulrich Lüttge | 2002 | Narbenlose Wundheilung durch Tissue Engineering
Scarfree Wound Healing Using Tissue Engineering
Mark W. J. Ferguson, Jeffrey A. Hubbell, Cay M. Kielty, G. Björn Stark, Michael G. Walker | 2012 | Rasterfahndung nach Proteinen
Dragnet Investigation of Protein
Matthias Mann |
| 1988 | Erweiterung des Hamburger Pyrolyseverfahrens zur Vernichtung auch toxischer Abfallstoffe
Extending the Hamburg Pyrolytic Technique to Destroy Toxic Wastes
Alfons Buekens, Vasilij Dragalov, Walter Kaminsky, Hansjörg Sinn | 1996 | Computergesteuerte Gestaltung von Werkstoffen
Computer-Assisted Design of Materials
Michael Ashby, Yves Bréchet, Michel Rappaz | 2003 | Ein mit Licht betriebener molekülgroßer Motor
Light-driven Molecular Walkers
Ben L. Feringa (Nobelpreis 2016), Martin Möller, Justin E. Molloy, Niek F. van Hulst | 2013 | Quantengas im Laserkäfig
Quantum Gas in the Laser Cage
Immanuel F. Bloch |
| 1989 | Wirkstoffe pflanzlicher Zellkulturen
Active Substances from Plant Cell Cultures
Christian Brunold, Yury Y. Gleba, Lutz Nover, J. David Phillipson, Elmar W. Weiler, Meinhard H. Zenk | 1997 | Mausmutanten als Modelle für die klinische Forschung
Mutant Mouse Models in Clinical Research
Pawel Kisielow, Klaus Rajewsky, Harald von Boehmer | 2004 | Therapien für eine neue Gruppe von Erblichen
Therapies for a New Group of Hereditary Diseases
Markus Aebi, Thierry Hennet, Jaak Jaeken, Ludwig Lehle, Gert Matthijs, Kurt von Figura | 2014 | Das Navigationssystem des Gehirns
The Brain's Navigation System
May-Britt Moser und Edvard I. Moser (Nobelpreis 2014) |
| 1990 | Vorhersage kurzfristiger Klimaveränderungen
Forecasting Short-Term Changes in Climate
Lennart Bengtsson, Bert Bolin, Klaus Hasselmann | 1997 | Mausmutanten als Modelle für die klinische Forschung
Mutant Mouse Models in Clinical Research
Pawel Kisielow, Klaus Rajewsky, Harald von Boehmer | 2005 | Mit Licht auf neuen Wegen
Taking Light onto New Paths
Philip St. John Russell | 2015 | Aufbruch ins Oxid-Zeitalter
The Dawn of the Oxide Age
Nicola Spaldin |
| 1991 | Erkennung und Verhütung von Krebserkrankungen durch Umweltchemikalien
Recognizing and Preventing Cancer Caused by Environmental Chemicals
Lars Ehrenberg, Dietrich Henschler, Werner Lutz, Hans-Günter Neumann | 1998 | Kernspintomographie mit Helium-3 – Neue Wege in der Lungendiagnostik
Magnetic Resonance Tomography with Helium-3
Werner Heil, Michèle Leduc, Ernst W. Otten, Manfred Thelen | 2006 | Chaperone der Proteinfaltung in Biotechnologie und Medizin
Chaperones of the Protein Folding in Biotechnology and Medicine
F. Ulrich Hartl | 2016 | Ersatzorgane aus der Petrischale
Replacement Organs from a Petri Dish
Hans Clevers |
| | | | | 2007 | Automatische Synthese von Kohlenhydratimpfstoffen gegen Tropenkrankheiten
Automated Synthesis of Carbohydrate Vaccinations against Tropical Diseases
Peter H. Seeberger | 2017 | Schwerkraftsignale aus den Tiefen des Alls
Gravity Signals from the Depths of the Universe
Karsten Danzmann |
| | | | | | | 2018 | Die Gene der Neandertaler
The Genes of the Neanderthals
Svante Pääbo |
| | | | | | | 2019 | Die Rechenricks der Künstlichen Intelligenz
The Computing Tricks of Artificial Intelligence
Bernhard Schölkopf |
| | | | | | | 2020 | Neues Sehen für Erblindete
New Vision for the Blind
Botond Roska |

Gesellschaftliche Entwicklung braucht Dialog und Verständigung. Die **Körper-Stiftung** stellt sich mit ihren operativen Projekten, in ihren Netzwerken und mit Kooperationspartnern aktuellen Herausforderungen in den Handlungsfeldern »Innovation«, »Internationale Verständigung« und »Lebendige Bürgergesellschaft«. Die drei Themen »Technik braucht Gesellschaft«, »Der Wert Europas« und »Neues Leben im Exil« stehen derzeit im Fokus ihrer Arbeit.

1959 von dem Unternehmer Kurt A. Körper ins Leben gerufen, ist die Stiftung heute mit eigenen Projekten und Veranstaltungen national und international aktiv. Ihrem Heimatsitz Hamburg fühlt sie sich dabei besonders verbunden; außerdem unterhält sie einen Standort in Berlin.

www.koerber-stiftung.de

Der **Körper-Preis für die Europäische Wissenschaft** zeichnet jährlich herausragende und in Europa tätige Wissenschaftler für deren zukunftssträchtige Forschungsarbeiten aus. Prämiert werden exzellente und innovative Forschungsansätze mit hohem Anwendungspotenzial auf dem Weg zur Weltgeltung. Mit Spitzenwissenschaftlern aus ganz Europa besetzte Auswahlgremien suchen nach geeigneten Preisträgerkandidaten, über die ein Kuratorium entscheidet. Über die Verwendung des Preisgeldes in Höhe von 1.000.000 Euro bestimmen die Preisträger eigenverantwortlich.

www.koerber-preis.de

Körper-Stiftung
Kehrwieder 12
20457 Hamburg
www.koerber-stiftung.de

Körper-Preis für die Europäische Wissenschaft

Matthias Mayer
Bereichsleiter Wissenschaft | Head of the Department of Science
Telefon +49 · 40 · 80 81 92-142
Telefax +49 · 40 · 80 81 92-305
E-Mail mayer@koerber-stiftung.de
Twitter @KoerberScience

IMPRESSUM

Herausgeber Körper-Stiftung, Hamburg
V.i.S.d.P. Dr. Lothar Dittmer
Redaktion Matthias Mayer, Franziska Heese
Autor Claus-Peter Sesin
Übersetzung Dr. Michael Wilson
Fotos Alice Whitby, David Ausserhofer (Seite 5), Adobe Stock (Seite 10), Lea Pietzcker (Seite 39)
Konzeption und Gestaltung Klötzner Company Werbeagentur GmbH
Illustration Klötzner Company Werbeagentur GmbH (Seite 17)
Litho AlsterWerk MedienService GmbH
Druck MPW Media-Print Witt GmbH

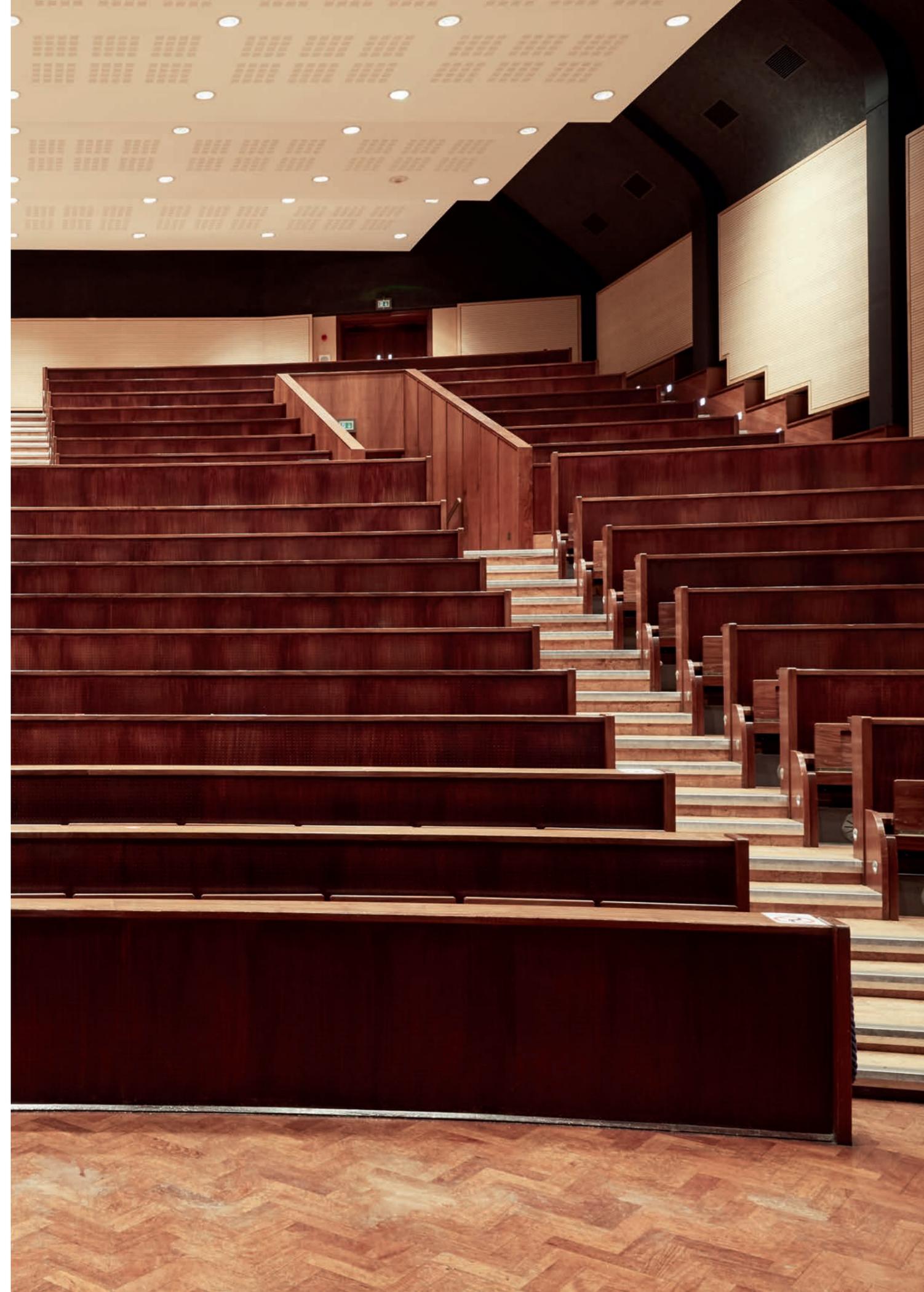
Social development needs dialogue and understanding. Through its operational projects, in its networks and in conjunction with cooperation partners, **Körper-Stiftung** takes on current social challenges in areas of activities comprising Innovation, International Dialogue and Vibrant Civil Society. At present its work focuses on three topics: Technology Needs Society, The Value of Europe and New Life in Exile.

Inaugurated in 1959 by the entrepreneur Kurt A. Körper, the foundation is now actively involved in its own national and international projects and events. In particular, the foundation feels a special bond to the city of Hamburg. Furthermore, the foundation holds a site in the capital of Germany, Berlin.

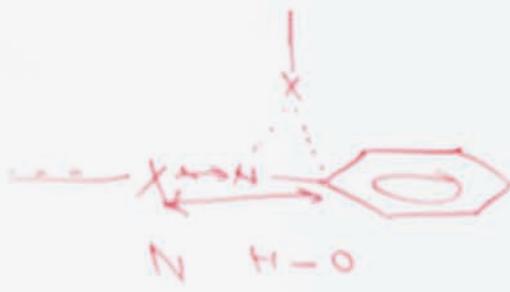
www.koerber-stiftung.de

The **Körper European Science Prize** is presented annually, honoring outstanding scientists working in Europe for their promising research projects. The Prize is awarded to excellent and innovative research projects that show great potential for possible application and international impact. Search Committees with top scientists from all over Europe identify qualified candidates. The selection is then made by a Trustee Committee. The prize winners have the freedom and responsibility to determine how to use the 1,000,000 euro prize money.

www.koerber-prize.org



9 H-Brücken
3 H-Brücken
P-O-Brücken



60