

GPS zur

LOKALISIERUNG UND NAVIGATION

Wann immer Sie verloren gehen, kann Ihnen das Global Positioning System (GPS) sagen, wo genau Sie sich befinden. Auch die GPS-Navigation in Ihrem Auto bringt Sie mit erstaunlicher Präzision ans Ziel. Wie ist das möglich? Hier die Antwort: **Ihr GPS-Gerät ermittelt seine Position, indem es exakt die Entfernung zu einigen Satelliten misst, die um die Erde kreisen.** Der Abstand wird aus der Zeit bestimmt, die ein Radiosignal zwischen den Satelliten und Ihnen oder Ihrem Auto benötigt. Diese

Zeitmessung muss mit größter Präzision erfolgen, denn Radiowellen bewegen sich mit der höchsten aller möglichen Geschwindigkeiten: mit Lichtgeschwindigkeit. Ein Fehler in der Zeitmessung von nur einer Mikrosekunde würde einen Fehler von 300 Metern in der Position bedeuten. Solche Präzision erreichen Atomuhren heute spielend. Problem gelöst, könnte man meinen. Nach Albert Einsteins Relativitätstheorie ticken Uhren in den Satelliten, die sich in großer Entfernung um die Erde bewegen, al-

lerdings schneller als die Uhren am Boden. Dies würde zu Fehlern von mehreren Kilometern am Tag führen, wenn keine Korrekturen vorgenommen würden! Daher werden die Uhren in den Satelliten vor dem Start entsprechend justiert, genau nach dem von Albert Einstein vorhergesagten Wert. **Auch wenn Albert Einstein das moderne GPS nicht erfand, erst seine Relativitätstheorie machte es möglich!**



Innovative Materialien

FÜR NACHHALTIGE ENERGIE

Die nachhaltige Energieversorgung ist eine der größten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. **Die weltweit wachsende Nachfrage nach Energie wird den massiven Ausbau erneuerbarer Energiesysteme erfordern, die auf Innovationen und neuen Materialien basieren.** Neue, innovative Materialien werden die Art und Weise ändern, wie wir Energie gewinnen, transportieren, speichern oder sparen. Heute hängt die nachhaltige Energiewirtschaft entscheidend von einer Vielzahl von Metallen ab, darunter Indium, Lithium, Gallium

oder Tellur sowie von Seltenen Erden oder Edelmetallen wie Platin oder Silber. Diese Elemente werden in Hochtechnologieanwendungen eingesetzt, die von Permanentmagneten für Windkraftanlagen reichen bis hin zu Elektromotoren, Metalllegierungen für Batterien, energieeffizienten Beleuchtungen, Brennstoffzellen oder Photovoltaik-Solarzellen. In unserem Alltag werden diese Materialien auch für die Unterhaltungselektronik in Digitalkameras, Mobiltelefonen, LCD-/LED-Fernsehern und vielen anderen Geräten verwendet. **Der potenzielle Man-**

gel an solchen kritischen Materialien ist ein wachsendes Problem. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus der Physik, Chemie oder den Ingenieurwissenschaften entwickeln daher neue Materialien mit besseren Eigenschaften, um kostengünstigere Alternativen zu schaffen, oder sie ersinnen neue Fertigungstechniken. **Parallel zu Experimenten setzt die Forschung auf numerische Simulationen, oft in internationaler Kooperation mit öffentlichen oder privaten Partnern.**



Modellierung für den

KLIMAWANDEL

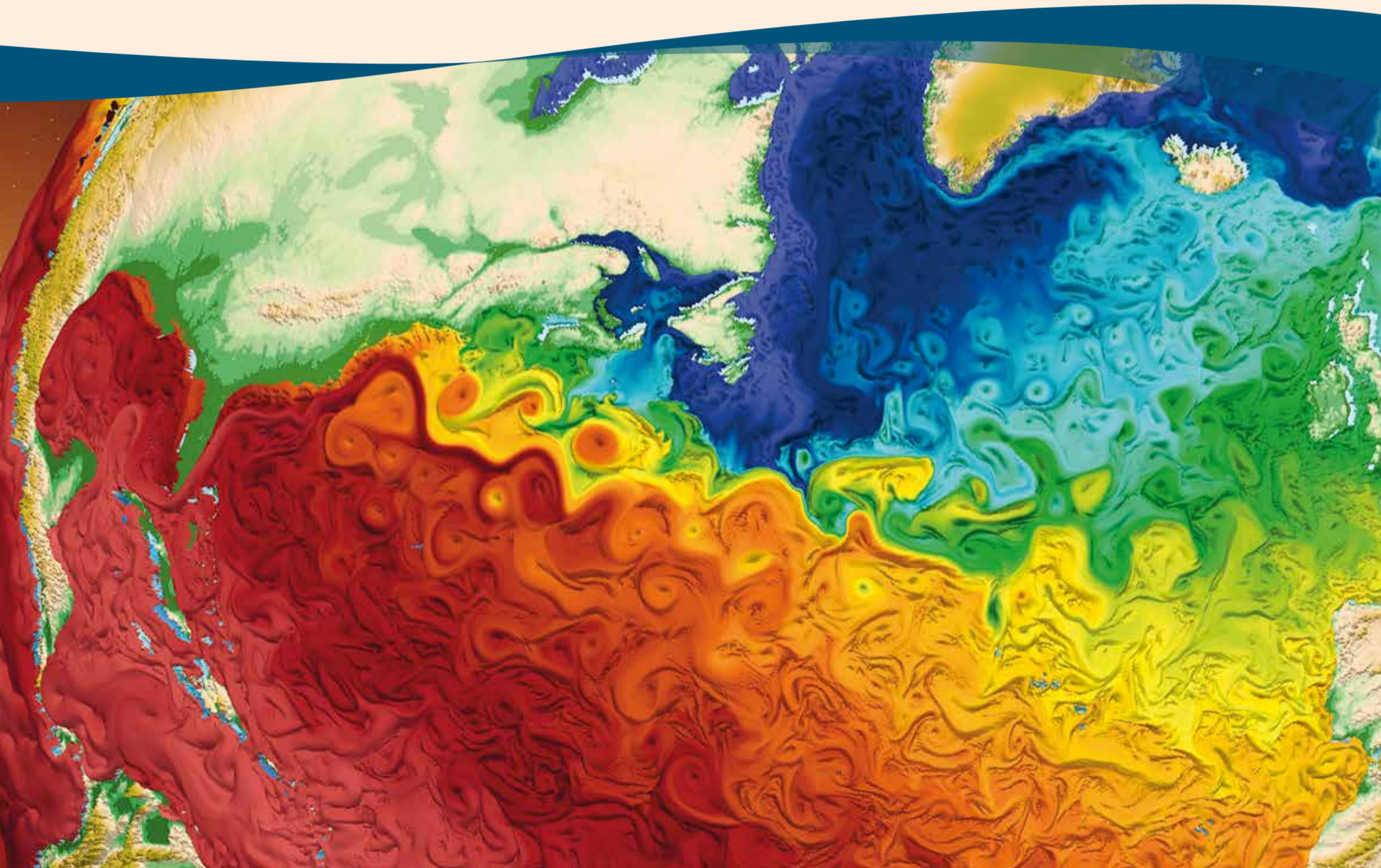
Wir alle sind besorgt über den Klimawandel und seine Auswirkungen auf die Ökosysteme unseres Planeten.

Zugleich schätzen wir eine genaue Wettervorhersage, wenn wir unsere Outdoor-Aktivitäten planen. Um den Einfluss der Vielzahl verschiedener Parameter auf unsere Biosphäre besser zu verstehen und stichhaltige Prognosen zu machen, haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler daher Klimamodelle entwickelt. Die basieren auf etablierten physikalischen Prinzipien. Mit quantitativen Methoden simulieren sie

die Wechselwirkungen der wichtigsten Einflussfaktoren des Klimas: die Atmosphäre, die Ozeane, die Landoberflächen und die Eiskappen. Alle Klimamodelle berücksichtigen die von der Sonne auf die Erde einfallende Energie sowie die wieder austretende Energie, beides Strahlungen unterschiedlicher Wellenlänge. Ungleichgewichte führen zu Temperaturänderungen an der Erdoberfläche. Die Klimamodellierung ist recht komplex und erfordert sehr leistungsfähige Rechner.

Dabei versuchen die Wissenschaftlerinnen

und Wissenschaftler alle wichtigen Parameter zu berücksichtigen. Die Rolle menschlicher Aktivitäten, die zum starken Anstieg des Treibhausgases CO₂ in der Atmosphäre beiträgt, hat zu einer intensiven Debatte geführt. Allerdings liefern atmosphärisch-ozeanische Zirkulationsmodelle glaubwürdige quantitative Schätzungen des zukünftigen Klimawandels. **Es liegt nun in der Verantwortung eines jeden Einzelnen, mit seinem persönlichen Engagement zum Schutz unseres Planeten beizutragen!**



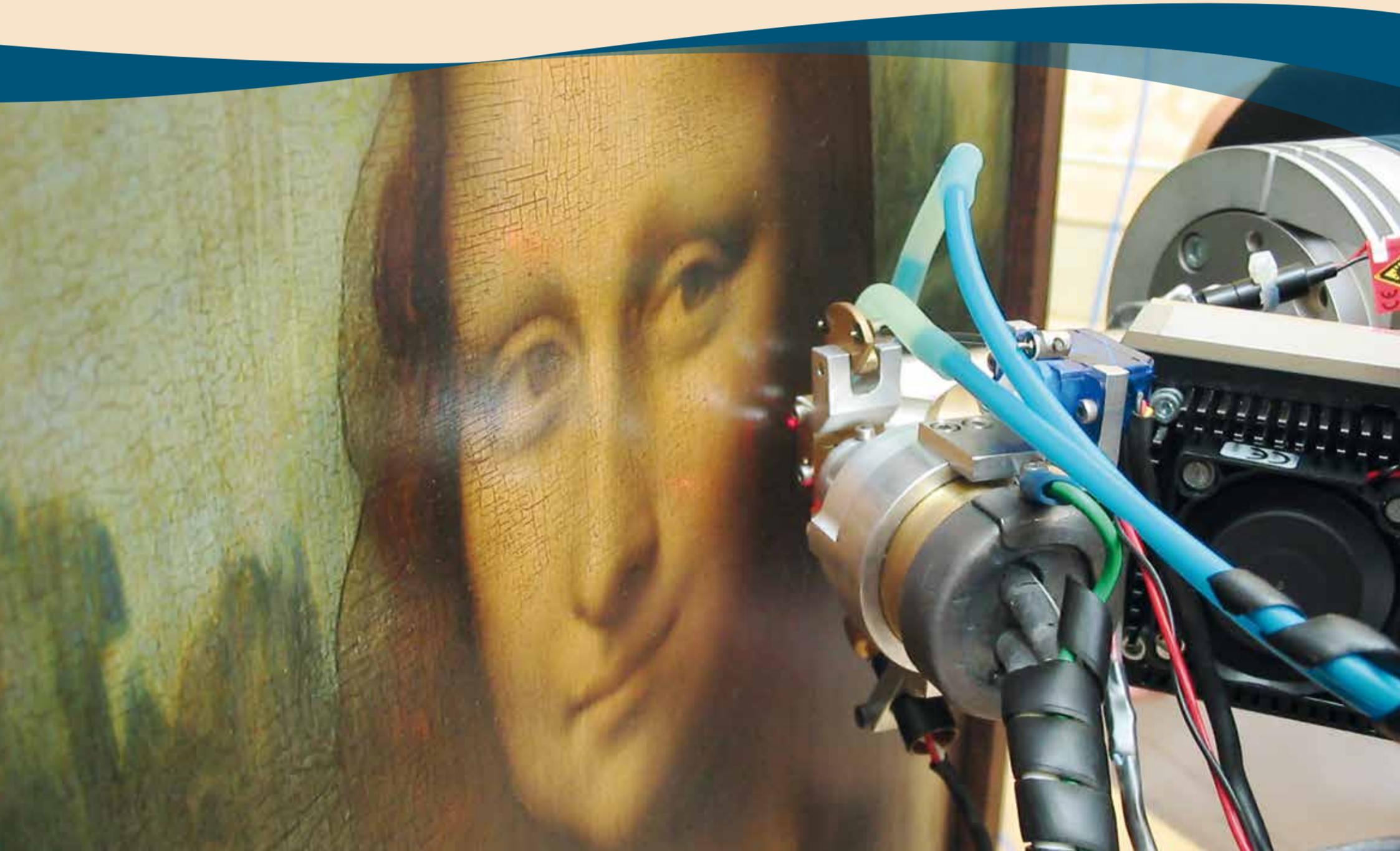
Physik für unser

KULTURERBE

Physikalische Methoden – oft basierend auf Techniken oder Instrumenten der Kern- oder Teilchenphysik – sind **zu unverzichtbaren Werkzeugen für die Analyse, das Verständnis und die Erhaltung unseres kulturellen Erbes** geworden. Das wohl bekannteste Beispiel ist die Radiokohlenstoffdatierungsmethode. Durch Messung des Gehalts an radioaktiven Kohlenstoff-¹⁴C-Isotopen ermöglicht sie eine genaue Altersbestimmung archäologischer Objekte bis 50.000 Jahre zurück. Ionenstrahlen aus Teilchenbeschleunigern können hingegen zur Analyse der chemischen Zusammensetzung

antiker Legierungen oder Gläser verwendet werden, während Neutronen helfen, Spurenelemente in Keramiken zu identifizieren, um so Auskunft über ihre Herkunft zu liefern. Die Kombination verschiedener Methoden ermöglicht die präzise, zerstörungsfreie Bestimmung des Alters und der Herkunft von archäologischen Objekten oder Kunstwerken. **Solche Techniken bieten heute auch die Möglichkeit, Fälschungen zu entlarven!** Darüber hinaus eliminieren Gammastrahlen Bakterien oder Pilze auf Wert- oder Kulturgegenständen, die dadurch länger erhalten bleiben. Für Objekte,

die zu groß oder zu empfindlich sind, um sie zu Neutronenquellen oder Beschleunigerlabors zu transportieren, gibt es mittlerweile eine neue Generation von leistungsstarken, tragbaren Teilchenbeschleunigern, die zu Museen oder archäologische Stätten gebracht werden können. Mit einem solchen tragbaren Gerät, das sogenannte Myonen aus der kosmischen Strahlung nachweist, wurde beispielsweise jüngst eine Lücke in der Großen Pyramide auf dem Plateau von Gizeh in Ägypten entdeckt.



Revolution in der

LICHTERZEUGUNG - LED

Das neue Jahrtausend begann mit einer kleinen Revolution: der Verbreitung der kleinsten, robustesten, schnellsten und wirtschaftlichsten Lichtquelle, die die Technologie je hervorgebracht hat: **der Leuchtdiode (LED)**. Ausgangsbasis dafür sind Halbleitermaterialien, die bereits die Elektronik revolutioniert haben. Ihnen ist es zu verdanken, dass es der Wissenschaft gelang, Lichtquellen herzustellen, die nur sehr wenig Energie verbrauchen. Nach Kerzen, Glühbirnen und Leuchtstoffröhren können LEDs nun als vierte Generation der Beleuchtungstechnologie bezeichnet werden.

Wie funktioniert eine Leuchtdiode? LEDs sind extrem kleine Leuchtmittel, die sich leicht in einen Stromkreis integrieren lassen. Zum Leuchten brauchen sie keinen Glühdraht; sie werden deshalb nicht heiß. Es entsteht keine Abwärme. Das macht sie so effizient. Das Licht wird stattdessen durch die Bewegung von Elektronen im Halbleitermaterial erzeugt, ähnlich wie in einem Transistor. Nach der Quantentheorie setzen Elektronen, die in ein niedrigeres Energieniveau fallen, Energie frei und zwar in Form von Lichtteilchen, sogenannten Photonen.

Gegenüber anderen Lichtquellen ha-

ben LEDs viele Vorteile: geringer Energieverbrauch, lange Lebensdauer, große Robustheit, kompakte Ausmaße und schnelles Schalten. Deshalb setzten sie sich in den vergangenen zehn Jahren weltweit durch. Man findet sie heute in Autoscheinwerfern, Werbedisplays, Fernsehbildschirmen, in der Haus- und Industriebeleuchtung, in Ampeln, Kamerablitzern oder sogar in beleuchteten Tapeten.

Was können wir in Zukunft erwarten? Möglicherweise eine weitere Revolution: die drahtlose Beleuchtung. Aber das ist noch Zukunftsmusik!



Physik für die in der Gesellschaft

Laser für die

KOMMUNIKATION

Wann immer Sie eine E-Mail senden oder im Internet surfen, laufen Ihre digitalen Informationen wahrscheinlich über Glasfaserkabel. Sie übermitteln heutzutage einen Großteil der Signale des Internets, der Telefonverbindungen oder des Kabelfernsehens. Denn Glasfaserkabel haben gegenüber denen aus Kupfer bedeutende Vorteile: Sie haben eine höhere Aufnahmekapazität, geringere Leistungsverluste und sind weniger stör anfällig. Die Fasern bestehen in der Tat aus Glas; sie sind

allerdings nur so dünn wie ein menschliches Haar. Eine Ummantelung verhindert, dass das Licht die Faser verlässt. Die Fasern werden zu Kabeln gebündelt, die sich leicht biegen lassen. Eingespeist werden Infrarotlichtimpulse, die von Leuchtdioden (LEDs) oder kleinen Lasern erzeugt werden.

Die Glasfasertechnik ist ein beeindruckendes Beispiel für den Einsatz des Lasers. Laser sind mittlerweile zu wichtigen Instrumenten unseres täglichen Lebens geworden: Weitere Beispiele sind, Barcodescanner, das

Drucken mit Lasern, das Laserschweißen und -schneiden sowie die Laserchirurgie, um nur einige zu nennen. Das war anfänglich nicht zu erwarten: nachdem der Laser in den 1950er Jahren aus der Grundlagenforschung hervorgegangen war, wurde ihm nachgesagt, er sei „eine Lösung auf der Suche nach einem Problem“. **Mittlerweile sind Laser aus dem modernen Leben nicht mehr wegzudenken!**



European Physical Society
www.eps.org



Deutsche Physikalische Gesellschaft
www.dpg-physik.de

MRT für die

MEDIZINISCHE DIAGNOSTIK

Die Magnetresonanztomographie (MRT) ist eine nicht-invasive Technik, die mit erstaunlicher Präzision Bilder aus dem Inneren unseres Körpers erzeugt. Sie kann sogar krankes Gewebe von gesundem unterscheiden. Wie schafft sie das?

Die MRT nutzt die Tatsache, dass sich die Kerne einfacher Atome wie Wasserstoff, von denen wir viele in unserem Körper haben, wie winzige Magnete verhalten, die sich drehen. Ein äußeres Magnetfeld richtet die magnetischen Momente der Wasserstoffatome parallel oder antiparallel zu den Feldlinien

aus. Durch Einschalten eines Radiosignals mit genau der richtigen Frequenz können die Atome nun dazu gebracht werden, von parallel auf antiparallel zu wechseln. Nach dem Abschalten, kehren die Atome wieder in ihre ursprüngliche Lage zurück. Die Geschwindigkeit, mit der sie das tun, hängt von ihrer Umgebung ab. Dabei unterscheidet sich gesundes und krankes Gewebe. **Dies macht die MRT zu einer leistungsstarken Methode für die Diagnose und Untersuchung von Krankheiten.**

Das Interessante ist, dass der Magnetreso-

nanztomograph erst durch Kombination zweier Forschungsrichtungen möglich wurde: die kernmagnetische Resonanz lieferte die Idee, und die Supraleitung bildete die Basis für die notwendigen starken Magnete. Die Magnetresonanztomographie ist also ein schönes Beispiel dafür, wie aus der physikalischen Grundlagenforschung ein **fantastisches, medizinisches Instrument** entstand.



Radiowellen zur

IDENTIFIKATION UND NACHVERFOLGUNG

Funketiketten sind ein schönes Beispiel dafür, wie Spitzentechnologie aus der Grundlagenforschung unser Leben einfacher machen kann. Sogenannte RFID-Chips eignen sich hervorragend zur Identifikation und Nachverfolgung von Objekten aller Art. Weil sie so winzig sind, lassen sie sich nahezu überall einbauen: **in Autos, Kreditkarten oder sogar in Halsbändern von Haustieren.** Das Besondere ist, dass Radiowellen keinen Sichtkontakt benötigen: Es reicht, ein Lese-

gerät in der Nähe vorbeizuführen.

Die meisten Systeme benötigen keine Batterien oder andere Stromquellen: Die Funkwellen des Senders induzieren im Gerät den erforderlichen Strom. Dieser liefert genügend Energie, um auf dem RFID-Chip einfache Berechnungen durchzuführen und ihn mit dem Sender kommunizieren zu lassen. Je nach Art des Etiketts und der verwendeten Funkfrequenzen können **RFID-Systeme über Entfernungen von zehn Zentimeter bis über zehn Meter arbeiten.**

Damit eignen sie sich beispielsweise ebenso für das Lösen von Fahrkarten in Zügen oder Bussen wie für das Bezahlen der Maut auf Autobahnen. Mit RFID-Chips in Armbändern von Patienten können im Krankenhaus sogar rasch lebenswichtige Behandlungsdaten abrufen werden. **Natürlich muss stets der Schutz der Privatsphäre gewahrt bleiben und Missbrauch vermieden werden.**



Grundlegende Wissenschaft in der Tasche

DAS SMARTPHONE

Ihr Smartphone, das Sie wahrscheinlich in Ihrer Tasche tragen, ist eines der erstaunlichsten Geräte in der Geschichte von Wissenschaft und Technik. Wir sind uns nicht immer bewusst, welche Auswirkungen die Erkenntnisse der Grundlagenforschung auf unser tägliches Leben haben. Doch dieses kleine Ding, das 2007 erstmals in großem Stil auf den Markt kam, **verdankt seine Existenz jahrzehntelanger wissenschaftlicher Forschung**, die oft mit Nobelpreisen gewürdigt wurde. So wurde beispielsweise die Entwicklung moderner Flüssigkristalle in LCD-Displays stark von der Arbeit des französischen Physikers Pierre-Gilles de Gennes (Nobelpreis für Physik, 1991) be-

einflusst. Ein weiterer Durchbruch war die Erfindung des Halbleiter-CCD-Lichtsensors für moderne Kameras durch die US-amerikanischen Physiker Willard Sterling Boyle und George Elwood Smith (Nobelpreis für Physik, 2009). Die präzise Ortung Ihres Smartphones ist dank des globalen Ortungssystems GPS möglich, das eine ultragenauere Zeitmessung mittels Atomuhren und das Wissen um die exakte Position gewisser Satelliten erfordert. Ohne die Kenntnis von Albert Einsteins Relativitätstheorie und vieler physikalischer Prinzipien würde das GPS heute nicht existieren. Zu den Technologien, die zum modernen Smartphone beitragen, gehören insbesondere die leistungsstarken

Halbleiterbauelemente wie die Mikroprozessoren, der hochdichte Datenspeicher, die SIM-Karte zur sicheren Identifikation und Authentifizierung, die Sender und Empfänger für die drahtlose Kommunikation und der Touchscreen sowie das OLED-Display mit seinen lichtemittierenden organischen Dioden oder der Lithium-Ionen-Akku. **Diese fantastischen Leistungen, integriert in einem kompakten Gerät, das leicht in die Hosentasche passt, waren nur durch die Zusammenarbeit von Männern und Frauen aus der Forschung, dem Ingenieurwesen und der Industrie möglich.**



Spektroskopie zur

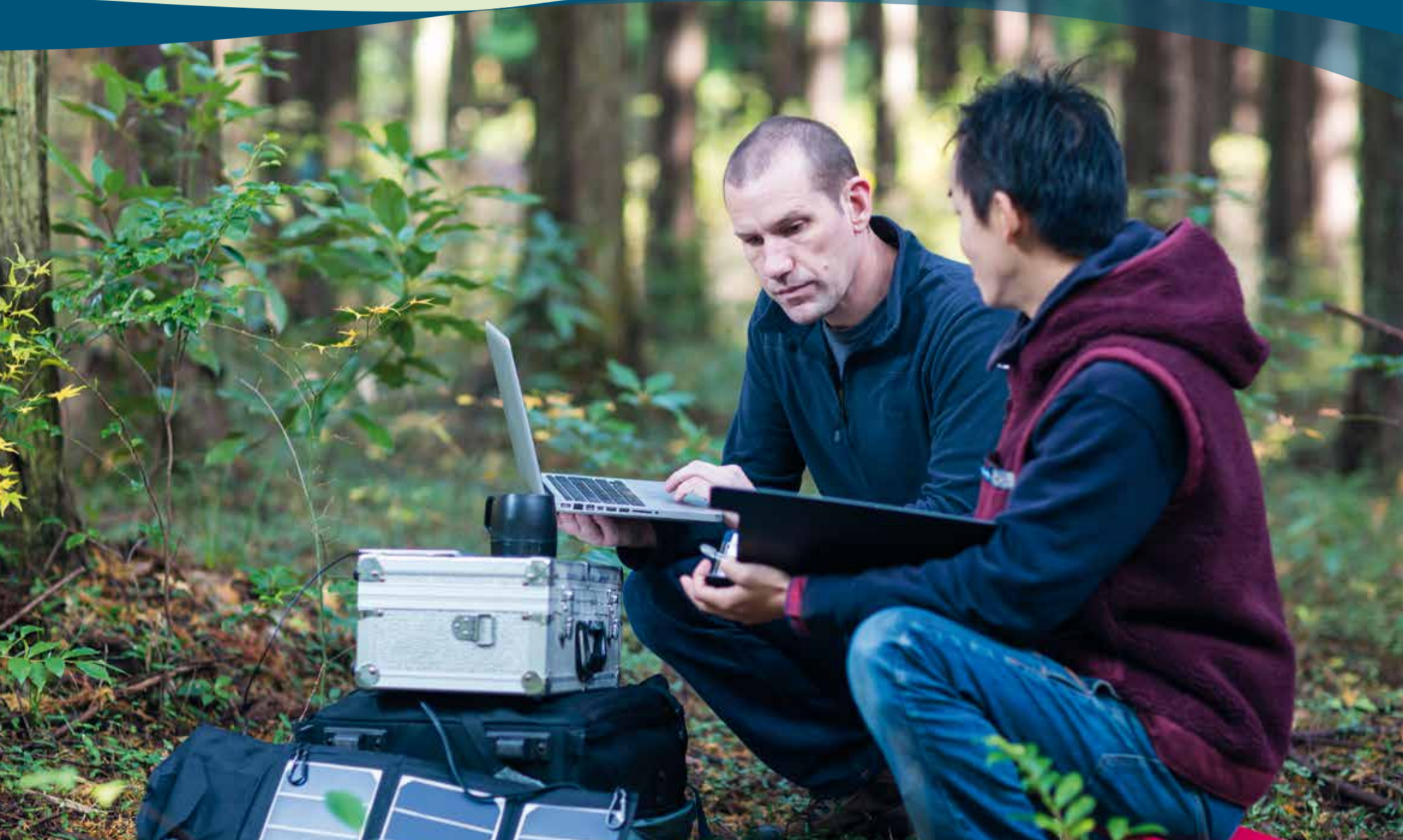
BEOBACHTUNG UNSERER UMWELT

Die Umweltüberwachung ist wie ein großes Stethoskop, mit dem wir sozusagen **den Atem und den Pulsschlag der Erde beobachten** können. Der Indianerhäuptling Seattle, nach dem auch die Stadt im Nordwesten der Vereinigten Staaten benannt wurde, sagte einmal: „Wir erben die Erde nicht von unseren Vorfahren, sondern wir leihen sie uns von unseren Kindern“. In diesem Geiste haben die Vereinten Nationen die Klimakonferenzen ins Leben gerufen, auch um die Fortschritte im Umgang mit dem Klimawandel zu bewerten.

Statt Schall wie beim Stethoskop verwenden die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler allerdings meist Licht. **Mit spektroskopischen Methoden können sie die Wasser- oder Luftqualität in Echtzeit beobachten und analysieren.** Das funktioniert etwa so: Stellen Sie sich vor, Sie verwenden Licht wie Ihre Stimme. In einer Höhle erzeugt Ihr Schrei ein Echo. Das sagt Ihnen etwas über die Natur der Höhle, in der Sie sich befinden. In ähnlicher Weise liefert reflektiertes Licht Informationen beispielsweise über die chemische Zusammen-

setzung und die Qualität der Luft oder des Wassers.

Diese Informationen werden zum Beispiel für Umweltverträglichkeitsprüfungen genutzt. In nicht allzu ferner Zeit wird es wohl sogar möglich sein, mit Smartphones eigenständig Daten in Echtzeit zu sammeln. **Diese Form der Bürgerbeteiligung wird dazu beitragen, unsere Lebensqualität zu verbessern zum Wohl der gesamten Menschheit.**



Teilchenstrahlen für die

GESUNDHEIT

Wilhelm Conrad Röntgen entdeckte 1895 die **Röntgenstrahlen**, eine Leistung, die ihm 1901 den erstmals vergebenen Nobelpreis für Physik einbrachte und den Beginn der modernen medizinischen Bildgebung markiert. Wenige Jahre später stellte man fest, dass die gleichen Röntgenstrahlen auch zur Behandlung von Krebs eingesetzt werden können. **Röntgenstrahlen sind einfach und kostengünstig herzustellen und nach wie vor die am häufigsten verwendete Bestrahlungstechnik.** Heute werden sie ergänzt durch geladene Teilchen, meist Protonenstrahlen, die mit Beschleuni-

gern erzeugt werden. Teilchenstrahlen bieten entscheidende Vorteile: Sie lassen sich in Richtung, Größe und Energie präzise einstellen und entfalten durch den sogenannten Bragg-Peak ihre stärkste strahlenbiologische Wirkung an einem genau bestimmbareren Ort. Mit dieser Behandlung kann daher millimetergenau auf das Krebsgeschwür gezielt werden. **Das macht Protonen zu einem idealen Werkzeug für die Behandlung kleiner Tumore in der Nähe empfindlicher Organe oder Gewebe.** Noch größere radiobiologische Wirksamkeit erreichen Ionenstrahlen, insbesondere aus

Kohlenstoffionen – eine Technik, die oft als Hadronentherapie bezeichnet wird. Sie erfordert allerdings größere und komplexere Beschleuniger. Daher wurden bisher nur wenige Hadronentherapiezentren gebaut, die meisten davon in Europa. **Die Forschung und Entwicklung arbeitet nun intensiv daran, diese Geräte kompakter zu machen, damit möglichst viele Kliniken ihren Patienten diese Therapie anbieten können.**



Nanotechnologie

FÜR SAUBERES WASSER

Wasser ist lebenswichtig für den Menschen; es ist aber eine endliche Ressource: **über 750 Millionen Menschen haben keinen Zugang zu sauberem Wasser** – das ist etwa jeder neunte Mensch auf der Welt – und **mehr als 840.000 Menschen sterben jährlich wegen verunreinigtem Wasser an Krankheiten. Durch das Bevölkerungswachstum steigt der Bedarf an sauberem Wasser**; gleichzeitig sind Wasserquellen wie Seen, Flüsse oder das Grundwasser einer zunehmenden Kontamination und Versalzung ausgesetzt. Der Zugang zu sauberem Wasser ist aber entscheidend für das Überleben des Menschen und für einen nachhaltigen Fortschritt. Dar-

über hinaus ist der freie Zugang zu sauberem Wasser von strategischer Bedeutung für die Wahrung der politischen Stabilität und des weltweiten Friedens.

Neuartige Nanomaterialien spielen für die Wasserbewirtschaftung eine entscheidende Rolle. Beispielsweise machen die Polymerwissenschaften bei der Entsalzung oder Wasseraufbereitung durch Umkehrosmose rasante Fortschritte. Die Kombination verschiedener graphenbasierter Geräte ermöglicht es, Systeme zu entwerfen, die Wasser kosteneffizient auf molekularer Ebene filtern. Solche Systeme sind insbesondere für Entwicklungsländer überaus nützlich, die oft gleichzeitig an Wasser- und Energie-

mangel leiden. Funktionale, biokompatible Nanopartikel lassen sich heute bereits mit höchster Präzision herstellen, um in Wasser gelöste Schadstoffe zielgenau herauszufiltern. Elektroden auf Kohlenstoffbasis ermöglichen ferner, Abfälle in Energie umzuwandeln.

Dies sind nur einige von unzähligen Beispielen, wie wichtig die Nanowissenschaften und die Physik für die Wasseraufbereitung sein können. Das ist zugleich eine große Herausforderung für viele wissenschaftliche Disziplinen.

