

Große Sprünge mit kleinen Quanten

Quantenmaterialien

Das zukünftige Silizium der Quantentechnologie?

Unter Kontrolle

Algorithmische Manipulation durch Regelungstechnik

Wie Licht Moleküle bewegt

Neue Wege in der Medizin mit Photopharmakologie



Die ÖGNI – Österreichische Gesellschaft für Nachhaltige Immobilienwirtschaft, ist eine NGO zur Etablierung der Nachhaltigkeit in der Bau- und Immobilienbranche. Der Gebäudesektor in Österreich ist mit 16,1% einer der wichtigsten Verursacher von Treibhausgas-Emissionen. Um das Reduktionsziel von THG-Emissionen bis 2030 zu erreichen, gibt es also viel zu tun. Dafür brauchen wir DICH!

Bei uns gibt es:

Eine enge Zusammenarbeit mit flacher Hierarchie und einer offenen Kommunikation in einem jungen dynamischen Team Selbstständige Arbeitsweise und Entfaltungsmöglichkeit

Einen attraktiven Arbeitsplatz im Bereich der Nachhaltigkeit sowie ein spannendes und stetig wachsendes Aufgabengebiet Kostenlose Teilnahme an den ÖGNI Ausbildungskursen (Registered Professional & Consultant)

Möglichkeit zu Homeoffice

Gute öffentliche Erreichbarkeit in Wien | Nähe Hauptbahnhof Freier Eintritt zu vielen Branchenevents

Wir bieten eine marktkonforme Bezahlung in Abhängigkeit von der beruflichen Vorerfahrung & Qualifikation.



LIEBE LESER:INNEN

Die vielfältigen Forschungs- und Themenschwerpunkte der TU Wien bieten immer wieder Stoff für interdisziplinär gestaltete AbsolventInnenmagazine.

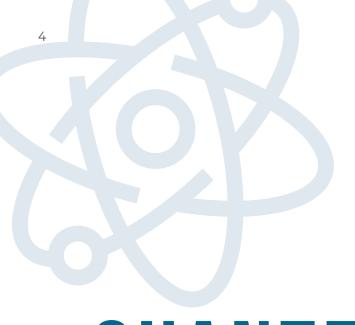
Gerade die Quantenphysik hat an der TU Wien eine lange Tradition und ist national wie international enorm stark vernetzt. Die Themenführerschaft im Bereich von Quanten bietet ein besonders breites Spektrum für dieses Bulletin. Gerne nehmen wir Sie mit auf eine Reise vom Elektronenmikroskop, über Quanten-Lego und hybride Quantensysteme bis hin zu Simulationen, maßgeschneidertes Quantenlicht und Quantenmaterialien.

Außerdem beginnt mit dem WS2023/24 die Amtsperiode für das neue Rektorat, wir freuen uns auf die Zusammenarbeit. Viel Vergnügen beim Durchlesen und Schmökern in der vorliegenden Ausgabe des Bulletin.

Herbert Danninger & Silke Cubert

INHALTSVERZEICHNIS

- 4 Quanten @ TU Wien
- 6 Elektronenmikroskopie in der zweiten Quantenrevolution
- 8 Atomares Quanten-Lego Wie sich komplexe Festkörper Atom für Atomim Labor nachbauen lassen
- 9 Quantensimulation
- 10 Quantenmaterialien
- 12 Transformation der europäischen Wirtschaft
- 13 Neues Rektoratsteam an der TU Wien
- 14 Hybride Quantensysteme
- 15 Maßgeschneidertes Quantenlicht
- 17 100% Green Power Österreichische Energie im Reality Check
- 18 Die Lösung der Schrödingergleichung
- 20 Künstliche Intelligenz für Quantensysteme
- 23 Interferometrie mit Neutronen Grundlage für moderne Quantentechnologien
- 24 Quantenphysik unter Kontrolle
- 26 Knapp 0,000009 m: So weit breitet sich Licht in 30 Femtosekunden aus
- 28 Photopharmakologie Wie Licht Moleküle bewegt
- 30 Mit Lichtquanten zum Material
- 33 Große Expetrimente für kleine Chemiker:innen
- 34 Vermessung der Welt mit Quasaren
- 36 Global Navigation Satellite Systems Timing ist alles
- 38 Innovation durch Erfahrung
- 40 Ein Dankeschön an die Autor:innen
- 42 TUWac Events



QUANTEN @ TU WIEN

Jörg Schmiedmayer

Die TU Wien hat eine lange Tradition in der Quantenphysik, die von fundamentalen Fragestellungen zu Materiewellen, Messung und Verschränkung über Quantenmaterialien, Quantenelektronik und Computational Material Science bis hin zu Anwendungen in z.B. Chemie oder Messtechnik reicht. In jüngster Zeit kamen ultrakalte Quantengase, Quanten-Vielteilchenphysik, Quantensimulation und Quanteninformation hinzu.

Sprechen wir über Quantenphysik an der TU Wien, dann ist insbesondere die weltweit erste Demonstration eines Neutroneninterferometers (Abb. 1) durch Helmut Rauch hervorzuheben. Seine visionären Experimente am Atominstitut haben ein neues Wissenschaftsgebiet, die Materiewelleninterferometrie, begründet. Die vielen Fragestellungen, die er und Anton Zeilinger an der TU Wien erdacht und experimentell untersucht haben, haben das Verständnis von Quantenphänomenen nachhaltig geprägt und sind bis heute Ausgangspunkt vieler neuer Entwicklungen.

Die Quantenwissenschaft an der TU Wien ist national und international bestens vernetzt und finanziert die Forschung zu einem überwiegenden Teil durch eingeworbene Projekte.

Dies spiegelt sich in einer großen Anzahl von FWF- und FFG-Projekten, in Sonderforschungsbereichen, Forschergruppen, Doktoratskollegs START-, Wittgenstein- sowie

ERC-Grants wider.

Besonders

Abb. 1: Perfekt-kristall Neutronen Interferometer von H. Rauch.



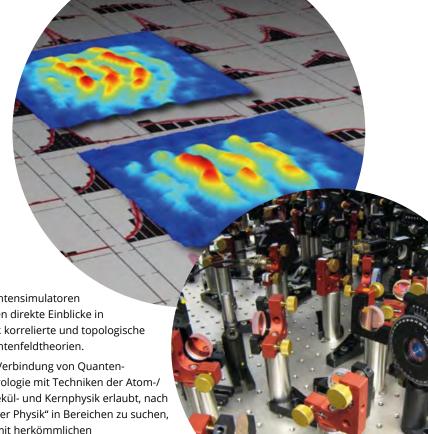
am Herzen liegt uns die Förderung junger Wissenschaftler:innen, die aus der ganzen Welt an die TU Wien kommen, um hier ihr wissenschaftlichen Karrieren zu gestalten.

Vor Ort ist die Zusammenarbeit der Quantenwissenschaften im Vienna Center for Quantum Science and Technology (VCQ) organisiert, an dem neben der TU Wien auch die Universität Wien, die ÖAW und das ISTA vertreten sind.

Österreichweit wird die Quantenwissenschaft ab 1. Oktober 2023 im Cluster of Excellence (CoE): Quantum Science Austria (quant A) unter der Führung der Universität Innsbruck zusammenarbeiten. Die Quantenwissenschaftler: innen an der TU Wien waren an der Entstehung, der Formulierung und dem erfolgreichen Verteidigen von quant A entscheidend beteiligt.

Ein zentraler Punkt in quantA ist ein intensives und breit angelegtes Ausbildungs- und Trainingsprogramm für die Quantenwissenschaftler:innen und Quanteningenieur: innen der Zukunft. Dieses wird von der TU Wien koordiniert und gestaltet.

Der so entstehende Pool an exzellentem Quantumtalent wird zum Erfolg der sich in den letzten Jahren explosionsartig entwickelnden Start-up-Szene in den Quantenwissenschaften und deren



Anwendungen (2,4 Mrd. USD an Investment im Jahr 2022 mit exponentiellem Wachstum) sowohl als Gründer:innen als auch Gestalter:innen entscheidend beitragen.

Wissenschaftlich konzentriert sich der Exzellenzcluster quant A auf die Grundlagenforschung. Das gewonnene Wissen ist Motor für zukünftige Innovationen. Im Zentrum stehen grundlegende Fragen zur Quantennatur von Raum, Zeit und Schwerkraft, neue Paradigmen in der Quanteninformationswissenschaft und die Physik von Quanten-Vielteilchensystemen. Durch die Kombination des in Österreich vorhandenen, einzigartigen Know-hows sollen die schwierigsten Rätsel der Quantenwelt entschlüsselt werden, um damit die nächste Generation an Quantentechnologien zu starten.

Im Folgenden finden sich Beispiele für wissenschaftliche Fragestellungen und Knowhow, das von Quantenwissenschaftler:innen der TU Wien in quant A eingebracht wird:

- Ein tiefes Verständnis des Zusammenhangs zwischen mikroskopischer Quantenphysik und statistischer Physik wird zeigen, wie die klassische Welt mit der Quantenwelt vereinbar und was Zeit ist.
- Mittels des Atomaren Quanten-Legos können komplexe Quantensysteme simuliert und so Quantenmaterialien besser verstanden werden.

 Quantensimulatoren geben direkte Einblicke in stark korrelierte und topologische Quantenfeldtheorien.

Die Verbindung von Quantenmetrologie mit Techniken der Atom-/ Molekül- und Kernphysik erlaubt, nach "neuer Physik" in Bereichen zu suchen, die mit herkömmlichen Methoden nicht zugänglich sind.

· Die Verbindung von Quantenmetrologie und Elektronenmikroskopie wird völlig neue Instrumente für Materialwissenschaften und Biologie ermöglichen.

- · Neue Methoden der optimalen Kontrolle gepaart mit maschinellem Lernen geben neue, ungeahnte Möglichkeiten, Quantensysteme zu präparieren, zu kontrollieren, zu untersuchen und zur Anwendung zu bringen.
- · Künstliche Intelligenz und neue theoretische Methoden werden detaillierte Einsicht in und die Beschreibung von Quantensystemen mit vielen Teilchen ermöglichen.

Viele dieser Projekte sind sehr risikoreich. Gelingt es jedoch, diese als weltweit Erster umzusetzen, werden sie neue Wissenschaftsgebiete eröffnen, so wie das Neutroneninterferometer von Helmut Rauch in den 1970er-Jahren oder die Attosekundenlaser von Ferenc Krausz Anfang der 2000er-Jahre.

Stay tuned and enjoy the ride:)

und Fangen von Atomen.



ELEKTRONEN-

MIKROSKOPIE IN DER ZWEITEN QUANTENREVOLUTION Philipp Haslinger

Materiewellen gibt es schon seit genau 100 Jahren, zumindest theoretisch. Denn Louis de Broglie veröffentlichte im Oktober 1923 zum ersten Mal seine berühmte Formel der Materiewellenlänge λ_{dB} =h/mv auf einer halben Seite im wissenschaftlichen Magazin Nature. Dabei stehen h für eine fundamentale Naturkonstante, m und v für die Masse und Geschwindigkeit des Teilchens. Nicht einmal fünf Jahre später, im Jahr 1927, wurde durch einen Zufall in einem Elektronenstrahlaufbau der erste experimentelle Nachweis dieser Materiewellen als Nebenprodukt erbracht. Daraufhin folgten nicht nur mehrere Nobelpreise, sondern auch Ernst Ruska und Max Knoll, die Anfang der 1930er-Jahre genau diese elektronischen Materiewellen verwendeten, um die Grenzen der Lichtabbildung zu überbrücken, und das erste Elektronenmikroskop entwickelten.

Noch während der Wirren des Zweiten Weltkriegs wurde in den 1940er-Jahren das erste Elektronenmikroskop, das damals Übermikroskop genannt wurde, an der TU Wien in Betrieb genommen. Von Anfang an war die TU Wien Teil dieser Revolution, die als erste Quantenrevolution bekannt wurde und uns nicht nur das Sehen im atomaren Bereich ermöglichte, sondern auch den Grundstein der modernen Halbleiter- und Lasertechnik ebnete. Nun, fast 80 Jahre später, befinden wir uns in der Mitte der zweiten Quantenrevolution, bei der wir im Begriff sind, absolute Quantenkontrolle über einzelne Teilchen, wie z.B. Photonen, Elektronen und Atome, zu erlangen. Diese zweite Revolution begann still und leise, anfangs nur in Gedankenexperimenten erdacht, mit spukhafter Fernwechselwirkung verschränkter Teilchen, welche jedoch im Widerspruch zum klassischen Weltbild und unserer "realistischen" Alltagserfahrung stehen. Aber auch die Elektronenmikroskopie ist nicht im vorigen Jahrtausend steckengeblieben.

Seit einigen Jahren macht sich ein neues interessantes Forschungsgebiet im Bereich der Elektronenmikroskopie breit, das an die zweite Quantenrevolution anknüpft: die Quantenelektronenoptik. Hier wird versucht, Elektronenmikroskopie mithilfe von Quanteneffekten zu erweitern, um z.B. quantenmechanische Eigenschaften zu vermessen, die für Elektronen klassisch unsichtbar sind, aber auch, um elektronenbedingte

USIEM

2024 zieht das USTEM in das neue Gebäude am Atominsitut ZE.



Schlusssatz aus seinem Nature Artikel

"... [matter-waves might] solve almost all the problems brought up by quanta." Louis de Broglie



Strahlungsschäden zu unterdrücken. Denn atomare Strukturen sind mittlerweile mit Elektronenmikroskopen leicht zu untersuchen. Selbst bildgebende Verfahren, die zeitliche Effekte im Sub-Picosekundenbereich (<10⁻¹² sec) erfassen können, sind durch neue spezielle Elektronenquellen möglich. Verrückt! Wir können Atome auflösen, eines nach dem anderen. Atome, die Pixel unserer Realität! Die chemischen Bausteine unseres Lebens. Im Prinzip können wir Zellen, Atom für Atom, beim "Leben" zuschauen. Doch leider nur im Prinzip, denn die Bestrahlung der Probe mit Elektronen verursacht Strahlenschäden, sodass meist biologische Proben wie Viren oder Proteine schon starke Degradierungen aufweisen, bevor man ein brauchbares atomar aufgelöstes Bild bekommt. Genau hier setzt die Forschung an der Universitären Service-Einrichtung für Transmissionselektronenmikroskopie (USTEM) an. So werden z.B. spezielle Quantentechniken eingesetzt, um diese Strahlenschäden zu umgehen. Auch für die Energiewende werden neue Techniken erforscht, die das Kathodenmaterial von Akkus quantenmechanisch charakterisieren und neue Einblicke für bessere Energiespeicher liefern sollen.

80 Jahre nach dem ersten Elektronenmikroskop an der TU Wien setzt das vom FFG mit 4,7 Mio. € geförderte "Austrian Quantum Transmission Electron Microscope", das eine dieser speziellen ultraschnellen Elektronenquellen besitzt, die Forscher:innen auch im Rahmen des FWF – Cluster of Excellence "Quantum Science Austria" wieder an eine besondere Stelle. Denn nicht nur die Geräte und Ideen sind innovativ, sondern auch der neue Forschungsstandort des USTEM ist top, das Atominstitut ZE, gleich neben dem für seine fortschrittliche Grundlagenforschung im Bereich der Quantenoptik bekannten Atominstitut. Es bietet zudem auch perfekte Rahmenbedingungen, um mit fortschrittlicher Elektronenmikroskopie und frischer Grundlagenforschung die nächsten Quantenrevolutionen zu prägen.

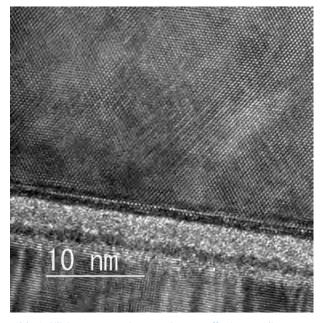


Abb. 1: Siliziumatome mit etwas Sauerstoff. "Atome, die Pixel unserer Realität! Sofern die "Realität", so wie wir sie kennen, in der zweiten Quantenrevolution überhaupt noch bestehen kann", fügt P. Haslinger mit einem Lächeln hinzu.

ATOMARES QUANTEN-LEGO

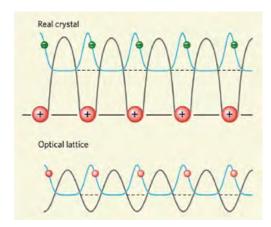
WIE SICH KOMPLEXE FESTKÖRPER ATOM FÜR ATOM IM LABOR NACHBAUEN LASSEN

Julian Leonard

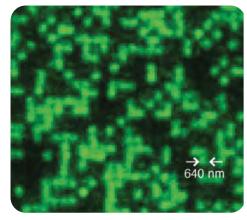
In den meisten Festkörpern sind die Atome auf einem regelmäßigen Kristallgitter angeordnet. Sie besitzen eine mikroskopische Struktur, die sich periodisch wiederholt. Während die Atomrümpfe unbewegt auf dem Kristallgitter festsitzen, können sich die viel leichteren Elektronen von Gitterplatz zu Gitterplatz bewegen (Abb. 1). Ihr Verhalten bestimmt den Zustand des Festkörpers, z.B. seine elektrischen und magnetischen Eigenschaften. Besonders spannend wird es in sogenannten stark korrelierten Festkörpern, in denen die

In unserer Forschungsgruppe versuchen wir, diese Rätsel zu lösen, indem wir ein originalgetreues Modell dieser Festkörper konstruieren. Dieses Modell lässt sich viel besser kontrollieren und manipulieren als der echte Festkörper, weil die Abstände zwischen den Atomen viel größer sind. Die Gitterstruktur für das Modell wird mit Laserlicht erzeugt, das exakt die Wirkung der unbewegten Atome in einem Festkörper nachbildet. Mit einem zweiten beweglichen Laserstrahl setzen wir nun Atome in diesen Kristall aus Licht ein und bauen damit den Festkörper Atom für Atom nach – als wäre er ein Lego-Bausatz. Dieses atomare Lego gibt uns ein tausendfach vergrößertes Modell-system eines Festkörpers, in dem Atome exakt die gleichen quantenmechanischen Zustände einnehmen wie Elektronen im realen Festkörper. Mit einem optischen Mikroskop können wir jedes einzelne Atom beobachten, platzieren und seine Bewegung verfolgen. Das gibt uns neue Möglichkeiten, diese Zustände zu beobachten und zu manipulieren.

Atomen (rot). Unten: Atome (rot) Laserlicht (schwarz).



Elektronen stark miteinander wechselwirken und komplexe quantenmechanische Zustände einnehmen können. Solche Festkörper lassen sich numerisch nur sehr schwierig beschreiben, weshalb sie nach wie vor viele Rätsel aufwerfen.





Einzelne Atome in einem zweidimensionalen optischen Gitter. Jedes Atom fluoresziert (grün dargestellt), leere Gitterplätze erscheinen dunkel. Der Abstand zwischen zwei benachbarten Gitterplätzen beträgt 680 nm, etwa tausend Mal größer als in einem realen Festkörper.



Fotos: © TU Wier

QUANTENSIMULATION

Sebastian Erne & Maximilian Prüfer

Quanten-Vielteilchensysteme liegen im Zentrum vieler technologischer Anwendungen und fundamentaler Fragestellungen. Die Komplexität solcher Systeme wächst exponentiell mit deren Größe, ihr Verhalten kann daher nicht mehr mit klassischen Computern aus der mikroskopischen Quantenphysik berechnet und verstanden werden. Um diese Fragestellungen zu studieren und zu modellieren, entwickeln wir am Atominstitut der TU Wien hochkontrollierte experimentelle Systeme, sogenannte Quantensimulatoren.

Das Konzept der Quantensimulation wurde ursprünglich von Richard Feynman in den 1980er-Jahren vorgeschlagen. Er argumentierte, dass man zur effizienten Simulation komplexer Quantensysteme zwangsläufig einen "Computer" braucht, der mittels quantenmechanischer Regeln rechnet. Die logische Weiterentwicklung klassischer Computersimulationen ist dabei der digitale Quantensimulator: Hier wird ein Problem in einen Algorithmus für einen Quantencomputer umgewandelt. Dieser Ansatz ist sehr allgemein, erfordert aber einen vollen Quantencomputer mit Fehlerkorrektur. Im Gegensatz dazu wird bei analogen Quantensimulatoren ein Quantensystem im Labor so aufgebaut, dass es die mikroskopische Quantenphysik des zu untersuchenden Systems nachbildet. Ein viel untersuchtes Beispiel sind ultrakalte Atome in optischen Gittern, um das Verhalten von Festkörpersystemen zu simulieren. Am Atominstitut der TU Wien haben wir eine neue Art analoger Quantensimulatoren entwickelt: emergente Quantensimulatoren (EQuS). Emergenz bedeutet hierbei, dass Vielteilchensysteme auf großen Skalen betrachtet von neuen, effektiven Theorien beschrieben werden können. Diese effektiven Theorien sind durch die Renormierungsgruppe eindeutig mit der mikroskopischen Physik verbunden, aber unglaublich schwer zu berechnen. In Experimenten können wir die physikalischen Folgen dieser Theorien beobachten und deren Verhalten studieren. Tatsächlich sind diese Beschreibungen nicht nur effektiv, sondern auch effizient: Sie beinhalten nur noch die relevante, experimentell zugängliche Information. In Experimenten arbeiten wir mit AtomChips. Dabei werden Wolken von

Rubidium-Atomen mithilfe von Laserlicht und Verdampfungskühlen gekühlt, sodass sich bei Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt (T ≈ 30nK) eindimensionale Quantengase formen; diese Wolken aus Tausenden von Atomen sind der Startpunkt für die EQuS. Werden die Atome nicht langsam genug abgekühlt, kann das System fernab des Gleichgewichts präpariert werden. Die Nicht-Gleichgewichtsentwicklung von Quanten-Vielteilchensystemen gehört zu den schwierigsten physikalischen Problemen. Wir konnten mit unseren Experimenten ein neues emergentes Phänomen beobachten: Universalität in der Nicht-Gleichgewichtsentwicklung. Dies deutet darauf hin, dass Systeme auch fernab des Gleichgewichts in Universalitätsklassen klassifiziert werden können. Das würde erlauben, die Eigenschaften einer ganzen Universalitätsklasse anhand von Experimenten eines einzelnen EQuS zu untersuchen. Weiters können mithilfe des AtomChips auch eindimensionale Gase in gekoppelten Doppelmuldenpotenzialen erzeugt werden. 2007 schlugen Gritsev, Polkovnikov und Demler vor, die Phasendifferenz dieser Quantengase durch das Sine-Gordon-Modell zu beschreiben. In unseren Experimenten konnten wir bisher zeigen, dass selbst im extrem stark korrelierten Regime das gemessene Quantenfeld im thermischen Gleichgewicht ein EQuS des Sine-Gordon-Modells ist. Das ermöglicht es, diese

Modells ist. Das ermöglicht es, diese sehr allgemeine Quantenfeldtheorie mit topologischen Anregungen (Abb. 1) experimentell zu untersuchen. Unser nächstes Ziel ist es, diese Emergenz im Detail zu studieren und mit diesen EQuS fundamentale Fragestellungen zur Physik und Dynamik von stark korrelierten und topologischen Systemen zu untersuchen.

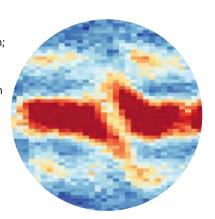


Abb. 1: Absorptionsabbildung von ultrakalten Rubidium-atomen. Zu sehen ist eine topologische Anregung im Sine-Gordon-Quantenfeld detektiert durch ein experimentelles Interferenzmuster.



QUANTENMATERIALIEN

Sind Quantenmaterialien das Silizium der Quantentechnologien von morgen? Der Forschungsbereich Quantum Materials möchte deren Eigenschaften grundlegend verstehen und diese für Anwendungen wie den Quantencomputer nutzbar machen.

WAS IST EIN QUANTENMATERIAL?

Auf atomarer Ebene gehorchen alle Materialien den Gesetzen der Quantenmechanik. Zumeist äußert sich das aber nicht in einem makroskopischen Maßstab. So kann z.B. die elektrische Leitfähigkeit von Metallen wie Kupfer oder Halbleitern wie Silizium gut mit klassischen Modellen beschrieben werden. Anders ist dies bei Quantenmaterialien. Diese haben Eigenschaften, die unmittelbare Konsequenz quantenmechanischer Gesetzte sind. Ein Beispiel ist die Supraleitung (Abb. 1): Hier schließen sich (fermionische) Elektronen zu (bosonischen) Cooper-Paaren zusammen und kondensieren in einen Zustand, in dem Strom ohne Energieverlust fließt und Magnetfelder verdrängt werden.

STARKE KORRELATIONEN

zu einer

Elektronen sind geladene Teilchen und stoßen sich aufgrund der Coulomb-Wechselwirkung U gegenseitig ab. Im Festkörper bewegen sie sich mit erstaunlich hohen kinetischen Energien W, die zumeist U bei Weitem übersteigen. Aber es gibt auch Materialien, in denen das Verhältnis U/W dieser beiden Energien groß ist; sie sind "stark korreliert". Die Bewegung der Elektronen ist dann eingeschränkt, es kann sogar

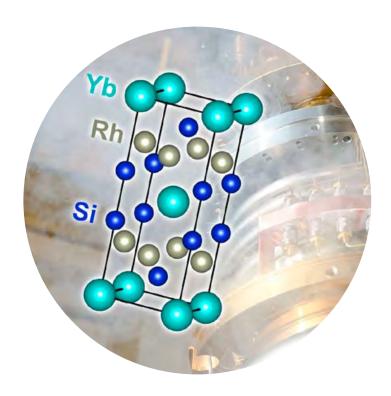
vollständigen Lokalisierung (wie im Mott-Isolator) kommen. Dabei werden neue Freiheitsgrade relevant, z.B. die Spins der Elektronen. Stark korrelierte Materialien wie die Hochtemperatursupraleiter auf Kupfer- und Eisenbasis und die Schwere-Fermionen-Verbindungen (Abb. 2) bringen eine Fülle von Quantenphasen hervor.

QUANTENPHASENÜBERGÄNGE

Von besonderem Interesse sind Übergänge zwischen verschiedenen Quantenphasen. Geht in Abhängigkeit von einem Kontrollparameter δ wie Druck oder Magnetfeld eine bestimmte Phase kontinuierlich (und zwar bis zum absoluten Temperaturnullpunkt, T = 0) in eine andere über, so treten beim Übergang - am quantenkritischen Punkt (QKP) - starke Quantenfluktuationen auf (Abb. 3). Diese verändern die Eigenschaften des Materials auch bei endlichen Temperaturen. So verhält sich z.B. der elektrische Widerstand ganz anders als nach dem Standardmodell für Metalle (der Fermi-Flüssigkeitstheorie) erwartet; ein Phänomen, das über verschiedenste Materialklassen hinweg auftritt und als Strange-Metal-Verhalten bezeichnet wird. Obwohl der Grundzustand und die elementaren Anregungen in beiden Phasen bekannt sind, gilt das für den Zustand am QKP nicht: Er ist

> Gegenstand der aktuellen Forschung. Gemäß theoretischer Arbeiten könnte es sich um einen besonders interessanten Zustand

mit massiver bzw. langreichweitiger Quantenverschränkung handeln.



Dabei stehen Teilchen über makroskopische Distanzen hinweg in Verbindung, was für Anwendungen in der Quanteninformation von großer Bedeutung ist. Wie aber könnte dies nachgewiesen werden?

VERSCHRÄNKUNG – VON ANDEREN QUANTENPLATTFORMEN LERNEN

Bisher sind keine Methoden bekannt, die Quantenverschränkung des Vielteilchensystems Festkörper (das typischerweise aus 10²³ Teilchen besteht!) direkt messen können. Ein vielversprechender Ansatz ist, von einfacheren Quantensystemen zu lernen. In z.B. ultrakalten Atomgasen ist die exakte Messung von

Quantenverschränkung bereits vor einigen Jahren gelungen. Bestimmte Techniken dürften sich auf den Festkörper übertragen lassen. So gibt es Vorhersagen, dass die sogenannte Quanten-Fisher-Information, eine grundsätzlich aus Neutronenstreumessungen am Festkörper bestimmbare Größe, Auskunft über den Grad der Verschränkung gibt. Dies anhand von quantenkritischen Schwere-Fermionen-Systemen zu testen und neue Methoden zur Quantifizierung von Verschränkung im Festkörper zu entwickeln, sind erste Schritte, um das Potenzial von Quantenmaterialien für Quantenanwendungen auszuloten.

Abb. 2: Schwere-Fermionen-Verbindung YbRh₂Si₂. Im Hintergrund ein Kryostat des Vienna Microkelvin Laboratory.

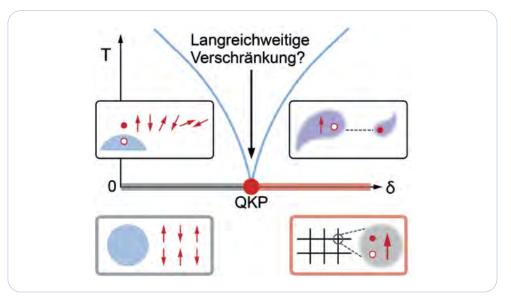


Abb. 3: Phasendiagramm eines Schwere-Fermionen-Systems mit einem quantenkritischen Punkt (QKP). Die unteren zwei Boxen repräsentieren den Grundzustand, die oberen die elementaren Anregungen beider Phasen. Quelle: Nach Prochaska et al., Science 367 (2020) 285.

TRANSFORMATION DER EUROPÄISCHEN WIRTSCHAFT

Peter Engert

Als 2019 das Europäische Parlament den EU-Green-Deal beschlossen hat, wurde etwas amtlich bestätigt, das wir als ÖGNI schon lange davor thematisiert haben: Nachhaltigkeit wurde von einem "Orchideen-Thema" zu einem risikorelevanten Faktum. Unternehmen, Produkte und Projekte, die ihre Nachhaltigkeit beweisen können, bergen weniger Risiko in sich und sind daher sicherer als ihre nicht nachhaltigen Pendants. Eine "Jahrhundert"-Idee. Die EU hat keine umfangreichen Verordnungen erlassen, kein "Amt für Nachhaltigkeit" gegründet, sie hat einfach definiert, dass Zahlungsströme in der EU zukünftig auf nachhaltige Unternehmen, Produkte und Projekte zu richten sind. Die Beurteilung der Nachhaltigkeit wurde mit der EU-Taxonomie-Verordnung definiert: ein Konstrukt aus derzeit sechs Umweltzielen, vorerst nur rudimentär definiert. Damit eine Wirtschaftsaktivität als nachhaltig im Sinne der EU-Taxonomie gilt, muss die Aktivität nicht nur einen wesentlichen Beitrag zu einem der sechs Umweltziele der EU leisten, sondern gleichzeitig keines der anderen Umweltziele beeinträchtigen. Und zwei klare Hinweise: Es wird zukünftig neue Ziele geben, vor allem aus dem Bereich der sozialen Nachhaltigkeit, und Greenwashing ist verboten und kann gerichtlich geklagt werden. Umsetzungsverantwortlich ist die europäische Finanzwirtschaft. Respekt, gut gemacht.

Die ÖGNI beschäftigt sich seit Beginn des Jahres 2020 mit der Verordnung und hat mit ihren Auditoren 90 europäische Immobilienprojekte im Auftrag der EU auf deren Kompatibilität mit der EU-Taxonomie überprüft. 95 bis 97 % der Projekte haben die Anforderungen nicht erfüllt. Seit Beginn des Jahres 2021 gibt es am Markt "EU-Taxonomy Advisors approved by ÖGNI" –

ÖGNI-Auditor:innen und Consultants,
die speziell für die Taxonomie geschult
wurden und werden. Bis heute haben
diese Auditoren ca. 800 Immobilienprojekte überprüft und damit
sichergestellt, dass ein belastbares Know-how bezüglich der
Taxonomie bei der ÖGNI
verortet ist. Gemeinsam

Taxonom

mit europäischen Partnern hat die ÖGNI eine Gesellschaft in Brüssel (Climate Positive Europe Alliance – CPEA) gegründet, um näher an der EU-Kommission zu sein. Auch als Teil des World Green Building Councils ist die ÖGNI in direktem Kontakt mit der Kommission, um von zukünftigen Entwicklungen nicht überrascht zu werden. Das Ziel der ÖGNI ist es, den Mitgliedern größtmögliche Sicherheit bei den Neubau- und Sanierungsprojekten zu geben. Die Investitionen in Nachhaltigkeit müssen zukunftsfit sein.

Die Nachhaltigkeit von Produkten und Projekten kann mit der EU-Taxonomie zumindest im Hinblick auf ökologische Nachhaltigkeit gut überprüft werden. Was ist aber mit den Unternehmen, mit deren Gestion, mit den Lieferketten, mit dem Umgang mit den Mitarbeiter:innen und der Zukunftssicherung in allen Bereichen? Dafür wurde der ESG-(Environmental Social Governance)-Bericht ins Leben gerufen, eine Weiterentwicklung des bereits bekannten CSR-Berichts. Wie der CSR-Bericht basiert auch dieser auf dem Stakeholder-Dialog, in dem die für das Unternehmen wichtigen Nachhaltigkeitsthemen herausgefiltert werden. In diesen Themen ist dann der Weg des Unternehmens durch die Transformation zu beschreiben, Teilziele und Ziele sind zu definieren und Fortschritte zu dokumentieren. Die Greenwashing-Keule vor Augen, darf nur berichtet werden, was auch beleg- und beweisbar ist. Was nicht gemessen werden kann, darf auch nicht berichtet werden.

Wer nun glaubt, dass es sich wieder nur um ein nerviges, neues Berichtswesen handelt, liegt falsch. Mittels ESG-Berichts sind die höchsten Führungsorgane eines Unternehmens aufgefordert, die nötige Transformation des Unternehmens in Richtung Nachhaltigkeit zu planen und umzusetzen. Es handelt sich dabei um eine klassische strategische Herausforderung, um das Unternehmen darauf vorzubereiten, auch 2040 oder 2050 fit zu sein und ertragreich wirtschaften zu können. Das ESG-Berichtswesen ist ein Leitfaden dafür.



NEUES REKTORATSTEAM AN DER TU WIEN

Mit Beginn des Wintersemesters nimmt auch das neue Rektoratsteam für die Amtsperiode 1. Oktober 2023 bis 30. September 2027 seine Arbeit auf.

Über die Bestätigung seines Teams durch den Universitätsrat freut sich der neue TUW-Rektor Jens Schneider: "Ich bin dankbar und stolz, dass vier hervorragende Persönlichkeiten bereit sind, mit mir das neue Rektoratsteam zu bilden und wir dafür das Vertrauen von Senat und Universitätsrat bekommen haben. Mit unseren unterschiedlichen Hintergründen ergänzen wir uns außergewöhnlich gut. Wir freuen uns sehr auf die vertrauensvolle Zusammenarbeit mit der gesamten TU Wien Community."

Prof. Dr.-Ing. Jens SCHNEIDER Rektor

Mag.iur. Dr.iur. Jasmin GRÜNDLING-RIENER Vizerektorin Lehre

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Peter ERTL Vizerektor Forschung, Innovation, Internationales

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Wolfgang KASTNER Vizerektor Digitalisierung und Infrastruktur

Mag.iur. Ute KOCH Vizerektorin Personal

Das neue Rektorat wird statutengemäß ex officio im Vorstandsteam des TU Wien alumni club aktiv mitwirken. Wir freuen uns auf die Zusammenarbeit.

Totos: @ Till Wile

HYBRIDE QUANTENSYSTEME

Elena Redchenko, Wenzel Kersten, Andrew Kanagin & Nikolaus de Zordo

In Anwendungen von Quantentechnologien müssen Quantensysteme oft scheinbar unvereinbare Eigenschaften wie lange Kohärenzzeiten und starke Wechselwirkung verbinden. Hybride Quantensysteme kombinieren verschiedene physikalische Plattformen, um die Vorteile jeder einzelnen Plattform zu nutzen und die jeweiligen Schwächen zu überwinden.

Untersuchungen zu Quantenphänomenen nutzen oft isolierte Systeme mit spezifischen Stärken. Photonen übertragen Quantenbits (Qubits) effizient, taugen aber nicht als Speicher. Atome und Ionen sind hervorragende Quantenspeicher, doch nicht für die Übertragung von Informationen geeignet. Supraleitende Qubits erlauben zügiges Rechnen, besitzen jedoch limitierte Kohärenzzeiten.

In der Forschungsgruppe Hybride Quantensysteme am Atominstitut konzentrieren wir uns darauf, verschiedene dieser Plattformen zu hybriden Quantensystemen zusammenzuschließen und dabei die Schwäche des einen Systems durch die Stärken des anderen zu kompensieren.

In unserem neuesten Experiment mit EdelgasKristallen können wir praktisch jedes Atom/
Molekül einfrieren und in Zukunft auch elektrische Dipolmomente zur Koppelung verwenden.
Dies ermöglicht, einzelne Spins an die supraleitenden Schaltkreise zu koppeln und einen
langlebigen Quantenspeicher für supraleitende
Prozessoren zu entwickeln. Damit eröffnen
sich neue Möglichkeiten für die Konstruktion
und Skalierung von Quantencomputern und
Quanten-Kommunikationsnetzwerken.

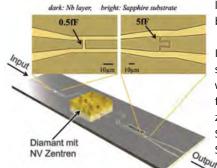


Abb. 1: Schema eines
Aufbaus, um NV-Zentren in
Diamant an einen supraleitenden Mikrowellenresonator
zu koppeln. Die Details zeigen
die Ein- und AuskoppelSpiegel des Resonator.

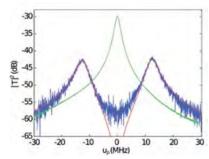


Abb. 2: MW-Spektroskopie eines hybriden Quantensystems. Bei starker Kopplung spaltet die Transmission des Resonators (grün) in zwei Peaks auf (blau).

Konkret untersuchen wir die Kopplung atomarer Spin-Zustände an supraleitende Quantenschaltkreise. Die atomaren Spins werden in einer Kristallmatrix fixiert und auf einen supraleitenden Mikrowellenresonator aufgebracht (Abb. 1). Wichtig ist dabei, dass die Matrix kein magnetisches Rauschen durch Kernspins verursacht. Daher sind nur Materialien mit Kernspin 0 geeignet, wie z.B. Diamant, Siliciumcarbid oder Kryo-Kristalle aus Parahydrogen, Helium, Neon und Argon. Die supraleitenden Resonatoren ermöglichen Manipulation sowie Auslese der Spins und können auch an Qubits gekoppelt werden, wie sie in Quantenprozessoren verwendet werden. Damit supraleitende Quantenschaltkreise gut funktionieren, müssen sie auf unter 100 mK abgekühlt werden. All unsere Experimente finden daher in Kryostaten statt.

In den letzten Jahren haben wir die Kombination von supraleitenden Resonatoren mit Stickstoff-Fehlstellen-Zentren (NV-Zentren) in Diamant und Alkaliatomen in Edelgaskristallen untersucht. Um diese Plattformen effektiv miteinander zu verbinden, muss starke

Atomen oder NV-Zentren in einem Kristall. In unseren Experimenten haben wir fundamentale Eigenschaften der hybriden Systeme - Spin-Ensemble/supraleitenden Resonator untersucht und die Theorie dahinter weiterentwickelt sowie verifiziert. Wir konnten Zustände präparieren, die bessere Kohärenzeigenschaften haben als die beiden gekoppelten Systeme alleine. Wir konnten auch Superradianz - den kollektiven Zerfall des invertierten Ensembles durch Synchronisation aller Emitter - beobachten. Bemerkenswert ist, dass die Inversion (Speicherung von Energie) im System 10.0000mal länger gehalten werden konnte als es dauert, sie zu erzeugen oder durch Superradianz gezielt herauszuholen. Verglichen mit einer Batterie hieße dies, Energie, die in einer Stunde

geladen wird, bleibt zehn Jahre gespeichert.

nern oder Quantensensoren einsetzen zu

können, ist noch einiges zu tun, doch die nächsten Schritte sind klar vorgezeichnet.

Um hybride Quantensysteme in Quantenrech-

Kopplung (Abb. 2) erreichen werden. Dabei

die Systeme miteinander "sprechen"; diese

jedes einzelne System die Informationen

verliert. Wir erreichen diesen Zustand der

starken Kopplung durch kollektive Verstär-

kung der Kopplung durch die hohe Anzahl an

ist schneller als die Geschwindigkeit, mit der

handelt es sich um die Geschwindigkeit, mit der

MASSGESCHNEIDERTES QUANTENLICHT

Wie kann man aus scheinbar vollkommen zufälligen Lichtmustern Information extrahieren? Nutzt man die Quanteneigenschaften des Lichts, gelingt dies besser als mit herkömmlichen Lichtstrahlen.

Leuchtet man mit einem Laserpointer auf ein Stück Papier, ist zu erkennen, dass das reflektierte Licht eine äußerst komplexe Struktur aufweist, die sich schon bei geringem Verschieben des Blattes oder nicht ganz ruhigem Halten des Laserpointers sofort verändert (Abb. 1). Diese komplizierten Lichtmuster werden nach dem englischen Wort "speckle" (Fleck oder Sprenkel) Speckle-Muster genannt. Der Ursprung dieser interessanten Muster ist die Interferenz von Licht. Gerade das einfarbige Licht eines Lasers besitzt ausgeprägte Interferenzeigenschaften, was bedeutet, dass sich Laserlicht selbst auslöschen und erhöhen kann - so wie wir es auch von Wellen auf einer Wasseroberfläche gewohnt sind. Im Unterschied zu Wasserwellen ist die Wellenlänge sichtbaren Laserlichts jedoch viel kleiner, weshalb die Interferenzen auch auf einer viel kleineren Skala auftreten.

Was sorgt nun aber für die komplizierten Speckle-Muster in einem gewöhnlichen Blatt Papier? Es stellt sich heraus, dass Materialien wie Papier eine Struktur mit sehr wenig innerer Ordnung aufweisen – ganz im Gegensatz zu einem Kristall mit hoher innerer Ordnung. Trifft also das Licht eines Laserpointers auf ein Blatt Papier, wird es von den ungeordneten Fasern des Papiers auf unterschiedliche Weise gestreut und reflektiert. Die Speckle-Muster folgen dann aus konstruktiver und destruktiver Interferenz, die wir als helle und dunkle Punkte wahrnehmen. Bescheint man das Blatt Papier anstatt mit einfärbigem Laserlicht mit dem vielfärbigen Sonnenlicht, waschen sich die Interferenzen aus und das Blatt erscheint in reinem Weiß ohne jegliche Struktur – genauso wie anderen Materialien, z.B. Schnee, Mehl, Zucker oder Milch, die Licht stark streuen, ohne dabei eine spezielle Farbe zu bevorzugen.

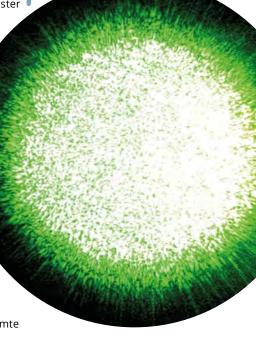
Obwohl schön anzusehen, werden Speckle-Muster in der Praxis meist als Problem betrachtet. Grund dafür ist, dass diese meistens jenes Signal überlagern, das mit einem Laserstrahl übertragen werden soll und somit dessen Qualität vermindert. Auch in der biomedizinischen Optik stellt die Streuung von Licht eine massive Hürde dar. Man denke nur daran, dass man im Krankenhaus aus gutem Grund mit Röntgenstrahlen arbeitet, die eben nicht gestreut werden und den menschlichen Körper problemlos durchdringen können, um in einem Röntgenbild Information über z.B. Knochenbrüche preiszugeben.

Die spannende Frage, die erst seit rund 15 Jahren ernsthaft gestellt wird, ist, ob aus den komplexen Speckle-Mustern von Licht nicht auch Information aus einem stark streuenden Medium extrahiert werden kann. Anders gefragt: Kann man aus einem Speckle-Muster letztendlich die Faserstrukturen des Zellstoffs in einem Blatt Papier rekonstruieren oder gleichermaßen das Gewebe unter der Hautoberfläche? Die Grundlage für die Beantwortung dieser Frage wurde in einer ersten Reihe von Experimenten gelegt, die in den Niederlanden und in Frankreich durchgeführt wurden. Diese zeigten nicht nur, dass Speckle-Muster tatsächlich eine enorme Fülle an nutzbarer Information beinhalten, sondern auch, wie man diese Information extrahieren kann. Um diese neue Technologie für die praktische Anwendung der biomedizinischen Optik reif zu machen, ist jedoch insbesondere ein besseres theoretisches Verständnis dafür nötig, wie sich die gesamte Informationsfülle eines Speckle-Musters ausnützen lässt. Letztendlich sollen nicht

nur die Strukturen an der Oberfläche eines

Mediums aufgelöst werden, sondern auch die

Abb. 1: Speckle-Muster eines Lasers, der von einem streuenden Medium wie Papier reflektiert wird.

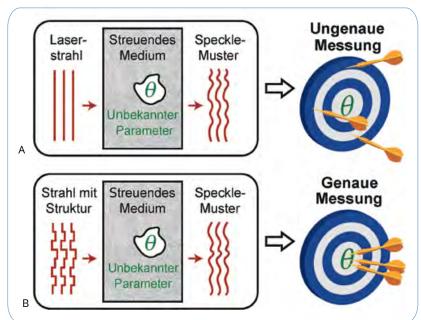


Schichten darunter, für die mit steigender Schichttiefe das entsprechende Problem immer schwieriger zu lösen ist.

In unserer Arbeitsgruppe am Institut für Theoretische Physik der TU Wien beschäftigen wir uns deshalb mit der Entwicklung von Methoden, um möglichst viel Information aus einem komplexen Streumedium zu extrahieren. So konnten wir vor Kurzem zeigen, wie man einem einfallenden Laserstrahl eine räumliche Struktur aufprägen kann, sodass dieser Strahl genau zu einem gewünschten Teil des Mediums vordringt, dort die Information über die Beschaffenheit des Mediums abholt und diese schlussendlich bei einem Detektor, z.B. einer Kamera, abliefert (Abb. 2). Wie sich herausstellte, können wir mit unserer neuen Methode nicht nur eine Verbesserung der bisherigen Ansätze erreichen, sondern sogar den bestmöglich strukturierten Lichtstrahl bestimmen, der das absolute Maximum an Information aus einem Medium herausholt. Zudem lassen sich diese Methoden auch auf andere Arten von Wellen, z.B. Ultraschall, übertragen, weshalb wir mittlerweile auch mit einer experimentellen Gruppe in Frankreich ein Patent zur praktischen Anwendung in der Ultraschalldiagnostik vorbereiten.

Noch besser als ein gewöhnlicher Laserstrahl kann Licht mit Quanteneigenschaften zur Detektion kleiner Änderungen eines Systems verwendet werden. Konkret ist damit gemeint, dass Licht unterschiedliche Eigenschaften hat, je nachdem wie die Lichtquanten (besser bekannt als Photonen) in einem Lichtstrahl angeordnet sind. Diese Quanteneigenschaften werden bereits im Gravitationswellen-Observatorium LIGO eingesetzt, wo vor Kurzem erstmals Gravitationswellen gemessen werden konnten, wie sie z.B. bei der Verschmelzung von zwei schwarzen Löchern entstehen. Dementsprechend hat sich auch unsere Arbeitsgruppe mit der Frage beschäftigt, wie man räumlich strukturierte Laserstrahlen mit entsprechenden Quanteneigenschaften ausstatten könnte, um eine noch genauere Messung zu ermöglichen.

Tatsächlich zeigen unsere theoretischen Arbeiten, dass Quantenlicht in komplexen Medien erhebliche Vorteile für ultrapräzise Messungen mit sich bringt - speziell dann, wenn man sowohl die räumlichen als auch die quantenmechanischen Aspekte eines Lichtstrahls gemeinsam optimiert. Aktuell bereiten wir mit Kolleg:innen in den USA entsprechende Experimente vor, mit denen explizit gezeigt werden soll, wie weit man mit diesen neuen Techniken kommen kann. Ziel ist es, für jede Messung den optimalen Lichtstrahl zu identifizieren, der ein Messergebnis mit der bestmöglichen Präzision liefert. Die Anwendungsmöglichkeiten für diese maßgeschneiderten Quantenlichtstrahlen sind vielfältig - von der Metrologie bis hin zu Messungen an biologischen Systemen.



gewöhnlicher Laserstrahl verwendet (A),
kann man bei der
Beleuchtung eines
streuenden Mediums
auch nur wenig Information über ein darin
verborgenes Objekt
und dessen Eigenschaften extrahieren.
Prägt man dem
einfallenden Laserstrahl jedoch eine
geeignete Struktur
auf (B), erhält man
viel mehr Information und dadurch
ein viel genaueres
Messergebnis.



STERREICHISCHE ENERGIE IM REALITY CHECK

Full House beim hochkarätigen Podiumsgespräch des TU Wien alumi club im TUtheSky. Es diskutierten Wolfgang Anzengruber, Präsident des TUWac, Angelika Zartl-Klik, OMV, Peter Weinelt, Wien Energie, und Werner Liemberger, RHI Magnesita, unter der Moderation von TU Wien alumnus Wojciech Czaja.

Wolfgang Anzengruber, stimmte das bunt gemischte Publikum mit einer Keynote auf die aktuell angespannte Situation ein. Beeindruckende Fakten:

- der stark gestiegene CO₂-Gehalt in der Atmosphäre (von <300 ppm in den letzten Jahrzehnten, liegt dieser aktuell bei ca. 400 ppm, Tendenz stark steigend),
- das Pariser Klimaziel von max. 1,5°C
 Erderwärmung stammt ursprünglich aus der Wirtschaft und nicht aus der Ökologie,
- der CO₂-Ausstoß in Österreich konnte seit 1990 in den meisten Sektoren reduziert werden – diese Reduktion wurde durch eine Zunahme im Verkehr mehr als kompensiert.
- die Vielzahl der importierten Produkte ist ein wesentlicher Faktor für den hohen CO₂-Ausstoß Europas.

grüner Wasserstoff (der derzeit noch nicht ökonomisch ist) und umfassende Kreislaufwirtschaft sind wesentliche Erfolgsfaktoren der nächsten Jahre. Technologien zum Erreichen der Energiewende sind vorhanden, diese müssen jedoch zur Marktreife gebracht werden.

Der Zeitfaktor ist eines der wesentlichen Parameter, denn die "Plätze der Zukunft" weden heute vergeben. Wirklich wesentlich sind die Beschleunigung von Genehmigungsverfahren für den Wirtschafts- und Forschungsstandort Österreich. Alle Diskutant:innen betonten ihren Optimismus, dass Lösungen gefunden werden können; unter der Prämisse, dass "wir umgehend ins TUN kommen".







Als zukunftsweisende Technologien

- · Wasserstoff, der über PV hergestellt wird und als Puffer Sommer-Winter dienen kann,
- Transport von H₂ in bestehenden Erdgasnetzen und
- · thermische Gebäudesanierung genannt.

Österreich wird den Strom für den Gesamtbedarf an grünem H, nicht decken können. Vorsicht ist bei neuen gefährlichen Abhängigkeiten geboten. Autarkievorstellungen,

auch im Energiebereich, sind aber definitiv Illusion.

Die Anforderungen der Wirtschaft und Industrie an die heutigen Studierenden sind im Wesentlichen Offenheit. für lebenslanges Lernen und anwendungsorientierte Ausbildung.



DIE LÖSUNG DER SCHRÖDINGERGLEICHUNG

Eine (un)mögliche Aufgabe, und warum wir uns überhaupt dafür interessieren sollten. Iva Březinová

Man kann ohne Übertreibung sagen, dass ein großer Teil des heutigen technologischen Fortschritts auf Erkenntnissen der Quantenmechanik beruht. Nur ein hinreichendes Verständnis der Quantenmechanik hat es uns ermöglicht, Technologien wie Laser, Solarzellen und atomar auflösende Elektronenmikroskope zu entwickeln, und nur mithilfe der Quantenmechanik können wir viele faszinierende Eigenschaften von Materie überhaupt verstehen und nutzbar machen. Zentral für dieses Verständnis ist die Schrödingergleichung, die wir Physiker: innen seit fast 100 Jahren zu lösen versuchen. Interessanterweise lag dabei das Augenmerk vor allem auf der Lösung der Schrödingergleichung in ihrer zeitunabhängigen Variante. Physikalische Systeme, angefangen mit atomaren Gaswolken bis hin zu Festkörpern, wurden experimentell vorwiegend nahe am Gleichgewicht untersucht, womit sie keine explizite

Zeitabhängigkeit aufweisen. Auf Basis jahrzehntelanger Forschung steht uns heute eine breite Palette an mächtigen theoretischen Methoden zur näherungsweisen Lösung der zeitunabhängigen Schrödingergleichung zur Verfügung.

Inzwischen wurde jedoch erkannt, dass physikalische Systeme interessante und bis dahin unbekannte Effekte aufweisen, gerade wenn sie nicht im Gleichgewicht sind, sondern mit starken externen Feldern getrieben werden. Diese Erkenntnisse wurden vor allem durch die großen experimentellen Fortschritte der letzten Jahre ermöglicht. Heute gehört es zur Routine, physikalische Systeme mit sehr starken und oft sehr kurzen externen Feldern weit aus dem Gleichgewicht zu treiben. Dabei hat man z.B. beobachtet, dass Systeme, die im Gleichgewicht keine Supraleitung aufweisen, auf diese Weise in einen supraleitenden Zustand gebracht werden



können. All die experimentellen
Fortschritte haben allerdings eine Lücke in
der theoretischen Beschreibung offenbart:
Wir haben deutlich weniger Methoden zur
Verfügung, um die zeitabhängige Schrödingergleichung zu lösen. Das gilt vor allem für
Systeme, für die die Beschreibung vieler
stark miteinander wechselwirkender
Teilchen notwendig ist. Diese Lücke
möchte ich mit meiner Gruppe füllen.

Dabei vermeiden wir das zentrale Objekt der Schrödingergleichung - die Wellenfunktion - gänzlich, da sie letztlich für die Unlösbarkeit dieser verantwortlich ist. Stattdessen bedienen wir uns eines kleineren Objekts, das aus der Wellenfunktion extrahierbar ist: der Zweiteilchen-Dichtematrix. Die Zweiteilchen-Dichtematrix erlaubt es uns, die Dynamik von Paaren von Teilchen sehr genau zu beschreiben. Das ist gerade für das Verständnis von Phänomen wie der Supraleitung, die auf der Bildung von Paaren von Elektronen beruht, von zentraler Bedeutung. Ein Element der Bewegungsgleichung, welche die Dynamik der Zweiteilchen-Dichtematrix diktiert (Abb. 1), ist aber leider nicht genau bekannt und muss approximiert werden. Zu diesen Approximationen haben wir inzwischen wesentlich beigetragen und stoßen dabei immer wieder auf ein fundamentales und bis dato nicht vollständig geklärtes Problem: Wie wird die enorme Komplexität der Wellenfunktion in der reduzierten

Dichtematrix kodiert? Was sind die Bedingungen, die uns sagen, wann eine Dichtematrix zu einer Wellenfunktion gehört? Zum Glück sind die vollständigen Antworten auf diese Fragen in der praktischen Anwendung nicht notwendig, meistens reicht es, wenn wir uns nur einer Handvoll notwendiger Eigenschaften der Dichtematrix bedienen.

Unsere Methode ist inzwischen hinreichend ausgereift, sodass wir sie auf eine breite Palette von Systemen anwenden können: angefangen mit großen Atomen getrieben durch starke Laserfelder bis hin zur Dynamik von ultrakalten Gasen in optischen Gittern (Abb. 2) und Elektronen in zweidimensionalen Materialien

Wir hoffen, dass wir damit eine Methode entwickelt haben, die uns in naher Zukunft viele neue Erkenntnisse über Quantenmaterie im Ungleichgewicht liefern wird.

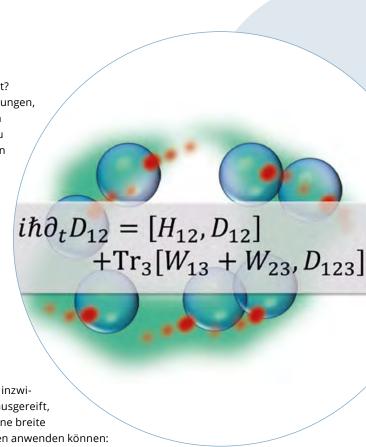
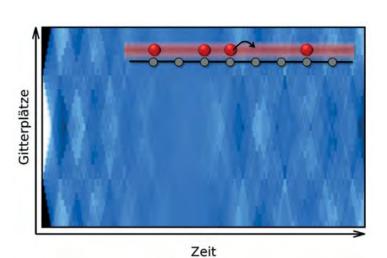


Abb. 1: Die Bewegunsgleichung der Zweiteilchen-Dichtematrix. Ein Element dieser Bewegungsleichung ist unbekannt und muss approximiert werden.

Abb. 2: Ein Festkörpermodel realisierbar mit ultrakalten Gasen in optischen Gittern, bei dem sich Teilchen in einer Dimension auf Gitterplätzen (als Pixel dargestellt) bewegen. Die Farbskala bildet die Teilchendichte (weiß: Maximum, schwarz: keine Teilchen) auf den jeweiligen Gitterplätzen als Funktion der Zeit (in charakteristischen Einheiten des Systems) ab. Ein Zustand entsteht, der Ähnlichkeiten mit einem Supraleiter aufweist – im Bild erkennbar durch homogene Dichte.



KÜNSTLICHE INTELLIGENZ FÜR QUANTENSYSTEME

Nikolaus Dräger, Domenico Di Sante, Alessandro Toschi & Sabine Andergassen

Ein interdisziplinäres Forschungsprojekt an den Instituten für Information Systems Engineering und Festkörperphysik.

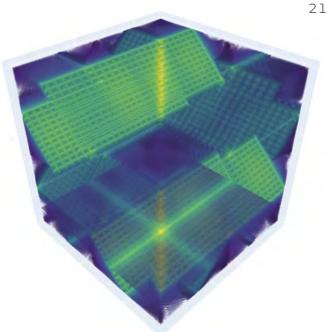
Quantenmaterialien, die den Gesetzen der Quantenmechanik unterliegen, versprechen, eine grundlegende Rolle in der Entwicklung neuer Technologien und nachhaltiger Energiegewinnung zu spielen. Für deren theoretische Beschreibung kamen in den letzten Jahren vermehrt Ansätze aus der künstlichen Intelligenz zum Einsatz, um neue Methoden zur Untersuchung des mikroskopischen Verhaltens der Materie zu entwickeln.

Eine vielseitig eingesetzte Methode ist die funktionale Renormierungsgruppe, für deren Grundlage Kenneth G. Wilson im Jahr 1982 den Nobelpreis für Physik erhielt. Die Art und Weise, wie die Elektronen miteinander wechselwirken, wird durch eine sehr große Anzahl an gekoppelten Differentialgleichungen formuliert, die bis zu zehn Millionen betragen können. Durch die Verwendung von Algorithmen aus der künstlichen Intelligenz kann diese Herausforderung möglicherweise erheblich erleichtert werden. Wir haben ein maschinelles Lernwerkzeug eingesetzt, ein sogenanntes neuronales Netzwerk, um die Renormierungsgruppe handhabbarer zu machen. Das neuronale Netzwerk optimiert Verknüpfungen zwischen den gekoppelten Differentialgleichungen der Renormierungsgruppe, bis es eine überschaubare Anzahl an Gleichungen findet, die dieselbe Lösung wie die ursprüngliche Renormierungsgruppe liefern.

Diese Idee wenden wir in Zusammenarbeit mit Forscher:innen am Flatiron Institute und der Universität von Bologna auf ein schwieriges Problem der Quantenphysik an. Das betrachtete Problem ist die Lösung eines fundamentalen Modells für wechselwirkende Elektronen im Festkörper: das Hubbard-Modell. Selbst für eine kleine Anzahl an Elektronen und modernen Berechnungsmethoden erfordert es eine beträchtliche Rechenleistung. Denn aufgrund der quantenmechanischen Verschränkung müssen alle Elektronen berücksichtigt werden, auch wenn sie räumlich weit entfernt sind, was das Problem exponentiell erschwert. In einer in den Physical Review Letters veröffentlichten Arbeit konnten wir zeigen, dass die Differentialgleichungen der Renormierungsgruppe effizient beschrieben und vereinfacht werden können: Das neuronale Netzwerk hat einige wenige Gleichungen identifiziert bzw. gelernt, die die Physik des Hubbard-Modells enthalten (Abb. 1).

Trotz dieses Erfolgs ist klar, dass ein besseres Verständnis der Funktionsweise neuronaler Netzwerke noch aussteht. Aktuell beschäftigen wir uns mit der Interpretation der gelernten Gleichungen und deren Zusammenhang mit dem physikalischen Verhalten, was das maschinelle Lernen tatsächlich über das System "lernt".

Dennoch lassen diese Ergebnisse große Auswirkungen auf andere Probleme der Quantenphysik erwarten. Die Komprimierung der sogenannten Vertex-Funktionen – des zentralen Objekts, das die Wechselwirkung zwischen zwei Elektronen kodiert – ist in Quantenmaterialien von großer Bedeutung. Dafür erweist sich die Wavelet-Transformation, bei der die Koeffizienten durch Faltung



lokalisierter wellenförmiger Funktionen berechnet werden, als sehr nützlich (Abb. 2). Insbesondere haben wir die Relevanz bestimmter Muster in dieser durch den Vertex beschriebenen effektiven Wechselwirkung für die Bestimmung physikalischer Größen wie der Suszeptibilität untersucht. Erste Ergebnisse für das Hubbard-Modell im atomaren Limes sind sehr vielversprechend. Die Wavelet-Transformation ermöglicht eine äußerst effiziente Komprimierung. Neben einer systematischen Erweiterung auf allgemeinere Modelle werden wir untersuchen, ob die

Wavelet-Transformation nicht nur für eine effiziente Darstellung, sondern bereits für die Berechnung des Vertex eingesetzt werden kann, um damit das Vielteilchenproblem besser in den Griff zu bekommen.

Letztlich ist die größte offene Frage, wie gut der neue Ansatz bei komplexeren Quantensystemen funktioniert. Darüber hinaus kann die Methode in anderen Bereichen eingesetzt werden, in denen die Renormierungsgruppe zur Anwendung kommt, wie etwa der Kosmologie und den Neurowissenschaften.

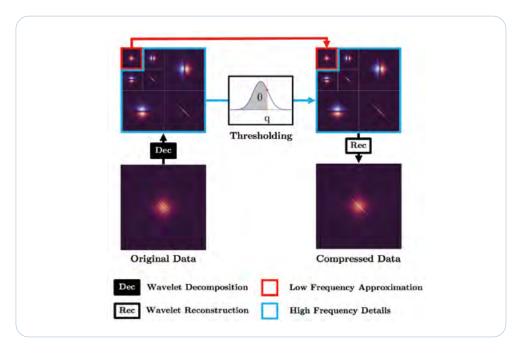


Abb. 2: Schema des Kompressionsalgorithmus.





Ausgezeichnet werden digital- und technologie-affine Frauen, die sich im Rahmen ihrer Abschlussarbeiten mit Digitalisierung und Innovation beschäftigen und dabei Aspekte der Nachhaltigkeit berücksichtigen.

JETZT EINREICHEN UND GEWINNEN!

MEHR INFOS ZUR EINREICHUNG FINDEST DU AUF EXTRA.ORF.AT

INTERFEROMETRIE

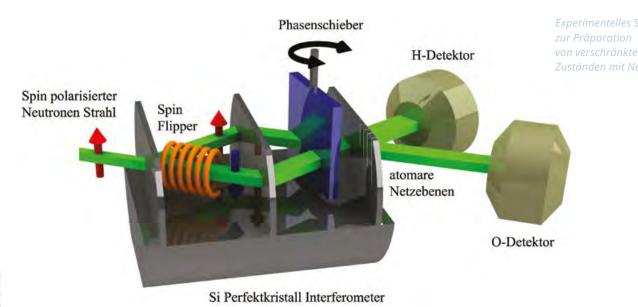
MIT NEUTRONEN - GRUNDLAGE FÜR MODERNE QUANTENTECHNOLOGIEN

Stephan Sponar

Spätestens seit der Verleihung des Nobelpreises an Anton Zeilinger für dessen Verdienste auf dem Gebiet der Entwicklung moderner Quantentechnologien ist die Bedeutung von Anwendungsmöglichkeiten der Quantenmechanik im Bewusstsein einer breiten Öffentlichkeit angekommen. Weniger bekannt ist hingegen die Tatsache, dass zahlreiche Grundlagen zu diesen Technologien bereits Jahrzehnte zuvor vom österreichischen Physiker Helmut Rauch mit Experimenten am Neutroneninterferometer an der TU Wien geschaffen wurden. Das Neutroneninterferometer, bestehend aus einem Silizium-Perfektkristall, ermöglicht es gemäß dem quantenmechanischen Welle-Teilchen-Dualismus, Materiewellen über makroskopische Distanzen von mehreren Zentimetern kohärent aufzuspalten und nach zwischenzeitlicher Modifikation wieder zu rekombinieren.

Auch in jüngerer Zeit befasst sich die Neutronengruppe der TU Wien mit grundlegenden

Aspekten der Quantenmechanik. Allerdings werden diese Experimente heute hauptsächlich am Institut Laue-Langevin (ILL) in Grenoble durchgeführt, das die leistungsstärkste Neutronenquelle der Welt betreibt, und an dem die TU Wien über einen permanenten Strahlplatz verfügt. Dies ermöglicht Interferometrie mit Spin-polarisierten Neutronen und somit Experimente auf dem Gebiet der Verschränkung oder dem Konzept der "schwachen Messungen". Bei Letzterem handelt es sich um eine Messmethode, bei der Information über das physikalische System extrahiert wird, ohne dass dieses dabei allzu stark gestört wird. Auf diese Weise gelangen in den letzten Jahren eine direkte Rekonstruktion des Quantenzustands eines Neutrons, das sich gerade im Interferometer befindet, und eine effektive Separation des Spins von seinem Träger, dem Neutron, was auch als Quanten-Grinsekatze bezeichnet wird. Diese und ähnliche grundlegende Konzepte finden z.B. im Bereich der Quantensensorik Anwendung.



QUANTENPHYSIK UNTER KONTROLLE

Andreas Deutschmann-Olek & Andreas Kugi

Die Nutzung quantenmechanischer Eigenschaften einzelner Objekte zählt zu den großen technologischen Zukunftshoffnungen. Deren algorithmische Manipulation durch Regelungstechnik ist ein wesentliches Element der Transformation von der Grundlagenforschung hin zur technologischen Umsetzung.

Die experimentelle Beobachtung und gezielte Kontrolle quantenmechanischer Effekte

> ist ein inhärent komplexes Problem. Dies begründet sich einerseits in

> > der aufwendigen Erzeugung nicht-klassischer Quantenzustände, die in der Regel

eine gezielte Wechselwirkung mit vorhandenen Nichtlinearitäten erfordert. Andererseits finden derartige Zustände ein Umfeld vor, in dem quantenmechanisches Verhalten durch Interaktionen mit der Umgebung rasch zerstört wird. Gerade die (dynamische) Nutzung von nichtlinearem Systemverhalten und die Unterdrückung von externen Störungen sind typische Aufgaben der Regelungstechnik.

Im Zuge zukünftiger Quantentechnologien ist es daher wenig verwunderlich, dass sich die Anwendung fortgeschrittener Methoden der System- und Regelungstheorie unter dem Schlagwort "quantum control" zu einem äußerst aktiven Forschungsgebiet

Ein Ziel der aktuellen Forschungsarbeiten ist es, zunehmend massereiche Partikel in genuin quantenmechanische Zustände zu bringen. In Zusammenarbeit mit dem Team von

formiert.

Prof. Markus Aspelmeyer, Universität Wien und ÖAW, beschäftigen wir uns am Institut für Automatisierungs- und Regelungstechnik (ACIN) mit der Erforschung von Regelungsmethoden für levitierte Nanopartikel. Dabei wird eine elektrostatisch geladene Silikatkugel mit einem Durchmesser von etwas mehr als einem Hundertstel eines menschlichen Haares mit einem fokussierten Laserstrahl in einer Vakuumkammer in Schwebe gehalten. Die Interaktion mit Photonen, also den Teilchen des Lichtfelds, ist der einzige äußere Einfluss der Umgebung auf das Partikel. Der Aufprall eines Photons stört dabei einerseits den Bewegungszustand des Partikels, andererseits kann durch Detektion eines abgelenkten Photons Information über den Ort des Teilchens gewonnen werden. Ein kluger Algorithmus kann nun diese Messinformation nutzen und der Bewegung des Partikels entgegenwirken, indem die optimale Bremskraft über ein elektrisches Feld auf das geladene Partikel ausgeübt wird. Anders ausgedrückt lässt sich so die Temperatur des Partikels kühlen, d.h. die Verwendung von Information erlaubt die Manipulation des thermischen Gleichwichts des Partikels. Die Grenze dieser durch Regelung induzierten Kühlung ist durch die Effizienz der Informationsverarbeitung und der Messung, d.h. des Anteils der detektierten Photonen relativ zur Summe der vom Partikel gestreuten Photonen, gegeben. Durch Kombination von optimalen Algorithmen mit nahezu idealen, sogenannten Heisenberg-limitierten Messungen ist es in der

Die experience in the second of the second o

Im Inneren der Vakuumkammer wird ein Silikatpartikel durch fokussiertes Laserlicht in Schwebe gehalten



Tat gelungen, das Partikel mittels Regelung in den quantenmechanischen Grundzustand zu kühlen. Die Temperatur des Teilchens ist dabei auf fünf Mikrokelvin reduziert, also nur fünf Millionstel Grad über dem absoluten Nullpunkt. Das Partikel besitzt somit kaum mehr als die geringstmögliche, durch die Quantenmechanik bestimmte Bewegungsenergie.

Derart präzise kontrollierte Partikel lassen sich als höchst empfindliche Sensoren verwenden. Insbesondere die hohe Impulssensitivität erlaubt die Messung kleinster Stöße bis hin zu Kollisionen einzelner Gasmoleküle mit dem Partikel. Zudem lässt sich die erreichbare Sensitivität durch nicht-klassische Quantenzustände weiter erhöhen. Die Erzeugung derartiger Zustände und deren technologische Nutzung als Sensor sind nur einige der Fragen, mit denen wir uns aktuell in Zusammenarbeit mit den Teams von Prof. Aspelmeyer und Prof. Silvan Schmid, TU Wien, beschäftigen. Während die Bewegung des Partikels selbst nahezu perfekt gekühlt werden kann, ist dessen Oberfläche immer noch sehr heiß. Die Auswirkungen des konstanten Beschusses mit Photonen auf die Bewegungsenergie werden zwar ausgeglichen, regen jedoch trotzdem starke atomare Gitterschwingungen an. Die Oberfläche des Partikels zittert demnach, während sein Massenschwerpunkt fest verharrt. Für höchstempfindliche Experimente ist auch dieses Zittern der Oberfläche ein Problem. Um dies zu umgehen, müsste das Partikel aber an dunklen Stellen im Lichtfeld

Levitiertes Nanopartikel im Grundzustand.

Optischer Aufbau zur Messung und Manipulation des Nanopartikels.

des Lasers positioniert werden, die wiederum auf das Teilchen abstoßend wirken und so die Dynamik des Teilchens destabilisieren. Instabilitäten sind jedoch bekanntlich die liebste Spielwiese der Regelungstechnik.

SO WEIT BREITET SICH LICHT IN 30 FEMTOSEKUNDEN AUS Gerhard Liedl ULTRAKURZE LASERPULSE Voraussetzungen sind aber auch noch



KNAPP 0,000009 m

Ausgehend von der Entwicklung der "Chirped Pulse Amplification", für die Donna Strickland und Gérard Mourou 2018 mit dem Nobelpreis für Physik ausgezeichnet wurden, haben ultrakurze Laserpulse mit ihrer extrem hohen Spitzenleistung eine Vielzahl neuer Bearbeitungsmöglichkeiten eröffnet. Wärmeleitung, Diffusion und andere Vorgänge benötigen viel mehr Zeit. Vereinfacht gesagt ist ein ultrakurzer Laserpuls bereits zu Ende, bevor die Wärmeleitung die Energie in das Innere eines Werkstücks weiterleiten kann. Trifft ein ultrakurzer Laserpuls auf ein Werkstück, werden zuerst die Elektronen die Energie des Laserpulses aufnehmen und erreichen damit eine sehr hohe Temperatur, die Atome des bestrahlten Bauteils hingegen bleiben kalt. Diesen Zustand beschreibt man sehr anschaulich mit dem Zwei-Temperatur-Modell.

Abgesehen von präzisen Bohrungen und Schnitten können ultrakurze Laserpulse auch periodische Nanostrukturen auf der Probenoberfläche hervorrufen, sogenannte LIPSS (Laser Induced Periodic Surface Structures) oder auch Nanoripples (Abb. 1). Die LIPSS weisen zumeist eine Periodenlänge auf, die etwa der Wellenlänge λ der einfallenden Strahlung entspricht. Unter bestimmten

Voraussetzungen sind aber auch noch deutlich kürzere Periodenlängen möglich. Derartige Mikro- und Nanostrukturen können Oberflächen wasserabstoßend machen, also hydrophob. Dieser Effekt kommt in der Natur beispielsweise bei der Lotospflanze vor (Lotoseffekt).

SIND HYDROPHOBE OBER-FLÄCHEN AUCH EISABWEISEND?

Von nanostrukturierten, superhydrophoben Oberflächen prallt ein auftreffender Wassertropfen regelrecht ab. Am Forschungsbereich Photonische Technologien untersuchen wir, ob eine Mikro- bzw. Nanostrukturierung auch Auswirkungen auf das Anhaften von Eis bzw. Schnee auf technischen Oberflächen haben kann. Vereisungen stellen bei Luftfahrzeugen ein Problem dar, betreffen aber auch Windkraftanlagen (WKA) und können deren Effizienz bei der Stromproduktion stark beeinträchtigen. Ein Eisabwurf von einem Rotorblatt einer WKA kann zudem eine erhebliche Gefahr für Personen in der Nähe einer solchen darstellen. In unserer Forschungsgruppe verwenden wir ultrakurze Laserpulse, um unterschiedliche Oberflächen zu strukturieren und sie damit hydrophob bzw. eisabweisend zu gestalten. Durch geeignete Mikro- und Nanostrukturen der Rotorblätter könnte die Effizienz von WKA gesteigert und ein wichtiger Beitrag zur CO₂-neutralen Erzeugung von Energie geleistet werden.

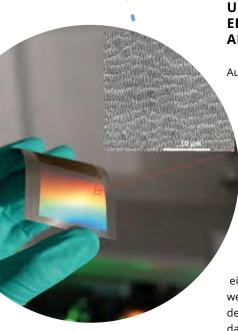


Abb. 1: Nanoripples auf einer Stahloberfläche. Die Periodizität der mit einem Ultrakurzpulslaser erzeugten Strukturen liegt in der Größenordnung der Wellenlänge des sichtbaren Lichts, was zu diesem Farbeffekt führt.



ENERGIESPAREN MIT KERAMISCHEN DATENSPEICHERN

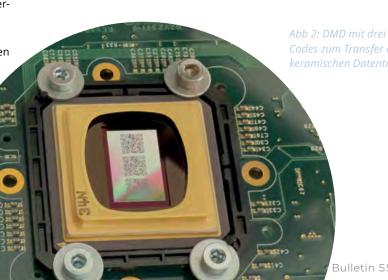
Unser Wissen über vergangene Kulturen beruht vielfach auf Funden keramischer Artefakte wie etwa Tontafeln, die Jahrtausende unbeschadet überdauert haben. In einem aktuellen Forschungsprojekt wollen wir gewissermaßen die Schriftzeichen auf Tontafeln in das 21. Jahrhundert transferieren.

Ein ultrakurzer Laserpuls trägt gezielt eine dünne keramische Schicht ab und schreibt so Daten, beispielsweise einen QR-Code, auf einen Datenträger. Ein derartiges Speichermedium wäre einerseits extrem widerstandsfähig, andererseits würde nur beim Schreiben bzw. Lesen der Daten Energie benötigt werden. Da bereits heute ein Großteil der Daten, die in Datenzentren gespeichert werden, sogenannte Cold Data sind, die selten bis nie abgerufen werden (Katzenvideos), könnten keramische Speichermedien konventionelle Festplatten ersetzen und den Energieverbrauch drastisch senken. Am Forschungsbereich Photonische Technologien verwenden wir DMDs (Digital Mirror Devices), die aus vielen, individuell ansteuerbaren Spiegeln (z.B. 2.500 x 1.600 Spiegelelemente) bestehen, um mit einem einzigen Laserpuls eine Datenmatrix auf den Datenträger zu schreiben (Abb. 2). DMDs können mit einer Frequenz von mehreren kHz angesteuert und damit mit jedem Laserpuls ein anderes Muster geschrieben werden.

Die einzelnen Pixel am Datenträger haben derzeit eine Größe von etwa 400 nm. Bis zu einem Ersatz konventioneller Speichersysteme durch keramische Datenträger müssen aber sowohl die Größe der einzelnen Pixel verkleinert als auch die Schreibgeschwindigkeit gesteigert werden.

Derzeit arbeiten wir gemeinsam mit Kolleg:innen des Instituts für Werkstoffwissenschaften und unserem Firmenpartner an der Optimierung des optischen Systems und der keramischen Schichtsysteme sowie am Einsatz kürzerer Wellenlängen, um die einzelnen Pixel, die geschrieben werden können, noch weiter zu verkleinern. Zur Erhöhung der Schreibgeschwindigkeit werden wir zudem die Synchronisation schneller DMDs mit hochpräzisen Scanner- und Positioniersystemen untersuchen.

Ultrakurzpulslaser eröffnen völlig neue Möglichkeiten der Funktionalisierung von Oberflächen und erlauben die hochpräzise Bearbeitung unterschiedlichster Werkstoffe. Wir erwarten, mit unseren Forschungsprojekten auch einen Beitrag zur Reduktion der CO₃-Emissionen zu liefern.



Bulletin 55 | Oktober 2023

PHOTOPHARMAKOLOGIE -WIE LICHT MOLEKÜLE BEWEGT

Das Licht der Sonne spendet der Erde einen großen Teil der für Leben benötigten Energie. Diese Energie wird von der Natur für die verschiedensten Prozesse genutzt: neben Photosynthese auch für das Bewegen von Molekülen. Die Photopharmakologie versucht, diesen Vorgang nachzuahmen und für therapeutische Zwecke zu nutzen.

Licht besteht aus Quanten, den Photonen, und findet sich überall um uns herum. Ohne Licht und der damit verbundenen Energie wäre das Leben auf der Erde, wie wir es kennen, unmöglich. Photosynthese ist der bekannteste Prozess der Natur, Photonen zu nutzen. Dabei wandelt der Farbstoff Chlorophyll Licht in chemische Energie um. Beim Sehvorgang wird wiederum mit der Energie des Lichts die Gestalt des Moleküls Retinal verändert. Diese Umwandlung des ursprünglich gebogenen cis-Retinals in seine gestreckte Form des trans-Retinals stellt eine markante Geometrieänderung dar, die in weiterer Folge zu einem Spannungsaufbau und zur Anregung des Sehnervs führt (Abb. 1).

Diesen Mechanismus zur Bewegung von Molekülteilen unter gleichzeitiger Veränderung der Form macht sich das Forschungsfeld der Photopharmakologie zu nutze. So werden die Auswirkungen von Licht auf die Wirkung von Arzneimitteln im Körper untersucht.
Dabei ist es das Hauptziel, Arzneimittel zu entwickeln, die durch Licht reversibel aktiviert und deaktiviert werden können – quasi wie ein molekularer Schalter. Voraussetzung dafür ist die unterschiedliche Wirksamkeit eines Arzneimittels in seiner durch Licht veränderten und ursprünglichen Form (Abb. 2).

Katharina Schlögl & Marko D. Mihovilovic

Eine lichtgesteuerte Kontrolle über die Aktivität von Arzneimitteln würde eine präzisere Anwendung ermöglichen und somit unerwünschte Nebenwirkungen reduzieren. Das macht Photopharmakologie vor allem für die Krebsforschung interessant, um z.B. Nebeneffekte von Chemotherapeutika lokal zu beschränken. Mit dem Konzept der Photopharmakologie lassen

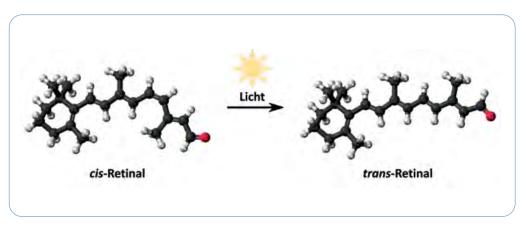


Abb. 1: Das Molekül cis-Retinal wird durch Licht zu trans-Retinal umgewandelt.

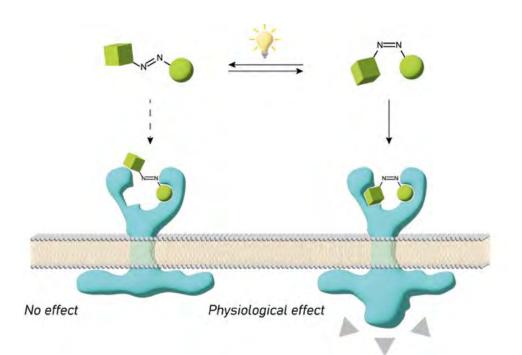


Abb. 2: Das Konzept der Photopharmakologie. Ein Molekül ändert seine Form und löst dadurch einen physiologischen Effekt aus.

sich aber auch Transporter oder Ionenkanäle steuern und somit potenziell neurologische Erkrankungen behandeln. Durch kontrolliertes Öffnen und Schließen von Transportern kann z.B. die Menge an Neurotransmittern wie Serotonin reguliert werden, was unter anderem bei der Behandlung von Depressionen relevant ist.

Moleküle, die die Fähigkeit haben, ihre Form durch Energiezufuhr durch Licht zu verändern, nennt man Photoswitches. Die damit verbundenen strukturellen Modifikationen an Wirkstoffen sind oft sehr klein und einfach, lassen sich somit leicht in bereits bekannte Arzneistoffe integrieren. Dies ermöglicht es der Photopharmakologie, auf eine Vielzahl von bereits bekannten Wirkstoffen zurückzugreifen und somit schnell neue, lichtsteuerbare Moleküle für biologische Tests herzustellen. Die große Limitierung der Photopharmakologie liegt dementsprechend nicht bei der Verfügbarkeit von lichtempfindlichen Photoswitches mit pharmakologischer Wirkung, sondern vielmehr in der Umsetzung des Lichttransports an die gewünschte Wirkstelle im Körper.

Obwohl auch in dieser Hinsicht erheblicher Forschungsaufwand betrieben wird und stetig Verbesserungen an den bereits vorhandenen Systemen, wie z.B. kabellosen implantierbaren LEDs, erzielt werden, sind diese Techniken für große klinische Studien noch nicht ausgereift genug (Abb. 3).

Dennoch wird aktuell der erste photopharmakologische Wirkstoff in der Klinik getestet. Das lichtkontrollierbare Molekül KIO-301 kann in Patient:innen, die an Verlust von Sehvermögen aufgrund abnehmender Photorezeptoren leiden, die Lichtwahrnehmung in der Retina wieder erhöhen. Dies geschieht dadurch, dass die durch Licht aktivierte Form des Moleküls mit den retinalen Ganglienzellen interagiert und somit den Signalverlust durch fehlende Photorezeptoren überbrückt. Diese klinische Studie verdeutlicht das enorme Potenzial der Photopharmakologie für therapeutische Zwecke. Unsere Forschungsgruppe an der TU Wien arbeitet hier seit mehreren Jahren im Rahmen eines FWF-Doktoratskollegs erfolgreich mit der Medizinuniversität Wien, der Universität Wien und dem IST-A zusammen.



Abb. 3: Maus mit steuerbarem LED-Implantat zur gezielten Anregung von lichtkontrollierten Molekülen.

MIT LICHTQUANTEN ZUM MATERIAL

Stefan Baudis, Katharina Ehrmann, Patrick Knaack & Robert Liska

Wie aus Zauberhand wächst beim 3D-Druck ein komplexes Bauteil aus einer flüssigen Formulierung (Abb. 1). Nur das regelmäßige Aufblitzen von Licht unter der entstehenden Struktur verrät die zugrunde liegende Technologie der sogenannten "vat photopolymerization" (Bottich-Photopolymerisation): Mit Licht wird Material in situ (also direkt vor Ort) hergestellt.

Die Photopolymerisation, also die Härtung von flüssigen Formulierungen mittels Lichts, ist eine bereits sehr lang etablierte Technologie und wird traditionell für dünne Schichten - mit Schutzfunktion oder für dekorative Zwecke - eingesetzt; eben überall dort, wo schnelle Trocknungszeiten entscheidend sind. Bei der physikalischen Härtung, wie wir sie von klassischen Lacksystemen kennen, muss ein Lösungsmittel abdunsten, sodass eine dünne, harte Lackschicht zurückbleibt. Oben genanntes Photoharz härtet chemisch innerhalb von Sekundenbruchteilen, so können Druckerzeugnisse nur wenige Momente nach dem Auftragen bereits aufgerollt oder gestapelt werden, ohne dass dabei die Tinte verwischt.

Die Technologie der Photopolymerisation wird heute jedoch sehr verbreitet auch für voluminöse Konstrukte eingesetzt, also für dickere Schichten bzw. ganze Bauteile. Sehr wahrscheinlich ist man damit schon beim Zahnarzt in Berührung gekommen: Moderne Dentalfüllmassen bestehen aus einer hoch gefüllten pastösen Masse, die in der Zahnkavität mit Licht gehärtet wird. Diese Anwendung verlangt dem Material viel ab - insbesondere bestehen hohe Anforderungen an die Schlüssellkomponente im System, den sogenannten Photoinitiator. Ist dieser gewichtsanteilmäßig auch die geringste Komponente in der Formulierung, so läuft ohne diesen nichts. Der Photoinitiator wandelt die Energie der

Lichtquanten in chemische Energie um und startet die Härtung der Monomere in der Formulierung, sodass feste Kunsstoffe entstehen.

Grundsätzlich können viele Effekte im Zusammenspiel zwischen Lichtquanten und Materie beobachtet werden. Bei der Absorption wird ein Lichtquant mit einer bestimmen Energie h • ν (die durch die Farbe des Lichts bestimmt wird) verschluckt. Dabei werden Elektronen auf ein höheres Energieniveau gehoben. Von dort gibt es mehrere Wege in unterschiedliche Zustände. Üblicherweise ist der in Abb. 2 gezeigte sogenannte Triplett-Zustand wesentlich. Hierdurch werden in weiterer Folge reaktive Spezies, sogenannte Radikale, gebildet, welche die Aushärtung starten. Durch die Energie der Lichtquanten wird die Härtungstiefe in gefüllten Systemen bestimmt (Abb. 2). Das können, wie bereits erwähnt, Zahnfüllungen sein, aber auch keramische Formulierungen, Biotinten usw., in denen es durch die enthaltenen Partikel (Keramik, lebende Zellen etc.) zur Lichtstreuung und der damit verbundenen Herabsetzung der Härtungstiefe kommt. Der Zahnarzt muss deshalb tiefe Löcher im Zahn schrittweise abfüllen. Ganz gegen die Intuition können Lichtquanten mit niedriger Energie (also längerer Wellenlänge bzw. rotverschoben) tiefer in das Material eindringen. Somit sind auch Photoinitiatoren, die mit rotverschobenem Licht funktionieren, technologisch klar im Vorteil. Aus diesem Grund werden langwellige Photoinitiatoren intensiv beforscht. Wie in Abb. 3 ersichtlich, bestehen die meisten Photoinitiatoren aus einer sogenannten Benzoyl-Einheit, die an ein α -Atom gebunden ist. Die Spaltung unter Bildung reaktiver Radikale erfolgt genau dazwischen (α-Spaltung).

Die wichtigsten Vertreter für diese α-Atome finden sich in der vierten und fünften



Abb. 1: Bottich-Photopolymerisation und Anwendung in der Dentalmedizin.

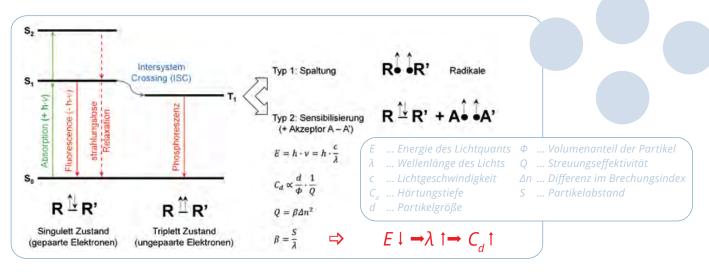
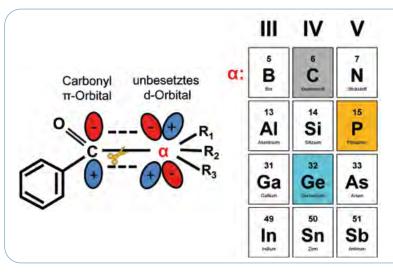


Abb. 2: Jabłoński-Schema (links) und der Zusammenhang zwischen der Energie des Lichtquants und der Härtungstiefe in Photopolymerschichten (rechts).

Hauptgruppe des Periodensystems. Naheliegend ist hier natürlich der Einsatz von Kohlenstoff, und viele industriell sehr verbreitete Photoinitiatoren sind von diesem Typus. Jedoch benötigt man dafür UV-Licht, das für viele Anwendungen nicht nur aufgrund geringer Eindringtiefe ungeeignet ist. Der Übergang zu Phosphor als α-Atom brachte eine deutliche Verschiebung zu längeren Wellenlängen. Obwohl nach Kohlenstoff Silizium die nächste logische Wahl wäre (jene Verbindungen sind überraschenderweise nicht geeignet), gelang an der TU Wien mit Photoinitiatoren basierend auf Germanium der nächste Durchbruch. Jene absorbieren bis in den sichtbaren Bereich und können mit blauen LEDs Energieeffizient eingesetzt werden. Auch wenn dieser Initiator zehntausende Euro pro Kilogramm kostet, ist die

benötigte Einsatzmenge so gering, dass dieser auch tatsächlich kommerziell eingesetzt wird.

State-of-the-Art Dentalkomposite enthalten solche Photoinitiatoren auf Germanium-Basis. Zudem wurden auch 3D-Druck-Verfahren wie die Lithographie-basierte Keramikherstellung mithilfe solcher Initiatoren technologiereif. Aktuelle Forschung findet im Bereich der Zinn-basierten (nächstes Element der vierten Hauptgruppe) Photoinitiatoren (Stannane) statt, die eine weitere Verschiebung zu noch höheren Wellenlängen versprechen und eine überraschend niedrige Toxizität aufweisen. Dies macht deutlich, dass trotz mehr als 70 Jahren Forschung im Bereich der photoinitiierten Härtung immer noch neue Herausforderungen auf uns warten.



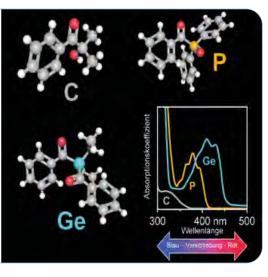


Abb. 3: Chemischer Aufbau von α-spaltenden Photoinitiatoren und deren spektrale Eigenschaften in Abhängigkeit vom α-Atom.

Die Zukunft gestalten. Ein Team aus 8.920 Persönlichkeiten.

Teamwork ist nichts ohne die Kraft jedes Einzelnen. In diesem Sinne fördern wir die Talente unserer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, um daraus Mehrwerte für uns alle zu schaffen. In 26 Ländern bündeln jeden Tag über 8.000 Persönlichkeiten für AGRANA ihre Kräfte, um Potenziale voll auszuschöpfen. Langjährige Erfahrungen helfen uns zukünftigen Entwicklungen gewachsen sein. Wachsen Sie mit uns und werden Sie Teil von Team-AGRANA: www.agrana.com/hr



Der natürliche Mehrwert

Fotos: © Chemie On Tour

GROSSE EXPERIMENTE FÜR KLEINE CHEMIKER: INNEN

Alexander Prochazka | Chemie On Tour

Während in der Physik die Quanten als Zukunft der Informationsweitergabe gesehen werden, beschäftigen sich Chemiker:innen der TU Wien mit der Übertragung von Wissen und Informationen an die jüngere Generation. Die Gesellschaft steht im Wandel. Die geburtenstarken Jahrgänge gehen in Pension, künstliche Intelligenz wird als Ersatz für menschliches Kapital gesehen und die Energiewende ist unsere einzige Hoffnung gegen den Klimawandel. Während all diese Phänomene von den eher theoretisch angehauchten Wissenschaftsrichtungen als irrelevant angesehen werden, ist deren Einfluss in der Chemie bereits deutlich spürbar. Nachrückende Jahrgänge an der Fakultät für Technische Chemie verzeichnen stark abnehmende Studierendenzahlen, die wenigsten Anfänger:innen hatten während ihrer schulischen Laufbahn die Möglichkeit, praktische Chemie zu erleben. Gerade Chemie als praxisabhängige Wissenschaftsdisziplin leidet unter dem fehlenden Praxisbezug der derzeitigen Schulbildung. Während sich z.B. in der Physik die meisten Phänomene und Experimente auch modellieren lassen, geht in der Chemie das praktische Experiment vor. Nichts übertrifft den Geruch organischer Lösungsmittel während einer Synthese oder plötzlich auftretende und wunderschön bunte, aber dennoch gesundheitsgefährdende Gase aufgrund einer überhitzten Reaktion. Diese beeindruckenden Fehlschläge und Erfahrungen versuchen nun drei junge Absolvent:innen der Fakultät für

Technische Chemie an junge interessierte Nachwuchswissenschafttler:innen weiterzugeben. Mit ihrer in Eigenregie und mit Unterstützung der Fakultät für Technische Chemie entwickelten Chemie-Box bieten sie spektakuläre,

aber sichere Experimente für ein ganzes Jahr an. Die ChemieBox besteht aus einer Starterbox und zwölf monatlich versendeten Boxen, die mit ihrem Inhalt Kinder und Jugendliche für die faszinierende Welt der Chemie begeistern sollen. Nach ausgiebiger Testung konnte festgestellt werden, dass selbst fachfremde Akademiker:innen aufgrund der enthaltenen Experimente ihre bisherige berufliche Karriere hinterfragen. Noch ist es nicht zu spät – auch Quereinsteiger:innen sind in der Chemie herzlich willkommen. Der Inhalt der ChemieBox bietet Einblicke in die Verknüpfung zwischen den einzelnen Fachrichtungen. Während die Physik als ständiger Wegbegleiter immer dabei ist, wird zum Beispiel im Monat Elektrochemie auch der Einfluss von elektrischem Strom auf unterschiedlichste Reaktionen getestet. Korrosion, Chemie der Materialien und Lebensmittel sind nur einige der Fachbereiche, auf die mit spannenden Experimenten eingegangen wird. Da es den jungen Entwickler:innen der ChemieBox ein besonderes Anliegen ist, vor allem die nächste Generation an TU-Absolvent:innen für die Fachrichtung der Chemie zu begeistern, ist bei der Bestellung der ChemieBox ein Monat für TU-Alumni-

ChemieOnTour.at ChemieBox.at





VERMESSUNG DER WELT MIT QUASAREN

ohannes Böhm

Interferometrische Beobachtungen zwischen global verteilten Radioteleskopen ermöglichen die Bestimmung der Orientierung der Erde im Weltraum, das Navigieren von Raumschiffen und Bilder von schwarzen Löchern.

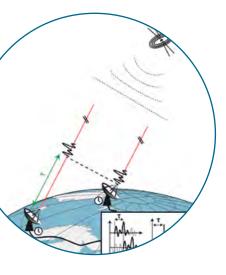


Abb. 2: VLBI-Konzept: Global verteilte Stationen beobachten gleichzeitig Quasare. Die Interferenzmuster (Fringes) und andere Beobachtungsgrößen wie der Unterschied in den Ankunftszeiten τ werden im Korrelator bestimmt

Beim Young'schen Doppelspaltexperiment erzeugt Licht einer Punktquelle, das durch enge Spalten geschickt wird, Interferenzstreifen auf einem Beobachtungsschirm. Die Very Long Baseline Interferometry (VLBI, Interferometrie auf langen Basislinien) ersetzt die Lichtquelle durch extragalaktische Radioquellen (zumeist Quasare) und die Spalten durch Radioteleskope (Abb. 1). Mit der Entwicklung von Atomuhren und elektronischen Speichermedien können seit den 1960er-Jahren die Radioteleskope beliebig weit entfernt sein, wodurch das Auflösungsvermögen dramatisch gesteigert wurde. Die Interferenzmuster und weitere Beobachtungsgrößen werden nun im VLBI-Korrelator erzeugt, das sind heute leistungsstarke Rechner und in unserem Fall der Vienna Scientific Cluster. Das Young'sche Doppelspaltexperiment liefert somit nicht nur den Einstieg in die Quantenphysik, sondern auch die Grundlage der VLBI (Abb. 2). An der TU Wien korrelieren wir Beobachtungen von Radioteleskopen des International

VLBI Service for Geodesy and Astrometry (IVS, Abb. 3). Aufgenommen in Kanälen im Bereich von 2 bis 14 GHz, erfolgt die Übertragung der Daten nach Wien über e-Transfer mit einer Rate von einigen Gigabit pro Sekunde. Ausgehend von den Korrelationsergebnissen bestimmen wir die Koordinaten der Stationen mit einer Genauigkeit von wenigen Millimetern. Zusammen mit Koordinaten von Antennen anderer Verfahren, etwa der Globalen Satellitennavigationssysteme (GPS, Galileo ...), bilden diese den globalen terrestrischen Referenzrahmen und damit die Grundlage für jede Art von Positionierung und Navigation auf der Erde. Auch für die Beobachtung globaler Veränderungen, etwa des Meeresspiegelanstiegs, sind diese Grundlagen unerlässlich.

Die VLBI ist das einzige Verfahren zur vollständigen Bestimmung der Orientierung der Erde im Weltraum. Die Erde dreht sich nicht genau in 24 Stunden einmal um die





Abb. 3: VLBI-Stationsnetzwerk der neuesten Generation (VGOS).

eigene Achse, sondern sie "wobbelt" herum. Die genaue Kenntnis der Orientierung ist für die Berechnung von Satellitenbahnen, aber auch für das Navigieren von Raumschiffen zu anderen Planeten zwingend geboten. Man beachte, dass ein Fehler von einer Tausendstel Bogensekunde zwar nur drei Zentimeter an der Erdoberfläche ausmacht, auf dem Mars sind das aber bereits mindestens 300 Meter. Im Besonderen ist die VLBI auch das einzige Verfahren zur Bestimmung des Unterschieds zwischen der Atomzeit und dem Winkel der Erdrotation (UT1). Diese Messungen entscheiden, ob Schaltsekunden bei der koordinierten Weltzeit (UTC) angebracht werden. Schließlich erkennt man in der Variation der Erdorientierung geophysikalische Prozesse wie das Abschmelzen von Eismassen oder das Wetterphänomen El Niño.

VLBI-Beobachtungen verwenden Strahlung von extragalaktischen Radioquellen - gleichzeitig lässt sich damit die Richtung zu diesen Quellen sehr präzise bestimmen. Die Genauigkeit entspricht der Auflösung eines Tennisballs auf dem Mond - beobachtet von der Erde. Die Richtungen zu Tausenden Quellen realisieren das himmelsfeste Referenzsystem, das für alle astronomischen Anwendungen verwendet wird. Obwohl diese Radioquellen Milliarden Lichtjahre entfernt sind, erscheinen sie nicht genau punktförmig, sondern weisen eine gewisse Struktur auf. Mit geeigneten Methoden lassen sich aus VLBI-Beobachtungen Bilder der Quasare erzeugen (Abb. 4). Wissenschaftler:innen des Event Horizon Telescope (EHT) haben diese Methoden adaptiert, verfeinert und damit Bilder der schwarzen Löcher in M87 und der Milchstraße erzeugt.



Radioteleskop in Ny-Ålesund (Spitzbergen).

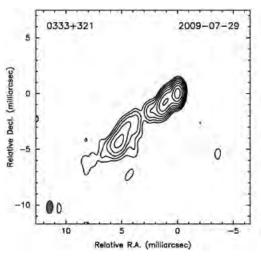


Abb. 4: Bild des Quasars

GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEMS TIMING IST ALLES

Marcus Franz Glaner

Globale Satellitennavigationsdienste ermöglichen eine genaue Positionsbestimmung unabhängig von Uhrzeit, Wetter und Ort. Darüber hinaus eröffnen sie ein breites Forschungsfeld, etwa zur Untersuchung der Erdatmosphäre.

Tagtäglich verwenden wir das GPS auf dem Smartphone oder im Auto-Navigationsgerät, und innerhalb weniger Sekunden wissen wir unsere Position auf wenige Meter genau. Dieser heute selbstverständliche Vorgang ist das Ergebnis jahrzehntelanger Forschung

und Entwicklung basierend auf einem relativ einfachen Prinzip. Anfänglich war GPS eigentlich nur auf militärische Nutzer und eine Genauigkeit von mehreren hundert Metern ausgelegt.

Moderne Geräte wie unsere Smartphones empfangen die Signale sogenannter globaler Satellitennavigationsdienste (Global Navigation Satellite Systems, abgekürzt GNSS). Dieser Überbegriff umfasst das US-amerikanische Global Positioning System (GPS), das russische GLONASS, das europäische Galileo und das chinesische System BeiDou. Jeder dieser globalen Satellitennavigationsdienste hat 24 bis 32 eigene Satelliten im Weltall (Abb. 1). Insgesamt umkreisen also mehr als 100 GNSS-Satelliten die Erde auf bekannten Orbits etwa 20.000 km über der Erdoberfläche (Abb. 2). Unaufhörlich senden diese Satelliten Signale aus und ein Empfänger (zB im Smartphone) misst deren Empfangszeitpunkt. Da der Aussendezeitpunkt des empfangenen Signals bekannt ist, kann die sogenannte Laufzeit berechnet werden. Diese Laufzeit ist nichts anderes als die Zeitdauer, die das Signal für den Weg vom Satelliten

zum Empfänger braucht (zB 0.07s). Weil sich GNSS-Signale mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten, wird die Laufzeit damit multipliziert, um die Distanz zwischen dem Satelliten und dem Empfänger zu erhalten, die sogenannte Pseudo-Range. Sobald die Pseudo-Range zu mehreren GNSS-Satelliten bekannt ist, kann die Position des Nutzers berechnet werden (Abb. 3). Üblicherweise gilt: Je mehr Satellitensignale empfangen werden können, desto verlässlicher und genauer ist die berechnete Position.

Timing ist also alles – die GNSS-Positionierung basiert auf hochpräziser Zeitmessung. Aufgrund der enormen Höhe und Geschwindigkeit von GNSS-Satelliten wirken immense Kräfte

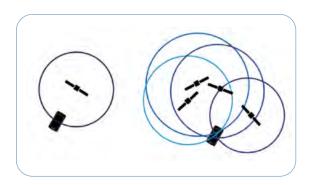


Abb. 3: Grundprinzip der GNSS-Positionierung. Jeder Satellit liefert eine Distanzinformation (links) Mit genügend Satelliten kann die Empfängerposition geschätzt werden (rechts).

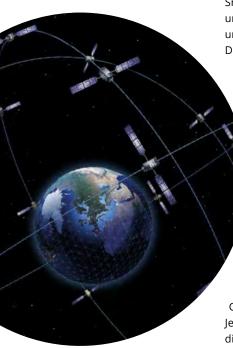
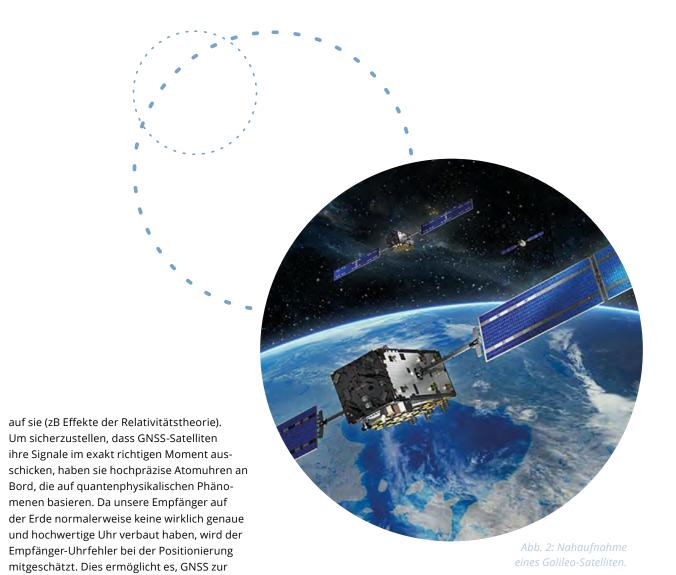


Abb. 1: Darstellung eines globalen Satellitennavigationsdienstes.



Am Department für Geodäsie und Geoinformation der TU Wien arbeiten wir in der Forschungsgruppe Höhere Geodäsie tagtäglich daran, die GNSS-Positionierung zu verbessern. Dabei erreichen wir mit verschiedenen Verfahren Genauigkeiten im Zentimeter- oder sogar Millimeterbereich. Darüber hinaus kombinieren wir GNSS mit anderen Sensoren wie Beschleunigungsmessern, was unter anderem eine zuverlässige Positionierung in Tunneln ermöglicht. Durch unsere Forschung und mithilfe aktueller Services wie dem Galileo High Accuracy Service erhoffen wir uns, in naher Zukunft eine dezimeter- und damit spurgenaue Positionsbestimmungen mit dem Smartphone zu erreichen.

exakten Zeitsynchronisation zu verwenden.

Da GNSS-Signale auf ihrem Weg vom Satelliten zur Erdoberfläche die Erdatmosphäre durchqueren müssen, werden ihre Ausbreitungsgeschwindigkeit und die gemessene Distanz beeinflusst (daher der Begriff Pseudo-Range). In unserer Forschungsgruppe entwickeln wir Atmosphärenmodelle (zB mithilfe von Machine Learning), die diese Signalstörung korrigieren können. Umgekehrt nutzen wir genau diese Signalstörung, um die Erdatmosphäre mit GNSS-Signalen zu untersuchen. Bei der GNSS-Tomographie wird z.B. die wetterrelevante Schicht der Atmosphäre in dreidimensionale Pixel (Voxel) unterteilt, um hochpräzise Modelle zu erstellen. Dies ermöglicht es unter anderem, Wettervorhersagen zu verbessern. GNSS-Signale werden von uns aber auch verwendet, um die Rotation der Erde und deren Veränderung zu untersuchen. Damit lässt sich etwa die Verlangsamung der Erdrotation durch Effekte wie die Gezeitenreibung nachweisen.





Andreas Kruger

Das Entfernen von Dioptrien mittels Lasers gehört zwar zu den jüngsten medizinischen Disziplinen. Dennoch handelt es sich dabei um ein Bereich, der ständig wächst und sich weiterentwickelt, insbesondere dank neuer Verfahren und moderner Technologien.

Veränderungen der optischen Brechkraft des Systems Auge sind seit vielen Jahrzehnten Ziel der refraktiven Chirurgie. Zielstrukturen am Auge sind die stark brechenden Medien. Das ist einerseits die Hornhaut mit etwa 43 Dioptrien und anderseits die natürliche Linse mit etwa 23 Dioptrien.

Bahnbrechend für viele Einsatzbereiche war die Erfindung des Lasers. Das Auge als "Lichtorgan" bot sich daher als einer dieser Bereiche an, da es eine für Laserlicht transparente Struktur aufweist und gut zugänglich ist.

Laser werden seit 1960 in der Medizin speziell in der Augenheilkunde zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken eingesetzt. Therapeutisch werden Excimerlaser und Femtosekundenlaser verwendet, diagnostisches Laserlicht für die Wellenfrontanalyse.

Excimerlaser zur Ablation

1983 experimentierte Steve Trokel erstmalig mit einem Excimerlaser an der Hornhaut. Es war ein 193nm UV-Gaslaser. Dieser ArF-Laser liefert 6.4eV per Photon Energie. Dies ist jene Energie, die adäquat ist, um kovalent Bindungen aufzubrechen und einen Prozess, der als Photoablation bezeichnet wird, zu initiieren. Die Eindringtiefe von UV-Laserlicht ist sehr gering. Nach 1ym Passage sind 90 % absorbiert. Der ArF-Laser setzte sich aufgrund glatterer Ergebnisse, präziserer Abtragungen und reduzierter thermischer Begleiteffekte

des umgebenden Gewebes gegenüber anderen Excimerlasern wie KrF-, XeF oder XeCl-Laser durch.

Typische Ablationsraten des ArF-Lasers sind 0.21-0.27ym pro Puls. Das entspricht etwa dem 28igstel des Durchmessers eines roten Blutkörperchens (Erythrozyt). Die Effekte dieses Lasers konnten beeindruckend simuliert werden: In ein menschliches Haar konnte dreidimensional das Wort Excimerlaser "gefräst" werden – präzise, scharf und ohne thermischen Schaden des umliegenden Gewebes.

Femtosekundenlaser Disruption

Während Excimerlaser photoablativ, also abtragend von der Oberfläche her arbeiten, sind Femtosekundenlaser photo-disruptiv, also Gewebe trennend oder schneidend und daher für andere Einsatzbereiche geeignet.

Wird die Expositionszeit stark verkürzt auf Femtosekundendauer, erfolgt eine nichtlineare Absorption mit sogenanntem optischem Durchbruch und Plasmabildung. Die Gewebetrennung durch Laserdisruption ist die Folge einer durch den fokussierten Laserpuls verursachten Mikroexplosion. Millionen von kleinen nebeneinanderliegenden Mikroexplosionen in geeigneten Schichten der Hornhaut ermöglichen präzise Schnitte.

LASIK ist die weltweit am meisten eingesetzte Lasertechnologie, um Fehlsichtigkeit zu korrigieren. Dabei wird an der Hornhaut ein Deckelchen mit dem Femtosekundenlaser geschnitten, das wie ein Buchdeckel zur Seite geklappt wird. Der Femtosekundenlaser ist ein sogenannter Kontaktlaser. Dieser wird direkt an das Auge angekoppelt, d.h., er wird mit der Hornhaut in Verbindung gebracht. Nach dem



"Das medizinisch Sinnvolle über das technisch Machbare stellen. Brauchbare Innovation entsteht aus dem kritischen Hinterfragen des etablierten Wissens."

Prof. Kruger führt an die 1.000 Augenoperationen jährlich durch. Vor allem die Nachfrage nach Brillenunabhängigkeit ab dem Alter von 50+ hat zugenommen. Dafür gibt es spezielle Verfahren und moderne Technologien.

Wie viele Eingriffe davon weisen aus technischer Sicht Komplikationen auf? Wie viele Patient:innen haben Sie, die im Anschluss an die OP mit Problemen kämpfen? Technisch gesehen hatten wir seit Jahrzehnten mit keinen schweren Komplikationen zu tun. Man muss zwischen Nebenwirkungen und Komplikationen unterscheiden. Nebenwirkungen der Laseroperationen sind ein trockenes Auge, Sehschwankungen in den ersten acht Wochen oder optische Phänomene während der Wundheilungsphase. Laseroperationen sind aber kein Friseurbesuch, sondern Operationen. Grundsätzlich sind Komplikationen wie etwa Infektionen nicht auszuschließen. Unser Credo lautet: gute Planung mit gewissenhafter Untersuchung – gute Operation durch ein erfahrenes Team – gute Ergebnisse.

Wegklappen des Deckelchens wird die Hornhaut mit dem Femtosekundenlaser "beschliffen".

Wellenfrontechnologie

Optische Systeme können mit Aberrometern analysiert werden. Vor der Möglichkeit, höhere Aberrationen, das sind alles außer Kurz-, Weit- und Stabsichtigkeit, mittels Excimerlaser korrigieren zu können, waren solche technischen Geräte nicht sinnvoll. Die Wellenfront beschreibt eine dreidimensionale Karte der Fehlsichtigkeit. Die Messung der eigentlichen Wellenfront erfolgt meist über einen sogenannten Hartmann-Shack-Sensor. Dieser besteht

aus einem zweidimensionalen Linsenarray und einem optischen Detektor. Jede der Linsen erzeugt in der Fokus-Ebene ein Bild, das entsprechend der lokalen Neigung der Wellenfront gegenüber der Referenzposition verschoben ist. Die jeweilige Verschiebung kann mittels eines CCD-Kamera-Chips gemessen werden. Die optimale Wellenfront ist eben. Gekrümmte Wellenfronten führen zu Abbildungsfehlern. Die gemessenen Daten des individuellen Wellenfrontfehlers des fehlsichtigen Auges werden auf das Excimerlasersystem übertragen und danach eine sogenannte wellenfrontgesteuerte LASIK durchgeführt.

Eine erfahrene Patientin möchte unseren Leser:innen einen persönlichen Einblick hinter die Kulissen ermöglichen – ungeschönt und ehrlich. Nach jahrzehntelangem Tragen von weichen Kontaktlinsen haben meine Augen begonnen, diese abzustoßen. Das Sehen war vernebelt und wolkig, das Tragen von Brillen erforderlich – wenig hilfreich bei sportlichen Aktivitäten und reichlich unflexibel im Sonnenschein. Nach langer Recherche wurde eine bessere Lösung gefunden und umgesetzt. Das Resümee: schnelle und eindringliche Erstinformation, genaue Untersuchung der Möglichkeiten, unkompliziert, eloquent in der Beratung und Gesprächsführung sowie zuvorkommend in der Umsetzung und Nachbetreuung!

EIN DANKESCHÖN

AN DIE AUTOR:INNEN



Jörg Schmiedmayer Forschungsbereich Atom Physics and Quantum Optics Seite 4 – 5



Philipp Haslinger Forschungsbereich Atom Physics and Quantum Optics Seite 6 – 7



Julian Leonard Forschungsbereich Atom Physics and Quantum Optics Seite 8



Sebastian Erne Forschungsbereich Atom Physics and Quantum Optics Seite 9



Maximilian Prüfer Forschungsbereich Atom Physics and Quantum Optics Seite 9



Silke Bühler-Paschen Forschungsbereich Quantum Materials Seite 10 – 11



Elena Redchenko Forschungsbereich Atom Physics and Quantum Opticsk Seite 14



Stefan Rotter Institut für Theoretische Physik Seite 15 – 16



Iva Březinová Institut für Theoretische Physik Seite 18 – 19



Sabine Andergassen Forschungsbereich Correlations: Theory and Experiments Seite 20 – 21



Stephan Sponar Forschungsbereich Neutron and Quantum Physics Seite 23





Andreas Deutschmann-Olek Forschungsbereich Komplexe Dynamische Systeme Seite 24 – 25



Andreas Kugi Forschungsbereich Komplexe Dynamische Systeme Seite 24 – 25



Gerhard Liedl Forschungsgruppe Prozesstechnik Seite 26 – 27



Katharina Schlögl Forschungsgruppe Bioorganische Synthesechemie Seite 28 – 29



Marko D. Mihovilovic Forschungsgruppe Bioorganische Synthesechemie Seite 28 – 29



Stefan Baudis Forschungsgruppe Polymerchemie und Technologie Seite 30 – 31



Johannes Böhm Forschungsbereich Höhere Geodäsie Seite 34 – 35



Marcus Franz Glaner Forschungsbereich Höhere Geodäsie Seite 36 – 37

Neuer Impuls gefällig? Wir sind bestimmt auf Ihrer Wellenlänge.



... schärfer als Heisenberg erlaubt.



Mit spannenden Veranstaltungen in das neue Semester:

27. Sept. Ordentliche Mitgliederversammlung

05. Okt. welcome.day

10. Okt. Besichtigung der Großwärmepumpe EBS

08. Nov. Albertina Modern - Gottfried Helnwein

10. Nov. Vortrag – "Nach grau kommt himmelblau"

21. Nov. Chemie on Tour

25. Jän. TU Wien Ball

Weitere Veranstaltungen sind in Planung und werden auf **tualumni.at** bekannt gegeben!





tualumni.at

Impressum:

Hérausgeber: TU Wien alumni club, Resselgasse 5 | 1040 Wien | +43 1 58801 406022 | office@tualumni.at | www.tualumni.at | Verlagspostamt: 1040 Wien | Medieninhaber & Redaktion: TU Wien alumni club | Redaktionsleitung: Silke Cubert | Lektorat: Katharina Hausegger Grafik & Layout: Andrea Pinter | Auflage: 7.000 Stück | Anzeigenakquisition: TU Wien alumni club | Druckerei: Print Alliance HAV Produktions GmbH, 2540 Bad Vöslau | Satz und Druckfehler vorbehalten.

Join the alumnity for all students & alumni:ae

Mitglied werden



lohnt sich! nur 25€*

Exklusive und **außergewöhnliche Events** (regelmäßige ComeTUgether, Vortragsabende, Führungen, Workshops ...)

Vergünstigungen bei Kooperationspartnern: -10% bei der Paulaner Apotheke, John Harris, Wieden Optik, Kangmei Massage, jollydays.at, Stadtsaal ...

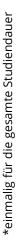
Kostenlose Nutzung der TU Wien Bibliothek

2x jährliche Zusendung des Alumni-Magazins "Bulletin" per Post

15% Rabatt auf TU Wien Merch (erhältlich im TUWac)

tualumni.at







Für jeden Menschen. Überall.

siemens-healthineers.com/at













Wir leisten Pionierarbeit im Gesundheitswesen. Für jeden Menschen. Überall. Die innovativen Lösungen, die Siemens Healthineers für das Gesundheitswesen anbietet, sind ausschlaggebend für die klinische Entscheidungsfindung und die Gestaltung von

Behandlungspfaden. Wir sind ein Team aus 66.000 hochengagierten Mitarbeiter*innen in mehr als 70 Ländern. Mit Leidenschaft verschieben wir die Grenzen des Möglichen im Gesundheitswesen, um das Leben von Menschen auf der ganzen Welt zu verbessern.

