AkademieAktuell

Zeitschrift der Bayerischen Akademie der Wissenschaften

BAYERISCHE GLETSCHER: Zukunft ohne Eis BAROCKE DECKENMALEREI: Kunstgenuss in Pandemiezeiten MITTELALTER: Kettenbücher und -bibliotheken

Heft 2.2021



Welt der Quanten

Forschen für eine Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts

BAW

QUANTENSPRUNG

Transfer von der Forschung in die Wirtschaft

LIVESTREAM AUF BADW.DE

1/7/21

18.00 UHR

MITWIRKENDE

PROF. DR. IMMANUEL BLOCH (LMU München / MPQ / BAdW)

PROF. DR. STEFAN FILIPP (TU München / WMI)

DR. SEBASTIAN LUBER (Infineon Technologies)

MODERATION

DR. JEANNE RUBNER (Bayerischer Rundfunk)

Alfons-Goppel-Straße 11 (Residenz) 80539 München

T +49 89 23031-0 www.badw.de BAYERISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN



"Ein völlig neues Tor in die Welt des Computers": Gründung des Munich Quantum Valley im Januar 2021.

Liebe Leserinnen und Leser!



Die Gründung des Munich Quantum Valley bezeichnete Ministerpräsident Markus Söder Anfang des Jahres als hoffnungsvolles Zeichen in Zeiten der Corona-Pandemie und als "Start in eine bessere Welt". In der Bayerischen Staatskanzlei unterzeichnete er gemeinsam mit den Präsidenten der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, der Fraunhofer-Gesellschaft, der Max-Planck-Gesellschaft und der beiden Münchner Universitäten einen entsprechenden Drei-Punkte-Plan, den der Freistaat mit 300 Millionen Euro fördern will. Ziel der Initiative ist es, Forschung, Entwicklung und Ausbildung in der Quantenwissenschaft und -technologie am Standort München zu bündeln und die Entwicklung des ersten deutschen Quantencomputers an der Isar voranzutreiben.

Gleich zwei Akademieinstitute auf dem Forschungscampus Garching sind auf diesem Gebiet sehr aktiv. Das Walther-Meißner-Institut für Tieftemperaturforschung leistet exzellente Grundlagenforschung in der Quantenphysik und hat die Gründung des Munich Quantum Valley maßgeblich mitinitiiert. Das Leibniz-Rechenzentrum bringt im Bereich Quantencomputing seine Expertise als Digitalisierungspartner für die Wissenschaft ein. Wir nehmen diese Ausgabe daher zum Anlass, Ihnen aktuelle Themen aus diesem innovativen Forschungsfeld vorzustellen, und laden Sie herzlich ein in die Welt der Quanten!

Helt Bode

Prof. Dr. Arndt Bode Vizepräsident der Bayerischen Akademie der Wissenschaften

BAW

Welt der Quanten

München ist seit Jahren ein international herausragendes Zentrum der Quantenforschung. Das zeigt auch die Gründung des Munich Quantum Valley Anfang 2021, das der Freistaat Bayern mit 300 Mio. Euro fördern will. Die BAdW ist mit ihrem Walther-Meißner-Institut und dem Leibniz-Rechenzentrum maßgeblich an der dynamischen Entwicklung beteiligt. Worum es aktuell in den Quantenwissenschaften geht, lesen Sie ab S. 12.

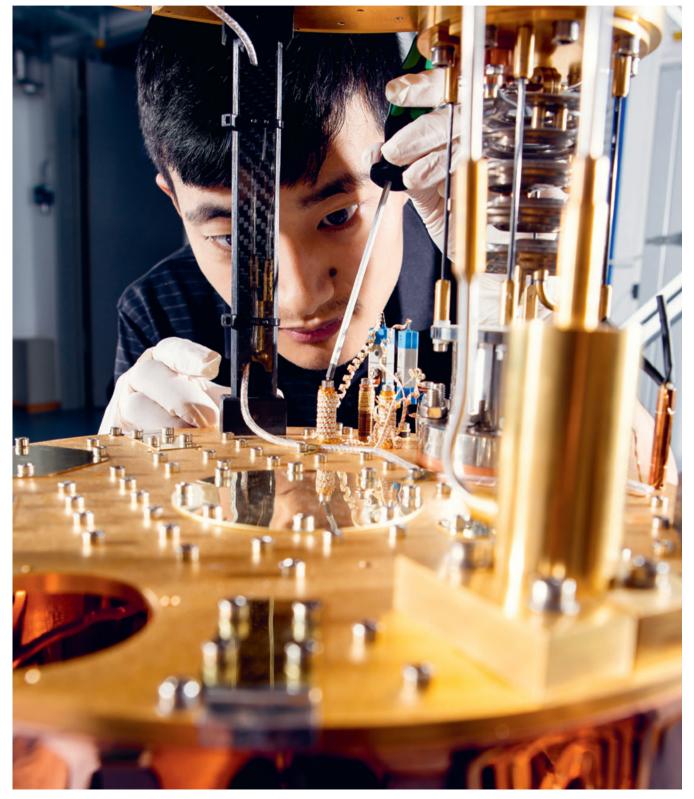


Foto: Kai Neunert

Nr. 74

Ь

Kurz notiert

Nachrichten aus Wissenschaft und Forschung

8

Im Gespräch

Peter Adamson über Philosophie in Europa und der islamischen Welt

Fokus

12

Welt der Quanten – Forschen für eine Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts

14

Faszinierende Welt der Quanten

Exzellente Forschung am Wissenschaftsstandort München

20

Quantencomputer – Können wir damit rechnen?

Internationaler Wettbewerb um die besten Technologien

24

Vom Entweder-oder zum Sowohl-als-auch

Wie lassen sich Quantenund Supercomputer kombinieren?

28

"Solch eine Atmosphäre ist sehr motivierend"

Nachwuchsförderung am Walther-Meißner-Institut

32

Pioniere der Quantenforschung Exzellente Grundlagenforschung am Walther-Meißner-Institut



S. 44 | Zweiter Bayerischer Gletscherbericht: Das "ewige Eis" leidet unter Klimastress.

36

Lokales Quantennetzwerk für "Alice" und "Bob"

Worum es bei der Forschung mit Quantenmikrowellen geht

39

Auf den Punkt

Monika Schnitzer über Bildung

40

Ortswechsel

Aus Österreich nach München

42

Kurz vorgestellt

Fragen an Akademiemitglieder

Forschung

44

Zukunft ohne Eis

Der Zweite Bayerische Gletscherbericht beschreibt Zustand und Zukunft von Höllentalferner und Co. 50

Kunstgenuss in Pandemiezeiten

Ein neues Angebot des Corpus der barocken Deckenmalerei

5

Wissen an der Kette

Kettenbücher und -bibliotheken im Fokus der Forschung

56

Akademie intern

58

Termine / Impressum

60 **Lieblingsstück**

Unser Titelbild

zeigt den Blick in das Innere eines
Ultrahochvakuumsystems am WaltherMeißner-Institut der BAdW. Es dient
der Herstellung supraleitender Schichten,
welche wiederum die Basis für die
Herstellung von Quantenbits bilden. Zu
sehen ist das hell leuchtende Plasma
über einer Sputterkathode. Supraleitende
Quantenchips bilden die zurzeit erfolgreichste Hardware-Plattform für die
Realisierung von Quantencomputern.



2.2021

20 Ouantum

Mit einem Kick-off-Meeting hat sich das Munich Quantum Valley, an dem die BAdW mit dem Walther-Meißner-Institut und dem Leibniz-Rechenzentrum beteiligt ist, öffentlich vorgestellt. Erfahren Sie mehr über die Initiative, den Status quo der Quantentechnologien in Bayern und die Zukunftschancen im Videomitschnitt:

youtube.com/watch?v=XzAMAip3YxA



Exzellenter Nachwuchs gesucht!

Im Jungen Kolleg der BAdW sind wieder Plätze frei. Hervorragende junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus Bayern erhalten für drei bzw. maximal sechs Jahre:

- wissenschaftlichen Freiraum für kreative, innovative Fragestellungen,
- finanzielle Unterstützung in Form von Stipendien (12.000 Euro jährlich) und
- ein hochkarätiges Forum zum Austausch.

Die Projekte im Jungen Kolleg zeichnen sich v. a. durch Fragestellungen an den Schnittstellen der etablierten Wissenschaftsgebiete aus. Interessiert? Bewerben ab 15. Juli 2021 unter: **badw.de/junges-kolleg**

Den Blackout vermeiden

Hackerangriffe, Softwarefehler oder Naturkatastrophen: Große Stromausfälle sind besonders bedrohlich, weil das Stromsystem eine Sonderstellung unter den kritischen Infrastrukturen hat. Wie kann man Blackout-Risiken vermeiden? Die Akademienunion, die Leopoldina und acatech skizzieren in einer Stellungnahme 15 Handlungsoptionen für ein resilientes Energiesystem.

Zur Stellungnahme: akademienunion.de/publikation

SADIKALES NARRATIV



Woher kommt der islamistische Extremismus, der in den letzten Jahren zu Terrorattacken in Frankreich, Österreich und Deutschland führte? Mit dieser Frage beschäftigt sich Mahmoud Jaraba. Er führte im Rahmen der Ad-hoc-AG "Islam in Bayern" der BAdW eine Feldstudie in einer salafistischen Moschee in Bayern durch. Sein Buch zeigt, wie Salafisten für ihr radikales

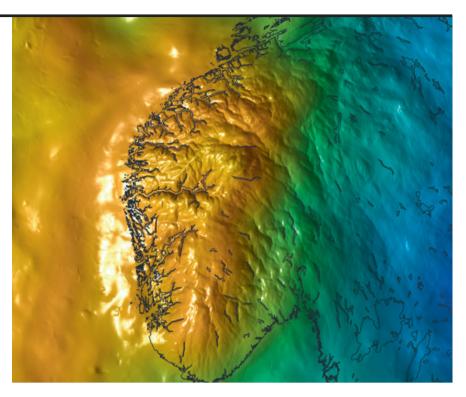
religiöses Narrativ Passagen aus den heiligen Schriften des Islams missbrauchen und Feindbilder innerhalb des Islams schaffen sowie Angriffe auf Christen und Juden provozieren.

M. Jaraba, Salafismus. Die Wurzeln des islamistischen Extremismus am Beispiel der Freitagspredigten in einer salafistischen Moschee in Deutschland, Stuttgart 2020.

Wissenschaftlicher Austausch mit Norwegen

Vor Kurzem wurde der Mount Everest neu vermessen. Der amtliche Höhenwert beträgt nun 8848,86 m - ganze 86 cm mehr als bisher. Aber wie werden Höhen eigentlich gemessen und worauf beziehen sie sich? Damit befasst sich das Projekt "Erdmessung und Glaziologie" der BAdW. Ein einheitlicher Höhenbezug für den Globus lässt sich mit der Satellitengeodäsie schaffen. In Kooperation mit der Norwegischen Universität für Umweltund Biowissenschaften bearbeitet die BAdW derzeit verschiedene Aspekte der Erdmessung. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung fördert die Arbeiten im Rahmen des DAAD durch gegenseitige Forschungsaufenthalte, insbesondere von Doktoranden.

In den "News" stöbern: badw.de



Räumliche Struktur des Geoids in Südnorwegen. Man erkennt einen Ost-West-Trend (von blau nach gelb) und eine starke Korrelation mit der Topographie.



"Was das Silicon Valley heute ist, wird das Quantum Valley in Zukunft sein": Ministerpräsident Markus Söder und Wissenschaftsminister Bernd Sibler bei der Eröffnung des QIC.

"Warp-Antrieb

für die Forschung der Zukunft"

Das Leibniz-Rechenzentrum der BAdW hat sein Quantum Integration Centre, kurz QIC, eröffnet und dazu eine Atos Quantum Learning Machine in Betrieb genommen, den weltweit leistungsstärksten kommerziell erhältlichen Quantensimulator.

Mehr lesen: badw.de/presse



Schelling-Forum gegründet

Das Forum soll den wissenschaftlichen Austausch zwischen der BAdW und der Universität Würzburg intensivieren und ein realer sowie ideeller Raum des lebendigen wissenschaftlichen Dialogs werden. "Unsere Institutionen verbindet nicht nur eine weit zurückreichende Geschichte, sondern vor allem auch eine international anerkannte Spitzenforschung, Damit bilden sie in der Wissenschaftslandschaft Bayerns eine Nord-Süd-Achse, auf der ein reger Austausch stattfindet: nicht zuletzt durch die derzeit zwanzig Würzburger Professorinnen und Professoren, die der Akademie als Mitglieder angehören", erklärte Akademiepräsident Thomas O. Höllmann bei der Vertragsunterzeichnung.

"Fremde philosophische Ansichten faszinieren mich"

Ein Gespräch mit **Peter Adamson**, dem Schelling-Preisträger der BAdW, über die Hebammenkunst des Sokrates, die philosophische Tradition der islamischen Welt und die Frage, woher das Schaf eigentlich weiß, dass der Wolf gefährlich ist.

Fotos Magdalena Jooss

Herr Adamson, Sie forschen über die Philosophie der Spätantike und der islamischen Welt. Was fasziniert Sie daran? Ich war im Studium begeistert von Platon und Aristoteles, aber dann dachte ich. es wäre taktisch besser, wenn ich etwas in der Philosophiegeschichte fände, was relativ unerforscht ist. Ich kam zunächst auf die mittelalterliche Philosophie, und dann hatte ich die Idee, Arabisch zu lernen und mich mit arabischer mittelalterlicher Philosophie zu befassen. Gleichzeitig hatte ich einen Professor an der University of Notre Dame, der sich auf den Neuplatonismus spezialisiert hatte, und das hat mich einfach begeistert. Ich glaube, ich bin so veranlagt, dass mich sehr überraschende oder fremde philosophische Ansichten faszinieren. Ich will wissen, woher die Philosophen damals solche Ideen hatten, die sich zum Teil sehr stark von den heutigen Ideen unterscheiden.

In Ihrem Podcast "History of Philosophy without any gaps" geht es außerdem um die byzantinische, indische oder afrikanische Philosophiegeschichte, um das Mittelalter, die Renaissance. Wie bewältigen Sie das?

(Lacht) In einer Folge nach der anderen. Für die sogenannte nicht-westliche Tradition habe ich oft mit anderen Autoren gemeinsam geschrieben. Islamische Philosophie und westliche Philosophie im Allgemeinen habe ich selber abgedeckt. Aber Sie haben Recht, ich lese jeden Tag sehr viel, damit ich bei diesem Rhythmus bleiben kann. Ich betrachte den Podcast eher als Hobby. Es macht Spaß, Sachen zu lesen, die ein bisschen außerhalb meines Forschungsgebiets liegen.

Hierzulande kennt man meist eher die europäische Philosophiegeschichte. Was können wir aus anderen Regionen lernen?

Sehr viel. Erstens kann man fragen: Gibt es in anderen Kulturen wirklich Philosophie? Philosophische Fragen tauchen dort auch auf, und zwar reichlich. So gibt es im antiken Indien Fragen über Identität, die Seele, Metaphysik oder Atomismus. Auch Skeptizismus ist vorhanden. Wer bezweifelt, dass es Philosophie im antiken Indien gegeben hat, hat keine Ahnung von dem Thema. Das Spannende ist, und das wäre der zweite Punkt, dass oft andere Antworten auf philosophische Fragen gegeben werden. Im Buddhismus etwa gibt es eine sehr starke Theorie über die Identität der Person, nämlich, dass eine solche Identität, die über die Zeit dauert, gar nicht existiert. Wir beide sind demnach nicht dieselben Personen wie zu Beginn des Gesprächs. Das findet man kaum in der vormodernen Philosophie Europas.

Und drittens gibt es die Frage, wie breit wir Philosophie überhaupt ver-



Im Gespräch 2.2021

stehen sollen. Gab es Philosophie in den Amerikas, bevor die Menschen dort mit Europa in Kontakt kamen, gab es vormoderne Philosophie in afrikanischen Kulturen ohne schriftliche Zeugnisse? Vor allem in der Tradition der afrikanischen Philosophie gibt es Versuche, Philosophie in einem mündlichen Kontext zu beschreiben, mithilfe ethnographischer Studien oder der Archäologie. Eine spannende methodologische Frage ist, ob man darin eine (Volks-)Philosophie erkennen kann. Diese Frage gibt es in der europäischen Tradition kaum, wegen der umfangreichen schriftlichen Überlieferung.

Lassen Sie uns ins antike Griechenland schauen. Sokrates, einer der wichtigsten griechischen Philosophen, hat u. a. die Mäeutik hervorgebracht, die Hebammenkunst, ein Lernen in Dialogform. Nun ist die Hebammenkunst meist ein Frauenberuf. Wie war das Verhältnis der antiken Philosophen zu Frauen?

Eine gute Frage. Die Mutter von Sokrates war Hebamme Sokrates selbst beschreibt es so, dass er durch seine Fragen die Ideen der jungen Männer auf die Welt bringen kann. Die Frage nach Frauen in der antiken Philosophie ist etwas, das mich sehr interessiert. Es gab tatsächlich eine Reihe von Philosophinnen in der Antike. nur haben wir leider keine überlieferten Texte. Die einzige Ausnahme sind mehrere Briefe von Frauen, die sich als pythagoreische Denkerinnen bezeichneten. Es wurde jedoch bewiesen, dass die Briefe aus einer späteren Zeit stammen. Wir wissen also nicht, ob die Autoren tatsächlich Frauen waren und ob sie unter diesen Namen aktiv waren. Es gibt aber daneben viele Beschreibungen von Philosophinnen, die wir bei männlichen Autoren finden, bei Platon etwa. In der Spätantike haben wir oft den Fall, dass männliche Autoren Philosophinnen als Familienmitglieder hatten, etwa Monika, die Mutter von Augustinus. Mein Lieblingsbeispiel ist der griechische Kirchenvater Gregor von Nyssa, der zwei Werke über seine Schwester Makrina geschrieben hat, eine Biographie und einen Dialog, in dem Makrina die Unsterblichkeit der Seele beweist ein Versuch, sie mit Sokrates zu vergleichen. Aus dem Mittelalter gibt es Schriften, die von Frauen stammen, etwa Hildegard von Bingen, Juliana von Norwich

oder Katharina von Siena. In Lehrveranstaltungen werden sie nicht oft gelesen, aber sie sind sehr interessant.

Wie sieht es mit Frauen in der islamischen Philosophie aus?

Dort ist es etwas schwieriger. Es gibt weniger das Phänomen, das wir bei Hildegard sehen, also adlige Frauen, die Werke verfassten, die vom männlichen Publikum ernst genommen wurden. Die einzige Ausnahme ist die mys-

"Ich will wissen, woher die Philosophen damals solche Ideen hatten, die sich zum Teil sehr stark von den Ideen unterscheiden, die wir heute haben."

tische Tradition. Es gibt z. B. eine frühere Mystikerin namens Rābi'a al-'Adawiyya, die den Sufismus geprägt hat. Aber insgesamt scheint es relativ schwierig, unumstrittene Beispiele von Philosophinnen in der islamischen Welt zu finden, zumindest im Mittelalter.

Gibt es so etwas wie die Mäeutik auch in der Philosophie der islamischen Welt? Die islamische Tradition ist eher eine Schulphilosphie. Die Werke werden in einem pädagogischen Zusammenhang gelesen, sind aber normalerweise nicht als Dialoge verfasst. Es sind eher

Lehrstücke. Ein Werk von Avicenna ist zum Beispiel absichtlich sehr knapp und schwierig, damit der Schüler selbst versucht, Avicennas Argumente zu verstehen und die Prämissen selbst findet. Das führte dazu, dass viele Kommentare zu dem Werk geschrieben wurden, damit man versteht, was Avicenna beabsichtigte.

Berühmt ist Platons Akademie, eine Philosophenschule in Athen. In der islamischen Tradition gab es das "Haus der Weisheit", ist das vergleichbar?

Die eigentliche Wahrheit über Bayt al-Hikma, das Haus der Weisheit in Bagdad, scheint ein bisschen enttäuschend zu sein. Wir reden hier über das 9. und 10. Jahrhundert nach Christus, und oft wird das Haus als eine Art Universität beschrieben. Die damals herrschenden Abbasiden entschieden, wissenschaftliche Werke aus dem Altgriechischen, Syrischen, Altpersischen ins Arabische zu übersetzen, sogar aus Indien. In das Haus der Weisheit flossen also sehr viele Traditionen ein, allerdings war es wohl eher Skriptorium und Bibliothek als ein Forschungsinstitut. Dennoch waren diese Übersetzungen sehr wichtig. Das war im Grunde der Start für die aristotelische Philosophie in der arabischen Welt.

Sie haben erwähnt, dass Sie schon im Studium vom Neuplatonismus fasziniert waren. Als dessen Begründer gilt Plotin, über den Sie viel geforscht haben.

Plotin lebte im 3. Jahrhundert nach Christus und war ein afrikanischer Philosoph, er stammte aus Ägypten. Man vergisst oft, dass viele spätantike Philosophen aus Nordafrika kamen, etwa Augustinus. Plotin hatte in Alexandria studiert und begründete dann in Rom eine philosophische Schule. Er schrieb eine Reihe von Werken, die sich anscheinend aus den Gesprächen an dieser Schule entwickelt haben. Das prägte seinen Stil, den ich dialektisch nennen würde. Wie er schreibt, ist wirklich mitreißend. Die groben Richtlinien seines Systems sind sehr gut erkennbar. Wir haben als erstes Prinzip das sogenannte Eine oder das Gute, das ist gleichzeitig ein oberer Gott und die Form des Guten aus Platons Politeia. Das ganze Universum komme aus diesem Einen hervor wie Wasser aus einer Quelle. Das Erste, was aus Gott entsteht, ist ein

Intellekt, ein Geist. Und schließlich ist die Seele ein weiteres Prinzip nach dem Einen und dem Geist.

Wie blickt die islamische Welt auf das Konzept der Seele?

Die islamische Tradition übernahm sehr viel von Aristoteles. Es gibt drei Arten von Seele, für Pflanzen für Tiere und für Menschen. Die Menschen haben mit Tieren und Pflanzen manches gemeinsam, etwa die Fortpflanzung, aber darüber hinaus haben sie die Fähigkeit zu denken. Das ist das, was uns als Menschen ausmacht. Allerdings wurde nicht nur Aristoteles ins Arabische übersetzt, sondern auch die Werke Plotins und anderer Neuplatoniker. Daher gibt es eine starke neuplatonische Richtung in der arabischen Tradition.

Aristoteles sieht in der Vernunft das, womit die Seele denkt, und spricht Tieren diese Fähigkeit ab. Wie ist die Sicht der islamischen Philosophie auf das Verhältnis von Tier und Mensch?

Diese Frage erforschen wir im ERC-Projekt "Animals in Philosophy of the Islamic World". Die Antwort ist kompliziert, aber grundsätzlich würde ich sagen, dass die islamische Tradition mehr Fähigkeiten bei Tieren anerkennt. Ein berühmtes Beispiel finden wir bei Avicenna. Er fragt: Wie kommt es dazu, dass ein Schaf einen Wolf sieht und sofort wegläuft? Bei Aristoteles werden als Fähigkeiten der Tiere Fortbewegung und Wahrnehmung angegeben. Aber woher weiß das Schaf, dass der Wolf gefährlich ist? Gefährlichkeit ist nicht sichtbar oder hörbar. Deswegen schreibt Avicenna dem Schaf eine weitere Fähigkeit zu, nämlich die, nicht wahrnehmbare Eigenschaften zu erkennen. Das Einzige, was dann als alleinige Fähigkeit des Menschen übrigbleibt, ist abstraktes Denken.

Wie sieht heute der Austausch in der Philosophie aus?

Jetzt machen wir einen sehr großen Sprung. Die Zeit des Kolonialismus hat, grob gesagt, dazu geführt, dass sich Gelehrte in der islamischen Welt immer mehr für europäische Philosophie interessiert haben. Das ist auch heute noch der Fall. Kant, Descartes oder Heidegger werden stark rezipiert. Häufig ist aber das Ziel, diese europäischen Strömungen mit



Die eurozentrische Sicht des Spätmittelalters: Um 1471 malte Benozzo Gozzoli den "Triumph des Heiligen Thomas von Aquin" über Averroes, der ihm zu Füßen liegt. Neben Thomas: Aristoteles und Platon.

"Diese -ismen werden mitunter in der islamischen Tradition stark kritisiert."

Ideen aus der islamischen Welt zu vergleichen oder zu kombinieren. Es gibt da sehr unterschiedliche Richtungen. Manche sagen, man soll die Elemente der islamischen Tradition stark machen, die am ehesten zur europäischen Tradition passen. Andere betonen, dass in der Tradition des Avicenna bestimmte Fehler der europäischen Denker nicht gemacht wurden, etwa die Ideen von Säkularismus, Idealismus, Atheismus oder Kommunismus. Diese -ismen werden mitunter in der islamischen Tradition kritisiert.

Was nicht gut vorankommt, ist die Zusammenarbeit zwischen den Universitäten in Europa oder Nordamerika und den islamischen Ländern. Ich habe mehrere Doktoranden und Postdocs aus dem Iran oder aus arabischsprachigen Ländern, das geschieht also immer mehr. Aber Sekundärliteratur, die auf Arabisch oder Persisch verfasst ist, wird in Europa oder Nordamerika kaum gelesen. Zugleich sehen wir, dass es seit einiger Zeit hier mehr Professuren für nicht-westliche Philosophie gibt. Ich bin optimistisch, dass die nicht-europäische Philosophie zunehmend stärker an den Universitäten unterrichtet wird. Fragen und Podcast: Ir

Prof. Dr. Peter Adamson

lehrt spätantike und arabische Philosophie an der LMU München und hat eine Teilprofessur am King's College London inne. Er forscht u. a. über Plotin und al-Kindī, aber auch weitere Philosophen der islamischen Welt wie Abu Bakr al-Razi, Yahya Ibn 'Adi, Miskawayh, Avicenna oder Averroes. Er leitet das DFG-Projekt "The Heirs of Avicenna" sowie ein ERC-Projekt über "Animals in Philosophy of the Islamic World". Außerdem publiziert er den Podcast "History of Philosophy without any gaps". Ende 2020 zeichnete ihn die BAdW mit ihrem wichtigsten Wissenschaftspreis, dem Schelling-Preis, aus, für das Oberthema "Multikulturalität in historischer Perspektive".

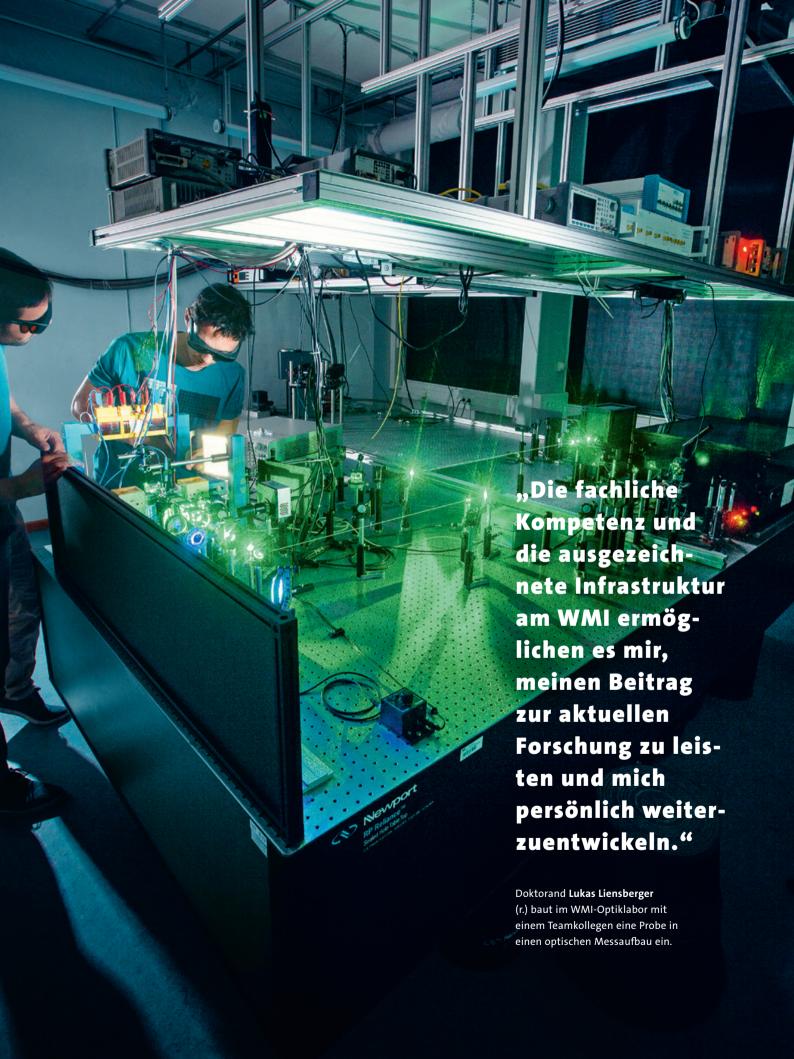
Das Gespräch fand am 19. März 2021 in München statt. Die ausführliche Fassung finden Sie in der BAdW-Mediathek unter www.badw.de.





Welt der Quanten

Die Welt der Quanten erscheint Laien oft seltsam fremd: Das Verhalten von Quantenteilchen entspricht nicht den Vorstellungen der klassischen Physik. Aus Sicht der Forschung befinden wir uns aber bereits mitten in der zweiten Quantenrevolution. Die Fortschritte in der Grundlagenforschung und bei der Entwicklung von Quantentechnologien sind enorm, das Anwendungspotential ist groß. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der BAdW erklären, woran aktuell geforscht wird und was das für unsere Zukunft bedeutet.



2.2021 Fokus

Inmitten der zweiten Quantenrevolution:
München hat sich zum **führenden deutschen Standort**für die Quantenforschung entwickelt, und die
Institute der BAdW spielen eine zentrale Rolle auf
dem Weg zum Munich Quantum Valley.

Von Rudolf Gross

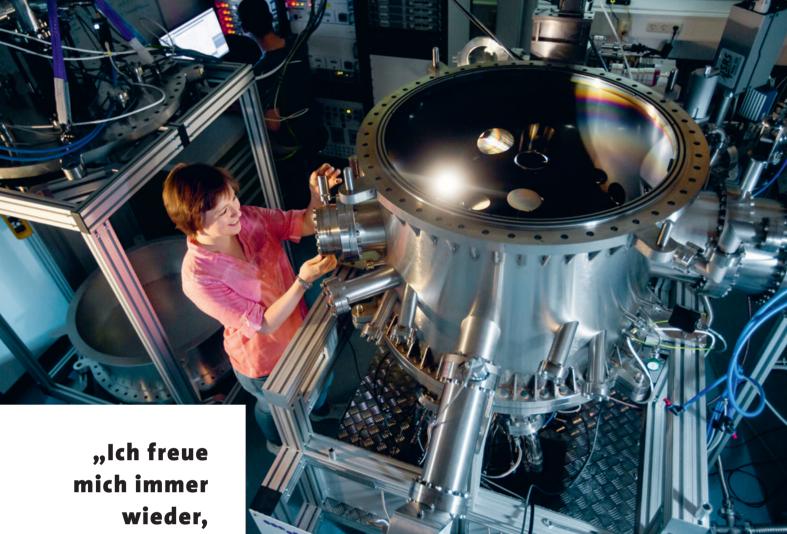
Faszinierende Welt der Quanten

ie Welt der Quanten ist faszinierend, aber für Laien sehr seltsam und fremd. Selbst Albert Einstein wollte nicht wahrhaben, dass unsere Welt so sonderbar ist, wie es die Quantenmechanik vorhersagt. So ist das Besondere an verschränkten Teilchen, dass sie sich in einem gemeinsamen Quantenzustand befinden. Ändert ein Teilchen eine seiner Eigenschaften, dann muss das andere dies im gleichen Moment auch tun – und zwar unabhängig von der Entfernung der beiden Teilchen. Da Einstein in der Relativitätstheorie gezeigt hatte, dass sich nichts schneller als das Licht bewegen kann, glaubte er nicht, dass die Information über die Zustandsänderung des einen Teilchens das andere augenblicklich erreichen kann. Er ging deshalb davon aus, dass die Quantenmechanik falsch oder zumindest

unvollständig ist, und bezeichnete das Phänomen der verschränkten Teilchen als "spukhafte Fernwirkung". Die Quantenmechanik wurde aber mittlerweile in zahlreichen Experimenten bestätigt. Heute gehen wir sogar einen Schritt weiter: Wir nutzen die speziellen Eigenschaften von Quantensystemen wie etwa die Verschränkung gezielt aus, um interessante Anwendungen zu realisieren. Sie reichen von Quantencomputern über Quantenkryptographie und Quantensensoren bis zu neuen Quantenmaterialien.

Die erste Quantenrevolution

Um das Spektrum der von einem heißen Körper (z. B. einer Herdplatte) emittierten Strahlung zu beschreiben, musste Max Planck im Jahr 1900 annehmen, dass Strahlung mit einer Frequenz v nur in kleinen Energieportionen $E = h \cdot v - \text{soge-}$ nannten Strahlungsquanten – abgegeben wird. Die Konstante h wird heute nach Max Planck als Plancksches Wirkungsquantum bezeichnet. Damit legte er den Grundstein für die Quantenphysik, deren theoretisches Fundament – die Quantenmechanik – später u. a. durch Heisenberg, Born, Jordan und Schrödinger entwickelt wurde. Mit der Quantenmechanik können wir das Verhalten von mikroskopischen Teilchen wie Atomen oder Molekülen verstehen, wir brauchen sie aber auch zur Beschreibung von makroskopischen Festkörpern wie Halbleitern, Supraleitern oder magnetischen Materialien. Die Funktionsweise einer enormen Zahl von Alltagsgegenständen – Computerchips, Laserpointer, Leuchtdioden, Flachbildschirme oder einfache Haftmagnete – beruht auf der Quantenphysik.



"Ich freue mich immer wieder, meiner Forscherneugier in der großartigen Atmosphäre des Instituts freien Lauf zu lassen."

WMI-Doktorandin **Janine Gückel-horn** trifft Vorbereitungen an einer Ultrahochvakuum-Sputteranlage für die Herstellung hochreiner Metallschichten.

Die zweite Quantenrevolution

In den vergangenen zwei Jahrzehnten entfaltete sich erneut eine Quantenrevolution, da wir gelernt haben, Quantensysteme maßgeschneidert herzustellen, zu kontrollieren und gezielt zu manipulieren. Wir sind also keine passiven Beobachter mehr, die das Verhalten der Natur mit der Ouantenmechanik beschreiben, sondern stellen aktiv Quantensysteme her und können damit so faszinierende Dinge wie Quantencomputer realisieren. Dabei nutzen wir gezielt das Phänomen der Verschränkung aus, einer genuinen Quanteneigenschaft ohne klassisches Analogon. Ein wichtiger Aspekt ist nun ist die Verschmelzung von Quantenwissenschaften und Informationstechnik, die beide unsere Welt im 20. Jahrhundert revolutioniert haben, zur neuen Disziplin der Quanteninformationswissenschaften.

Die raschen Fortschritte in der Grundlagenforschung und bei der Entwicklung

von Quantentechnologien machen es heute möglich, Quantensysteme für den Bau von Quantencomputern und Quantenkommunikationssystemen zu nutzen, aber auch, um neuartige Quantensensoren und Quantenmaterialien zu realisieren. Das Anwendungspotential ist entsprechend groß. Man erwartet, dass Quantencomputer komplexe Probleme lösen können, die sich selbst auf den leistungsfähigsten Supercomputern nicht berechnen lassen. Dies eröffnet unvorhergesehene Möglichkeiten bei der Lösung komplexer Optimierungsprobleme, bei der Entwicklung neuer Materialien, maßgeschneiderter chemischer Verbindungen und Pharmazeutika, in der Bewertung von Investmentstrategien und Wirtschaftsentwicklungen im Finanzwesen, aber auch bei Anwendungen im Bereich des Maschinellen Lernens und der Künstlichen Intelligenz. Die Quantenkommunikation wird dank abhörsicherem Schlüsselaustausch ein Kernbestandteil zukünftiger sicherer

Datennetzwerke und Plattformen gegen Cyberangriffe sein. Quantentechnologien werden auch die Entwicklung einer neuen Generation von Sensoren und Uhren möglich machen, mit weitreichendem Einfluss auf Navigation, Medizin, Biologie und Verkehr.

Genauso wie Halbleiter die Technologiebasis für unsere heutige Mikroelektronik bilden, brauchen Anwendungen im Bereich der Quantentechnologien geeignete Hardware-Plattformen. Der Auswahlprozess ist aber noch nicht abgeschlossen. Während beim Quantencomputing Firmen wie IBM, Google oder das finnischdeutsche Start-up IQM auf supraleitende Systeme setzen, schwört das österreichische Start-up AQT auf in Fallen eingefangene Ionen. Der auch im Bereich der Quantensensorik und -kryptographie vorhandene Wettbewerb alternativer Technologiekonzepte wird wohl noch einige Jahre andauern. Mit dem zunehmenden Transfer der Quantentechnologien in die Industrie werden Aspekte der Systemintegration immer wichtiger. So müssen bei der Entwicklung von Quantencomputern Hardware und Software zusammen mit den Steuerungs- und Kontrollsystemen entwickelt werden, und die Anbindung an klassische Großrechner sowie der Zugang über Cloudsysteme müssen von Anfang an berücksichtigt werden.

Quantenforschung an der BAdW

Das Walther-Meißner-Institut (WMI) der BAdW beschäftigt sich seit seiner Gründung im Jahr 1946 mit der Erforschung von Quantenphänomenen, insbesondere in supraleitenden und magnetischen Materialien. Da der nach dem Institutsgründer benannte Meißner-Ochsenfeld-Effekt ein reines Quantenphänomen ist, ist die Quantenphysik quasi im Institutsnamen verankert. Ein frühes, historisch sehr bedeutendes Quantenexperiment am WMI war 1961 der Nachweis der Fluss-Quantisierung in Supraleitern durch Robert Doll und Martin Näbauer. Sie zeigten, dass der in einem supraleitenden Hohlzylinder eingefangene magnetische Fluss in Einheiten von h/2e (h ist das Plancksche Wirkungsquantum, e ist die Elementarladung) quantisiert ist. Mit diesem Experiment wurde erstmals die Existenz von gepaarten Elektronen – sogenannten Cooper-Paaren – in Supraleitern nachgewiesen. Genauso bedeutend war die Entdeckung des intrinsischen Josephson-Effekts in Hochtemperatur-Supraleitern durch Reinhold Kleiner und Paul Müller im Jahr 1992.

In den letzten 20 Jahren trägt das WMI maßgeblich zur zweiten Quantenrevolution bei, angefangen beim vom WMI koordinierten DFG-Sonderforschungsbereich 631 zu "Festkörperbasierten Quanteninformationssystemen" (2003-2015), dem ersten SFB zu diesem Thema in Deutschland. Ziel war die Entwicklung der physikalischen Konzepte und die Untersuchung der Materialaspekte für den Einsatz von halbleitenden, supraleitenden, magnetischen und photonischen Materialsystemen in der Quanteninformationstechnologie. Diese Forschungsrichtung ist bis heute hochaktuell, da Festkörpersysteme mithilfe etablierter Technologien wie der Dünnschicht- und Nanotechnologie maßgeschneidert hergestellt werden können und einer Skalierung zu größeren Systemen prinzipiell nichts im Wege steht. Festkörperbasierte Quantensysteme sind deshalb vielversprechende Technologieplattformen für die Quantentechnologien. Die erfolgreichen Forschungen im SFB 631 wurden im Exzellenzcluster "Nanosystems Initiative Munich (NIM)" (2006-2019) und ab 2019 im Exzellenzcluster "Munich Center for Quantum Science and Technology (MCQST)" fortgesetzt, für den das WMI einen Sprecher stellt. Durch die Zusammenarbeit der beiden Münchner Universitäten mit der BAdW und der Max-Planck-Gesellschaft werden in MCOST Ouantenwissenschaften und -technologien in einer Breite und Tiefe bearbeitet, wie es weltweit wohl einmalig ist.

Das WMI hat mit zahlreichen Pionierarbeiten zum Erfolg der Quantenforschung im Großraum München beigetragen. So wurde 2010 in Experimenten, in denen die Wechselwirkung zwischen einem künstlichen Festkörperatom und einzelnen Mikrowellenphotonen untersucht wurde, erstmals eine ultrastarke Licht-Materie-Wechselwirkung erreicht und damit ein neues Teilgebiet der Quantenelektrodynamik eröffnet. Eine starke Kopplung konnte 2013 auch erstmals zwischen Mikrowellenphotonen und

Quantensensorik und -metrologie: zukünftige Anwendungen



Erdbeobachtung

Sehr genaue Messung von Gravitationskräften, magnetischen und elektrischen Feldern



Medizintechnik

Präzisere Sensoren helfen, Krankheiten früher zu erkennen und zu behandeln



Datenspeicherung

Entwicklung von Schreib-Leseköpfen, die Festplatten mit größeren Datenmengen beschreiben



Navigation

Genaue Navigationssysteme für Luft-, Raum- und Schifffahrt sowie autonomes Fahren



Klimaschutz

Präzisere Messung klimatischer Veränderungen für besseren Klimaschutz und frühzeitige Erkennung von Naturkatastrophen



Ultragenaue Uhren

Synchronisation großer Datennetzwerke oder Radioteleskope, Verbesserung von Zeitskalen, globale Satellitennavigation Magnonen erzielt und damit der Grundstein für das bis heute stark wachsende Arbeitsgebiet der "Cavity Spintronics" gelegt werden. Im Bereich magnetischer Ouantenmaterialien wurde 2013 in einer Zusammenarbeit mit der Tohoku University in Sendai mit dem Spin-Hall-Magnetwiderstand ein neuer magnetoresistiver Effekt entdeckt, und 2017 wurde am WMI weltweit erstmals der Spin-Nernst-Effekt nachgewiesen. Nicht unerwähnt bleiben sollte eine wichtige technische Entwicklung: Das WMI hat 2002 den ersten "trockenen" Mischkühler realisiert. Diese neuartigen Kühlsysteme zur Erzeugung von Temperaturen bis nahe am absoluten Nullpunkt kommen ohne flüssiges Helium aus. Sie haben die Kühltechnik revolutioniert, und der Betrieb von supraleitenden Quantencomputern wäre ohne sie wohl nicht möglich.

Eine weltweit führende Stellung nimmt das WMI im Bereich der Quantensensorik im Mikrowellenbereich ein. Vor Kurzem wurde am Institut erstmals ein Teleportations-Experiment im Mikrowellenbereich realisiert. Aktuell wird im Rahmen eines EU Quantum Flagship-Projekts ein "Cryolink" entwickelt, mit dem supraleitende Quantencomputer vernetzt werden können. In einem BMBF-Projekt werden die Grundlagen für ein Quantenradarsystem erforscht.

Mit der Berufung von Stefan Filipp als neuem wissenschaftlichem Direktor 2020 baut das WMI seine Anstrengungen zum Bau eines supraleitenden Quantencomputers stark aus. Diese Hardware-orientierten Aktivitäten werden vom Leibniz-Rechenzentrum (LRZ) der BAdW, das sich mit der Anbindung von Quantencomputern an Großrechner und die Etablierung eines Benutzerbetriebs beschäftigt, ideal ergänzt. In zwei mit insgesamt 26,6 Mio. Euro geförderten BMBF-Projekten arbeiten WMI und LRZ seit Anfang 2021 an Prozessoren für das Quantencomputing, und vor Kurzem hat der Freistaat Bayern am LRZ das Quantum Integration Center eröffnet

Das Quantenrennen hat begonnen

Quantentechnologien werden ohne Zweifel langfristig eine große wirtschaftliche

Relevanz erlangen. Alle führenden Industrienationen haben das hohe Innovationspotential dieses Technologiefelds erkannt und Förderinitiativen gestartet. Die USA (National Quantum Initiative Act), die EU (Quantum Flagship), Großbritannien (UK Quantum Technology Program) und vor allem China zählen zu den größten Investoren. Deutschland hat seit einigen Jahren gut strukturierte Förderprogramme zu den Gebieten Quantensensorik und Ouantenkommunikation, ist aber erst im vergangenen Jahr mit dem Konjunktur- und Krisenbewältigungspaket und der darin enthaltenen Zuweisung von etwa 2 Mrd. Euro in das internationale Rennen zum Bau eines Ouantencomputers eingestiegen. In den USA ist das Feld Quantencomputing durch die Beteiligung großer IT-Unternehmen wie IBM, Google oder Microsoft besonders sichtbar und aktiv. Gleichzeitig haben dort große Investitionen von Venture-Capital-Firmen zur Gründung einer Vielzahl von Start-up-Unternehmen geführt.

Hervorragende Ausgangssituation in Bayern

Deutschland hat eine sehr gut aufgestellte Forschungslandschaft mit einem international hochsichtbaren Zentrum in München sowie eine Vielzahl von Unternehmen mit Erfahrung in der Entwicklung und Integration neuer Technologien. Deutschland ist deshalb für das Rennen um die wirtschaftliche Ausnutzung der Quantentechnologien in einer sehr guten Startposition. Um im internationalen Wettbewerb langfristig bestehen zu können, muss aber jetzt mutig und entschlossen gehandelt werden. Mit der Gründung des Munich Quantum Valley, das bis 2025 mit 300 Mio. Euro gefördert werden soll, hat die bayerische Staatsregierung Anfang des Jahres diesen Mut und Weitsicht bewiesen. Bayern hat sich durch die frühzeitige Positionierung seiner Forschungseinrichtungen und seine vorausschauende Forschungspolitik eine hervorragende Ausgangsposition im internationalen Wettbewerb verschafft. Neben dem Standort München, der das Themengebiet Quantentechnologien so umfassend und kompetent abdeckt wie kein anderer Standort in Deutschland, gibt es auf Teilthemen fokussierte



Zentren an der Universität Würzburg, am Standort Erlangen/Nürnberg (MPI für die Physik des Lichts, Universität Erlangen-Nürnberg, Fraunhofer-Institute IISB und IIS) sowie an den Universitäten Augsburg und Regensburg.

Das Munich Quantum Valley

Während Bayern im Bereich Quantenforschung also sehr gut aufgestellt und gut vernetzt ist, besteht Nachholbedarf hinsichtlich der Einrichtung eines international kompetitiven Zentrums, das Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Hinblick auf potentielle Anwendungsfelder koordiniert, zielgerichtet den Technologietransfer in den industriellen Bereich unterstützt, in wirtschaftlich wichtigen Bereichen Hardware-Entwicklung mit dem Ziel der Technologiesouveränität betreibt und mit einem Quantentechnologiepark die Gründung von Startup-Unternehmen fördert. Diese Defizite sollen jetzt durch das Munich Quantum Valley beseitigt werden. Durch die Einrichtung eines Zentrums für Quantencomputing & Quantentechnologien, durch die Errichtung eines Quantentechnologieparks und Maßnahmen zur wissenschaftlichen Qualifizierung und Weiterbildung einer neuen Generation von Naturwissenschaftlern, Ingenieuren und Informatikern soll das Munich Quantum Valley einen wesentlichen Beitrag zur Umsetzung einer nationalen und europäischen Strategie leisten und mit internationalen Zentren wie dem Silicon Valley, Boston, Shanghai und Tokyo auf Augenhöhe agieren.

"Mit meiner Forschung erhoffe ich mir, wichtige Grundbausteine für neuartige Computer-Technologien zu entwickeln."

Korbinian Rubenbauer, Master-Student am WMI, füllt flüssigen Stickstoff in einen Kryostaten (links), um ihn zu kühlen. Der Kryostat enthält einen 3D-Vektor-Magneten, mit dem man Proben magnetisch untersuchen kann.

Prof. Dr. Rudolf Gross

ist Inhaber des Lehrstuhls für Technische Physik an der TU München, Mitglied der BAdW und Direktor ihres Walther-Meißner-Instituts. Seine Forschungsschwerpunkte sind Tieftemperatur-Festkörperphysik, Quantentechnologie, Supraleitung, Magnetismus, Spinelektronik und Nanotechnologie. Er ist einer der Sprecher des Clusters "Münchner Zentrum für Quantenwissenschaften und -technologie" (MCQST).

Quantencomputer Können wir damit rechnen?

Im weltweiten Wettbewerb um die besten Lösungen erforscht das **Walther-Meißner-Institut** für Tieftemperaturforschung der BAdW, welche Technologien sich am besten für Quantencomputer eignen.

s scheint nur eine Frage des technischen Fortschritts der Halbleiter-■ industrie zu sein, dass Computer bald alle erdenklichen Aufgaben schnell und effizient berechnen können. In vielen Fällen stoßen herkömmliche Rechner jedoch an prinzipielle Grenzen: Bei wachsender Komplexität der Problemstellung steigt der Rechenaufwand exponentiell an. Selbst zukünftige Supercomputer werden damit überfordert sein, und wenn überhaupt, nur mehr näherungsweise Antworten liefern können. Quantenrechner hingegen versprechen einige Probleme tatsächlich lösen zu können. Dies hat in den letzten Jahren zu einem enormen Interesse geführt, nicht nur aus den Naturwissenschaften, sondern auch von Unternehmen. Sie wollen die Quantenalgorithmen gewinnbringend

einsetzen, etwa, um komplexe Moleküle für die Chemie- und Pharmaindustrie zu berechnen oder Optimierungsaufgaben im Verkehrs- oder Finanzwesen zu lösen

Vorteile eines Quantenrechners

Die Idee hinter einem Quantenrechner besteht in der geschickten Manipulation von sogenannten Quantenbits (Qubits), den Bausteinen eines Quantencomputers. Ähnlich wie sein klassisches Analogon, das Bit, kann ein Qubit die Werte ,0' oder ,1' annehmen. Darüber hinaus kann es aber auch gleichzeitig im Zustand ,0' und ,1' sein. Man spricht dann von Superposition. Erst bei der Messung des Qubits findet man einen der Werte ,0' oder ,1', und zwar mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit, die sich zur gezielten Manipulation

an dem Qubit einstellen lässt. Interessant wird es bei der Verwendung von mehreren Oubits: Zwei Oubits können schon in 2 mal 2, also vier verschiedenen Zuständen (,00', ,01', ,10' und ,11') gleichzeitig sein, drei Qubits in 8 usw. Die Anzahl der gleichzeitigen Möglichkeiten steigt exponentiell mit der Anzahl der Qubits (2N). Durch Operationen an zwei oder mehreren Qubits können im Prinzip beliebige Kombinationen der Möglichkeiten mit wählbaren Wahrscheinlichkeiten realisiert werden. Man spricht dann von Quantenverschränkung. Der Quantenvorteil liegt nun darin, dass alle Möglichkeiten in nur N Qubits gespeichert werden können, während klassische Computer exponentiell viel Speicherplatz (2^N) benötigen. Ein Quantenzustand mit 50 Qubits benötigt mehr als 2.000 Terrabyte Speicherplatz, und bei etwas mehr







"Quantencomputer
bringen vielversprechende Anwendungen,
etwa für die
Medizin,
die Chemie
oder das
Finanzwesen
mit sich."

Julia Lamprich, ehemalige Masterstudentin am WMI, bei der Arbeit an einem Kryostat. Qubits kann die Vielzahl an Möglichkeiten nicht mehr auf herkömmlichen Speichermedien abgespeichert werden: Klassische Computer geraten dann an ihre Grenzen.

Quantencomputer können nun durch geschicktes Manipulieren der Qubits die exponentiell wachsende Anzahl an Möglichkeiten ausnutzen, um Algorithmen durchzuführen. Bei Anwendungen aus der Molekularchemie können etwa die verschiedenen Konfigurationsmöglichkeiten der Elektronen in einem Quantenzustand gespeichert und so die Bindungsenergie berechnet werden.

Die Herausforderung besteht jedoch in der physikalischen Umsetzung, um mit geeigneten Qubits einen realen Quantenrechner zu bauen. Weltweit hat der Wettbewerb der verschiedenen Technologien begonnen. Als eine der am weitesten entwickelten Technologien für Qubits haben sich supraleitende Quantenschaltkreise herauskristallisiert, eine Technologie, bei der am Walther-Meißner-Institut für Tieftemperaturforschung der BAdW schon

Pionierarbeit geleistet wurde und die auch in Zukunft am Institut eine große Rolle spielen wird. Diese Qubits basieren auf Strömen in supraleitenden Schaltkreisen, die widerstandslos in zwei verschiedene Richtungen fließen können oder eben in zwei verschiedene Richtungen gleichzeitig. Auch gefangene geladene Atome, in denen elektronische Zustände der Atome als Oubit verwendet werden. eignen sich hervorragend als Quantenprozessor. Darüber hinaus gibt es noch andere erfolgversprechende Ansätze, z. B. basierend auf neutralen Atomen, auf elektronischen Spins in Festkörpern oder auf optischen Photonen.

Das Ziel bei allen Technologien ist es, möglichst viele Qubits mit hoher Genauigkeit ansteuern zu können. Die Qubits müssen dafür genügend lang Superpositionszustände behalten können, also "kohärent" bleiben. Am besten gelänge dies durch ihre perfekte Abschirmung von der Außenwelt. Um Operationen auf dem Quantenrechner auszuführen, braucht es

2.2021 Fokus

jedoch auch von außen angelegte Kontrollsignale, die wiederum eine Quelle von Störeinflüssen sein können. Dieses Dilemma kann nur durch ein genaues Verständnis der physikalischen Grundprinzipien zur Vermeidung von Störungen und gemeinsam mit technologischen Weiterentwicklungen in der Kontrolle gelöst werden.

Eine weitere wichtige Zutat zum Bau eines funktionstüchtigen Quantenrechners sind Methoden der Fehlerkorrektur. die es erlauben. Fehler zu identifizieren. aber gleichzeitig den Quantenzustand der Qubits nicht zu stören. Dazu werden mehrere physikalische Qubits zusammengefasst, um ein sogenanntes "logisches" Qubit zu bilden, das besser gegen Störeinflüsse geschützt ist. Damit diese Methoden in der Praxis funktionieren, müssen Störeinflüsse auf ein Minimum reduziert und die Anzahl der verfügbaren Qubits um mindestens das 1000-Fache gesteigert werden. Schlussendlich ist dies die Grundlage eines "universellen Quantenrechners". der das Potential der Quantenmechanik voll ausnutzen kann.

Aktuelle Herausforderungen

Bis dahin müssen wir noch einige Herausforderungen meistern. Dennoch sind erste Quantenrechner schon heute in der Lage, spezifische Probleme zu lösen und die grundlegende Funktionsweise von Quantenalgorithmen auch ohne Fehlerkorrekturmethoden aufzuzeigen. Sehr vielversprechend sind Algorithmen, die den Quantenrechner als Co-Prozessor in einer quantenklassischen Hybridarchitektur einbinden, sogenannte Variationsalgorithmen. Diese wurden schon an mehreren Problemstellungen erfolgreich getestet, etwa für kleine Wasserstoffverbindungen. Auf Plattformen mit mehr als 50 Qubits demonstrierte Google erste Anzeichen eines Quantenvorteils anhand eines Zufallsalgorithmus, und Firmen wie IBM bieten cloud-basierte Quantenrechner für eine breite Nutzerbasis an. Es ist aber bislang noch niemandem gelungen, bei einer wissenschaftlich oder wirtschaftlich relevanten Problemstellung einen echten Vorteil von Quantencomputern gegenüber herkömmlichen Rechnern zu zeigen. Neben der Hardwareentwicklung liegt also eine weitere Herausforderung in den Algorithmen. Diese müssen mit möglichst wenigen Operationen auskommen, um innerhalb der Kohärenzzeit der Qubits das gewünschte Ergebnis zu liefern. Insbesondere wird auch die Frage untersucht, welche Art von Ouantenvorteil wir für spezifische Problemstellungen erwarten können: Ein Quantenrechner wird nicht generell effizienter und schneller als ein herkömmlicher Rechner sein. Wie groß der Vorteil für verschiedene Problemklassen sein wird, ist eine spannende Fragestellung. Durch die Forschung an verschiedenen Arten von Algorithmen wie auch an deren Optimierung und Anpassung an vorhandene Hardwarearchitekturen ist hier jedoch mit einer rasch fortschreitenden Erweiterung der Möglichkeiten von Quantencomputern zu rechnen.

Motiviert durch diese vielversprechenden Perspektiven wird in Deutschland derzeit eine Vielzahl an Initiativen im Quantencomputing lanciert. Dazu werden sowohl auf der Bundesebene als auch in Bayern durch das Munich Quantum Valley die Kräfte gebündelt, um innerhalb der nächsten fünf Jahre einen Quantencomputer made in Germany zu bauen. Dies soll durch eine enge Verzahnung von Universitäten, außeruniversitären Forschungseinrichtungen und Unternehmen ermöglicht werden. Insbesondere ist es ein Ziel, junge Unternehmen und Ausgründungen zu fördern, wie zum Beispiel durch das jüngst gegründete Venture Lab Quantum der TU München und der UnternehmerTUM, das am Walther-Meißner-Institut der BAdW angesiedelt wird. Entscheidend wird es jedoch sein, rasch Kompetenzen in allen Bereichen der Hardware und Software aufzubauen und diese den Nutzern zur Verfügung zu stellen. Hier wird dem Leibniz-Rechenzentrum der BAdW durch die Möglichkeiten der Integration von Quantenrechnern in eine bestehende Großrechnerarchitektur eine führende Rolle zukommen.

Zusammenfassend stehen wir am Anfang einer spannenden Entwicklung mit großem Potential für Wissenschaft und Wirtschaft. Mithilfe eines Quantencomputers können wir Rechenaufgaben lösen, die mit herkömmlichen Methoden unlösbar bleiben. Dies bietet einen enormen Anreiz, sich den Herausforderungen zu stellen, um das langfristige Ziel eines universellen Quantenrechners zu erreichen.

Quantencomputer und -simulation: zukünftige Anwendungen



Biotechnologie

Simulation von komplexen Molekülen in Wissenschaft und (Chemie- und Pharma-)Industrie



Prozessoptimierung

Verkürzung von Rechenzeiten bei der Optimierung von Geschäftsprozessen

Prof. Dr. Stefan Filipp

ist seit 2020 Direktor am Walther-Meißner-Institut für Tieftemperaturforschung der BAdW und Inhaber des Lehrstuhls für Technische Physik an der TU München. Er war zuvor für IBM Research in New York und Zürich tätig. Sein Forschungsgebiet ist das Quantencomputing.



Vom Entweder-oder

Die Zukunft hat begonnen: Das Leibniz-Rechenzentrum hat erste Quantensimulatoren installiert und bietet Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern Quanten-Dienste an. In den nächsten Jahren werden gemeinsam mit Partnern neue Komponenten, Workshops und weitere Services für die Forschung entstehen.

zum Sowohl-als-auch

ie Wechselwirkungen von Molekülen und Proteinen darstellen, um neue Medikamente und Materialien zu entwickeln, Verkehrsströme und Transportwege in Echtzeit berechnen, Versicherungsrisiken durchkalkulieren, Naturphänomene modellieren oder sogar die Entstehung von Leben simulieren: Quantencomputer sollen Aufgaben lösen, an denen Supercomputer aktuell noch scheitern. Diese Aussichten werden jetzt konkret: "Wir starten mit den ersten Services rund ums Quantencomputing", berichtet Dieter Kranzlmüller, Leiter des Leibniz-Rechenzenrums (LRZ) der BAdW in Garching. "Als IT-Dienstleister für die Wissenschaft stellen wir Forschenden diese vielversprechende Technologie so zur Verfügung, dass sie ihre Projekte vorantreiben können, ohne sich um die Technik kümmern zu müssen." Quantencomputing wird in den nächsten Jahren sicher keine eigenständige Technik, sondern eine Dienstleistung sein. Rechenzentren wie das LRZ bringen die Zukunftstechnologie zu den Nutzerinnen und Nutzern. "Alles ist neu, wir wissen nicht, welche Entwicklungspfade das Quantencomputing zur Marktreife bringen werden", stellt Laura Schulz, Leiterin Strategie, Entwicklung und Partnerschaften am LRZ, fest. "Anwender und Anwenderinnen füllen das Vakuum, indem sie die neue Technologie für ihre Zwecke einsetzen."

Super- mit Quantencomputing kombinieren

Im Beisein von politischer und wissenschaftlicher Prominenz hat das LRZ vor Kurzem sein Quantum Integration Centre (QIC) eröffnet: "Hier bündeln wir unsere Quantencomputing-Aktivitäten", erklärt Kranzlmüller. "Als international

führendes Rechenzentrum haben wir bereits erste Quantencomputing-Hardware aufgebaut und befassen uns mit der zentralen Frage, ob und wie sich Quantenmit Supercomputing kombinieren lässt." Das LRZ wird mit Partnern Komponenten entwickeln, optimieren und in seine Höchstleistungscomputer integrieren. Via Cloud können Forschende bereits mit einer Quantum Learning Machine von Atos und an einem Quantensimulator mit 42 Qubits von Intel arbeiten.

Frei programmierbare, universelle Quantencomputer werden erst im Jahr 2030 erwartet. Quanten-Bits (Qubits) herzustellen ist aufwändig. Für Prozessoren wird derzeit mit Photonen, Ionenfallen und Supraleitern experimentiert. Kleinste Erschütterungen oder winzigste Partikel bringen die Qubits jedoch aus dem Takt, sie müssen vor äußeren Einflüssen geschützt und auf minus 273 Grad

Quantencomputer und -simulation: zukünftige Anwendungen



Optimierungsaufgaben

Bessere Suchalgorithmen für Datenbanken oder schnellere Berechnungen zum Verkehrsfluss



Materialforschung

Materialfehler, die elektromagnetische Ursachen haben, werden schneller gefunden Celsius gekühlt werden, damit sie eine Rechenleistung erbringen. "Die ersten Quantencomputer benötigen noch eine Rechnerinfrastruktur mit bewährter Steuerung, um die Ergebnisse zu kontrollieren oder Software und Daten aufzuspielen", erläutert Martin Schulz, Mitglied des LRZ-Direktoriums. "Quantenchips finden daher jetzt den Weg aus den Laboren in die Hochleistungsrechenzentren der Welt." Dort werden sie in Supercomputer eingebaut, um Simulationen oder Optimierungsfragen durchzuführen, weil derzeit noch keine Quantencomputer-Hardware existiert. Quantum-as-a-Service überbrückt das Warten.

Das LRZ plant, einen Kryostaten, ein Kühlgerät für tiefste Temperaturen, anzuschaffen. Mit dem Startup IQM, Chiphersteller Infineon sowie Partnern aus der Forschung will das Rechenzentrum die Kinderkrankheiten von Quantenprozessoren angehen. Das größte Problem sind die Bewegungen der Qubits: Kälte stellt sie ruhig, trotzdem bleiben sie nur für Sekundenbruchteile stabil – und das macht sie schwer kontrollierbar. Mit jedem weiteren Qubit steigt die Fehlerquote, ein Grund, warum bislang nur Einheiten mit bis zu 50 Qubits zum Einsatz kommen.

Für zuverlässige Rechenkraft muss die Anzahl der Qubits erhöht werden, gleichzeitig sollte die Fehleranfälligkeit sinken. Die Arbeitsgruppe um IQM und das LRZ will die Technik von Quanten-Annealern – einfachen Quantenrechnern für spezielle Aufgaben, die bereits funktionieren – mit denen von universellen Quantencomputern kombinieren. "Der Ansatz des digital-analogen Quantencomputings oder DAQC ergänzt die Flexibilität von digitalen Schaltkreisen um die Robustheit analoger Rechenblöcke", so Martin Schulz.

Bis 2025 werden in mehreren Schritten Prozessoren mit 5, 20 und 54 Qubits samt Steuerelektronik und Kontrollmechanismen entstehen. Ähnliche Ziele verfolgt das Walter-Meißner-Institut für Tieftemperaturforschung der BAdW. Dort experimentiert man an supraleitenden Schaltkreisen und mit neuen Materialien. Beide Prozessortypen sollen sich bei Industrieaufgaben und im Super-MUC-NG, dem Höchstleistungsrechner des LRZ, bewähren: "Rechenzentren müssen frühzeitig in neue Technologien

einsteigen, um deren Bedarf abzuschätzen und eigene Services zu entwickeln", sagt Kranzlmüller. "Wir werden Prozessoren und Komponenten, die im Munich Quantum Valley entstehen, in unsere Hochleistungssysteme integrieren, ihre Arbeitsweise erforschen und mehr Services für die Forschung entwickeln."

Quantum – ein Booster fürs Höchstleistungsrechnen?

Sind Hochleistungsrechner die Vehikel, um Quantencomputertechnik nutzbar zu machen, so kann diese umgekehrt für einen Quantensprung im Supercomputing sorgen. Die Forschergemeinde arbeitet am Ausbau der Rechenkraft von parallelen Systemen mit Grafikprozessoren. Diese erleichtern den Aufbau von Künstlicher Intelligenz und smarten Systemen und werden das Höchstleistungsrechnen auf Exascale-Leistungen hieven. "Quantencomputing könnte ein nächster Entwicklungsschritt für das Hochleistungsrechnen werden", sagt der Informatiker Schulz. "Wahrscheinlich wird es in Zukunft nicht mehr nur eine Computertechnologie für alle Bedürfnisse geben. Vielmehr wird das Zusammenspiel von Höchstleistungsrechnen, Künstlicher Intelligenz und Quantum für höhere Leistungen sorgen."

Daraus entstehen viele Fragen: Welche Schnittstellen braucht der Systemwechsel? Wie arbeiten binäre mit Quanten-Systemen zusammen? Können Algorithmen aus dem Super- fürs Quantencomputing angepasst werden? Auf der Suche nach Antworten arbeiten Unternehmen wie Intel, IBM oder Google mit Startups, Universitäten und Forschungseinrichtungen zusammen. "Alle tauschen sich aus, das ist ein faszinierender Spirit", beobachtet Laura Schulz. "Das LRZ Quantum Integration Centre erfährt in dieser Community, wie Technologie und Dienstleistungen verbessert werden können." Co-Design treibt das Super- und das Quantencomputing, um die rapide wachsenden Datenmengen in Wirtschaft und Forschung zu beherrschen. Das LRZ hat in solchen Kooperationen immer schon gute Erfahrungen gesammelt: Mit Partnern wie Intel, Lenovo und Megware entwickelte es energieeffiziente Computertechnik und Warmwasserkühlung,



mit NVIDIA, ARM und Fujitsu optimiert es Grafikprozessoren und smarte Systeme.

Neues Denken, neues Programmieren

Quantum verändert das Denken, nicht nur in der IT. Das gewohnte binäre Wenn-Dann entwickelt sich zum Sowohlals-auch. Mit der Hilfe von Supercomputern lassen sich Programme fürs Quantencomputing schreiben. Die Quantum Learning Machine von Atos ist dafür gedacht, Quantenalgorithmen zu entwickeln und sich – learning by doing – in die Abläufe dieser Technik einzudenken. "Wir stehen noch am Anfang dieser Technik", so LRZ-Leiter Kranzlmüller,

"am Quantum Integration Centre lernen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler den Umgang damit." Seit 2019 bringt das Bavarian Quantum Computing eXchange (bqcx.de) einmal im Monat Enthusiasten aus aller Welt zusammen. Sie diskutieren und tauschen sich in Arbeitsgruppen aus. LRZ-Strategin Laura Schulz fühlt sich an die Anfangszeiten des HPC erinnert: "HPC hat in den letzten 30, 40 Jahren die Möglichkeiten für Forschung und Wissenschaft enorm erweitert", sagt sie. "Das findet jetzt wieder statt: Quantencomputing verspricht Möglichkeiten, die wir heute noch nicht alle kennen. Aber sicher ist – wir werden bald wieder einen vergleichbaren Wissenssprung erleben." Text: vs

"Sicher ist – wir werden bald wieder einen vergleichbaren Wissenssprung erleben."

Blick auf den Rechnerwürfel des Leibniz-Rechenzentrums in Garching.



Drei Köpfe, drei Karrierewege:
ein Gespräch über **Nachwuchsförderung**am Walther-Meißner-Institut,
die Faszination der Forschung und die Arbeit
in High-Tech-Unternehmen.

Das Walther-Meißner-Institut der BAdW in Garching, kurz WMI, gilt als renommierte Adresse für Forschungen über Tieftemperaturphysik, Quantenphänomene, Supraleitung oder Magnetismus. Sie alle waren oder sind dort tätig – wie kam es bei Ihnen dazu, Herr Goetz?

Jan Goetz: Der zündende Funke war bei mir wohl die hervorragende Vorlesung zur Festkörperphysik von Rudolf Gross am Walther-Meißner-Institut während meines Studiums. Die Begeisterung dafür führte in meinem Fall zur Master-Arbeit über supraleitende Qubits und zur Dissertation über "The Interplay of Superconducting Quantum Circuits and Propagating Microwave States". Während dieser Zeit durfte ich auch unsere Studentinnen und Studenten betreuen und Übungen für die Festkörperphysik-Vorlesung abhalten.

Wie würden Sie die Nachwuchsförderung am Walther-Meißner-Institut beschreiben?

Jan Goetz: Am WMI erfährt man eine klassische, deutsche Promotionsausbildung. Ich habe dort neben der Theorie sehr viel Zeit mit praktischen Themen verbracht, etwa mit Technologie-Aufbau. Wir haben einen eigenen Kryostaten entworfen und gebaut, ein Kühlgerät für sehr tiefe Temperaturen und die Basis für Supraleittechnik. Das WMI besitzt für solche Projekte eine hervorragende Infrastruktur, eine feinmechanische Werkstatt und ein Elektro-Labor.

Herr Weiler, Ihr Arbeitsgebiet ist die Spin-Forschung. Letztes Jahr haben Sie einen Ruf an die TU Kaiserslautern

erhalten, zuvor waren Sie am Walther-Meißner-Institut und an der TU München tätig. Wann wussten Sie, dass Sie genau das tun wollen, was Sie jetzt machen?

Mathias Weiler: Das Streben nach einem ganz grundlegenden Verständnis der Dinge hat mich schon immer fasziniert. Die Entscheidung für ein Physikstudium fiel mir daher leicht. In meiner Diplomarbeit konnte ich gleich zwei forschungsstarke Institute (das Walther-Meißner-Institut der BAdW und das Walter Schottky Institut der TU München) kennenlernen – das hat mein Interesse für die Wissenschaft weiter gestärkt.

Warum kamen Sie ans WMI?

Mathias Weiler: Ich wusste, dass ich dort nach dem Postdoc-Aufenthalt am National Institute for Standards and Technology (CO, USA) beste Bedingungen für den Aufbau einer Arbeitsgruppe und ein exzellentes wissenschaftliches Umfeld vorfinden würde. Mir wurde schnell viel Freiheit und Verantwortung gegeben. In der Arbeitsgruppe haben wir vor allem an der Erforschung von hochfrequenten Spin-Phänomenen in Materialien mit komplexer magnetischer Ordnung und in Heterostrukturen gearbeitet. Dazu haben wir neuartige Spektroskopie-Methoden etabliert. Dabei hatte ich das Glück, herausragende Doktoranden und Studierende betreuen zu können, die ganz wesentlich zu unserem Erfolg beigetragen haben.

Frau Kukharchyk, Sie sind Physikerin und seit 2020 Fellow des Exzellenzclusters MCQST am Walther-Meißner-Institut. Wie war Ihr bisheriger Karriereweg? Nadezhda Kukharchyk: Ich habe mein Diplom an der Belarussischen Staatlichen Universität in Minsk gemacht und bei einer Firma gearbeitet, die Chips für die Satellitenkommunikation entwickelt. An der Ruhr-Universität Bochum habe ich für die Promotion an der Herstellung und Charakterisierung von Spin-Ensembles aus Seltenen Erden geforscht. Über eine Zwischenstation an der Universität des Saarlandes bin ich zum Walther-Meißner-Institut gekommen, da es ein idealer Ort für die Forschung im Mikrowellenbereich ist. Es gibt hier eine geeignete Ausrüstung, um meine Experimente zu Mikrowellen-Quantenspeichern durchzuführen. Und meine Kollegen haben eine starke Expertise in der Arbeit mit Quantenmikrowellensignalen. Die Arbeitsgruppen hier tauschen Ideen aus und arbeiten an gemeinsamen Projekten. Solch eine Atmosphäre ist sehr motivierend, besonders am Beginn einer wissenschaftlichen Karriere.

Herr Goetz, Sie sind nicht in der Wissenschaft geblieben, sondern haben nach der Promotion das Startup IQM gegründet. Was ist das Besondere daran?

Jan Goetz: Wir sehen uns als Innovationsführer im europäischen Quantencomputing und verfügen über das nötige Kapital, um die Innovation von der jetzigen "Proof-of-Concept-Phase" zur Quantenüberlegenheit hin voranzutreiben. Wir haben vermutlich europaweit das stärkste Quantencomputing-Team und eine klare Strategie. Mit unserer Co-Design-Expertise sind wir in der Lage, applikationsspezifisch schneller Quantenvorteile zu liefern, als dies mit "General Purpose Quantum Hardware" möglich wäre.



"Mein wissenschaftlicher Hintergrund ist die notwendige Voraussetzung für richtige Entscheidungen."

> Jan Goetz gründete nach der Promotion ein Startup für den Bau eines Quantencomputers.

Bei einem Team von mittlerweile 80 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern besteht meine Hauptaufgabe darin sicherzustellen, dass alle die Strategie korrekt implementieren. Gleichzeitig wird die Strategie kontinuierlich überprüft und angepasst. Die einzige Konstante ist die Veränderung, sodass besonders schnell und aufmerksam agiert werden muss.

IQM ist in Finnland ansässig. Warum?

Jan Goetz: Finnland ist in vielen für das Quantencomputing wichtigen Bereichen akademisch sehr gut aufgestellt. Was ich jedoch fast noch mehr betonen möchte, ist, was ich als "die nordische Natur" bezeichne, also der nachbarschaftliche und freundschaftliche Umgang in allen Lebenslagen, was sich im Unternehmen in barrierefreien, flachen Strukturen ausdrückt. Dies hilft sehr im Startup-Modus. Außerdem steht in Finnland ein Reinraum für Startups zur Verfügung, was in Europa eine Seltenheit ist.

Wir haben inzwischen auch ein Büro in München, in dem wir speziell am Co-Design-Thema arbeiten. München war in vielerlei Hinsicht die perfekte Wahl für den zweiten Standort. Es gibt hier mit den Unis und Forschungseinrichtungen sowie namhaften Vertretern aus der Industrie einen perfekten Nährboden für das Quanten-Ökosystem.

Wie viel hat Ihre jetzige Arbeit noch mit der Wissenschaft zu tun?

Jan Goetz: Der CEO eines High-Tech-Unter-

nehmens benötigt unterschiedliche Kenntnisse und Talente. Technische und wissenschaftliche Aufgaben nehmen natürlich immer mehr ab, während Management-Aufgaben Oberhand gewinnen. Da wir es aber mit High-Tech-Produkten und -Lösungen zu tun haben, ist die Auswahl der richtigen Mitarbeiter entscheidend. Ohne den wissenschaftlichen Hintergrund wäre dies nicht möglich. Generell ist mein wissenschaftlicher Hintergrund die notwendige Voraussetzung für richtige Entscheidungen.

Herr Weiler, Sie haben sich bewusst für die Wissenschaft entschieden. Warum?

Mathias Weiler: Eine Tätigkeit in der Wissenschaft erlaubt es, Fragestellungen sehr frei und kreativ anzugehen. Auch die Lehre und der frühe Kontakt zu den kreativen Köpfen der folgenden Generationen ist in meinen Augen ein großer Pluspunkt. Ich habe es daher nie bereut, mich für die Wissenschaft entschieden zu haben.

Was fasziniert Sie an Ihrem Forschungsgebiet, der Spin-Forschung?

Mathias Weiler: Jeder kennt Magnetismus von Kompassnadel und Permanentmagneten – und Magnetfeldsensoren in unseren Autos und Smartphones sind unbewusst Teil unseres Alltags. Viele technische Anwendungen beruhen dabei darauf, dass sich Spins mit Magnetfeldern ausrichten lassen. Wir untersuchen Möglichkeiten, Spins ohne Magnetfelder zu kontrollieren, etwa mit Strom, Licht oder Schallwellen. Die magnetfeldfreie Spinkontrolle hat großes Potential für zukünftige technische Anwendungen. Mich fasziniert besonders die Vielfältigkeit dieses Forschungsgebiets.

Was würden Sie Studierenden empfehlen, die in die Forschung gehen wollen?

Mathias Weiler: Entscheidend ist vor allem Begeisterungsfähigkeit. Während des Studiums ist es oft schwer, sich die tatsächliche Arbeit in einer Forschungsgruppe vorzustellen – da ist es am besten, frühzeitig Kontakt aufzunehmen.

Frau Kukharchyk, Ihr Spezialgebiet am WMI sind Mikrowellen-Quantenspeicher – worum geht es?

Nadezhda Kukharchyk: Das Forschungsfeld Quanteninformation umfasst mehrere



Bereiche. Es geht um die Entwicklung von Quantenbit-Architekturen, die es ermöglichen, komplexe Aufgaben mit hoher Geschwindigkeit zu lösen. Gleichzeitig schafft die Quantenkommunikation Lösungen für den sicheren und fälschungssicheren Informationsaustausch. Beide Bereiche würden von zuverlässigen und langlebigen Quantenspeichern profitieren – das ist mein Fachgebiet.

Solche Quantenspeicher basieren etwa auf Ionen Seltener Erden, die in eine Festkörpermatrix eingebettet sind – sie sind derzeit mein experimentelles Quantenspeichersystem. Ich möchte an diesen Ensembles im Mikrowellenbereich forschen und die einzigartigen Eigenschaften der Ionen Seltener Erden nutzen, um einen zuverlässigen und langlebigen Quantenspeicher zu bauen.

Was fasziniert Sie an Ihrem Thema?

Nadezhda Kukharchyk: Es ist sehr spannend, auf einem so dynamischen Forschungsgebiet wie der Quanteninformation zu arbeiten. Viele Gruppen und Institutionen zielen derzeit darauf ab, Quantencomputer und Informationsübertragungsprotokolle zu realisieren, sodass der Wettbewerb weltweit sehr hoch ist. Auch unter Studierenden ist das Interesse gerade enorm.

Herr Goetz, Sie arbeiten in Ihrem Startup IQM gemeinsam mit Forschungseinrichtungen und weiteren Partnern an einem europäischen Quantencomputer. Wo steht die Entwicklung derzeit?

Jan Goetz: Das langfristige Ziel ist, einen universellen Quantencomputer zu bauen. "Universell" bedeutet hier, dass wir irgendwann in der Lage sein werden, jede mögliche Berechnung auf solch einem Rechner durchzuführen. Allerdings laufen die Quantenbits, die Qubits, heute noch nicht stabil genug. Wir suchen also nach Möglichkeiten, die Natur der Qubits auch in dieser frühen Phase des Quantencomputings optimal einzusetzen. Und "optimal" ist nicht immer das, was dem menschlichen Geist zuerst einfällt. Als der Laser erfunden wurde, hat auch niemand daran gedacht, dass er einmal zum Abspielen von Musik zu gebrauchen wäre. Wir denken also sehr viel über nicht so offensichtliche Anwendungsweisen nach. Außerdem vertreten wir die Ansicht, dass es beim Quantencomputer nicht nur um die bloße Anzahl der Qubits geht. Viel wichtiger ist: Macht das Qubit, was ich möchte? Wie reagiert es im System, und wie zielführend und effizient ist es für meine Applikation?

Quantencomputer werden aktuell hauptsächlich für wissenschaftliche Betrachtungsweisen eingesetzt. Ein kommerzieller Mehrwert in den Zielanwendungsfeldern wie Materialforschung und Finanzen wird sich vermutlich erst in ein paar Jahren erzielen lassen.

Gibt es einen Bereich, in dem Sie persönlich gerne den Einsatz von Quantencomputern vorantreiben würden?

Jan Goetz: Die neuen Möglichkeiten mit Quantencomputern sind vielseitig. Quantencomputer können bestimmte Probleme schneller, genauer und mit weniger Energie bearbeiten als klassische Rechner. Ein schönes Beispiel ist etwa die Verkehrsoptimierung. In unseren Ballungsräumen stehen die Menschen oft stundenlang in Staus, und kluge Algorithmen können hier zielführend zum Wohle der Menschheit eingesetzt werden.

Dr. Jan Goetz

ist Mitgründer und CEO von IQM (gegründet 2018), einem der wichtigsten Quanten-Startups in Europa. Er studierte Physik an der TU München und forschte während seiner Promotion am Walther-Meißner-Institut für Tieftemperaturforschung über supraleitende Quantenprozessoren, anschließend war er als Postdoc an der Aalto University in Helsinki tätig.

Dr. Nadezhda Kukharchyk

studierte in Minsk Physik. Nach Stationen in Bochum, Saarbrücken und in der Industrie ist sie seit 2020 als Fellow des Exzellenzclusters MCQST wissenschaftliche Mitarbeiterin am Walther-Meißner-Institut für Tieftemperaturforschung.

Prof. Dr. Mathias Weiler

studierte Physik in Oldenburg und an der TU München, wo er auch promoviert wurde und sich 2019 habilitierte. Forschungsaufenthalte führten ihn ans National Institute of Standards and Technology in Boulder, Colorado sowie ans Walther-Meißner-Institut der BAdW in Garching, wo er bis zum Ruf an die TU Kaiserslautern Ende 2020 als Arbeitsgruppenleiter tätig war.

Pioniere der Quantenforschung

Von Hans Hübl

Umfeld,
kreativer Nachwuchs,
lange Erfahrung:
Das WaltherMeißner-Institut der
BAdW betreibt
seit Jahrzehnten
exzellente
Grundlagenforschung

auf dem Gebiet der Tieftemperaturphysik, Nanotechnologie, Festkörperund Quantenphysik.

Einzigartiges

hysik, gie, nysik.

2.2021

eugiergetriebene Grundlagenforschung ist eine unverzichtbare Quelle des wissenschaftlichen
Fortschritts und steht oft am Anfang von
wichtigen technischen Weiterentwicklungen. Das Walther-Meißner-Institut
für Tieftemperaturforschung (WMI)
der BAdW auf dem Forschungscampus
Garching betreibt naturwissenschaftliche Grundlagenforschung in der Tieftemperaturphysik auf international höchstem
Niveau. Langfristiger Erfolg in diesem
Bereich ist nur zu erreichen, wenn man
ein inspirierendes Umfeld schafft.

Erfolgskonzept

Das Erfolgskonzept des WMI beruht darauf, erstklassige Infrastruktur in den Bereichen Tieftemperaturphysik, Nanotechnologie, Festkörper- und Quantenphysik mit einem Team aus hochmotivierten, kreativen Forscherinnen und Forschern zusammenzubringen. Diese Kombination in Verbindung mit einer langfristig angelegten Forschungsstrategie und einer besonderen Personalstruktur mit Dauerstellen für Profi-Forscherinnen und-Forscher hat in der 75-jährigen Geschichte des WMI zu einer Vielzahl von wichtigen Entdeckungen und technischen Weiterentwicklungen geführt.

Das Walther-Meißner-Institut blickt auf eine lange wissenschaftliche Tradition zurück. Gegründet 1946 durch Akademiepräsident Walther Meißner als "Zentralinstitut für Tieftemperaturforschung", sollte es nach dem Zweiten Weltkrieg die in Deutschland sehr erfolgreiche Tieftemperaturforschung fortsetzen. 1982 wurde das Institut zu Ehren seines Gründungsdirektors in "Walther-Meißner-Institut für Tieftemperaturforschung" umbenannt. Die Direktoren des Instituts sind

bis heute immer gleichzeitig Inhaber des Lehrstuhls für Technische Physik der TU München. Diese fruchtbare Verbindung eröffnet die Möglichkeit, den aufstrebenden wissenschaftlichen Nachwuchs für die Forschung am WMI zu begeistern und das Institut mit einem stetigen Zufluss neuer Ideen zu versorgen. Umgekehrt profitieren die jungen Forscherinnen und Forscher von den hervorragenden Bedingungen und der Betreuung durch erfahrene Mentoren. Viele Ehemalige des WMI leiten heute selbst Universitätslehrstühle oder bekleiden führende Positionen in der Industrie.

Zentrale Forschungsfelder

Bereits bei der Gründung des WMI im Jahr 1946 wurden die Themenbereiche Supraleitung und Suprafluidität sowie Magnetismus als zentrale



Forschungsschwerpunkte identifiziert. Das Gebiet Magnetismus geriet dann viele Jahrzehnte etwas in Vergessenheit und wurde erst nach 2000 wieder in den Vordergrund gerückt. Als sogenannte Quantenphänomene sind Supraleitung und Magnetismus ohnehin eng miteinander verzahnt und führen an den Schnittstellen zu interessanten neuen Phänomenen. In den vergangenen 20 Jahren wurden am WMI maßgeschneiderte Quantensysteme aus supraleitenden und magnetischen Materialien erfolgreich für Anwendungen in den Bereichen Quantencomputing, -kommunikation und -sensorik entwickelt. Auch dieses heute noch schnell wachsende Forschungsfeld, das mittlerweile immer mehr in den Anwendungsbereich rückt, hat das WMI mit vielen Pionierarbeiten geprägt und so wesentlich zum Erfolg des Forschungsstandorts München beigetragen, der mit der Gründung des Munich Quantum Valley Anfang 2021 fortgeschrieben werden soll.

Pionierarbeiten am WMI

Im Folgenden sollen einige wichtige wissenschaftlichen Entdeckungen und technische Entwicklungen des WMI benannt werden. Nach 1945 stand zunächst die Entwicklung von Helium-Verflüssigern im Vordergrund. Damit wurde die Tradition wichtiger kryotechnischer Entwicklungen fortgesetzt, die in Bayern mit der Erfindung von Luftverflüssigungsanlagen durch Carl von Linde begonnen hatte. Bis heute trägt das WMI regelmäßig mit wichtigen Neuerungen zum Fortschritt in der Tieftemperaturtechnik bei, darunter die Entwicklung der "trockenen" Mischkühler zu Beginn der 2000er Jahre, mit denen ohne flüssiges Helium als Kühlmittel Temperaturen nahe am absoluten

Das Institut blickt auf eine 75-jährige, wissenschaftlich äußerst erfolgreiche Geschichte zurück.

Erst in Herrsching am Ammersee, seit 1967 auf dem Forschungscampus Garching: das Walther-Meißner-Institut.



"Am WMI stehen uns Studierenden immer alle Zimmertüren offen, wenn wir bei unseren Messungen einmal nicht weiterkommen."

Elisabeth Meidinger (I.), Master-Studentin am WMI im Bereich Magnetismus, im Gespräch mit Kommilitonen. Nullpunkt (-273,15°C) erreicht werden. Diese Kühltechnik hat heute einen Marktanteil von über 95 % und ist die Grundvoraussetzung für den Betrieb von supraleitenden Quantencomputern.

Die erste historisch sehr wichtige Entdeckung gelang 1961, als Robert Doll und Martin Näbauer die Quantisierung des magnetischen Flusses in supraleitenden Hohlzylindern nachwiesen. Mit diesem Experiment wurde nicht nur demonstriert, dass es sich bei der Supraleitung um einen makroskopischen Quantenzustand handelt, sondern dass dieser aus Elektronenpaaren gebildet wird. Die Flussquantisierung und der ein Jahr später von Brian D. Josephson theoretisch vorhergesagte Josephson-Effekt bilden bis heute die Basis für die supraleitende Quantenelektronik. Sie wird für die Herstellung von hochempfindlichen Magnetfeldsensoren verwendet, aber auch, um supraleitende Quantencomputer zu realisieren.

Nach der Entdeckung der Hochtemperatur-Supraleiter im Jahr 1986 standen diese Materialien lange Zeit im Fokus der WMI-Forschung. Ein wichtiger Beitrag des WMI war hier die Entdeckung des intrinsischen Josephson-Effekts durch Reinhold Kleiner und Paul Müller (1992). Sie zeigten, dass der Josephson-Effekt aufgrund

der Schichtstruktur der Hochtemperatur-Supraleiter eine intrinsische Eigenschaft dieser Materialien ist, die heute gezielt für die Erzeugung von Mikrowellenstrahlung bis in den THz-Bereich genutzt wird.

Nach 2000 wurde am WMI die Technologie für die Herstellung komplexer supraleitender und magnetischer Materialsysteme sowie von Nanostrukturen aufgebaut. Diese Investitionen waren von zentraler Bedeutung für die Grundlagenforschung zu Supraleitung, Magnetismus und festkörperbasierten Quantensystemen sowie für die gleichzeitig begonnenen, anwendungsorientierten Arbeitsgebiete Spinelektronik und supraleitende Quantenschaltkreise. In der Spinelektronik nutzt man aus, dass Elektronen neben ihrer Ladung auch einen quantisierten Drehimpuls (Spin) besitzen. Der wohlbekannte Ladungstransport in elektrischen Leitern kann deshalb auch mit einem Spintransport verbunden sein. Heute kann man sogar "reine" Spinströme erzeugen, die nur den Drehimpuls, aber keine Ladung transportieren. Dieses sehr dynamische Forschungsgebiet gibt Hoffnung für neuartige Bauelemente, die für den Fortschritt in der Informationstechnologie benötigt werden. Auch zu diesem Gebiet hat das WMI mit

2.2021 Fokus

zahlreichen Pionierarbeiten beigetragen – von der Entwicklung grundlegender Konzepte für die Realisierung von "Batterien" und "Messgeräten" für Spinströme bis zur Entdeckung zentraler Effekte wie dem Spin-Hall-Magnetwiderstand (2013) und dem Spin-Nernst-Effekt (2017).

Stark wachsendes Forschungsfeld

Ein seit 2000 stark wachsendes Forschungsfeld des WMI betrifft die Herstellung und Charakterisierung von festkörperbasierten Quantensystemen. Das Institut konzentriert sich auf supraleitende und magnetische sowie auf hybride Quantensysteme. Die anfangs rein grundlagenorientierten Forschungsarbeiten haben durch das zunehmende wirtschaftliche Interesse an den Ouantentechnologien einen immer stärkeren Anwendungsbezug erhalten. Auch auf diesem Gebiet hat das WMI wichtige Pionierarbeiten geleistet. Zu nennen sind der erste Nachweis von ultrastarker Licht-Materie-Wechselwirkung zwischen einem künstlichen Festkörperatom und einem einzelnen Mikrowellenphoton

Luis Flacke (Mitte), Doktorand am WMI, bei der Teamarbeit an einer Ultrahochvakuumkammer (im Hintergrund in Alufolie gewickelt). (2010) oder die starke Kopplung zwischen den quantisierten Anregungen des Spingitters und Mikrowellenphotonen im Jahr 2013.

Weltweit führend ist das Institut in der Quantenmikrowellentechnologie. Die herausragenden Arbeiten reichen hier von der Entwicklung grundlegender Messtechniken (Zustandstomographie, 2010) über die erste Realisierung von Pfadverschränkung (2012) bis hin zur erstmaligen Implementierung von Quantenkommunikationsprotokollen im Mikrowellenbereich (Präparation eines entfernten Zustands: 2019, Teleportation: 2021). Vor Kurzem hat das WMI ein so genanntes Quantum Local Area Network realisiert, mit dem in Zukunft supraleitende Quantencomputer untereinander vernetzt werden können. Die am WMI geleistete Grundlagenforschung wird auch in diesem Bereich die Basis für zahlreiche Anwendungen bilden.

Das Walther-Meißner-Institut wird das fruchtbare wissenschaftliche Umfeld künftig weiter ausbauen, um helle, motivierte Köpfe zum exzellenten Team hinzuzugewinnen, moderne Themengebiete zu identifizieren und grundlegende Fragestellungen zu beantworten. Die unter dem Dach des Instituts vereinten Forscherinnen und Forscher werden so weiterhin im kompetitiven globalen wissenschaftlichen Umfeld auf höchstem Niveau agieren und zum Renommee des Instituts beitragen.

"Ich erlebe am WMI eine herausragende Betreuung meiner Doktorarbeit und die Möglichkeit, eigenverantwortlich zu arbeiten."





ist stellvertretender Direktor des Walther-Meißner-Instituts für Tieftemperaturforschung der BAdW. Er forscht zu Magnetismus, Spinelektronik und hybriden Quantensystemen.



Foto: Kai Neunert

Fokus 2.2021

Lokales Quantennetzwerk für *Alice* und *Bob*

Zum international anerkannten Forschungsfeld:

Quantenmikrowellen eröffnen viele
Anwendungsperspektiven, für die sich auch die

Von Frank Deppe, Kirill G. Fedorov und Achim Marx

ie Quantenzustände des Lichts und ihre Wechselwirkung mit Materie werden seit den 1970er Jahren erforscht. In zahlreichen Experimenten wurden die quantenmechanischen Eigenschaften von Licht und mikroskopischer Materie – also einzelnen Atome oder Ionen – bestätigt, d. h. Überlagerungszustände, Verschränkung und das Heisenberg-Prinzip. Seit etwa 20 Jahren liegt der Fokus bei der Untersuchung von Quantenressourcen zunehmend auf dem Ziel, Quantentechnologien zu entwickeln, also konkrete Anwendungen. Diese lassen sich in vier Bereiche unterteilen: Quantencomputing, Quantensimulation, Quantenkommunikation und Quantenmetrologie/-sensorik. In allen diesen Bereichen wird ein Vorteil des quantenmechanischen Ansatzes gegenüber seinem herkömmlichen Pendant vorhergesagt.

In diesem Zusammenhang haben sich zusätzlich zu mikroskopischen, atomaren Systemen auch aus zahlreichen Atomen

bestehende, festkörperbasierte Quantensysteme wie Halbleiter oder Supraleiter als wichtige Materialsysteme etabliert. Unter ihnen stechen besonders die supraleitenden Schaltkreise heraus, sie sind die derzeit am weitesten fortgeschrittene Materialplattform im Quantencomputing. Es gibt bereits supraleitende Quantenprozessoren mit zweidimensionalen Gittern von 50 oder mehr einzeln ansteuerbaren Elementen – den Quantenbits (Qubits). Unter anderem wurde in diesem Zusammenhang gezeigt, dass so ein Quantenprozessor für eine spezielle Problemstellung bereits heute leistungsfähiger als ein herkömmlicher Supercomputer ist.

Forschungsfeld Quantenkommunikation

Weltweit wird intensiv daran gearbeitet, die Anzahl der supraleitenden Qubits auf einem Chip weiter zu erhöhen. Zunehmend wird es aber auch wichtig, sich mit der Vernetzung von Quantenprozessoren

und der damit einhergehenden Übertragung von Quantenzuständen zwischen ihnen zu beschäftigen. Die dazu relevanten Prozesse werden in der Ouantenkommunikation erforscht. Traditionell beschäftigt man sich dort intensiv mit dem etwas einfacheren Problem der Nutzung von Quantenressourcen zur abhörsicheren Übertragung klassischer Nachrichten mittels Quantenschlüsselverteilung. Hierbei erscheint die Überwindung großer Distanzen mittels optischer Signale bei ca. 200 THz über Glasfaserleitungen oder Satellitenverbindungen ausgesprochen vielversprechend. Dieser Ansatz führt aber im Fall der Übertragung "echter" Quantenzustände zwischen supraleitenden Quantenprozessoren zu unerwartet großen Problemen: Hier liegt die natürliche Frequenzskala der supraleitenden Qubits nämlich bei einigen Gigahertz, also im Mikrowellenbereich, wie er auch aus der klassischen Computer-, Netzwerk- und Mobilfunktechnologie bekannt ist. Obwohl Mikrowellen

36 Akademie Aktuell



– wie sichtbares Licht – elektromagnetische Wellen sind, ist eine Konversion der fragilen Quantenzustände über fünf Größenordnungen zu optischen Frequenzen und wieder zurück technologisch äußerst herausfordernd. Selbst nach jahrelanger Forschung liegen die erreichten Quanteneffizienzen hier im Bereich von 10-5 oder schlechter. Als offensichtliche Alternative bietet sich an, die Quantenressourcen bei Mikrowellenfrequenzen direkt zur Kommunikation zu nutzen.

Quantenmikrowellenforschung am Walther-Meißner-Institut

Die Entwicklung solcher Quantenmikrowellen und der damit verbundenen Technologien wurde am Walther-Meißner-Institut (WMI) der BAdW vor etwa zehn Jahren als wissenschaftliche Pionierleistung begonnen. Diese umfasste zunächst den Nachweis, dass sich an propagierenden Mikrowellensignalen Quanteneigenschaften beobachten lassen. Dazu mussten

wegen der geringen Signalenergie von Quantenmikrowellen zunächst geeignete Messverfahren entwickelt werden, mit denen dann propagierende gequetschte Zustände nachgewiesen werden konnten. Bei diesen ist eine der beiden Feldquadraturen – diese repräsentieren anschaulich gesprochen den elektrischen und den magnetischen Anteil der Welle – besser lokalisiert als im quantenmechanischen Grundzustand, dem Vakuum. Sie ist also in diesem Sinn unter den Wert der Vakuumfluktuationen gequetscht. Um das Heisenberg-Prinzip nicht zu verletzen, ist die zweite Feldquadratur entsprechend stärker verschmiert. Verteilt man die Quetschung zwischen zwei Signalen, die entlang unterschiedlicher Pfade propagieren, erhält man einen quantenmechanisch verschränkten Zustand. Mittlerweile gehört das WMI auf diesem Gebiet zur Weltspitze, was sich unter anderem in der Koordination des europaweiten Forschungsprojekts "Quantum Microwaves for Communication and Sensing" (QMiCS)

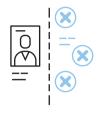
"Mikrowellen sind
die derzeit
vielversprechendste
Technologie
zur Vernetzung supraleitender
Quantenprozessoren."

Frank Deppe (o.r.) und ein Kollege arbeiten im WMI-Labor am Q-LAN-Aufbau.



Zusammenbau eines Mikrowellen-Q-LAN-Kabels.

Akademie Aktuell 37



Wahrung der Privatsphäre

Persönliche Daten sind abhörsicher und nicht manipulierbar



Nationale Sicherheit und kritische Infrastrukturen

Keine Manipulation oder Fremdsteuerung, etwa von autonomen Autos, Atomkraftwerken oder Stromnetzen



Sicherer Handel

Absolute Sicherheit bei der Datenübertragung, etwa bei Bankgeschäften im Rahmen des Quantenflaggschiff-Programms der Europäischen Union äußert. Hier wurden kürzlich zwei grundlegende Quantenkommunikationsprotokolle implementiert. Beim ersten handelt es sich um die gezielte Präparation eines Quantenzustands an einem entfernten Ort. Dazu wird zwischen zwei Partnern "Alice" und "Bob" zunächst ein verschränkter Zustand verteilt. Durch eine geeignete lokale Messung von Alice an ihrem Teil des verschränkten Zustands, die klassische Übermittlung des Messergebnisses an Bob und eine entsprechende lokale Operation von Bob an seinem Teil des verschränkten Zustands erzeugt Alice bei Bob einen Quantenzustand ihrer Wahl. Dabei ist zu beachten, dass der klassische Kommunikationskanal zwischen Alice und Bob für sich allein genommen keinen Rückschluss auf den von Alice gewählten Quantenzustand zulässt. Dieser Sicherheitsaspekt konnte mit einer quantenmechanischen Interpretation des bekannten Einmalschlüsselverfahrens experimentell quantifiziert werden, wobei Alice und Bob 36 cm voneinander entfernt waren Kürzlich konnte darüber hinaus am WMI erstmals das Phänomen der Quantenteleportation von frei propagierenden Mikrowellenzuständen über eine Distanz von 42 cm erfolgreich umgesetzt werden. Hierbei transferiert Alice einen ihr nicht notwendigerweise bekannten Quantenzustand unter Ausnutzung eines gemeinsamen verschränkten Zustands und klassischer Kommunikation intrinsisch abhörsicher zu Bob.

Supraleitende Quantenschaltkreise müssen bei Temperaturen von wenigen Hundertstel Grad über dem absoluten Nullpunkt betrieben werden. Der Grund ist die geringe Energie eines einzelnen Mikrowellenphotons, die die charakteristische Energieskala für Quantenmikrowellenzustände darstellt. So erfordern Signale von 6 GHz, dass die Arbeitstemperatur wesentlich kleiner als 3 Zehntel Grad über dem absoluten Nullpunkt ist. Zum Glück lässt sich diese Anforderung heute mit kommerziell erhältlichen Kryostaten leicht realisieren. Supraleitende Quantenprozessoren werden standardmäßig in solche Apparaturen eingebaut. Auch eine entsprechend kalte Verbindung zwischen zwei solchen Kryostaten über mehrere Meter wurde kürzlich

von einem Industriepartner des WMI im Projekt QMiCS entwickelt. Supraleitende Kabel haben in einer solchen Umgebung ähnlich geringe Leitungsverluste für Mikrowellen wie Glasfasern für optische Signale. Entsprechend ist die Schaffung eines lokalen Netzwerks aus supraleitenden Quantenprozessoren ("Q-LAN") eine wichtige Vorstufe hin zu einem Internet aus Quantencomputern. Konsequent fortgeführt, lässt sich so auch von Quantensupercomputern träumen, bei denen Quantencomputer aus vielen einzelnen, standardisierten Modulen zusammengesetzt werden. Selbstverständlich lässt sich im Prinzip auch sichere Kommunikation klassischer Information mittels Quantenschlüsselverteilung im Mikrowellenbereich realisieren.

Abschließend sei noch erwähnt. dass die Quantenmetrologie/-sensorik eine weitere Anwendungsperspektive bereithält, bei der Quantenmikrowellen die natürliche Frequenzskala bilden: die berührungsfreie Fernerkundung (Radar). Ein Quantenradar verspricht einen Quantenvorteil im Signal-Rausch-Verhältnis gegenüber herkömmlichem Radar. Im Mikrowellenbereich steht der experimentelle Nachweis eines solchen Vorteils aber noch aus. Daher hat das WMI kürzlich zusammen mit Partnern das vom BMBF geförderte Projekt "QUAntenRAdarTEam" (QUARATE) begonnen. Grundlage sind auch hier gequetschte Mikrowellenzustände.

PD Dr. Frank Deppe und Dr. Kirill G. Fedorov

sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Walther-Meißner-Institut für Tieftemperaturforschung der BAdW, lehren an der TU München und sind Mitglieder des Exzellenzclusters Munich Center for Quantum Science and Technology (MCQST).

Dr. Achim Marx

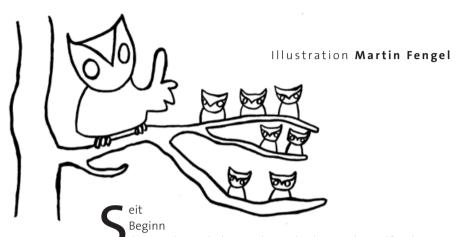
ist Technischer Direktor des Walther-Meißner-Instituts.

<u>Bildung, Bildung, Bildung</u>

Ein Kommentar von **Monika Schnitzer**



Prof. Dr. Monika
Schnitzer lehrt Volkswirtschaftslehre
an der LMU München,
ist Mitglied des
Sachverständigenrats zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen
Entwicklung,
umgangssprachlich
"Wirtschaftsweise"
genannt, sowie
Mitglied der BAdW.



der Pandemie haben viele Kinder knapp die Hälfte der Zeit ihre Schule nicht von innen gesehen. Nicht von ungefähr treibt deshalb viele Eltern die Sorge um, was das bedeutet. Die fehlenden sozialen Kontakte führen zu psychischen Problemen, der Lernerfolg nimmt ab, so zeigen erste Studien – mit negativen Langzeitfolgen für die späteren Chancen auf dem Arbeitsmarkt. Manche warnen gar vor einer verlorenen Generation. Das gilt vor allem für Kinder aus sozial schwächeren Familien. Die Pandemie verstärkt die soziale Ungleichheit in unserer Gesellschaft.

Viele dieser Probleme wären vermeidbar gewesen: durch eine bessere digitale Ausstattung der Schulen und bessere digitale Ausbildung der Lehrkräfte. Von Expertinnen und Experten wurde dies schon lange vor der Pandemie gefordert, ohne jedoch damit auf allzu viel Gegenliebe zu stoßen. In der Pandemie selbst hätten z. B. mehr Investitionen in Lüftungsgeräte in den Klassenräumen geholfen sowie eine stärkere individuelle Betreuung von Kindern im Distanzunterricht durch zusätzliches Personal.

Wer allerdings nur der Pandemie die Schuld an den zu erwartenden Konsequenzen gibt, verkennt, dass schon zuvor unser Bildungssystem alles andere als vorbildlich war. Regelmäßig zeigen uns die Pisa-Studien auf, dass wir mit unseren Bildungserfolgen in den Schulen in Deutschland nur im Mittelfeld liegen. Ja, unsere Gesellschaft ist heterogener als die anderer Länder, die in diesen Rankings besser abschneiden, aber das darf keine Entschuldigung, sondern muss im Gegenteil Ansporn sein, allen Kindern eine gute Ausbildung zu vermitteln. Schon bisher ist jedoch in Deutschland der Bildungserfolg stark vom sozioökonomischen Hintergrund abhängig. Diese Ungleichheit wird in der Pandemie deutlich verschärft. Denn nicht jedes Kind hat die notwendige technische Ausstattung oder Hilfestellung durch die Eltern.

Das zu verändern, braucht viele Anstrengungen, doch vor allem braucht es Geld. Das Land der Dichter und Denker gibt, gemessen am Anteil des BIP, weniger als der OECD-Durchschnitt für die Bildung seiner Kinder aus. Und setzt falsche Prioritäten. So hat man z. B. die Studiengebühren wieder abgeschafft, um Chancengleichheit im Studium zu fördern, verschließt aber gleichzeitig die Augen davor, dass Kinder aus sozial schwächeren Haushalten es deutlich seltener aufs Gymnasium schaffen, geschweige denn an die Uni. Förderung schon im frühkindlichen Bereich sowie Ganztagsunterricht, der diesen Namen verdient (im Unterschied zu Ganztags*betreuung*), könnte helfen, erfordert aber eine deutliche Aufstockung der Mittel für Personal, Gebäude und Infrastruktur. Es wäre gut investiertes Geld.



Aus aller Welt an die Akademie: Die Forscherinnen und Forscher der Bayerischen Akademie der Wissenschaften kommen aus mehr als 30 Ländern. "Akademie Aktuell" stellt sie vor, diesmal:

Helena Leithe-Jasper

Lexikographin



Österreich

München

Dr. Helena Leithe-Jasper ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Mittellateinischen Wörterbuch, einem im Akademienprogramm finanzierten Vorhaben der BAdW. Es basiert auf den lateinischen Quellen, die zwischen dem 6. und 13. Jahrhundert im deutschen Sprachraum entstanden sind.

Woher kommen Sie? Seit wann sind Sie hier?

Ich komme aus Wien, seit 1995 bin ich in München.

Warum sind Sie nach Deutschland gekommen?

Eines Tages fragte mich mein Professor, ob ich für ein Jahr eine Vertretung auf der österreichischen Mitarbeiterstelle am Mittellateinischen Wörterbuch übernehmen möchte. Aus der Vertretung wurde eine feste Stelle, aus einem Jahr wurden mehr als 25. War der Wechsel schwierig?

Nein, keineswegs. Die Wörterbucharbeit hat mich sofort gepackt. Und so verschieden sind Bayern und Österreicher gar nicht ... Woran arbeiten Sie derzeit im Wörterbuch?

Ich habe gerade quasi ein Jahrhundert durchmessen. Fazit: Das Wort "saeculum" hat im Mittellatein eher mit allem Irdischen zu tun als mit genau 100 Jahren, anders als seine Abkömmlinge in den romanischen Sprachen.

Was fällt Ihnen auf, wenn Sie das deutsche und das österreichische Wissenschaftssystem vergleichen?

Mittlerweile haben sich die universitären Wissenschaftssysteme sehr angeglichen. Hingegen gibt es in Österreich nur eine Akademie der Wissenschaften. Diese hat einen Mitarbeiterstab von über 1.800 Personen und versteht sich noch stärker als Arbeitgeber einer Forschungsgemeinschaft denn als Gelehrtengesellschaft. Was schätzen Sie am deutschen Wissenschaftssystem und was fehlt Ihnen?

Ich schätze die Diversität der Forschung in Deutschland, die wissenschaftliche Infrastruktur und Breite an Förderungen. Allerdings fehlt es an adäquatem Umgang mit der Grundlagenforschung, an Akzeptanz und Förderung mit treffgenauer Ausstattung von Langzeitprojekten. Es fehlt für (junge) Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an den gesetzlichen Voraussetzungen für Karriereoptionen abseits einer Professur! Wo würden Sie gerne noch zum Forschen hingehen?

Ich hoffe hier in München zu bleiben und das Projekt abzuschließen. München ist DER Wissenschaftsstandort für Mediävistik und Latein – möge es so bleiben!

Wie beschreiben Sie Wien in wenigen Sätzen?

Wien ist imperial, großstädtisch, international. Dies spiegelt sich u. a. in Architektur, Kultur, Kulinarik und Bevölkerung wider. Was sollte man in Wien erlebt haben?

Einen Sonnenuntergang in den Weinbergen des Nussbergs mit Blick auf die Donau und die Stadt. Und eine Fahrt mit der "Bim" um den Ring.

Was vermissen Sie von dort?

Die gemütliche Lebensart, die Wiener Küche, Kaffeehäuser. Bessere Öffis ...

Was bringen Sie von einer Reise nach Wien mit? Lebensmittel!

LEDENSIIIILLEI!

Was mögen Sie an München?

Das viele innerstädtische Grün, die herrliche Umgebung, das kulturelle Angebot und die Biergärten.

Ihr Lieblingsplatz in München?

Galerie, 1. Reihe Stehsitzbankerl in der Staatsoper.

Wo findet man Sie, wenn Sie nicht forschen?

Meist mit Gucker oder Fernglas gewappnet, wenn nicht in der Oper, dann auf "Vogelpirsch". Fragen: el Wegen der fortdauernden Corona-Pandemie konnten die Mitgliederwahlen im Februar 2021 nicht stattfinden. "Akademie Aktuell" hat daher Mitglieder verschiedener Sektionen, die in den letzten Jahren zugewählt wurden, gebeten, den BAdW-Fragebogen auszufüllen – und viele sind der Einladung gefolgt.



Dr. Eva Maria Huber

ist seit 1. Mai 2021 akademische Rätin a. Z. am Lehrstuhl für Biochemie der TU München. Seit 2017 ist sie mit dem Vorhaben "Struktur, Regulation und Hemmung der zentralen intrazellulären Proteinabbau-Maschinerie" Mitglied im Jungen Kolleg der BAdW.

Was ist Ihr Forschungsschwerpunkt? Im Fokus meiner Arbeiten steht das Proteasom, ein zylinderförmiges Partikel in der Zelle, das andere Eiweiße zerlegt. Ich studiere die 3D-Struktur des Proteasoms und das Zusammenspiel mit Regulatoren und Hemmstoffen. Die Hemmung des Proteasoms durch chemische Substanzen stellt eine wirksame Therapie von Blutkrebs und eine potentielle Behandlungsmöglichkeit von Autoimmunerkrankungen dar.

Wie haben Sie Ihr Fach für sich entdeckt? Bereits in der Schule war ich von der Gentechnik fasziniert, was mich zum Biochemie-Studium führte. Dabei entdeckte ich die Strukturbiologie und spezialisierte mich in der Promotion auf die Proteinkristallographie. Es begeistert mich, Enzyme auf atomarer Ebene zu visualisieren und so tiefe Einblicke in die Biochemie chemischer Reaktionen zu bekommen. Was treibt Sie an?

Es macht mir größte Freude, Unbekanntes zu erforschen und nach neuen Lösungsansätzen für wissenschaftliche Fragestellungen zu suchen. Außerdem gebe ich mein Wissen gerne an Studentinnen und Studenten weiter und versuche, sie für mein Fachgebiet zu begeistern. Haben Sie ein (historisches) Vorbild in der Wissenschaft?

Ich bewundere Forscher, die ihre Erkenntnisse gegen Widerstände der Fachwelt verteidigen. Ein Beispiel wäre der USamerikanische Biochemiker und Neurologe Stanley Prusiner (geb. 1942). Mit seiner Theorie, dass nicht nur Viren und Bakterien, sondern auch Proteine Infektionskrankheiten auslösen können, fand er lange keine Beachtung, wurde schließlich aber mit dem Nobelpreis ausgezeichnet. Was macht Ihr Leben reicher?

Schönes Wetter, gute Musik und ein Ausflug in die Natur.



Prof. Dr. Ulrich Pfisterer

forschte und lehrte nach seiner Promotion, die er an der Universität Göttingen abschloss, am Kunsthistorischen Institut in Florenz und an der Universität Hamburg. Dort habilitierte er sich auch. Seit 2008 ist er Inhaber des Lehrstuhls für allgemeine Kunstgeschichte unter besonderer Berücksichtigung der Kunst Italiens an der LMU München und

leitet seit 2018 das Zentralinstitut für Kunstgeschichte. Die BAdW wählte ihn 2017 zum ordentlichen Mitglied.

Worüber forschen Sie?

Die Kunst der Frühen Neuzeit – vor allem die Renaissance in Italien – und die Wissen(schaft)sgeschichte der Kunstgeschichte sind meine wichtigsten Forschungsgebiete. Dabei geht es häufig darum, wie Bildwerke eigenständig zur Formierung von Vorstellungen und Konzepten wie Freundschaft, Liebe oder Macht beitragen und nicht nur vorausgehende Ideen und Texte veranschaulichen. Derzeit versuche ich zu rekonstruieren, wie im frühneuzeitlichen Europa außereuropäische Artefakte in größere Entwürfe zur Geschichte der Menschen eingeordnet wurden.

Welche Frage wollen Sie mit Ihrer Forschung beantworten?

Letztlich geht es darum zu zeigen, dass unser Fühlen, Denken und Wissen nicht nur – oder gar vorrangig – in Schrift und Zahl stattfinden, sondern dass die Gestaltung des Sichtbaren, also Artefakte, Bilder, Räume und vieles mehr, eine fundamentale, häufig für viel zu selbstverständlich genommene Rolle spielt. So schnell sich einige Bereiche dieser Gestaltung verändern, so langlebig sind andere, wie etwa die Zentralperspektive. Diese Zusammenhänge lassen sich nur in historisch-kritischem Zugriff erkennen.

Mit welcher (auch historischen) Person würden Sie gerne diskutieren?

Den jungen Michelangelo (1475–1564) würde ich gerne nach seinen Motivationen und Ideen befragen.

Haben Sie ein (historisches) Vorbild in der Wissenschaft?

Mehrere – darunter den britischen

Kunsthistoriker Michael Baxandall (1933–2008), der 1971 und 1972 zwei so kurze wie wegweisende Bücher zur Rekonstruktion historischer Sehhorizonte vorgelegt hat. Wo möchten Sie leben? In Italien.



Prof. Daniel J. Frost, Ph.D.

kam nach seiner Promotion im Bereich der geowissenschaftlichen Hochdruck- und Hochtemperaturforschung an der University of Bristol und einem zweijährigen Postdoc-Aufenthalt am Geophysikalischen Labor der Carnegie Institution in Washington D.C. 1997 an das Bayerische Geoinstitut der Universität Bayreuth. Dort ist er Mitglied des Direktoriums. Die BAdW wählte ihn 2017 zum ordentlichen Mitglied.

Welche Frage wollen Sie mit Ihrer Forschung beantworten?

Ein bemerkenswerter Aspekt der Erde ist, dass viele geologische Prozesse genau in der richtigen Weise aufgetreten sind, um unseren Planeten in einen bewohnbaren Zustand zu verwandeln. Wie und warum diese Prozesse funktionierten und warum sie dagegen auf anderen Planeten des Sonnensystems nicht vorkamen, sind faszinierende Fragen, die mich in meiner Forschung beschäftigen.

Wie haben Sie Ihr Forschungsgebiet für sich entdeckt?

Mein Interesse an den Geowissenschaften begann schon als Kind, als ich im Urlaub in den Meeresklippen nach Fossilien suchte. Ich habe Geologie und Chemie studiert und wollte zunächst einen Job in der chemischen Industrie finden, aber als ich meinen Abschluss machte, befand

sich Großbritannien in einer tiefen Rezession, es gab nur wenige Jobs. Stattdessen fand ich eine Doktorandenstelle für ein experimentelles Projekt zur Bestimmung des Volumens von Kohlendioxid bei extrem hohem Druck – und ich habe diese Entscheidung nie bereut.

Was treibt Sie an?

Es ist sehr spannend, neuartige Experimente unter noch nie dagewesenen Druck- und Temperaturbedingungen zu entwerfen.

Haben Sie ein (historisches) Vorbild in der Wissenschaft?

Ich hatte immer großen Respekt vor dem US-amerikanischen Geochemiker Clair Patterson (1922–1995), der 1956 mithilfe von Uran-Blei-Isotopen das erste zuverlässige Alter der Erde bestimmt hat, nämlich 4,55 Milliarden Jahre. Bei der Arbeit mit den Materialproben erkannte er, dass die gesamte Umwelt und die Nahrungskette mit Blei aus der Verbrennung von Benzin verseucht waren. Er kämpfte die nächsten 20 Jahre gegen die petrochemische Industrie, um Bleibeimischungen aus Benzin entfernen zu lassen. Dank seines Engagements wurde in den USA schließlich ein generelles Verbot von verbleitem Benzin erlassen.



Prof. Dr. Karen Radner

ist seit 2015 Inhaberin des Alexander von Humboldt-Lehrstuhls für die Alte Geschichte des Nahen und Mittleren Ostens an der LMU München und Honorary Professor of Ancient Near Eastern History am University College London. Sie lehrte und forschte u. a. an den Universitäten Helsinki und Tübingen sowie am University College London. Gastprofessuren führen sie

nach Verona, Innsbruck, Doha und Istanbul. Sie ist seit 2016 ordentliches Mitglied der BAdW.

Was ist Ihr Forschungsschwerpunkt?

Ich erforsche die alten Kulturen des Nahen Ostens, vor allem jene, die sich der Keilschrift und der Tontafel bedienten. Mein Forschungsschwerpunkt gilt dem Königreich Assyrien in seiner imperialen Phase vom 9. bis 7. Jahrhundert v. Chr., als der politische und kulturelle Einfluss der Zentralregion im Nordirak bis weit in den Mittelmeerraum, an den Kaukasus, zum Kaspischen Meer und in den heutigen Sudan reichte. Obwohl ich hauptsächlich im Irak, in Syrien sowie in der Osttürkei arbeite, bin ich deshalb nicht auf eine bestimmte Region festgelegt, was bei der oft schwierigen politischen Situation vor Ort von Vorteil ist.

Was war für Sie der wichtigste Moment in Ihrer Forscherlaufbahn?

Im Nachhinein war das sicherlich ein Zufallsgespräch mit Karlheinz Deller, dem damaligen Professor für Assyriologie in Heidelberg, im Sommer 1993 in Leiden während einer Kaffeepause beim jährlichen Assyriologen-Kongress. Damals stand ich als Wiener Studentin im dritten Studienjahr vor dem Antritt eines DAAD-Jahresstipendiums in Berlin. Deller empfahl mir ein Volontariat in der von Achim Marzahn geleiteten Tontafelsammlung des Vorderasiatischen Museums (VAM). Meine akademische Laufbahn wurde von der Möglichkeit, mit den damals noch unpublizierten neuassyrischen Tafeln im VAM zu arbeiten, ganz stark geprägt. Was treibt Sie an?

Die Neugier.

Welche Frage würden Sie gerne stellen – und wem?

Wo ist die verschollene Staatskorrespondenz des assyrischen Königs Sanherib (704–681 v. Chr.)? Qualifiziert Auskunft geben könnte Nabû-šumu-lešir, der Palastschreiber seines Nachfolgers Asarhaddon.

Ich wollte schon immer einmal ...

... Armenien bereisen – schon öfters geplant und nie realisiert.

Was macht Ihr Leben reicher?

Meine Hunde. Fragen: el

43

Akademie Aktuell





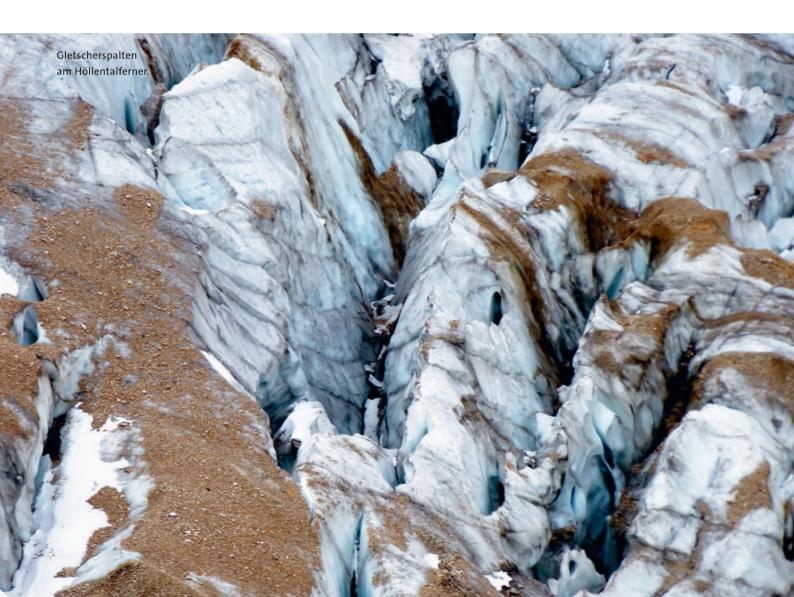
Die Alpengletscher sind Zeugen des Klimawandels. Seit Mitte des 19. Jahrhunderts schmelzen sie fast ununterbrochen ab und zeigen eindrücklich, wie sich die klimatischen Bedingungen verändert haben. Die Klimaveränderung hat wiederum Einfluss auf Umwelt und Natur in den Bergen. Obwohl die Zusammenhänge offensichtlich scheinen, muss man nach ihrer Eindeutigkeit fragen: Ist das Abschmelzen eines Gletschers die direkte Folge einer Klimaveränderung? Bleibt der Zusammenhang zwischen Klima und Gletscherreaktion über die Zeit immer gleich? Sind die Reaktionen von Gletschern aus verschiedenen Alpenregionen vergleichbar?

Wie entstehen Gletscher?

Dass Gletscher existieren, verdanken sie hauptsächlich Niederschlag in Form von Schnee. Bis Schnee in Gletschereis umgewandelt ist, dauert es mehrere Monate oder – in sehr kalten Regionen – sogar Jahre. Bei frischem Schnee liegen die Kristalle sehr locker nebeneinander, daher besteht eine Neuschneedecke bis zu 95 % aus Luft und hat eine geringe Dichte. Mit der Zeit wird der Schnee kompaktiert, und die Kristalle verändern sich: Der Restschnee nach der Schmelzperiode, der Firn, hat bereits eine deutlich höhere Dichte. Firn verwandelt sich durch Schmelzen und Wiedergefrieren schließlich in Gletschereis, das luftundurchlässig und kompakt ist. Es befindet sich fast ständig nahe des Schmelzpunktes und ist zwar langsam, aber gut verformbar. Daher kann sich Gletschereis auf geneigten Berghängen wie eine zähe Flüssigkeit Richtung Tal bewegen.

Faktoren der Gletscherschmelze

Als Ursache für die Gletscherschmelze wird häufig stark vereinfacht der Temperaturanstieg genannt, das ist allerdings so nicht korrekt. Die Temperatur ist ein guter Hinweis, aber nur eine Größe unter vielen: Unterschiedliche Mechanismen und Prozesse, die sich gegenseitig beeinflussen, sind für die Gletscherschmelze







Entwicklung der Gletscherflächen am Südlichen Schneeferner

- ___ 2006 ist der Gletscherrückgang am Südlichen Schneeferner bereits stark fortgeschritten.
- 2018 sind nur noch Eisreste vorhanden.

Der Südliche Schneeferner auf dem Zugspitzmassiv existiert fast nicht mehr.

verantwortlich. Die Anpassung des Gletschers kann je nach Größe, Lage und lokalen klimatischen Bedingungen zwischen wenigen Jahren und einigen Jahrzehnten betragen. Gletscher sind deshalb so gute Klimaindikatoren, weil an ihnen erst dann deutliche Veränderungen zu sehen sind, wenn sich der Trend der Witterungsänderung dauerhaft in eine Richtung bewegt.

Ein wichtiger Parameter für die Gletscherschmelze ist auch die Luftfeuchte. Untersuchungen deuten darauf hin, dass die Zunahme des Wasserdampfs in der Luft eine wichtige Rolle für die Gletscherschmelze spielt. Der Wasserdampfgehalt ist sehr eng mit der Lufttemperatur gekoppelt, ist wegen vielseitiger Wechselwirkungen aber schwierig vorauszusagen. Allerdings führen vom Menschen erzeugte Treibhausgase zu einer Erhöhung der Temperatur und damit auch der absoluten Feuchte. Fest steht: Ab einer gewissen Luftfeuchte schmilzt Eis bei gleichbleibender Lufttemperatur deutlich stärker. Die dauerhafte Überschreitung dieses Kipp-Punktes wird die Schmelze der Gletscher beschleunigen und ihnen in weiten Teilen der Alpen ihre Existenzgrundlage entziehen. Neben der Luftfeuchte sind die Globalstrahlung, die Lufttemperatur, die Albedo (also das Rückstrahlungsvermögen), der Niederschlag, die Geländeform, aber auch die Eisbewegung des Gletschers und die Menge an Schuttbedeckung auf seiner Oberfläche wichtige Faktoren, die beeinflussen, ob Gletscher schmelzen oder anwachsen.

Gletscher in Bayern

Die geodätische Beobachtung der Alpengletscher reicht bis ins 19. Jahrhundert zurück. Die erste kartographische Darstellung eines Gletschers in Bayern stammt vermutlich aus dem

Jahr 1774: Auf einem Kartenblatt ist der "Plattacher Ferner" auf dem Zugspitzplatt vermerkt. Damals war er mit einer Fläche von etwa 300 ha der mit Abstand größte Gletscher in Bayern. Vergleicht man die Zahl mit der heutigen Gesamtfläche aller bayerischen Gletscher von etwa 45 ha, wird deutlich, wie stark die Eisbedeckung in den letzten 250 Jahren zurückgegangen ist. In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts dehnten sich die bayerischen Gletscher maximal aus - wie in den meisten Gebieten der Alpen. Je nach Literaturquelle lag der Höhepunkt dieser Ausdehnung zwischen 1820 und 1856.

Seit dem Ende der Kleinen Eiszeit beobachtete man in den Alpen periodische Veränderungen des Klimas von je etwa 35 Jahren. Dabei wechselten sich Zeiten starken Eisverlusts mit Perioden geringfügiger Erholung ab. Das Verhalten der bayerischen Gletscher lässt sich insbesondere für die Zeit seit Mitte des 20. Jahrhunderts gut nachverfolgen, denn seitdem

Lage der fünf bayerischen Gletscher



führt die Bayerische Akademie der Wissenschaften im Rahmen ihres Vorhabens "Erdmessung und Glaziologie" mindestens im Abstand von zehn Jahren regelmäßige Untersuchungen durch. Auf Grundlage dieser Daten lässt sich die Entwicklung also über rund 70 Jahre verfolgen. Der letzte kurze Gletschervorstoß endete in Bayern um 1980. Seitdem verkleinerten sich die Gletscherflächen durchgängig – ein Trend, der sich bis heute fortsetzt.

Zweiter Bayerischer Gletscherbericht

Im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Verbraucherschutz haben Forscherinnen und Forscher der Bayerischen Akademie der Wissenschaften 2018 die Gletscher neu vermessen und mit diesen Daten den Zweiten Bayerischen Gletscherbericht erstellt. Gegenüber dem ersten Bericht von 2012 haben die bayerischen Gletscher deutlich an Masse und Ausdehnung verloren: Ihre Gesamtfläche beträgt derzeit knapp 0,45 ha im Vergleich zu 70,4 ha im Jahr 2009/2010. Das entspricht einem Flächenverlust von 37 % oder ungefähr 36 Fußballfeldern.

Derzeit gibt es in Bayern noch fünf Gletscher: den Nördlichen und Südlichen Schneeferner sowie den Höllentalferner auf dem Zugspitzmassiv, den Watzmanngletscher unterhalb der Watzmannmittelspitze und das Blaueis im Kar nördlich des Hochkalters in den Berchtesgadener Alpen. Ein Akkumulationsgebiet, also eine Fläche, auf der ein Gletscher Masse ansammelt, können die bayerischen Gletscher schon lange nicht mehr regelmäßig ausbilden. Der Grund dafür ist nicht etwa fehlender Winterschnee: Der Deutsche Wetterdienst

meldet auf dem Zugspitzblatt zum Ende des Winters regelmäßig Schneehöhen von fünf Metern und mehr. Es ist vielmehr der durchschnittliche Sommer, der selbst auf der Zugspitze in fast 3.000 m Höhe für Witterungsverhältnisse sorgt, die den Winterschnee in etwas mehr als einem Monat abschmelzen lassen. Bis zum Herbst sind dann auch die Eisreserven unter der Schneeschicht betroffen. Der Zweite Bayerische Gletscherbericht schildert eindrücklich, wie sich die Gletscher Bayerns in den letzten Jahren verändert haben. Dennoch verläuft die Entwicklung nicht bei allen fünf Gletschern identisch. Gerade die Geländeform und die Lage spielen eine Rolle. So liegt etwa der Höllentalferner in einer tiefen Senke nördlich des Zugspitzgipfels. Er ist an mehreren Seiten von hohen Felswänden eingerahmt, die ihn die meiste Zeit beschatten. Lawinenabgänge aus der Felsumrahmung verursachen zudem einen wesentlichen Teil der Akkumulation im oberen Teil des Gletschers. Der Watzmanngletscher hingegen ist in großen Teilen von Schutt bedeckt. Seine Fläche verändert sich daher nur wenig, der Eisverlust zeigt sich hauptsächlich, indem die Oberfläche langsam absinkt. Der Südliche Schneeferner – im 19. Jahrhundert noch der größte bayerische Gletscher – existiert heute fast nicht mehr. Er liegt nicht in einer geschützten Mulde, und das Gletschereis war dünner und schmolz rascher als etwa am benachbarten Nördlichen Schneeferner. Generell gilt: Nur aufgrund ihrer lokalen Besonderheiten teilen die bayerischen Gletscher derzeit noch nicht das Schicksal einiger bereits komplett abgeschmolzener Eisfelder am Nordrand der Alpen, etwa im Karwendelgebirge oder in den Lechtaler Alpen.

Der Nördliche Schneeferner im September 2016 von der Bergstation der Zugspitzbahn aus.



Entwicklung der Gletscherflächen am Nördlichen Schneeferner

 2006 reicht die Eisbedeckung noch fast durchgehend bis ins Zentrum Sonnalpin.
 2018 hat der Gletscher große Flächen eingebüßt.





Blick über die Grenze: Die Gletscher im Alpenraum

Der Klimawandel setzt den Gletschern im Alpenraum in allen Höhenlagen zu. Die Auswirkungen sind aber je nach Gletschergröße und -lage erst mit zeitlicher Verzögerung zu sehen. Zugleich gibt es große regionale Unterschiede, was den Gletscherrückgang angeht. Dabei ist die Ausgangslage zu Beginn der starken Klimaveränderungen von entscheidender Bedeutung, insbesondere die Höhenlage und die Akkumulationsbedingungen am jeweiligen Gletscher. Mittlerweile sind aber auch die hohen, weit über 4.000 m aufragenden Gletscher von den Klimaveränderungen betroffen, da es hier in den Sommermonaten oft wärmer wird als 0° C.

In stark vergletscherten Gebieten hängt die Lufttemperatur wesentlich mit den dort verbliebenen Gletscherflächen zusammen. Die mit Eis bedeckten Gebiete sind aktuell in den Walliser Alpen (Gornergletscher, Matterhorn), den Berner Alpen (Eiger, Aletschgletscher) und der Montblanc-Region noch relativ groß. Da Gletscher eine kühlende Wirkung auf bodennahe Schichten der Atmosphäre haben, ist es gerade in diesen Regionen deutlich kälter als in weniger vergletscherten Gebieten. Mit dem Abschmelzen der Gletscher werden sich diese Temperaturunterschiede jedoch auflösen – und wenn die Temperatur in den heute noch stark vergletscherten Gebieten ansteigt, wird sich der Klimawandel auch dort immer stärker auswirken.

Wann genau werden die bayerischen Alpen eisfrei sein? Der Bericht stellt auch Modellergebnisse zur Zukunft der bayerischen Gletscher vor. Auf Basis der bisherigen Messungen und Prognosen erscheint es sehr wahrscheinlich, dass in Bayern im nächsten Jahrzehnt die meisten verbliebenen Gletscherreste verschwinden werden. Ob die Alpengletscher in Europa generell noch eine Zukunft haben, hängt in erster Linie davon ab, ob es gelingt, die Emission von Treibhausgasen stark zu reduzieren oder gar zu stoppen. Selbst dann wird allerdings ein Großteil der Eisreserven in den Alpen verschwinden. Für die fünf bayerischen Gletscher kommen solche Maßnahmen in jedem Fall zu spät.

Dr. Christoph Mayer

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Projekt "Erdmessung und Glaziologie" der BAdW. Er untersucht die Veränderungen der Schneeakkumulation auf Gletschern und den Einfluss von Schuttbedeckung auf die Eisschmelze, v. a. in den Alpen, Hochasien und den Polargebieten.

Die Arbeit der BAdW-Glaziologen stellt ein neuer Film in der Mediathek vor: www.badw.de/mediathek



Akademie Aktuell 49

Kunstgenuss in Pandemiezeiten

Von Matteo Burioni

Wandeln in virtuellen Räumen:

Ein neues Angebot des Corpus' der barocken Deckenmalerei führt Interessierte vom heimischen PC aus in die Prachtbauten des Barock.



m Jahr 2020 beschritt das Corpus der barocken Deckenmalerei in Deutschland neue Wege der Wissenschaftskommunikation. Es gelang, die 3D-Rekonstruktionen, für die bisher eine VR-Brille nötig war, auch im Web zu zeigen. So waren virtuelle Führungen möglich. Die technischen Möglichkeiten erlauben ganz neue Zugänge zu höfischen Räumen mit barocker Ausstattung für das Fachpublikum wie auch für interessierte Laien. In Zukunft werden solche virtuellen Räume für die Zusammenarbeit mit nicht vor Ort anwesenden Forscherinnen und Forschern, aber auch für Citizen Science-Projekte ungeahnte Wege eröffnen.

Bereits seit 2015 fertigte das Corpus-Team mit Partnern 3D-Rekonstruktionen von höfischen Räumen an, die mit VR-Brille an einem Messestand gezeigt werden konnten. Diese Möglichkeit, Einblick in das Projekt zu geben, bestand in der Pandemie nicht mehr. Im Jahr 2020 stellte das Team daher in Kooperation mit dem Leibniz-Rechenzentrum der BAdW die 3D-Rekonstruktion des Bamberger Kaisersaals in der Social-VR-Anwendung Mozilla Hubs bereit. Die hochauflösenden 3D-Rekonstruktionen mussten kleingerechnet werden, um flüssig und schnell angezeigt zu werden; dies gelang jedoch ohne große Qualitätsverluste. Nun können die 3D-Rekonstruktionen des Projektes mit jedem handelsüblichen Browser angeschaut werden. Im Gegensatz zu anderen Repositorien ist es auch möglich, sich mit Avataren (s. Abb.) gemeinsam im virtuellen Raum zu bewegen, sodass jede Besucherin und jeder Besucher den Raum aus einer anderen, selbst gewählten Perspektive betrachten kann.

50 Akademie Aktuell



Begeisterung quer durch alle Altersstufen

Nun sind virtuelle Führungen im Bamberger Kaisersaal möglich. Der erste Schritt wurde auf Twitter gemacht, wo die Neuigkeit in der Fach-Community lanciert wurde und auf großes Interesse stieß. Im Januar 2021 stellten wir unsere virtuellen Räume – mittlerweile war das 1804 zerstörte Lusthaus der Münchner Residenz hinzugekommen – anlässlich eines digitalen Studientages zur bedeutendsten Residenz der Wittelsbacher vor. Bei dem internationalen Fachpublikum, aber auch bei den Kolleginnen und Kollegen aus Deutschland, stießen die virtuellen Führungen auf so viel Zuspruch, dass es nötig wurde, vier Räume gleichzeitig zu öffnen und weitere Termine anzubieten.

Im Februar 2021 fanden die ersten virtuellen Führungen für ein breiteres Publikum statt. Das Corpus war "Projekt der Woche" beim Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), was auf der Homepage und über Social Media beworben wurde, und erhielt große öffentliche Aufmerksamkeit. Führungen mit Teilnehmerinnen und Teilnehmern vom Kindesalter bis zu Senioren zeigten, dass die Begeisterung für die barocke Deckenmalerei des Bamberger Kaisersaals und für die Arbeit unseres Projektes quer durch alle Altersstufen geht. Mit einer guten Anleitung und der Unterstützung des Leibniz-Rechenzentrums konnten die technischen Hürden ohne Probleme gemeistert werden. Gerade für Menschen mit Mobilitätseinschränkungen bieten solche Führungen bemerkenswerte Vorteile und machen Meisterwerke der Kunstgeschichte zugänglich. In den virtuellen Räumen auf Mozilla Hubs ist es auch möglich, ein Selfie der in einem Raum versammelten Besucher – besser gesagt ihrer Avatare –

zu machen. Von dieser Möglichkeit, ein Andenken der Führung "mitzunehmen", wurde ausgiebig Gebrauch gemacht.

Neue Wege der Erforschung und Kommunikation

Noch bleiben viele Probleme zu meistern, von der Optimierung der Qualität über die Verbesserung der Avatare bis hin zur noch breiteren Bekanntmachung und Erprobung dieser technischen Lösung. Ein Ziel ist jedoch bereits erreicht: Das Corpus der barocken Deckenmalerei in Deutschland wird seinem Anspruch gerecht, die barocke Deckenmalerei auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland im Zeitraum zwischen 1550 und 1800 nicht nur mit hochauflösenden, digitalen Fotografien zu dokumentieren und mit ausführlichen, wissenschaftlichen Bearbeitungen auf einer öffentlich zugänglichen Publikationsplattform zu erfassen, sondern beschreitet auch neue, digitale Wege der Erforschung und Kommunikation in der Öffentlichkeit.

PD Dr. Matteo Burioni

leitet seit 2019 die Münchner Arbeitsstelle des Corpus der barocken Deckenmalerei in Deutschland, das im Akademienprogramm von Bund und Ländern gefördert wird.

Unter www.deckenmalerei.badw.de kann man den Mozilla Hubs-Raum besuchen und sich zur Führung anmelden.





Akademie Aktuell

Wissen an der Kette

Im Mittelalter waren Bücher in Bibliotheken oder Kirchen häufig an eisernen Ketten befestigt. Warum es dabei nicht nur um Schutz vor Diebstahl ging, erklärt der Mediävist Stephan Lauper, der als Forschungsstipendiat der BAdW Kettenbücher und -bibliotheken untersuchte.

Herr Lauper, Sie forschen über "Libri catenati", also Kettenbücher. Wie sind Sie zu diesem Thema gekommen?

Ich knüpfe mit meinem Projekt teilweise an meine bereits abgeschlossene Doktorarbeit an. Ich habe über einen Codex gearbeitet, also eine mittelalterliche Handschrift, die ein Kettenbuch war. Dabei fiel mir auf, dass Kettenbücher in der Forschung sehr stiefmütterlich behandelt werden. Einerseits, weil die Forschungsgrundlage relativ schwach ist, aber auch, weil das Thema sozusagen zwischen die Fächer fällt. Eigentlich betrifft es die Bibliotheksgeschichte, dort wird es jedoch so gut wie gar nicht aufgegriffen. Es fällt aber auch in andere Disziplinen, angefangen von der Literaturwissenschaft, aus der ich komme, bis zur Geschichtswissenschaft, Theologie und Kunstgeschichte.

Was sind Kettenbücher?

Kettenbücher sind Bücher, die angekettet wurden. Üblicherweise denkt man aus heutiger Perspektive vor allem, man habe sie angekettet, damit sie nicht gestohlen werden. Das ist einleuchtend, weil Bücher sehr wertvoll waren. Die Herstellung von Pergamenthandschriften war kostspielig, das Abschreiben selbst nahm Tage in Anspruch, ein Einband musste angefertigt werden – das war eine sehr aufwändige Angelegenheit. Es gibt aber noch andere Gründe, warum man Bücher angekettet hat, zum Beispiel, weil man sie auf diese Weise zur Verfügung stellen wollte. Auf diesen Aspekt kommt es mir ganz besonders an, und das ist auch das Thema, das ich in meiner Arbeit aufgreife.

Was kann man durch Kettenbücher über ihre Zeit und ihr Umfeld lernen?

Wenn man genauer untersucht, mit welchem Aufwand oder aus welchem Interesse Bücher angekettet wurden, kommt eine ganze Palette an Details zum Vorschein. Vielfach findet man Informationen zu Kettenbüchern in Bibliothekslisten und Bücherverzeichnissen in Form von Anmerkungen, dass bestimmte Bücher in einer Bibliothek oder Kirche angekettet waren. Hinweise gibt es auch in Testamenten oder Schenkungsvermerken, wo Testatoren, also Leute, die einer Kirche oder Bibliothek Bücher geschenkt

Es gab sehr viel mehr Gründe, aus denen man Bücher angekettet hat, als Diebstahl-

schutz. Leser in einem mittelalterlichen

haben, vermerkten, dass die Bücher angekettet werden sollten, häufig mit der Ergänzung, dass sie denjenigen zur Verfügung gestellt werden sollten, die nicht über die nötigen Mittel verfügten, um selbst Bücher anzuschaffen. Auch im Zusammenhang mit der Errichtung von Bibliotheken oder der Einrichtung von Bibliotheksräumen ist mitunter von Ketten, Kettenbüchern oder sogar ganzen Kettenbibliotheken die Rede. Daraus ergibt sich ein breites Spektrum, in das die Kettenbücher einzubetten sind: einerseits in den architektonischen Raum und andererseits in die Beziehung zu den Stiftern und den Benutzern der Bücher. Es ist auch interessant zu sehen, welche Bücher das genau waren.

Was ist für Sie, neben dem interdisziplinären Ansatz, das Besondere an Kettenbüchern?

Während meiner Doktorarbeit war ich sehr enttäuscht, dass das ganze Thema bislang hauptsächlich auf den Diebstahlsaspekt beschränkt wird. Dabei gibt es sehr viel mehr Gründe, aus denen man Bücher angekettet hat. Darauf möchte ich hinweisen, um das Thema aus der etwas stiefmütterlich behandelten Ecke

Kettenbuch aus dem Christianeum in





Skriptorium. Buchillustration aus dem 15. Jahrhundert, heute im Museum Condé, Chantilly.

herauszuholen. Wenn man aber in einzelne Kettenbücher oder Bestände hineinschaut, ergeben sich sehr individuelle Erkenntnisse. Insofern ist es schwierig, auf das eine Kettenbuch oder die eine Kettenbibliothek einzugehen. Das macht das Thema aber interessant. Es lässt sich sozusagen auf die Kette reduzieren, weist aber gleichzeitig auf sehr individuelle Verhältnisse in Bibliotheken oder Kirchen hin.

Ihr Vorhaben ist inhaltlich in der Akademie eng mit den "Mittelalterlichen Bibliothekskatalogen Deutschlands und der Schweiz" verbunden. Dort werden Bibliothekskataloge veröffentlicht, die bis etwa zum Jahr 1500 in Deutschland und der Schweiz verfasst wurden, um das geistige Erbe des Mittelalters zu erfassen und zugänglich zu machen. Was ist Ihr Beitrag zum BAdW-Projekt und umgekehrt, was haben Sie von den Bibliothekskatalogen?

Ich veröffentliche kein neues Bücherverzeichnis, vielmehr versuche ich, punktuell die Informationen zu Kettenbüchern in den Bibliothekskatalogen aufzugreifen und so gut wie möglich systematisch zu erfassen. Es gibt sehr viele Hinweise auf Kettenbücher, und man könnte sagen, meine Arbeit wird eine Fallstudie dazu, unter anderem anhand der Informationen aus den mittelalterlichen Bibliothekskatalogen. Es gehören aber auch die Mittelalterlichen Bibliothekskataloge Österreichs oder andere Verzeichnisse dazu, die Informationen liefern, wo man die Ketten gekauft hat, wie viel man ausgegeben hat, um Ketten zu befestigen oder überhaupt Kettenbücher einzurichten. Für mich dient das BAdW-Projekt als Quelle, die Kataloge stellen die Datengrundlage für meine Arbeit dar.

Was fasziniert Sie am Mittelalter?

Ich bin über das Studium zum Mittelalter gelangt. Die mittelalterliche Kultur, Literatur und Sprache bieten viele Möglichkeiten, die eigenen aktuellen Verhältnisse zu reflektieren. Das war mit ein Grund für die Entscheidung, mich in dieses Fach

zu vertiefen. Aber ich würde sagen, dass bei den Kettenbüchern gar nicht so sehr die mittelalterlichen Aspekte im Vordergrund stehen, sondern sprachliche, literarische und ganz allgemein kulturelle Fragen, die mich interessieren. Es gab Kettenbibliotheken bis ins 19. Jahrhundert hinein. Insofern ist meine Arbeit ganz generell kultur- und literaturwissenschaftlich ausgerichtet.

Welche Rolle spielt die Digitalisierung für Ihr Projekt?

Es ist dadurch möglich geworden, in relativ kurzer Zeit viele Informationen zu übermitteln. Insofern ist das für mein Projekt eine große Unterstützung. Als positive Entwicklung wäre auch der Open Access zu nennen. Aus bibliotheksgeschichtlicher Sicht zeigt sich hier interessanterweise eine ähnliche Richtung wie bei den Kettenbüchern: Es geht um das Verfügbarmachen von Informationen. Bei den Kettenbüchern hatte man die Bestrebung, vorhandenes Wissen nicht in Schränken oder Ecken zu verwahren, sondern das darin enthaltene Wissen durch Anketten allen verfügbar zu machen. Das lässt sich durchaus ein Stück weit mit heutigen Open-Access-Publikationen vergleichen.

Auch die Recherche müsste für Sie durch die Digitalisierung einfacher sein, weil Sie vielfältige Suchmöglichkeiten haben. Und der interdisziplinäre Austausch mit anderen Wissenschaftlern ist vermutlich einfacher.

Ja, in der Tat. Dass zum Beispiel Handschriften oder Archivalien digitalisiert werden und weltweit zugänglich sind, sind Verhältnisse, die man sich noch vor 20 Jahren wahrscheinlich nicht hätte denken können. Darauf will heute niemand mehr verzichten. Es erfordert aber viel Arbeit, diese digital verfügbar gemachten Informationen auszuwerten. Nimmt man etwa eine mittelalterliche Handschrift, so ist das Digitalisat, also die Fotos dieser Handschrift im Internet, eigentlich nur die Datengrundlage, die noch einer Auswertung bedarf. Man muss diese Digitalisate interpretieren und beschreiben, damit sie zugänglich werden, gerade auch für ein fachfremdes Publikum.

Kettenbibliothek in der Kathedrale von Hereford, Großbritannien.



In welcher Form wollen Sie die Ergebnisse Ihres BAdW-Stipendiums veröffentlichen?

Ich werde versuchen, in einer Fachzeitschrift einen Aufsatz zu veröffentlichen. Es wird dabei hauptsächlich darum gehen, einige allgemeine Informationen sowie eine kurze Bibliographie zum Thema Kettenbücher zu veröffentlichen. Ich bin derzeit mitten in der Arbeit und hoffe, dass ich schon bald einige vertiefende Analysen einzelner Bestände machen kann. Ich werde mich dabei voraussichtlich in ein Kettenbuch aus einem Kloster vertiefen und dann die Kontexte erschließen. Das ist übrigens auch wieder ein gutes Beispiel für die Problematik: Viele Klöster und auch andere Institutionen verfügten über ein Kettenbuch, das ganz einfach als "das Kettenbuch" bezeichnet wurde. Solche Beispiele zeigen, dass man Handschriften auf einen einzigen Aspekt, nämlich das Anketten, reduziert hat. Es lohnt sich, bei diesen Bänden genau hinzuschauen, weil sie häufig erst in einem deutlich breiteren Kontext verstanden werden können.

Wie wirkt sich die Corona-Pandemie auf Ihre Arbeit aus?

Arbeiten konnte ich trotz der Einschränkungen, nur habe ich zum Teil andere Schwerpunkte gelegt, als ursprünglich vorgesehen. Die Besuche in den Bibliotheken sind insgesamt beschränkt, und auch in Archiven ist die Arbeit nicht zu jeder Zeit möglich. Es gibt aber bei meiner Arbeit noch andere Hindernisse als die Pandemie. Als ich Anfang 2020 in Frankreich in Archive fahren wollte, waren sie wegen Streiks geschlossen. Doch letztlich kommt man trotzdem an die benötigten Informationen, da unterstützt die Digitalisierung die Arbeit. Daher sind für mich die Einschränkungen derzeit relativ gering.

Woran wollen Sie nach dem Stipendium weiterforschen?
Ich kann mir gut vorstellen, dass ich das Kettenbuch-Thema weiterverfolge und vielleicht eine Monographie dazu veröffentliche. Darüber hinaus werde ich versuchen, in der Germanistik oder in der Mediävistik Anschluss zu finden, um an einer Universität oder Akademie weiterforschen zu können – beispielsweise in einem Projekt wie den "Mittelalterlichen Bibliothekskatalogen".

Dr. Stephan Lauper

wurde in Germanistischer Mediävistik promoviert, war wissenschaftlicher Mitarbeiter in Freiburg/Schweiz sowie in Freiburg im Breisgau und arbeitet als Forschungsstipendiat der BAdW an dem Kettenbücher-Vorhaben. Seine Forschungsschwerpunkte sind Geistliche Literatur, Mystik, Literatur und Identität, Editionsphilologie, Paläographie und Kodikologie, Überlieferungsgeschichte, Text und Bild sowie Buch- und Bibliotheksgeschichte.

Das Gespräch fand am 23. September 2020 via Zoom statt. Eine ausführliche Fassung finden Sie unter www.badw.de/mediathek



Neu an der Akademie

Kedar Honasoge M. Sc., Walther-Meißner-Institut für Tieftemperaturforschung, am 1. Februar 2021. Michael Stehling. Bayerisches Forschungsinstitut für Digitale Transformation, am 15. Februar 2021. Martin Knudsen M. Sc.. Walther-Meißner-Institut für Tieftemperaturforschung, am 1. März 2001. Judith Grosch. Ass. iur. Laura Jung und Dr. des. Daniel Stienen, Vorhaben "Kulturen politischer Entscheidung in der modernen Massendemokratie". am 1. April 2021. Synthia Demetriou M. A., Bayerisches Wörterbuch, am 15. April 2021. Dr. Kristina Milz, Ad-hoc-AG "Zukunftswerte", am 15. April 2021.

Verstorben

Prof. Dr. Ivan Netuka, korrespond. Mitglied (2000), Mathematik. am 14. Oktober 2020. Prof. Dr. Giles Constable A.B., Ph.D., korrespond. Mitglied (1983), Mediävistik. am 17. Januar 2021. Prof. Dr. Hasso Hofmann, ordentl. Mitglied (1992), Öffentliches Recht, Rechtsund Staatsphilosophie, am 21. Januar 2021. Prof. Dr. Joachim Robert Kalden. ordentl. Mitglied (1999), Innere Medizin. am 6. Februar 2021. Prof. Dr. Claus-Wilhelm Canaris, ordentl. Mitglied (1990), Bürgerliches Recht, Handels- und Arbeitsrecht sowie Rechtsphilosophie, am 5. März 2021.

Prof. Dr. Harald Stumpf, korrespond. Mitglied (1986), Theoretische Physik, am 9. März 2021.

Prof. Dr. Siegfried Hünig, ordentl. Mitglied (1971), Organische Chemie, am 24. März 2021.

Dr. Franz Machilek, Mitglied der Kommission für bayerische Landesgeschichte (1994), am 5. April 2021.

Prof. Dr. Dieter Timpe, ordentl. Mitglied (1996), Alte Geschichte,

Preise und Ehrungen

am 18. April 2021.

Prof. Dr. Jutta Allmendinger, korrespond. Mitglied (2010), Bildungssoziologie und Arbeitsmarktforschung, Berufung in die Päpstliche Akademie der Sozialwissenschaften. Prof. Dr. Reinhard Genzel, ordentl. Mitglied (2003), Extraterrestrische Physik, Verleihung des Bayerischen Maximiliansordens für Wissenschaft und Kunst

Prof. Dr.-Ing. Ulrich L. Rohde,
Ehrenmitglied (2013),
Auszeichnung mit dem Verdienstkreuz
am Bande des Verdienstordens
der Bundesrepublik Deutschland.
Prof. Dr. Rüdiger Wehner,
korrespond. Mitglied (1987),
Zoologie, insb. Physiologie,
Verleihung des Prose Award for
Excellence in Biological and
Life Sciences der Association of
American Publishers.

Sonstiges

ordentl. Mitglied (2017),
Strukturbiologie,
Wahl zur Vizepräsidentin der
Julius-Maximilians-Universität
Würzburg.
Prof. Dr. Andreas Wirsching,
ordentl. Mitglied (2012),
Neuere und Neueste Geschichte, und
Prof. Dr. Christian Walter,
ordentl. Mitglied (2019),
Völkerrecht und Öffentliches Recht,
Leiter des BAdW-Forschungsvorhabens "Kulturen politischer
Entscheidung in der modernen
Massendemokratie".

Prof. Dr. Caroline Kisker,

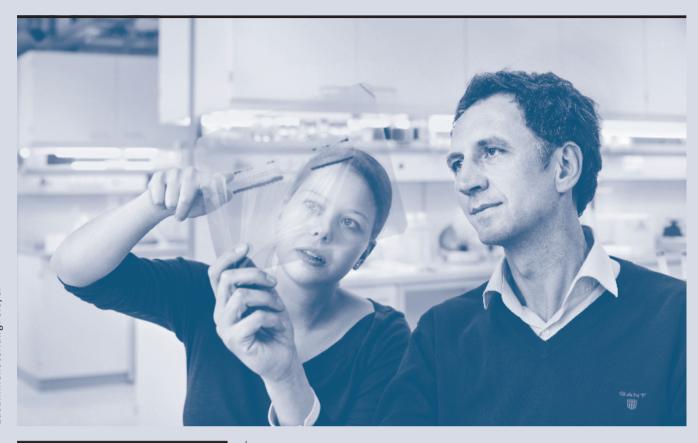
Von der Natur inspirierte Materialforschung

Anna Schenk, seit 2019 Mitglied und stellvertretende Sprecherin des Jungen Kollegs der BAdW, erhielt den Heinz Maier-Leibnitz-Preis der DFG. Sie forscht an der Universität Bayreuth an der Fakultät für Biologie, Chemie und Geowissenschaften im Grenzgebiet zwischen Physikalischer Chemie und Materialwissenschaften und ist Teilprojektleiterin eines von der DFG geförderten Sonderforschungsbereichs. Sie untersucht, wie man komplexe Materialarchitekturen in biogenen Mineralien mit den Funktionseigenschaften technologisch relevanter Materialien, z. B. Elektrokatalysatoren, kombinieren kann.



Anna Schenk mit einer Nautilusschale aus Calciumcarbonat.

Foto: Christian Wißler/Uni Bayreuth



Ruf nach Greifswald

Laura Münkler hat zum 1. April 2021 einen Ruf auf die W3-Professur für Öffentliches Recht mit dem Schwerpunkt Verwaltungsrecht und einer Ausrichtung auf das Gesundheitsrecht an die Universität Greifswald angenommen. Sie war von 2016 bis 2021 Mitglied im Jungen Kolleg der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, in dem sie sich auch als stellvertretende Sprecherin engagierte. Im Kolleg war sie mit dem Vorhaben "Expertokratie. Zwischen Herrschaft kraft Wissens und politischem Dezisionismus" vertreten, über das sie sich 2020 an der Juristischen Fakultät der LMU München habilitierte.



Erforschung des Immunsystems

Der Mediziner **Jürgen Ruland** erhielt den Leibniz-Preis 2021.

Jürgen Ruland wurde mit dem mit 2,5 Mio. Euro dotierten Preis für seine herausragenden Arbeiten auf dem Gebiet der Immunologie ausgezeichnet. Er ist Direktor am Institut für Klinische Chemie und Pathobiochemie am Klinikum rechts der Isar und seit 2016 ordentliches Mitglied der Bayerischen Akademie der Wissenschaften.

Jürgen Ruland ist ein weltweit führender Immunologe und Onkologe. Mit seiner Arbeitsgruppe untersucht er gesunde und bei Krankheit deregulierte Signalprozesse im Immunsystem. Dabei fokussiert das Team darauf, wie Immunzellen Krankheitserreger erkennen, die Immunabwehr einleiten und wie krankhaft veränderte Signale in Blutzellen zur Entstehung von Krebserkrankungen führen. Rulands Arbeiten haben zu einem grundlegend neuen Verständnis der Signalübertragungswege in Immun- und Krebszellen geführt. Mit seiner Forschung versucht er die Selbstheilungskräfte des Körpers auf molekularer Ebene besser zu verstehen und trägt dazu bei, Krankheiten wie Leukämie und Lymphome zielgerichteter zu behandeln.

Der Gottfried Wilhelm Leibniz-Preis der Deutschen Forschungsgemeinschaft gilt als wichtigster Forschungsförderpreis in Deutschland. Das Preisgeld von 2,5 Millionen Euro können Preisträgerinnen und Preisträger für ihre Forschungsarbeit verwenden. Die Leibniz-Preise 2021 wurden im virtuellen Rahmen verliehen.



UNSERE MEDIATHEK

Wissenschaft lebt vom Dialog: Wir bieten daher derzeit Livestream-Veranstaltungen an. Weitere aktuelle Themen finden Sie unter www.badw.de, etwa unsere Reihe über Verschwörungstheorien.

Gefühlte Wahrheit

Podcast · 3.3.2021

Die Kommunikationswissenschaftlerin Dr. Julia Serong spricht in der Reihe "Fakt und Fake" über Wissenschaftskommunikation zwischen Evidenz und Emotion. Werden wissenschaftliche Fakten inzwischen mit emotionalen Behauptungen selbsternannter Expertinnen und Experten gleichgestellt? Was kann die Wissenschaftskommunikation tun. um Menschen zu erreichen?

Fakten gegen Mythen

Video · 25.3.2021

"Wir bekämpfen nicht nur eine Epidemie, wir bekämpfen auch eine Infodemie", warnte die Weltgesundheitsorganisation WHO bereits im Februar 2020 und meinte damit die Flut an Fake News, die sich so schnell wie das Corona-Virus verbreiten. Zum Abschluss der Ad-hoc-AG "Faktizität der Welt" diskutierten Prof. Dr. Michael Butter (Tübingen), Ingrid Brodnig und Dr. Astrid Séville (LMU München/BAdW) über Verschwörungstheorien und ihre Folgen für Demokratie und Gesellschaft.

Das Pseudonym QAnon

Podcast · 7.4.2021

Wenn es um Verschwörungen geht, fällt immer wieder der Name "QAnon". Worum es dabei geht, und wie QAnon funktioniert und sich laufend weiterentwickelt, entschlüsselt die Verschwörungsexpertin Giulia Silberberger ("Der goldene Aluhut") in der Reihe "Fakt und Fake".

Verschwörungsglaube aus Sicht der Psychologie

Podcast · 8.4.2021

Steht man immer ganz und gar auf der Seite wissenschaftlicher Fakten, wenn es darum geht, sich zu informieren oder sich eine Meinung zu bilden? Welche Rolle spielen Wiederholungen für gefühlte Wahrheiten? Was passiert im Gehirn? Wie wirken sich Gruppendynamiken auf Verschwörungsglauben aus? Über das Phänomen Verschwörungstheorien aus Sicht der Psychologie spricht der Psychologische Psychotherapeut und Kognitionswissenschaftler Dr. Michael Öllinger in der Reihe "Fakt und Fake".

100 Tage Biden

Video · 27.4.2021

Am 20. Januar 2021 trat Joe Biden sein Amt als 46. Präsident der USA mit dem erklärten Ziel an, ein gespaltenes Land zu einen. Die Erwartungen an ihn sind groß. Über seine ersten Schritte im Amt – von der Ernennung seines Kabinetts bis zu programmatischen Grundsatzentscheidungen und politischen Weichenstellungen – sprach Prof. Dr. Heike Paul (Erlangen-Nürnberg/BAdW) mit Hubert Wetzel, dem USA-Korrespondent der Süddeutschen Zeitung. Eine Kooperation mit der Bayerischen Amerika-Akademie.

Gletscher im Klimawandel

Video · 29.4.2021

Der Klimawandel zeigt sich weltweit unmittelbar im Rückgang der Gletscher. Welche Aufgabe erfüllen sie im Ökosystem, und was lässt sich aus ihren Veränderungen ablesen? Der BAdW-Glaziologe Dr. Christoph Mayer berichtet aus seiner Arbeit.

Antisemitische Mythen

Podcast · 5.2021

Antisemitismus und Verschwörungsglaube sind eng miteinander verstrickt, auch gerade in jüngster Zeit. Auf Anti-Corona-Demonstrationen kommen Regierungskritik, Verschwörungsglaube, Holocaust-Verharmlosung und rechtes Gedankengut zusammen. Wie zieht sich die Anfeindung von Jüdinnen und Juden durch die Geschichte, und was bedeutet das für die Gegenwart? In der Reihe "Fakt und Fake" spricht Dr. Mirjam Zadoff (NS-Dokuzentrum München/BAdW).

58

image BROKER/Raimund Kutter; Ulrich Maumbarten/picture alliance

Im nächsten Heft: München

Geschichte(n) einer Stadt



Impressum

HERAUSGEBER Prof. Dr. Thomas O. Höllmann Präsident der Bayerischen Akademie der Wissenschaften (BAdW)

REDAKTION

Dr. Claudia Deigele, Dr. Ellen Latzin (el; verantwortlich), Dr. Isabel Leicht (il), Dr. Laura Räuber (Ir), Gabriele Sieber (sie; Bildredaktion), Susanne Vieser (vs)

VERLAG UND ANSCHRIFT Bayerische Akademie der Wissenschaften Alfons-Goppel-Str. 11, 80539 München Tel. 089/23031-1141, presse@badw.de ISSN 1436 -753X

ART DIRECTION Studio Umlaut, www.studio-umlaut.com

Daniela Wiesemann, www.danielawiesemann.de

BILDBEARBEITUNG Karin Martin

DRUCK

Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung,

Alexandrastr. 4, 80538 München

SoporSet Premium Offset 120 gr/m², LuxoArt Samt 200 gr/m²

"AKADEMIE AKTUELL"

erscheint 3 x jährlich. Der Bezugspreis ist im Mitgliedsbeitrag der Freunde der BAdW enthalten. Die Texte dürfen nur mit Genehmigung der BAdW reproduziert werden. Die Wiedergabe der Abbildungen ist mit den Inhabern der Bildrechte abzuklären. Namentlich gekennzeichnete Beiträge geben die Meinung der Autoren wieder. Sie finden das Magazin auch unter www.badw.de.

ZEITSCHRIFT ABONNIEREN www.badw.de/die-akademie/presse



Vergemeinschaftung durch Werte? Politische Kommunikation im Wandel

Werte sind ein zentrales Medium politischer Kommunikation. Damit gelingt es üblicherweise, Gemeinsamkeiten zu unterstellen oder herzustellen. Die politische Herstellung von Gemeinsamkeit wird jedoch immer schwieriger. Die Gesellschaft zeichnet sich durch ein steigendes Maß an Flexibilisierung und Individualisierung aus, und die politische Landschaft in Deutschland hat sich in den letzten Jahren massiv verändert. Es stellt sich die Frage, ob sich auch ein Formwandel politischer Kommunikation beobachten lässt. Darüber diskutieren Ferda Ataman, Politikwissenschaftlerin, Journalistin und ehemalige Redenschreiberin für Armin Laschet, Dr. Nils Minkmar, Historiker, Publizist und Journalist (Süddeutsche Zeitung) sowie MinR Wolfgang Silbermann, Volkswirt, Philosoph und Leiter des persönlichen Büros von Bundespräsident Frank-Walter Steinmeier. Es moderieren Dr. Julian Müller (LMU München) und Dr. Astrid Séville (LMU München/ Ad-hoc-AG "Zukunftswerte" der BAdW).

Was? Podiumsdiskussion der Ad-hoc-AG "Zukunftswerte der BAdW" Wo? Als Livestream unter www.badw.de Wann? Dienstag, 13. Juli 2021, 19.00 Uhr



Werte sind ein zentrales Mittel politischer Kommunikation, um Gemeinsamkeit herzustellen – nicht nur im Wahlkampf.



Zur Muse verklärt

Der Archäologe **Stefan Schmidt** über eine antike Ölflasche

Foto Renate Kühling

Ein Highlight der Staatlichen Antikensammlungen in München: eine griechische Lekythos. Anthropologe, Sprachwissenschaftler, Kunsthistoriker – als Archäologe muss man Allrounder sein, wie Prof. Dr. Stefan Schmidt. Die weißgrundige Lekythos begleitet den Archäologen seit der Habilitation – und hat nichts von ihrer Faszination eingebüßt. "Ein Bild sagt mehr als tausend Worte. Das klingt abgegriffen, trifft es aber genau", so Schmidt. Die bemalte Ölflasche wurde ca. 440 v. Chr. in Athen einer jungen Frau mit ins Grab gegeben. Der Maler rückt die Verstorbene, mit Kithara auf einem Fels sitzend, in den Bereich der Musen: "Frauen saßen damals nicht in der Landschaft herum, das hat einen tieferen Sinn." Der Schriftzug

"Helikon" verweist auf das Gebirge bei Theben, den sagenhaften Musensitz. Mit zartem Strich deutet der Maler bei der gegenüberstehenden Frau eine gerunzelte Augenbraue an und zeigt so, dass diese noch unter den Lebenden weilt und traurig auf die Verstorbene blickt. Es gäbe noch mehr zu erzählen – nachlesen kann man das in Band 87 des Corpus Vasorum Antiquorum. In dem Projekt arbeiten 25 Arbeitsstellen daran, alle bemalten griechischen Keramiken in Museen weltweit zu erfassen, auch digital. Wer sich das Lieblingsstück ansehen möchte, muss nicht bis Athen reisen: Die Haltestelle "Königsplatz" in München reicht aus.





JUNGES KOLLEG DER BAYERISCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

Die Bayerische Akademie der Wissenschaften ist eine außeruniversitäre Forschungseinrichtung von internationaler Bedeutung. Sie betreibt langfristige Grundlagenforschung in den Geistes-, Sozial-, Natur- und Technikwissenschaften. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sammeln, erheben und analysieren umfangreiche Datenmengen. Mit modernsten Methoden entstehen Editionen, Enzyklopädien, Wörterbücher, Datenbanken und Messreihen. Die Arbeitsergebnisse der Akademie bilden eine unverzichtbare Grundlage für weiterführende Forschungsvorhaben weltweit, zumeist sind sie online frei für die Öffentlichkeit und die Fachwelt zugänglich. Zur Bayerischen Akademie der Wissenschaften gehören außerdem mehrere Forschungsinstitute: das Leibniz-Rechenzentrum, das Walther-Meißner-Institut für Tieftemperaturforschung, das Bayerische Forschungsinstitut für Digitale Transformation und die Kommission für bayerische Landesgeschichte.

Das Junge Kolleg der Bayerischen Akademie fördert den exzellenten wissenschaftlichen Nachwuchs in Bayern. Drei Jahre lang gehören Nachwuchswissenschaftlerinnen und Nachwuchswissenschaftler der Gelehrtengemeinschaft an, tauschen sich untereinander aus und verfolgen ihre wissenschaftlichen und fachübergreifenden Vorhaben.

Ab März 2022 werden im Jungen Kolleg neue Stipendiatinnen und Stipendiaten aufgenommen. Die wichtigsten Kriterien für die Aufnahme in das Junge Kolleg sind:

- 1. Eine herausragende Promotion
- 2. Ein realistisches zukunftsweisendes Projekt, das für einen fächerübergreifenden Austausch geeignet ist. Das Vorhaben sollte sich deutlich von der Promotion abgrenzen und klare Angaben zu Zeitplan und Durchführbarkeit enthalten.
- 3. Bewerber und Bewerberinnen sind zum Zeitpunkt der Aufnahme jünger als 35 Jahre.

Die Mitglieder des Jungen Kollegs haben die Möglichkeit, als außerordentliche Mitglieder an den Veranstaltungen der Akademie aktiv teilzunehmen.

Sie entwickeln fachübergreifende Veranstaltungen sowie neue Forschungsinitiativen. Sie arbeiten in Bayern in der Regel an einer wissenschaftlichen Hochschule oder einer wissenschaftlichen Einrichtung und übernehmen die Verpflichtung, an den Veranstaltungen und Arbeitsgruppen des Kollegs teilzunehmen. Dabei haben Sie Gelegenheit, Ihre Forschungen vorzustellen und sich mit den anderen Kollegiatinnen und Kollegiaten sowie mit Spitzenwissenschaftlerinnen und Spitzenwissenschaftlern auszutauschen.

Bitte senden Sie uns ein fünfseitiges Konzept, aus dem Thema, Relevanz und Methode Ihres Projekts hervorgehen. Benennen Sie fachübergreifende Aspekte, die für Kollegveranstaltungen geeignet sind. Außerdem erwarten wir von Ihnen ein Konzept für einen interdisziplinären Workshop. Vorschlagsberechtigt sind die Leitungen aller Universitäten in Bayern, die Dekaninnen oder Dekane sowie die Leitungen der außeruniversitären Einrichtungen in Bayern. Eine Eigenbewerbung ist ebenfalls möglich. Außerdem sind zwei wissenschaftliche Gutachten von fachlich qualifizierten Personen beizulegen, die auch bereit sind, das Forschungsvorhaben als Mentoren zu unterstützen.

Das Forschungsstipendium ist jährlich mit 12.000 € dotiert und zunächst auf eine Förderdauer von drei Jahren angelegt. Im Falle einer erfolgreichen Evaluierung kann die Förderung um bis zu drei Jahre verlängert werden. Bewerbungen können ab dem 15.7.2021 mit dem unter http://jungeskolleg.badw.de bereitgestellten Anmeldeformular eingereicht werden.

Bewerbungsschluss ist der 30. September 2021.





MEDI THEK

BAYERISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN