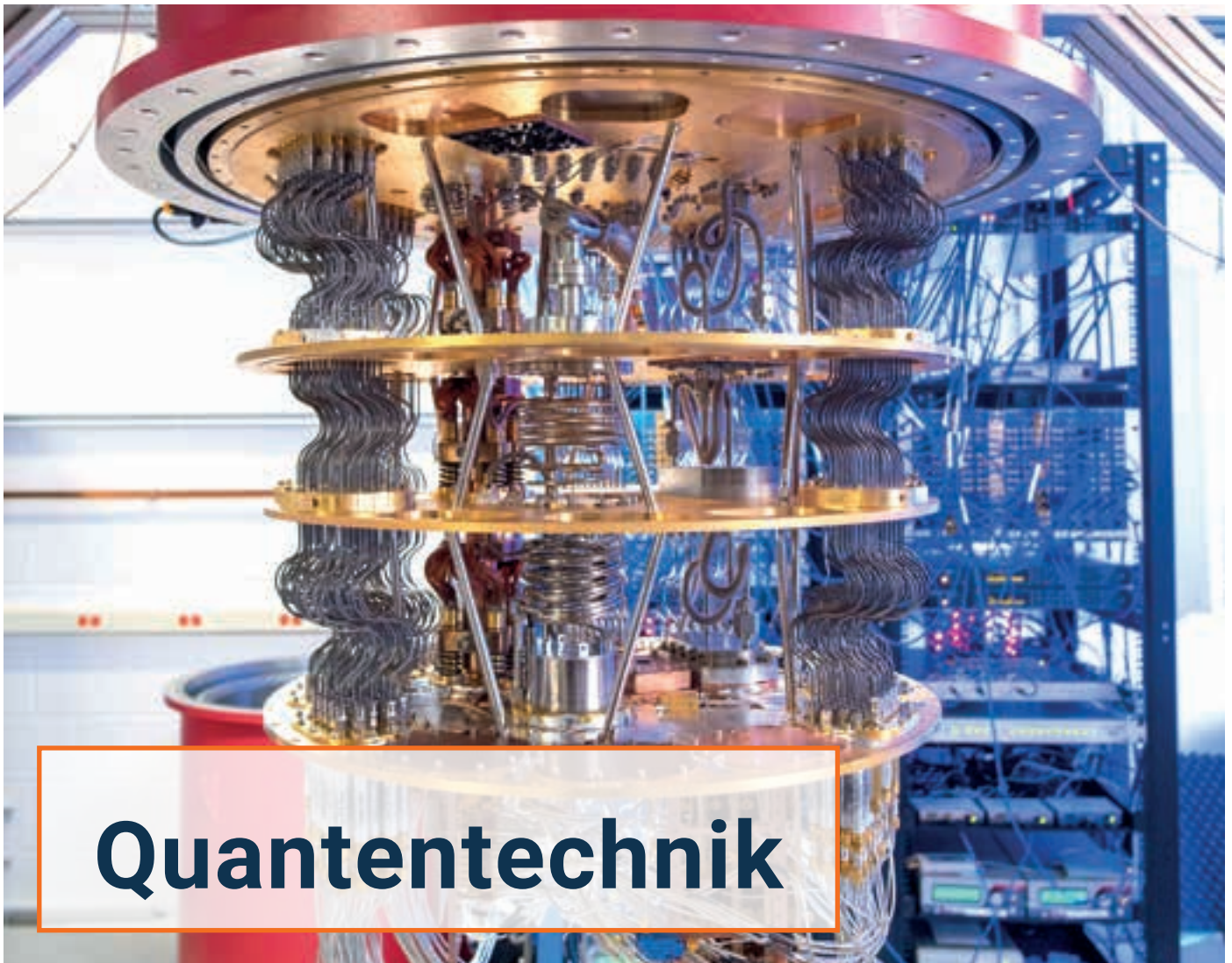


TECHNIK

IN BAYERN

Das Regionalmagazin für **VDI** und **VDE**



Quantentechnik

Eventkalender & Aktuelles
Richtiges Licht
VDI Award „Prädikat Ingenieurskunst“

SICHERHEITS EXPO München

24.–25. November 2021



Die Fachmesse für

- Zutrittskontrolle
- Videoüberwachung
- Brandschutz
- Perimeter Protection
- IT-Security



www.sicherheitsexpo.de



EDITORIAL



Foto: Silvia Stettmayer

Dipl.-Ing. Fritz Münzel
Chefredakteur

Die Heinzel- männchen vom Quantum Valley

Ein bisschen ist es mit den Quanten wie mit den Heinzelmännchen. Sie verrichten ihre Arbeit schnell und im Verborgenen, lieben die Dunkelheit, und wenn sie gestört werden verschwinden sie gleich wieder.

Die Idee ist schon alt, aber erst in neuerer Zeit ist es möglich geworden, einzelne Quantenobjekte wie Atome oder Ionen zu beobachten, zu manipulieren und für technische Anwendungen nutzbar zu machen. Diese sog. Zweite Quantenrevolution ist wissenschaftlich hochinteressant, aber noch interessanter für uns Ingenieure ist es, dass technische Anwendungen bereits vorhanden sind oder an der Schwelle stehen. Die prominenteste davon ist der Quantencomputer, an dem weltweit geforscht und entwickelt wird, und je nach Perspektive gibt es ihn schon, oder bald, oder noch lange nicht. IBM hat eine kommerzielle Version eines Quantencomputers jüngst unter Anwesenheit starker politischer und wissenschaftlicher Prominenz in Deutschland vorgestellt, und mit der Eröffnung des „Quantum Integration Centre“ am Leibniz-Rechenzentrum (LRZ) in Garching unterstreicht Bayern sein starkes Interesse an der Stärkung des Forschungsstandorts.

Der Verbund „Munich Quantum Valley“ will in den kommenden zehn Jahren die Entwicklung der Quantenwissenschaft und -technologie weiter vorantreiben. Neben der TU München gehören die Bayerische Akademie

der Wissenschaften, die Fraunhofer-Gesellschaft, die LMU München und die Max-Planck-Gesellschaft zu den Gründern des Netzwerks.

Über den Computer hinaus geht es dabei um weitere interessante und praxisnahe Anwendungen: Sensorik, Medizintechnik, Kommunikationstechnik und Radartechnik gehören dazu. Neben einer Förderung vom Freistaat über 300 Mio. Euro für die nächsten fünf Jahre sind Mittel vom Bund und der EU zugesagt.

Zehn deutsche Konzerne haben mit Gründung des Quantum Technology and Application Consortium (QUTAC) eine gemeinsame Grundlage für die Entwicklung von Quantencomputing-Technologien gelegt. Man will es diesmal nicht verschlafen, Forschungsergebnissen zu wirtschaftlichem Durchbruch im Lande zu verhelfen, und nicht nur anderswo Dollars und Yuans generieren.

Viel Spaß bei der Lektüre dieses Heftes, und wenn Sie bei dieser spröden aber faszinierenden Materie etwas nicht gleich verstehen, ist das ganz normal, weil sie sehr gewohnungsbedürftig ist. Wir mussten uns ja auch erst daran gewöhnen, dass die nicht weniger faszinierenden elektromagnetischen Wellen für viele Anwendungen verantwortlich sind, wie z.B. das Mobiltelefon, die Mikrowelle, die LED-Lampe oder den Computertomographen.

Fritz Münzel

iENA
Internationale Fachmesse
• Ideen
• Erfindungen
• Neuheiten
4.–7. Nov. 2021
Halle 12
iena.de

4.+ 5.11. 2021
**iINNOVATIONS
KONGRESS**
Messe Nürnberg · NCC West



- Perspektiven schaffen. Jetzt!
- Innovationen erfolgreich managen
- Patente, Schutzrechte, Fördermöglichkeiten
- Kreativität und Innovationsentwicklung

Partner:



2-Tages Kongressticket
€ 80,- statt € 120,-
Promocode: TIB21INKO
www.iena.de/ticket

Außerdem während der iENA:

6.+7. November 2021
H Hack & Make
Das Kreativ- und Technikfestival

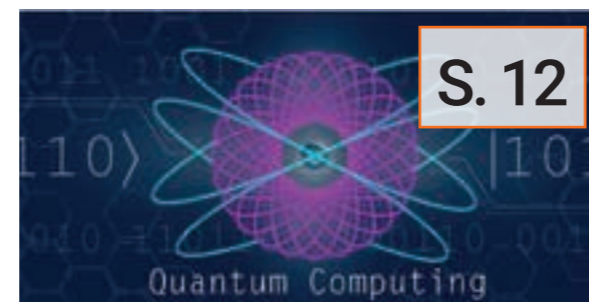
Quantentechnik

Kürzlich wurde das „Munich Quantum Valley“ gegründet, eine Initiative, um die Quantentechnik voranzubringen. Sie beschäftigt sich u. a. mit künftigen Revolutionen bei der Kommunikationstechnik, der Datensicherheit, der Sensorik und der Rechentechnik.

Quantenlichtquelle, entwickelt vom Exzellenzcluster MCQST an der TU München

SCHWERPUNKT

Quantentechnologien machen seltsame Effekte nutzbar Tommaso Calarco, Daniele Binosi	06
Wir machen das Quanten-Bios Gespräch mit Monika Aidelsburger	09
Quantencomputer trifft Halbleitertechnik Wolfram Langheinrich, Sebastian Luber	12
Es muss nicht immer Quantencomputing sein Jens Anders	14
PushQuantum: Mehr als nur ein Quäntchen Bildung Franz von Silva-Tarouca, Benjamin Schiffer	16
Quantenradar Frank Deppe, Kirill Fedorov, Achim Marx, Kedar Honasoge, Markus Peichl, Florian Bischeltsrieder, Wolfgang Utschick, Johannes Russer, Michael Würth, Baris Güzelarlan, Fabian Kronowetter	18
Quantenoptik – die Zukunft der Mikroskopie? Markus Gräfe	20
Magnetisches Kühlen in der Quantentechnologie Felix Rucker	22
Von Quantenkopierern und Überlichtgeschwindigkeit Der historische Hintergrund von Eckhard Wallis	24
Klassische Kommunikationsnetze + Quantentechnologie Christian Deppe und Janis Nötzel	26



Quantencomputer – wie weit ist die Entwicklung wirklich?

INHALT

HOCHSCHULE UND FORSCHUNG

Weniger Anstrengung bei richtigem Licht Christiane Taddigs-Hirsch, Hochschule München	30
Die Welt ein Stück besser bauen Technische Hochschule Ingolstadt	37

AKTUELLES

VDI BV Bayern Nordost: JMV 2021	31
VDI fib München: Umgang mit Geld	32
VDE Bayern: Zukunftsforum 2021	33
VDI Landesverband Bayern: Quantenwelt	34
VDI Young Engineers München	36
VDI BV Bayern Nordost: DMN öffnet bald	38
VDI München: Aktuelles Forum Technik	41
VDE Bayern: VDE Bayern Abend 2021	41
VDI BV Bayern Nordost: Homeoffice	42
VDI München: Kunst motiviert	43
VDI BV Bayern Nordost: Satzungsänderung	44

RUBRIKEN

Veranstaltungskalender	39
Buchbesprechungen	48
Ausstellungstipp	49
Impressum	49
Cartoon	50
Vorschau	50

Titelbild: So sieht der "Kühlschrank" des Quantencomputers aus
Foto: Google

Beilagenhinweis – MEORGA
Wir bitten um freundliche Beachtung.

VDI Landesverband Bayern
VDI Bezirksverein München, Ober- und Niederbayern e.V.
Westendstr. 199, D-80686 München
Tel.: (0 89) 57 91 22 00, Fax: (0 89) 57 91 21 61
www.vdi-sued.de, E-Mail: bv-muenchen@vdi.de

VDI Bezirksverein Bayern Nordost e.V.
c/o Ohm-Hochschule, Keßlerplatz 12, D-90489 Nürnberg
Tel.: (09 11) 55 40 30, Fax: (09 11) 5 19 39 86
E-Mail: vdi@th-nuernberg.de

VDE Bayern, Bezirksverein Südbayern e.V.
Heimeranstraße 37, D-80399 München
Tel.: (0 89) 91 07 21 10, Fax: (0 89) 91 07 23 09
www.vde-suedbayern.de, E-Mail: info@vde-suedbayern.de

MEORGA

MSR - Spezialmessen

Prozess- u. Fabrikautomation

Fachmesse für
Prozess- und Fabrikautomation

- Messtechnik
 - Steuerungstechnik
 - Regeltechnik
 - Automatisierungstechnik
 - Prozessleitsysteme
- + Fachvorträge

Der Eintritt zur Messe und die Teilnahme an den Fachvorträgen ist für die Besucher kostenlos.

Wirtschaftsregion **Südost**

Landshut

27.10.2021

8.00 bis 16.00 Uhr

Sparkassen-Arena
Niedermayerstr. 100
84036 Landshut

Zur erforderlichen Besucher-Registrierung:
www.meorga.de oder
QR-Code scannen

Messebesuch nur nach
3G-Regelung
mit Nachweis

GEIMPFT · GENESEN · GETESTET



MEORGA GmbH - Sportplatzstr. 27 - 66809 Nalbach
Telefon 06838 8960035 - info@meorga.de

Ein Überblick

Quantentechnologien machen seltsame Effekte nutzbar

Quantentechnologie bezeichnet eine Reihe von aufkommenden Technologien, die sich die Fähigkeit zunutze machen, einzelne Quantenobjekte – in der Regel einzelne Atome, Elementarteilchen (wie Photonen) oder auch mikroskopische elektronische Schaltkreise – zu manipulieren, um bestimmte Funktionen auszuführen.

Die so genannte „erste Quantenrevolution“, d. h. das Verständnis und die Anwendung physikalischer Gesetze im mikroskopischen Bereich, die in den 1920er Jahren begann, führte zur Entwicklung innovativer Technologien wie dem Transistor (der Basis heutiger Mikroprozessoren), dem Laser, der Festkörperbeleuchtung (LED, Light Emitting Diode) und damit zu Systemen für die Kommunikation, die Navigation und zur Leistungsregelung bis zum Energietransport mit Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung, um nur einige zu nennen. Seit Anfang der 2000er Jahre findet jedoch eine "zweite Quantenrevolution" statt, bei der die eigenartigsten Aspekte der inzwischen etablierten Quantentheorie, nämlich die Superposition (dank derer ein Quantenobjekt gleichzeitig in verschiedenen Zuständen sein kann) und die Verschränkung (dank derer zwei Quantenobjekte perfekt korreliert sind und wir bei Kenntnis des Zustands des einen mit Sicherheit den Zustand des anderen kennen, unabhängig von der Entfernung, die sie trennt), als Ressourcen für die Entwicklung von Technologien verwendet werden, die in der klassischen Welt keine Entsprechung haben. Das entzieht sich dem anschaulichen Verständnis – nicht aber der Nutzung, derzeit in den vier Hauptbereichen Quantenkommunikation, Quantencomputing, Quantensimulation und Quantensensorik.

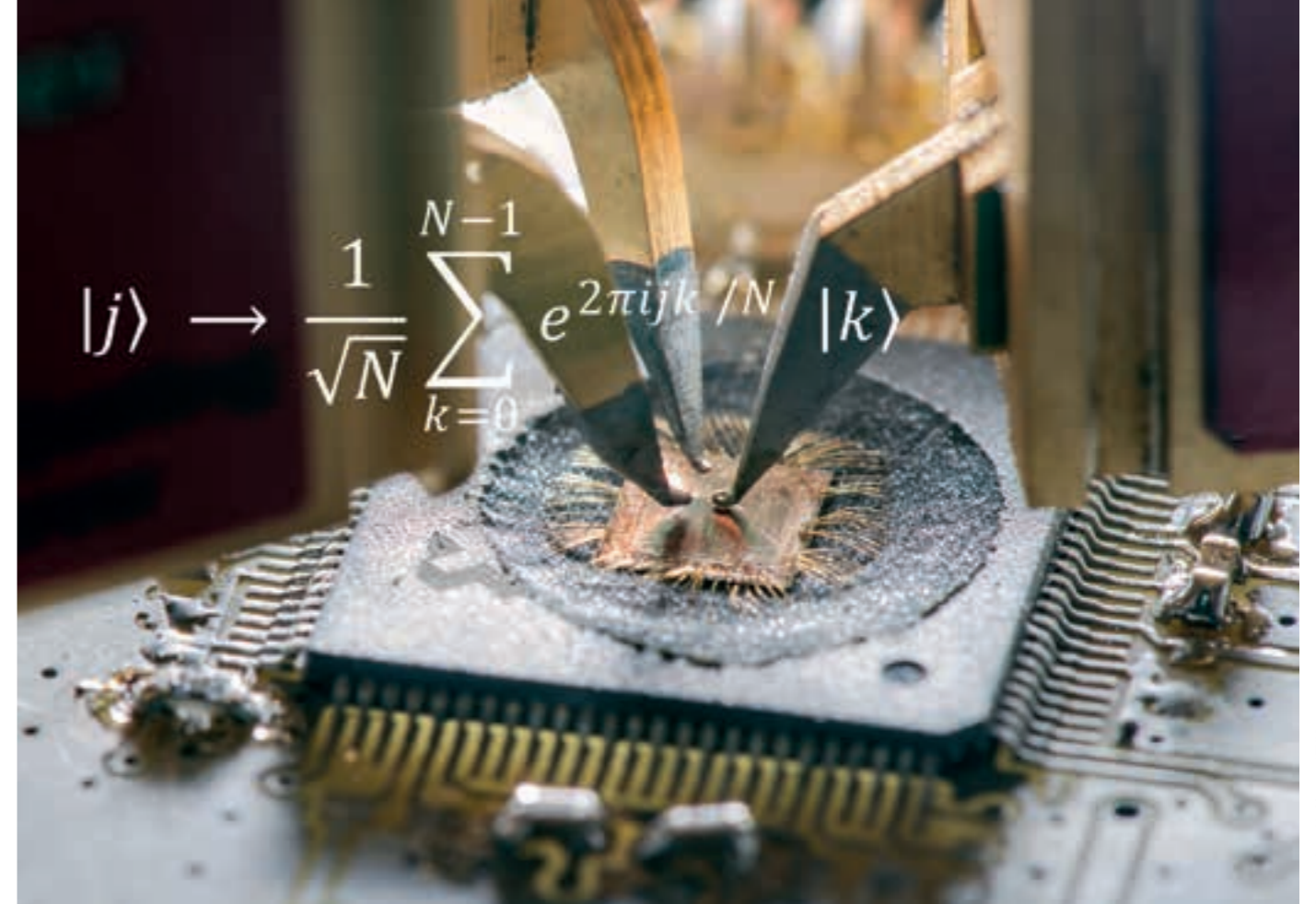
Quantenkommunikation

Typischerweise bauen Quanten-Kommunikationsprotokolle auf Quanten-Zufallszahlengeneratoren, (Quantum Random Number Generator, QRNG) auf, um geheime Quanten-Schlüssel zu erzeugen und diese für die sichere gemeinsame Nutzung in kryptographischen Anwendungen zu verteilen (QKD, Quantum Key Distribution). QRNG ist eine der unmittelbarsten Anwendungen der Quantenphysik, mit mehreren Anwendungen in der Kryptographie, numerischen Simulationen und sogar digitalen Spielen. Die Idee ist einfach: Da die Quantenphysik die einzig wahre Quelle für Zufälligkeit in der Natur ist, stellt sie auch eine ideale Lösung für die Erzeugung von wirklich zufälligen Bitströmen dar (im Gegensatz zu der klassisch verwendeten Pseudo-Zufalls-generierung). Der archetypische QRNG ist ein extrem einfaches Gerät, bei dem ein Photon auf einen Strahlteiler auftrifft und anschließend von einem von zwei nachgeschalteten Detektoren absorbiert und mit den Bitwerten 0 und 1 assoziiert wird. Die Grundidee der QKD ist wiederum ganz einfach: Nach der Quantenphysik stört die bloße Tatsache der Beobachtung eines Quantenobjekts dieses irreparabel; wenn Sie also den Wert eines Bits auf einem einzelnen Quantenobjekt (Qubit) kodieren, führt sein Auslesen zwangsläufig zu einer Störung. Diese Störung verursacht Fehler in der Folge der zwischen Sender und Empfänger ausgetauschten (Qu)Bits: Durch die Überprüfung auf solche Fehler können die beiden Parteien verifizieren, ob ein Lauscher Informationen über den übertragenen Schlüssel erhalten konnte. Es sei darauf hingewiesen, dass QKD die einzige bekannte kryptografische Technik ist, die heute die Vertraulichkeit von Nachrichten gegen einen Angriff durch

einen Quantencomputer (siehe unten) garantieren kann. Durch die Verbindung mehrerer QKD-Knoten kann man im Prinzip ein Quantennetzwerk schaffen, das die Konnektivität zwischen einer großen Gruppe von Nutzern, das flexible Hinzufügen neuer Akteure sowie die Erweiterung der Kommunikationsdistanz von Punkt-zu-Punkt Verbindungen ermöglicht. Die Realisierung eines echten Quantennetzwerks, das in der Lage ist, große Entfernungen zu überbrücken, ist jedoch eine sehr schwierige Herausforderung, denn man kann keine einfachen Verstärker benutzen, da diese die Quanteninformation zerstören würden. Die Entwicklung eines echten Quantenrepeaters würde eines der Haupthindernisse auf dem Weg zur Realisierung eines Quanteninternets beseitigen.

Quantencomputing

Die Realisierung von Quantencomputern ist die mühsamste, aber auch faszinierendste Herausforderung. Diese Maschinen versprechen eine unvorstellbare Rechenleistung für die Lösung einiger wichtiger Problemtypen, die derzeit selbst für die leistungsstärksten Supercomputer unlösbar sind. Quantencomputer basieren auf Qubits, die im Gegensatz zu klassischen Bits gleichzeitig die Werte 0 und 1 annehmen können. Mit Hilfe von Logikgattern, die die Verschränkung zwischen verschiedenen Qubits nutzen, verhält sich ein Quantencomputer wie ein massiv paralleles Gerät, das in der Lage ist, eine exponentiell große Anzahl von gleichzeitigen Operationen durchzuführen. 1994 entwickelte der amerikanische Informatiker Peter Shor einen Quantenalgorithmus, der die Primfaktoren von beliebig großen Zahlen viel schneller bestimmen kann als bekannte klassische Algorithmen. Damit



TUM Forschung zur quantencomputerresistenten Kryptografie: Sonden mit Spulen von ca. 150µm Durchmesser messen die elektromagnetische Abstrahlung über einem Chip. Aus dieser Abstrahlung kann man geheime kryptographische Schlüssel, die gerade im Chip verarbeitet werden, mit Hilfe sogenannter Seitenkanalattacken bestimmen. Diese Angriffe sind auch bei Post Quantum Kryptographie möglich und müssen durch geeignete Gegenmaßnahmen verhindert werden. Die eingblendete Formel ist ein vom TUM Lehrstuhl für Sicherheit in der Informationstechnik, Prof. Dr.-Ing. Georg Sigl, erstellter Fotolayer und beschreibt die Quanten-Fouriertransformation, die Grundlage für den Shor-Algorithmus ist, der für das Entziffern oder "Knacken" klassischer Kryptographie genutzt werden kann und der die Motivation für die Entwicklung der Post Quanten Kryptographie ist

ist es möglich, die gängigen unsymmetrischen Schlüssel, die wir z. B. zum Schutz unserer E-Mails oder wirtschaftlicher Transaktionen im Netz verwenden, zu brechen. Diese Schlüssel basieren auf der Tatsache, dass es zwar einfach ist, zwei große Zahlen zu multiplizieren, die umgekehrte Operation, d. h. die Zerlegung in Primfaktoren, jedoch sehr schwierig ist und auch mit heutigen Supercomputern sehr lange dauern würde.

Doch es gibt weitere wichtige Anwendungsfelder. Die Liste reicht von der Suche nach Daten in unstrukturierten Datenbanken über die Optimierung komplexer Systeme mit vielen Freiheitsgraden (z. B. in der Logistik oder der Verkehrsflussanalyse) bis hin zu Anwendungen im maschinellen Lernen und der künstlichen Intelligenz. Kein Wunder also, dass die großen globalen IT-Unternehmen (bisher Google, IBM, Intel, Microsoft und Alibaba) massiv in die Entwicklung eigener Quan-

tencomputer und der entsprechenden (und ebenso wichtigen) Software-Infrastruktur investieren. IBM hat am 15. Juni 2021 mit hoher politischer Teilnahme und großem Medienecho in Inningen Europas leistungsstärksten kommerziellen Quantencomputer vorgestellt. Er arbeitet mit 27 Qubits und ist über eine Cloud ansprechbar. Damit soll die industrielle Nutzung in Deutschland und Europa angestoßen werden.

Doch es sind noch viele Herausforderungen zu bewältigen, bevor solche Geräte den Prototypenstatus verlassen können. Zum einen konnte noch nicht demonstriert werden, dass ein existierender Quantencomputer in der Lage ist, ein Problem von besonderem praktischen Interesse zu lösen, das auf keine andere Weise angegangen werden kann, wie z. B. die Berechnung der elektronischen Struktur eines Moleküls – ein Problem, das die Modellierung mehrerer Quanten-

wechselwirkungen erfordert. Darüber hinaus muss die Quantenüberlegenheit in einem Algorithmus mit Fehlerkorrektur bewiesen werden – eine Methode zur Korrektur von dekohärenzbedingten Fehlern, die durch den Abbau der Verschränkung sowohl die Länge des zuverlässig ausführbaren Codes als auch die maximale Anzahl von Qubits, die miteinander verknüpft werden können, begrenzt. Auf theoretischer Ebene werden nämlich je nach Hardware-Fehlerrate und Länge des Algorithmus Millionen oder Milliarden physikalischer Qubits benötigt, um ein paar Tausend fehlerfreie logische Qubits zu erzeugen. Wenn man schließlich bedenkt, dass es mehrere physikalische Systeme gibt, die für Quantencomputer in Frage kommen, jedes mit spezifischen Vor- und Nachteilen (z. B. ultrakalte Atome und Ionen, supraleitende Schaltkreise, künstliche Atome in halbleitenden Schaltkreisen und andere), wird klar, dass der Bau von Quantencomputern eine riesige

wissenschaftliche Herausforderung ist, deren Bewältigung wahrscheinlich mehrere Jahrzehnte dauern wird.

Quantensimulation

Bezogen auf die Schwierigkeiten, auf die man im Bereich des Designs und der Implementierung von Quantencomputern stößt, sind besonders die Quantensimulatoren interessant: Geräte, die eine ähnliche physikalische Struktur wie Quantencomputer haben, von denen sie sich dadurch unterscheiden, dass sie speziell der Simulation der Dynamik bestimmter komplexer Systeme und/oder der Untersuchung synthetischer Materialien gewidmet sind. Der Hauptvorteil von Simulatoren liegt in ihrer höheren Fehlertoleranz. Die Idee geht auf den amerikanischen Physiker Richard Feynman zurück (1982). Es gibt bereits interessante Anwendungen für die Grundlagenforschung, aber auch für die Industrie, wo sie der Schlüssel zum Design neuer Chemikalien, von Medikamenten bis zu Düngemitteln für die Medizin und Landwirtschaft der Zukunft, und neuer Materialien, wie Hochtemperatur-Supraleiter sein könnten. Mit Hilfe einfacher Modelle von Quantensystemen helfen Quantensimulatoren, das Verhalten größerer Systeme zu verstehen, die sonst viel schwieriger, wenn nicht gar unmöglich zu beschreiben wären. Jüngste Fortschritte in der Kontrolle und Manipulation von Quantensystemen

haben die Realisierung von Prototypen solcher Simulatoren von beträchtlicher Größe ermöglicht: z. B. Systeme von ultrakalten Atomen in optischen Gittern mit hunderten oder tausenden von wechselwirkenden Bestandteilen, Register von Rydberg-Atomen in optischen Pinzetten oder einzelne Photonen, die sich in Arrays von Wellenleitern und/oder Resonatoren ausbreiten.

Quantensensoren

Quantenzustände, insbesondere die Eigenschaften der Verschränkung und der Superposition, sind sehr empfindlich gegenüber der Umgebung. Während diese inhärente Fragilität im Fall von Quantenkommunikation, -computern und -simulatoren problematisch ist, wird sie für Quantensensoren zu einem Vorteil. Man erreicht damit deutlich höhere Genauigkeiten und Detektionsempfindlichkeiten als es mit aktuellen klassischen Techniken möglich ist. Der Anwendungsbereich ist riesig: Positionierungssysteme; Atomuhren; Gravitations-, elektrische und magnetische Felddetektoren; Kraft-, Druck- und Temperatursensoren; Messstandards; Kernspinresonanz; Spektroskopie, Mikroskopie und ultrahochauflösende Bildgebung.

Ausblick

Ein Jahrhundert nach der Geburt der Quantenmechanik können wir jetzt ihre Grenzen bis zur Kontrolle einzelner

Quantenfreiheitsgrade verschieben. Nun kommt es darauf an, aus dieser Fähigkeit Produkte und Dienstleistungen zu generieren, mit denen sich letztlich dann auch der wirtschaftliche Erfolg einstellt. So soll in Deutschland nach den Empfehlungen der nationalen Roadmap Quantencomputing [1] in fünf Jahren ein international wettbewerbsfähiger Quantenrechner realisiert werden, um dann in fünf bis zehn Jahren einen Quantenvorteil für praxisrelevante Anwendungen zu demonstrieren und nach zehn Jahren mit souveräner Technologie mit an der Spitze des internationalen Wettbewerbs zu stehen. In zehn bis fünfzehn Jahren soll schließlich ein fehlerkorrigiertes System zur Lösung einer universellen Klasse an Problemen zur Verfügung gestellt werden, um einen breiten Nutzen für Wirtschaft und Gesellschaft zu erzielen.

Prof. Dr. Tommaso Calarco

Forschungszentrum Jülich

Daniele Binosi

European Centre for theoretical studies in Nuklear Physics and related Areas ECT, Trient*

Quellen

[1] <https://www.quantentechnologien.de/fileadmin/public/Redaktion/Dokumente/PDF/Publikationen/Roadmap-Quantencomputing-bf-C1.pdf>

Deutsches Museum München Technologie-Revolution auf fünf Quadratzentimetern

Das kleine Ding – 2 mal 2,5 Zentimeter groß – verkörpert eine technologische Revolution: Im Oktober 2019 geschah in den US-Laboren von Google etwas, wovon Computerspezialisten lange geträumt hatten: Die erste Rechenoperation mit einem Quantencomputer, mit der seine Überlegenheit gegenüber normalen Computern experimentell nachgewiesen wurde. 200 Sekunden habe der Computer für eine Operation gebraucht, für die ein herkömmlicher Superrechner 10.000 Jahre gebraucht hätte. Das Herz dieses Computers: ein Quantenprozessor namens Sycamore. Ein solcher Prozessor wurde jetzt an das Deutsche Museum übergeben.

Quelle: Deutsches Museum



Der Sycamore-Quantenprozessor von Google

Foto: Deutsches Museum/Hubert Czech

Wir machen das Quanten-Bios

Gewaltige Fortschritte in der Experimentalphysik ermöglichen die Beobachtung und Manipulation einzelner Quantenobjekte, wie Atome oder Photonen. Über heutige Anwendungen und Zukunftsperspektiven dieser Technologie sprachen wir mit Frau Prof. Dr. Monika Aidelsburger, Fakultät für Physik der LMU München.



Foto: Krupp-Stiftung/Brighte Kraemer

Prof. Dr. Monika Aidelsburger

TiB: Eines Ihrer Forschungsgebiete ist die Quantensimulation. Was versteht man darunter und welche Probleme sollen damit gelöst werden?

Monika Aidelsburger: Im Moment sind Quantensimulationen hauptsächlich für Probleme in der Materialforschung bekannt. Wir gehen aber davon aus, dass die Anwendungsgebiete in der Zukunft stark ausgeweitet werden. Prinzipiell

kann man die Eigenschaften von Materialien aus den Gesetzen der Quantenmechanik ableiten, aber geschlossen geht das nur für sehr einfache Fälle und selbst dann stoßen heutige Supercomputer sehr schnell an Grenzen. Die Hoffnung ist mithilfe der überlegenen Rechenleistung von Quantencomputern diese Modelle lösen zu können. Bis zu einem universellen Quantencomputer ist allerdings noch ein weiter Weg, daher setzen wir im Moment auf sogenannte Quantensimulationen. Quantensimulatoren sind speziell auf ein Problem, wie z.B. vereinfachten Modellen zur Erklärung von Hochtemperatur Supraleitung, zugeschnitten. Ein Problem, das oft genannt wird, ist die Hochtemperatur Supraleitung oder komplexer Magnetismus. Um komplexe Probleme in der Festkörperphysik zu lösen, formuliert man zuerst einfache Modelle. Das berühmteste ist das sog. Hubbard Modell, welches die Bewegung und Wechselwirkung von Elektronen in einem Kristall beschreibt. Aber selbst für dieses sehr einfache Modell kommt man mit unseren klassischen numerischen Algorithmen schnell an Grenzen.

TiB: Was ist das Problem dabei?

Aidelsburger: Das grundlegende Problem ist, dass es sich um quantenmechanische Prozesse handelt und deswegen die Komplexität von Berechnungen mit der Anzahl der Teilchen exponentiell ansteigt. Und jetzt ist die Idee von einem Quantensimulator, dieses Modell mit gut kontrollierbaren quantenmechanischen Teilchen direkt nachzubauen, um dann die Eigenschaften der vielen miteinander wechselwirkenden quantenmechanischen Teilchen direkt im Labor zu untersuchen. Man muss also die Struktur dieses sehr speziellen Quantencomputers an die Struktur des Problems anpassen. Tatsächlich können wir aktuell einige Modelle bereits mit mehreren tausend Teilchen simulieren.

TiB: Wie schätzen Sie die Wünsche der Chemiker ein, Substanzen auf dem Rechner synthetisieren zu können?

Aidelsburger: Das ist ein ganz wichtiger Punkt für die Anwendungsseite. Viele von diesen Fragestellungen, gerade aus der Chemie, aber auch andere Optimierungsprobleme, wie das berühmte Traveling Salesman Problem, sind Kandidaten für den Quantencomputer. Dabei muss man aber sehen, welche Struktur oder Plattform eines Quantencomputers sich am besten zur Lösung des jeweiligen Problems eignet. Die bekannteste Plattform ist der gatterbasierte Computer. Dabei werden beispielsweise mit einem kontrollierten NOT-Gatter, dem CNOT-Gatter, benachbarte Qubits miteinander verschränkt und Algorithmen implementiert, an deren Ende dann die Lösung des Problems steht. Eine zentrale Frage ist dabei die sog. Konnektivität der Plattform, d.h. ob es möglich ist Verschränkung auch zwischen weit entfernten Qubits herzustellen. Aber auch dazu verfolgen wir eine erfolgversprechende Methode, die auf optischen Pinzetten basiert: Das sind stark fokussierte Laserstrahlen, mit denen man ein Atom nimmt und dann über das Gitter kontrolliert zu dem anderen Atom bringt, dort eine CNOT Gatter Operation oder ein ähnliches zwei-Qubit Gatter ausführt und das Atom wieder zurücktransportiert. Mit dieser Methode kann man alle Atome miteinander „sprechen“ lassen. Diesen Ansatz verfolgen wir mit neutralen Atomen in optischen Gittern. Eine erfolgreiche Umsetzung würde die Realisierung eines Quantencomputers mit voller Konnektivität bedeuten. Eine andere Plattform beruht auf adiabatischen Algorithmen mit denen man versucht, den Grundzustand von quantenmechanischen Systemen zu präparieren und dann durch langsames Verändern der Kopplungsparameter den Grundzustand von einem neuen Vielteilchensystem zu finden. Der Grundzustand von diesem

neuen System ist dann die Lösung des Optimierungsproblems oder der Grundzustand für das simulierte Molekül.

TiB: Wo kommen wir an die Grenzen der Simulation, was können wir dabei nicht so gut lösen?

Aidelsburger: Ich denke die Grenzen der Simulationen sind immer modellbasiert. Da ist einfach die große Frage, welche Modelle kann man gut implementieren und welche davon sind dann auch interessant für Anwendungen, die nicht rein auf Grundlagenforschung beschränkt bleiben.

TiB: Das „Munich Quantum Valley“ soll Bayerns Beitrag zur nationalen und europäischen Quantenstrategie werden. Sind durch die jüngste EU-Ausschreibung noch wesentliche Aspekte hinzugekommen, und wie ist der derzeitige Projektstand?

Aidelsburger: Die EU Ausschreibung ist ohne Frage von großer Bedeutung für die europäische Zusammenarbeit im Bereich der Quantentechnologien. Für mich persönlich war allerdings im Moment die bayerische Förderung und die vom Bund und dem BMBF besonders relevant. Der wirklich große neue Schwung kam dann vor kurzem mit Munich Quantum Valley, da hat sich doch noch mal eine andere Größenordnung aufgetan.

Man darf auch die lokale Vernetzung nicht unterschätzen. Wir haben viele europäische Partner mit denen wir sehr gut an wichtigen Förderlinien zusammenarbeiten. Durch das Munich Quantum Valley haben sich die verschiedenen Forschungsgruppen lokal sehr stark vernetzt, auch mit den lokalen Firmen, das ist doch noch mal was ganz anderes. Was da in die Wege geleitet wurde und wie viel Motivation jetzt auch dahintersteckt, ist schon eine ganz andere Dimension.

TiB: Man versucht Bayern voranzubringen, und Bayern hat nochmal kräftig draufgesattelt mit den Fördergeldern.

Aidelsburger: Das merkt man natürlich schon. Aber es ist auch extrem teuer und aufwändig diese Sachen zu entwickeln, selbst 2 Milliarden, auch wenn sich das nach viel anhört, sind in dem großen Bereich Quantencomputer-Entwicklung schnell aufgebraucht.

TiB: Gibt es einen Zeitplan, bis wann jetzt Entscheidungen fallen sollen?

Aidelsburger: Nicht direkt. Ein Projekt zum Quantencomputer auf der Basis unserer Gitterplattform, das wir beim BMBF eingereicht haben, sollte in diesem Sommer loslaufen. Das ist natürlich auch super, dass da jetzt nicht noch irgendwie ein Jahr dazwischen ist, sondern dass wir den Schwung mitnehmen und anfangen, also ich hoffe dass es auch klappt.



TiB: Nach der Grundlagenforschung kommt die Verbindung zu sinnvollen Anwendungen und zum industriellen Einsatz. Wie gut funktioniert die Achse Wissenschaft und Industrie bereits jetzt?

Aidelsburger: Ja, das war bisher immer unser schwächster Punkt. Es gibt in Deutschland relativ wenige Startups.

Aber die Lage verbessert sich jetzt langsam, denn durch die bayerischen und BMBF Förderlinien ist doch sehr viel losgetreten worden. Auch die Achse mit der Industrie ist jetzt im Aufbau, aber da müssen wir von der Grundlagenforschung aus natürlich auch erstmal liefern. Wir müssen erstmal etwas haben, womit man erste Berechnungen, auch wenn es nur kleine sind, laufen lassen kann und wo man sich dann

mit kleinen Programmen über die cloud einloggen und sehen kann, wie das alles funktioniert.

TiB: Wie ist die Situation bei der Ausbildung?

Aidelsburger: Es gibt seit dem letzten Wintersemester einen zusätzlichen Quantentechnologie Master-Studiengang, den wir an der LMU und TU entwickelt haben, und der vereint jetzt alles was mit Quantentechnologien zu tun hat. Dabei ist es sehr wichtig zu definieren, was jemand, der später in diesem Bereich arbeiten soll, denn eigentlich können muss.

TiB: IBM und Google sagen ja, dass sie schon einen Quantencomputer haben. Was halten Sie von diesen Aussagen und warum machen wir dann überhaupt eine eigene Entwicklung?

Aidelsburger: Das ist ein Missverständnis, das an der Definition des Wortes „Quantencomputer“ liegt. Die letzte veröffentlichte Zahl ist 53 Qubits, mit denen sie Berechnungen durchgeführt haben. Das entspricht aber nicht der Definition eines Quantencomputers, weil die Gatteroperationen natürlich fehlerbehaftet sind. Um Algorithmen laufen zu lassen, die dann auch anwendungsrelevante Ergebnisse liefern, müssen entweder die Gatteroperationen selber um Größenordnungen besser werden, oder man muss fehlerkorrigierte Qubits realisieren können. Die robustere Implementierung ist, viele physikalische Qubits zu einem logischen Qubit zusammenzufassen. Das generiert einen relativ großen Overhead, man ist schnell beim Faktor 1000 bis 10.000. Mit 50 physikalischen Qubits hätte man dann also nicht einmal ein einziges logisches Qubit. Die Alternative wäre, dass die Gatteroperationen selber um so viel besser werden. Aber das scheint eher unrealistisch zu sein. Es gibt einfach noch keinen etablierten Weg. Wir befinden uns noch in der Grundlagenforschung und die ist äußerst wichtig und darf nicht übersprungen werden.

TiB: Wo stehen wir bei den fehlerkorrigierenden Verfahren?

Aidelsburger: Meines Wissens wurde eine wirkliche Implementierung noch nicht gezeigt, das ist noch Gegenstand der For-

schung. Es gibt einige Ansätze, aber bis jetzt keinen etablierten Weg.

Was aber jetzt von theoretischer Seite entwickelt wird ist der Ansatz, dass man nicht nur mit verschränkten Paaren von Qubits arbeitet, sondern einige wenige Qubits nimmt. Die sind stabiler und weniger fehleranfällig. Da kann man sich auch vorstellen, dass auch noch deutlich effizientere Algorithmen kommen werden. Es lässt sich immer schwer vorhersagen, was in den nächsten paar Jahren passiert. Man muss bei aller Euphorie immer auch vorsichtig sein und sich bewusst machen, dass man hier Grundlagenforschung betreibt und keinen exakten Projektplan formulieren kann.

TiB: Wie programmiert man einen Q-Computer auf den verschiedenen Ebenen und was tut sich bei der Entwicklung von höheren Programmiersprachen?

Aidelsburger: Die Programmierung der Qubits auf der physikalischen Ebene erfolgt je nach Qubit-Erzeugung über Mikrowellen, Laserstrahlen, oder über elektrische und elektromagnetische Felder.

Die Entwicklung höherer Programmierung geht im Moment eher in Richtung Python-Software, da gibt es schon einiges online, z. B. von IBM, wo man sich einloggen und

„Einzelne quantenmechanische Teilchen kontrollieren und manipulieren zu können ist einfach unbeschreiblich“

erste Algorithmen programmieren kann. Die Sprache ist sehr beliebt, die Studenten kennen sie alle. Der nächste Schritt wäre jetzt zu schauen, ob es Sinn macht, noch einen weiteren Layer darüber zu legen, evtl. mit einer grafischen Benutzeroberfläche.

TiB: Wird es in Zukunft eine Norm oder einen Standard geben?

Aidelsburger: Das ist zu hoffen, aber ich denke es ist einfach noch nicht soweit. Innerhalb Europas wird es wohl einen gemeinsamen Standard geben, global muss man dann erstmal sehen, wie sich die verschiedenen Ansätze weiterentwickeln.

TiB: Wo stehen wir denn generell in der Quantenforschung, verglichen mit Europa und mit der Welt?

Aidelsburger: Bei der Grundlagenforschung brauchen wir uns nicht verstecken, aber man muss natürlich schon auch sehen, dass diese ganzen öffentlichen Auftritte in den USA, die von IBM oder Google getrieben sind, sehr massiv sind. Bei der Verwertung der Forschungsergebnisse sind wir nicht so gut. Wenn man auf diesem Niveau mithalten möchte, dann brauchen wir Firmen und Startups die das machen, da braucht es einfach mehr. Uns fehlen in der EU, in Deutschland und in Bayern die Startups. Aber ich glaube, dass die Richtung durch die neuen Vernetzungen jetzt stimmt, aber das muss dann natürlich auch gefördert werden. In München läuft schon einiges mit Industriepartnern. Interessant ist für uns, dass die Firma Bosch sich stark engagiert, die ist jetzt auch Partner in einem unserer Projekte. Da geht es um Sensoren und um Materialforschung.

TiB: VDI und VDE möchten an den Schulen die MINT Fächer, gerade auch für Mädchen, stärker fördern. Wie sind Sie zur Physik gekommen?

Aidelsburger: Ich war auf dem sprachlichen Zweig am Gymnasium, wie man das wahrscheinlich als Mädchen auch eher klassisch macht. Es hat mir auch wirklich

In dem Moment dachte ich mir, jetzt erst recht. Das Abi lief dann sehr gut und beim Studium war es ähnlich. Ehemalige Kommilitonen hatten mir erzählt wie schwer das Physikstudium ist und da dachte ich mir, das probiere ich. Ich denke, anfangs habe ich vor allem die Herausforderung gesucht. Immer wenn ich das Gefühl hatte, dass mir das Andere nicht so richtig zutrauen, habe ich mir gedacht, jetzt erst recht.

Während dem Studium hat mich dann aber doch sehr schnell die Faszination für die Quantenphysik gepackt. Im Nachhinein kann ich mich daran erinnern, dass ich das Thema auch schon während der Schulzeit spannend fand, aber den Ausschlag haben erste Experimente im Labor gegeben. Für viele sind die Konzepte der Quantenmechanik sehr abstrakt, da sie nicht unsere Erfahrungen im Alltag widerspiegeln. Nun stellen Sie sich vor Sie könnten Quantenphysik direkt erleben – genau das machen wir tagtäglich in unseren Laboren! Einzelne quantenmechanische Teilchen kontrollieren und manipulieren zu können ist einfach unbeschreiblich.

Das Interview führten
Fritz Münzel, Walter Tengler und
Silvia Stettmayer

Zur Person

Prof. Dr. Monika Aidelsburger studierte Physik und wurde 2015 mit „summa cum laude“ an der Ludwig-Maximilians-Universität München promoviert. Seit 2019 hat sie dort eine Professur für Synthetische Quantenmaterie inne. Ihre Arbeit ist bereits mit hochrangigen Förderungen und Auszeichnungen gewürdigt worden.

In diesem Jahr wird Monika Aidelsburger Trägerin des Alfred Krupp-Förderpreises 2021 – eine der bedeutendsten wissenschaftlichen Auszeichnungen in Deutschland. Er ist mit 1 Mio. € dotiert. Bei der Ausgabe dieser Mittel für ihre Forschung in den kommenden fünf Jahren genießt die Preisträgerin größtmögliche Freiheit.

Wir gratulieren sehr herzlich zu dieser Auszeichnung!

Quelle: Pressemitteilung der Alfred Krupp von Böhlen und Halbach Stiftung v. 22.06.2021, gekürzt

Quantencomputer trifft Halbleitertechnik

Quantentechnologien der zweiten Generation und ihre aktive Nutzung und Manipulation quantenmechanischer Effekte bilden die Basis für elektronische Bauelemente, die für zukünftige industrielle Produkte Schlüsselcharakter haben können.

Einführung

Dabei verspricht vor allem das Feld des Quantencomputing eine revolutionäre Entwicklung mit dem Potenzial, bisher unlösbar erscheinende mathematische Probleme zu bewältigen. So sind beispielsweise der Simulation von chemischen Reaktionen selbst durch die leistungsfähigsten klassischen Computer enge Grenzen gesetzt, die ein Quantencomputer überwinden kann.

Aktuelle Systeme, sogenannte NISQ (Noisy Intermediate-Scale) Quantum Computer, haben allerdings noch hohe Fehlerraten und eine sehr beschränkte Leistung. Trotzdem kann schon mit diesen Systemen für sehr spezielle, rein akademische Fragestellungen im Experiment gezeigt werden, dass Quantencomputer einen klassischen Computer übertreffen können.

Grundlagen des Quantencomputers

Die Idee, Quantenphänomene zur Lösung von Rechenaufgaben heranzuziehen, wurde erstmals in den 1980er Jahren unter anderem vom Physiker und Nobelpreisträger Richard P. Feynman geäußert [1]. Spektakulär waren dann in den 1990er Jahren erste theoretische Algorithmen mit exponentiellem Rechenleistungsvorteil, womit plötzlich etwa für sicher gehaltene kryptographische Methoden infrage gestellt wurden.

Einer der Gründe für diese enorme Leistungsfähigkeit ist der hohe Informationsgehalt der grundlegenden Bausteine von Quantencomputern, den Quantenbits oder Qubits. Im Gegensatz zum klassischen Bit kann ein Qubit gleichzeitig unterschiedliche Zustände annehmen. Prinzipiell lässt sich in einem Quantencomputer mit all diesen Zuständen gleichzeitig rechnen, was eine unglaubliche Parallelisierung ermöglicht.

Die tatsächliche Umsetzung solch eines Rechners unterlag jedoch lange Zeit einer gewissen Skepsis. Quantenzustände sind extrem fragil und lassen sich weder zwischendurch überprüfen noch

für Redundanz vervielfältigen. Trotzdem sind Fehlerkorrekturverfahren möglich, allerdings für den Preis eines erheblichen Mehraufwandes in der Qubit-Anzahl. Ein aus Millionen Qubits bestehendes System steht somit vor gewaltigen technologischen Herausforderungen.

Vergleicht man den aktuellen Stand der Quantencomputer mit den ersten Digitalrechnern der 1940er Jahre, so ergeben sich viele Analogien: Relais oder Elektronenröhren waren teuer und unzuverlässig, und auf den ersten Systemen liefen nur wenige Applikationen. Erst mit der Erfindung des Halbleiter-Transistors war das ideale Bauelement gefunden, mit dem das Computerzeitalter Fahrt aufnahm. Bei den Qubits existiert allerdings bisher noch keine vergleichbare etablierte Technologie.

Qubits und Technologieansätze

Für die Realisierung von Qubits sind viele physikalische Systeme geeignet, sofern sie bestimmte Eigenschaften erfüllen. Darunter fällt beispielsweise die Notwendigkeit, sie in einen vorgegebenen Ausgangszustand zu bringen, oder die Anforderung, dass sie einen Zustand lange genug für viele Rechenoperationen halten können [2]. Allen Technologieplattformen ist jedoch gemein, dass noch viele Herausforderungen auf dem Weg zu einem leistungsfähigen, universellen Quantencomputer gelöst werden müssen.

Infineon verfolgt hierbei mehrere technologische Ansätze. Am Standort Villingen wird an Bauteilen für Ionenbasierte Quantencomputer geforscht, mit Fokus auf skalierbaren Architekturen zur Realisierung von Quantenprozessoren. Insbesondere an den Standorten München und Regensburg arbeitet Infineon unter anderem mit dem Walther-Meißner-Institut (WMI) der Bayerischen Akademie der Wissenschaften und dem finnischen Startup IQM zusammen, um supraleitende

Schaltungen für das Quantencomputing zu nutzen. Dabei wird auch auf spezielles Fertigungsknowhow zur kontrollierten Herstellung von Tunnelbarrieren innerhalb der Metallisierung zurückgegriffen, das bereits für Magnetsensoren höchst erfolgreich eingesetzt wird.

Darüber hinaus wird bei Infineon in Dresden an Qubits basierend auf SiGe-Heterostrukturen in Silizium gearbeitet. Diese zeichnen sich nicht nur durch eine hohe Robustheit und Schnelligkeit aus. Durch ihre Kompatibilität mit den Herstellungsprozessen fortgeschrittener CMOS-Technologien weisen sie außerdem ein hervorragendes Skalierungspotenzial auf.

Hauptbestandteil ist dabei ein sogenannter Quantenpunkt, bei dem ein zweidimensionaler Elektronensee mit Hilfe geeigneter Gatterelektroden derart eingeschnürt wird, bis schließlich nur noch ein einziges Elektron übrigbleibt (Abb. 1). Der Eigendrehimpuls (Spin) dieses einzelnen Elektrons ist ein Quantensystem, das die Information eines Qubits trägt. Verglichen mit anderen Ansätzen sind Spin-Qubits noch eine relativ junge Variante. Erst durch wichtige Fortschritte im Wachstum der Strukturen und durch die Verwendung von isotopisch reinem ^{28}Si zur Unterdrückung unerwünschter Kopplungen mit Atomkernen konnten die Eigenschaften der Qubits so weit verbessert werden, dass sie als ernsthafter Kandidat für einen leistungsfähigen Quantencomputer gelten.

Qubus

Für einen funktionsfähigen Quantenprozessor ist zusätzlich eine Kopplung zwischen den Qubits erforderlich. Bei Spin-Qubits können dazu beispielsweise die jeweiligen Elektronen so nah aneinander gebracht werden, dass sie gegenseitig wechselwirken. Da bei begrenzter Fläche hierbei sehr schnell massive Verdrahtungsprobleme entstehen, benötigt man auch Qubit-Kopplungen über größere Entfernungen. Mit einem solchen Quantenbus wäre ein skalierbares Konzept für nahezu beliebige Qubit-Konnektivität gewährleistet.

In Zusammenarbeit vor allem mit der RWTH Aachen, dem IHP und Fraunhofer IPMS entwickelt Infineon hierfür im Rahmen zweier Förderprojekte eine Quantenbus-Architektur, mit der Qubit-Informationen mittels einer linearen Kette von Quantenpunkten über längere Distanzen übertragen werden können (s. Abb. 2). Wie in einer Eimerketten-Schaltung wird das Elektron dabei von einem Punkt zum nächsten befördert, wobei eine große Herausforderung darin besteht, den Quantenzustand auf der gesamten Strecke zu erhalten.

Im seitens des BMBF geförderten Projekts QUASAR nehmen sich die Projektpartner dabei vor, alle wesentlichen Elemente solch einer skalierbaren Mikroarchitektur bis Anfang 2025 zu zeigen. Das ist der erste Schritt auf der angestrebten Weiterentwicklung zu mehr als 1000 Qubits, wobei neben der reinen Qubit-Anzahl noch

viele weitere Parameter über die wirkliche Leistungsfähigkeit eines Quantencomputers entscheiden. Zusätzlich wird im vier Jahre laufenden QLSI-Projekt der europäischen Quantum Flagship Initiative ein 16 Qubit Demonstrator und der Cloud-Zugriff für Anwender entsprechender Systeme erarbeitet.

Neben dem eigentlichen Quantenchip benötigt ein vollwertiger Computer geeignete Software und eine große Anzahl weiterer Hardware-Komponenten, idealerweise auf einem gemeinsamen Chip. Die Vorteile von siliziumbasierten Spin-Qubits für solch eine Integration liegen dabei auf der Hand.

Dr. Wolfram Langheinrich

Principal Engineer Technology Development, Infineon Technologies Dresden

Claus Dahl

Director Technology Development Automotive Sensors, Infineon Technologies Dresden

Dr. Sebastian Luber

Senior Director Technology and Innovation, Infineon Technologies AG, Neubiberg

Referenzen

- [1] Feynman, Richard. Simulating Physics with Computers. International Journal of Theoretical Physics. 21 (6/7): 467–488 (1982)
- [2] Divincenzo D.P. Topics in Quantum Computers. In: Sohn L.L., Kouwenhoven L.P., Schön G. (eds) Mesoscopic Electron Transport. vol 345. (1997)

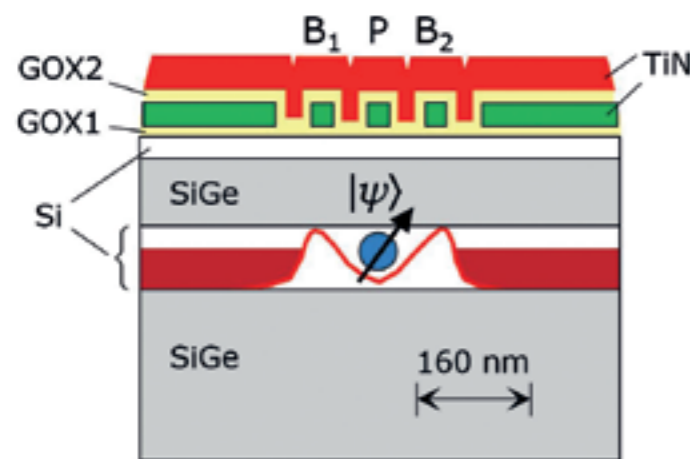


Abb. 1: Spin-Qubit in Si/SiGe-Strukturen. Ein einzelnes Elektron ist im Potentialtopf eines Quantenpunktes gefangen. Die Spin-Orientierung repräsentiert die Quanteninformation

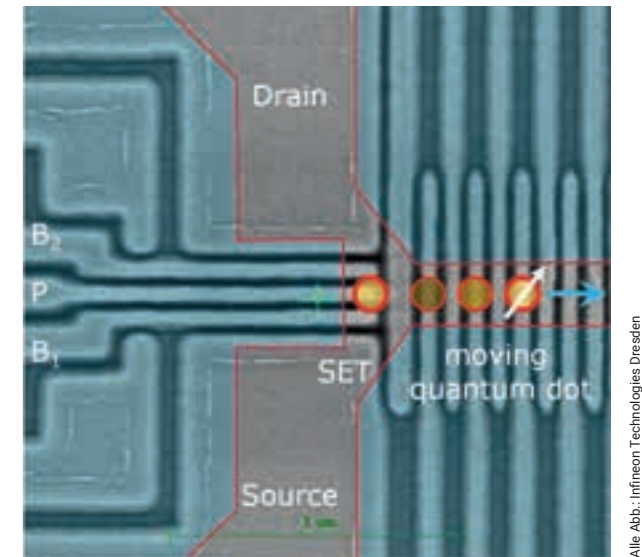


Abb. 2: Quantenbus. Die Quanteninformation wird in einem beweglichen Quantenpunkt zur Wechselwirkung mit benachbarten Qubits transportiert

Alle Abb.: Infineon Technologies Dresden

Quantensensoren

Es muss nicht immer Quantencomputing sein

Die Quantentechnologien sind derzeit in aller Munde und werden unseren Alltag verändern. Insbesondere die Quantensensorik verspricht dabei erste Serienprodukte am Markt innerhalb der nächsten fünf Jahre.

Die Quantentechnologie ist ein junges, prosperierendes Forschungsgebiet, das grundlegende Konzepte der Quantenphysik mit praktischen Aspekten der Ingenieurwissenschaften verbindet, um neuartige Technologien zu entwickeln. Dabei werden Quanteneffekte wie die Verschränkung zwischen Photonen oder die diskreten Energiezustände von Atomen genutzt, um innovative Ansätze zur Kommunikation, Sensorik, Simulation oder zum Rechnen/Computing zu entwickeln, die keine Entsprechungen im Gültigkeitsbereich der klassischen Physik haben. Das immense Potenzial der Quantentechnologien ist dabei unbestritten und die Quantentechnologien werden sowohl von führenden Unternehmen als auch von politischen Entscheidungsträgern als Technologien der Zukunft eingestuft [1]. Aller-

dings herrscht beim in der Öffentlichkeit viel diskutierten Thema des Quantencomputing in der wissenschaftlichen Fachwelt Konsens, dass mit ersten universell einsetzbaren Quantencomputern erst in einigen Jahrzehnten zu rechnen ist [2].

Im Gegensatz dazu bietet der Bereich der Quantensensorik ein hohes Potenzial für erste industrierelevante Anwendungen innerhalb der nächsten fünf Jahre. Quantensensoren weisen eine herausragende Empfindlichkeit auf, d. h. sie ermöglichen Detektionsschwellen am Rande des fundamental Möglichen. Im Gegensatz zu Quantencomputern reicht bei Quantensensoren oftmals ein einzelnes Qubit, um den Quantenvorteil gegenüber klassischen Systemen zu erzielen. Zudem arbeiten die in Quantensensoren zum Einsatz kommenden Qubits auch bei Zimmertemperatur zuverlässig, so dass sie, im Gegensatz zum Quantencomputer, ohne spezielle Kühlung auskommen. Damit sind Quantensensoren ideale Kandidaten, um den stetig wachsenden Bedarf an höchstpräziser Sensorik sowohl im

industriellen als auch im Verbraucherbereich zu decken und als erste Quantentechnologie Einzug in unseren Alltag zu halten.

Warum sind Quantensensoren so präzise?

Quantensysteme wie z. B. angeregte Atome (Rydbergatome) oder gewisse Defekte in Festkörpern (z. B. Stickstofffehlstellen in Diamant, sog. NV-Zentren) reagieren sehr empfindlich mit einer Änderung ihrer inneren Quantenzustände auf äußere Einflüsse wie z. B. magnetische und elektrische Felder oder die Umgebungstemperatur. Diese winzigen Änderungen der inneren Energiezustände können dann äußerst präzise ausgelesen werden, da die Energieänderungen über die Plancksche Beziehung $E=h \cdot f$ als eine Frequenzänderung von Photonen messbar sind – also einer Größe, die mit höchster Genauigkeit messbar ist (Abb. 1). Darüber hinaus ermöglichen die Quantensensoren oftmals eine direkte Rückführbarkeit der Messgröße auf physikalische Konstanten wie das Plancksche Wirkungsquantum h und ermöglichen so eine kalibrationsfreie Rückführung auf die SI-Einheiten, wodurch zukünftig erhebliche Kosten eingespart werden können.

Was lässt sich mit Quantensensoren messen?

Prinzipiell sind alle physikalischen Größen der direkten Messung durch Quantensensoren zugänglich. So lässt sich allein das oben erwähnte NV-Zentrum in Diamant als hochpräziser Sensor für magnetische und elektrische Felder, Drücke und Temperaturen nutzen (Abb. 2). Darüber hinaus lassen sich NV-Zentren z. B. auch einsetzen, um die Konzentration bestimmter Stoffe in Lösungen zu bestimmen oder

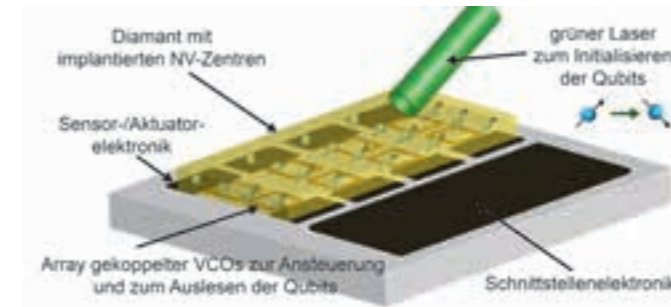
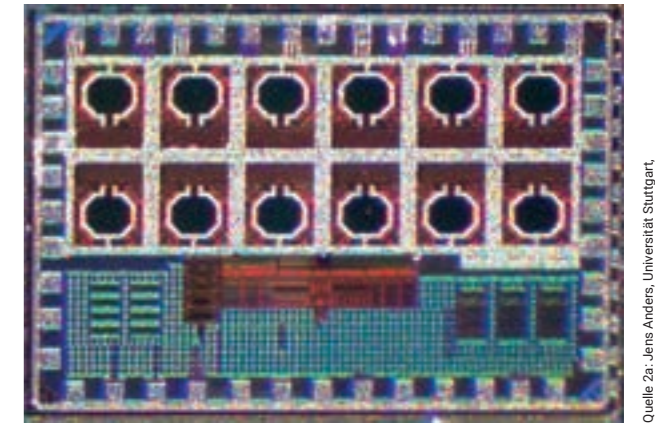


Abb. 2: (a) Konzeptionelle Darstellung eines chip-integrierten Sensors für NV-Zentren in Diamant. (b) Mikrograph des in (a) dargestellten CMOS-Chips



Quelle 2a: Jens Anders, Universität Stuttgart, 2b: Khubalab Khan, Universität Stuttgart

sogar direkt die Struktur unbekannter Moleküle zu ermitteln. Die oben erwähnten Rydbergatome können z. B. für die hochselektive und zugleich ultra-empfindliche Messung von Gasen genutzt werden und ermöglichen zusätzlich die kalibrationsfreie Messung von elektrischen Feldern. Im Prinzip gibt es keine Messgröße die nicht mit Quantensensoren gemessen werden könnte.

Zukünftige Anwendungen der Quantensensorik

Obwohl sich die Quantenwissenschaften insgesamt in vielen Fällen noch im Stadium der Grundlagenforschung befinden, gibt es gerade im Bereich der Quantensensorik bereits erste vielversprechende Ansätze, die bei Messungen im Forschungslabor ein immenses Potenzial für zukünftige Anwendungen zeigen. Beispiele hierfür sind revolutionäre Empfindlichkeitssteigerungen in der medizinischen Diagnostik, ultrakompakte und präzise Quantensensoren für autonome Fahrzeuge oder neue Zeitnormale für die hochpräzise Navigation (Quantenmetrologie). So zeichnet sich bereits heute klar ab, dass neue Quantensensoren mittelfristig in der Lage sein werden, die Magnetfelder der neuronalen Ströme im menschlichen Gehirn zu vermessen, um so Krankheiten wie Alzheimer oder Parkinson besser zu verstehen. Ebenso werden Quantensensoren in hybriden Systemen heutige MEM-Systeme (Mikro-Elektronisch-Mechanische-Systeme) komplementieren oder ersetzen. Beispielsweise können

heutige MEMS-basierte Inertialsensoren von der Langzeitstabilität zukünftiger Quanteninertialsensoren profitieren und so wichtige Beiträge zum autonomen Fahren leisten.

Quantensensoren auf dem Weg zur Marktreife

Trotz bedeutender Fortschritte in der Grundlagenforschung steckt die Quantensensorik technologisch gesehen nach wie vor in den Kinderschuhen. Es gibt zwar bereits erste Quantensensorik-Produkte von Start-up Unternehmen auf dem Markt [3], aber die meisten der Kandidaten für zukünftige kommerzielle Quantensensoren befinden sich gerade erst auf dem Sprung heraus aus den Physikalaboren. Um das immense Potenzial der Quantensensorik voll ausschöpfen zu können, muss als nächster Schritt die skalierbare und reproduzierbare Fertigung der eigentlichen Quantensensoren zu kompetitiven Kosten gewährleistet werden. Parallel dazu muss ebenfalls die mikroelektronische und photonische Integration der Kontroll- und Ausleseelektronik der Quantensensoren vorangetrieben werden, da nur so die Möglichkeit besteht, Quantensensoren soweit zu miniaturisieren, dass sie in alltäglichen Anwendungen zum Einsatz kommen können. Zusätzlich stellen die mikroelektronische und photonische Integration eine Schnittstelle bereit, die eine Einbettung der eigentlichen Quantensensoren in ein intelligentes Sensorkonzept im Sinne eines „Smart Sensors“ ermöglicht. Nur so

können die verbesserten Quantensensoren nahtlos in bestehende Infrastrukturen eingebettet werden. Ein Beispiel hierfür wäre der Einsatz von Verfahren des maschinellen Lernens im digitalen Backend. Die genannten Integrationsmaßnahmen für Quantensensoren erfordern dabei erhebliche Forschungs- und Entwicklungsaufwände, welche derzeit u. a. durch dedizierte Ausschreibungen des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) mit beträchtlichen Fördersummen unterstützt werden. Als ein Beispiel sei hier der BMBF-geförderte Zukunftscluster „Q-Sens – Quantensensoren der Zukunft“ in der Region Stuttgart-Ulm genannt, welcher sich unter starker Beteiligung der regionalen Industrie die Überführung der Quantensensorik in den Markt zum Ziel gesetzt hat.

Prof. Dr. Jens Anders
Universität Stuttgart

Direktor des Instituts für Intelligente Sensorik und Theoretische Elektrotechnik und Vizedirektor des Institut für Mikroelektronik Stuttgart (IMS CHIPS)

Quellen

- [1] <https://www.bosch.com/research/fields-of-innovation/quantum-technologies/>, <https://www.airbus.com/innovation/future-technology/quantum-technologies.html>, https://www.bmbf.de/upload_filestore/pub/Quantum_technologies.pdf
- [2] <https://www.spiegel.de/netzwelt/web/googles-quantenueberlegenheit-praktisch-nutztlos-a-1292904.html>
- [3] <https://quspin.com/>, <https://qnami.ch/>

Quelle: Jens Anders, Universität Stuttgart

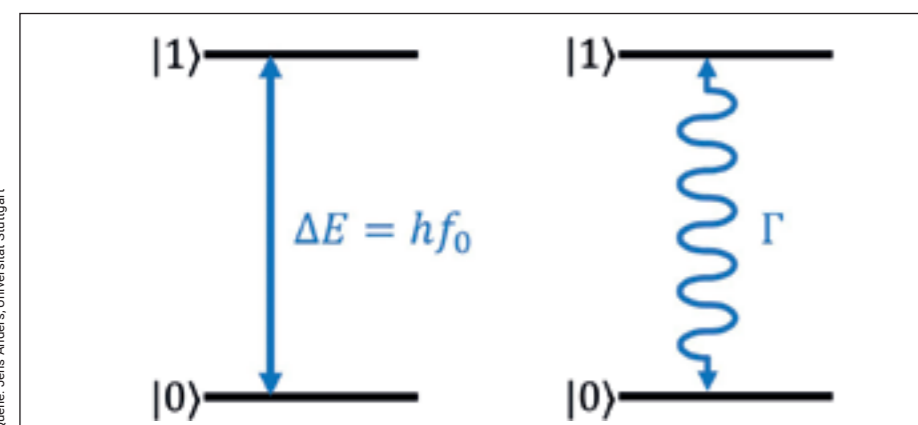


Abb. 1: Illustration eines Qubit für die Quantensensorik. Die Messgröße ändert entweder den Abstand der Energieniveaus und damit die Resonanzfrequenz f_0 (links) oder der Emissionsrate von Photonen Γ (rechts)

PushQuantum: Mehr als nur ein Quäntchen Bildung

Die junge Initiative PushQuantum bietet in Deutschland und Europa angewandtes Wissen in Quantentechnologien für Studierende an.

In diesem Moment spielt sich vor unseren Augen eine Revolution ab. Es ist eine Revolution in der Welt der kleinsten Teilchen, die den Gesetzen der Quantenmechanik folgen. Vor rund einhundert Jahren wurden die Grundlagen der Quantenphysik von Physikern wie Max Planck, Erwin Schrödinger und Werner Heisenberg entdeckt – eine erste Quantenrevolution. Diese brachte der Welt wegweisende Technologien, wie den Laser oder den Transistor, und legte somit den Grundstein für die Entwicklung des Computers und die digitale Revolution.

Heute verstehen wir die Gesetze der Quantenmechanik nicht nur immer besser, sondern machen sie uns auch aktiv zu Nutze, um Technologien zu entwickeln, die das volle Potential der Quantenphysik ausnutzen. Diese zweite Quantenrevolution, oft Quantum 2.0 genannt, ist mittlerweile in vollem Gange. So wie die erste Quantenrevolution das 20. Jahrhundert prägte, hat Quantum 2.0 das Potential, das 21. Jahrhundert maßgeblich zu beeinflussen. Eine besonders zentrale Quantentechnologie ist der Quantencomputer, von dem erwartet wird, dass er zu

neuen, wegweisenden Durchbrüchen unter anderem in der Entwicklung von neuartigen Materialien sowie zu besserem Machine Learning führen kann.

PushQuantum ist eine junge studentische Initiative und hat sich zum Ziel gesetzt diese zweite Quantenrevolution aktiv mitzugestalten. Während wir als Europäer in der Grundlagenforschung in der absoluten Weltspitze mitspielen, liegen wir bei der Anzahl der Patente und gegründeten Start-Ups weit zurück hinter den USA und China. Nur wer das Wissen aus der Forschung auch in die Anwendung bringt, kann die Spielregeln der Technologie maßgeblich mitgestalten. Dies war beim Internet mit den großen IT-Konzernen wie Google, Facebook und Amazon der Fall und wird beim Quantencomputer ähnlich sein. Insbesondere in Deutschland sollten wir besser darin werden, Weltklasse-Forschung auch in die industrielle Anwendung zu überführen. Die Mission von PushQuantum ist es, diese Brücke zwischen Theorie und Praxis zu bauen und unseren Mitgliedern anwendungsnahe Wissen in Quantentechnologien zu vermitteln.

Hierfür setzt PushQuantum an mehreren Punkten gleichzeitig an. Die Mitglieder von PushQuantum können auf ein breitgefächertes Bildungsangebot aus

Kursen, Workshops und Vorträgen von Experten aus Industrie und Forschung zurückgreifen (Abb. 1). Ein Teil des Angebots steht auch Mitgliedern offen, die (noch) nicht Mitglied von PushQuantum sind. PushQuantum berücksichtigt die unterschiedlichen fachspezifischen Qualifikationen der Studierenden, von A1 für Quanten-Beginner bis hin zu C1 für die Spezialist:innen unter unseren Mitgliedern. Gegenwärtige Flaggschiffe im Programm von PushQuantum sind das Quanten-Entrepreneurship-Labor (QEL) (B1), sowie die Leadership-in-Quantum-Vortragsreihe (A1/A2).

Beim Quanten-Entrepreneurship-Labor (QEL) handelt es sich um einen einsemestrigen, projektbasierten Kurs, den PushQuantum gemeinsam mit UnternehmerTUM und den TUM Venture Labs, den Gründungs- und Innovationszentren der Technischen Universität München, organisiert. Ziel des QEL ist es, den Teilnehmer:innen praktische Fähigkeiten im Bereich Quantentechnologien und Unternehmertum zu vermitteln. Die Teilnehmenden entwickeln hierfür in kleinen, interdisziplinären Teams einen Quantensoftware-Prototypen für industrierelevante Anwendungen eines Quantencomputers. Außerdem erarbeiten sie Strategien für den kommerziellen Einsatz ihrer Produktideen. Betreut werden die Teams von Spezialisten im Bereich der Quantenwissenschaft sowie von angesehenen Partnern aus der Industrie. Partnerunternehmen des QEL waren bislang unter anderem IQM, Airbus, Volkswagen und E.ON. Nach dem großen Erfolg des ersten QEL im Wintersemester 2020/2021 ist nun geplant, den Kurs regelmäßig in jedem Semester durchzuführen.

Die Vortragsreihe Leadership in Quantum organisiert PushQuantum in Kooperation mit QuantX. Ziel der Vortragsreihe ist es,

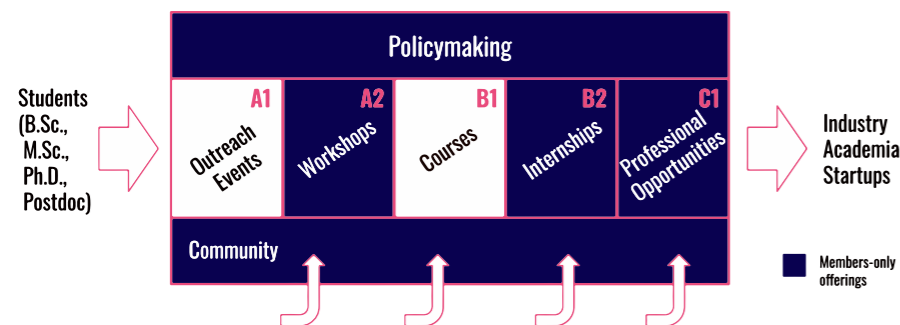


Abb. 1. Das Weiterbildungsprogramm von PushQuantum mit verschiedenartigen Angeboten für anwendungsnahe Wissen in Quantentechnologien



Abb. 2. Virtuelles Gruppenbild mit den Teilnehmenden am Kurs Quanten-Entrepreneurship-Labor (QEL) im Wintersemester 2020/2021

jungen Talente einen Einblick in die Karrierepfade von Führungskräften aus verschiedenen Bereichen der Quantenwissenschaften und -technologien zu geben. In der ersten Vortragsreihe im Frühjahr 2021 teilten fünf verschiedene Dozenten aus Industrie und Forschung ihre Erfahrung, wie zum Beispiel Prof. Dr. Ignacio Cirac, Direktor am Max-Planck-Institut für Quantenoptik, oder Dr. Noel Goddard, Vorstandsvorsitzende beim amerikanischen Quantum-Internet-Unternehmen Qunnect. Jeder Vortrag beinhaltet eine ausführliche Frage-und-Antwort-Runde, um den Teilnehmenden die Möglichkeit zu geben, den Experten auch ihre ganz persönlichen Karrierefragen zu stellen.

Nach nun mehr als einem Jahr nach seiner Gründung kann PushQuantum somit bereits auf mehrere erfolgreiche Projekte zur Weiterbildung junger Talente im Bereich der Quantenwissenschaften und -technologien zurückblicken. Für die kommenden Monate gibt es schon zahlreiche neue Projekte und Ideen bei PushQuantum. So werden wir das Angebot für unsere Mitglieder durch weitere Kurse und Workshops im Bereich Quantumcomputing stark ausbauen. Darüber hinaus arbeiten wir an der Organisation eines Events mit dem Ziel Industrie, Forschung und Studierende zu vernetzen. Außerdem

wird es abwechslungsreiche Veranstaltungen zum Networking der Mitglieder von PushQuantum untereinander geben.

Gegenwärtig ist PushQuantum insbesondere in München aktiv. In München bündeln sich relevante Spitzenforschung und Industrie, außerdem wird mit der Munich Quantum-Valley-Initiative ein weiteres, starkes Wachstum in den nächsten Jahren erwartet. Ziel dieser Initiative ist es, München als vorrangiges europäisches Zentrum für Quantenwissenschaften und -technologien zu etablieren. Hierfür stellt der Freistaat Bayern in den nächsten fünf Jahren insgesamt 300 Millionen Euro zur Verfügung, davon 120 Millionen Euro bereits in den Jahren 2021 und 2022.

Über München hinaus engagiert sich PushQuantum auch jetzt schon in weiteren Städten, insbesondere in Berlin. Für die Zukunft möchten wir ein ausgedehntes und vertieftes Angebot auf weitere internationale Städte ausweiten. In diesem Kontext ist uns eine internationale und diverse Community sehr wichtig. Auch in Bezug auf die Fachdisziplin der Mitglieder verfolgt PushQuantum eine vielseitige Rekrutierungspolitik. Die Entwicklung von Quantentechnologien ist ein höchst interdisziplinäres Unterfangen, welches auf die Synergie aller MINT-Bereiche sowie

Business-Bereiche stützt. Somit sind die Zielgruppe von PushQuantum in erster Linie Masterstudierende und Promovierende aus diesen Bereichen.

Der Aufbau einer Community von quantentechnologie-affinen Studierenden war in Zeiten der Corona-Pandemie natürlich eine besondere Herausforderung für uns bei PushQuantum. Mit unseren Mitgliedern war dies jedoch auch virtuell eine tolle Erfahrung. Gleichzeitig hoffen wir natürlich sehr ab Herbst wieder Veranstaltungen in Person anzubieten, damit unsere Mitglieder noch leichter Netzwerke untereinander knüpfen können.

Eine Revolution gestaltet sich am besten gemeinsam. Interessierte Studierende insbesondere an den Münchner Hochschulen, aber auch darüber hinaus, sind daher herzlich eingeladen Teil von PushQuantum zu werden und unser Angebot zu nutzen. Außerdem sind wir stets daran interessiert die Reihe unserer innovativen Kooperationspartner zu erweitern.

Get in touch: info@pushquantum.tech

Franz von Silva-Tarouca
Masterstudent an der TU München
Benjamin Schiffer
Doktorand am Max-Planck-Institut für Quantenoptik

Quantentechnologie soll die Radarleistungsfähigkeit weiter steigern

Quantenradar

Radar (engl. Radio Detection and Ranging) beschreibt die berührungsfreie Nah- und Fernerkundung mit Mikrowellen und ist heutzutage aus vielen praktischen Anwendungen nicht mehr wegzudenken. Aktuell wird erforscht, inwieweit mit Hilfe von moderner Quantentechnologie grundsätzliche Limitierungen herkömmlicher Radarsysteme überwunden werden können.

Radaranwendungen

Das Anwendungsfeld von Radar erstreckt sich von Weltraumüberwachung über Rohstofferschließung bis hin zur Detektion, Identifikation und Verfolgung von Objekten. Dabei sendet man zunächst gerichtete Mikrowellensignale in die Umgebung aus. Treffen diese auf ein Objekt, werden sie zum Teil reflektiert und können von einem Empfänger registriert werden. Dadurch kann dieser auf die Existenz des Objekts und dessen Eigenschaften schließen. In der Praxis kommen die vom Empfänger aufgefangenen Signale allerdings nicht nur vom eigentlichen Objekt, sondern auch vom unvermeidbaren Rauschen aus der Umgebung. Besonders

wichtig ist dieser Umstand z. B. bei der radarbasierten Weltraumbeobachtung der New-Space-Ära, wo Objekte in hunderten oder tausenden Kilometern Entfernung mit höchster Qualität vermessen werden sollen (Abb. 1). Um nun die relevanten Signalanteile aus dem Rauschhintergrund herauszufiltern, korreliert man Sendesignal und Empfangssignal. Damit erreicht man bereits nahezu das bestmögliche Signal-zu-Rausch-Verhältnis (SRV) der klassischen Elektrodynamik. Das SRV stellt also ein entscheidendes Qualitätskriterium dar, das die Reichweite und Datenqualität einer Radarmessung charakterisiert und letztlich auch limitiert. Daher ist jegliche Verbesserung des SRV eine zentrale Aufgabe.

Radarmit „Quantenvorteil“

Einen vielversprechenden Ansatz dazu bildet die Ausnutzung der quantenmechanischen Prinzipien Verschränkung und Quantendiskord, die sich durch ihre starken Korrelationen grundsätzlich von den Eigenschaften Phase, Amplitude und Modulation des klassischen Radarsignals unterscheiden. Signale mit solchen Quantenkorrelationen werden im Labor mitt-

lerweile routinemäßig mit Hilfe von supraleitenden Schaltkreisen (Abb. 2), wie sie auch beim Quantencomputing zum Einsatz kommen, erzeugt.

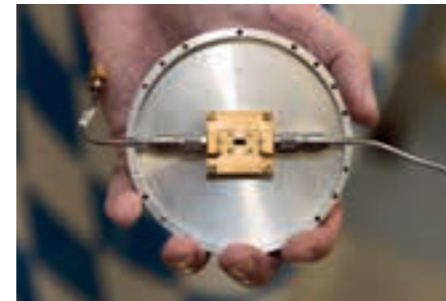


Foto: Andreas Battenberg, TU München

Abb. 2: Chip (schwarz, im Bildzentrum) zur Erzeugung von propagierenden Quantenmikrowellenzuständen, eingebaut in Probenhalter (goldfarben) und magnetische Schirmung (aluminiumfarben)

Parametrische Verstärker, gequetschte Zustände und Verschränkung

Insbesondere wird das Sendesignal mittels supraleitender parametrischer Verstärker erzeugt. Diese funktionieren analog zur bekannten Kinderschaukel, bei der die Gesamtenergie periodisch zwischen potentieller und kinetischer Energie oszilliert. Beim supraleitenden parametrischen Verstärker sind die beiden Energieskalen nun die magnetische (induktive) und die elektrische (kapazitive) Energie eines Oszillatorschaltkreises. Über einen periodischen Antrieb wird dann immer eine der beiden Feldquadraturen des Mikrowellensignals verstärkt oder abgeschwächt. Wenn die Abschwächung einer der beiden Quadraturen unter das Niveau der durch die Quantenmechanik vorgegebenen Nullpunktsfluktuationen fällt, erhält man einen sogenannten gequetschten Zustand. Die Fluktuationen in der anderen Quadratur müssen dann wegen der Heisenbergschen Unschärferelation entsprechend zunehmen. Sendet man zwei orthogonal zueinander gequetschte Zustände durch

Abb. 3: Prinzip eines Quantenradars – mittels Verschränkung und Quantendiskord kann die Reichweite eines Radars gesteigert werden. Der Signalpfad umfasst das von der Antenne ausgesandte Sendesignal und das wieder aufgefangene Empfangssignal. Die Quantenkorrelationen zwischen Signal- und Referenzpfad werden durch das „∞“-Symbol gekennzeichnet. Für weit entfernte Objekte ist eine Zwischenspeicherung (Uhr) des Referenzsignals notwendig. Der Quantendetektor ist durch den Kreis mit Pfeil dargestellt

einen Strahlteiler, so erhält man an dessen Ausgängen zwei Pfade, den Signal- und den Referenzpfad (Abb. 3). Diese beiden örtlich getrennten Pfade weisen starke Quantenkorrelationen zueinander auf, man spricht hier von einem verschränkten Zustand. Über den Signalpfad wird nun das Objekt angestrahlt, der Referenzpfad hingegen führt direkt zur Detektionseinheit des Quantenradars.

Quantendetektor und Quantendiskord

Das aufgefangene Empfangssignal wird im Quantendetektor zunächst mit dem Referenzsignal zusammengeführt und dann in Einzelphotonendetektoren eingekoppelt. Diese basieren auf supraleitenden Quantenbits und sind so empfindlich, dass sie die kleinste Energieeinheit der elektromagnetischen Welle, eben ein einzelnes Mikrowellenphoton, auflösen können. Zusammengenommen bilden verschränktes Sendesignal und Quantenempfänger ein Quantenradar (Abb. 3), das bei gleicher Sendeleistung aufgrund der erweiterten Korrelationsmöglichkeiten ein verbessertes SRV aufweist. Für den vorgeschlagenen Detektor beträgt dieser „Quantenvorteil“ einen Faktor zwei, mittlerweile werden weitere Verbesserungen diskutiert. Eine aus praktischer Sicht besonders relevante Eigenschaft des Quantenradars ist, dass die Verschränkung zwischen Sendesignal und Referenzsignal bereits auf dem Weg zum Objekt

hin verloren gehen darf, ohne den Quantenvorteil zu zerstören. Ansonsten wären die Erkennungsdistanzen auf wenige Hundert Meter beschränkt. Intuitiv kann man dieses Verhalten so verstehen, dass selbst nach der vollständigen Zerstörung der Verschränkung noch allgemeinere Quantenkorrelationen zwischen Sendesignal und Referenzsignal – der bereits erwähnte Quantendiskord – erhalten bleiben.

Herausforderungen und aktuelle Forschungsaktivitäten

Die Detektionskonzepte des Quantenradars erfordern eine Erweiterung der klassischen, auf Korrelationsfiltern und Ambiguitätsfunktion basierten Radartheorie. Hierbei zeigt der bisherige Kenntnisstand bereits physikalische als auch technologische Herausforderungen für einen zukünftigen, feldtauglichen Einsatz der Quantenradartechnologie auf. Insbesondere liegt der Quantenvorteil bisher nur für ausgesprochen niedrige Signalleistungen vor. Ein Quantenradar ist also zunächst in Anwendungsszenarien vorstellbar, in denen bei kleinen Reichweiten der Sender unerkannt bleiben möchte oder eine breitbandige Störung unserer mobilen Kommunikationsinfrastruktur vermieden werden soll. Ferner sind Lösungen zu erforschen, wie die Signalpegel signifikant angehoben werden können, ohne dabei die Quanteneigenschaften zu zerstören, denn klassische Verstärkerkon-

zepte sind hierzu nicht anwendbar. Im Mikrowellenbereich steht ferner der experimentelle Nachweis eines Quantenvorteils selbst unter Laborbedingungen noch aus. Zudem bestehen noch technische Herausforderungen, wie z. B. die Signalaufbereitung und der Signalübergang aus den Kühlapparaturen für die supraleitenden Schaltkreise hin zu Alltagsbedingungen.

Deswegen hat ein Münchner Team aus Wissenschaft und Industrie kürzlich das vom BMBF geförderte Projekt „QUANTEN-RADARTEAM“ (QUARATE) begonnen. Man untersucht ferner, inwieweit sich die dort erarbeiteten Ergebnisse auch auf verwandte Themen wie Metrologie oder Bildgebung übertragen lassen.

Dr. Frank Deppe, Dr. Kirill Fedorov,
Dr. Achim Marx, Kedar Honasoge
Walther-Meißner-Institut (WMI), Bayerische Akademie der Wissenschaft,
Garching

Dr.-Ing. Markus Peichl,
Florian Bischeltsrieder
DLR, Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme, Weßling
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Utschick,
Dr. Johannes Russer, Michael Würth
Technische Universität München

Dr.-Ing. Baris Güzelarslan,
Fabian Kronowetter
Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG (R&S),
München

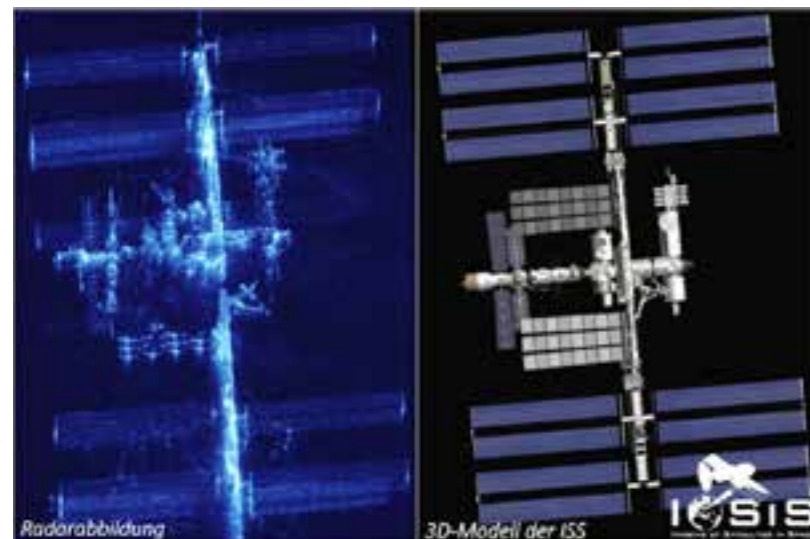


Abb. 1: Hochaufgelöste Radarabbildung der internationalen Raumstation mit dem IoSIS-System (DLR)

Quantenoptik – die Zukunft der Mikroskopie?

Der technologische Fortschritt, den die Quantentechnologien versprechen, ist enorm. Die quantenbasierte Bildgebung wird nicht nur völlig neue Erkenntnisse in der Medizin oder der Biologie ermöglichen, sondern auch andere Bereiche wie die Materialwissenschaften nachhaltig beeinflussen.

Die zweite Quantenrevolution

Die grundlegenden Erkenntnisse der Quantenphysik haben bereits in den letzten 70 Jahren unseren Alltag revolutioniert, zum Beispiel mit dem Internet, der Lasertechnologie oder auch der Magnetresonanztomografie. Quantentechnologien der zweiten Generation, zu denen neben dem Quantencomputing auch die Quantensensorik und damit die quantenbasierte Bildgebung gehört, basieren auf den Fortschritten in der Grundlagenforschung der letzten Jahre: Anstatt die Quanteneigenschaften wie bisher kollektiv zu nutzen, können Forscherinnen und Forscher heute einzelne Quantenzustände gezielt auslösen und steuern. Damit lassen sich völlig neue Funktionalitäten für eine Vielzahl von Produkten und Anwendungen entwickeln. Voraussetzung für den wirtschaftlichen Erfolg ist eine enge Zusammenarbeit von Physikern, Ingenieuren – und Anwendern.

Der Quantenfortschritt

In der Medizin und in der Biologie könnte die quantenbasierte Bildgebung eine neue Ära einleiten. In der klassischen Mikroskopie werden Gewebeproben mit Licht bestrahlt. Diese Lichtstrahlen interagieren mit den Zellproben und werden danach detektiert. Dieses Licht ist meist im visuellen Spektralbereich. Gleichzeitig zeigen viele biomedizinischen Proben besonders gute Interaktion in anderen Spektralbereichen, wie etwa im mittleren Infrarot, wo

chemisch-selektive Bildgebung möglich ist. Die bestehende Detektortechnologie ist allerdings nur für den visuellen Bereich sehr stark entwickelt und alternative Systeme im mittleren Infrarot erlauben aus physikalischen Gründen nur eine eingeschränkte Leistung. Die quantenbasierte Bildgebung nutzt den quantenmechanischen Effekt der Verschränkung und Korrelation von Photonen und die unterschiedlichen Quantenzustände von Licht, um dieses Problem zu umgehen. Die technischen Voraussetzungen, korrelierte und verschränkte Photonenpaare, auch Zwillingphotonen genannt, kontrolliert und in großer Zahl zu erzeugen, gibt es erst seit der Jahrtausendwende.

Grundsätzlich existieren verschiedene Methoden der quantenbasierten Bildgebung.

Fluoreszenzmikroskopie – Durchbruch für die Lebenswissenschaften

Bei der Fluoreszenz-Mikroskopie, zu der beispielsweise die STED-Mikroskopie zählt, werden Fluoreszenzfarbstoffe eingesetzt, die mit hochfrequentem Laserlicht bestrahlt werden. Diese Anregung und gezielte Abregung der Fluoreszenzmoleküle ermöglicht ein extrem detail- und kontrastreiches Bild auf Zellebene. Allerdings kann die relativ hohe Laserintensität die Proben beschädigen und den Fluoreszenzfarbstoff ausbleichen, also ihre Quanteneffizienz verringern. Die Forschung arbeitet aktuell daran, diese Probleme zu lösen und Zwillingphotonen zur Zwei-Photonen-Fluoreszenzmikroskopie einzusetzen und somit mit weniger Lichtbelastung Langzeitbeobachtungen von photo-sensitiven Proben zu ermöglichen.

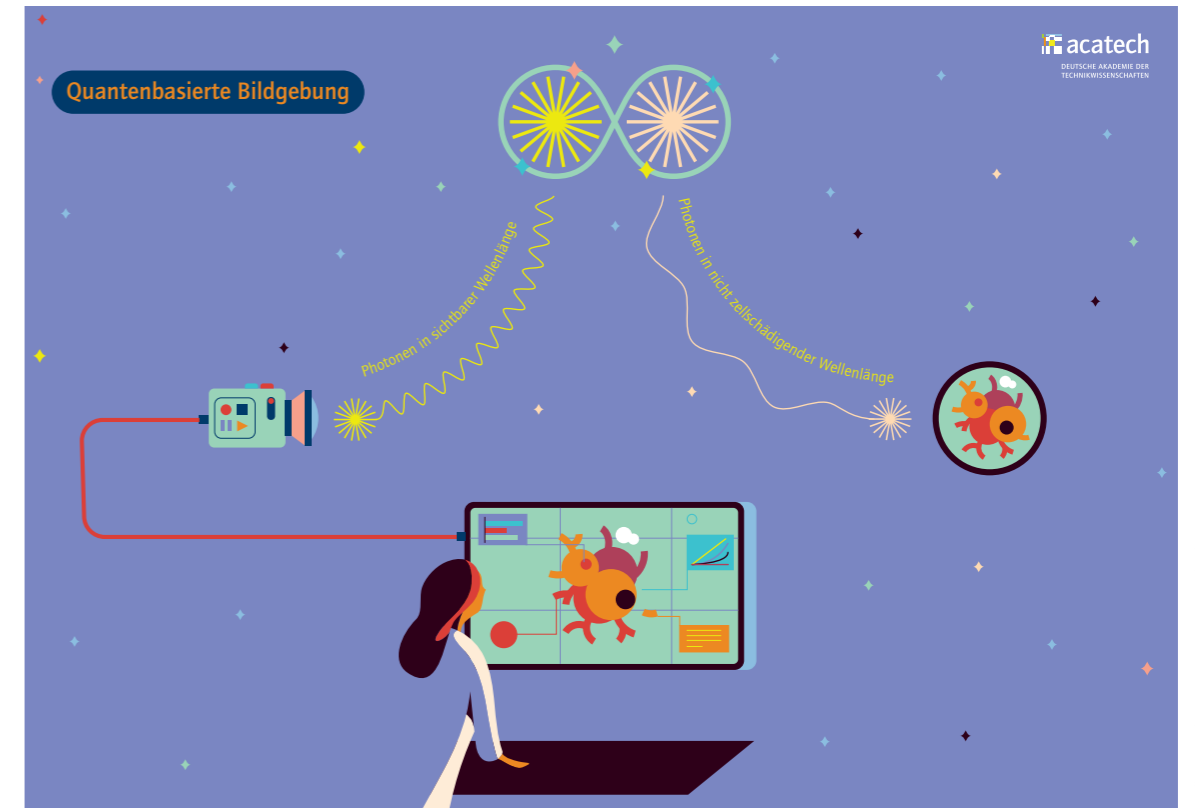
Ghost Imaging – Messung bei wenig Licht

Beim Ghost Imaging werden Zwilling-

photonen genutzt, wobei ein Photon mit einer Probe interagiert und im Anschluss auf einen einfachen Detektor ohne räumliche Auflösung trifft. Das Partnerphoton hingegen wird direkt auf eine räumlich auflösende Kamera gesendet (ohne Probeninteraktion). Diese Kamera wird durch den Detektor „scharf“ geschaltet. Mit Hilfe gemeinsamer Detektionsevents, der Koinzidenzen, kann nun das Bild ermittelt werden, obwohl das Licht auf der Kamera nicht direkt mit der Probe interagiert hat. Damit ergibt sich ein Vorteil dieses Verfahrens: Zur Detektion des Lichtes, welches mit der Probe wechselwirkt, wird nur ein einfacher Detektor benötigt. Der zweite Vorteil ist, dass mit Ghost Imaging prinzipiell Bildaufnahmen unterhalb des Schrotrauschens möglich sind. Man kann damit also schwache Signale sichtbar machen. Entwicklungsbedarf zeigt sich in der Detektionseffizienz, außerdem muss die Elektronik schneller werden.

Quantenbildgebung mit nicht-detektiertem Licht

Bei der sogenannten Quantenbildgebung mit nicht-detektiertem Licht ist am Fraunhofer Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF in Jena ein Durchbruch gelungen: Durch die Bestrahlung eines speziellen Kristalls in einem interferometrischen Aufbau werden Zwillingphotonen erzeugt, die miteinander verschränkt sind. Die Wellenlängen der Lichtteilchen können durch Ausrichtung und Temperatur des Kristalls kontrolliert werden. Damit wird es möglich, für die Untersuchung einer Probe einen anderen Lichtstrahl zu nutzen als für die Bildgebung in der Kamera, eine Voraussetzung für den Einsatz in extremen Spektralbereichen, wie etwa dem unsichtbaren mittleren Infrarot. Während Photonen im unsichtbaren Wellenlängenbereich zum Untersu-



Quantenbildgebung mit nicht-detektiertem Licht macht sich die Paareigenschaften von Zwillingphotonen zunutze. Mit dem einen Photon wird die Probe bestrahlt, das andere wird auf die Kamera gerichtet und erzeugt dort das Bild der Probe

chungsobjekt geschickt werden, werden die Partnerphotonen im sichtbaren Spektrum von der Kamera eingefangen. Da die verschränkten Lichtteilchen die gleiche Information in sich tragen, entsteht ein Bild, obwohl das Licht, das die Kamera erreicht, das Objekt nie gesehen hat. Ein entscheidender Vorteil des Verfahrens, der für den anstehenden Transfer in die Wirtschaft spricht, ist der Einsatz von Standardkameras. Limitierender Faktor ist aktuell die Auflösung, welche u. a. durch den Kristall zur Erzeugung der Zwillingphotonen bestimmt wird.

Auf dem Weg in die industrielle Anwendung

Derzeit werden in allen Bereichen Prototypen entwickelt, allerdings in sehr unterschiedlichen Entwicklungsstadien. Sehr vielversprechend ist die Quantenbildgebung mit nicht-detektiertem Licht. Die wichtigste Aufgabe der kommenden Jahre wird es sein, die Verfahren für die Anwendung im industriellen Maßstab weiterzuentwickeln. Dabei sind sowohl Expertinnen und Experten aus der Quan-

tenoptik als auch den Ingenieurwissenschaften gefragt. Die Systeme müssen kleiner, performanter und anwendungsfreundlicher werden. Eine der wichtigsten Herausforderungen wird auch darin bestehen, die Quantentechnologie in bestehende Mikroskopie-Systeme zu integrieren. Denn Quantenmikroskopie wird die traditionelle Mikroskopie nicht ersetzen, sondern nur ergänzen.

Eine gute Nachricht für Unternehmen, die Anwendungsfälle für die quantenbasierte Bildgebung haben, aber keine Quantenexperten: Quantenmikroskope unterscheiden sich in der Anwendung nicht wesentlich von klassischen Mikroskopen, eine Produktschulung genügt. Trotzdem ist ein Umdenken bei den Anwendungsunternehmen und ihren Mitarbeitenden nötig, um das volle Potenzial der neuen Technologie zu verstehen und auch nutzen zu können.

Quantenbasierte Bildgebung als Querschnittstechnologie

Der wirtschaftliche Durchbruch in der

Quantenoptik wird im Gegensatz zu anderen Quantentechnologien nicht mehr lange auf sich warten lassen. Er ist in den nächsten fünf bis zehn Jahren zu schaffen, wenn Entwicklerinnen und Entwickler der Verzicht auf kostspielige Spezialkomponenten gelingt und stattdessen kostengünstigere Systeme und Standardkomponenten zum Einsatz kommen. Dazu braucht es Quantenwissen auf der einen und Ingenieurs-Knowhow auf der anderen Seite. Perspektivisch ist auch ein neues Berufsfeld denkbar: Quantum Engineering, oder sprichwörtlich der „Quantenmechaniker“. Gelingt diese Kombination der Expertisen, birgt das auch eine große Chance für die vielen deutschen Unternehmen, die auf Sensorik und Bildgebung spezialisiert und am Weltmarkt erfolgreich sind.

Dr. Markus Gräfe

Head of Quantum Enhanced Imaging Group, Fraunhofer IOF

Mitgründer Quantum Optics Jena GmbH
Projektgruppenmitglied acatech
HORIZONTE Quantentechnologien

Magnetisches Kühlen in der Quantentechnologie

Die Kühlung auf Temperaturen nahe des absoluten Temperaturnullpunkts bei 0 K (-273.15 °C) ist eine essenzielle Anforderung vieler wissenschaftlicher Fragestellungen und quantentechnologischer Anwendungen. So erfordert beispielsweise der Betrieb von Quantendetektoren, die zum Aufbau eines künftigen Quanten-Internets genutzt werden können, oder der Betrieb von Quantencomputern, je nach verwendeter Technologie, Temperaturen zwischen 0.02 K und 4 K.

Konventionelle Lösungen

Um diese Temperaturen zu erzeugen, werden in Forschung und Technik traditionell tiefkalt verflüssigte Gase, sog. Kryogene, verwendet, wobei flüssiges Helium das wichtigste Kühlmittel darstellt. Insbesondere zur Erzeugung von Temperaturen deutlich unter 1 K wird bisher meist das extrem seltene und teure Isotop Helium-3 verwendet. Auf Basis von Helium-3 arbeitende Kühlgeräte sind allerdings träge, technisch sehr komplex und umständlich in der Handhabung.

Magnetisches Kühlen

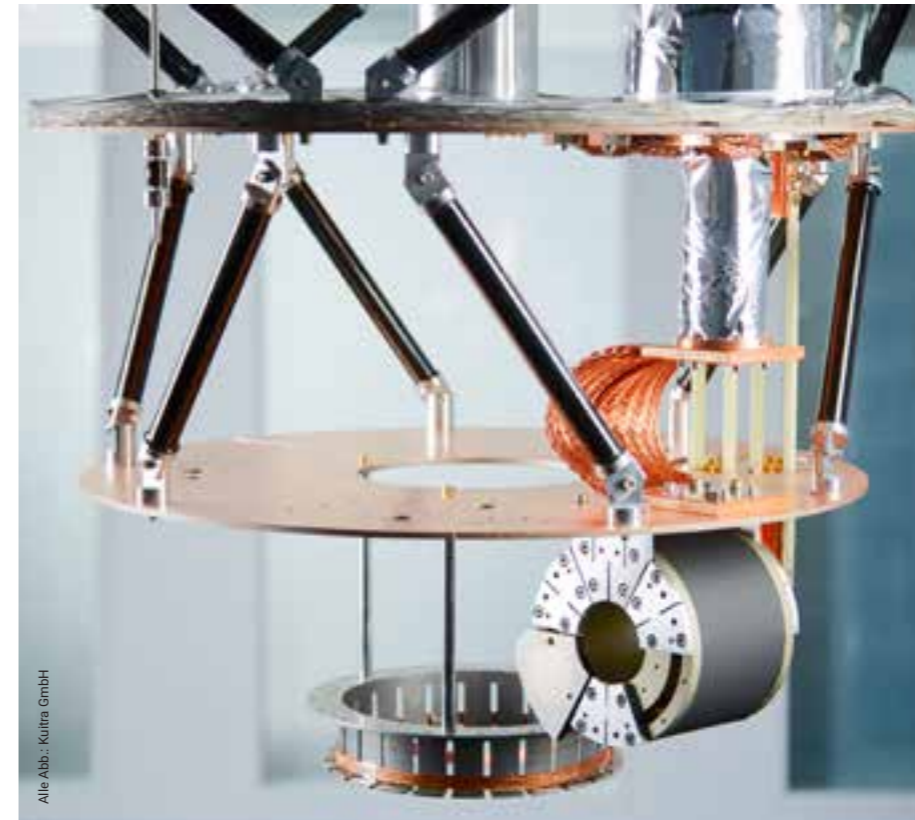
Eine Alternative, die die Verwendung tiefkalter Flüssigkeiten und seltener Elemente wie Helium-3 vermeidet, ist das sogenannte magnetische Kühlen. Die magnetische Kühlung, oder Adiabatische Entmagnetisierungskühlung (kurz "ADR" für englisch "Adiabatic Demagnetization Refrigeration"), ist eine etablierte Technik, die bereits in den 1930er Jahren erstmals umgesetzt wurde. Im Gegensatz zu konventionellen Kühltechniken können bei diesem Kühlverfahren preiswerte Feststoffe als Kühlmittel eingesetzt werden.

Abb. 1 veranschaulicht einen typischen magnetischen Kühlprozess. Hierbei wird zur Kühlung ein paramagnetischer (magnetisch ungeordneter) Feststoff (Kühlmedium) mittels eines mechanischen Kühlers zunächst vorgekühlt (1). Anschließend wird das Kühlmedium durch eine supraleitende Magnetspule magnetisiert (2). Die dabei entstehende Wärme wird in die Vorkühlstufe abgegeben (3). Im Anschluss kann das Kühlmedium durch einen Wärmeschalter thermisch

von der Umgebung isoliert werden (4). Schließlich wird das Magnetfeld wieder reduziert, wodurch gleichzeitig die Temperatur des Mediums abnimmt – der erwünschte und technisch ausgenutzte Kühleffekt (5-6). Allerdings gestattet die ADR-Methode in ihrer typischen Ausführung keine dauerhafte Kälteerzeugung, da sich das Kühlmedium nach dem vollständigen Entfernen des Magnetfelds wieder erwärmt (7-8). Temperaturen unterhalb von einigen Kelvin können deshalb nur für einen begrenzten Zeitraum von typischerweise einigen Stunden bereitgestellt werden – zu kurz für viele Anwendungen und experimentelle Untersuchungen. Dies ist umso bedauerlicher als Vorschläge für kontinuierlich betriebene magnetische Kühler (»continuous ADR«, cADR) seit langem existieren und bereits einzelne Prototypen erfolgreich z. B. für Weltraummissionen entwickelt wurden. Vor diesem Hintergrund wurde im Jahr 2018 die kiutra GmbH gegründet, die es sich zum Ziel gesetzt hat eine einfache und skalierbare Umsetzung der kontinuierlichen magnetischen Kühlung zu entwickeln und diese für ein breites Anwenderfeld aus Forschung und Industrie zur Verfügung zu stellen.

Technische Umsetzung der cADR

Für die Umsetzung der cADR sind dabei mindestens zwei separate Kühlstufen nötig. Abbildung 2 zeigt einen einfachen schematischen Aufbau sowie den Temperaturverlauf eines zweistufigen cADR-Systems. In diesem Beispiel sind beide Kühlstufen seriell durch Wärmeschalter und mit der Vorkühleinheit verbunden. Zu Beginn sind alle Schalter geschlossen, das System auf die Basis-Temperatur der Vorkühlstufe gekühlt und beide Kühlmedien vollständig magnetisiert (1). Durch Öffnen des zweiten Schalters wird die zweite Kühlstufe thermisch von der vor-



Supraleitende Magnetspule montiert auf dem 4K-Strahlungsschild eines ADR-Kryostaten

wieder selbst für die Kühlung sorgen. Währenddessen wird die erste Kühlstufe, analog zum einstufigen ADR-Prozess, regeneriert (5). Wie Abb. 2 zeigt, kann durch die Wiederholung dieses Prozesses ((3) – (5)) eine kontinuierliche Kühlung bei einer Zieltemperatur (grüne Linie) im Sub-Kelvin Bereich erreicht werden.

Technische Herausforderungen

Für die technische Umsetzung eines solchen magnetischen Dauerkühlers sind dabei weitreichende Kenntnisse in verschiedensten Fachbereichen erforderlich. Zur Herstellung der Kühlmedien müssen verschiedene Kristallzüchtungsverfahren beherrscht werden. Für die Magnetisierung und Entmagnetisierung der Kühlmedien kommen spezielle Supraleitersmagnetspulen zum Einsatz, die in einem komplexen Prozess gewickelt, für den Einsatz unter Hochvakuumbedingungen und bei kryogenen Temperaturen ausgelegt werden. Um darüber hinaus die Kühlleistung einer cADR-Anlage zu optimieren, müssen Stützstrukturen und die für den Anlagenbau verwendeten Materialien an die besonderen mechanischen und thermischen Anforderungen bei tiefen Temperaturen angepasst werden – entscheidend sind hier Materialwahl und der Einsatz geeigneter Fügeverfahren, um Spezialwerkstoffe wie Reinelemente und Hochleistungskunststoffe zu kombinieren. Erst das Zusammenwirken optimierter Kühlmedien, einer idealen mechanischen Struktur und leistungsfähiger supraleitender Magneten ermöglicht schließlich die erfolgreiche Umsetzung magnetischer Dauerkühler und ihren Einsatz im Bereich der angewandten Quantentechnologien.

Dr. Felix Rucker
kiutra GmbH München

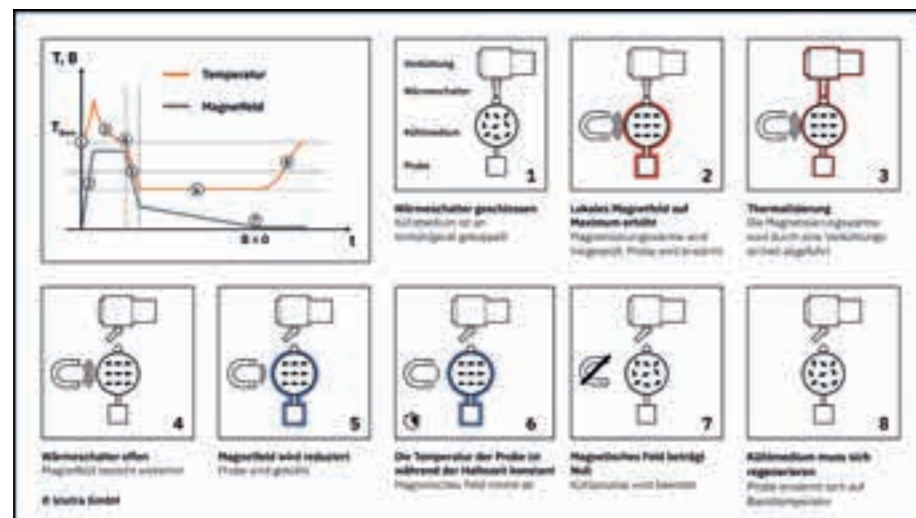


Abb. 1: Infografik zur magnetischen Kühlung (ADR)

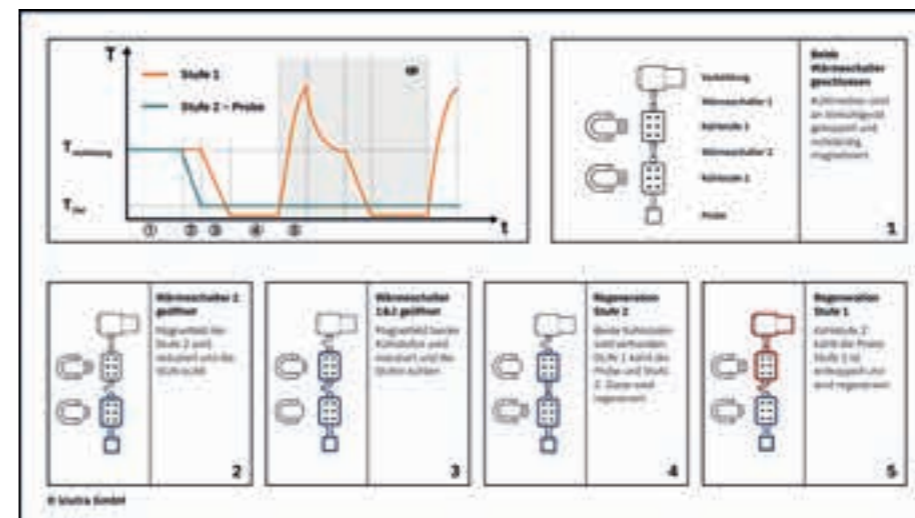


Abb. 2: Infografik zur kontinuierlichen magnetischen Kühlung (cADR)

Von Quantenkopierern und Überlichtgeschwindigkeit

Im Jahr 1981 fand ein abenteuerliches Manuskript seinen Weg auf den Schreibtisch des Herausgebers der Zeitschrift *Foundations of Physics*. Der US-amerikanische Physiker Nick Herbert beschrieb darin eine Art früher Quantentechnologie: Ein System zur Nachrichtenübermittlung mit Überlichtgeschwindigkeit, den *First Laser-Amplified Superluminal Hookup*, kurz: *FLASH*. Informationen schneller als das Licht übertragen – seit Einsteins Relativitätstheorie von 1905 sind solche Ideen für Physiker eine Zumutung. Doch wie sich zeigen würde, führte die Beschäftigung mit diesem scheinbar absurden Vorschlag zu einem wichtigen Theorem für die heutigen Quantentechnologien.

aber in seiner Freizeit stillen. So geriet er in Kontakt mit einem Netzwerk junger Physiker in ähnlichen beruflichen Situationen, der *Fundamental Physics Group*.

Ungebunden von akademischen Zwängen konnten diese Underground-Physiker in den 1970er Jahren nach Lust und Laune ihren physikalischen Interessen nachgehen. Inspiriert vom esoterischen Zeitgeist spekulierte man etwa über die Natur des Bewusstseins oder Gedankenübertragung. Im Zentrum stand meist das Phänomen der Verschränkung – von Einstein „spukhafte Fernwirkung“ genannt. Bekanntlich verändert der Messprozess im Allgemeinen den Quantenzustand eines Teilchens. In einem System aus zwei verschränkten

men. Im *FLASH*-System schlug Herbert einen Trick vor: Eine Laserröhre, die Lichtwellen perfekt kohärent verstärkt, sollte als Photonenkopierer dienen. An einer großen Zahl von Photonen im identischen Zustand könnte nun der Zustand mit einer statistischen Messung bestimmt werden, um so die Nachricht von A ohne Zeitverzögerung auszulesen. Einsteins Höchstgeschwindigkeit wäre außer Kraft gesetzt.

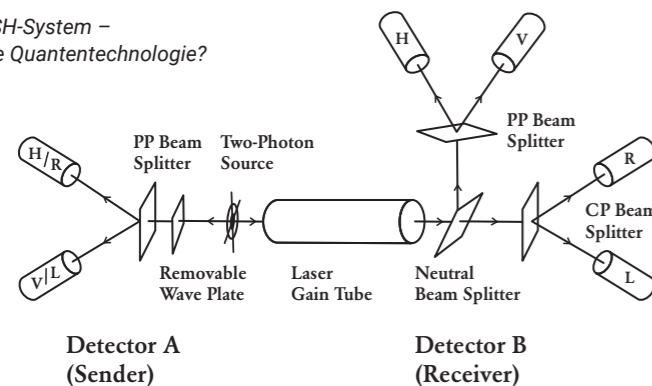
Die Gutachter des Manuskripts zeigten sich jedoch wenig beeindruckt und machten sich auf die Suche nach dem Fehler im Argument. Schnell fiel der Verdacht auf die Laserröhre, die wohl kein perfektes „Photon-Xeroxing“ liefern würde. Trotzdem verbreiteten sich Kopien von Herberts Manuskript und sorgten für Diskussionen über Quantenkopierer und Überlichtgeschwindigkeit. Ende 1982 druckte *Foundations of Physics* sogar zum Entsetzen der Gutachter den *FLASH*-Artikel ab. Aber fast gleichzeitig bewies eine Arbeit in der Fachzeitschrift *Nature* endgültig, dass das Kopieren von unbekanntem Quantenzuständen nicht möglich ist. Des einen Leid, des anderen Freud: Für die Sicherheit der Quantenkryptographie bildet dieses *No-Cloning-Theorem* heute die theoretische Basis. Und Nick Herbert? Der veröffentlicht bis heute auf seinem Blog Vorschläge für die Kommunikation mit Überlichtgeschwindigkeit, und freut sich auf die Erkenntnisse aus deren Widerlegung.

Eckhard Wallis
Deutsches Museum

Zum Weiterlesen

- David Kaiser: *How the Hippies saved Physics*, Norton 2011.
- Nick Herbert: *FLASH – A superluminal communicator based upon a new kind of quantum measurement*, in: *Foundations of Physics*, Vol. 12 (1982), p. 1171 - 1179

Das *FLASH*-System – eine frühe Quantentechnologie?



Die *FLASH*-Idee war kein Produkt einer Universität, sondern der New Age-Kultur der 1970er Jahre. Begonnen hatte Herbert sein Studium noch in einer Zeit des Wachstums der Physik. Zur Zeit seines PhD-Abschlusses in Stanford 1967 hatte sich der Trend jedoch umgekehrt. Wachsende Absolventenzahlen standen einem schrumpfenden akademischen Stellenpool gegenüber. Herbert fand in der Folge Anstellungen als Industriephysiker bei Elektronikfirmen an der Westküste. Seinen intellektuellen Hunger nach physikalischen Fragen und Problemen musste er

Teilchen A und B legt die Messung am Teilchen A aber auch den Zustand des Teilchens B fest – und das instantan über weite Entfernungen.

Nick Herbert war fasziniert von der Idee, die Verschränkung für die Signalübertragung mit Überlichtgeschwindigkeit zu nutzen. Durch die genauen Einstellungen des Messgeräts bei A könnte das Signal codiert werden, um es dann in den Quantenzuständen bei B auszulesen. Das Problem: Der Quantenzustand von B lässt sich nicht in einer einzelnen Messung bestimm-

DOCH.

Am Fraunhofer IIS betreiben wir Spitzenforschung im Bereich Quantentechnologien und finden effiziente Lösungen für unsere Gesellschaft.

www.iis.fraunhofer.de

Unsere Forschungsprojekte haben folgende Anwendungsschwerpunkte:

- Bildgebung, Sensorik und Signalverarbeitung
- Logistik
- Mobilfunk und funkbasierte Lokalisierung

QLindA - Quantum Reinforcement Learning für industrielle Anwendungen

Das Projekt zielt darauf ab, die jüngsten Fortschritte im Quantencomputing (QC) und in künstlicher Intelligenz, insbesondere im Reinforcement Learning, zu kombinieren und technisch nutzbar zu machen.

BayQS – QC-gestütztes Reinforcement Learning

Das Teilprojekt untersucht das Potential quantenbasierter Lernverfahren zur schnelleren und effizienteren automatisierten Entscheidungsfindung und Berechnung für funkbasierte IoT-Systeme in der Industrie.

BayQS – QC-gestützte Computertomographie

Wie kann moderne industrielle Messtechnik durch die neuen Möglichkeiten von QC erweitert und verbessert werden? Das Potential quantenbasierter Optimierungsverfahren und quantenbasierter Bildverarbeitung wird in diesem Teilprojekt untersucht.

BayQS – QC-gestützte Zeitreihenprognose

Das Potential von hybriden Algorithmen zur Zeitreihenanalyse wird untersucht und entwickelt, um bestimmte Berechnungsschritte auf den Quantencomputer auszulagern.

HALQ – Halbleiterbasiertes QC

Das Projekt HALQ entwickelt Elektronik für Measurement and Control von Qubits und trägt so zur Verwirklichung der Vision eines Quantencomputers »made in Germany« bei.

Im Herzen von Franken läuten wir eine neue Ära der internationalen Quantenforschung ein. Seien Sie dabei!

All unsere Stellen dazu und Jobs aus anderen innovativen Forschungsfeldern finden Sie hier:

Direkteinstieg



Studierende



Klassische Kommunikationsnetze + Quantentechnologie

Die Weiterentwicklung von Kommunikationsnetzen führt aktuell zu paradigmatischen Veränderungen der Netzwerkarchitektur, weg von reiner Datenübertragung hin zu Funktionalitäten welche auch Rechen- und Speicherfunktionen benötigen und auf der Anwendungsebene anbieten. Softwarebasierte Lösungen erhöhen die Konfigurierbarkeit und Ausfallsicherheit, haben jedoch auch inhärente Probleme wie den erhöhten Energieverbrauch und Rechenverzögerungen. Lösungen für diese Probleme werden auch im Bereich der Quantentechnologien gesucht, und haben vielversprechende Forschungsansätze für hybride klassisch-quanten Kommunikationsnetze hervorgebracht. Einer dieser Ansätze sind die sogenannten verschränkungsassistierten Kommunikationstechnologien, die wir hier näher betrachten wollen. Nachdem die sichere quantenbasierte Schlüsselverteilung (Quantum Key Distribution QKD, siehe TiB Heft 06/2018) nun als weitgehend ausgereifte Technologie in Feldtests erprobt wird, wird die Forschung im Bereich der Quantenkommunikationsnetze weiter vorangetrieben, um in Zukunft kommerziell erfolgreiche Anwendungen zu schaffen. Die Idee ist, quantenmechanische Ressourcen, wie die Überlagerung von Quantenzuständen und die Quantenverschränkung für Anwendungen mit hohen Anforderungen an Latenz und Ausfallsicherheit sowie sichere verteilte Berechnungen und letztendlich Quantencomputing zu nutzen. Diese Anwendungen gehen weit über die Einbindung als reine Sicherheitslösung hinaus, und unterstützen die Transformation von Kommunikationsnetzwerken hin zu Netzwerken, die nicht mehr nur simple Datenkanäle bieten. So wie die klassischen Netze ursprünglich auf der bestehenden, alten Telefoninfrastruktur aufgebaut wurden, werden solche quantenmechanische Netze in einer hybriden Weise auf der In-

frastruktur der klassischen Netze aufgebaut werden.

Nutzung der Quantenverschränkung

Quantenverschränkung beschreibt einen sehr speziellen gemeinsamen Zustand mehrerer Quantenobjekte (z. B. Photonen): Misst man eine Eigenschaft des einen Teilchens, z. B. die Polarisationsebene, so ist die entsprechende Eigenschaft des anderen Teilchens damit ebenfalls instantan festgelegt. Über diesen Effekt, der im Bereich der klassischen Physik nicht erklärbar ist, lassen sich keine Nachrichten übertragen. Durch die Nutzung von unterschiedlichen Möglichkeiten in der Durchführung der lokalen Messungen entstehen jedoch auch unterschiedliche statistische Korrelationen zwischen den Messergebnissen.

Wir illustrieren dies an einem in der Forschung bekannten Beispiel: Zwei Parteien (Alice und Bob) die einen verschränkten Zustand teilen, können an diesem je zwei Messungen (bezeichnet mit 0 und 1) durchführen, welche $X=0$ oder $X=1$ für Alice ergibt oder $Y=0$ oder $Y=1$ für Bob. Die Messungen können beispielsweise durch variabel einstellbare Analysatoren realisiert werden, welche die Polarisationsrichtung je eines der Teilchen messen. Je nach Art der durchgeführten Messung ergibt sich dabei ein statistisch extrem unterschiedliches Bild: Falls sowohl Alice als auch Bob die Messung 0 durchführen, erhalten sie mit einer Wahrscheinlichkeit von etwa 0.85 ungleiche Ergebnisse. In jedem anderen Fall erhalten sie mit hoher Wahrscheinlichkeit identische Ergebnisse.

Experimente welche die Verschränkung von Photonen zur Erzeugung solcher nichtklassischer Korrelationen nutzen, wurden beispielsweise systematisch von Alain Aspect in den frühen 80ern durchgeführt. Die Nutzung dieser Effekte für die Optimierung der Übertragung klassischer Nachrichten ist

Gegenstand aktueller Forschung, zum Beispiel in der von der DFG geförderten Emmy Noether Gruppe Theoretical Quantum Systems Design an der Technischen Universität München [2].

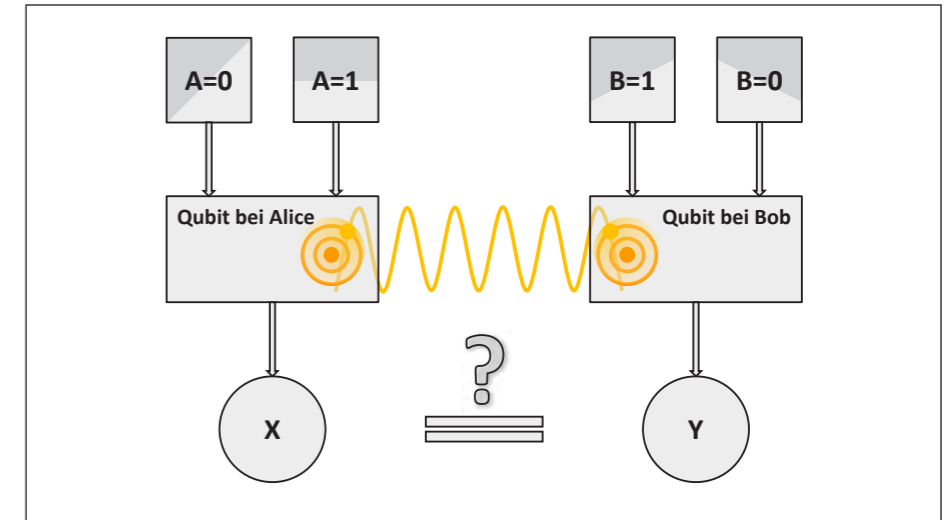
Quantennetzwerke

Während die Forschung im geschilderten Fall noch etliche Schritte von praktisch nutzbaren Beispielen entfernt ist, werden andere Techniken wie superdichte Kodierung (dense coding), bei denen Verschränkung zwischen Sender und Empfänger genutzt wird um die Datenübertragungsraten zu erhöhen, beispielsweise an der University of Arizona [3], experimentell erprobt und ihre Einsatzmöglichkeiten in Kommunikationsnetzen untersucht [4]. Diese Technologien stellen einen Zwischenschritt dar, bei welchem die Verschränkung zwischen Quantensystemen nur lokal und zwischen wenigen Parteien genutzt wird.

Die viel weitergehende Idee hinter Quantenkommunikationsnetzwerken mit vielen verteilten verschränkten Teilen ist, dass die Knoten des Netzwerks als verteilte Teile desselben physikalischen Systems betrachtet werden können. Erst in solchen Netzwerken kann dann auch verteiltes Rechnen zwischen Quantencomputern ermöglicht werden.

Auf dem Weg zur Realisierung dieser Netzwerke ist die Quanteninformationstheorie eine wichtige Basis. Interessierte Leser können detaillierte Informationen in dem aktuellen Buch [1] finden, welches eine informationstheoretische Perspektive auf Quantenkommunikationsnetzwerke bietet. Informationstheorie wirkt über die Erstellung von theoretischen Modellen als Generator von Ideen und hat bereits wichtige Grundbausteine wie das No-Cloning-Theorem, Teleportation oder Dense Coding hervorgebracht und ermöglicht nun auch die Modellierung von Szenarien, in denen mehrere Quellen Informationen über einen einzigen Kommunikationskanal an einen

Schematische Skizze eines Aufbaus für das beschriebene Experiment mit je zwei unterschiedlichen Messapparaten für Alice und Bob.



einzig Empfänger übertragen. Sie ermöglicht den Vergleich zwischen klassischen und Quantensystemen auf einer kostengünstigen Modellebene.

Schließlich bieten Quantenkommunikationsnetzwerke enormes Potential im Bereich des verteilten Rechnens – auch ohne die Realisierung von Quantencomputern. Insbesondere in Europa, wo sowohl technologische Innovation als auch die Datensicherheit großgeschrieben werden, ist dies ein wichtiger Faktor. In modernen Netzwerken können unterschiedliche Netzwerkknoten erhebliche private Datenmengen erzeugen (beispielsweise im autonomen Fahren oder in sozialen Netzwerken). Diese sollen nicht ungehindert untereinander geteilt werden, um die Privatsphäre der Erzeuger der Daten zu wahren. Gleichzeitig bietet nur die Kombination der Daten die Möglichkeit einen technischen und ökonomischen Mehrwert zu generieren. In einem aktuellen klassischen Netzwerk ist die Berechnung von Funktionen verteilter Daten bei gleichzeitiger Wahrung der Privatsphäre extrem komplex. In Quantenkommunikationsnetzwerken könnte verteilte Verschränkung genau dieses Szenario ermöglichen.

Ausblick

Viele der bisher nur in der Theorie existierenden Protokolle müssen jedoch zunächst mit Hilfe von Simulatoren (wie beispielsweise QuNetSim [5]) und Testbeds geprüft und verbessert werden. Um diese Hürden zu meistern gibt es immer mehr interdisziplinäre Zusammenarbeiten. Langfristig können durch das Quantenmechanik-basierte Computing und Networking sowohl bestehende Probleme in Netzwerken gelöst, als auch gänzlich neue Dienstleistungen für Industrie und Endkunden entwickelt werden.

Dr. Christian Deppe und
Dr. Janis Nötzel
Fakultät für Elektrotechnik und
Informationstechnik,
Technische Universität München

Literatur

- [1] Bassoli, Riccardo; Boche, Holger; Deppe, Christian; Ferrara, Roberto; Fitzek, Frank H. P.; Janssen, Gisbert; Saeedinaeni, Sajad: Quantum Communication Networks. Springer International Publishing, 2021.
- [2] Nötzel, Janis, Entanglement-Enabled Communication, in IEEE Journal on Selected Areas in Information Theory, vol. 1, no. 2, pp. 401-415, Aug. 2020.
- [3] S. Hao, H. Shi, W. Li, J. H. Shapiro, Q. Zhuang, Z. Zhang, "Entanglement-Assisted Communication Surpassing the Ultimate Classical Capacity," Phys. Rev. Lett. 126, 25 (2021)
- [4] Nötzel, Janis; DiAdamo, Stephen, "Entanglement-Assisted Data Transmission as an Enabling Technology: A Link-Layer Perspective," 2020 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT), 2020, pp. 1955-1960, doi: 10.1109/ISIT44484.2020.9174366.
- [5] S. DiAdamo, J. Nötzel, B. Zanger and M. M. Bese, "QuNetSim: A Software Framework for Quantum Networks," in IEEE Transactions on Quantum Engineering, doi: 10.1109/TQE.2021.3092395. 2021.

LESETIPPS

Tutorial Quantenmechanik Ein Brückenkurs

Peter Schneider
Verlag P. Schneider, Herborn 2018
ISBN: 978-1721248933
20,86 Euro

Der Autor beginnt mit den historischen Anfängen der Quantenphysik, Max Planck dürfte jedem noch ein Begriff sein. Über die Schrödingergleichung führt er die Leser zur „modernen Quantenmechanik“, also der heute üblichen Dirac-Notation mit spitzen Klammern, die man braucht, wenn man weitere Literatur lesen möchte, und sei es auch „nur“ eine Erklärung bei Wikipedia. Weiter geht es zu Matrizen und Operatoren und dem „schrecklichen“ Hilbertraum. Schneider nimmt seinen Lesern die natürliche Angstbarriere, die für viele vor dem Eindringen in solche abstrakte Materie steht. Das Buch führt, was die Anwendungen betrifft, bis zum Laser, leider nicht bis zum Quantencomputer.

Dafür bietet sich ein **Tutorial** an von **Prof. Michael J. Hartmann, FAU Erlangen-Nürnberg und Frank Deppe, TU München**. Es behandelt gut verstehbar die Thematik am Beispiel des Google Computers mit dem Sycamore-Prozessor. Kostenloser Download unter <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/piuz.202001587>

VDE Südbayern

Virtuelle Mitgliederversammlung 2021

Der VDE Südbayern e. V. will seine Aktivitäten in mittleren und kleinen Städten und in der gesamten Region verstärken. Die bisher sehr auf München ausgerichtete Vereinsarbeit solle künftig mehr in anderen Hochschulstandorten und allgemein in ganz Südbayern intensiviert werden, kündigte Dipl.-Ing. Klaus Bayer, der Vorsitzende des VDE-Bezirksvereins, bei der virtuellen Mitgliederversammlung am 22. Juni 2021 an. In Kooperation mit dem VDE Nordbayern solle so ein flächendeckendes Angebot für ganz Bayern zustande kommen, durch das mehr Mitglieder auch außerhalb der Ballungsräume München und Nürnberg gewonnen werden können.

Zu den Zweigstellen in Augsburg, Kempten und Rosenheim könnte bald eine Zweigstelle in Landshut dazu kommen – in der niederbayerischen Stadt gibt es bereits eine sehr aktive Hochschulgruppe. Gespräche mit der Hochschule Landshut habe es bereits gegeben, auch der Landshuter Bürgermeister habe großes Interesse an einer VDE-Zweigstelle in seiner Stadt gezeigt, so Bayer. Der Vorsitzende berichtete auch von den Aktivitäten in Augsburg, wo es genau anders herum gelaufen ist: In der Fuggerstadt hatte es schon eine sehr aktive Zweigstelle gegeben, im vergangenen Jahr war dort dann eine neue Hochschulgruppe gegründet worden. Vielleicht könne das auch noch in anderen südbayerischen Hochschulstädten gelingen, damit könne der Verein auch wieder mehr Jungmitglieder finden. An den neuen Standorten soll es mit den Zweigstellen und Hochschulgruppen dann nicht nur Anlaufstellen für alle geben, die sich für die Zukunftstechnologien interessieren, für die der VDE steht. Sondern es sollen dort auch Veranstaltungen wie Vorträge, Diskussionsrunden und Konferenzen stattfinden – dabei will der Bezirksverein noch mehr mit dem



Grafik: VDE Südbayern

VDE Bayern zusammenarbeiten. Dessen Leiter Peter Rief wies bei der Mitgliederversammlung etwa auf das zweitägige VDE Bayern Zukunftsforum hin, das sich besonders an Jungmitglieder richtet und in diesem Jahr im Oktober erstmals stattfinden soll, unter dem Motto „Die Energiewende: Chancen und Herausforderungen für Bayern“ in Schweinfurt. Im Jahr 2022 soll dann „Smart & Green Cities“ Thema des Zukunftsforums sein.

Im vergangenen Jahr 2020 war die Vereinsarbeit sehr stark durch die Corona-Pandemie ausgebremst worden – vor allem Präsenzveranstaltungen waren kaum möglich. Bayer zeigte sich in seinem Jahresbericht aber erfreut darüber, dass das Vereinsleben dank virtueller Veranstaltungen zumindest in einem gewissen Umfang möglich war. An Online-Vorträgen und Online-Seminaren hätten erstaunlich viele Interessenten teilgenommen – die Arbeitskreise Energietechnik und Informationstechnik hatten es 2020 sogar geschafft, die Zahl der Teilnehmer pro Veranstaltung im Vergleich zu den Vorjahren deutlich zu steigern. In Zukunft sei es geplant, neben Präsenzveranstaltungen auch weiterhin viele virtuelle Veranstaltungen durchzuführen, sagte

Bayer: Das passe gut zu dem Vorhaben, in ganz Bayern flächendeckend ein attraktives Angebot für die Mitglieder bereit zu halten, unabhängig vom Wohnort. Denn klar sei auch, dass der VDE Südbayern in den nächsten Jahren alles daran setzen müsse, neue Mitglieder zu gewinnen. Die Grafiken, die Bayer bei der virtuellen Versammlung einblendete, zeigen für 2020 weiter rückläufige Mitgliederzahlen. Diese Tendenz hält nun schon seit Jahren an, betrifft aber die meisten Bezirksvereine im VDE. „Es wäre schön, wenn wir schon die Trendwende geschafft hätten“, so der Vorsitzende.

In Sachen Finanzen, vor einigen Jahren noch das Sorgenkind des Vereins, ist das längst erreicht. Schatzmeisterin Dr.-Ing. Friederike Fohlmeister konnte den Mitgliedern eine positive Bilanz für 2020 präsentieren. Eigentlich sei geplant gewesen, das Jahr mit einer „Schwarzen Null“ abzuschließen. Wegen der vielen ausgefallenen Veranstaltungen konnten aber etliche Kosten eingespart werden, deswegen wurde im ersten Corona-Jahr ein leichter Überschuss erwirtschaftet. Dieser soll jetzt zurückgelegt und vornehmlich für künftige Veranstaltungen und für die Arbeit der Hochschulgruppen

verwendet werden. Die Mitgliederversammlung gewährte dem Vorstand ohne Gegenstimme die Entlastung für das Berichtsjahr 2020.

Für das Seminarwesen, einst Steckenpferd des Bezirksvereins, plant der Vorstand anstelle von eigenen Seminaren künftig eine enge Kooperation mit dem VDE-Verlag. Dieser bietet deutschlandweit ein umfangreiches Programm an Seminaren an. Dipl.-Ing. Rainer Klos, stellvertretender Vorsitzender, wies darauf hin, dass der Bezirksverein Nordbayern in Sachen Seminaren schon seit langem ausschließlich die Seminare des VDE-Verlags anbiete. Auch Dipl.-Ing. Peter Michalek, Referent für Seminare, hält das für den richtigen Weg. In den vergangenen Jahren hätten sich in diesem Bereich extrem viele neue Anbieter etabliert, die Konkurrenz sei sehr groß geworden, sagte Michalek. Es sei geschickter, sich hier das Angebot des VDE-Verlags zunutze zu machen.

Am Ende der virtuellen Versammlung informierte der Vorsitzende Klaus Bayer die Mitglieder über die neueste Entwicklung in der Kooperation mit dem VDE Bezirksverein Nordbayern, die in den vergangenen zwei Jahren immer weiter intensiviert wurde und hervorragend funktioniere. Es habe sich gezeigt, dass die Zusammenarbeit in Form des VDE Bayern den beiden Bezirksvereinen mehr Bedeutung bringe – „mehr Durchschlagskraft“, so Bayer. Gemeinsam könne man Sponsoren, Firmen, Politiker besser ansprechen und in der Öffentlichkeit wirksamer auftreten, wie nicht zuletzt der VDE Bayern Abend 2019 gezeigt habe.

Zwischen den Vorstandschaften sei nun der Gedanke entstanden, zu prüfen, ob die beiden Bezirksvereine als VDE Bayern e. V. zusammengelegt werden könnten. Sollten diese Untersuchungen und weitere Planungen positiv verlaufen, könnte der Mitgliederversammlung 2022 der Vor-

schlag für eine Fusion zur Abstimmung vorgelegt werden.

Peter Rief, der Leiter des VDE Bayern, machte die Mitglieder auf den VDE Bayern Abend 2021 aufmerksam, der möglichst wieder als Präsenzveranstaltung stattfinden soll – im vergangenen Jahr musste das Event wegen der Corona-Pandemie leider ausfallen.

Sofern die weitere Entwicklung es zulässt, soll der VDE Bayern Abend am 18. November 2021 im Hotel Bayerischer Hof in München über die Bühne gehen. An diesem Abend soll auch wieder der VDE Bayern Award für exzellente Abschlussarbeiten auf technisch-wissenschaftlichem Gebiet, für besondere Leistungen im Elektrowerk sowie für Schulen mit herausragenden MINT-Initiativen verliehen werden.

Christian Scholze

Anzeige

Kreativität, Erfindergeist & Innovationskraft

INNOVATIONSKONGRESS & iENA 2021

www.iena.de



Investitionen in Innovationen – und damit in die Zukunft – sind gerade in herausfordernden Zeiten unerlässlich! Um Innovationen in Gang zu setzen, braucht es nicht nur kreative Ideen und Mut, sondern auch ein geeignetes Innovationsmanagement. Doch wie gelingt ein erfolgreicher Innovationsprozess? Sowohl Global Player als auch mittelständische Unternehmen, aber auch Erfinder und Entwickler stehen vor dieser Frage.

Der Nürnberger Innovationskongress findet am 4. und 5.11. statt und richtet sich an Unternehmer, Entwickler, Kreative und Neugierige, die gewohnte Denkmuster durchbrechen wollen. Referenten aus Wirtschaft und Wissenschaft geben neue Impulse und zeigen, wie Innovationen zum Leben erweckt werden. Die Themen Patente, Schutzrechte, Fördermöglichkeiten und die Chancen, die sich gerade für KMUs daraus ergeben, stehen ebenfalls im Fokus. Darüber hinaus gibt es Praxis-Tipps und Hands-on-Beispiele im Bereich „Kreativität und Innovationsentwicklung“.

Parallel zum Innovationskongress zeigt die Erfindermesse iENA (4. bis 7.11.) in der Messe Nürnberg die spannenden Ergebnisse von kreativen Innovationsprozessen. Das Technikfestival Hack & Make begeistert am 6. und 7.11. mit Zukunftstechnologien.

Hochschule München

Weniger Anstrengung bei richtigem Licht

Eine optimierte Lichtumgebung ermöglicht die gleiche Leistung bei weniger Anstrengung – das ist eine gute Nachricht für die Arbeitswelt. Ein Forscherteam der Hochschule München konnte dies mit Versuchen im Lichtlabor nachweisen.

Tageslicht wirkt auf vielfältige Weise auf den menschlichen Organismus. Es synchronisiert die innere Uhr und beeinflusst die Schlafqualität. Verantwortlich für diese nicht-visuellen Effekte sind licht sensible Ganglienzellen in der Retina des Auges, die für blaues Licht empfindliches Melanopsin enthalten. Diese Zellen senden je nach Licht direkt Signale an das vegetative Nervensystem, die Steuerzentrale des Körpers. Auch künstliche Beleuchtung wirkt auf die Ganglienzellen – heute in der Regel ungeplant und oft mit unerwünschten Wirkungen. Doch moderne LED-Beleuchtung lässt sich vielfältig anpassen, um künftig das richtige Licht zur richtigen Zeit zu erzeugen. Wie unterschiedliche Lichtspektren sich am Arbeitsplatz bei üblichen Beleuchtungsstärken kurzfristig auf die Anstrengung auswirken, die für kognitive Leistungen aufgewandt wird, untersuchten Johannes Zauner und Prof. Dr. Herbert Plischke im Lichtlabor der Hochschule München – in Kooperation mit der LMU München und der TU Chemnitz.

Gängige Arbeitsplatzbeleuchtung und Leistung

Im Lichtlabor der HM wurde die kognitive Leistung von rund 30 Probanden bei drei unterschiedlichen Lichtszenarien jeweils vormittags und nachmittags untersucht. Die Beleuchtung entsprach in allen Fällen der gängigen EU-Norm zur künstlichen Beleuchtung von Innenräumen mit einer Helligkeit von 500 Lux auf der Arbeitsoberfläche. Variiert wurde die typische, neutralweiße LED-Beleuchtung (4000 Kelvin) in zwei Extreme: möglichst



Das richtige Licht zur richtigen Tageszeit: Im Lichtlabor der Hochschule München untersucht die Forschergruppe den Zusammenhang von Licht und Leistung

viel flächiges, kühl-blaues Licht von oben wie an einem hellen Morgen (7000 Kelvin) sowie möglichst wenig Licht von oben von rötlicher Lichtfarbe für eine Abendeneinstellung (2700 Kelvin). Die Unterschiede lagen in den Lichtspektren, der Intensität am Auge sowie in der Richtung des Lichteinfalls. Für diese Faktoren sind Ganglienzellen sensibel – als maximale und minimale Reizung.

Optimales Licht verringert die Leistungsanstrengung

Die Probanden durchliefen die drei Szenarien in zufälliger Reihenfolge jeweils vormittags und nachmittags. Während der insgesamt zehn bis fünfzehn Minuten Belichtung lasen sie zunächst und absolvierten dann einen Gedächtnistest, bei dem ihre Fehlerquote und Reaktionszeit gemessen wurde. Als körperlichen Parameter erhob das Forscherteam die Veränderung der Herzkontraktionszeit (Pre-ejection period, PEP). Diese gibt an, wie stark das vegetative Nervensystem die Aktivität des Sympathikus steigert und stellt ein Maß für die Leistungsanstrengung dar. Schon nach kurzer Belichtung stellt sich der Körper durch die Informa-

tionen der lichtempfindlichen Zellen im Auge individuell auf den entsprechenden Energiebedarf ein.

Das Ergebnis der Studie: Bei typischer Lichteinstellung war die Anstrengung für die gleiche Leistung erhöht. Doch bei morgendlichem Licht sank die Anstrengung bei gleicher Leistung ebenso wie bei abendlichem Lichtverhältnissen.

Johannes Zauner zu diesem Ergebnis: „Wir konnten feststellen, dass eine typische Lichtumgebung im Arbeitsumfeld zu höherer Anstrengung für die Probanden führt. Empfehlenswert wäre eine circadiane Regulierung des Lichts für den Morgen und den Abend. Als Momentaufnahme ist das Ergebnis wegen der geringen Effekte nicht kritisch zu sehen. Denkt man aber an die Jahrzehnte unseres Arbeitslebens, in denen wir diesem Licht ausgesetzt sind, kumulieren diese kleinen Effekte zu relevanten Faktoren. Sie sind dann eine Frage der Ergonomie.“

Die Studie „Influence of common lighting conditions and time-of-day on the effort-related cardiac response“ ist bei PLOS ONE erschienen.

Christiane Taddigs-Hirsch
Hochschule München

Foto: Johanna Weber



VDI BV München

VDI Award Prädikat Ingenieurskunst

Lassen Sie sich anstecken von der Liebe zur Technik und bewerben Sie sich bis 31. Oktober 2021 beim Wettbewerb zum VDI Award "Prädikat Ingenieurskunst!"

Alle Informationen zur Bewerbung unter: www.vdi-sued.de

VDI BV Bayern Nordost

Einladung zur Jahresmitgliederversammlung 2021

am Freitag, den 17. September 2021, um 18.00 Uhr, im Arvena Park Hotel, Görlitzer Str. 51, 90473 Nürnberg.
Die Mitgliederversammlung wird als Präsenzveranstaltung unter Beachtung der geltenden CORONA-Verordnungen und den damit verbundenen Hygienevorschriften (AHA-Regeln) durchgeführt. Änderungen und Anpassungen der Gestaltung und des Ablaufs sind deshalb evtl. kurzfristig erforderlich.

18.00 Uhr Beginn der Jahresmitgliederversammlung 2021

Agenda

- Genehmigung des Protokolls der letzten ordentlichen Jahresmitgliederversammlung vom 12.04.2019 und Genehmigung der diesjährigen Tagesordnung
- Bericht des Vorsitzenden seit der letzten Mitgliederversammlung
- Bericht des Schatzmeisters über die Rechnungsjahre 2019 und 2020
- Ehrungen
- Bericht der Rechnungsprüfer über die Rechnungsjahre 2019 und 2020
- Genehmigung der Jahresabschlüsse 2019 und 2020
- Entlastung des Vorstands
- Ehrungen
- Bericht des Schatzmeisters über den Haushaltsplan 2021
- Bericht über die Aktivitäten der Bezirksgruppen und Netzwerke
- Bericht über die die Aktivitäten der Young Engineers
- Ehrungen
- Wahlen zum Vorstand (Vorsitz, stv. Vorsitz, Schriftführung, Öffentlichkeitsarbeit) und der Rechnungsprüfenden
- Anträge: Beschlussfassung über eine Satzungsneufassung gem. Veröffentlichungen in der „Technik in Bayern“ 02/2020, S. 49ff und 05/2021, S. 44ff
- Verschiedenes

19.45 Uhr Gemeinsames Abendessen, zu dem der VDI BVBNO alle Anwesenden einlädt

Bitte melden Sie sich über unsere Geschäftsstelle Email: geschaeftsstelle.bv-bno@vdi.de, Fax: +49 (0) 911 519 39 86 oder Post: VDI Bezirksverein Bayern Nordost e. V., Keßlerplatz 12, 90489 Nürnberg bis zum 08.09.2021 an, ob Sie mit oder ohne Begleitung kommen. Bitte teilen Sie uns gegebenenfalls auch Ihre schriftlichen Wahlvorschläge oder Anträge mit. Die Teilnahme an den Abstimmungen ist nur mit einem gültigen Ausweis möglich, den wir Sie bitten mitzubringen, ebenso den 3G-Nachweis (Genesen, Geimpft, Getestet). Das Protokoll der Jahresmitgliederversammlung 2019 wurde in der „Technik in Bayern“ Heft 04/2019, S. 30/31 veröffentlicht und ist auch in unserer Geschäftsstelle einsehbar.



Der Vorstand des VDI BV Bayern Nordost e. V.

VDI fib München

Bin ich wirklich so frei, wie ich meine?

Was unser Unterbewusstsein beim Thema „Geld“ mit uns macht

Warum tun wir uns schwer, für unsere Arbeit einen angemessenen Lohn einzufordern – bei Selbständigen äußert sich das oft im Auf-schieben der Rechnungstellung? Warum rinnt uns hart verdientes Geld einfach durch die Finger? Oder im größeren Kontext: Warum haben wir hervorragend ausgearbeitete Konzepte für die Erreichung ausführlich abgestimmter Ziele – und dann passiert nichts mehr nach den ersten Diskussionen über die Finanzierung?

Mit solchen Themen haben wir vom VDI-fib München uns am 14.07.2021 in einem interaktiven online-Workshop unter Anleitung von Nadjeschda (Nadja) Taranczewski auseinandergesetzt. Die Ankündigung unter dem Titel „Geld, Scham und Selbstwirksamkeit“ machte fast 30 Interessentinnen und Interessenten neugierig und lockte 15 Teilnehmerinnen tatsächlich vor den Bildschirm.

Ungewöhnlicher Einstieg in ein schwieriges Thema

Überrascht wurden die Teilnehmerinnen beim Einloggen mit beschwingter Popmusik. Die meditative Übung zur Körperwahrnehmung zu Beginn, die das Ankommen im virtuellen Raum und die Konzentration auf das Thema erleichtern sollte, wurde nach einem langen Arbeitstag gerne angenommen. Die Wirkung solcher Übungen ist in der Tat überraschend, und so war diese Erfahrung vielleicht schon der erste Gewinn aus dem Event. Im Hier und Jetzt angekommen, führte uns unsere Trainerin Nadja Taranczewski in die „Geldarbeit“ ein. In ihrem Coaching setzt sie Thesen ihres Mentors Peter König um, einem Organisationsberater, der feststellte, dass bei Beratungsthemen wie Firmenkultur, Werte, Visionen alles gut funktioniert, bis es um Geld geht. Hier „hört der Spass auf“ – wir kennen das ja auch als geflügeltes Wort.

Beim Geld hört der Spass auf!

Peter König arbeitete aus, dass uns im „Normalen Regime“, wie er es bezeichnet, eine kollektive Wahrnehmung zum Thema Geld antreibt, die darauf beruht, dass Geld die allseits akzeptierte Kompensation ist für unsere Arbeit. Sie deckt alles ab – auch z. B. erfahrenes Leid. Diese Wahrnehmung kommt aber aus der Vergangenheit, sie hat sich vor allem zu Beginn des industriellen Zeitalters herauskristallisiert. Heute ist sie nicht mehr aktuell: Zeit ist das wichtigste Gut. Diese kann man sich aber nicht mit Geld kaufen – ein unerreichbares Ziel. Hier sollte sich etwas ändern, aber was?

Ich tue, was ich wirklich will

Peter König postuliert einen natürlichen Kreislauf: ich tue das, was ich wirklich tun will, und das Leben unterstützt mich. Das erfordert einen anderen Blick auf mein Leben und zwingt mich, wesentliche Fragen zu beantworten: was macht es für mich lebenswert? Wofür will ich denn eigentlich Geld verdienen? Dazu sollte man sich auch klarmachen, was Geld ist: ein Versprechen. Das klingt zunächst unfassbar, aber es stimmt! Nadja machte uns das bildhaft klar. Ein 100 € Schein hat nur einen Wert, wenn mein Gegenüber, dem ich den Schein geben will, diesen auch anerkennt. Wenn er den Schein lediglich als ein buntes Stück Papier wahrnimmt, ist der Wert dahinter nicht mehr gegeben. Wir vertrauen heute auf einer noch abstrakteren Ebene: das meiste Geld wird über Computer gehandelt, und welcher Wert dahintersteckt oder auch nicht, erfahren wir immer wieder aus den Medien – man denke nur an wirecard und ähnliches. Und dann gibt es da noch das Thema der Projektionen: unser Unterbewusstsein verarbeitet alle unsere Erlebnisse zum Geld und triggert uns immer wieder in Richtung einer Wahrnehmung, die mög-



Nadjeschda Taranczewski

Foto: Conscious U GmbH Berlin

licherweise mit der aktuellen Situation gar nichts zu tun hat. Diese Triggerpunkte/Projektionen kann man aber offenlegen und damit eigene, abgespaltene Potentiale freisetzen.

Festgefahrener lösen durch neue Erfahrungen

Mit diesem theoretischen Rüstzeug gingen wir nun in Kleingruppen. In einem strukturierten Format tauschten wir uns über unsere Erfahrungen aus und gaben uns gegenseitiges feedback. In der großen Gruppe wurde anschließend weiter diskutiert. Mit Nadjas Begleitung und Unterstützung konnten Teilnehmerinnen ihre eigenen Erfahrungen noch ein Stück tiefer bearbeiten – alleine das Zuhören brachte Gewinn für alle Anwesenden. Und die entwickelten Merksätze werden vermutlich einige von uns länger begleiten.

Insgesamt eine sehr inspirierende Erfahrung!

Wer jetzt neugierig geworden ist: Frau Taranczewski bietet immer wieder kostenfreie Schnupperworkshops für ihre Arbeit an. Sie arbeitet zu diesem Thema auch mit Organisationen. Es lohnt sich, auf ihrer Webseite <https://www.conscious-u.com/termine/?lang=de> vorbeizuschauen!

Dr. Hermine Hitzler

Jetzt anmelden und mitdiskutieren:

VDE Bayern Zukunftsforum 2021

Die Energiewende – Chancen und Herausforderungen für Bayern

22. und 23.10.2021 in Schweinfurt

Rabatt für Studierende und Frühbucher

Unter Mitwirkung von:

VDE ETG FHWS

N-ERGIE TENNET

Oyster Leistungselektronik UZ Wölfel

Wir danken unseren Partnern!

VDE BAYERN

20JAHRE
ONLINE

Web Omega ab 340,- €

eDesk von 65 - 130 cm ab 448,- €

VLUV ab 67,14 €

HOTLINE: 0611 - 18 55 180 | service@schultz.de ONLINE-SHOP: www.schultz.de

VDI Landesverband Bayern Angekommen in der Quantenwelt

Die Quantenwelt erscheint völlig verrückt: Wir begreifen zwar nicht, was genau und warum etwas passiert, können es aber exakt berechnen!“ (Prof. Dr. Lars Jäger)

Max Planck (1858-1947) bekam von seinem Lehrer den Rat, nicht Physik zu studieren, weil man Ende des ausgehenden 19. Jahrhunderts glaubte, mit den abgeschlossenen Theorien die Welt vollständig verstehen zu können, die naturwissenschaftliche Physik sei abgeschlossen. Doch das sollte sich ändern: Am 14.12.1900 entdeckte Max Planck das Wirkungsquantum „h“, 1905 und 1915 revolutionierte Albert Einstein alle Vorstellungen von Bewegung, Raum und Zeit, und 1925 formulierten Werner Heisenberg, Max Born und Pascal Jordan eine völlig neue Physik – die Quantenmechanik!

Als 1925/26 die moderne Quantenphysik mit der „*Unschärferelation*“ neu entfacht wurde, entspann sich sofort eine leidenschaftliche Diskussion über die Bedeutung der neuen physikalischen Theorie. In einer berühmten Debatte zwischen Albert Einstein und Nils Bohr, den beiden prägenden Figuren dieser Jahre, ging es um die Frage: „Liefert die Quantenmechanik eine vollständige Beschreibung der physikalischen Wirklichkeit?“ Über Jahre wurden von Physikern immer wieder kreative Experimente oder eigenartige Gedankenmodelle erdacht, um die neuen Theorien zu stützen oder zu verwerfen.

Ich möchte hier über ein Gedankenexperiment von *Erwin Schrödinger* berichten, das berühmte, nach ihm benannte „Katzenexperiment“ – wörtlich von ihm erklärt:

„Man kann auch ganz burleske Fälle konstruieren. Eine Katze wird in eine Stahlkammer gesperrt, zusammen mit folgender Höllenmaschine (die man gegen den direkten Zugriff der Katze sichern muss): In einem geigerischen Zählrohr befindet

sich eine winzige Menge radioaktiver Substanz, so wenig, dass im Laufe einer Stunde vielleicht eins von den Atomen zerfällt, ebenso wahrscheinlich aber auch keines: geschieht es, so spricht das Zählrohr an und betätigt über ein Relais ein Hämmerchen, das ein Kölbchen mit Blausäure zertrümmert. Hat man dieses ganze System eine Stunde lang sich selbst überlassen, so wird man sich sagen, dass die Katze noch lebt, wenn inzwischen kein Atom zerfallen ist. Der erste Atomzerfall würde sie vergiften haben. Die Ist-Funktion des ganzen Systems würde das so zum Ausdruck bringen, dass in ihr die lebende und die tote Katze zu gleichen Teilen gemischt oder verschmiert sind. Das Typische an solchen Fällen ist, dass eine ursprünglich auf den Atombereich beschränkte Unbestimmtheit sich in grob sinnliche Unbestimmtheit umsetzt, die sich dann durch direkte Beobachtung entscheiden lässt!“ Für Schrödinger hieß das: das gesamte System *Atomkern – Geigerzähler – Gift – Katze* wird mit einer *einzigsten Wellenfunktion* beschrieben.

Schrödingers Katze ist in einem Überlagerungszustand: nach Heisenberg und Schrödinger befindet sich das radioaktive Präparat im Kasten so lange in einem Überlagerungszustand, bis jemand nachschaut, ob der Zerfall tatsächlich stattgefunden hat. Das Gedankenexperiment soll aufzeigen, dass sich laut Quantenmechanik Objekte gleichzeitig in unterschiedlichen Zuständen befinden können.

Solange der Kasten verschlossen bleibt und keine Messung erfolgt, befindet sich das System im Überlagerungszustand, ein für die Quantenwelt wichtiges Ergebnis, um die Mikrowelt zu verstehen. Mit immer mehr „Unmöglichkeiten“ mussten die Physiker lernen umzugehen: Quantenobjekte können mehrere Zustände gleichzeitig aufweisen, beispielsweise gleichzeitig an verschiedenen Orten sein. Und will man

bei Quantenobjekten, wie zum Beispiel beim Elektron, scheinbar objektiv bestehende Eigenschaften feststellen, dann hat man keine Chance: Ihre Eigenschaften lassen sich nur mit Wahrscheinlichkeiten angeben, Messergebnisse sind vom Beobachter abhängig, und ihre Zustände (Schrödingers Wellenfunktion) brechen beim Messvorgang zusammen.

Das Merkwürdigste: die Verschränkung

Aber die merkwürdigste Beobachtung hat der Physik neue Rätsel aufgegeben: das Quantenphänomen der Verschränkung räumlich getrennter Teilchen. Selbst wenn sie weit voneinander entfernt sind, können zwei Teilchen wie durch Zaubertrick aneinander gekoppelt sein. Die Verschränkung erweist sich als ein grundlegendes Quantenphänomen, das sich mit unseren gewohnten Vorstellungen über die Wirklichkeit nicht mehr vereinbaren lässt, sie widersprechen dem lokalen Realismus. Ihre Eigenschaften sind vor einer Messung nicht eindeutig definiert und danach aber stärker korreliert, als dies klassisch erklärbar wäre.

Prof. Zeilinger (Universität Wien) hat hierfür ein sehr einprägendes Bild gebracht: In der Quantenphysik herrschen Zusammenhänge, die unserer vertrauten Vorstellung einer lokal abtrennbaren Realität fundamental widersprechen: Verschränkte „Quantenwürfel“ verhalten sich zwar wie Würfel, die bei jedem Wurf zufällige Augenzahlen zeigen, – aber stets präsentieren alle verschränkten Würfel dieselbe Zahl (s. Abb.).

Wahrscheinlichkeiten werden zu unvorstellbarer Exaktheit

Trotz all dieser unanschaulichen Unwägbarkeiten sagt die Quantentheorie den Ausgang von Experimenten und Naturgeschehen mit einer in der gesamten Wissenschaft unübertroffenen Exaktheit voraus: aus etwas, das unbestimmt und

nicht fassbar ist, wird ein zu 100 Prozent berechenbarer Vorgang.

Der Mikrokosmos, heute bis 10^{-21} m wird immer besser verstanden und technisch angewandt: Die Quantenphysik ist heute Bestandteil unseres Lebens geworden: Elektronik, digitale Technologien, Laser, Quantensatelliten, moderne Chemie- und Medizintechnik (Life Science) – all diese Technologien beruhen auf den Gesetzen der Quantenphysik, sie prägt heute unseren Alltag.

Unbewusst vertrauen wir ihren Gesetzen, wenn wir die Bordelektronik im Auto benutzen, unseren Computer hochfahren, CDs hören durch Lasertechnik, uns vom GPS-System leiten lassen oder MRT-Aufnahmen unseres Körpers machen.

Die Quantentechnologien werden zukünftig einen immer größeren Anteil der Wertschöpfung in unserer Wirtschaft ausmachen, und geht es nach der Meinung der prägenden Quantenphysiker Dr. Zeilinger und Dr. Blatt (Wien und Innsbruck), dann stehen wir erst am Anfang dieser Entwicklung, wir haben die erste Quantenrevolution hinter uns, und die wohl aufregendste Technologie der zweiten Quantenrevolution steht bevor: der Quantencomputer, der die Rechenleistung heutiger Computer um ein millionenfaches überbieten wird.

Die Quantenforschung in Deutschland und Europa ausbauen

Im Wettbewerb um Köpfe und Investitionen müssen Deutschland und Europa sich mit hochklassigen Forschungsstruk-

turen profilieren. Es gilt im globalen Wettbewerb, sich gegen China und die USA zu behaupten.

Das Forschungsprojekt der EU zu den Quantentechnologien („EU Quantum Flagship“) hat zum Ziel, Europa zur führenden Region bei der wirtschaftlichen Umsetzung von Quantentechnologien zu machen. Deutschland hat dieses gemeinsame europäische Großprojekt von Beginn an intensiv begleitet und mitgestaltet, u.a. durch personelle und finanzielle Unterstützung.

Programm der Bundesregierung

Die Bundesregierung fördert die Entwicklungen in den Quantentechnologien. Ziel ist der Transfer in die industrielle Anwendung. Deshalb bündelt die Bundesregierung unter der Federführung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung ihre Kräfte. Das Rahmenprogramm „Quantentechnologien – von den Grundlagen zum Markt“ definiert Ausgangslage sowie Ziele und erläutert die geplanten konkreten Maßnahmen bis 2022. Insgesamt stellt die Bundesregierung in der aktuellen Legislaturperiode 650 Millionen Euro für die Erforschung der Quantentechnologien bereit.

Der internationale Wettlauf um die industrielle Realisierung der neuen Quantentechnologien hat bereits begonnen. Deutschland verfügt über eine große Expertise in der Quantenphysik – und damit über gute Voraussetzungen, um auch die Entwicklung von Quantentechnologien



der zweiten Generation frühzeitig in Anwendungen nutzbar zu machen und ihre Entwicklung international mitzugestalten. Quantentechnologien bieten große Potenziale für Wirtschaft und Gesellschaft. Um diese zu nutzen, haben Politik, Wirtschaft und Wissenschaft gemeinsam eine nationale Strategie formuliert.

Die Menschen mitnehmen

Die Quantenwelt ist eine unserem Verständnis total widersprechende Erfahrungswelt. Aber sie wird wie keine andere Grundlagenwissenschaft vorher unser Leben, unsere Gesellschaft, unsere globale Welt prägen. Deshalb ist es entscheidend, den Menschen diese Technologien zu erklären und sie mitzunehmen.

Voraussetzungen dazu sind: ein allgemein verständlicher Zugang zum Thema Quantentechnologie und allgemein verständliche Zugänge und spezifisches Wissen zu Anwendungen der Quantenmechanik außerhalb der Physik.

So sollte z. B. der Doppelspaltversuch mit Licht zum Standard heutiger Allgemeinbildung gehören – er erklärt bereits grundlegende Eigenschaften quantenmechanischer Phänomene.

Heinz Durner

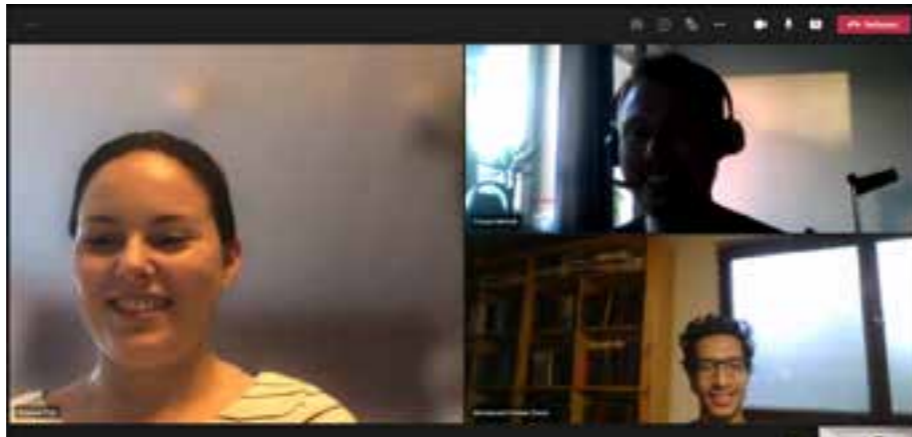
VDI Forum 2021 „Zirkuläre Wertschöpfung“

Der angedachte Termin Anfang Oktober 2021 lässt sich durch die aktuelle Entwicklung der Corona-Pandemie nicht umsetzen. Dennoch hoffen wir sehr, dass wir das VDI Forum 2021 noch in diesem Jahr als Präsenzveranstaltung durchführen können.

VDI Young Engineers München Young Engineers irren zwischen den Quanten

Im Juni haben sich die Young Engineers mit dem Thema der Quantentechnik, unter anderem Supraleiter und Quantencomputer beschäftigt. Jedoch ist dies kein intuitives Themengebiet für die jungen Maschinenbauer und Bauingenieure. Um alle Beteiligten auf den gleichen Stand zu bringen, sahen wir alle ein kurzes informatives Video zu Supraleitern.

Daraufhin begann unsere Diskussion zu dem Zukunftspotential von Supraleitern. Hierbei meinten manche, dass durch Supraleiter größere Rechenkapazitäten in kleineren Dimensionen verfügbar werden würde. Dies würde zu kleineren elektrischen Geräte führen. Andere Diskutanten argumentierten, dass der Energieverbrauch durch Einführung von Supraleitern gesenkt werden könnte. Danach sprachen wir über den immer präsenten Quantencomputern. Hier lag die Hoffnung darin, dass die erhöhte Rechengeschwindigkeit es ermöglicht, größere Simulationen, als derzeit üblich, berechnen zu lassen. Zudem stellte man sich die Frage, ob in Zukunft alle Ingenieure mehr über den konzeptionellen Aufbau von Quantencomputern verstehen müssen.



Kreative Diskutanten beim Online-Stammtisch der VDI Young Engineers München



Alles in allem war es ein amüsanter Abend mit kreativen Ideen kombiniert mit viel Fantasie und professionellem Halbwissen. Außerdem hat es uns gefreut neue Gesichter in unserer Mitte begrüßen zu dürfen. Falls ihr uns auch begegnen wollt, bleibt auf dem Laufenden über unseren WhatsApp-Broadcast. **Kein SPAM, Kein Gruppenchat, Nur die wichtigsten Announcements** für den künftigen Monat. Schreib uns an unter +49151 503 228 54 und wir fügen dich hinzu.

Maximilian Listl

Collagen: VDI Young Engineers München

TechDIVE – "Der Abschlussarbeitenentstaubungspodcast"

TechDIVE ist ein Podcast, von Studierenden für Studierende, Young Professionals und Technik-Enthusiasten, der sich speziell auf Studierende ausrichtet. Mit TechDIVE wollen wir nicht nur ein interessantes Hörerlebnis schaffen, sondern auch Studierenden die Möglichkeit geben, sich zu präsentieren und zu networken. Wir wollen interessante Abschlussarbeiten, Promotionen und studentische Projekte im Bereich der Technik und Wissenschaft vorstellen, die sich rund um das Thema *Wie können wir unsere Zukunft gestalten?* drehen. Ihr findet TechDIVE bei Spotify. Studentinnen und Studenten, macht bitte mit und meldet euch zahlreich unter: podcast.techdive@gmail.com



Technische Hochschule Ingolstadt Die Welt ein Stück besser bauen – für eine nachhaltige Zukunft

Mit einem vorfreudigen Lächeln begrüßt Prof. Dr.-Ing. Jana Sue Bochert, Studiengangsleiterin für Wirtschaftsingenieurwesen – Bau (B. Eng.), die Interessenten des ersten Hochschulinformationstages in Neuburg an der Donau.

Beim Rundgang lassen Absperrungen, Baumaschinen und Paletten voller Baumaterial vermuten, dass hier großes im Gange ist: Am 4. Oktober 2021 wird der Campus Neuburg der THI unter dem Motto „Alles neu, alles nachhaltig, alles in Neuburg“ unter anderem mit dem Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen – Bau eröffnet. Ein Jahr später folgt bereits der Studiengang Bauingenieurwesen. „Es bietet sich die einzigartige Chance, den Campus in seiner Entstehung mit zu gestalten und zu erleben – inhaltlich, und besonders für die Studierenden in wortwörtlicher Weise.“, so Prof. Bochert.

„Grünes“ Licht für nachhaltigen Campus
Der neue Campus will auch in den Bereichen Nachhaltigkeit und sozialem Engagement unter den vergleichbaren Bildungseinrichtungen herausragen. Auf einer Fläche von über 8.000 m² verbindet er hervorragend Lernen und Leben, Hörsäle und nahegelegenen Wohnraum. Bis 2028



Wirtschaftsingenieurwesen – Bau am neuen „Campus Neuburg“ der TH Ingolstadt

Quelle: Stadt Neuburg a.d. Donau

wird Raum für etwa 1.200 Studierende mit insgesamt 6 Bachelor- und 5 Masterstudiengängen geschaffen. Dabei stehen die Bedürfnisse der Studierenden und des Lehrpersonals klar im Mittelpunkt. Auch soziales Leben und Kultur werden nicht in den Hintergrund treten. Denn in unmittelbarer Campusnähe befinden sich weitreichend kulturelle Angebote, die das Studentenleben bereichern.

Der neue Studiengang – praxisnah und umweltbewusst
Wirtschaftsingenieurwesen – Bau ist

in der Fakultät Nachhaltige Infrastruktur mit den Schwerpunkten Bau, Energie und Umwelt verortet und kombiniert die Kerninhalte des Bauingenieurwesens mit wirtschaftswissenschaftlichen Inhalten von Smart Home bis Smart Grid, vom Management historischer Gebäude eines Immobilienfonds bis zur Entwicklung neuer Stadtbauprojekte: Die Absolventen sollen in der Lage sein, zukunftsweisende Beiträge für die Gesellschaft zu liefern. Dabei setzt der Studiengang bewusst auch auf das Thema Nachhaltigkeit. Denn die Nachhaltigkeit gewinnt in der Bauwirtschaft rapide an Bedeutung: weniger Material, weniger Emissionen, Zirkuläre Wertschöpfung und die Pflicht gegenüber den kommenden Generationen. Prof. Bochert bringt zudem ihre Erfahrungen aus Führungspositionen in der Baubranche ein. Darauf aufbauend will sie den Paradigmenwechsel von der reinen Lehre hin zur Forschung und zur praxisnahen Ausbildung integrieren und vorantreiben.

Bei Interesse finden Sie weitere Informationen unter: www.thi.de/campusneuburg



Quelle: TH Ingolstadt

Technische Hochschule Ingolstadt

VDI BV Bayern Nordost Das Warten hat bald ein Ende – Eröffnung des DMN im Herbst 2021

Nach und nach zieht Leben im Zukunftsmuseum am Augustinerhof in Nürnberg ein. Die Eröffnung der Zweigstelle des deutschen Museums ist für September geplant. Neben der Kooperation im Rahmen einer Bewerbung für die Förderung eines geplanten MINT Clusters ist der VDI Bezirksverein Bayern-Nordost weiterhin alleiniger Mitnutzer der Mitmach-Labore im verglasten Teil des Erdgeschosses, der von der Brücke am Trödelmarkt direkt einzusehen ist. Nicht nur die Konzepte für die Bespielung der Labore werden immer konkreter, auch die Ausstattung in den Laboren wächst. Für Interessierte, die sich bereits vor der Eröffnung erste Eindrücke zu den Räumlichkeiten holen möchten, ist der Drohnenflug zu empfehlen. In dem Videportal YouTube wurde ein Video vom DMN veröffentlicht, das durch die Ausstellungsflächen führt.

Im Rahmen der Ausschreibung für regionale Cluster zur Förderung der MINT-Bildung von Jugendlichen des BMBF hat sich zudem das DMN mit dem VDI BV BNO, der Friedrich-Alexander-Universität, dem Bildungscampus Nürnberg und dem Willstätter Gymnasium aus Nürnberg mit dem Verbundprojekt „-Toll Experimentieren, Ausprobieren & Machen in Franken“ beworben. Insbesondere sollen mit dem Projekt „TEAM-F“ auch die Angebote für benachteiligte Gruppen mit schwierigeren Voraussetzungen ausgebaut werden. Im Falle einer erfolgreichen Bewerbung sollen regelmäßige Koordinierungstreffen jährlich Kernthemen in den Bereichen Lebenswissenschaften, Physik und Chemie sowie Robotik und Informatik festgelegt werden, die durch alle Partner gleichermaßen verfolgt und vertieft werden. Der VDI bringt darüber hinaus die Mitglieder der Netzwerke und Bezirksgruppen in ihrer Funktion als Anleiter*innen ein. Aus den Reihen der älteren Zukunftspiloten



Das Hyper-Loop Modell hat seinen Platz im Museum schon gefunden

sollen möglichst spätere Peers gewonnen werden. Die ehrenamtlich tätigen Anleiter*innen des VDI sichern zudem eine Nachhaltigkeit der Angebote. Die Prüfung der Projektskizze steht zum Redaktionsschluss noch aus.

In den Mitmachlaboren, ob bei der Ausstattung, der Veranstaltungsorganisation oder auch den Abläufen vor, während und nach der Nutzung möchte man miteinander wachsen und optimieren. Nach einigen Gesprächen und dem Abschluss der Nutzungsvereinbarung steht noch nicht endgültig fest, wie die Rahmenbedingungen für die Nutzung im Einzelfall aussehen werden und wie die vereinbarten Bedingungen praxistauglich für ehrenamtlich Aktive umgesetzt werden können. Daher ist die Freude auf die nahe Eröffnung und den Start des offiziellen Laborbetriebs groß. Hubert Würschinger und Matthias Mühlbauer möchten beispielsweise mit Ihrem Netzwerk KI zum

Thema Bilderkennung starten und in den Laboren für Jugendliche und Erwachsene „KI greifbar“ machen.

Wir sind gespannt und fiebern der Eröffnung entgegen!

Michael Gundermann



QR-Code, Verlinkung zum Drohnenflug durch das DMN (Youtube-Video)

Foto: Deutsches Museum

Nicht verpassen! Treffs, Vorträge und Exkursionen des VDI München/VDE Südbayern

01. September 2021 / Mittwoch

18:00 Treff

Stammtisch des VDE und VDI Rosenheim

Veranstalter: VDI BG Rosenheim, VDE Rosenheim
Ort: Rosenheim
Adresse: Samerstr. 17, 83022 Rosenheim, Flötzinger Bräustüberl
Info: Info bei Philipp Lederer, Tel 08034-7075955 oder Email bg-rosenheim@vdi.de

14. September 2021 / Dienstag

19:00 Treff

VDI / VDE Treff

Veranstalter: VDI BG Landshut
Ort: Landshut
Adresse: Altstadt 107, 84028 Landshut, Gasthaus „Zum Krenkl – Weißes Bräuhaus“

23. September 2021 / Donnerstag

19:00 Online-Veranstaltung

Return On Trust – Vertrauen schafft essentielle Wettbewerbsvorteile

Veranstalter: VDI AK Unternehmer und Führungskräfte
Referent: Prof. Dr. Britta Bolzern-Konrad, Ingenieurin und Betriebswirtin
Info: Anmeldeschluss: 22.09.2021. Das Login wird 1-2 Tage vorab an die Angemeldeten verschickt.
Anmeldung: Online Anmeldung

19:00 Online-Veranstaltung

Onlinetreff des AK - Fahrzeugtechnik, Verkehrstechnik, Verkehrstelematik

Veranstalter: VDI-AK Fahrzeugtechnik, Verkehrstechnik, Verkehrstelematik
Info: Der Link zum Onlinetreff wird mit der automatischen Anmeldebestätigung verschickt. Klicken Sie einfach auf den Anmeldebutton.
Anmeldung: Online Anmeldung

28. September 2021 / Dienstag

19:00 Online-Veranstaltung

Webmeeting Cross Cultural Group

Veranstalter: Cross Cultural Group
Info: Der Link zum Webmeeting ist in der Anmeldebestätigung enthalten, diese wird automatisch verschickt. Weitere Informationen auf www.vdi-sued.de/ccg
Anmeldung: Online Anmeldung

06. Oktober 2021 / Mittwoch

18:00 Treff

Stammtisch des VDE und VDI Rosenheim

Veranstalter: VDI BG Rosenheim, VDE Rosenheim
Ort: Rosenheim
Adresse: Samerstr. 17, 83022 Rosenheim, Flötzinger Bräustüberl
Info: Info bei Philipp Lederer, Tel 08034-7075955 oder Email bg-rosenheim@vdi.de

12. Oktober 2021 / Dienstag

17:30 Online-Veranstaltung

Verfahren und Maschinen in der Landwirtschaft

Veranstalter: VDI AK Fahrzeugtechnik
Referent: Anika Lindenberger, Markus Uh; Fendt AGCO GmbH
Info: In Präsenz (P), R1.049, blaue Tonne, Lothstr. 64 UND/ ODER als Zoom-Video-Konferenz, Zoom-Installation nicht erforderlich. Der Teilnahmelink wird mit der Anmeldebestätigung verschickt. Klicken Sie einfach auf den Anmeldebutton.
Anmeldung: Online Anmeldung

14. Oktober 2021 / Donnerstag

18:00 Online-Veranstaltung

Erneuerbare Energien – können wir mit ihnen unseren Energieverbrauch decken?

Veranstalter: VDE AK Energietechnik
Referent: Prof. Dr. Christian Holler, Hochschule München

26. Oktober 2021 / Dienstag

18:00 Online-Veranstaltung

NPort Brake – Spezialhafen an der Weser

Veranstalter: VDI AK Schiffbau und Schiffstechnik
Referent: H. Ludwig und F. Walther, Leitung NPort Brake
Anmeldung: Online Anmeldung

19:00 Online-Veranstaltung

Webmeeting Cross Cultural Group

Veranstalter: Cross Cultural Group
Info: Der Link zum Webmeeting ist in der Anmeldebestätigung enthalten, diese wird automatisch verschickt. Weitere Informationen auf www.vdi-sued.de/ccg
Anmeldung: Online Anmeldung

Die tagesaktuelle Veranstaltungsliste finden Sie unter www.technik-in-bayern.de

Nicht verpassen!

Treffs, Vorträge und Exkursionen des VDI BV Bayern Nordost

15. September 2021 / Mittwoch

19:00 Treff

FIB Nürnberg Stammtisch

Veranstalter: NW FIB Nürnberg
Ort: Nürnberg
Adresse: 90489 Nürnberg
Info: Format und Inhalt werden ca. 14 Tage vor dem Termin in unserer FIB-Einladung bekannt gegeben.
Anmeldung: Online Anmeldung

19:00 Treff

Gesprächsrunde Netzwerk Nürnberg

Veranstalter: VDI Netzwerk Nürnberg
Ort: Nürnberg
Adresse: Wollentorstr. 3, 90489 Nürnberg, Restaurant "KIM CHUNG"
Info: Herbert Gaida M.Eng, Tel. (01 77) 7 23 17 41

29. September 2021 / Mittwoch

18:00 Online-Veranstaltung

Steigerung der Innovationskraft durch Nachhaltigkeitsinnovationen

Veranstalter: VDI-Netzwerk Produkt- und Prozessgestaltung
Referent: Dr.-Ing. Bruno Scherb, Ingenieurbüro SCHERB, Cadolzburg
Anmeldung: Online Anmeldung

07. Oktober 2021 / Donnerstag

18:00 Online-Veranstaltung

Einführung in die alltägliche Internet-Sicherheit

Veranstalter: VDI BV Bayern Nordost
Referent: Dipl.-Ing. Dieter Carbon, VDI Rheingau-Bezirksverein e.V.
Info: Anmeldeschluss: 05.10.2021. Das Login wird 1-2 Tage vorab an die Angemeldeten verschickt.
Herbert Gaida M.Eng, Tel. (01 77) 7 23 17 41
Anmeldung: Online Anmeldung

15. Oktober 2021 / Freitag

19:00 Treff

FIB Nürnberg Stammtisch

Veranstalter: NW FIB Nürnberg
Ort: Nürnberg
Adresse: 90489 Nürnberg
Info: Format und Inhalt werden ca. 14 Tage vor dem Termin in unserer FIB-Einladung bekannt gegeben.
Anmeldung: Online Anmeldung

21. Oktober 2021 / Donnerstag

19:00 Treff

Gesprächsrunde Netzwerk Nürnberg

Veranstalter: VDI Netzwerk Nürnberg
Ort: Nürnberg
Adresse: Wollentorstr. 3, 90489 Nürnberg, Restaurant "KIM CHUNG"
Info: Herbert Gaida M.Eng, Tel. (01 77) 7 23 17 41

22. Oktober 2021 / Freitag

20:00 Tagung

VDE Bayern Zukunftsforum

Veranstalter: VDE Bayern
Ort: Schweinfurt
Adresse: 97421 Schweinfurt
Anmeldung: Online Anmeldung

28. Oktober 2021 / Donnerstag

18:00 Online-Veranstaltung

Entwicklung cyber-physischer mechatronischer Systeme – ein Vorgehensmodell

Veranstalter: VDI-Netzwerk Produkt- und Prozessgestaltung
Referent: Prof. Dr.-Ing. Iris Gräßler, Lehrstuhl für Produktentstehung, Universität Paderborn
Anmeldung: Online Anmeldung

30. MATERIALFLUSS-KONGRESS 31. März und 1. April 2022 – CALL FOR PAPERS

Sie sind Experte auf einem der unter www.vdi-sued.de/materialflussskongress genannten Schwerpunkthemen? Dann rufen wir Sie auf, mit einem Vortrag aktiv zum Erfolg der Tagung beizutragen! Bitte reichen Sie uns bis zum 12. September 2021 eine Kurzfassung im Umfang von max. einer DIN-A4-Seite ein unter: materialflussskongress@vdi-sued.de
Alle weiteren Informationen unter: www.vdi-sued.de/materialflussskongress

VDI-Netzwerk Produkt- und Prozessgestaltung Nordost

Steigerung der Innovationskraft durch Nachhaltigkeitsinnovationen

Referent: Dr.-Ing. Bruno Scherb, Inhaber des Ingenieurbüros SCHERB, Cadolzburg

Zukünftig müssen sich „smarte Unternehmen“ nicht nur an ihrer Effizienz und Flexibilität messen lassen, sondern auch an ihrem Beitrag zu den Nachhaltigkeitszielen. Innovationen sind unverzichtbar, um nachhaltiges Wirtschaften zu ermöglichen. Jedoch darf das Innovationsverständnis nicht nur am Wirtschaftswachstum, Patenten und Exportstückzahlen ausgerichtet werden, sondern es muss der Umgang mit endlichen Ressourcen grundlegend geändert werden. Dieser

Transformationsprozess hin zu einem Zielzustand, der Nachhaltigkeit als Leitgedanke in die unternehmerische DNA verinnerlicht – setzt ein systemisches Gesamtverständnis voraus und erfordert innovationsgetriebene „methodische Alternativansätze“.

Im Vortrag wird eine Vorgehensstruktur besprochen und an einem Fallbeispiel aufgezeigt, wie Nachhaltigkeitsinnovationen entwickelt werden können. Dabei wird auf die Fragen eingegangen:

„Wie wirken die gesellschaftlichen Veränderungen auf eine nachhaltige Produktgestaltung?“ und „Was sind die Grundlagen für Nachhaltigkeitsinnovationen?“

**29. September 2021
18.00 – 19:30 Uhr
Online-Veranstaltung**

Melden Sie sich bitte online an

VDI Aktuelles Forum Technik wieder auf Tour – ENDLICH!!

Nach der langen Pause versammelte sich eine größere Gruppe am Brunnen auf dem Wiener Platz in Haidhausen zu einem Rundgang.

Johann Baier gab uns eine umfassende Erläuterung zur Geschichte der Vorstadt und der geologischen Besonderheit mit den Wasserquellen und Stadtbächen. Am Auer Mühlbach und der Isar entlang liefen wir bis zum Müllerschen Volksbad auf der Kalkofeninsel. Wieder zurück auf dem Wiener Platz konnten wir uns im Hofbräu erholen und uns endlich mal wieder austauschen und neue Pläne schmieden.



Foto: VDI

VDE

VDE Bayern Abend 2021 mit Verleihung des VDE Bayern Awards

Wie können wir durch moderne Technologien und Innovationen eine e-diale, lebenswerte und nachhaltige Zukunft gestalten? Darüber werden wir mit Staatsminister Dr. Florian Herrmann, Leiter der Bayerischen Staatskanzlei, Prof. Dr. Armin Schnettler, VDE Präsident, Prof. Dr. Christoph Kutter, Direktor Fraunhofer EMFT, Prof. Dr. Wolfgang M. Heckl, Generaldirektor des Deutschen Museums, und Ansgar Hinz, VDE

CEO, anlässlich des VDE Bayern Abends am 18. November 2021 im Hotel Bayerischer Hof in München diskutieren. Der Abend bildet den Rahmen für die Übergabe des VDE Bayern Awards 2021, mit dem wir junge Talente bayerischer Universitäten und Hochschulen für ihre exzellenten Abschlussarbeiten auszeichnen. Darüber hinaus würdigen wir mit unserem Preis das Elektrohandwerk sowie Schulen mit herausragenden MINT-Initiativen.



Seien Sie dabei, wenn sich Führungskräfte und High-Potentials des High-Tech-Standorts Bayern zum VDE Bayern Abend 2021 in München treffen!
www.vde.com/bayern-abend

VDI Bayern Nordost Homeoffice – Wirklich so schön flexibel und gut?

Der Bezirksverband Bayern Nordost des Vereins Deutscher Ingenieur*innen (VDI-BNO) und die Gewerkschaft IG Metall (IGM) Nürnberg machen in Franken gemeinsame Sache. Die regelmäßigen Nürnberger Technik-Dialoge gibt es bereits seit 2015. Der Dialog über das von und durch Corona angeschobene Thema „Homeoffice lieber live und online“ fand dazu passend online statt.

„Wir wollen in dieser einmaligen Kooperation gemeinsam die Zukunft gestalten“, stellte dazu Christian Baeder fest, Gewerkschaftssekretär der Nürnberger IGM. Und Matthias Kißmer, der Vorstandsvorsitzende des VDI-BNO sieht in dem Dialog-Format „die Chance, Standpunkte auszutauschen“.

Die Diskussionsgrundlage für immerhin um die 50 Teilnehmende legten drei Fachleute: eine Wissenschaftlerin, ein kommunaler Arbeitgeber und eine Arbeitnehmervertreterin.

Arbeiten fern vom Arbeitsplatz hat sich bekanntlich im ersten Corona-Lockdown schlagartig vervielfacht. Für die Soziologin Professor Dr. Sabine Pfeiffer von der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg war ein ganz wichtiges „Phänomen: Vorher haben wir über Digitalisierung vor allem diskutiert.“ Doch dann kam plötzlich Corona – und es klappte schlagartig: „Ich hoffe, die Erkenntnis bleibt, dass Beschäftigte durchaus zum Wandel fähig sind und digitale Fähigkeiten mitbringen.“ Aber Prof. Pfeiffer stellte auch klar: „Der psychische Stress nimmt im Homeoffice noch zu. Und man verliert die sozialen Kontakte im Betrieb“, ein oft unterschätzter Produktivitätsfaktor.

Für Harald Riedel, als Finanzreferent der Stadt Nürnberg auch für Personal und IT zuständig, „geschah ein wahres Wunder:

Es ging reibungslos und schnell. Wir haben unsere Homeoffice-(HO-)Arbeitsplätze in sechs Wochen verzehnfacht.“ Waren vor Corona 400 der 12.000 Stadtangestellten in HO, sind es heute 4.200. „Es wird kein Zurück zur Alten Welt geben“, so Personalreferent Harald Riedel, aber eine dank Mitarbeiterbefragung forcierte „Optimierung: zwei bis drei Tage im HO, der Rest im Büro. Auch um soziale Kontakte zu pflegen.“

Den Verlust des Zwischenmenschlichen sieht Eva-Maria Hallmeyer ebenfalls als große Gefahr von „nur HO“. Die Betriebsrätin beim Schreibwarenhersteller Staedtler in Nürnberg merkte an: „Zusammenhalt, Kollegialität, Solidarität in der Belegschaft entsteht nur, wenn man Kollegen begegnet.“ Und auch die Mitbestimmung leide: „Betriebsräte, aber ebenso Personalverantwortliche müssen den Leuten persönlich begegnen können.“

Doch nicht alle Tätigkeiten seien im HO zu erledigen, merkten alle Drei an. Betriebsrätin Hallmeyer fände „ein Recht auf HO schön“. Doch Stadtrat Riedel meinte: „Wo Arbeitgeber und Arbeitnehmer auf Augenhöhe agieren, ist ein solches Gesetz nicht nötig.“ Für Psychologin Pfeiffer dagegen wäre „ein HO-Gesetz auch als Signal, gerade für Firmen ohne Betriebsrat.“

Nicht alles zu Ende gedacht

Doch es gibt noch offene Fragen, beispielsweise zur Arbeitssicherheit. Weil



Foto: Cathrin Moritz

im HO auch vom Sofa aus gearbeitet werden könne, bleibe die Ergonomie auf der Strecke, gaben die Experten zu. Die Konsequenz laut Harald Riedel: Die Stadt wolle die Einrichtung von Heimarbeitsplätzen finanziell unterstützen und beschaffe momentan gerade die digitale Ausstattung für 4.000 HO-Beschäftigte.

Eine ebenfalls von allen Fachleuten beschriebene Herausforderung: Die Einarbeitung. Besonders davon betroffen sind laut Sabine Pfeiffer „ganz neue Mitarbeitende, Praktikant*innen, Azubis. Die müssen live erleben, wie andere agieren. Davon lernt man ja.“

Doch trotz aller kleinen und großen Schwierigkeiten: „Homeoffice ist eine gute Sache. Es gilt nur achtsam damit umzugehen“, fasste Eva-Maria Hallmeyer den Austausch zusammen. Für Harald Riedel gilt es, „jetzt die richtigen Schlüsse für die Zukunft zu ziehen“. Professorin Pfeiffer stellte das Positive heraus: „Corona hat vieles ermöglicht.“ Doch seien „pandemiebedingte und echte Innovationen auseinanderzuhalten“.

IG-Metall-Gewerkschafter Christian Baeder hatte „viele interessante Einblicke“. Und für VDI-BNO-Vorsitzenden Matthias Kißmer sind „die Erkenntnisse Ansporn, am Thema Homeoffice dranzubleiben“.

Heinz Wraneschtz

VDI München Motivierter arbeiten mit Kunst Warum Unternehmen auf die Wirkung von Kunst setzen

Der VDI Arbeitskreis Unternehmer und Führungskräfte hat die Kunst und ihre Wirkung bei seinem digitalen Themenabend aufgegriffen. Oft unbewusst spiegeln sich äußere Einflüsse in unserer Stimmung wieder: Was inspiriert uns – was demotiviert uns? Gerade jetzt in Zeiten von Home-Office und Überlegungen zu dauerhafter Büroflächenkürzung. Erfolgreiche Unternehmen setzen schon lange auf die Kunst, wenn es um Kreativität, Innovation sowie um ein adäquates Umfeld für hochkarätige Mitarbeiter*innen und Kund*innen geht.

Kunstberaterin Eva Mueller unterstützt seit vielen Jahren Unternehmer*innen und Führungskräfte dabei, wie sich mit Einsatz von Kunst ein inspirierendes und motivierendes Umfeld schaffen lässt. Sehr erfrischend zeigte sie anhand vieler Fotos von Kunstwerken und gestalteten Räumen, welche Eindrücke und welche Wirkung entstehen.

Kunst wirkt. Ihr Fehlen auch. Monotone, rein funktional ausgestattete Räume missachten grundlegende, menschliche Bedürfnisse. Seit Urzeiten spielt die künstlerische Gestaltung von Räumen eine wesentliche Rolle. Der Sehsinn liefert uns 80 % unserer Informationen.

Kunst motiviert. Kunst ist keine neue Motivationsmasche, keine Deko und kein Verhübschungsversuch. Grundsätzlich lässt sich niemand von außen motivieren. Aber wenn die intrinsische Motivation stimmt, die eigene Ambition, Begabung und Schaffenslust mit den Arbeitsinhalten und Unternehmenszielen übereinstimmt, macht ein kunstvoll gestaltetes Umfeld den großen Unterschied. Wird die Gefühlsseite von der Ratio getrennt, versteht man nur die Hälfte.



Kunst schafft ein inspirierendes und motivierendes Umfeld

Foto: Eva Mueller

Kunst stellt Fragen. Wo stehen wir? Wie wirkt sich unsere Arbeit gesamtgesellschaftlich aus? Wohin wollen wir gehen – ökonomisch, ökologisch, sozial, kulturell? Welche Zukunft entwerfen wir? Fragen nach dem Sinn von Produkten und Dienstleistungen sind Nahrung für jegliche Transformation und Innovation.

Kunst bewegt, berührt, verbindet auf vielfältige Weise. Sie prägt den ersten Eindruck im Empfang, signalisiert – meist unbewusst – ob man sich hier entfalten kann, eigenes Denken und neue Ideen gefragt sind. Kunstwerke können uns mit der Historie des Unternehmens verbinden,

Bezüge zur Vision, zu Inhalten und Materialien auf ungewöhnliche Weise herstellen. Sie befriedigen unser Bedürfnis nach Schönheit und Poesie, Anerkennung und Wertschätzung. Sie spiegeln die geistig-seelische Verfassung eines Unternehmens und seiner Mitarbeiter*innen wider. Sie laden zu Gesprächen mit Kolleg*innen und Kund*innen ein, die über den rein sachlichen Austausch hinausgehen. Sie erhöhen die Resilienz und unterstützen in herausfordernden Situationen.

**Eva Mueller, Kunstberaterin
Christa Holzenkamp, Leiterin AK
Unternehmer und Führungskräfte**

VDI BV Bayern Nordost

Satzungsänderung

Neufassung der Satzung des VDI Bezirksverein Bayern Nordost e. V.

In der Mitgliederversammlung des VDI Bezirksverein Bayern Nordost e. V. am 17.09.2021 wird über die nachstehende Neufassung der Satzung Stand: 03.05.2013, bereits veröffentlicht in der „TiB 02/2020“, die vom Präsidium des VDI e. V. bestätigt und freigegeben wurde, abgestimmt.

§ 1 Name, Sitz, Geschäftsjahr

- Der Verein führt den Namen „Verein Deutscher Ingenieure, Bezirksverein Bayern Nordost e. V.“ (im Folgenden abgekürzt: BVBNO) und hat seinen Sitz in Nürnberg.
- Der BVBNO ist eine regionale Gliederung des Vereins Deutscher Ingenieure mit Sitz in Düsseldorf, (im Folgenden abgekürzt: VDI). Die Satzung und die Geschäftsordnung des VDI in ihrer jeweils geltenden Fassung sind bindend für den BVBNO, soweit diese ihn betreffen.
- Das Geschäftsjahr ist das Kalenderjahr.
- Die Zugehörigkeit des Bezirksvereins zu anderen Organisationen bedarf der schriftlichen Zustimmung des Präsidiums des VDI.

§ 2 Zweck

- Der BVBNO verfolgt ausschließlich und unmittelbar gemeinnützige Zwecke im Sinne des Abschnitts „Steuerbegünstigte Zwecke“ der Abgabeordnung.
- Die Zwecke des BVBNO sind wie die Zwecke des VDI:
 - die Förderung der technischen Wissenschaft und Forschung,
 - die Förderung der Technischen Bildung
- Die Satzungszwecke werden insbesondere verwirklicht durch:
 - die Mitwirkung im Bildungswesen, insbesondere bei der Ausbildung sowie Fort- und Weiterbildung der Ingenieurinnen und Ingenieure sowie des technischen Nachwuchses, Durchführung von Vortragsveranstaltungen, Lehrgängen und Besichtigungen des BVBNO, seiner Bezirksgruppen und Netzwerke zu Schulungszwecken,
 - Zusammenarbeit mit öffentlichen Stellen, technisch-wissenschaftlichen Vereinigungen, Institutionen im Ausbildungsbereich sowie anderen Institutionen und Einzelpersonlichkeiten, zur gemeinsamen Förderung der technischen Wissenschaft, Forschung und Bildung,
 - Öffentlichkeitsarbeit auf regionaler Ebene
- Der BVBNO ist selbstlos tätig; er verfolgt nicht in erster Linie eigenwirtschaftliche Zwecke. Mittel des Vereins dürfen nur für die satzungsgemäßen Zwecke verwendet werden. Die Mitglieder erhalten in ihrer Eigenschaft als Mitglied keine Zuwendungen aus Mitteln des BVBNO. Es darf keine Person durch Ausgaben, die dem Zweck des BVBNO fremd sind oder durch unverhältnismäßig hohe Vergütungen begünstigt werden.

§ 3 Mittel

Dem Bezirksverein stehen folgende Mittel zur Verfügung

- Beitragsanteile der Mitglieder
- Zuwendungen und Schenkungen
- Vermögen und seine Erträge
- Erträge aus Ergebnissen der Bezirksvereinsarbeit

§ 4 Mitgliedschaft

- Mitglieder des BVBNO sind die persönlichen und fördernden Mitglieder des VDI, die ihren Wohnsitz im Bezirk des BVBNO haben oder ihre Tätigkeit dort ausüben.
- Die Geschäftsordnung des VDI enthält die Festlegungen für die Aufnahme und das Aufnahmeverfahren.

§ 5 Persönliche Mitglieder

- Persönliche Mitglieder des VDI können werden:
 - als ordentliche Mitglieder
 - Ingenieurinnen und Ingenieure deutscher oder anderer Staatsangehörigkeit;
 - Personen, deren Mitarbeit erwünscht ist und über deren Mitgliedschaft das Präsidium des VDI entscheidet
 - als außerordentliche Mitglieder
 - Personen, die an einer aktiven Mitarbeit im VDI interessiert sind,
 - als studierende Mitglieder
 - Studierende der Technik- und Naturwissenschaften,
 - als Jungmitglieder
 - Personen zwischen dem vollendeten 4. und dem vollendeten 21. Lebensjahr, soweit sie weder studieren noch berufstätig sind. Auf Antrag können Jungmitglieder, die zu technischen Berufen ausgebildet werden, bis zum Abschluss ihrer Ausbildung als Jungmitglieder weitergeführt werden, solange sie das 25. Lebensjahr nicht vollendet haben,
 - als Ehrenmitglied oder korrespondierendes Mitglied des VDI
 - Persönlichkeiten durch Ernennung des Präsidiums.

- Ehrenmitglieder, korrespondierende Mitglieder und ordentliche Mitglieder dürfen unmittelbar hinter ihrem Namen, nicht aber in Firmenbezeichnungen, den Zusatz VDI führen.
- Jedes persönliche im Ausland wohnende Mitglied wird entweder unmittelbar beim VDI oder auf Wunsch beim Bezirksverein im landesangrenzenden Gebiet der Bundesrepublik Deutschland geführt. Es kann außerdem einem Zusammenschluss von VDI-Mitgliedern außerhalb Deutschlands angehören.

§ 6 Fördernde Mitglieder

Fördernde Mitglieder des VDI können natürliche und juristische Personen sowie Körperschaften sein, die in der Lage und bereit sind, den Zweck des VDI ideell und materiell zu fördern.

§ 7 Beendigung der Mitgliedschaft

- Eine Kündigung der Mitgliedschaft ist mit einer Frist von 3 Monaten zum Ende eines Kalenderjahres möglich. Sie erfolgt durch eingeschriebenen Brief an den VDI-Bezirksverein Bayern Nordost e. V. oder die Hauptgeschäftsstelle des VDI.
- Die Mitgliedschaft erlischt mit dem Tode des persönlichen Mitgliedes, bei fördernden Mitgliedern bei Auflösung oder Wegfall der Geschäftsgrundlage.
- Mitglieder können durch das Präsidium des VDI ausgeschlossen werden:
 - bei Satzungsverletzung,
 - bei Schädigung des Ansehens oder der Interessen des VDI,
 - bei Nichtzahlung des Mitgliedsbeitrages nach wiederholter erfolgloser Mahnung.
- Gegen den Beschluss des Präsidiums kann das ausgeschlossene Mitglied innerhalb von 30 Tagen nach Zustellung über den BVBNO bei der Vorstandsversammlung des VDI Berufung einlegen.

§ 8 Rechte und Pflichten der Mitglieder

Rechte und Pflichten der Mitglieder richten sich nach § 10 der Satzung des VDI:

- Persönliche Mitglieder, mit Ausnahme der Jungmitglieder
 - haben Sitz und Stimme in der Mitgliederversammlung des BVBNO und bei Zuordnung in ihrer Fachgesellschaft oder ihrem Fachbereich, soweit hier eine Mitgliederversammlung durchgeführt wird. Außerordentliche und studierende Mitglieder haben, soweit diese Satzung oder die Satzung und die Geschäftsordnung des VDI nichts anderes festlegen, nur ein aktives Wahlrecht,
 - haben das Recht, an die Mitgliederversammlung des BVBNO Anträge in Angelegenheiten des VDI zu stellen. Wenn ein Antrag in der Mitgliederversammlung des BVBNO zweimal abgelehnt worden ist, so ist Berufung bei der Vorstandsversammlung möglich,
 - haben im Rahmen der Zweckbestimmung und der satzungsgemäßen Entscheidungen der Organe des VDI ein Recht auf die Vergünstigungen des VDI für seine Mitglieder und auf Inanspruchnahme von VDI-Einrichtungen,
 - erhalten nach 25jähriger Mitgliedschaft das VDI-Abzeichen mit silbernem Kranz, nach 40jähriger Mitgliedschaft mit goldenem Kranz. Das VDI-Abzeichen mit goldenem Kranz wird für 50 Jahre Mitgliedschaft

mit der Zahl 50, für 60 Jahre mit der Zahl 60 und von da ab alle 5 Jahre mit der jeweiligen Ziffer verliehen.

- Fördernde Mitglieder
 - haben das Recht, die Einrichtungen des VDI sowie die für sie vorgesehenen Vergünstigungen in Anspruch zu nehmen,
 - sollen aus ihrem Betrieb ein persönliches Mitglied des VDI als ihre Vertrauensperson, die die Verbindung zum VDI aufrechterhält, benennen.
- Mitglieder sind gehalten, den VDI bei der Erfüllung seiner satzungsgemäßen Aufgaben zu unterstützen. Satzung, Geschäftsordnung und die Beschlüsse der Organe des VDI hierzu sind für sie bindend.
- Mitglieder haben in dieser Eigenschaft keinen Anspruch auf das Vermögen des BVBNO oder auf Rückzahlung geleisteter Beiträge.

§ 9 Organe des Bezirksvereins

Organe des BV sind

- die Mitgliederversammlung,
- der Vorstand

§ 10 Mitgliederversammlung

- Der BVBNO hält in der Regel jährlich eine ordentliche Mitgliederversammlung als Präsenzveranstaltung ab. Die Mitgliederversammlung ist zuständig für:
 - Wahl des Vorstandes,
 - Wahl der Rechnungsprüferinnen und -prüfer,
 - Entgegennahme und Besprechung des Tätigkeitsberichtes über das abgelaufene Geschäftsjahr,
 - Genehmigung des Jahresabschlusses,
 - Entlastung des Vorstandes,
 - Entgegennahme und Besprechung der Tätigkeitsberichte der Leitungen der Bezirksgruppen sowie der Sprecherinnen und Sprecher der Netzwerke,
 - Behandlung von Anträgen,
 - Beschlussfassung über Satzungsänderungen und Auflösung des BVBNO nach Maßgabe der Satzung des VDI.

Vorschläge für die Wahl des Vorstandes müssen schriftlich spätestens vier Wochen vor dem Wahltermin dem amtierenden Vorstand vorliegen.

- Zu der Mitgliederversammlung hat jedes persönliche Mitglied, mit Ausnahme der Jungmitglieder, Zutritt. Die Sitzungen können auch virtuell (durch Internet-/Telefon- oder Videokonferenz) oder hybrid als Präsenzsitzung mit Zuschaltung von Teilnehmenden erfolgen.
- Ort und Zeit einer ordentlichen Mitgliederversammlung sowie die Einladung mit der Tagesordnung werden den Mitgliedern mindestens sechs Wochen vor der Versammlung durch Veröffentlichung im Regionalmagazin „Technik in Bayern“, oder soweit möglich auf elektronischem Wege, oder sonst durch Brief mitgeteilt. Alle Antragsunterlagen müssen zwei Wochen vor der Versammlung dem Vorstand und vor der Versammlung den Mitgliedern zur Kenntnisnahme vorliegen.
- Außerordentliche Mitgliederversammlungen können bei Bedarf und müssen auf Antrag von mindestens einem Drittel aller ordentlichen

Mitglieder vom Vorsitzenden einberufen werden. Ort, Zeit und Tagesordnung werden mindestens zwei Wochen vorher bekannt gegeben. Die Regelungen nach Ziffer 3. gelten ansonsten entsprechend.

5. Ordnungsgemäß einberufene Mitgliederversammlungen sind ohne Rücksicht auf die Anzahl der anwesenden Mitglieder beschlussfähig. Soweit nicht die Satzung etwas anderes bestimmt, entscheidet einfache Stimmenmehrheit. Bei Stimmgleichheit ist der Antrag abgelehnt.
6. Satzungsänderungen des BVBNO müssen mit drei Viertel Mehrheit der abgegebenen Stimmen beschlossen werden. Die Mitgliederversammlung kann über eine Satzungsänderung nur dann beschließen, wenn der Antrag den Mitgliedern vier Wochen vorher zur Kenntnis gebracht wurde. Die Satzung und wesentliche Satzungsänderungen bedürfen außerdem der Zustimmung des Präsidiums des VDI.
7. Die Mitgliederversammlung kann die Auflösung des BVBNO nur beschließen, wenn drei Viertel der Mitglieder des Vorstandes und drei Viertel aller stimmberechtigten Mitglieder anwesend sind. Ist dies nicht der Fall, so muss, wenn der Antrag nicht zurückgezogen wird, eine neue Mitgliederversammlung mit derselben Tagesordnung stattfinden, zu der jedes Mitglied gemäß Ziffer 2 mit wenigstens acht Wochen Frist erneut gemäß Ziffer 3 einzuladen ist. Diese Versammlung ist dann ohne Rücksicht auf die Anzahl der anwesenden Mitglieder beschlussfähig. Der Auflösungsbeschluss bedarf jetzt der Mehrheit von drei Viertel der abgegebenen Stimmen.
8. Die Mitglieder des Vorstandes werden mit einfacher Stimmenmehrheit gewählt. Auf Antrag findet die Wahl geheim statt.
9. Über jede Mitgliederversammlung wird eine Niederschrift aufgenommen, die vom Versammlungsleitenden und der Schriftführerin bzw. dem Schriftführer unterzeichnet wird. Die Niederschrift wird bei den Urkunden des BVBNO aufbewahrt.

§ 11 Vorstand

1. Der Vorstand leitet BVBNO und ist zuständig für alle Angelegenheiten, die nicht ausdrücklich der Mitgliederversammlung vorbehalten sind. Fragen von allgemeiner Bedeutung soll der Vorstand der Mitgliederversammlung vorlegen.
2. Der Vorstand hat folgende Mitglieder, die von der Mitgliederversammlung gewählt werden:
 - 2.1 - die bzw. der Vorsitzende,
 - die bzw. der stellvertretende Vorsitzende,
 - die Schatzmeisterin bzw. der Schatzmeister,
 - die Schriftführerin bzw. der Schriftführer.
 - bis zu fünf weitere Mitglieder auf Vorschlag des Vorstandes, die jeweils ein bestimmtes Arbeitsgebiet wahrnehmen sollen. Ein Arbeitsgebiet soll die Planung und Förderung der Veranstaltungen des BVBNO umfassen.
 - 2.2 Zum erweiterten Vorstand gehören außerdem die Leitungen der Bezirksgruppen und Ausschüsse sowie die Sprecherinnen und Sprecher der Netzwerke. Die Zusammensetzung des erweiterten Vorstandes soll die Diversität der Mitgliedschaft abbilden.
3. Die Mitglieder des im Sinne von § 26 BGB vertretungsberechtigten Vorstandes müssen ordentliche, die sonstigen Vorstandsmitglieder

können auch studierende Mitglieder des VDI sein.

Die bzw. der Vorsitzende soll im aktiven Berufsleben stehen und aufgrund des Werdegangs und der aktuellen Situation den Bezirksverein repräsentieren können.

Die Amtsdauer der Vorstandsmitglieder beträgt drei Jahre. Wiederwahl ist möglich, die bzw. der Vorsitzende kann jedoch in unmittelbarer Folge nur einmal wiedergewählt werden. Die Amtszeit des Vorsitzenden beginnt am 01. Januar des auf die Wahl folgenden Kalenderjahres.

Alljährlich soll etwa ein Drittel der Vorstandsmitglieder neu- oder wiedergewählt werden. Die bzw. der Vorsitzende und die bzw. der stellvertretende Vorsitzende sollen nicht im gleichen Jahr ausscheiden.

Beim vorzeitigen Ausscheiden der bzw. des Vorsitzenden übernimmt die bzw. der stellvertretende Vorsitzende die Leitung des Vereins bis zur Wahl einer bzw. eines neuen Vorsitzenden durch die nächstfolgende Mitgliederversammlung. Scheidet ein anderes Vorstandsmitglied vor dem Ende seiner Amtszeit aus, so kann eine Zuwahl durch den Vorstand erfolgen, die durch die nächstfolgende Mitgliederversammlung bestätigt wird.

Der Vorstand erledigt seine Arbeiten in den Sitzungen. Die Sitzungen können auch virtuell (durch Telefon- oder Videokonferenz) erfolgen, wenn das Gremium dies mehrheitlich beschließt. In dringenden Fällen ist auch schriftliche Abstimmung zulässig. Die Ergebnisse schriftlicher Abstimmungen werden den Gremienmitgliedern bekannt gegeben. Die Sitzungen sind nicht öffentlich, sie sind vertraulich, ebenso wie die Sitzungsunterlagen.

4. Die bzw. der Vorsitzende, im Falle der Verhinderung die bzw. der stellvertretende Vorsitzende, beruft Vorstandssitzungen ein, wenn es die Geschäfte erfordern oder wenn drei Vorstandsmitglieder es verlangen. Die Tagesordnung wird bei der Einberufung, spätestens zwei Wochen vor der Sitzung bekannt gegeben.
5. Die bzw. der Vorsitzende, im Falle der Verhinderung die bzw. der stellvertretende Vorsitzende, führt den Vorsitz im Vorstand und in der Mitgliederversammlung.
6. Die bzw. der Vorsitzende verteilt die Geschäfte des BVBNO auf die Vorstandsmitglieder, gibt die erforderlichen Weisungen und erstattet der Mitgliederversammlung den Tätigkeitsbericht.
7. Der Vorstand ist beschlussfähig, wenn wenigstens zwei Drittel seiner Mitglieder an der Sitzung beteiligt sind. Beschlüsse werden mit einfacher Stimmenmehrheit gefasst.
8. Über jede Sitzung des Vorstandes wird eine Niederschrift aufgenommen. Sie wird von der Sitzungsleiterin bzw. dem Sitzungsleiter und der Schriftführerin bzw. dem Schriftführer unterzeichnet und bei den Urkunden des BVBNO aufbewahrt.
9. Die Vorstandsmitglieder sind ehrenamtlich tätig.
10. Vorstand im Sinne des § 26 BGB sind die bzw. der Vorsitzende, die bzw. der stellvertretende Vorsitzende und die Schatzmeisterin bzw. der Schatzmeister. Zwei von ihnen vertreten gemeinsam den BVBNO.

§ 12 Beratendes Gremium

Beim BVBNO kann ein beratendes Gremium bestehen, das die Aufgabe hat, die Interessen des BVBNO zu fördern und den Vorstand zu beraten.

Zu Mitgliedern des beratenden Gremiums werden vom Vorstand des BVBNO Persönlichkeiten berufen, die im Bereich des BVBNO ihren Wohn- oder Amtssitz haben und ein besonderes Interesse an der Verbindung zur VDI-Arbeit zeigen. Die Berufung gilt für 3 Jahre und kann wiederholt werden.

§ 13 Geschäftsstelle

1. Die Mitgliederversammlung kann die Einrichtung einer Geschäftsstelle beschließen.
2. Die Geschäftsstelle soll von einem Mitglied des Vorstands oder von einer Geschäftsführung geleitet werden, die den Weisungen und Vorgaben des verantwortlichen Vorstandsmitglieds unterworfen ist.

§ 14 Rechnungsprüfung

1. Die Mitgliederversammlung wählt 2 Rechnungsprüfende, die nicht dem Vorstand angehören dürfen. Ihre Amtsdauer beträgt 3 Jahre.
2. Die Rechnungsprüfenden prüfen die Jahresrechnung, geben einen schriftlichen Bericht für die Unterlagen des BVBNO, berichten der Mitgliederversammlung über das Ergebnis und beantragen die Entlastung des Vorstandes.
3. Die Rechnungsprüfenden sind ehrenamtlich tätig.

§ 15 Regionale Gliederungen des Bezirksvereins

1. Der Vorstand des BVBNO kann bei Bedarf Bezirksgruppen bilden und deren Grenzen festsetzen. Der Sitz einer Bezirksgruppe soll wenigstens 10 km vom Sitz des BVBNO entfernt liegen. Eine Bezirksgruppe soll mindestens 20 Mitglieder haben.
2. Für die Leitungen von Bezirksgruppen werden vom Vorstand des Bezirksvereins ordentliche Mitglieder eingesetzt und jeweils für drei Jahre berufen.
3. Die Leitung kann zu ihrer Unterstützung einen Bezirksgruppenausschuss berufen, der der Genehmigung des Vorstandes des BVBNO bedarf.
4. Der Vorstand des BVBNO stellt den Bezirksgruppen im Rahmen des Haushalts Gelder aus den Mitteln des BVBNO zur Verfügung.

§ 16 Netzwerke

1. Der BVBNO soll entsprechend den Aufgabenbereichen und im Einvernehmen mit den Fachgesellschaften, den Fachbereichen, den interdisziplinären Gremien, den überfachlichen Netzwerken und den berufspolitischen Gremien des VDI regionale Netzwerke bilden. Die Bezeichnung der Netzwerke soll sich an den Bezeichnungen der Gliederungen des VDI orientieren. Netzwerke für andere Aufgabenbereiche können vom Vorstand des Bezirksvereins mit Angabe der Zuordnung zu einer Fachgesellschaft bzw. einer berufspolitischen Gliederung des VDI eingerichtet bzw. aufgelöst werden. Die Sprecherinnen und Sprecher von Netzwerken werden auf Vorschlag des jeweiligen Netzwerks vom Vorstand des Bezirksvereins eingesetzt und jeweils für die Dauer von drei Jahren berufen. Das Einsetzen von Sprecherinnen bzw. Sprecher soll in Kontakt mit den Vorsitzenden der jeweiligen Fachgesellschaft oder des jeweiligen Fachbereichs, des jeweiligen interdisziplinären Gremiums oder der in

der Gliederung VDI Beruf und Gesellschaft gebildeten Fachbeiräte und Netzwerke geschehen. Die Sprecherinnen und Sprecher der Netzwerke müssen ordentliche Mitglieder des VDI sein. Die Teamleitungen des Netzwerks VDI-Young Engineers können auch studierende Mitglieder sein. Die Clubleitungen der Netzwerke für die Jungmitglieder können auch studierende oder außerordentliche Mitglieder sein.

2. Die Netzwerke führen nach dem Namen des BVBNO die Bezeichnung „Netzwerk ...“ mit der Angabe des betreffenden Fach- oder Arbeitsgebietes.
3. Der Vorstand des BVBNO stellt den Netzwerken im Rahmen des Haushalts Gelder aus den Mitteln des BVBNO zur Verfügung.

§ 17 Ehrungen

Neben den Ehrungen durch den VDI ist als Ehrung durch den BVBNO die Ehrenplakette und die Ehrenmedaille vorgesehen. Sie können Mitgliedern verliehen werden, die sich um den BVBNO oder um die Technik verdient gemacht haben. Einzelheiten regeln die Ordnung für Ehrungen und Verleihung von Preisen sowie die Richtlinien für deren Vergabe und Abwicklung des VDI.

§ 18 Auflösung

1. Die Auflösung des BVBNO kann durch die Mitgliederversammlung gem. § 10 Ziff. 7 beschlossen werden. Der Beschluss wird mit der Entscheidung der Vorstandsversammlung des VDI gem. § 14 Ziff. 2.3 der Satzung des VDI wirksam.
2. Bei der Auflösung oder Aufhebung des BVBNO oder bei Wegfall steuerbegünstigter Zwecke muss das vorhandene Vermögen dem VDI zwecks Verwendung für die Förderung der technischen Wissenschaft und Forschung und/oder für die Fortbildung der Ingenieurinnen und Ingenieure zugeführt werden. Zuwendungen an Mitglieder des Vereins sind ausgeschlossen. Vor der Verteilung des Vermögens ist das Finanzamt anzuhören.
3. Für die Auflösung oder Zusammenlegung von Bezirksgruppen oder Netzwerken des Bezirksvereins ist der Vorstand des BVBNO zuständig. Das bei der Auflösung festgestellte Vermögen geht an den BVBNO zurück.



Impressum

Herausgeber:

Verein Deutscher Ingenieure (VDI),
 Bezirksverein München, Obb. u. Ndb. e.V. (BV München)

Anschrift der Redaktion:

„Technik in Bayern“, Westendstr. 199 (TÜV)
 80686 München

Chefredakteur: Dipl.-Ing. Friedrich Münzel (verantwortl.)**Chefin vom Dienst:** Silvia Stettmayer

Tel. (0 89) 57 91 24 56, Fax (0 89) 57 91 21 61

E-Mail: tib@bv-muenchen.vdi.de

Redaktion:

Hermann Auer Ing. (grad.); Dr. Dina Barbian; Dipl.-Ing.
 Wolfgang Berger; Dipl.-Ing. Knut Bergmann; Dr. Frank
 Dittmann; Christina Kaufmann M.A.; Bernhard Kramer
 M.Sc.; Dipl.-Ing. Jochen Lösch; Dipl.-Ing. Harold Plesch;
 Dipl.-Ing. Walter Tengler

Verlag:

MuP Verlag GmbH

Nymphenburger Str. 20b, 80335 München

Tel. (089) 1 39 28 42-0, Fax: (089) 1 39 28 42-28

Geschäftsführer: Christoph Mattes

Anzeigenleitung: Christoph Mattes

Tel. (089) 1 39 28 42-20, Fax: (089) 1 39 28 42-28

E-Mail: christoph.mattes@mup-verlag.de

Anzeigenverkauf: Regine Urban-Falkowski

Tel. (0 89) 1 39 28 42-31, Fax: (0 89) 1 39 28 42-28

E-Mail: regine.urban@mup-verlag.de

Es gilt die Anzeigenpreisliste Nr. 24 von 01.01.2021

Vertriebsleitung: Philip Esser

Tel. (0 89) 1 39 28 42-33, Fax: (0 89) 1 39 28 42-28

E-Mail: philip.esser@mup-verlag.de

Layout und Grafik: Ratchaniwan Klautke**Internet-Service:** SpaceNet AG

24. Jahrgang 2021

Technik in Bayern erscheint zweimonatlich und ist das
 gemeinsame Mitgliedermagazin des VDI BV München,
 des VDI BV Bayern Nordost e. V. und des VDE Südbayern.
 Der Bezugspreis ist bei VDI- und VDE-Mitgliedern
 der Bezirksvereine in Bayern sowie dem IDV in der
 Mitgliedschaft enthalten.

Jahresabonnement 36,- Euro / 72,- SFr; Einzelheft 8,-
 Euro / 16,- SFr. Jahresabonnement für Studenten gegen
 Einsendung einer entsprechenden Bestätigung 27,-
 Euro/ 54,- SFr. Der Euro-Preis beinhaltet die Versandkosten
 für Deutschland und Österreich, der SFr-Preis
 die Versandkosten für die Schweiz. Bei Versand in das
 übrige Ausland werden die Porto-Mehrkosten berechnet.
 Die Abodauer beträgt ein Jahr. Das Abo verlängert sich
 um ein weiteres Jahr, wenn es nicht zwei Monate vor
 Ablauf schriftlich gekündigt wird.

Urheber- und Verlagsrecht

Die Redaktion behält sich vor, Manuskripte und Leser-
 briefe zu redigieren. Sie übernimmt keine Haftung für
 unverlangt eingesandte Manuskripte, Fotos und Illustration-
 en. Die systematische Ordnung der Zeitschrift und
 alle in ihr enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen
 sind urheberrechtlich geschützt.

Mit der Annahme eines Beitrags zur Veröffentlichung
 erwirbt der VDI vom Autor umfassende Nutzungsrechte
 in inhaltlich unbeschränkter und ausschließlicher Form,
 insbesondere Rechte zur weiteren Vervielfältigung mit
 Hilfe mechanischer, digitaler und anderer Verfahren.

Druck: Mayr/Miesbach GmbH

Am Windfeld 15, 83714 Miesbach

Technik in Bayern ISSN1610-6563

Nächster Redaktionsschluss: 13.09.2021

**Die Geschichte der Raumfahrt**

Wolfgang Osterhage
 Springer Verlag 2021
 ISBN 978-3-66262596-5
 22,99 Euro

Wolfgang Osterhage – Physiker und freier Autor –
 zeichnet, laut Klappentext, „die Entwicklung der Raum-
 fahrt nach: von den Anfängen der Raketentechnik zum
 ersten bemannten Raumflug mit Juri Gagarin, gefolgt
 von Mehrfachumrundungen der Erde, Parallelfügen
 mit mehreren Kapseln, der ersten Frau im Weltraum,
 dem Ausstieg eines Kosmonauten aus seiner Kapsel
 und manuellen Rendezvousmanövern sowie den
 Mondlandungen“. Raumstationen und Zukunftsprojekte
 betreffen weitere Kapitel.

Der Autor beschreibt Aufgaben und Bedeutung der Sa-
 telliten für unser Leben, wie Erdbeobachtung, Kommu-
 nikation, Navigationssysteme (GPS), konkrete Projekte
 dieser Art werden aber nicht skizziert. Er konzentriert
 sich mehr auf die Planetenräume, wobei jedem Pla-
 neten und deren Erforschung mit Raumsonden einige
 Zeilen gewidmet sind. Auswahl und Gewichtung von
 Themen sind in einer so knappen Darstellung immer
 diskutierbar, warum aber widmet er der Flüssigkeits-
 rakete eine halbe Seite, seinem Patent eines Nuklear-
 antriebes fast drei Seiten?

Dennoch: Für ein Taschenbuch zu diesem Riesen-
 thema besteht Bedarf; es regt an, sich intensiver mit
 der Raumfahrt (das Interesse wächst wieder) zu be-
 beschäftigen. Das Internet ermöglicht zudem, Daten zu
 überprüfen und sich eingehender zu informieren.
 Literatur wird (außer Wikipedia) leider kaum genannt.

Dr. Walter Rathjen

**Was ist real?
 Das ungelöste Problem der
 Quantenphysik**

Adam Becker
 Springer 2021
 ISBN 978-3-662-62541-5
 24,99 Euro

Was ist real? Eine große Frage! Dieses Buch behandelt
 nicht die umfassende philosophische Dimension, aber
 immerhin die Grundlage unserer materiellen Welt: was
 passiert auf der Mikroebene der Quanten „wirklich“?
 Hundert Jahre nach der Entwicklung der Quantenme-
 chanik sind sich die Physiker noch immer nicht einig,
 was Quantenobjekte (z.B. Photonen) „machen“, sol-
 lange man sie nicht beobachtet. Was passiert bei einer
 Messung, was ist das überhaupt? Ist die Quantenwelt
 nicht-lokal, aber verschränkt („spukhafte“ Fernwirk-
 ung)? Kann man über etwas diskutieren, was man
 nicht beobachten kann?

Die Quantenmechanik ist eine äußerst leistungsfähige
 Theorie zur Lösung konkreter Probleme. Aber was be-
 schreibt sie eigentlich? Das erste theoretische Konzept
 lieferte der Däne Niels Bohr mit seiner Kopenhagener
 Deutung, die aber schon von Einstein abgelehnt wurde
 („Gott würfelt nicht“). Der Autor beschreibt recht span-
 nend, ohne Formeln und für den Laien gut verständlich
 den Wettlauf der Ideen um die Interpretation der Quan-
 tenmechanik, der bis heute anhält. Manchem Leser mag
 das zu detailliert sein, aber man erhält aufschlussreiche
 Einblicke in das Funktionieren von Wissenschaft. Es
 geht eben nicht nur um Ideen und Beweise, es geht auch
 um Interessen, um Forscherpersönlichkeiten, um den
 soziologischen und philosophischen Zeitgeist. Die Quan-
 tenwelt ist extrem rätselhaft, bietet aber, wie der Autor
 extra betont, deswegen noch lange keine argumentative
 Stütze für Quantenheiler und andere Esoteriker.

Gerhard Grosch

Pinakothek der Moderne München

KI.ROBOTIK. DESIGN



Garmi – ein humanoider Roboterassistent für ältere Menschen

Mit Sami Haddadin setzt einer der weltweit füh-
 renden Forscher, Innovatoren und Koryphäen auf dem
 Gebiet der Robotik und künstlichen Intelligenz (KI) die
 Reihe zeitgenössischer Designpositionen in der Paternoster-
 Halle fort, zu der Die Neue Sammlung – The Design Museum
 seit 2015 jährlich internationale Protagonisten des
 Designs einlädt.

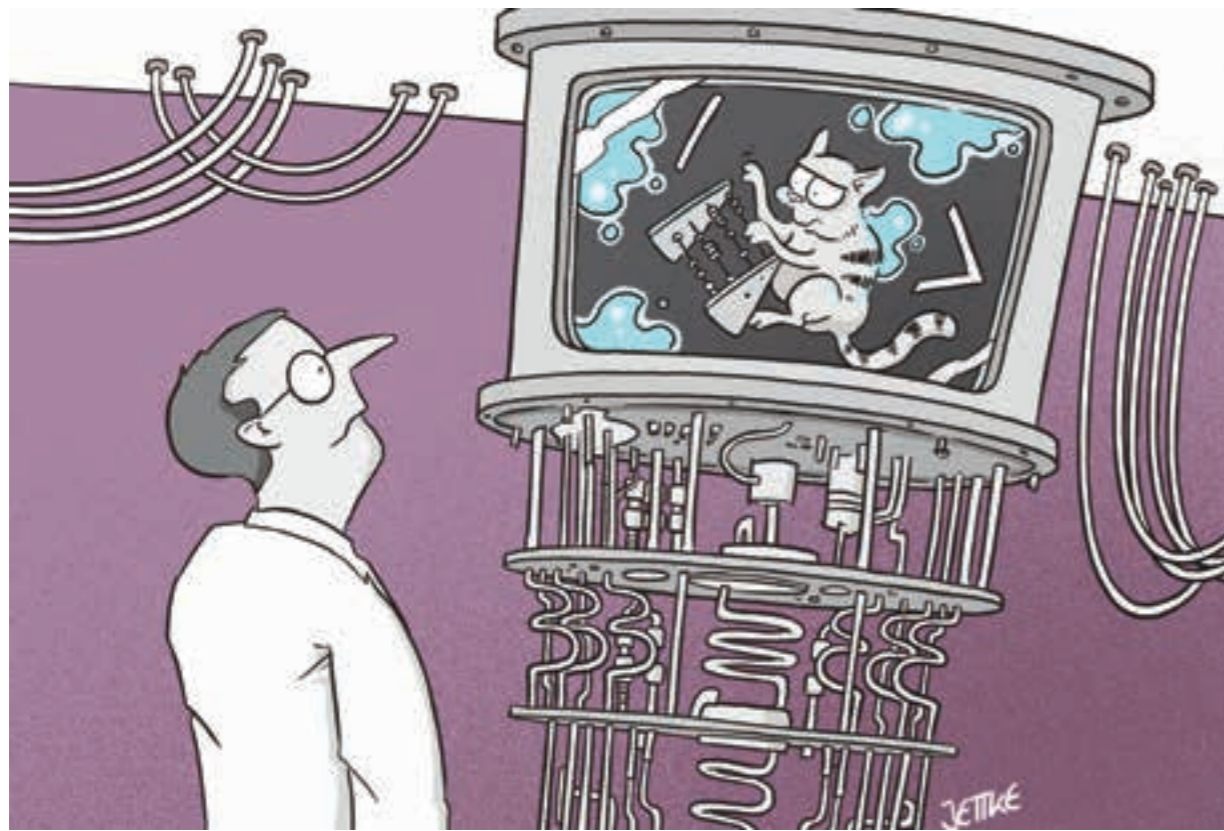
Robotik und künstliche Intelligenz sind aktuelle
 Themen, die im digitalen Wandel große Hoffnungen,
 aber auch Herausforderungen an unsere Zeit und Ge-
 sellschaft stellen. Auch im Bereich des Designs sind unzäh-
 lige neue Aufgaben bei der Gestaltung von Prozessen
 und Produkten zu erwarten. Sami Haddadin und sein
 Team haben für Die Neue Sammlung eine Ausstellung
 konzipiert, die in vier Kapiteln die Entstehung, Gegen-
 wart und Zukunft von Robotik und KI aufzeigt und
 erfahrbar macht. Sami Haddadin selbst sagt: „Intelli-
 gente Roboter sind Assistenten des Menschen und das
 wird noch sehr

lange so bleiben. Alles andere ist Science Fiction,
 allerdings eine inspirierende und faszinierende.“
 Denn der Mensch wird in dem Prozess der Ent-
 wicklung von KI sowie ihren Aufgaben und ihren
 Arbeitsweisen immer eine gestaltende Funktion haben.

Im Laufe der Ausstellung wird ein Katalog erarbei-
 tet, der auch die Entwicklung der Mensch-Maschine
 während der Ausstellung dokumentieren wird. Darüber
 hinaus wird es ein vielfältiges Rahmenprogramm mit
 Workshops für verschiedene Altersgruppen und Prä-
 sentationen geben.

Informationen

Ausstellung bis 18.09.2022
 Die Neue Sammlung – The Design
 Museum
 Pinakothek der Moderne
 Barer Straße 40
 80333 München
 Täglich 10.00 - 18.00 Uhr
 Donnerstag 10.00 - 20.00 Uhr
 Montags geschlossen
 www.pinakothek-der-moderne.de



Cartoon: Cornelis Jettke

Das Geheimnis des Quantencomputers ist gelüftet: Schrödingers Katze rechnet!

VORSCHAU

Ausgabe 06/2021 erscheint am 03. November 2021 mit dem Schwerpunktthema

Klimaziel 1,5 Grad

Die Zunahme der Klimagase führt zur Erderwärmung. Das Pariser Klimaabkommen will den Anstieg möglichst auf 1,5 Grad begrenzen. Das nächste Heft beschäftigt sich mit Lösungen unter anderem aus dem Bauwesen, der Landwirtschaft, dem Energie- sowie dem Verkehrssektor.

Anzeigenschluss: 08. Oktober 2021



Foto: Wojciech Gajda

Schwerpunktthema der Ausgabe 01/2022
Ingenieurskunst

Anzeigenschluss: 03. Dezember 2021

Schwerpunktthema der Ausgabe 02/2022
Wasserversorgung

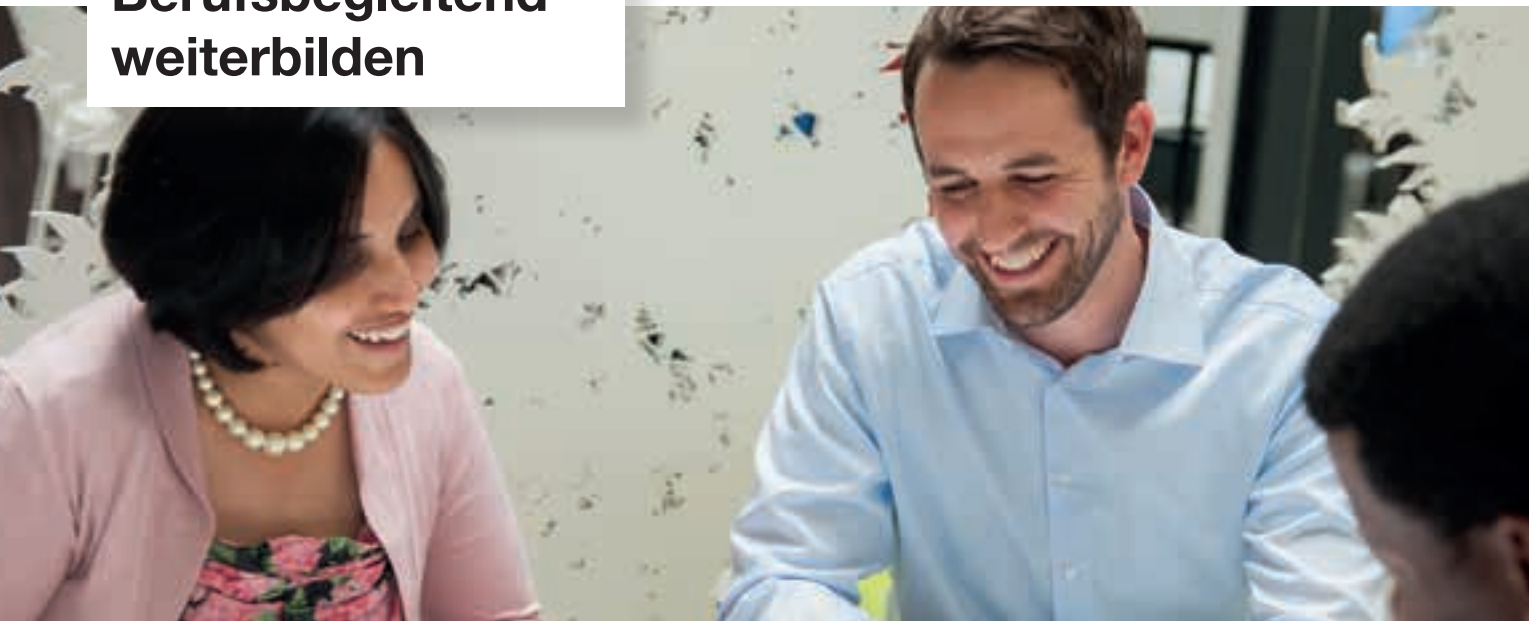
Anzeigenschluss: 04. Februar 2022

WISSEN ERLEBEN



Sehen, wie sich
300.000 Volt entladen.

**Berufsbegleitend
weiterbilden**



WEITERBILDUNG LOHNT SICH!

MASTER OF BUSINESS ADMINISTRATION (GENERAL MANAGEMENT)

Neue berufliche Perspektiven schaffen!

Sie sind bereit für den nächsten Karriereschritt? Ohne wirtschaftliches Vorstudium können Sie mit einem MBA-Studium in General Management Ihre Karriere vorantreiben. Die OHM Professional School, das Weiterbildungsinstitut der Technischen Hochschule Nürnberg, wurde im Jahr 2001 gegründet und ist die erfahrenste Business School in Deutschland.



- Optimal abgestimmt auf die Bedürfnisse Berufstätiger
- Hoher Praxisbezug auf akademischem Niveau, garantiert durch Professoren der TH Nürnberg sowie Dozenten der freien Wirtschaft
- Umfassende Vermittlung von Führungsqualifikationen (Soft-Skills) und persönliches Coaching
- Ohne wirtschaftliches Erststudium möglich
- Internationale Atmosphäre mit 70 % ausländischen Studierenden
- Unterrichtssprache Englisch
- Start im März und Oktober

Informieren Sie sich jetzt:

ops-mba@th-nuernberg.de

Tel.: 0911 5880-2802

www.ohm-professional-school.de/studium-mba

Akkreditiert durch **ACQUIN**



TECHNISCHE HOCHSCHULE NÜRNBERG
OHM PROFESSIONAL SCHOOL