

acatech

HORIZONTE

Quantentechnologien



Warum sind Quanten wichtig?

Grundlagen für das Verständnis
der Quantentechnologien

Quantentechnologien der ersten und
zweiten Generation

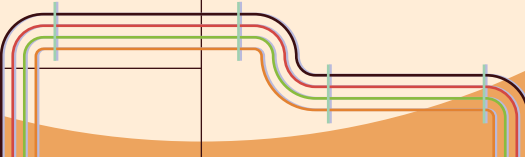
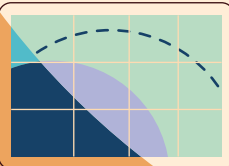
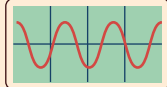
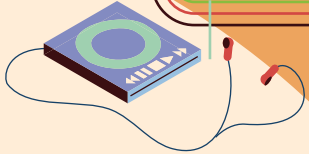
Gestaltungsspielräume und
Erwartungsmanagement

Mit der vorliegenden Publikationsreihe untersucht acatech bedeutende Technikfelder, die sich klar am Horizont abzeichnen, deren Auswirkungen aber noch geklärt werden müssen. Diese Technikfelder werden in acatech HORIZONTE fundiert und anschaulich aufbereitet. In diesen Prozess fließen der aktuelle Stand der internationalen Forschung, Entwicklung und Anwendung sowie die Wertschöpfungspotenziale der Technologien ein. Darüber hinaus nehmen die acatech HORIZONTE ethische, politische und gesellschaftliche Fragen sowie denkbare Entwicklungen und Gestaltungsoptionen in den Blick. Mit den acatech HORIZONTEN möchte die Akademie die Diskussion über neue Technologien anregen, politische Gestaltungsräume aufzeigen und Handlungsoptionen formulieren – und so einen Beitrag für eine vorausschauende Innovationspolitik leisten.

3

Was sind Quantentechnologien der ersten und der zweiten Generation, und welche Potenziale haben sie für Wirtschaft und Gesellschaft?

Von der „Überlegenheit der Quanten“, auch „Quantumsupremacy“ genannt, berichten viele Medien und beschwören eine nahe Zukunft herauf, in der Quantencomputer jeden Superrechner alt aussehen lassen werden. Stehen wir wirklich am Anfang einer Quantenepoche? Gleich vorweg: Einen Quantencomputer für universelle Aufgaben gibt es (noch) nicht. Die Entwicklungen werden von den Medien interessiert begleitet. Diese prägten auch gleich einen Begriff für die vielversprechenden neuen Quantentechnologien: die „zweite Quantenrevolution“. Ältere Quantentechnologien, zu denen beispielsweise auch der Laser oder die Atomuhr gehören, werden so kurzerhand ex post zur „ersten Quantenrevolution“, obwohl sich viele quantentechnologische Entwicklungen eher stetig fortentwickelt haben. Wie sich dieser technologische Fortschritt vollzogen hat, lesen Sie auf den folgenden Seiten.



3.1 Quantentechnologien der ersten Generation und ihre Merkmale

Es ist sehr schwierig oder sogar unmöglich, Quantentechnologien der sogenannten ersten und zweiten Revolution ganz trennscharf voneinander abzugrenzen. Zwar gab es im Vorfeld der zweiten Revolution einige Schlüselerfindungen wie die gezielte Herstellung verschränkter Zustände. Einige andere notwendige Technologien verbesserten sich jedoch nicht abrupt, sondern im Laufe der vergangenen Jahrzehnte graduell. Fachleute bevorzugen für die verschiedenen Fortschrittslevel von Quantentechnologien deshalb den Begriff „Generation“.

„Das Wissen hinter Quantentechnologien der zweiten Generation war teilweise schon seit den 1950er Jahren vorhanden, nur noch nicht in Technologien umsetzbar.“

Will man die Quantentechnologien in Generationen einteilen, dann bietet sich folgende gedankliche Unterscheidung an:

Für die Erfindungen der ersten Generation – wie Laser oder Atomuhr – wurden die im letzten Kapitel dargestellten Quanteneigenschaften eher „einfach nur“ kollektiv genutzt. In der zweiten Generation versuchen Physikerinnen und Physiker nun, diese Eigenschaften beziehungsweise den Zustand von individuellen Quantensystemen gezielt zu manipulieren, um neue Funktionalitäten zu schaffen. Insbesondere die systematische Nutzung der Verschränkung ist ein Merkmal der zweiten Generation.

Letzten Endes ist die genaue Abgrenzung beider Generationen nebensächlich. Wichtig ist nur, zu verstehen, dass man mit Quantentechnologien bessere Sensoren, Komponenten und Anwendungen entwickeln und bereitstellen kann beziehungsweise können wird. Ob diese neuen Technologien tatsächlich „revolutionär“ sind, wird sich erst in der Retrospektive zeigen. Das Potenzial dazu haben sie allemal.

Wie wir heute wissen, legte Max Planck bereits um 1900 wichtige theoretische Grundlagen für die Quantenphysik und damit auch die Quantentechnologien. Wie wichtig seine Erkenntnisse waren, lässt sich nicht nur an dem Nobelpreis ablesen, den er dafür erhielt, sondern auch daran, dass wir so gut wie jede einzelne Quantentechnologie der ersten Generation aus unserem Alltag kennen. Auf die eine oder andere Weise erleichtern sie – teilweise schon seit Jahrzehnten – unser Leben. Das folgende Schaubild gibt einen Überblick.



1970er

In der Medizin sind dank der Quantenphysik neuartige bildgebende Verfahren möglich, beispielsweise die Magnetresonanztomografie (MRT). Dadurch können wir Gewebe und Organe des menschlichen Körpers besser verstehen und Krankheiten genauer diagnostizieren.



1960er

Durch die Erkenntnisse der Quantenphysik können ultrapräzise Atomuhren gebaut werden, die in 300.000 Jahren nur eine Sekunde nachgehen. Neuere optische Atomuhren haben das Potenzial, in mehreren Milliarden Jahren nur eine Sekunde falsch zu gehen. Mit dieser Genauigkeit lassen sich die fundamentalen Gesetze der Physik überprüfen, zum Beispiel, ob unsere Naturkonstanten auch tatsächlich konstant sind (siehe Kapitel 3.2.3).



1900

Die theoretischen Grundlagen der Quantenphysik legt Max Planck bereits vor über hundert Jahren, als er erstmals das Lichtquant als kleinstmögliches Energiepäckchen definiert.

Quantentechnologien der ersten Generation

Quantentechnologien der sogenannten ersten Generation durchdringen unsere moderne Gesellschaft.



1990er bis 2000er

Dank der Quantenphysik und auf Basis der Atomuhren werden Satellitennavigationssysteme entwickelt, die erstmals auch Privatpersonen zugänglich gemacht werden können.

2

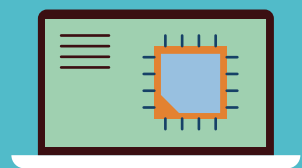
Gipfel der Quantentechnologien der zweiten Generation

1

Gipfel der Quantentechnologien der ersten Generation

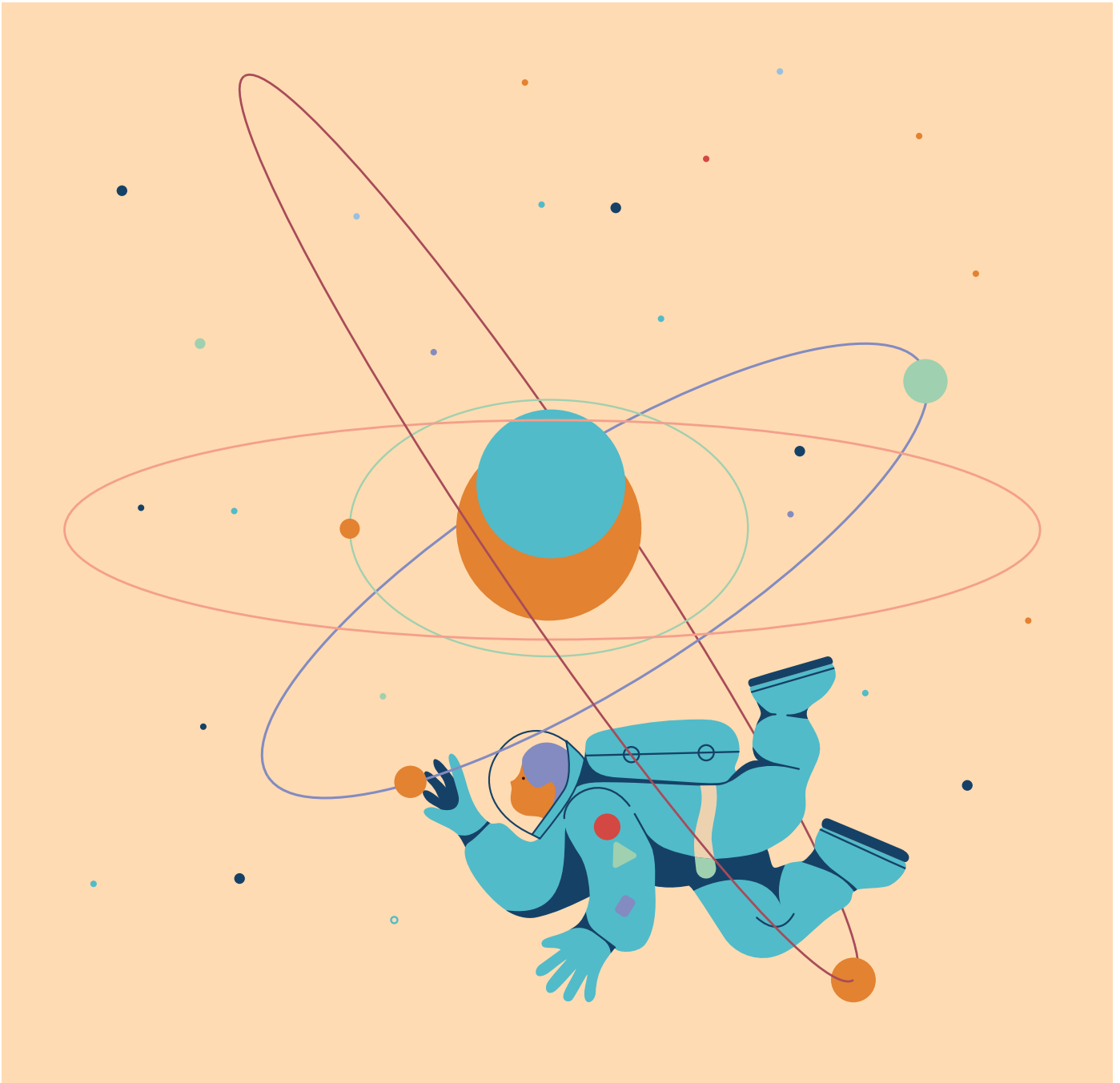
1960er

Alle Laser, die wir heute kennen, basieren auf reinen Quantenphänomenen.



1920er bis 1940er

Unser Wissen aus der Quantenphysik über Halbleitermaterialien hat zur Entwicklung von Transistoren – den elementaren Bestandteilen in jedem Computerchip – geführt. Computer haben unsere Lebensweise revolutioniert.



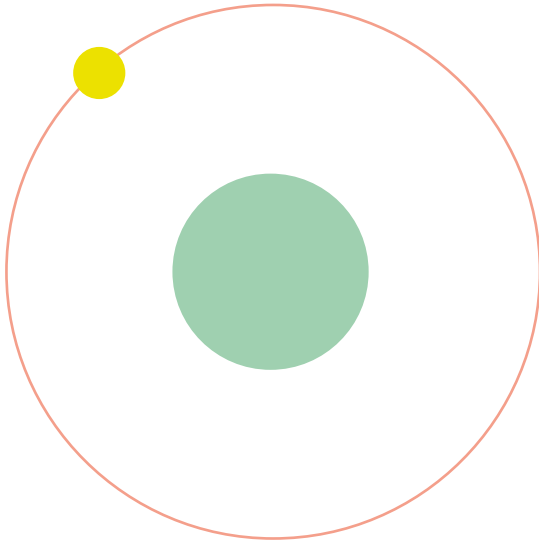
Literaturverzeichnis

- 1** Buhrman, H., Cleve, R., van Dam, W. (2001): zitieren: „**Letter from Einstein to Max Born, 3 March 1947; The Born-Einstein Letters, Correspondence between Albert Einstein and Max and Hedwig Born from 1916 to 1955, Walker, New York, 1971.**“ In: Quantum Entanglement and Communication Complexity. SIAM Journal on Computing, 30(6):1829-1841.
- 2** Tegmark, M., Wheeler, J. A. (2001): **100 Years of Quantum Mysteries.** Scientific American.
- 3** Jaeger, L. (2018): **Die zweite Quantenrevolution.** Vom Spuk im Mikrokosmos zu neuen Supertechnologien. Springer, Berlin.
- 4** Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) (2012): **PTR/PTB: 125 Jahre metrologische Forschung.** Online verfügbar unter https://www.ptb.de/cms/fileadmin/internet/publikationen/ptb_mitteilungen/mitt2012/Heft2/PTB-Mitteilungen_2012_Heft_2.pdf, zuletzt geprüft am 03.11.2020.
- 5** Britannica: **Learn about Thomas Young's double-slit experiment which contradicted Newton's theory of light.** Online verfügbar unter <https://www.britannica.com/video/179685/experiment-Thomas-Young>, zuletzt geprüft am 21.10.2020.
- 6** Jönsson, C. (1961): **Elektroneninterferenzen an mehreren künstlich hergestellten Feinspalten.** Zeitschrift für Physik, 161(4):454-474.
- 7** Filk, T. (2019): **Zitate zur Quantentheorie.** Albert Einstein über die Quantenmechanik in einem Brief an Cornelius Lanczos, 21. März 1942, Einstein-Archiv 15-294, zitiert nach Einstein, Briefe, Seite 65, zitiert nach Alice Calaprice (Hrsg.): Einstein sagt, Piper-Verlag, München, Zürich 1996, S. 146. In: Filk, T. (Hrsg.), Quantenmechanik (nicht nur) für Lehramtsstudierende. Springer Spektrum, Berlin.
- 8** Konitzer, F. (2014): **Atomuhren.** Welt der Physik. Online verfügbar unter <https://www.weltderphysik.de/gebiet/technik/atomuhren/atomuhren/>, zuletzt geprüft am 21.10.2020.
- 9** Seabaugh, A. (2013): **The Tunneling Transistor.** IEEE Spectrum. Online verfügbar unter <https://spectrum.ieee.org/semiconductors/devices/the-tunneling-transistor>, zuletzt geprüft am 21.10.2020.
- 10** Brooks, M. (2019): **Beyond quantum supremacy: the hunt for useful quantum computers.** Nature, 574(7776):19-21.
- 11** Krieger, S. (2019): **Künstliche Intelligenz und Quantencomputing: Das Beste aus beiden Welten.** Online verfügbar unter <https://www.f05.uni-stuttgart.de/fakultaet/aktuelles/news/Kuenstliche-Intelligenz-und-Quantencomputing-Das-Beste-aus-beiden-Welten-00003/>, zuletzt geprüft am 21.10.2020.
- 12** Feynman, R., Mößbauer, R., Summerer, S. (1990): **Vom Wesen physikalischer Gesetze.** Piper, München.
- 13** Olson, E. (2019): **How quantum computers work.** Electronics 360. Online verfügbar unter <https://electronics360.globalspec.com/article/13553/how-quantum-computers-work>, zuletzt geprüft am 14.09.2020.
- 14** Hui, J. (2019): **QC - How to build a Quantum Computer with Superconducting Circuit?** Medium. Online verfügbar unter <https://jonathan.hui.medium.com/qc-how-to-build-a-quantum-computer-with-superconducting-circuit-4c30b1b296cd>, zuletzt geprüft am 21.10.2020.
- 15** Tavernelli, I. (2018): **Quantum Computing at IBM.** Quantum Computing for High Energy Physics. IBM Research - Zürich. Online verfügbar unter https://indico.cern.ch/event/719844/contributions/3019718/attachments/1749768/2835637/CERN_Tavernelli4_1.pdf, zuletzt geprüft am 05.11.2020.
- 16** Castelvecchi, D. (2017): **The strange topology that is reshaping physics.** Nature News, 547(7663):272.
- 17** Bechtold, A., Rauch, D., Li, F., Simmet, T., Ardel, P.-L., Regler, A., Müller, K., Sinitsyn, N. A., Finley, J. J. (2015): **Three-stage decoherence dynamics of an electron spin qubit in an optically active quantum dot.** Nature Physics, 11(12):1005-1008.
- 18** Popkin, G. (2016): **Scientists are close to building a quantum computer that can beat a conventional one.** Online verfügbar unter <https://www.sciencemag.org/news/2016/12/scientists-are-close-building-quantum-computer-can-beat-conventional-one>, zuletzt geprüft am 02.11.2020.
- 19** Giles, M. (2019): **Explainer: What is quantum communication?** MIT Technology Review. Online verfügbar unter <https://www.technologyreview.com/2019/02/14/103409/what-is-quantum-communications/>, zuletzt geprüft am 21.10.2020.
- 20** Bundesministerium für Bildung und Forschung (2018): **Q.Link.X. Quantenrepeater für eine abhörsichere Kommunikation über große Distanzen. Q.Link.X, Verbundprojekt Quanten-Link-Erweiterung.** Online verfügbar unter <https://www.forschung-it-sicherheit-kommunikationssysteme.de/projekte/q-link-x>, zuletzt geprüft am 05.11.2020.
- 21** Liao, S.-K., Cai, W.-Q., Liu, W.-Y., Zhang, L., Li, Y., Ren, J.-G., Yin, J., Shen, Q., Cao, Y., Li, Z.-P., Li, F.-Z., Chen, X.-W., Sun, L.-H., Jia, J.-J., Wu, J.-C., Jiang, X.-J., Wang, J.-F., Huang, Y.-M., Wang, Q., Zhou, Y.-L., Deng, L., Xi, T., Ma, L., Hu, T., Zhang, Q., Chen, Y.-A., Liu, N.-L., Wang, X.-B., Zhu, Z.-C., Lu, C.-Y., Shu, R., Peng, C.-Z., Wang, J.-Y., Pan, J.-W. (2017): **Satellite-to-ground quantum key distribution.** Nature, 549(7670):43-47.

- 22** Popkin, G. (2017): **China's quantum satellite achieves 'spooky action' at record distance.** Science, American Association for the Advancement of Science (AAAS), Online verfügbar unter <https://www.sciencemag.org/news/2017/06/china-s-quantum-satellite-achieves-spooky-action-record-distance>, zuletzt geprüft am 27.11.2020.
- 23** Zivkovic, A. B., Hristov, N. P., Jerković, D. D., Bogdanović, B. S., Milutinović, J. M. (2019): **Automatic measurement of precision and accuracy from the hit pattern of small arms using electronic target system.** IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 659:12015.
- 24** Mavroeidis, V., Vishi, K., Zych, M., Jøsang, A. (2018): **The Impact of Quantum Computing on Present Cryptography.** International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 9(3).
- 25** Bennett, C. H., Brassard, G. (1984): **Quantum Cryptography: Public Key Distribution and Coin Tossing.** Proceedings of IEEE International Conference on Computers, Systems, and Signal Processing.
- 26** Shor, P. W. (1997): **Polynomial-Time Algorithms for Prime Factorization and Discrete Logarithms on a Quantum Computer.** SIAM Journal on Computing, 26(5):1484–1509.
- 27** Martín-López, E., Laing, A., Lawson, T., Alvarez, R., Zhou, X.-Q., O'Brien, J. L. (2012): **Experimental realization of Shor's quantum factoring algorithm using qubit recycling.** Nature Photonics, 6(11):773–776.
- 28** Bundesministerium für Bildung und Forschung (2019): **BMBF-Initiative QuNET baut hochsicheres Quantennetzwerk.** Online verfügbar unter <https://www.bmbf.de/de/bmbfinitiative-qunet-baut-hochsicheres-quantennetzwerk-10126.html>, zuletzt geprüft am 27.11.2020
- 29** Bureau International des Poids et Mesures (2019): **The International System of Units (SI).** 9. Auflage.
- 30** Johnson, A. (2014): **How the Ford Motor Co. Invented the SQUID.** IEEE Spectrum. Online verfügbar unter <https://spectrum.ieee.org/tech-history/silicon-revolution/how-the-ford-motor-co-invented-the-squid>, zuletzt geprüft am 06.11.2020.
- 31** Thiel, L., Rohner, D., Ganzhorn, M., Appel, P., Neu, E., Müller, B., Kleiner, R., Koelle, D., Maletinsky, P. (2016): **Quantitative nanoscale vortex imaging using a cryogenic quantum magnetometer.** Nature nanotechnology, 11(8):677–681.
- 32** The Royal Swedish Academy of Sciences: **The Nobel Prize in Chemistry 2014.** The Royal Swedish Academy of Sciences has decided to award the Nobel Prize in Chemistry for 2014 to Eric Betzig, Stefan W. Hell and William E. Moerner "for the development of super-resolved fluorescence microscopy". Online verfügbar unter <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/press-26.pdf>, zuletzt geprüft am 27.11.2020
- 33** Fischer, L. (2014): **Bilder von der Grenze zwischen Biologie und Chemie.** Nobelpreise 2014. Spektrum.de. Online verfügbar unter <https://www.spektrum.de/news/nobelpreis-fuer-chemie-2014-geht-an-deutschen-und-zwei-amerikanische-mikroskopieforscher/1311875>, zuletzt geprüft am 19.10.2020.
- 34** Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF (2019): **Quantenrevolution in der Medizintechnik kündigt sich an.** Quanten-imagingsystem vom Fraunhofer IOF liefert erste vielversprechende Bilder. Online verfügbar unter <https://www.iof.fraunhofer.de/de/presse-medien/pressemitteilungen/2019/Quantenrevolution.html>, zuletzt geprüft am 27.11.2020
- 35** Bundesministerium für Bildung und Forschung (2018): **Quantentechnologien von den Grundlagen zum Markt.** Rahmenprogramm der Bundesregierung. Online verfügbar unter https://www.bmbf.de/upload_filestore/pub/Quantentechnologien.pdf, zuletzt geprüft am 20.10.2020.
- 36** Deutscher Bundestag (2020): **Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Manuel Höferlin, Frank Sitta, Grigoris Aggelidis, weiterer Abgeordneter und der Fraktion der FDP – Drucksache 19/17500. Hochsicheres Quantennetzwerk QuNET.** Online verfügbar unter <https://dip21.bundestag.de/dip21/btd/19/183/1918355.pdf>, zuletzt geprüft am 20.10.2020.
- 37** Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF (2020): **Wie verschränkte Quanten unsere Kommunikation revolutionieren.** Online verfügbar unter <https://www.fraunhofer.de/de/forschung/aktuelles-aus-der-forschung/quantentechnologie/quantenkommunikation.html>, zuletzt geprüft am 04.11.2020.
- 38** Liao, S.-K., Cai, W.-Q., Handsteiner, J., Liu, B., Yin, J., Zhang, L., Rauch, D., Fink, M., Ren, J.-G., Liu, W.-Y., Li, Y., Shen, Q., Cao, Y., Li, F.-Z., Wang, J.-F., Huang, Y.-M., Deng, L., Xi, T., Ma, L., Hu, T., Li, L., Liu, N.-L., Koidl, F., Wang, P., Chen, Y.-A., Wang, X.-B., Steindorfer, M., Kirchner, G., Lu, C.-Y., Shu, R., Ursin, R., Scheidl, T., Peng, C.-Z., Wang, J.-Y., Zeilinger, A., Pan, J.-W. (2018): **Satellite-Relayed Intercontinental Quantum Network.** Physical review letters, 120(3):30501.
- 39** Kagermann, H., Süssenguth, F., Körner, J., Liepold, A. (2020): **Innovationspotenziale der Quantentechnologien der zweiten Generation** (acatech IMPULS), München.
- 40** Bundesministerium der Finanzen (2020): **Corona-Folgen bekämpfen, Wohlstand sichern, Zukunftsfähigkeit stärken.** Ergebnis Koalitionsausschuss 3. Juni 2020. Online verfügbar unter <https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Schlaglichter/Konjunkturpaket/2020-06-03-eckpunkt Papier.pdf>, zuletzt geprüft am 20.10.2020.

Interviewpartnerinnen und Interviewpartner

Die Festlegung der Inhalte und die Arbeit am Text erfolgten durch die auf Seite 62 vorgestellte Projektgruppe. acatech hat für diese Publikation telefonisch oder persönlich insgesamt 28 Experteninterviews mit Vertreterinnen und Vertretern aus Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft geführt. Die Gespräche fanden zwischen Januar und April 2020 statt. Einige ausgewählte Kerngedanken der Befragten sind im Text als anonymisierte Zitate aufgeführt.



Das acatech Präsidium dankt allen Beteiligten sehr herzlich für ihre Teilnahme an den Interviews:

Prof. Dr. Monika Aidelsburger, Gruppenleiterin, Max-Planck-Institut für Quantenoptik/Ludwig-Maximilians-Universität München

Prof. Dr. Stefanie Barz, Institut für Funktionelle Materie und Quantentechnologien, Leitung Quantum Information & Technology, Universität Stuttgart

Prof. Dr. Immanuel Bloch, Direktor, Max-Planck-Institut für Quantenoptik/Leiter Abteilung Quanten-Vielteilchensysteme, Quantum Optics Group, Ludwig-Maximilians-Universität München

Dr. Astrid Elbe, Managing Director, Intel Labs Europe, Intel Deutschland GmbH

Christin Eisenschmid, Managing Director, Vice-President und General Manager, Intel Deutschland GmbH

Prof. Dr. Claudia Felser, Direktorin, Max-Planck-Institut für Chemische Physik fester Stoffe/acatech

Jens Fuhrberg, Government Affairs/Public Affairs, Intel Deutschland GmbH

Verena Fulde, Pressesprecherin/Corporate Blogger, Deutsche Telekom AG

Dr. Marc Geitz, Innovation Architect, Telekom Innovation Laboratories

Dr. Markus Gräfe, Head of Quantum-Enhanced Imaging Group, Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik/Co-Founder, Quantum Optics Jena GmbH

Prof. Dr. Michael J. Hartmann, Lehrstuhl für Theoretische Physik, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Prof. Dr. Stefan Kück, EURAMET TC-PR Chair, Leiter der Abteilung Optik, Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Dr. Manfred Lochter, Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI)

Prof. Dr. Hilbert von Löhneysen, Emeritus, Physikalisches Institut, Karlsruher Institut für Technologie/acatech

Dr. Sebastian Luber, Leitung Quantum iCommunity, Infineon

Prof. Dr. Dieter Meschede, Gruppenleiter Quantentechnologie, Institut für Angewandte Physik, Universität Bonn

Prof. Dr. Stuart Parkin, Director, Max Planck Institute of Microstructure Physics

Dr. Thomas Pöppelmann, Senior Staff Engineer, Infineon Technologies AG

Dr. Heike Riel, IBM Fellow, Department Head Science & Technology, IBM Research

Prof. Dr. Martin Schell, Institutsleiter, Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut

Prof. Dr. Oliver Schmidt, Institutsdirektor, Institute for Integrative Nanosciences, Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung Dresden e. V./acatech

Dr. Torsten Siebert, Quantum Technologies Programme, Fraunhofer-Gesellschaft | Think Tank

Dr. Thomas Strohm, Koordinator und Senior Research Scientist für Quantentechnologien, Robert Bosch GmbH

Dr. Michael Totzeck, Fellow, Corporate Research and Technology, Carl Zeiss AG

Prof. Dr. Andreas Tünnermann, Institutsleiter, Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik/acatech

Prof. Dr. Dr. h. c. Joachim Ullrich, Präsident, Physikalisch-Technische Bundesanstalt/acatech

Dr. Walter Weigel, Vice-President & CSO, European Research Institute, Huawei Technologies

Prof. Dr. Artur Zrenner, Department Physik, Universität Paderborn/acatech



Mitwirkende

Gesamtleitung acatech HORIZONTE:

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier, Vizepräsident acatech, Seniorprofessor Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn

Leitung Innovationsforum:

Prof. Dr. Martina Schraudner, Vorstandsmitglied acatech, Leiterin Fraunhofer Center for Responsible Research and Innovation

Projektgruppe Quantentechnologien:

Prof. Dr. Stefanie Barz, Institut für Funktionelle Materie und Quantentechnologien, Leitung Quantum Information & Technology, Universität Stuttgart

Dr. Astrid Elbe, Managing Director, Intel Labs Europe, Intel Deutschland GmbH

Dr. Markus Gräfe, Head of Quantum-Enhanced Imaging Group, Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik/Co-Founder, Quantum Optics Jena GmbH

Prof. Dr. Stefan Kück, EURAMET TC-PR Chair, Leiter der Abteilung Optik, Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Dr. Thomas Pöppelmann, Senior Staff Engineer, Infineon Technologies AG

Dr. Heike Riel, IBM Fellow, Department Head Science & Technology, IBM Research

Dr. Thomas Strohm, Koordinator und Senior Research Scientist für Quantentechnologien, Robert Bosch GmbH

Dr. Michael Totzeck, Fellow, Corporate Research and Technology, Carl Zeiss AG

Prof. Dr. Andreas Tünnermann, Institutsleiter, Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik/acatech

Prof. Dr. Dr. h. c. Joachim Ullrich, Präsident, Physikalisch-Technische Bundesanstalt/acatech

Prof. Dr. Artur Zrenner, Department Physik, Universität Paderborn/acatech (Leiter Projektgruppe)

Konzeption, Text und Experteninterviews:

Dr. Alexandra Heimisch-Röcker, acatech Geschäftsstelle, HORIZONTE (Autorin)

Christina Müller-Markus, acatech Geschäftsstelle, HORIZONTE (Autorin)

Vivian Würf, acatech Geschäftsstelle, HORIZONTE

Sebastian Grünwald, acatech Geschäftsstelle, HORIZONTE

Mit Unterstützung durch:

Iris Michalik, acatech Geschäftsstelle, HORIZONTE

Annette Wiedemann, acatech Geschäftsstelle, Kommunikation HORIZONTE

acatech -

Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

acatech berät Politik und Gesellschaft, unterstützt die innovationspolitische Willensbildung und vertritt die Technikwissenschaften international. Ihren von Bund und Ländern erteilten Beratungsauftrag erfüllt die Akademie unabhängig, wissenschaftsbasiert und gemeinwohlorientiert. acatech verdeutlicht Chancen und Risiken technologischer Entwicklungen und setzt sich dafür ein, dass aus Ideen Innovationen und aus Innovationen Wohlstand, Wohlfahrt und Lebensqualität erwachsen. acatech bringt Wissenschaft und Wirtschaft zusammen. Die Mitglieder der Akademie sind herausragende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Ingenieur- und den Naturwissenschaften, der Medizin sowie aus den Geistes- und Sozialwissenschaften. Die Senatorinnen und Senatoren sind Persönlichkeiten aus technologieorientierten Unternehmen und Vereinigungen sowie den großen Wissenschaftsorganisationen. Neben dem acatech FORUM in München als Hauptsitz unterhält acatech Büros in Berlin und Brüssel.

Weitere Informationen unter www.acatech.de.



HERAUSGEBER:

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

ADRESSEN STANDORTE**Geschäftsstelle**

Karolinenplatz 4

80333 München

T +49(0)89 / 520309-0

F +49(0)89 / 520309-900

Hauptstadtbüro

Pariser Platz 4a

10117 Berlin

T +49(0)30 / 2063096-0

F +49(0)30 / 2063096-11

Brüssel-Büro

Rue d'Egmont / Egmontstraat 13

B-1000 Brüssel

T +32(0)2 / 2 13 81-80

F +32(0)2 / 2 1381-89

horizonte@acatech.de

<https://www.acatech.de/horizonte>

Empfohlene Zitierweise:

acatech (Hrsg.): Quantentechnologien (acatech HORIZONTE),

München 2020

Redaktionelle Bearbeitung:

Karola Klatt

Lektorat:

Lektorat Berlin

Layout, Satz und Illustrationen:

Joseph & Sebastian – Grafikdesign, München

Druck:

Kern GmbH, Bexbach

Vorstand i. S. v. § 26 BGB:

Prof. Dr.-Ing. Dieter Spath, Karl-Heinz Streibich,

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier, Prof. Dr. Reinhard F. Hüttl

(Amt ruht derzeit), Dr. Stefan Oschmann, Prof. Dr. Christoph

M. Schmidt, Prof. Dr.-Ing. Thomas Weber, Manfred Rauhmeier,

Prof. Dr. Martina Schraudner

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

• 2020

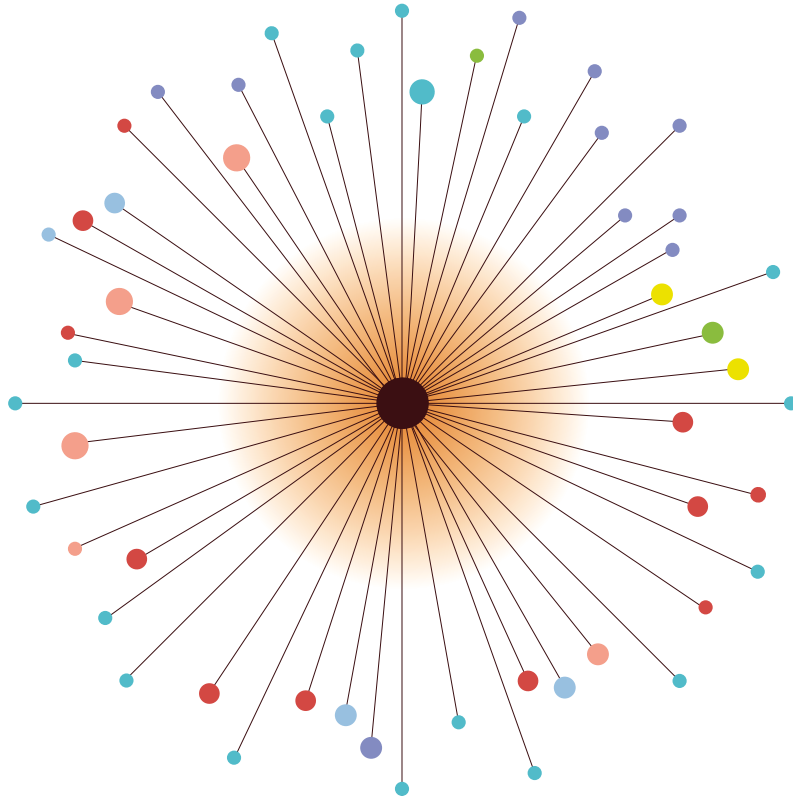
Mehr zu acatech HORIZONTE Quantentechnologien, inklusive der Grafiken, finden Sie auch unter:

<https://www.acatech.de/projekt/acatech-horizonte-quantentechnologien>



München 2020

acatech HORIZONTE ISSN 2625-9605



Über die zweite Generation der Quantentechnologien, zu denen auch der Quantencomputer gehört, kursieren viele Mythen. Auch deshalb, weil die Grundlagen dieser Technologie – die Quanten und deren Manipulation – ferner von unserer Alltagswelt kaum liegen könnten.

Was sind Quanten überhaupt? Was ist momentan technisch möglich? Was ist Hype, und wo liegen die Potenziale der Technologien? Auf diese und weitere Fragen möchte die vorliegende HORIZONTE-Ausgabe Antworten geben.