

6

Die zweite Quantenrevolution – Wie(so) für Medizin und Gesundheitspolitik das größte Potenzial im Allerkleinsten zu finden ist

Manouchehr Shamsrizi und Markus Krutzik

In diesem Beitrag wollen wir aufzeigen, dass eine verstärkte Aufmerksamkeit der medizinischen Wissenschaft und Praxis gegenüber den Erkenntnissen und Entwicklungen der Quantentechnologien sowohl sinnvoll als auch geboten ist. Wir argumentieren, dass eine Wechselwirkung zwischen Technologie und Medizin nicht nur weder ungewöhnlich (s. Kap. 6.1) noch bisher unvorteilhaft (s. Kap. 6.2) ist, sondern im Fall der „zweiten Quantenrevolution“ sogar außergewöhnlich segensreich sein kann (s. Kap. 6.3). Um letzteres für eine breite Leserschaft ohne Vorkenntnisse nachvollziehbar zu machen, zeigen wir das Potenzial an Praxisbeispielen auf und verzichten sowohl auf eine abstrakte Einführung in die quantenphysikalischen Grundlagen als auch auf eine Diskussion der offenen erkenntnistheoretischen Probleme. Schließlich geben wir Handlungsempfehlungen an Gesundheitspolitik und -wirtschaft, aber auch an die Zivilgesellschaft, die geeignet sein mögen, das Potenzial der Quantentechnologien (erneut) für medizinischen Fortschritt und zum Patientenwohl zu nutzen (s. Kap. 6.4).

6.1 Kontextualisierungen

So lange sich die Medizin und die ihr benachbarten Disziplinen schon mit der iatrogenen Frage beschäftigen, ob sie sich nun also als Wissenschaft(en), (Heil-)Künste, oder gar – in der vielzitierten Formulierung des kanadischen Medizinhistorikers William Osler – als „an art based on science“ verstehen sollte, so lange lässt sich auch die theoretische und praktische Beziehung von Technologie und Gesundheit beobachten. Es ist dabei offensichtlich, dass die Medizin sowohl den technologischen Fortschritt vorantreibt, als auch in ihrem wesentlichen Ziel – Gesundheit als „ein Zustand des vollständigen körperlichen, geistigen und sozialen Wohlergehens“ (WHO 1947) bestmöglich durch Prävention, Therapie, und Rehabilitation sicherzu-



Abb. 1 Die Schlange des Äskulap umwindet zukünftig die für die Quantenmechanik wesentliche Wellenfunktion

stellen – von eben diesem technologischen Fortschritt profitiert. Hier liegt nun auch die Begründung dafür, sich als direkt oder indirekt im Gesundheitswesen verorteter Akteur mit dem zu beschäftigen, was als „zweite Quantenrevolution“ bezeichnet wird. Denn sie hat „die zentrale Zukunftstechnologie des 21. Jahrhunderts“ (Kuratorium für die Tagungen der Nobelpreisträger in Lindau e.V. 2016) zum Inhalt (s. Abb. 1).

In diesem Sinne stürmt über Europa nicht nur die Digitale Transformation, mit der sich dieses Buch beschäftigt, sondern bereits das, „was nach der Digitalisierung kommt“. So sieht es die Bundesregierung bei der Beschlussfassung des Rahmenprogramms „Quantentechnologien – von den Grundlagen zum Markt“ (Bundesministerium für Bildung und Forschung 2018), mit dem sie in der laufenden Legislaturperiode insgesamt rund 650 Millionen Euro für Forschung und Entwicklung in den Quantentechnologien zur Verfügung stellt. Dieser Betrag ist für ein Programm des Forschungsministeriums beeindruckend und untermauert das Selbstverständnis der Bundesregierung, „die zweite Quantenrevolution maßgeblich mitzugestalten“ (Bundesministerium für Bildung und Forschung 2020). Es stellt jedoch nicht einmal die Sturmspitze dar: Über das „Quantum Technology Flagship“-Programm der Europäische Kommission stehen für Forschung und Entwicklung 1 Milliarde Euro zur Verfügung. Vergleichbare Programme und Initiativen zur Förderung von Quantentechnologien laufen aktuell in allen wichtigen Industrienationen an; das FORBES-Magazin sprach dementsprechend Ende 2019 von „Quantum USA Vs. Quantum China: The World’s Most Important Technology Race“ (Smith-Goodson 2019).

Sowohl dem europäischen als auch dem Programm der Bundesregierung ist gemein, dass sie neben Forschung und Entwicklung auch die weiteren Aspekte berücksichtigen wollen, die für einen gelingenden Transfer in die (medizinische) Praxis notwendig sind. So betont die Bundesregierung die Rolle der Quantentechnologien als „Schlüsseltechnologien“, deren Entwicklung und Erforschung es laut Koalitionsvertrag von 2018 „intensiv [zu] fördern [gilt], inklusive sozialer und geisteswissenschaftlicher Begleitforschung“ (CDU/CSU, SPD 2018). Ziele dieser interdisziplinären Begleitforschung sollten, so wird hier argumentiert, notwendigerweise auch Konzepte für jeweils milieuspezifische Wissenschaftskommunikation sein. Denn nicht nur sind die zugrundeliegenden Prinzipien der Quantenphysik von hoher Abstraktheit und Komplexität – was als abschreckend und damit als Risiko für gelingenden Transfer

angesehen werden kann – sondern leider ist gerade der Zusammenhang von Quantenphysik und Medizin anfällig für „feindliche Übernahmen“ im Sinne der verschiedenen Ansätze der „Quantenheilung“, die allesamt der pseudowissenschaftlich-esoterischen Alternativmedizin zuzuordnen sind. Vor diesem Hintergrund ist es unabdingbar, dass Gesetzgeber bzw. Regulatoren, Verbände, Normungsorganisationen und die Selbstverwaltung mögliche Antworten aus Public Health und Gesundheitskommunikationsgesichtspunkten, im Hinblick auf technische und organisatorische Interoperabilität, aber auch in der Aus- und Weiterbildung entwickeln.

6.2 Quantenrevolutionen und Alltagsreformen

Die Beschäftigung mit Quantentechnologien und der ihr zugrundeliegenden Physik hat sich schon im vergangenen Jahrhundert gelohnt, denn der ersten Quantenrevolution verdanken wir anschließende, die Lebensqualität signifikant steigernde Reformen im Alltag. Der Wissenschaftsjournalist Ulf von Rauchhaupt fasst zusammen:

„Atomuhren, ohne die kein GPS je funktionieren würde, Laser, wie sie in jedem Bürodrucker stecken, und Transistoren, auf denen alle Computertechnik und damit auch das Internet aufbaut – ohne Quantenphysik lebten wir in einer Steampunk-Welt, umgeben gerade mal von Verbrennungsmotoren und klappernder Elektromechanik.“ (Rauchhaupt 2018)

Steampunk ist ein Kunstkonzept, dessen Ästhetik in alle Winkel der Popkultur vorgedrungen ist, aufgebaut um die Frage „wie die heutige Welt aussähe, wenn Dampf statt Elektrizität sie in Bewegung hielte. Wenn nicht nur Eisenbahnen mit Dampfmaschinen angetrieben würden, sondern auch Computer, Raumschiffe und Luftfahrzeuge. Wenn überall dort Messing und Kupfer zu finden wäre, wo heute Plastik drinsteckt“ (Schulz 2007).

Tatsächlich ist es Generationen von Physikern und Ingenieuren über Jahrzehnte gelungen, der Quantenphysik relevanten Fortschritt für verschiedene Lebenswelten moderner Gesellschaften abzurufen, trotz der von Albert Einstein beschriebenen „Spukhaftigkeit“ mancher ihrer Konzepte: Technologien wie Laser und Transistoren, Grundlage der ersten Quantenrevolution, nutzen wir völlig „unspukhaft“ selbstverständlich in unserem Alltag – z.B. in Smartphones, Computern, als Navigationssystem, oder auch in medizinischen Anwendungen wie der Magnetresonanztomographie.

Die erste Quantenrevolution war Grundlage für ganze neue Industriezweige. Quantenzustände von Atomen oder Molekülen nun aktiv zu präparieren, selektiv zu bearbeiten und auszulesen – oft unter Ausnutzung von Prinzipien wie Superposition und Verschränkung – sind die Technologien, die als zweite Quantenrevolution beschrieben werden.

Die zweite Quantenrevolution erschließt basierend auf diesen Technologien hochaktuelle und relevante Anwendungsgebiete, wie z.B. abhörsichere Kommunikation und Datenübertragung durch Quantenschlüsselverteilung, immer genauer tickende optische Atomuhren, Quantensensoren für kleinste Kräfte und Felder sowie wichtige Schritte in Richtung Quantencomputer. Sie haben das Potenzial, verschiedene Be-

6 Die zweite Quantenrevolution – Wie(so) für Medizin und Gesundheitspolitik das größte Potenzial im Allerkleinsten zu finden ist

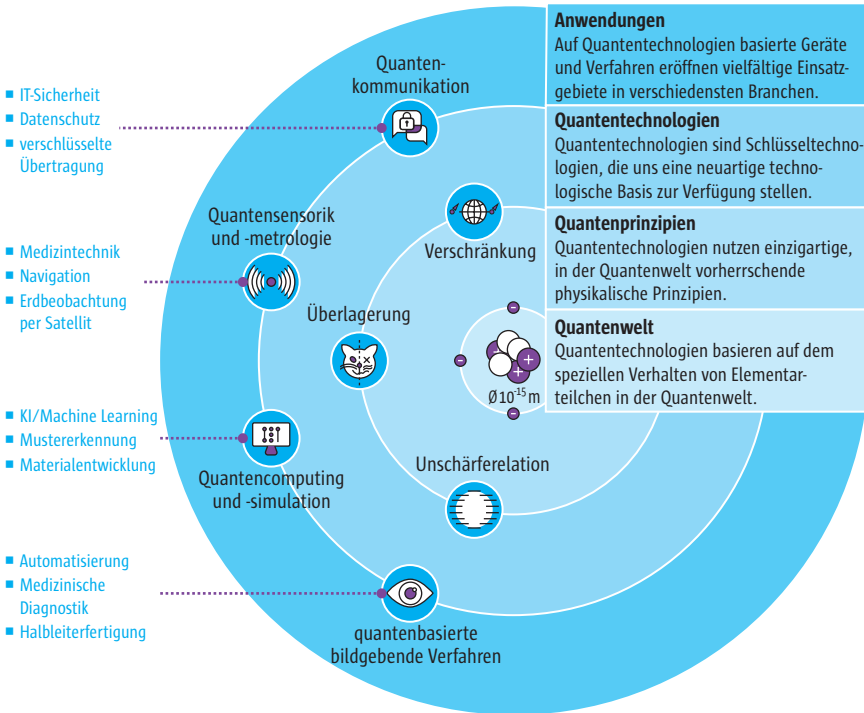


Abb. 2 Modellhafte Gegenüberstellung von Quantentechnologien – einschließlich derer, die für die „4D“-Medizin genutzt werden (können) – und ihrer zugrundeliegenden Prinzipien. Für den technologischen Fortschritt und die zunehmende tatsächliche Inverkehrbringung dient dieses Modell als grobes Raster für die Beobachtung und Einordnung möglichen Nutzens (in Anlehnung an Bundesministerium für Bildung und Forschung 2020).

reiche des Zusammenlebens zu revolutionieren – darunter insbesondere die Medizin, beispielsweise durch genauere Point-of-Care-Diagnostik, neuartige bildgebende Verfahren, und im Hinblick auf personalisierte Medizin (s. Abb. 2). Damit wirkt sich die zweite Quantenrevolution auch unmittelbar und positiv auf die Erreichung der Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen aus, insbesondere auf das SDG-3: „Ein gesundes Leben für alle Menschen jeden Alters gewährleisten und ihr Wohlergehen fördern“ (Shamsrizi et al. 2020).

Zuletzt hat die COVID-19-Pandemie verdeutlicht, wie wertvoll solche Fortschritte sowohl menschlich als auch gesellschaftlich wären. So kündigte Alexander Kofkin von der Fakultät für Ingenieurwissenschaften an der israelischen Bar-Ilan-Universität im Februar 2020 an, „eine Technologie zum sensitiven Nachweis virusspezifischer RNA-Sequenzen entwickelt“ zu haben, welcher die notwendige Dauer zur Diagnose von COVID-19 von etwa einer Stunde auf 15 Minuten reduzieren soll, und sich dafür einer „Kombination von Optik und magnetischen Partikeln“ bedient. Bemerkenswert ist auch, dass Mitte März der kanadische Quantencomputeranbieter D-Wave Systems „ein globales Konsortium ins Leben gerufen [hat], das seine Quantenrechner für den Kampf gegen das Corona-Virus einsetzen will“ (Álvarez 2020), zu dem u.a.

auch VW, die Ludwig-Maximilians-Universität München und das Jülich Supercomputing Centre gehören. Wenige Wochen nach Initiierung dieser Zusammenarbeit konnte das Konsortium erste Schwerpunktthemen veröffentlichen, die sich als besonders geeignete Ansatzpunkte herausgestellt haben:

1. Modellierungen und Simulationen der Ausbreitung des Virus
2. Zeit- und Ressourcenplanung für das Krankenhausmanagement
3. Erfassung und Beobachtung der Mutationen und der Mutationsrate des Virus
4. Prüfung von bestehenden Medikamenten auf ihre Geeignetheit als Behandlung (Anderson 2020)

Quantentechnologien müssen deswegen von strategischem Interesse für die Gesundheitswirtschaft und -politik sein. Sie müssen für Wissenschaft und Wirtschaft in verschiedenen gesellschaftsrelevanten Anwendungsbereichen auch im Einsatz außerhalb spezieller Laborbedingungen nutzbar gemacht werden. Dies setzt voraus, dass robuste und miniaturisierte (z.B. elektro-optische) Schlüsselkomponenten, Module und Aufbauten mit der gewünschten Funktionalität zuverlässig verfügbar gemacht und bezüglich Formfaktor, Gewicht, Leistungsaufnahme und Kosten optimiert werden können. Eine hochwertige Wertschöpfungskette, welche die für die Quantentechnologien erforderlichen Komponenten und Fertigungskompetenzen bereitstellen kann, ist hierbei von zentraler Bedeutung – gerade für den vorgesehenen Einsatz in der gesundheitlichen Versorgung, als Medizinprodukte etc.

Europa, und insbesondere auch Deutschland, stehen an einem exzellenten Ausgangspunkt für einen erfolgreichen Technologietransfer und die Übersetzung in eine industrielle Perspektive. Die damit einhergehenden Chancen für Forschung, Versorgung, und auch die Gesundheitswirtschaft, Innovationen zu entwickeln und zu nutzen, dabei auch Arbeitsplätze und neue Exportgüter in einem neuen Technologiefeld zu schaffen, muss eine zentrale Motivation und Anstrengung der zahlreichen nationalen und internationalen Initiativen und Förderprogramme zur Quantentechnologien bleiben. Diese bedürfen zugleich einer Einbettung in den Diskurs einer aufgeklärten Zivilgesellschaft. In diesem Sinne argumentierte auch der dritte „Innovationsdialog“ zwischen Vertretern aus Wirtschaft und Wissenschaft mit der Bundesregierung – vertreten durch die Bundeskanzlerin, die Bundesforschungsministerin, den Bundeswirtschaftsminister, den Bundesfinanzminister und den Chef des Bundeskanzleramts –, der im Januar 2020 die „Innovationspotenziale der Quantentechnologien der zweiten Generation“ zum Thema hatte:

„Die Runde war sich einig: Nach der Digitalisierung werden Quanten das nächste ‚große Ding‘ der technologischen Entwicklung sein – mit derzeit noch aussichtsreichen Chancen für Deutschland.“

Allerdings sei es notwendig, um die gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Potenziale zu realisieren, „ein deutsches Quantentechnologie-Ökosystem mit internationaler Strahlkraft zu schaffen“, das die exzellenten Forscher noch stärker untereinander und mit der Wirtschaft vernetze. Dies solle durch die „Schaffung von Informationsangeboten, Plattformen für den gemeinsamen Austausch und Infrastrukturen zur niederschweligen Erprobung der neuen Technologien“ gefördert werden, so die Experten des Innovationsdialogs (Presse- und Informationsamt der Bundesregierung 2020).

Zwar gilt mit Niels Bohr also nach wie vor: „Wer über die Quantentheorie nicht entsetzt ist, kann sie unmöglich verstanden haben.“ Fest steht aber, dass wir sie mittlerweile ausreichend verstanden haben, um ganz „unentsetzt“ die Potenziale der Quantentechnologien auch in der Medizin nutzen zu können.

6.3 Aus dem Allerkleinsten das größte Potenzial: Durch Quantentechnologien wird die Medizin schneller, weniger schmerzhaft, und wahrhaft personalisiert

Gemeinhin lassen sich die relevanten Zukunftstechnologien und ihre Auswirkung auf die Medizin den Herausforderungen in den „4D“ zuordnen, also „Diagnostics“, „Drugs“, „Devices“, und „Data.“ Auch für die Quantentechnologien der zweiten Quantenrevolution – Quantenkommunikation, Quantensensorik und -metrologie (einschließlich dem Derivat quantenbasierter bildgebender Verfahren), Quantencomputing und Quantensimulation – lassen sich diese Kategorisierung beibehalten, weshalb wir sie für den folgenden Überblick über die konkreten kurz-, mittel-, und langfristigen Potenziale nutzen wollen. Dieser Überblick muss notwendigerweise unvollständig sein. Unser Ziel ist die Verdeutlichung dieser Potenziale und keine systematische Erfassung aller Forschungs- und Entwicklungsvorhaben. Daher werden besonders vielversprechende „Kombinationen“ zwischen Quantentechnologien und den 4D-Herausforderungen zukünftiger Medizin und Versorgung hervorgehoben (die Auswahl ist auch auf den Expertenworkshop „Potenziale der Quantentechnologie für die Gesundheitsversorgung“ der gemeinnützigen Stiftung Münch im November 2019 zurückzuführen, an dem die Autoren teilgenommen haben).

Das vorweggenommene Fazit: Durch den Einsatz von Quantentechnologien wird die zukünftige Medizin insbesondere schneller, weniger schmerzhaft und personalisierter sein (Kouzmine 2013).

6.3.1 Data

Sicherheit für die Infrastruktur der Digitalisierung

Beinahe jede Spielart der Digitalisierung im Gesundheitswesen ist auf das Sammeln, Speichern, Strukturieren, Vergleichen, Auswerten etc. von Daten angewiesen – von durch Start-ups angebotenen neuartigen digitalen Gesundheitsanwendungen über die elektronische Patientenakte und „klassischen“ Krankenhausinformationssystemen bis hin zu den ersten Versuchen des Einsatzes von Algorithmen auf Basis (schwacher) Künstlicher Intelligenz (auch in der medizinischen Forschung). Während es unterschiedliche Ansichten innerhalb der Wissenschaft und der Praxis darüber gibt, ob nun „Big Data“, „Small Data“, oder „Smart Data“ besonders vielversprechende Herangehensweisen sind, lässt sich von einem übergreifenden Konsens bezüglich eines Aspektes ausgehen: All das vielversprechende Potenzial der Digitalisierung wird sich nur verwirklichen lassen, wenn der Datenschutz – besser noch: Die Datensouveränität – auf höchstmöglichem Niveau gewährleistet wird. Lösungen liefern könnte die Quantenkommunikation, insbesondere die Quantenkryptographie: Diese „ermöglicht (in Verbindung mit klassischen Verfahren) die sichere Datenübertragung

zwischen zwei Punkten“, wobei „verschlüsselte Nachrichten, auch wenn sie abgefangen und gespeichert werden sollten, selbst in Zukunft mit besserer Technologie nicht entschlüsselt werden können“, so die Leopoldina (Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e.V. et al. 2015, S. 15). Die Funktionsweise ist verhältnismäßig – in ihren grundlegenden Konzepten – einfach nachvollziehbar:

„Die Quantenkommunikation nutzt verschränkte Quantenzustände zum Schlüsselaustausch in der Datenübertragung. Verschränkte Quantenobjekte, z.B. Photonen, werden an zwei weit voneinander entfernten Orten gesendet. Wenn man dann an beiden Orten bestimmte Eigenschaften der beiden Photonen misst, lässt sich mit messbarer Sicherheit feststellen, ob eines der beiden Photonen bereits einmal gemessen wurde. Wenn ja, dann bedeutet das: Die Verbindung wurde abgehört. Der Grund: Unbekannte Quantenzustände lassen sich nicht kopieren oder störungsfrei vermessen. Störungen der Quantenzustände werden unweigerlich als Fehler in der Übertragung festgestellt und decken den Lauschangriff auf.“
(VDI Technologiezentrum 2019)

Quantenschlüsselverteilung hat in diesem Sinne auch einen Paradigmenwechsel für sichere Kommunikation zur Folge: Erstmals kann nun die Sicherheit der Nachrichten- bzw. Datenübermittlung gemessen werden. Dass dieser Nutzen keine Science Fiction ist, lässt sich nachweisen:

„Bereits im April 2004 wurde in Wien die erste Banküberweisung mithilfe eines Quantenkryptographie-Protokolls übermittelt. Bei den Nationalratswahlen in der Schweiz im Jahr 2007 nutzte man die Quantenkryptographie erstmals, um die Netzwerke zur Stimmenauszählung gegen Eingriffe zu sichern.“ (Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e.V. et al. 2015, S. 7)

Schon 2015 wurden dann erfolgreich erste Tests unter atmosphärischen Bedingungen umgesetzt, die laserbasierte Kommunikationstechnologien mit Quantenkryptographie nutzten, was die enge Verbundenheit mit der Raumfahrt verdeutlicht, die für diesen Teilbereich der Quantentechnologien (wie beispielsweise auch für die Quantensensorik) natürlich ist.

Verarbeitung großer Datenmengen in Echtzeit

Gleichzeitig könnten die bereits 1982 von Richard Feynman vorgeschlagenen und inzwischen auch einer breiteren Öffentlichkeit bekannten Quantencomputer sich segenreich auf die Auswertung und Interpretation großer Datenmengen auswirken:

- direkt (durch die Entwicklung und Adaption neuartiger Quantenalgorithmen) oder
- indirekt (durch die Erhöhung der Rechenkapazität für „klassische“ Herangehensweisen der Künstlichen Intelligenz).

Bereits 2019 haben Privatunternehmen und mit ihnen verbundene Forschungsgruppen die „Quantum Supremacy“ erklärt – also die erreichte Überlegenheit eines Quantencomputers gegenüber klassischen Supercomputern. Dies wurde sowohl inhaltlich als auch sprachlich von Teilen der Wissenschaftsgemeinde sehr kritisch aufgefasst. Tatsächlich ist die alleinige Anwendung von Quantencomputern auch in der Medizin

mittelfristig weder zwingend sinnvoll noch notwendig: Während ein umfassender Quantencomputer, der also über die Lösung hoch spezialisierter Probleme hinausgehend eingesetzt werden kann, tendenziell hunderte sogenannte Q-Bits benötigen dürfte, sind heute erst wenige Dutzend Q-Bits stabil und mit entsprechender Fehler-toleranz umsetzbar. Im Hinblick auf die Effizienz im Vergleich zu klassischer Computerarchitektur wird auch der Energiebedarf zu berücksichtigen sein, der nicht grundsätzlich zu einer Bevorzugung von Quantencomputern führen wird.

Es kann davon ausgegangen werden, dass wir in der praktischen Anwendung, einschließlich der medizinischen Forschung und Gesundheitsversorgung, „hybride Systeme“ erleben werden, bei denen sich die Stärken von klassischen Computern und Quantencomputern komplementär nutzen lassen. Um jedoch die enormen Synergien zwischen klassischem und einem zukünftigen, sogenannten Quanten-Internet zu verwirklichen, muss die Kommunikationstechnologie neu gedacht werden. Dies erfordert unter anderem neuartige Schnittstellen zwischen den Informationsträgern Licht und den individuellen Quantensystemen (z.B. gefangene Atome, Halbleiterquantenpunkte oder Defektzentren).

Man darf weiter annehmen, dass Quantencomputer auf absehbare Zeit vermutlich keinen Eingang in den Endkundenmarkt und damit in die Hände von Privatpersonen finden, jedoch zu einem Standardwerkzeug in Rechnerpools von Großunternehmen, Behörden und spezialisierten Instituten gehören werden.

6.3.2 Drugs

Seit vielen Jahren schon nutzen Pharmazie und medizinische Chemie die Möglichkeiten der Quantensimulation, die dementsprechend als ein besonders großes Potenzial skizziert werden soll: Vereinfacht formuliert lässt sich sagen, dass die Quantensimulation die Grundlage für eine „echte“ Präzisionsmedizin sein dürfte. Denn „Quantensimulation kann gezielt berechnen, wie Wirkstoffe zusammengesetzt sein müssen und ob die vorhergesehenen Wirkmechanismen auch funktionieren“ (Stiftung Münch 2019) Dies erlaubt im zweiten Schritt, Medikament individuell anzupassen und dabei womöglich auch ungewollte und bisher nur unzureichend erfasste Einflüsse zu mindern. Als besonders relevant hervorzuheben sind beispielsweise:

- Chronobiologie (also aus der Uhrzeit der Einnahme),
- Gender-Specific Medicine,
- das Alter des Patienten,
- Wechselwirkungen mit Ernährung (insbesondere Mikrobiom) oder anderen Wirkstoffen (und damit das Risiko bei Polypharmakotherapie).

Zugleich wird davon ausgegangen, dass die Entwicklung und Zulassung neuer Wirkstoffe weniger zeitaufwendig und damit auch günstiger werden wird, was sowohl für die pharmazeutische Industrie als auch die Kostenträger im ersten Gesundheitsmarkt von hoher Relevanz wäre. Im Wesentlichen allerdings profitieren von diesem Potenzial der Quantensimulation die Patienten selbst, denn, um eine drastische, aber zutreffende Formulierung wiederzugeben: „Bisher wird mit den Patienten Statistik gespielt“, so ein Teilnehmer des Expertenworkshops der Stiftung Münch, „denn sie erhalten ein Standardmedikament, dessen Wirksamkeit nur im Durchschnitt gilt.“ (Stiftung Münch 2019) Es bleibt abzuwarten, ob die quantentechnolo-

gisch-unterstützte Entwicklung von Medikamenten langfristig eher durch direkte Quantensimulation, also durch die Abbildung der chemischen Reaktion auf ein entsprechend präpariertes physikalisches System (z.B. einzelne, gefangene Atome in optischen Gittern), oder durch Berechnung mittels eines Quantencomputers in erfolgreiche (also skalierbare und nachhaltige) Interventionen und Geschäftsmodelle übertragbar ist.

6.3.3 Devices

Die moderne Medizin ist fundamental auf Medizingeräte unterschiedlichster Art angewiesen. Die Quantensensorik wird durch ihr Potenzial in der nichtinvasiven Messung biomagnetischer Felder enorme Fortschritte in der Medizintechnik bringen, fasst beispielsweise das Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik zusammen (Fraunhofer-Institut 2020).

Die Quantensensorik nutzt die quantenmechanischen Eigenschaften von Licht und Materie, um physikalische Größen wie Frequenzen, magnetische und elektrische Felder, Druck oder auch inertielle Kräfte mit neuartigen Verfahren präzise zu vermessen. Ausgangspunkt ist ein kontrolliert präparierbarer Quantenzustand und die zeitliche Evolution dieses Zustandes wird nun für Messzwecke eingesetzt. In der Sparte der optisch gepumpten Magnetometer wird beispielsweise der sogenannte Spinzustand der Atome – also der Eigendrehimpuls der Atome – präpariert und die Wirkung eines Magnetfelds auf diesen mit Laserlicht ausgelesen.

Die Dimensionen sind für die Gesundheitsversorgung beeindruckend: In naher Zukunft lässt sich mit bis zu 10.000-fach empfindlicherer Bildgebung bei MRT-Untersuchungen rechnen. Wird dies beispielsweise bei der Krebsdiagnostik eingesetzt, führt das zu einer schnelleren und besseren Diagnostik, auf der anschließend bessere und schnellere Ansätze für Therapie und Sekundärprävention ansetzen können, denn Quantensensorik-basierte Verfahren können durch Analyse der chemischen Zusammensetzung eines Tumors zugleich anzeigen, ob er sich im Wachstum oder Abbau befindet (Stiftung Münch 2019). Naheliegender Vorteil für ein engmaschiges Monitoring:

*„Es kann bereits wenige Tage nach Beginn einer Therapie geprüft werden, ob der Patient darauf anspricht – statt wie heute erst die Therapie zu beenden und anschließend in Abständen von mehreren Monaten zu kontrollieren, ob Tumore reduziert oder neu entstanden sind.“
(Stiftung Münch 2019)*

Neben Krebserkrankungen soll eine weitere Volkskrankheit als Beispiel für das erhebliche Potenzial von Quantensensorik dienen: Da sich diese magnetischer Auswirkungen der Spins bedient, und die Stoffwechselprozesse beispielsweise im menschlichen Muskelgewebe magnetisch „identifizierbar“ sind, könnte die frühzeitige Diagnose von Herz-Kreislauf-Erkrankungen ermöglicht werden – schneller, besser, und perspektivisch gesundheitsökonomisch günstiger als heutige Verfahren. Manche Ansätze lassen darauf hoffen, innerhalb weniger Minuten ihre Diagnostik zu liefern.

6.3.4 Diagnostics

Weiter entfernt von therapeutischem und/oder präventivem Nutzen, sehr wohl aber zukünftig für die Diagnostik (und damit Forschung und Entwicklung) von großer Bedeutung sind Projekte, die über eine Vermessung der Magnetfelder des Gehirns ein tiefergehendes Verständnis von Erkrankungen und ihrer Entstehung ermöglichen, z.B. neurodegenerativer Erkrankungen wie Alzheimer oder Parkinson. Langfristig könnte es gelingen, sich auf Basis dieser Erkenntnisse die Eigenschaften von „Quantenpunkten“ auf Graphenbasis zunutze zu machen (Kim et al. 2018). Dieser Ansatz ist konzeptionell vielversprechend, seine Realisierbarkeit zum jetzigen Zeitpunkt allerdings noch ungewiss.

Ebenfalls von hoher Relevanz sind Ansätze, die sich der Diagnose der Gehirne von Neugeborenen, Säuglingen, Kleinkindern, Kindern widmen, und für die – abweichend vom bisher notwendigerweise praktizierten „One-Size-Fits-All“-Prinzip der medizinischen Bildgebung – bis zu 15–20-fach gesteigerte Sensitivität berichtet wird. Schließlich sind ebenfalls positive Auswirkungen auf verschiedene Formen von Brain-Computer-Interfaces zu erwarten, die sich gegenwärtig in der Konzeption oder Prototypisierung befinden.

Brain-Computer-Interfaces (BCI) „ermöglichen die Kommunikation zwischen dem Gehirn und einer angeschlossenen Apparatur beziehungsweise einem Computer [und] basieren auf der Annahme, dass bereits die reine gedankliche Vorstellung eines intendierten Verhaltens, wie dem Heben eines Arms, Veränderungen in der Hirnaktivität auslöst. [Sie] messen diese Veränderungen und wandeln sie in Steuerungssignale um, beispielsweise in digitale Befehle an einen Roboterarm“ (Knops 2019).

6.4 Das Potenzial heben – Handlungsempfehlungen für Europa und Deutschland

Während sowohl Grundlagen- als auch anwendungsorientierte Forschung zu Quantentechnologien in Europa und auch Deutschland eine gute Ausgangslage haben, bedarf es doch erheblicher Anstrengungen von Gesetzgeber, Regulatoren und insbesondere der betroffenen Industrien sowie der Zivilgesellschaft, um durch den erfolgreichen Transfer die medizinischen, gesundheitsökonomischen, und – wie immer in diesem Themenkontext – die letztlich menschlichen Potenziale der Quantentechnologien zu heben. Viele dieser Aspekte werden bereits problematisiert und angegangen – das Bundesforschungsministerium formuliert die folgende To-Do-Liste:

„Bislang sind die meisten Ansätze der Quantentechnologien nur im Labor gezeigt. Für eine tatsächliche Feldtauglichkeit bedarfes neben einer hohen Genauigkeit auch neuartiger Konzepte für die Steigerung der Robustheit, einer besseren Bedienbarkeit sowie der Integration in bestehende Systeme.“ (Bundesministerium für Bildung und Forschung 2019)

Hier sollen nun abschließend dreierlei wesentliche Veränderungen betont werden, die allesamt zu den „Klassikern“ sowohl der Wissenschafts-, Innovations-, und Gesundheitspolitik zählen:

1. Die Herausforderungen unseres komplexen Gesundheitswesens, auf die absehbar die mindestens ebenso komplexen Ansätze der Quantentechnologien einwirken werden, lassen sich nur interdisziplinär beschreiben, verstehen, und lösen. Der Bundesregierung ist also in ihrem Anliegen, auch Begleitforschung durch Sozial- und Geisteswissenschaften (einschließlich der Medizinethik) zu fördern, zuzustimmen. Darüber hinaus bedarf es der Einbindung von u. a. Gesundheitsökonomie, Gründungsforschung und Entrepreneurship Education, Transferwissenschaften, sowie Wissenschaftskommunikation/Public Understanding of Science, um Modelle zu entwickeln, die der Forschung zu Quantentechnologien (und ihren Erforschenden) zu echtem „Impact“ verhelfen können. Hier sind auch die Gesundheitswirtschaft sowie die Verbände des Gesundheitswesens gefordert, sich einzubringen, denn es ist absehbar, dass sich die Geschäftsmodelle von Pharmaunternehmen (Medikamentenentwicklung/-produktion) oder Krankenhäusern (stationär vs. teilstationär vs. ambulant) grundsätzlich ändern werden. Die Anforderungen an Organisationen im Gesundheitswesen werden exponentiell steigen – denkt man die genannten Quantentechnologien mit anderen, parallel stattfindenden technologischen Revolutionen zusammen, wie beispielsweise dem 3D-Druck, der Blockchain, dem Internet of Things und der Robotik.
2. Wie alle Zukunftstechnologien – einschließlich solcher, die auf Quantentechnologien der ersten Generation (z.B. Laser, Transistoren) aufbauen – werfen die Quantentechnologien der zweiten Generation zahlreiche philosophische Fragen und Herausforderungen auf, die von Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie über die philosophische Anthropologie bis zu Moralphilosophie und Ethik verschiedenste Teilbereiche umfassen und verbinden. Sie haben konkrete Auswirkungen auf den Diskurs der kommenden Jahre: Wem soll absolut abhörsichere Kommunikation ermöglicht werden? Wie kann gerechter Zugang zu (zumindest zwischenzeitlich noch) sehr teuren Therapieansätzen organisiert werden? Wie gehen wir mit den erweiterten Diagnostikmöglichkeiten von möglicherweise noch lange Zeit unheilbaren Krankheiten um? Gewiss ist keine dieser Fragen völlig neuartig, aber sie werden in den nächsten Jahren durch Forschung, Entwicklung, und Transfer konkreter Interventionen auf quantentechnologischer Basis verschärft zu diskutieren sein.
3. Neben dem Land der „Dichter und Denker“ gehört zum Selbstverständnis Deutschlands auch, ein „Land der Ingenieure“ und Qualitätsführer im Sinne von „Made in Germany“ zu sein. Um sich an diesem Selbstverständnis (und seine konkreten, positiven Konsequenzen) auch zukünftig erfreuen zu können, bedarf es einer massiven Ausweitung der Angebote für Aus-, Fort- und Weiterbildung mit Fokus auf die zweite Quantenrevolution. Das oben skizzierte Potenzial kann in seiner umfassendsten Form nur mit einer neuen Generation von Quanten(medizin)ingenieuren, Quanten(medizin)informatikern, Quantenbiologen, etc. und natürlich – diesen gegenübergestellt – eine zum interdisziplinären Austausch anschlussfähige Ärzteschaft gehoben werden. Universitäten und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen, Berufsverbände und die berufsständischen Selbstverwaltungen, und schließlich der Staat sind also gefordert, den Quantentechnologien ihre „Spukhaftigkeit“ im Hinblick auf den Einsatz in der medizinischen Versorgung zu nehmen, indem geeignete Aus-, Fort- und Weiterbildungen angeboten werden. Gleichzeitig liegt es in der

6 Die zweite Quantenrevolution – Wie(so) für Medizin und Gesundheitspolitik das größte Potenzial im Allerkleinsten zu finden ist



Verantwortung der Industrie, sicherzustellen – beispielsweise durch partizipative Entwicklung und geeigneten Fokus auf Designaspekte – dass sich die Anwendung für jede betroffene Berufsgruppe in der Medizin und dem Gesundheitswesen nicht als „rocket science“ darstellt, sondern realen Nutzen in der ärztlichen, pflegerischen, und der Lebenswelt ihrer Zielgruppen herbeiführt.

Literatur

- Álvarez S (2020) Quanten gegen Corona: VW und Denso sind dabei. In: Tagesspiegel Background. URL: <https://background.tagesspiegel.de/mobilitaet-transport/quanten-gegen-corona-vw-und-denso-sind-dabei> (abgerufen am 04.05.2020)
- Anderson M (2020) Can Quantum Computers Help Us Respond to the Coronavirus? In: IEEE Spectrum. URL: <https://spectrum.ieee.org/tech-talk/computing/hardware/can-quantum-computing-help-us-respond-to-the-coronavirus> (abgerufen am 04.05.2020)
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (2018) Quantentechnologien – von den Grundlagen zum Markt. URL: https://www.bmbf.de/upload_filestore/pub/Quantentechnologien.pdf (abgerufen am 04.05.2020)
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (2019) Richtlinie zur Fördermaßnahme „Quanteninformatik – Algorithmen, Software, Anwendungen“ im Rahmen des Programms „Quantentechnologien – von den Grundlagen zum Markt“. In: BAnz AT 21.10.2019. URL: https://www.bundesanzeiger.de/ebanzwww/wexsservlet?page.navid=official_starttoofficial_view_publication&session.sessionid=a19d495a290370394ad916274bfe5a9c&fts_search_list.selected=9db55d19591f40e2&fts_search_list.destHistoryId=81255&fundstelle=BAnz_AT_21.10.2019_B4 (abgerufen am 04.05.2020)
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (2020) Die zweite Quantenrevolution maßgeblich mitgestalten. URL: <https://www.bmbf.de/de/quantentechnologien-7012.html> (abgerufen am 04.05.2020)
- CDU/CSU, SPD (2018) Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD 19. Legislaturperiode. URL: <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/656734/847984/5b8bc23590d4cb2892b31c987ad672b7/2018-03-14-koalitionsvertrag-data.pdf?download=1> (abgerufen am 04.05.2020)
- Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e.V. et. al. (Hrsg.) (2015) Perspektiven der Quantentechnologien. URL: https://www.akademienunion.de/fileadmin/redaktion/user_upload/Publicationen/Stellungnahmen/2015_Quantentechnologien_LF_DE.pdf (abgerufen am 04.05.2020)
- Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik (2020) Quantensensorik. URL: <https://www.fraunhofer.de/de/forschung/aktuelles-aus-der-forschung/quantentechnologie/quantensensorik.html> (abgerufen am 04.05.2020)
- Kim D, Yoo JM, Hwang H et al. (2018) Graphene quantum dots prevent α -synucleinopathy in Parkinson's disease. Nature Nanotech 13, 812–818. <https://doi.org/10.1038/s41565-018-0179-y>
- Knops L (2019) Brain-Machine-Interfaces – Gehirn und Maschine verknüpft. In: Science Media Center Germany Fact Sheets. URL: https://www.sciencemediacenter.de/fileadmin/user_upload/Fact_Sheets_PDF/Brain-Machine-Interfaces_SMC_FactSheet_04102019.pdf (abgerufen am 04.05.2020)
- Kouzmine S (2013) 4 Ways That Quantum Technology Could Transform Health Care. In: Fast Company. URL: <https://www.fastcompany.com/90499692/why-we-opened-our-pandemic-born-delivery-platform-to-competitors> (abgerufen am 04.05.2020)
- Kuratorium für die Tagungen der Nobelpreisträger in Lindau e.V. (2016) Quantentechnologie revolutioniert 21. Jahrhundert – Nobelpreisträger diskutieren in Lindau. URL: <https://web.archive.org/web/20160719042450/https://www.lindau-nobel.org/de/press/> (abgerufen am 04.05.2020)
- Presse- und Informationsamt der Bundesregierung (2020) Dritter Innovationsdialog der 19. Legislaturperiode: Innovationspotenziale der Quantentechnologien der zweiten Generation. URL: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/pressemitteilungen/dritter-innovationsdialog-der-19-legislaturperiode-innovationspotenziale-der-quantentechnologien-der-zweiten-generation-1717286> (abgerufen am 04.05.2020)
- Rauchhaupt U von (2018) Quantenrevolution 2.0. Der Turbo für die Zukunft. In: FAZ Online. URL: <https://www.faz.net/aktuell/wissen/physik-mehr/den-quantentechnologien-2-0-geht-die-zukunft-1565422.html> (abgerufen am 04.05.2020)

I Wie digitale Technik den Patienten in Europa nutzt

- Schultz S (2007) Die wundersame Welt der Steampunks. In: Spiegel Netzwelt. URL: <https://www.spiegel.de/netzwelt/tech/retro-kunst-die-wundersame-welt-der-steampunks-a-491918.html> (abgerufen am 04.05.2020)
- Shamsrizi M, Pakura S, Pakura A, Dauster D (2020, in press) Digital Entrepreneurship for the “Decade of Action” How Entrepreneurs can impact our races towards the Sustainable Development Goals by combining the principles of open innovation, future and emerging technologies, and social business. In: Soltanifar M, Hughes, Göcke I (Eds.) Digital Entrepreneurship: Global Challenges and Experiences – Impact on the Society. Springer Verlag Berlin/Heidelberg
- Smith-Goodson P (2019) Quantum USA vs. Quantum China: The World’s Most Important Technology Race. In: Forbes. URL: <https://www.forbes.com/sites/moorinsights/2019/10/10/quantum-usa-vs-quantum-china-the-worlds-most-important-technology-race/#2a75826172de> (abgerufen am 04.05.2020)
- Stiftung Münch (2019) Potenziale der Quantentechnologie für die Gesundheitsversorgung. URL: <https://www.stiftung-muench.org/potenziale-der-quantentechnologie-fuer-die-gesundheitsversorgung/> (abgerufen am 04.05.2020)
- VDI Technologiezentrum (2019) Quantenkommunikation. URL: <https://www.quantentechnologien.de/qt-in-deutschland/quantenkommunikation.html> (abgerufen am 04.05.2020)
- Weltgesundheitsorganisation (WHO) (1947) Verfassung der Weltgesundheitsorganisation. Übersetzung aus dem französischen Original von 1946. Die Friedens-Warte 47/3. 182 ff. Berliner Wissenschafts-Verlag Berlin



Manouchehr Shamsrizi, M.P.P. FRSA

Manouchehr Shamsrizi ist laut Washington Post „among the most publicly prominent voices of Germany’s younger generation“. Der Mitbegründer der Forschungsgruppe „gamelab.berlin“ am Exzellenzcluster der Humboldt-Universität kommt ursprünglich aus der politischen Philosophie, war Global Justice Fellow der Yale University, Ariane de Rothschild Fellow of Innovative Entrepreneurship der University of Cambridge und Fellow of the Royal Society of Arts. Er engagiert sich in verschiedenen Think-Tanks zu Fragen von Technologien und Gerechtigkeit, darunter das Grameen Creative Lab des Friedensnobelpreisträgers Prof. Muhammad Yunus, der Stifterverband für die Wissenschaft, die Global Shaper des Weltwirtschaftsforums und im Beirat von TheQuantumChapter (@ Humboldt-Innovation GmbH). Den Fragen der Zukunft des Gesundheits- und Pflegewesens ist Shamsrizi u.a. als Gründer und langjähriger CEO des DigitalTherapeutics-Start-ups RetroBrain R & D, als Mitglied des Gesundheitswirtschaftsausschusses der DIHK, als Jurymitglied des „Digitalen Gesundheitspreises“ von Novartis und als Vorsitzender des Fachbeirats des Malteser Campus St. Maximilian Kolbe verbunden.



Dr. Markus Krutzik

Die Quantentechnologie steht im Zentrum der Arbeit von Markus Krutzik. Sie beschäftigt ihn in der Forschung als Gruppenleiter des Joint Lab Integrated Quantum Sensors (IQS) zwischen Ferdinand-Braun-Institut, Leibniz-Institut für Höchstfrequenztechnik und der Humboldt-Universität zu Berlin, im Transfer und Weiterbildungssektor als Initiator von TheQuantumChapter (@ Humboldt-Innovation GmbH) und als Mitgründer eines in Vorbereitung befindlichen Start-ups. Der Physiker hat 2014 an der Humboldt-Universität zu Berlin promoviert und u.a. an der University of California, Berkeley, und dem NASA Jet Propulsion Laboratory, Pasadena geforscht. Capital wählte ihn 2018 zur Top 40 unter 40 – Junge Elite.