

**40 JAHRE**

FÜR INNOVATION  
UND TECHNIK

**VDI|VDE|IT**

# Inhaltsverzeichnis

Einleitung	3	Wie Brot und Sprengstoff aus der Luft die Welt veränderten: Das Haber-Bosch-Verfahren	83
Integrierte Forschung für soziotechnische Innovationen	8	Innovationen im Spiegel der langfristigen Aktienkursentwicklung	91
Ausflug ins Universum von Blockchain und Smart Contracts	14	Innovation für schnelle Prozessoren	104
Impfen – kleiner Pieks, große Wirkung	22	Wohlstand durch Materialeffizienz	112
Biobanken – eine sichere Investition in die Gesundheit?	29	Die Innovation vor Augen	118
Kommunikation immer und überall	36	Von der Schallplatte bis zum online Musikstreaming	125
Wie verändert Crowdsourcing die Gesellschaft?	41	Antibiotika	134
Von Erbsen zu Designerbabies?	46	Das Smartphone	141
Was machen wir bloß mit den Sozialen Innovationen?	53	Meta-Innovationen oder die Innovation des Innovationssystems selbst	149
Transformation der Energieversorgung	58	X-Strahlen: Wie die Entdeckung Wilhelm Conrad Röntgens die moderne Medizin prägte	158
Die Evidenzbasierte Medizin – ein kritischer Denkansatz erobert die Welt	68	Der neue Pflegebedürftigkeitsbegriff	166
Innovation und radikale Innovation – worum handelt es sich und wie planbar sind sie?	74	Autorinnen und Autoren	174
Digitale Hochschule	77	Impressum	183

# Einleitung

Alfons Botthof

Von dem römischen Architekten Vitruv<sup>1</sup> ist überliefert, dass Archimedes nach einem Geistesblitz in seiner Badewanne pudelnackt aus dem Haus und auf die Straße gelaufen sei, laut εὕρηκα (Heureka: „Ich habe gefunden“) schreiend. Die Entdeckung des statischen Auftriebs eines Körpers in einem Medium, nach dem dieser so groß ist wie das Gewicht des von diesem Körper verdrängten Mediums, wird nach seinem Entdecker Archimedisches Prinzip genannt. Dieser Geistesblitz, diese Idee für die Lösung des ihm vom Tyrannen von Syrakus gestellten Problems, den Goldgehalt seiner Krone zu bestimmen ohne diese zu zerstören, war noch weit weg von einer Innovation.

*„Doch um daraus eine Innovation werden zu lassen, hätte Archimedes bis zum Marktplatz rennen müssen ...“<sup>2</sup>*

Wird aus einer Idee, einer Invention, kein wirtschaftlicher oder gesellschaftlicher Nutzen abgeleitet, diese also im wahrsten Sinne des Wortes „zu Markte getragen“, sprechen wir noch nicht von einer Innovation. Allein diese überlieferte Anekdote zeigt zwei Facetten für Triebkräfte, die erfolgreiche Innovationsprozesse begünstigen: das Vorhandensein eines genialen Geistes und das „Motiv“, eine Problem- bzw. Aufgabenstellung zu lösen. Gelegentlich war es auch schon einmal der Zufall. Auch wenn dieser heute eher selten eine entscheidende Rolle spielt, heißt dies aber nicht, dass Innovationen durch und durch planbar und damit vorhersagbar wären.

Lassen sich in der Technikgeschichte zahlreiche Beispiele von Inventionen großer, aber „einsamer“ Geister nachzeichnen, die als „Game

Changer“ gelten und Innovationen hervorge-rufen haben, so zeigt sich heute Innovation als Resultat eines in der Regel komplexen Prozesses.

Nationale oder sektorale Innovationssysteme beschreiben heute den Rahmen, innerhalb dessen Aushandlungsprozesse zur Unterstützung und Beschleunigung von Produkt-, Prozess-, Dienstleistungs- und sozialen Innovationen stattfinden. Betrachtet man aus heutiger Perspektive historische Beispiele, kann man auch in diesen zahlreiche den Erfolg und Misserfolg beeinflussende Faktoren, die von einem damaligen „Innovationssystem“ beeinflusst wurden, erkennen. Hierin liegt die Idee für diese Festschrift.

## Thematik der Festschrift zum Jubiläum

Ausgangspunkt für die in dieser Publikation ausgeführten Beispiele für Innovationen ist der Begriff der Game Changing Ereignisse – umwälzende Ereignisse, die durch technologische, aber auch durch gesellschaftliche, wirtschaftliche oder soziale Umbrüche ausgelöst bzw. befeuert werden können und wiederum auf die Gesellschaft erhebliche Auswirkungen haben. Anhand von interessanten Blitzlichtern soll das Verständnis der VDI/VDE-IT von Innovationen und Innovationsprozessen verdeutlicht werden. Kolleginnen und Kollegen aus allen Fachbereichen des Unternehmens charakterisieren in Beispielen die unterschiedlichsten Facetten des Innovationsgeschehens.

Im Zentrum dieser Veröffentlichung stehen also disruptive Innovationen.<sup>3</sup> Als radikal oder disruptiv werden Innovationen charakterisiert, die völlig Neues schaffen. Einschlägige Beispiele für solche Innovationen wie das Rad, die Dampf-

maschine, das Smartphone sind bekannt. In der Folge solcher technischen Innovationen entstanden Dienstleistungen wie Paket- und Briefzustellung oder allgemein die Logistik, Call-a-Bike oder auch Reparatur und Fernwartungsservices. Häufig sind diese auch überschrieben mit dem Begriff der Geschäftsmodellinnovation.

Als gesellschaftliche Innovationen wiederum gelten beispielsweise die Einführung der Sozialversicherungsleistungen wie die Kranken- oder auch die gesetzliche Rentenversicherung ab 1883 durch Otto von Bismarck, genossenschaftliche Vereinigungen wie Raiffeisen zum Einkauf oder Vertrieb landwirtschaftlicher Güter und Bürgerenergiegenossenschaften oder auch der Kindergarten als Reaktion auf die dramatischen Änderungen der familiären und sozialen Umstände im 19. Jahrhundert.

Auf Basis solcher Entwicklungen, die gerne auch als „Game Changer“ bezeichnet werden, erfolgen wiederum eine Reihe inkrementeller Innovationen, die sich in neuen Leistungsmerkmalen oder auch technischen und organisatorischen Anpassungen zeigen. Auch wenn unser Haus mit seiner Namensgebung „Innovation + Technik“ die Dominanz technologisch basierter Innovationen unterstreicht, wird doch längst in der Innovationswissenschaft ein erweiterter Innovationsbegriff diskutiert und gerade auch von unserem Hause „mit Leben gefüllt“.

Unter anderem am Beispiel der Mikrosystemtechnik, für die die VDI/VDE-IT viele Jahre als Projektträger und in der Innovationsunterstützung im Auftrag des BMFT<sup>4</sup>, später BMBF verantwortlich tätig war, lässt sich zeigen, dass Innovationsförderung weit über eine ausschließlich auf die Förderung technologischer Entwicklungen ausgerichtete Programmatik hinausgeht. Die mit der damaligen Programmatik stimulierten und vom Projektträger VDI/VDE-IT begleiteten Prozesse der Aushandlung von Interessen, des Agendasettings, der umfänglichen Innovations-

unterstützung und die Reichweite der damit erzielten Wirkungen zeigen die sozio-technischen und sozio-ökonomischen Dimensionen der damaligen Umsetzung der Mikrosystemförderung.

In vielen Ausprägungen der von der VDI/VDE-IT gestern und heute betreuten Projektträgerschaften zeigt sich das damit zum Ausdruck kommende „Rollenverständnis“. So werden Programme von uns mitkonzipiert und umgesetzt, die Produkt-/Service-Innovationen, Verfahrens-/Organisations-Innovationen bis hin zu Geschäfts- und sozialen Innovationen intendieren und die dafür notwendigen, fördernden Rahmenbedingungen beispielsweise zur Kompetenzentwicklung, zur Innovationsfinanzierung oder zur Rechtssicherheit adressieren. Innovationsunterstützende Maßnahmen – ein Begriff, den unser Haus maßgeblich geprägt hat – sorgen neben der Finanzierung und Begleitung von Projekten dafür, dass geförderte Vorhaben den erwünschten volkswirtschaftlichen oder /und gesellschaftlichen Erfolg zeitigen.

Voraussetzung hierfür ist ein umfassendes analytisches, wissenschaftlich jederzeit anschlussfähiges Verständnis des Innovationssystems und der Innovationstriebkräfte und -hemmnisse. Es erfordert die Kenntnis der wirtschaftlichen, gesellschaftlichen und technologischen Entwicklungen und der Wechselwirkungsmechanismen zwischen Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft.<sup>5</sup>

Mit Beispielen von Innovationen disruptiven Charakters aus jüngster bis weit zurückliegender Zeit wollen wir in unserer Festschrift zum 40. Jahr unserer Unternehmensgeschichte die Bandbreite dieses Innovationsverständnisses aufzeigen.

Die auf den folgenden Seiten aufgeführten zahlreichen Beispiele aus zurückliegenden Zeiten lassen deutlich werden, dass Rahmenbedingungen eine nicht unerhebliche Rolle dabei

[...] Entscheidend ist, dass dieses „Agenda-Setting“ nicht bloß ein kognitiver und programmatischer Vorgang war. Dadurch, dass Akteure sich an der Agenda orientiert haben, haben sie sich nämlich nicht nur je einzeln zu der vielversprechenden Technologie positioniert, sondern auch neue Realitäten geschaffen. Forscher, Unternehmen, Institute und andere setzten sich zueinander in Beziehung, indem sie ihre jeweils spezifischen, mit der Mikrosystemtechnologie verbundenen Erwartungen zu bestimmten kollektiven Zukunftsperspektiven verknüpft haben. [...] Einschlägige Lehrstühle wurden eingerichtet und Curricula für die Schulung von Ingenieuren und Naturwissenschaftlern sind entwickelt worden. Entsprechend orientierte Firmen sind entstanden und Infrastrukturen der Beratung und anderer auf Mikrosystemtechnologie bezogener Dienstleistungen wurden aufgebaut. Man hat einen Ausbildungsgang für den Beruf Mikrotechnologie/-in definiert, den inzwischen mehr als tausend Menschen absolviert haben.

Und es wurden neue Mikrosysteme und Technologien entwickelt, die in ihrer Gesamtheit gleichsam empirisch illustriert haben, was Mikrosystemtechnologie als technologisches Genre ist. Es entstanden also Konfigurationen von Technologien, Kompetenzen und Akteuren mit aufeinander bezogenen Interessen und diese fügten sich zu einem Arrangement, das die Grenzen zwischen etablierten techno-ökonomischen Feldern überspannt. In seiner Gesamtheit macht dieses Gefüge das aus, was hier soziotechnische MST-Welt genannt wird. [...]<sup>6</sup>

spielen, dass Produkt-, Prozess- oder Dienstleistungsinnovationen letztlich auch auf dem Marktplatz ankommen und sich am Markt respektive in der Gesellschaft erfolgreich zeigen.

Die Gestaltung dieses Rahmens und die Steuerbarkeit von Innovationsprozessen setzen voraus, deren Wesen zu kennen. Die VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, früher noch firmierend unter VDI Technologiezentrum bzw. VDI/VDE Technologiezentrum Informationstechnik GmbH, hat in unterschiedlichen Rollen bis heute Ausschnitte solcher Innovationsprozesse begleitet, sei es als Projektträger, als Evaluator oder als Analyst technischer und nichttechnischer Innovationsbarrieren. Im Auftrag und durch Unterstützung der öffentlichen Hand hat die VDI/VDE-IT durch Fördermittel der Ministerien oder andere unterstützende Maßnahmen zum Abbau von Barrieren und zur Beschleunigung solcher Prozesse, zur Innovationskultur

und zum verantwortungsvollen Diskurs über die Rolle von technologieinduziertem Wandel in Gesellschaft und Wirtschaft beigetragen.

Die VDI/VDE-IT versteht sich als ein Akteur in Aushandlungsprozessen, der sich dabei – in aller Bescheidenheit und im Bewusstsein seiner eingeschränkten Wirkmächtigkeit – einer ökonomischen, ökologischen und sozialen Nachhaltigkeit verpflichtet sieht. Um unsere selbstaufgelegte oder von uns erwartete Rolle in Innovationsprozessen bestmöglich wahrnehmen zu können, betrachten wir alle Dimensionen von Innovation: die Dimension des Wandels von Wissenschaft und Technologie, die einzel- und betriebswirtschaftliche Dimension, die gesamt- und volkswirtschaftliche oder sektorale Entwicklung wie auch soziale und kulturelle Implikationen. Damit erschöpft sich unser Handeln nicht allein in der Unterstützung der Technologieentwicklung und

-diffusion sondern zielt auch darauf ab, (Teil-) Aufgaben in der Transformation von Systemen in Organisationen, Wirtschaft und Gesellschaft zu übernehmen.

Diese Vielfalt findet sich auch in den nachfolgenden Beiträgen wieder, in denen einige Autorinnen und Autoren tief in die Vergangenheit eintauchen und andere den Bogen teilweise bis weit in die Zukunft schlagen, in denen soziale, ökonomische und technische Innovationen unterschiedlichster Art beschrieben werden und in denen wir die Innovationsprozesse manchmal in der Gesamtheit – quasi aus der Vogelperspektive – betrachten und manchmal ganz nah herangehen.

„40 Jahre VDI/VDE-IT“ haben wir zum Anlass genommen, in dieser Form „Innovation“ als zentrales Thema des Unternehmens in einer Festschrift zu adressieren. Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter reflektieren Innovationen und Innovationsprozesse. Wichtig war uns, einerseits der Kreativität der Autorinnen und Autoren großen Spielraum zu lassen und andererseits dennoch wesentliche Aspekte des Themas zu erreichen.

Innovation findet sich überall dort, wo Menschen leben und arbeiten und stellt sich damit als ein buntes Kaleidoskop von Ergebnissen menschlichen Denkens und Handelns dar. So möchten wir Ihnen auch die Inhalte in unserem Buch präsentieren. Wir haben daher bewusst darauf verzichtet, die einzelnen Beiträge einem mehr oder weniger logisch begründbaren Cluster zuzuordnen. Die Reihenfolge im Buch wird durch deren Eingang bei der Redaktion bestimmt. Jede Autorin, jeder Autor und jedes Autorenteam hat ihren bzw. seinen Artikel im Zuge der Erstellung hausintern fachlich diskutiert und einem Peer-Review unterzogen. Die Autorinnen und Autoren werden im Anhang kurz vorgestellt.

## Was können Sie erwarten?

Beispiele für Innovationen in der Biologie und Gesundheitswirtschaft in dieser Veröffentlichung reichen von Entdeckungen wie die Röntgenstrahlung, Antibiotika und Impfstoffen über die evidenzbasierte Medizin und die „Gen-Schere“ bis hin zu Biodatenbanken und digital unterstützter Pflege. In diese Reihe fällt auch die Betrachtung der Innovation „Sehhilfe“ über die Jahrhunderte. An diesen und besonders am Beispiel des „Human Genome Projects“ wird deutlich, weshalb sozio-technische Innovationen eines integrativen Forschungsansatzes bedürfen und was unter „verantwortungsvoller Forschung“ zu verstehen ist.

Innovationen im Zeitalter der Digitalisierung finden sich in der Wirtschaft zum Beispiel in Smart Contracts auf Basis der Blockchain-Technologie, in der Musikindustrie und der Energieversorgung, aber auch in Bildungseinrichtungen wie den Hochschulen. Die Entwicklung des Haber-Bosch-Verfahrens hin zu seiner industriellen Nutzung durch BASF zeigt die Bedeutung des effektiven Zusammenspiels verschiedener Disziplinen – hier in der chemischen Großindustrie – für Innovationsprozesse.

Die ehemals von der VDI/VDE-IT verantwortete Materialeffizienzagentur zeigt, wie ein Game-Changer-Paradigma wie Nachhaltigkeit auch mit „schlichten Ansätzen, die große Verbesserungen bewirken“ verfolgt werden kann. Das Beispiel EUV-Lithographie verweist auf die strategische Bedeutung von Innovationen in der Halbleiterindustrie für Europa. Am Beispiel technischer Entwicklungen wie dem Smartphone wird der Einfluss von Innovationen auf Kommunikationsprozesse in unserer Lebens- und Arbeitswelt betrachtet.

Eher grundsätzliche Betrachtungen finden sich in Artikeln zu sozialen Innovationen, der „Natur“ von Innovationen, der Bedeutung integrierter Forschung zu Innovationsprozessen, der Crowd als Innovationsmotor oder auch zu Innovationen im Innovationssystem selbst. Ein „einzigartiger“ Beitrag betrachtet Innovationen im Spiegel langfristiger Aktienkursentwicklungen.

Nun wünschen wir Ihnen beim entspannten Lesen interessante Einblicke in Prozess-, Produkt- und Dienstleistungsinnovationen und den ein oder anderen Aha- und Wiedererkennungseffekt.

---

<sup>1</sup> Archimedis vero cum multa miranda inventa et varia fuerint, [...] clamabat εὐρηκα εὐρηκα.

<sup>2</sup> Stephan A. Jansen (2009): Vom Heureka! zum Hurra! In: brandeins, 2009. [www.brandeins.de/magazine/brand-eins-wirtschaftsmagazin/2009/identifikation/vom-heureka-zum-hurra](http://www.brandeins.de/magazine/brand-eins-wirtschaftsmagazin/2009/identifikation/vom-heureka-zum-hurra) [Zugriff am 13.3.2018].

<sup>3</sup> Begrifflichkeit erstmalig verwendet von C.M. Christensen in: Joseph L. Bower, Clayton M. Christensen (1995): Disruptive Technologies. Catching the Wave. In: Harvard Business Review, Bd. 69 (1995), S. 19–45. Häufig synonym verwendet werden das Adjektiv „radikal“ oder die Begrifflichkeit „Sprunginnovation“.

<sup>4</sup> zunächst BMFT (Bundesministerium für Forschung und Technologie), danach BMBF

<sup>5</sup> Hier orientieren wir uns am Triple-Helix-Modell. Siehe hierzu: Loet Leydesdorff, Henry Etzkowitz (1998): The Triple Helix as a model for innovation studies. Conference Report in: Science and Public Policy, volume 25, number 3, June 1998, pages 195-203, Beech Tree Publishing, 10 Watford Close, Guildford, Surrey GU1 2EP, England. [www.oni.uerj.br/media/downloads/195.full.pdf](http://www.oni.uerj.br/media/downloads/195.full.pdf) [Zugriff am 13.3.2018].

<sup>6</sup> Gerd Bender (2006): Technologieentwicklung als Institutionalisierungsprozess: Zur Entstehung einer soziotechnischen Welt. Edition Sigma, S. 79-80.

# Integrierte Forschung für soziotechnische Innovationen

Dr. Julian Stubbe ▪ Christine Weiß

## Game Changer: Human Genome Project (1990 – 2003)

Das von den USA koordinierte und in weltweiter Kooperation durchgeführte Forschungsprojekt „Human Genome Project“ (HGP) hatte zum Ziel, das menschliche Genom vollständig zu entschlüsseln. An diese Sequenzierung war die Hoffnung geknüpft, das Verständnis elementarer biologischer Prozesse ebenso zu beflügeln wie die Erforschung von Erbkrankheiten und Krebserkrankungen. Neben der wissenschaftlichmedizinischen Forschung sollten in dem Projekt auch Therapiemöglichkeiten sowie Grundlagen industrieller Anwendungen mitentwickelt werden. Diese Verwertungsambitionen brachten jedoch eine zunehmend kontroverse gesellschaftspolitische Diskussion mit sich. Im Kern wurde die Frage aufgeworfen, inwiefern die Möglichkeit menschliche Gene zu analysieren die Diskriminierung spezifischer Gruppen durch Versicherungsunternehmen und Arbeitgeber zur Folge hat. Immerhin, so der Vorwurf, können Genanalysen dazu genutzt werden, die Wahrscheinlichkeit von Erkrankungen einzelner Menschen zu bestimmen, um sie daraufhin als „Personen zweiter Klasse“ zu behandeln. Die US-Regierung verabschiedete 1996 im Rahmen eines Versicherungsgesetzes, dass Patienten die Weitergabe und Analyse ihrer Daten autorisieren müssen. Mit dem Anspruch, zukünftig ähnliche Spannungslagen zu vermeiden, entschied die Projektkoordination des HGP eine umfangreiche Integration ethischer, rechtlicher und sozialer Implikationen (ELSI) der Genforschung in das Gesamtprojekt, gefördert mit 5 Prozent des jährlichen Gesamtbudgets.

In Europa entstanden parallel Förderprogramme zur Genforschung, wie etwa die 2002 lancierte Netherlands Genomics Initiative, die ebenfalls 5 Prozent ihres Budgets der ELSI-Forschung widmete. In diesem Programm wurden auch Projekte mit eigenständigen Forschungszielen gefördert, bis hin zur Gründung des Centre for Society and Genomics. Diese Förderstruktur gab der Entwicklung von ELSI als eigenständiger Forschungsansatz Raum: weg von einer begleitenden Evaluation, hin zu einer integrierten Forschungsgestaltung.

## Technik für den demografischen Wandel: Gut gemeint ist nicht immer gut gemacht

Der Bedarf für eine verantwortungsvolle Forschung zeigte sich auch bald in der technologischen Forschung. Als Reaktion auf den im Jahr 2000 erschienenen 3. Altenbericht der Bundesregierung entwickelte das BMBF einen neuen Forschungs- und Förderschwerpunkt zur Bewältigung der Herausforderungen des demografischen Wandels. Ziel war die bedarfsgerechte Unterstützung und Verbesserung der Lebensqualität und Selbstständigkeit älterer Menschen mit Hilfe von intelligenten technischen Assistenzsystemen. Dabei wurden die Grenzen zwischen technischen und sozialen Innovationen immer stärker aufgehoben. Entsprechend musste sichergestellt werden, dass gut gemeinte Ideen auch tatsächlich zu gut gemachten Lösungen führen.

Ein Meilenstein war die Entwicklung eines „Modells zur Ethischen Evaluation Sozio-Technischer Arrangements – MEESTAR“<sup>1</sup>. Das Modell liefert einen strukturierten Ansatz zur Reflexion

und Evaluation ethischer Fragen und ihrer angemessenen Berücksichtigung im Forschungs-, Entwicklungs- und Anwendungsbereich. Der Ansatz zielt weniger auf ein abschließendes methodologisches Paradigma, sondern vielmehr auf einen praktischen Methodenkoffer, mit dem Perspektiven eröffnet werden („Gebrauchsethik“). MEESTAR basiert auf der begründeten Annahme, dass nur die gemeinsame Betrachtung von technischen und sozialen Faktoren eine angemessene Einschätzung erlaubt. Erst im konkreten Zusammenspiel von Menschen und ihren Rollen, zum Beispiel der unterstützungsbedürftigen Person, der Nachbarschaft, den Angehörigen, dem ärztlichen und pflegerischen Personal, den sozialen, rechtlichen und institutionellen Rahmenbedingungen sowie den technischen Geräten in ihrer aktuellen oder potenziellen Vernetzung lassen sich die „ernsten moralischen Fragen“ erkennen, evaluieren und Entscheidungen treffen über den Umfang und die Gestalt eines technischen Einsatzes.

Die leitenden Fragen bei der Anwendung von MEESTAR lauten:

- Welche spezifisch ethischen Herausforderungen ergeben sich durch den Einsatz eines oder mehrerer altersgerechter Assistenzsysteme?
- Ist der Einsatz eines Assistenzsystems ethisch bedenklich oder unbedenklich? Gibt es hierbei so gravierende Momente, dass sie die Nichtnutzung des Systems nahelegen?
- Lassen sich ethische Probleme, die sich beim Einsatz von altersgerechten Assistenzsystemen ergeben, abmildern oder gar ganz auflösen? Wenn ja, wie sehen potenzielle Lösungsansätze aus?
- Haben sich bei der Nutzung des Systems neue, unerwartete ethische Problempunkte ergeben, die vorher – bei Forschung und Entwicklung des Systems – noch nicht absehbar waren?



Abb. 1: MEESTAR zeigt auf der x-Achse die Dimensionen der ethischen Bewertung, auf der y-Achse die Stufen der ethischen Bewertung und auf der z-Achse die Ebenen der ethischen Bewertung.

Quelle: Manzeschke et al. (2013): Ergebnisse der Studie „Ethische Fragen im Bereich Altersgerechter Assistenzsysteme“. Berlin.

- Auf welche Aspekte und Funktionalitäten des untersuchten altersgerechten Assistenzsystems muss aus ethischer Sicht besonders geachtet werden?

Auf Basis dieser Methode entwickelte sich der Ansatz der integrierten Forschung, der Ingenieurs- und Natur- sowie Sozial-, Rechts- und Geisteswissenschaften zusammenführt. Bei der Entwicklung und dem Einsatz von technologischen Lösungen werden ELSI-Gesichtspunkte von Beginn an bedacht und berücksichtigt. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn Technologien neuartige Assistenzfunktionen für den Menschen übernehmen und dabei einen tiefen Einblick in die Privatsphäre ermöglichen.

Damit wurde die Integrierte Forschung zu einem Forschungs- und Gestaltungsansatz, der den Menschen in den Mittelpunkt technischer Entwicklungen rückt. Sie fordert eine ganzheitliche Forschungsperspektive, die die Interaktion zwischen Mensch und Technik nicht allein als

technische Problemstellung begreift, sondern vielmehr als eine Möglichkeit, gesellschaftlichen Herausforderungen zu begegnen. Integrierte Forschung ist daher interdisziplinär und methodisch vielfältig und ermöglicht so eine ganzheitliche und lebensweltübergreifende Technikentwicklung. Mit empirisch angeleiteter integrierter Forschung können ethische, rechtliche und soziale Aspekte identifiziert werden, die spezifischer für eine bestimmte Technologie sind als die eher generellen Themen, die in öffentlichen Ethikdiskursen aufgegriffen werden. Dadurch werden nicht-technische Aspekte greifbarer und für die Technikentwicklung anschlussfähiger.

### ELSI im internationalen Vergleich

Die Integrierte Forschung und ELSI sind nicht die einzigen Forschungsansätze, die gesellschaftliche Fragestellungen und Werte in die Technikentwicklung integrieren. Mit Blick auf die Wissenschaft lässt sich sogar von einer gewissen Tradition sprechen, in der gefordert wird, dass sich Geistes- und Sozialwissenschaf-



Abb. 2: Einsatz eines Body-Scanners

ten aktiv an der Gestaltung von Innovationen beteiligen. Der historische Entwicklungspfad dieser Forderung umspannt philosophische Programmatiken, den Ansatz der Bioethik sowie des Technology Assessments und Ansätze, die sich im Zuge der zunehmenden Verschrän-

kung von Wissenschaft, Industrie und Gesellschaft auf verschiedenen Innovationsfeldern entwickelten. Einige dieser Ansätze wurden von öffentlichen Institutionen zur Innovationsförderung aufgegriffen und in entsprechende Förderprogramme implementiert. Dies geschieht

## i

### Körperscanner an deutschen Flughäfen: Ein Rückblick

Körperscanner, auch Ganzkörperscanner oder Bodyscanner genannt, sind Geräte, mit denen vor allem Waffen und Sprengstoffe als Gegenstände unter der Kleidung erkannt und visualisiert werden können, ohne dass die Personen mit der Hand abgetastet werden müssen. Die erste Generation der Körperscanner lieferte Bilder, die körperliche Details wie künstliche Darmausgänge, Prothesen oder Intimpiercings für alle sichtbar machten. Dies brachte den Geräten auch die Bezeichnung „Nacktscanner“ ein und stellt nach Einschätzungen von Vertretern aus Politik, Kirche und Gewerkschaften eine erhebliche Verletzung der Privatsphäre und Menschenwürde dar. In Deutschland hatte das Bundesinnenministerium im Oktober 2008 den Einsatz solcher Scanner ausgeschlossen. Der damalige Bundesinnenminister Wolfgang Schäuble hatte sich für eine Weiterentwicklung der Geräte ausgesprochen, aber die Darstellung der Bilder kritisiert: „Diesen Unfug machen wir nicht mit“<sup>3</sup>. Das Bundesforschungsministerium brachte als Reaktion das interdisziplinäre Forschungsprojekt „KRETA - Körperscanner: Reflexionen auf Technik und Anwendungskontexte“ (2011 bis 2013) auf den Weg. Das Internationale Zentrum für Ethik in den Wissenschaften an der Universität Tübingen hatte zur Aufgabe, die Körperscannertechnologie sowohl aus theoretisch-ethischer als auch aus empirischer Sicht unter sozialen Gesichtspunkten zu beleuchten und die Ergebnisse sowohl in Technikentwicklung als auch in Anwendungskontexte zurückzuspiegeln.

Die vehemente gesellschaftliche Ablehnung und neue Ansätze der Integrierten Forschung führten zum Umdenken bei der Visualisierung der Scandaten. Die zweite Generation der Körperscanner zeigte nur noch standardisierte, menschliche Umriss, bei denen die potenziell gefährlichen Gegenstände als Markierung dargestellt wurden. Anatomische oder andere private Details waren nicht mehr zu erkennen. Allerdings hatten die verwendeten Scankabinen den Nachteil, Fluchtwege im Sicherheitsschleusenbereich zu verstellen und Menschen mit Klaustrophobie zu benachteiligen. Die dritte und aktuelle Generation der Körperscanner besteht nur noch aus zwei senkrecht stehenden Scanwänden, durch die Passagiere hindurchlaufen, kurz stehenbleiben und in zwei Scanvorgängen, die jeweils 16 Millisekunden dauern, von vorn und hinten gescannt werden. Diese Scanner sind u. a. an den Flughäfen Hannover, Köln-Bonn und Stuttgart im Einsatz.

Aus heutiger Sicht wäre eine zwingende sozio-technische Auseinandersetzung von Beginn an notwendig gewesen, bei der die Verletzung der Privatheit auf gleicher Augenhöhe mit dem technisch Machbaren diskutiert hätte werden müssen.

entweder themenspezifisch wie im Fall der Bioethik oder auch themenübergreifend, indem verlässliche Rahmenbedingungen für die wissenschaftlich-technische Entwicklung formuliert werden.

Seit den 2010er Jahren hat ELSI auf Ebene der Europäischen Forschungsförderung mit dem Ansatz der Responsible Research and Innovation (RRI) ein programmatisches Pendant erhalten, welches insbesondere im Rahmenprogramm Horizon 2020 themenübergreifend implementiert wurde. RRI entwickelte sich wie auch ELSI aus dem Anspruch heraus, die gesellschaftliche Akzeptabilität (anstelle der gern angeführten Akzeptanz, die oftmals nicht mehr meint als einen Anstieg der Hinnahmefähigkeit) von Innovationen zu erhöhen und gesellschaftliche Werte in die Entwicklung neuer Technologien zu integrieren, anstatt auf etwaige negative Folgen lediglich reagieren zu können. Sechs Kernthemen wurden dabei in den Fokus gerückt: Öffentliches Engagement, Gender-Gerechtigkeit, wissenschaftliche Bildung, Open Access-Prinzip, Ethik und Governance.

Die Entwicklung der RRI-Kernthemen fand im wissenschaftlichen Diskurs statt und wurde in abgewandelter Form als Förderansatz implementiert. Eine zentrale wissenschaftliche Referenz bildet der Rahmen für Responsible Innovation.<sup>2</sup> Die Autoren gehen davon aus, dass sich die Governance nicht auf Produkte und ihre Risiken konzentrieren sollte, sondern auf die Prozesse, in denen Innovationen hergestellt werden. Sie unterscheiden vier Aspekte verantwortungsbewusster Forschung: Antizipation, Reflexivität, Inklusion und Reaktivität im Sinne der Fähigkeit, Impulse, die unter Umständen störend sind, konstruktiv aufzunehmen.

ELSI und RRI sind beides Forschungsansätze, die „top-down“ über Förderprogramme die Art und Weise, wie Forschung stattfindet, beeinflussen sollen. In diesem Sinne sind sie Governance-Instrumente der Innovationsförderung. Beide Ansätze sind in Verbindung zu sozial- und

geisteswissenschaftlichen Debatten entwickelt worden. Diese Diskurse entwickelten Grundsätze sowie Methoden einer Forschung, die ihrer gesellschaftlichen Verantwortung Rechnung trägt. Hinsichtlich der Implementierung dieser Grundsätze und Methoden unterscheiden ELSI und RRI sich graduell: Während ELSI methodisch nicht weiter konkretisiert ist, verfügt RRI über spezifischere methodische Leitmotive, wie beispielsweise öffentliche Partizipation oder Gender-Gerechtigkeit. In dieser Hinsicht ist ELSI offener. Die methodische Konkretisierung ethisch und sozial sensibilisierter Forschung findet in konkreten Forschungsprojekten statt, wo durch integrierte Forschung relevante Dimensionen von Ethik und Gesellschaft identifiziert werden müssen.

### Die Entwicklung geht weiter

Die integrierte Forschung ist heute zu einem generellen Forschungs- und Förderansatz geworden und die Weiterentwicklung des Ansatzes steht auch in Zukunft nicht still. Insbesondere im Bereich der interdisziplinären Zusammenarbeit ist die Governance gefragt, um die Anschlussfähigkeit der verschiedenen Wissensbereiche weiter auszubauen. Projekte mit unterschiedlichen Partnern benötigen Konzepte, mit denen ihre Zusammenarbeit strukturiert wird und die Kompetenzen und Potenziale der verschiedenen Perspektiven optimal zum Tragen kommen. Hierfür sollte etwa der Koordination von Projekten mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden und auch der gemeinsamen Weiterbildung zu forschungsethischen Grundsatzfragen. Folgende Themen werden zukünftig noch stärker adressiert:

- **Public Science** beinhaltet sowohl die Partizipation der (Laien-)Öffentlichkeit in Entwicklungsprojekte als auch die Durchführung der Forschungspraxis im öffentlichen Raum. Im Zuge des zunehmenden Legitimierungsdruckes, dass Wissenschaft nicht allein im „Elfenbeinturm“ stattfinden darf, sondern sich erklären und an gesellschaftlichen Realitäten und Bedarfen orientieren muss, wird die

Integration gesellschaftlicher Akteure und sozialer Lebenswelten zunehmend relevant. Dabei darf die in Artikel 3 des Grundgesetzes garantierte Freiheit der Forschung natürlich nicht eingeschränkt werden.

- **Datensouveränität** löst den Datenschutz als neues Paradigma des Umgangs mit persönlichen Daten ab. Nicht länger soll restriktiv die Datenverarbeitung reguliert werden, sondern vielmehr sollen die Kompetenzen der Nutzenden gestärkt werden, damit sie souverän und selbstbestimmt ihre Daten zur Weiterverarbeitung freigeben (oder auch nicht) und dafür Bedingungen festlegen. Hierfür ist es nötig, vormals technische Themen der Datensicherheit zum Gegenstand sozialwissenschaftlicher Forschung zu machen und über interdisziplinäre Konzepte die Datensouveränität der Menschen zu stärken.

- **Foresight** ist methodisch angeleitete Hochrechnung zukünftiger Entwicklungen. Für eine konstruktive Integrierte Forschung dürfen sozial- und geisteswissenschaftliche Fächer nicht den technischen Entwicklungen hinterherhinken, sondern sollten ihnen einen Schritt voraus sein. Erst wenn die Zukunft nicht allein aus technischen Visionen besteht, sondern auch gesellschaftliche Szenarien beinhaltet, können soziale, rechtliche und ethische Implikationen neuer Technologien vorausschauend modelliert und adressiert werden.

In Zukunft wird die Integrierte Forschung zunehmend gefragt sein. Sie hat Potenzial, bei drängenden innovationspolitischen Herausforderungen Gesellschaft und Wissenschaft, Forschung und Anwendung zusammenzubringen. Dabei eröffnet sie auch neue Themenbereiche.

<sup>1</sup> Manzeschke, Arne; Weber, Karsten; Rother, Elisabeth; Fangerau, Heiner (2013): Ergebnisse der Studie „Ethische Fragen im Bereich Altersgerechter Assistenzsysteme“. Berlin.

<sup>2</sup> Stilgoe, Jack; Owen, Richard; Macnaghten, Phil (2013): Developing a framework for responsible innovation. In: Research Policy 42 (9), S.1568–1580.

<sup>3</sup> tagesschau.de (2008): Diesen Unfug machen wir nicht mit. Bundesregierung lehnt „Nackt-Scanner“ ab. Hg. v. Norddeutscher Rundfunk. Hamburg. [www.tagesschau.de/inland/sicherheitschecks104.html](http://www.tagesschau.de/inland/sicherheitschecks104.html) [Zugriff am 23.3.2018].

# Ausflug ins Universum von Blockchain und Smart Contracts

Dr. Patrick Schweitzer ▪ Désirée Tillack

Wie nähert man sich dem komplexen Thema Blockchain (BC)? Wir versuchen es mit einem Selbsttest, bei dem im Online-Casino die Kryptowährung Ether verwettet werden soll. Wir betrachten die besonderen Eigenschaften dieser Technologie – und stimmen uns ein mit einem Besuch im Bitcoin-Café.

Berlin Kreuzberg, ein Freitagabend im März. Das Etablissement „Room 77“ verspricht mit seinen abgewetzten Ohrensesseln zwar optisch eher eine Zeitreise in eine Kaschemme der 1980er-Jahre, doch hier kann man mit Bitcoins zahlen – ein guter Startpunkt für die Recherche und Treffpunkt, um zusammen im Online-Casino zu spielen. Außerdem gibt es exzellente Burger, beispielsweise mit flambiertem Rum oder Erdnussbutter. Allerdings hapert es mit dem Besuch im Online-Casino: Dafür braucht man nicht nur WLAN und genügend Akku, sondern auch Speicherplatz auf dem PC. Für das Spielen und Wetten gibt es zwei Varianten: Beim ersten Versuch über die Software „Mist“ soll man eine BC komplett herunterladen, was zu einer Prognose von 340 GB Downloadvolumen und einer geschätzten Dauer von einem Tag führt.<sup>1</sup> Der Ausflug ins Online-Casino wird kurzerhand verschoben. Er ist schließlich erfolgreich, aber dazu später. Weil wir es eilig haben, bezahlen wir die Burger nicht einmal mit Bitcoins. Wir müssten vor Ort zehn bis 15 Minuten warten, bis die Bestätigung der Transaktion eingetroffen ist. Obwohl wir für diesen Abend extra Kryptowährung gekauft hatten (s. Abschnitt „Die Blockchain im Reality-Check“), holen wir also den guten alten Euro aus der Tasche und zahlen bar auf die Hand. Auf dem Weg zur S-Bahn fragen wir uns, woher der Hype eigent-

lich kommt, wenn die Anwendung so schwierig zu sein scheint.

## Warum ist die Blockchain so innovativ?

Zahlreiche Expertinnen und Experten prognostizieren, dass die Technologie der BC das gesellschaftliche Leben und die Landschaft einzelner Industrien verändern wird.<sup>2</sup> Schon vor einigen Jahren begann der Hype um dieses Thema, die momentan bekannteste Anwendung der Technologie ist die Kryptowährung Bitcoin. Laut einer Umfrage des Branchenverbandes Bitkom kennen rund zwei Drittel aller Deutschen Bitcoins.<sup>3</sup> Spätestens seit dem Höhenflug der Bitcoins um den Jahreswechsel 2017/2018 ist die BC-Technologie im Mainstream angekommen. Doch die BC kann noch viel mehr als Kryptowährung.

Zunächst ist eine BC nichts weiter als eine Datenbank – sie grenzt sich von anderen Datenbanken jedoch mittels einiger besonderer Eigenschaften ab: Innovativ ist die Tatsache, dass diese Datenbank verteilt ist. Das heißt, dass alle an der BC Beteiligten die Daten anschauen, sie aber nicht rückwirkend ändern können, da jeder eine identische Kopie der Datenbank besitzt und Änderungen zusätzlich kryptographisch verhindert werden. Wie in jeder anderen Datenbank müssen auch bei BCs Lese- und Schreibrechte festgelegt werden (s. Infokasten).<sup>4</sup> Ein großer Unterschied zu klassi-

schen Datenbanken ist aber, dass die BC keinen zentralen Inhaber benötigt.

Das Modell der Akteure mit unterschiedlichen Rechten und Regeln lässt sich für unseren Fall vereinfacht mit einem Fußballturnier vergleichen: Ähnlich wie bei der Weltmeisterschaft gibt es im Stadion des BC-Universums Spieler, die sich an die Regeln halten müssen, um teilnehmen zu können. Dann gibt es Fans vor Ort, die von den Rängen aus auf das Geschehen blicken und beteiligt sind, indem sie jubeln, zum Beispiel wir Autoren als Gamer im Casino, die eine Transaktion tätigen. Und schließlich gibt es noch die Zuschauer vor den Fernsehern, die zwar nicht eingreifen, jedoch alles überblicken, etwa die Leser, die am Schluss unsere Transaktion öffentlich in der BC einsehen können.

Eine andere innovative Eigenschaft der BC ist, dass sie als Werkzeug dazu dienen kann, die Integrität (Korrektheit) sich ändernder Daten zu erreichen und aufrecht zu erhalten. Es kann also beispielsweise der Status von Daten zu einem gewissen Zeitpunkt dauerhaft und unveränderbar festgehalten werden. Dieses Prinzip funktioniert im betrachteten Fall der Kryptowährungen umso besser, je mehr sich an der BC beteiligen. Damit möglichst viele Beteiligte die vorherigen Daten prüfen und bestätigen, also die Integrität der Daten gewährleisten, bedarf es eines Anreizsystems. Teil des Anreiz-

systems sind ein Konsensalgorithmus und eine Kryptowährung.<sup>5</sup>

Eine weitere Innovation der BC ist schließlich, dass die Anzahl von Vermittlern reduziert wird oder diese vollständig überflüssig gemacht werden. Durch eine BC wird sichergestellt, dass alle die gleichen Prozessregeln verwenden und die Datenabgleichsprozesse („Reconciliation“) ausgeschaltet werden. Ein Beispiel: Der Transfer von Kryptowährung ist möglich, ohne dass dabei Banken, Paypal oder ähnliche Dienstleister in der Funktion von Mittlern notwendig sind. Es muss kein Geld gedruckt oder physisch übergeben werden, und auch die Infrastruktur wird von den Transferierenden selbst bereitgestellt anstatt von einem Dienstleister. Man spricht hierbei von Disintermediation. Die BC kann also deutlich günstiger sein als herkömmliche Lösungen. Zusätzlich ersetzt sie die Vertrauensfunktion, die zuvor die Vermittler übernommen haben. Der Nutzen der BC ist besonders groß, wenn die Akteure ein größeres Vertrauen in die BC-Technologie haben als in die bisherigen Mittler.

Uns wird klar: Je tiefer wir in das Thema BC einsteigen, desto mehr Fragen ergeben sich. Wir wollen wissen, wie einerseits eine BC funktioniert, wie also Daten in einer BC abgespeichert werden und andererseits, welche Daten eigentlich abgespeichert werden.

## i

### Vier Arten von BCs

- BC mit Lese- und Schreibrecht für alle (englisch: public, permissionless) – wird z. B. eingesetzt für Bitcoin, Ether, andere Kryptowährungen
- BC mit Leserecht für alle, aber begrenztem Schreibrecht (englisch: public, permissioned) – wird z. B. eingesetzt für ein staatliches Register
- BC mit begrenztem Leserecht, aber Schreibrecht für alle (englisch: private, permissionless) – ist für Anwendungen aktuell eher unüblich
- BC mit begrenztem Lese- und Schreibrecht (englisch: private, permissioned) – wird momentan vor allem in/von Unternehmen eingesetzt

## Wie funktioniert eine Blockchain?

Man stelle sich die BC wie ein Buch vor, zu dem am Ende Seiten hinzugefügt werden, aus dem aber niemals bestehende Seiten entfernt werden können. Das Buch ist in diesem Bild die BC und jede Seite ist ein „Block der Chain“, bestehend aus Informationen. Mit kryptographischen Techniken<sup>6</sup> wird sichergestellt, dass die neuen Informationen in den Blöcken bestimmte Regeln einhalten.<sup>7</sup> Wer einen neuen Block erzeugt, ist ein „Miner“, d. h. er „schürft“ die Kryptowährung für sich selber, während er die Informationen für alle sichert.

Jeder Block enthält unter anderem Informationen über die Blocknummer, die im Block enthaltenen Transaktionen und einen Verweis auf einen vorangegangenen Block (s. Abbildung 1). Durch den Verweis auf einen vorherigen Block wird dessen Inhalt bestätigt. Nicht-regelkonforme Blöcke werden zwar in die BC aufgenommen, später aber beim „Rückwärtslesen“ übersprungen, da das Anreizsystem dafür sorgt, dass auf den letzten vorherigen regelkonformen Block verwiesen wird. Hier kommt auch ein Nachteil der Technologie zum Tragen, der uns bei der Bezahlung der Bürger ausgebremst hat: Ob ein Block tatsächlich regelkonform ist und auf lange Sicht berücksichtigt wird, kann nicht unmittelbar, sondern erst nach einer Weile entschieden werden – näm-

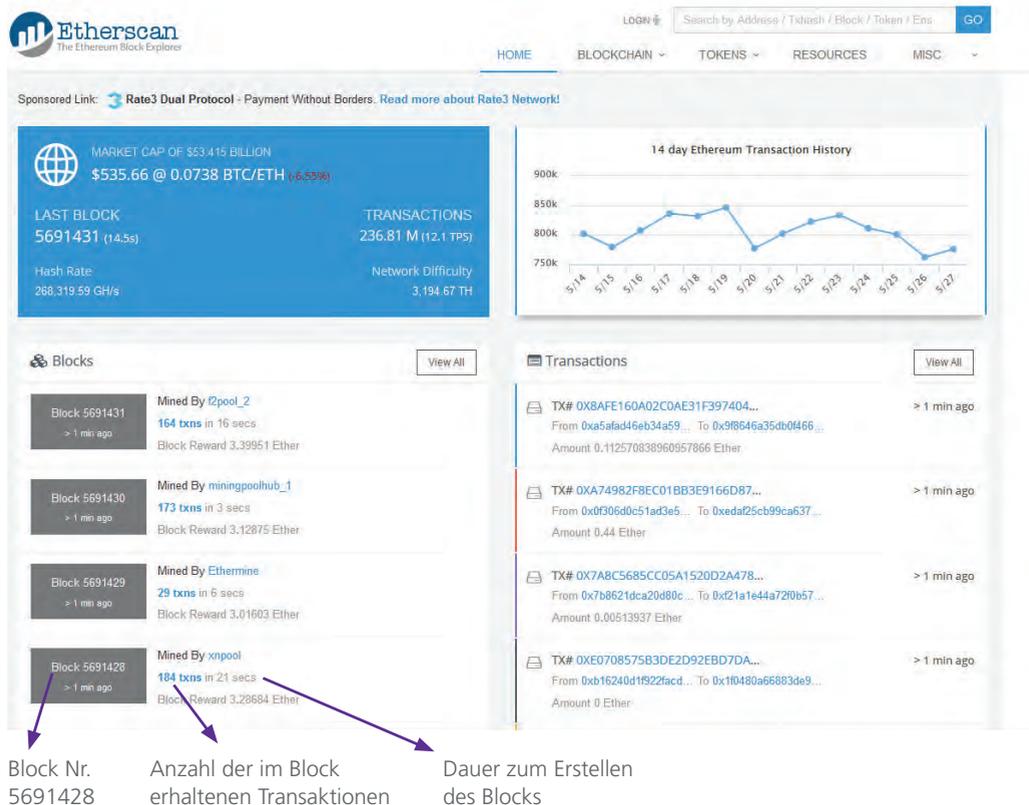


Abb. 1: Ansicht einer BC im Explorer auf <https://etherscan.io>: Oben im blauen Block erscheinen die Informationen zur gesamten BC (wie Gesamtsumme der Ether und Gesamtanzahl der Transaktionen), darunter die Auflistung der letzten Blöcke in grauen Kästen mit ergänzenden Angaben (wie enthaltene Transaktionen und Dauer zum Erstellen des Blocks). In der rechten Spalte erscheint – für alle einsehbar – die Historie der Transaktionen.

lich dann, wenn eine Kette von Blöcken auf den fraglichen verweist.<sup>8</sup>

Um eine Information, also einen „Inhalt“ egal welcher Art, in die BC zu schreiben, sucht man eine Schnittstelle (einen Zugangsknoten) auf, teilt diesem den eigenen Inhalt mit und gibt an, wieviel man bereit ist zu zahlen, damit der Inhalt in die BC aufgenommen wird. Hierbei geht es um eine Transaktionsgebühr („transaction fee“), die mit der Größe des Inhalts steigt. Der Zugangsknoten überprüft zunächst, ob der gewünschte Inhalt den Regeln der BC entspricht. Ist dies der Fall, wird der Inhalt akzeptiert und in den sogenannten Miningpool weitergeleitet. Aus dem Miningpool fischen die Miner den Inhalt heraus und hängen ihn dann in einem

Block an die bisherige Kette von Blöcken – wenn sie sich als berechtigt erwiesen haben. Auf Basis der Transaktionsgebühr können die Miner die lukrativsten Inhalte zuerst auswählen.<sup>9</sup>

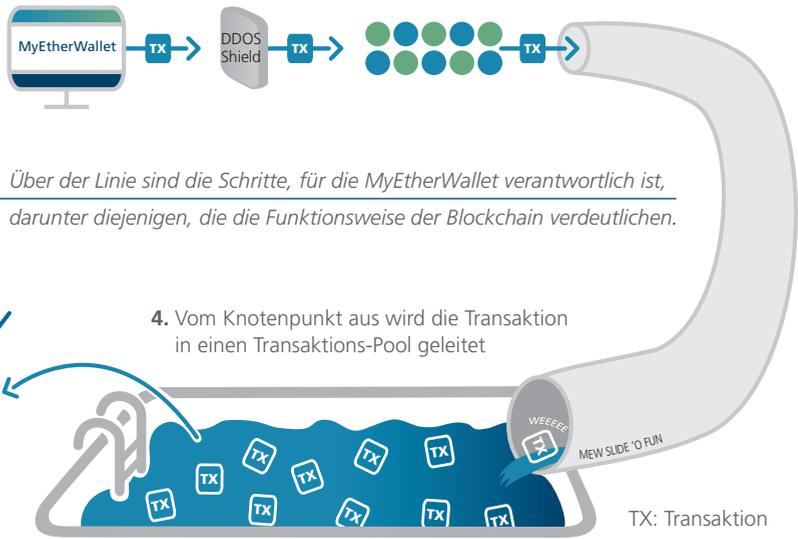
### Die Blockchain im Reality-Check

Zurück zum Test des Online-Casinos, für den wir im ersten Schritt eine Kryptowährung benötigen. Wer diese ergattern will, braucht zuerst eine digitale Geldbörse („online wallet“).<sup>10</sup> Diese besteht aus einer ziemlich langen öffentlichen und einer ebenso langen privaten Zeichen- und Nummernfolge („Schlüssel“). Die öffentliche Zeichenfolge, auch öffentliche Adresse genannt, ist vergleichbar mit einer E-Mail- oder Paypal-Adresse, an die Geld gesendet wird. Die private Zeichenfolge ist einem Passwort ähnlich. Beim

1. Transaktion (TX) wird unterschrieben

2. Transaktion wird an MyEtherWallet (MEW) gesendet

3. Transaktion geht an einen Knotenpunkt von MyEtherWallet



5. Die Miner fischen Transaktionen aus dem Pool heraus.

4. Vom Knotenpunkt aus wird die Transaktion in einen Transaktions-Pool geleitet

6. Die Miner setzen die Transaktion in einen Block und fügen ihn der Kette hinzu.

Die Transaktion ist permanent, sobald sie in der Blockchain ist.

Abb. 2: Weg einer Transaktion und Prozess des „Minens“ am Beispiel von MyEtherWallet  
Quelle: MyEtherWallet, eigene Übersetzung

Erstellen des wallets lautet die Warnung auf der Startseite: „Please take some time to understand this for your own safety [frown-icon]. Your funds will be stolen if you do not heed these warnings.“ Es folgt eine Vielzahl weiterer Sicherheitshinweise. Wer die digitale Währung wirklich sicher lagern will, soll sich seine digitale Geldbörse ausdrucken – auf Papier! Und nicht nur die Papierlösung wird empfohlen: Für ca. 60 bis 80 Euro kann man sogar kleine Kästen zum komplett vom Internet getrennten Speichern von den privaten Schlüsseln erwerben. Wir schieben Bedenken aber großzügig beiseite und nach zwei Tagen besitzt das Autorenteam statt rund 90 Euro ca. 0,184 Ether (ETH)<sup>11</sup> und steht in den Startschuhen für das Wetten im Online-Casino.

Im zweiten Anlauf – zu Hause mit einer Tasse Kaffee neben dem Laptop – testen wir einen alternativen Weg in die Online-Spielhöhle, ohne die BC herunterladen zu müssen.<sup>12</sup> Wir werden aufgefordert, mindestens 0,1 Ether einzusetzen. Wir erklären uns einverstanden und schließen mit dem digitalen „einarmigen Banditen“

einen Vertrag ab. Das Spielen funktioniert so: Man setzt auf eine Zahl zwischen 1 und 100. Wenn der einarmige Bandit eine niedrigere Zahl ausspuckt, hat man gewonnen, liegt die Zahl darüber, hat man verloren. Je niedriger die gewählte Zahl, umso geringer die Chance und umso höher der ausgezahlte Gewinn. Das Spiel ist direkt mit dem online-wallet verknüpft, so dass Gewinne und Verluste sofort abgerechnet und angezeigt werden.

Aus technischer Sicht funktioniert das Spiel nach folgendem Prinzip, das einen einfachen Vertrag verdeutlicht: „Wenn wir einen Betrag von 0,1 ETH setzen, dann wird uns im Gewinnfall ein Betrag von 0,1 plus x ETH ausgezahlt.“ Wenn wir verlieren, bekommen wir nur einen Kleinstbetrag zurücküberwiesen (siehe Infokasten). So wissen wir sowohl im Fall des Gewinns als auch im Fall des Verlustes, dass der geschlossene Vertrag tatsächlich ausgeführt wurde. Wie bei Computerprogrammen üblich, können die Spieler die Gewinnchance und die Gewinnhöhe verändern.<sup>13</sup>

## i

### Ein Smart Contract bei Etheroll

Exemplarische Code-Auszüge aus dem Smart Contract von Etheroll (angepasste Darstellung): Im Programmcode existiert jeweils eine Funktion für den Fall, dass der Spieler gewonnen hat und eine Funktion für den Fall, dass der Spieler verloren hat (Wenn-Dann-Bedingung).

```
* win;
* pay winner
* update contract balance to calculate new max bet; send reward
* if send of reward fails save value to playerPendingWithdrawals
if(playerDieResult[myid] < playerNumber[myid]){
    ... }

* no win;
* send 1 wei to a losing bet
* update contract balance to calculate new max bet
if(playerDieResult[myid] >= playerNumber[myid]){
    ... }
```

Der „Inhalt“ der BC ist im Fall des Glücksspiels unser intelligenter Vertrag („Smart Contract“) über Verlust oder Gewinn. Er besagt, dass eine gewisse Summe der Kryptowährung von einer Adresse zu einer anderen Adresse übertragen wird. Genauer gesagt ist ein „Smart Contract“ ein Softwarecode in einer Programmiersprache, die von der BC verstanden wird.<sup>14</sup> Der Code folgt einem Wenn-Dann-Muster und bildet dabei vertragliche Regelungen ab.

Endlich kann es losgehen mit der Spielerei: Wir gehen erst einmal möglichst auf Nummer sicher und setzen auf die Zahl 94. Wir klicken „roll“ und nach ca. einer Minute, die sich gefühlt unendlich lang zieht, erscheint auf dem Bildschirm eine große gelbe 14 als Ergebnis. Wir haben also gewonnen! Sofort erscheint im Online-Wallet statt 0,184 ETH die geringfügig höhere Gesamtsumme von rund 0,19 ETH. Der schnelle Erfolg und das einfache Prinzip machen süchtig: Beim zweiten Mal sind wir schon etwas risikofreudiger und setzen auf die 85. Als Ergebnis erscheint eine 58 – und der Gewinn bringt das Ether-Konto umgehend auf rund 0,2 ETH. Um uns selber davon abzuhalten, die ganze Nacht weiterzuspielen und alles Gewonnene wieder auf den Kopf zu hauen, klappen wir ganz schnell den Rechner zu. Diese beiden Transaktionen sind nun unveränderbar und für alle einsehbar in der BC sichtbar:



### Blockchain kann mehr als Online-Casino

Bei BC geht es allerdings um viel mehr als das Gewinnen oder Verlieren, das für diesen Beitrag als eine Beispiel-Anwendung gewählt wurde. Wie bereits eingangs geschildert, könnten vor allem diejenigen Branchen, in denen Mittler oder Treuhänder eingesetzt werden, revolutioniert werden. Darunter fallen beispielsweise Finanzdienstleistungen, das Versicherungswesen, Behörden, notarielle Dienstleistungen, Steuersysteme, Wahlen, das Bildungs- und das Ge-

sundheitswesen, Management von Lieferketten, Internet der Dinge, intelligente Energiesysteme oder die Musikindustrie.<sup>15</sup>

Diesen Anwendungen zugrunde liegt die Eigenschaft der BC, gewisse Informationen zu einem gewissen Zeitpunkt festzustellen und abzusichern („proof“). Beispielsweise können im Fall von Steuern die Inhaberschaft und der Wert von Papieren zu einem gewissen Zeitpunkt festgeschrieben werden. Zahlreiche weitere Anwendungen sind denkbar (s. Infokasten S. 20).

## Wie geht es weiter mit der Blockchain?

Ob der Einsatz von BCs sinnvoll ist, steht und fällt mit dem jeweiligen Anwendungsfall. Für zahlreiche Herausforderungen, bei denen aktuell schnell nach BCs gerufen wird, kann auch eine herkömmliche Datenbank die beste Lösung sein. In diesem Beitrag wurden lediglich zwei Beispielanwendungen (Bezahlen und Spielen) aufgegriffen, um die Innovation und die Funktionsweise der Technologie darzulegen. Die BC- und die Distributed-Ledger-Technologie stehen noch ziemlich am Anfang. Auch die folgenden geschilderten Anwendungen können nur schlaglichtartig mögliche weitere Entwicklungen aufzeigen.

Unter den Akteuren, die das Potenzial der BC-Technologie für sich erkannt haben, ist vor allem die Finanzbranche: In der Schweiz gibt es bereits 24 Bitcoin-Automaten, die für Kundinnen und Kunden das e-Geld, also die öffentliche Adresse und den privaten Schlüssel, auf Papier ausdrucken.<sup>16</sup> Nach einem zweijährigen Feldtest plant die australische Börse noch in diesem Jahr auf Distributed-Ledger-Technologien umzusteigen, um das bisherige Abwicklungssystem für Transaktionen zu ersetzen.<sup>17</sup> Dies zieht so weite Kreise, dass berichtet wird, dass sich Konkurrenten darüber informieren wol-

len.<sup>18</sup> Darüber hinaus zielt beispielsweise das Projekt „BitPesa“ darauf ab, Liquiditäts- und Währungsprobleme in Afrika zu reduzieren, sodass Geschäfte in ganz Afrika unabhängig von den jeweiligen Landeswährungen getätigt werden können.<sup>19</sup> Und die auf BC basierende Wahlsoftware „Follow my vote“ steckt noch in den Kinderschuhen, hat aber das Potenzial, für transparente Wahlen zu sorgen.<sup>20</sup> Auch Smart Contracts werden bereits eingesetzt, beispielsweise für Treuhandgeschäfte, Mikropayments, flexible Stromrechnungen, Münzwechselprotokolle, Initial Coin Offerings (also Kryptowährungen, die neu auf den Markt gebracht werden) oder Mehrspieler-Lotterien.<sup>21</sup>

Soweit der potenzielle Nutzen, nun zu den Risiken. Die Elimination von Mittlern klingt zwar verlockend, doch diese erfüllen neben der eigentlichen Vermittlungstätigkeit häufig auch andere Aufgaben, darunter Beratungstätigkeiten, oder sie übernehmen Garantien, für den Fall, dass es zu Problemen bei Transaktionen kommt. Andere Nachteile der BC sind oft auch

noch aufkommende zeitliche Verzögerungen<sup>22</sup> oder ein für die Datenverarbeitung immenser Energieverbrauch beim derzeit üblichsten Konsensalgorithmus „proof of work“ (beispielsweise im Fall von Bitcoins). Nicht nur der Energieverbrauch, auch die Rechenleistung kann Probleme mit sich bringen: Wenn ein Großteil dieser Rechenleistung nämlich in der Hand von wenigen liegt, können diese wenigen bestimmen, was aus ihrer Sicht korrekt ist. Das System funktioniert nur so lange, wie gewährleistet ist, dass die Mehrheit der Beteiligten sich an die Regeln hält.

Und es gibt weitere Risiken, die noch nicht ausreichend betrachtet worden sind, wie beispielsweise die Tatsache, dass illegale Inhalte in BC geschrieben werden, aber nicht gelöscht werden können. Somit können auch illegale Verträge abgeschlossen und bestätigt werden. Eine besondere Herausforderung bei dezentralen Systemen liegt also im Bereich der Regulierung und Rechtssicherheit. Und schließlich entstehen durch BCs enorme Datenmengen, von denen

## i

### Einsatzmöglichkeiten von BCs<sup>23</sup>

- **Proof of existence:** Registrierung von Artikeln, die eindeutig sein sollen, wie Markennamen, Patente, Lizenzcodes und Internet- oder E-Mail-Adressen
- **Proof of nonexistence:** Beschwerden, Geldbußen, Verurteilungen
- **Proof of time:** Zeitstempelfunktionen für Ereignisse wie Zustellung oder Benachrichtigungsverfolgung, Verfolgung von Zahlungen, Verwaltung von Vorhersagen
- **Proof of order:** Verfolgung von Anwendungsprozessen, Überwachung öffentlicher Bieterverfahren und Treuhanddienste sowie Nachweise, dass ein Ereignis das erste oder das letzte seiner Art war, z. B. Anträge von Universitäten, Patentanmeldungen oder Urheberrechtsansprüche
- **Proof of identity:** digitale Ausweisdokumente für Menschen, Tiere oder Güter
- **Proof of authorship:** elektronisches Publizieren, Verfolgen von Inhaltsänderungen in Dokumenten, Inhaltsbereitstellung, kollaboratives Bearbeiten und Schützen von Urheberrechten
- **Proof of ownership:** Anwendungen mit diesem Nutzungsmuster sind beispielsweise Systeme zur Verwaltung des Eigentums an Immobilien, Autos, Unternehmensanteilen, Anleihen, kryptografischen Währungen

am Ende nur noch ein geringer Anteil relevant ist. Für wen ist beispielsweise letztendlich auf Dauer interessant, dass wir 0,02 ETH im Casino gewonnen haben?

In welchem Ausmaß und in welchen Anwendungsfällen sich die BC-Technologie durchsetzen kann, erscheint dem Autorenteam noch

wie ein Blick in die Kristallkugel. Wie auch immer sich die Technologie entwickelt – falls nach weiteren Casino-Besuchen in unserem Wallet noch ein paar Zehntel Ether übrig sind, planen wir eine Fortsetzung der Geschichte, bei der wir die gewonnene Kryptowährung in Avatare investieren, die im Ether-quest-Rollenspiel ihre Abenteuer erleben.<sup>24</sup>

<sup>1</sup> Durch Komprimierungstechniken wird das tatsächliche Downloadvolumen auf 60 GB reduziert und der Download dauert ca. sechs Stunden.

<sup>2</sup> Dies gilt ebenfalls für die übergeordnete Distributed-Ledger-Technologie (DLT), wofür BC nur eine mögliche Umsetzung ist. In diesem Beitrag werden jedoch nur BCs betrachtet.

<sup>3</sup> <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Inzwischen-kennen-zwei-Drittel-der-Bundesbuerger-Bitcoin.html> [Zugriff am 26.3.2018].

<sup>4</sup> Da für diesen Beitrag das Beispiel Kryptowährung gewählt wurde, wird im Folgenden der Fall einer BC mit Lese- und Schreibrechten für alle (public, permissionless) betrachtet.

<sup>5</sup> Der Konsensalgorithmus wird im Entstehungsprozess der BC festgelegt. Der gängigste Algorithmus wählt aus einer möglichst großen Gruppe zufällig eine Person aus, die die BC ein Stück verlängert und gleichzeitig die Korrektheit der bisher geschriebenen Inhalte bestätigt. Die Auswahl basiert darauf, welcher Computer ein komplexes mathematisches Problem am schnellsten gelöst hat. Bezeichnet wird dies als „proof of work“ – hergeleitet von der benötigten Rechenleistung, die eingesetzt werden muss, um das mathematische Problem zu lösen.

<sup>6</sup> Vor allem werden hier asymmetrische Verschlüsselung und Hashes (kryptografische Komprimierungstechniken) eingesetzt.

<sup>7</sup> Der Beginn einer BC mit einem Personenkreis, der die Regeln definiert, findet beispielsweise über ein Konsortium statt, das gemeinsam eine Kryptowährung zum Initial Coin Offering und damit auf den Markt bringt.

<sup>8</sup> Die Länge der auf den Block verweisenden Kette wird im Fachjargon als Anzahl der confirmations (Bestätigungen) bezeichnet.

<sup>9</sup> Neben dem „Inhalt“ werden noch weitere Informationen in den Block aufgenommen, die man zum Erfüllen der Sicherheitseigenschaften der BC benötigt. Diese ermöglichen beispielsweise das Ermitteln des vorangegangenen Blocks, der Schwierigkeit des Konsensalgorithmus sowie der Lösung des vom Konsensalgorithmus vorgegebenen mathematischen Problems. Darüber hinaus dürfen die Miner noch einen besonderen Inhalt selbst schreiben. Durch diesen können sie einer beliebigen Adresse ein Entgelt zuweisen, ohne definieren zu müssen, wo das Entgelt herkommt (Schürfen der Kryptowährung).

<sup>10</sup> Wir haben uns für ein Online-Portemonnaie bei „MyEtherWallet“ entschieden.

<sup>11</sup> Kauf am frühen Morgen des 16.3.2018.

<sup>12</sup> Wir nutzen Chrome mit dem Add-On „MetaMask“ und geben den privaten Schlüssel am Eingang zum Online-Casino Etheroll ein. Bei MetaMask müssen wir keine BC herunterladen, da MetaMask diese online bereitstellt.

<sup>13</sup> Wer unsere Interaktion mit dem Smart Contract direkt nachvollziehen möchte, kann sich das in die BC geschriebene Computerprogramm unter <https://etherscan.io/address/0xddfd0b9914d530e0b743808249d9af901f1bd01#code> ansehen [Zugriff am 26.3.2018].

<sup>14</sup> Im Fall des Ethereum-Netzwerks ist dies die Programmiersprache „Solidity“.

<sup>15</sup> Walport, M. 2016. „Distributed Ledger Technology: Beyond Blockchain. UK Government Office for Science“, Tech. Rep und Blockchain for Dummies: <https://public.dhe.ibm.com/common/ssi/ecm/xi/en/xim12354usen/XIM12354USEN.PDF> [Zugriff am 26.3.2018].

<sup>16</sup> <https://coinatmradar.com/country/206/bitcoin-atm-switzerland/> [Zugriff am 26.3.2018].

<sup>17</sup> <https://de.reuters.com/article/m-rkte-australien-idDEKBN1E11SL> [Zugriff am 26.3.2018].

<sup>18</sup> <https://cointelegraph.com/news/hong-kong-stock-exchange-seeks-dialogue-with-australian-counterpart-for-blockchain-advice> [Zugriff am 26.3.2018].

<sup>19</sup> [www.bitpesa.co](http://www.bitpesa.co) [Zugriff am 26.3.2018].

<sup>20</sup> Weitere derzeit umgesetzte Beispiele unter [www.nasdaq.com/article/7-most-interesting-uses-of-blockchain-cm875394](http://www.nasdaq.com/article/7-most-interesting-uses-of-blockchain-cm875394) [Zugriff am 26.3.2018].

<sup>21</sup> Zu Smart Contracts siehe [www.kaspersky.de/blog/ethereum-ico/14993](http://www.kaspersky.de/blog/ethereum-ico/14993) (Einsatz bei ICOs), [www.it-finanzmagazin.de/gar-kein-mysterium-blockchain-verstaendlich-erklart-27960](http://www.it-finanzmagazin.de/gar-kein-mysterium-blockchain-verstaendlich-erklart-27960), <https://futurezone.at/digital-life/blockchain-was-sind-eigentlich-smart-contracts/293.031.908>, [www.dev-insider.de/was-ist-ein-smart-contract-a-585679](http://www.dev-insider.de/was-ist-ein-smart-contract-a-585679) [Zugriff jeweils am 26.3.2018].

<sup>22</sup> Bei Bitcoins wird ein Block durchschnittlich alle 10 Minuten geschrieben, bei der Ethereum BC dagegen alle ca. 15 Sekunden.

<sup>23</sup> Beim Selbsttest dieses Beitrags bewegen wir uns im Ethereum-Netzwerk mit public permissionless BCs, bei unserem Smart Contract haben wir mit der „proof of ownership“-Eigenschaft der BC interagiert. Einige der Eigenschaften können besser / nur durch private oder permissioned BCs umgesetzt werden.

<sup>24</sup> <https://ether-quest.com> [Zugriff am 26.3.2018].

# Impfen – kleiner Pieks, große Wirkung

Dr. Anne Endmann

Infektionskrankheiten sind in den letzten Jahrzehnten insbesondere in Industrienationen durch den routinemäßigen Einsatz von Impfungen, einen höheren Lebensstandard und verbesserte Hygiene sowie durch den Einsatz von Arzneimitteln als Todesursache weit zurückgedrängt worden.<sup>1</sup>

Bis ins frühe 20. Jahrhundert haben schwere Seuchen auch Mitteleuropa heimgesucht. Aufgrund der Gewalt, mit der sie über die Bevölkerung hereinbrachen, wurden sie als schicksalhaftes oder göttliches Ereignis erachtet. Die Pocken, gefürchtet durch hohe Infektiosität und Sterblichkeitsraten sowie häufig schwere Spätfolgen bei den Überlebenden, waren über Jahrhunderte in Europa verbreitet und wurden durch die Kolonialisierung in alle Teile der Welt verschleppt. Auf dem Höhepunkt der Pockenepidemien im 18. Jahrhundert fielen jährlich etwa 400.000 Menschen der Krankheit zum Opfer.<sup>2</sup>

Auch wenn die Auslöser von Infektionskrankheiten bis ins 19. Jahrhundert nicht bekannt waren, haben die Menschen bereits vor Tausenden Jahren beobachtet, dass ein Überstehen der Erkrankung vor einer erneuten Ansteckung schützen kann. Aus dieser Beobachtung heraus wurden in China, Indien und der Türkei Verfahren der sogenannten Variolation (abgeleitet vom lateinischen Fachbegriff der Pocken, Variola) entwickelt. Hierbei wurde Material aus Pockenbläschen mild Erkrankter auf Gesunde übertragen, was in einer zumeist schwächer verlaufenden Infektion und darauf folgender Immunität resultierte.<sup>3</sup> Damit wurde das Prinzip der Impfung entdeckt. Mithilfe weiterentwickelter Impftechnologien, immer zahlreicherer Impfstoffe und ihrem breiten Einsatz gelang es, viele der einst so gefürchteten Erreger und

Erkrankungen deutlich einzudämmen oder, wie im Fall der Pocken, sogar gänzlich auszurotten.

## Geschichte des Impfens

Die oben beschriebene Variolation war eine durchaus erfolgreiche und anerkannte Behandlung, die sich im frühen 18. Jahrhundert zunächst in England und dann zunehmend auf dem europäischen Festland verbreitete. Die Schwierigkeit des Verfahrens bestand allerdings darin, dass eine behandelte Person zwar nur leicht erkrankte, aber dennoch hochgradig ansteckend war und daher von anderen Menschen isoliert werden musste. Noch schwerwiegender waren allerdings die damit verbundenen Risiken – die Pathogenität des Lebendimpfstoffs war nicht zu kontrollieren, wodurch etwa ein bis zwei Prozent der Geimpften starben<sup>5</sup>, ein für heutige Impfstoffe vollkommen inakzeptables Sicherheitsprofil.

Auf der Suche nach Alternativen für die Variolation wurde das Wissen genutzt, dass eine Infektion mit Kuhpocken – einer für den Menschen harmlosen Erkrankung – Schutz vor den gefährlichen Pocken bot.<sup>6</sup> So wurde die Impfung mit Kuhpocken von der Landbevölkerung in Deutschland und England gelegentlich empirisch betrieben. Doch erst der englische Landarzt Edward Jenner (1749 bis 1823) untersuchte die Methode vom wissenschaftlichen Standpunkt aus und belegte ihre Schutzwirkung, gleichwohl durch einen aus heutiger Sicht ethisch bedenklichen Menschenversuch. Er übertrug das Pustelsekret einer an Kuhpocken erkrankten Magd über einen Schnitt im Oberarm auf den achtjährigen Sohn seines Gärtners James Phipps. Die Methode wurde später als Vakzinierung (nach lateinisch vacca, Kuh) bekannt. Ihre Nebenwirkungen waren leichtes Fieber und Narben durch die Pustel-

bildung an den Impfstellen. Sechs Wochen später überprüfte Jenner den Erfolg seines Experiments, indem er Phipps mit echten Pocken infizierte. Der Junge blieb gesund, Jenner hatte bewiesen, dass die Impfung mit Kuhpocken einen wirksamen Schutz gegen die echten Pocken verlieh. Aufgrund dieser Wirksamkeit und der gemessen an den Folgen der Variolation geringen Nebenwirkungen verdrängte die Vakzinierung die Variolation in Europa bald völlig. Als Impfstoff wurde das Pustelsekret erkrankter Kühe oder geimpfter Kinder verwendet.

Nach der Gründung erster Impfanstalten Anfang des 19. Jahrhunderts in Deutschland verbreitete sich die Pockenimpfung allmählich in

der Bevölkerung. Eine umfassende Durchimpfung konnte durch das 1874 verabschiedete Impfgesetz erreicht werden, welches eine verpflichtende Erst- und Wiederholungsimpfung aller gesunden Kinder vorsah. Mittlerweile wurde das Impfvirus systematischer unter Verwendung künstlich infizierter Kälber hergestellt und auf eine definierte Konzentration eingestellt. Gegen Ende des 19. Jahrhunderts bestand in fast jedem Staat Europas eine Impfpflicht gegen Pocken. In der Folge nahm die Zahl der Erkrankten erheblich ab, so dass bis auf vereinzelte Fälle die Pocken in der westlichen Welt in den 1950er Jahren ausgerottet waren. Die Weltgesundheitsorganisation startete 1967 ein konsequentes, weltweites Impf- und Bekämp-

## i

### Wirkweise und Arten von Impfstoffen

Das Prinzip der Immunisierung liegt in einer Imitierung der natürlichen Infektion, so dass ein immunologisches Gedächtnis, aber keine Krankheit ausgelöst wird. Diese Nachahmung wird traditionell durch die Verwendung inaktivierter oder abgeschwächter Erreger als Impfstoffe erreicht, nicht selten aber auch durch Einzelbestandteile davon.<sup>4</sup> Die Erreger oder deren Bestandteile enthalten als Antigene bezeichnete molekulare Komponenten, die nicht vom eigenen Körper gebildet werden. Auf diese Weise wird dem Immunsystem eine Infektion mit gefährlichen Viren oder Bakterien vorgetäuscht und es zu Abwehrmaßnahmen angeregt, die bei einer späteren realen Infektion durch die Bildung von Gedächtniszellen eine rasche Reaktion ermöglichen. Lebendimpfstoffe enthalten gewöhnlich abgeschwächte Viren, die noch in menschliche Zellen eindringen, aber sich darin nicht mehr vermehren können. Beispiele hierfür sind der Masern-, Röteln-, Mumps-, und Pockenimpfstoff oder die früher auf einem Zuckerwürfel verabreichte Schluckimpfung gegen Kinderlähmung. Diese Impfstoffe bewirken zwar einen lebenslangen Schutz, können aber in sehr seltenen Fällen durch Mutationen ihre Virulenz wiedererlangen und die volle Erkrankung verursachen, vor der sie schützen sollen. Inaktivierte Erreger, die nicht mehr über die Fähigkeit zur Replikation verfügen, werden bei der saisonalen Grippeimpfung und bei der derzeit routinemäßigen Impfung gegen Kinderlähmung eingesetzt. Sogenannte „Subunit“-Impfstoffe wie gegen Hepatitis B oder Keuchhusten enthalten nur Bestandteile der Mikroben, die dem Immunsystem als fremdes Antigen präsentiert werden, um eine Antwort zu provozieren. Einige Bakterien setzen bei Infektionen gefährliche Toxine frei, die die Krankheitssymptome verursachen. Für die Toxoidimpfstoffe gegen Wundstarrkrampf und Diphtherie werden diese Toxine so inaktiviert, dass die antigene Wirkung erhalten bleibt und das Immunsystem zur Bildung von Antikörpern angeregt wird, die im Ernstfall einer Infektion die Toxine neutralisieren können.

fungsprogramm. In diesem Jahr wurden über 200.000 Erkrankungsfälle in 31 Ländern registriert, in denen die Pocken noch verbreitet waren.<sup>7</sup> Für die nötigen Massenimpfungen wurden gefriergetrocknete, hitzestabile Impfstoffe eingesetzt. Durch einen hohen Durchimpfungsgrad der Bevölkerung von über 95 Prozent sowie dichte Überwachung und Eindämmung von lokalen Ausbrüchen konnte die Infektkette dauerhaft unterbrochen werden. Die weltweit letzte natürliche Pockeninfektion wurde am 26. Oktober 1977 in Somalia detektiert und am 8. Mai 1980 verkündete die WHO offiziell die vollständige Ausrottung der Pocken.<sup>8</sup>



Abb. 1: Impfung des achtjährigen James Phipps mit Kuhpocken durch den Arzt Edward Jenner (14. Mai 1796)

Nicht nur durch die Fortschritte bei der Bekämpfung der Pocken war das 19. Jahrhundert bahnbrechend für die Erfolgsgeschichte der Impfung. Basierend auf den Erkenntnissen von Forschern wie Louis Pasteur, Robert Koch, Emil von Behring und Paul Ehrlich sowie befeuert durch die „Keimtheorie der Krankheitsentstehung“ wurden Impfstoffe gegen weitere Infektionskrankheiten entwickelt. So fand

Louis Pasteur 1881 einen Impfstoff gegen den Milzbrand.<sup>9</sup> Kurz darauf entwickelte Emil von Behring das erste Serum gegen Diphtherie und etwas später eine Impfung gegen Diphtherie. Die Diphtherie-Schutzimpfung gehört heute zu den Standardimpfungen für Säuglinge und trägt dazu bei, dass die Diphtherie, früher die Kinderkrankheit mit der höchsten Sterblichkeitsrate, heute in den entwickelten Ländern keine Rolle mehr spielt. Bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts folgten weitere heute routinemäßig eingesetzte Impfstoffe, unter anderem gegen Wundstarrkrampf, Keuchhusten, Influenza, Kinderlähmung, Masern, Mumps und Röteln.

Parallel zum wissenschaftlichen Fortschritt bei der Entwicklung neuer Impfstoffe wurden umfangreiche und bis heute immer komplexer werdende nationale und internationale Regelungen zur Überprüfung der Sicherheit und Wirksamkeit selbiger erlassen.<sup>10</sup> Diese Regelungen entstanden ursprünglich als Reaktion auf schwere Komplikationen oder gar Todesfälle nach der Anwendung von Impfstoffen. So wurde in den USA 1902 der sogenannte „Biologics Control Act“ beschlossen, nachdem mehrere Kinder an Wundstarrkrampf durch einen kontaminierten Impfstoff gegen Diphtherie gestorben waren.<sup>11</sup> Das Gesetz verlangte eine Zulassung und jährliche Inspektionen für Hersteller von Impfstoffen und kann als Ausgangspunkt für die Regulierung von Arzneimitteln durch die amerikanische Zulassungsbehörde FDA angesehen werden. Als Antwort auf die schwankende Qualität des von Emil von Behring entwickelten Serums gegen Diphtherie wurde 1896 in Deutschland das Paul-Ehrlich-Institut (PEI) gegründet, um Regelungen zur staatlichen Arzneimittelkontrolle zu entwickeln.<sup>12</sup> Seit 1972 prüft das PEI als Bundesoberbehörde Daten von Herstellern zur Qualität, Wirksamkeit und Unbedenklichkeit für die Zulassung von Impfstoffen. Im gleichen Jahr wurde auch die Ständige Impfkommision (STIKO) ins Leben gerufen, welche Empfehlungen zur Durchführung von Schutzimpfungen in Deutschland erarbeitet und regelmäßig prüft sowie aktualisiert.

### Bedeutung von Impfungen

Impfungen zählen zu den effektivsten und kostengünstigsten präventiven Maßnahmen der modernen Medizin.<sup>13</sup> Sie kosten sehr wenig, sind aber mit großem Nutzen für die Gesundheit der Bevölkerung verbunden. Zum drastischen Rückgang zahlreicher Infektionskrankheiten und insbesondere der Kindersterblichkeit im letzten Jahrhundert trugen – neben der allgemeinen Verbesserung der sozioökonomischen und hygienischen Bedingungen und der zunehmenden Verfügbarkeit von Antibiotika – Schutzimpfungen in hohem Maße bei. Nur der Zugang zu sauberem Trinkwasser hat global einen größeren Beitrag zur Bekämpfung von Infektionskrankheiten geleistet.<sup>14</sup> Impfungen retten nicht nur das Leben von weltweit geschätzt etwa 2,5 Millionen Menschen jährlich<sup>15</sup>, sie schützen auch weitere Millionen vor Krankheit und Behinderung. Damit verbunden

sind weltweite Einsparungen in Größenordnungen von zweistelligen Milliardenbeträgen durch eingesparte Behandlungskosten und Erhalt der Fähigkeit zur Bildung und Erwerbstätigkeit.<sup>16</sup>

Ein historischer Vergleich für die USA vor und nach der Einführung von nationalen Impfprogrammen zeigt beispielhaft den Nutzen der Impfung (Abbildung 2). Für Deutschland fehlen insbesondere für die alten Bundesländer verlässliche Daten vor Einführung der Meldepflicht durch das Infektionsschutzgesetz 2001, aber die in der DDR bzw. in den neuen Bundesländern erfassten Daten belegen den Rückgang von Erkrankungszahlen und Sterbefällen bei impfpräventablen Erkrankungen.<sup>17</sup> Eine Studie aus den Niederlanden belegt den wichtigen Einfluss von Impfstoffen auch vor dem Hintergrund der allgemein zurückgehenden Sterblichkeit.<sup>18</sup>

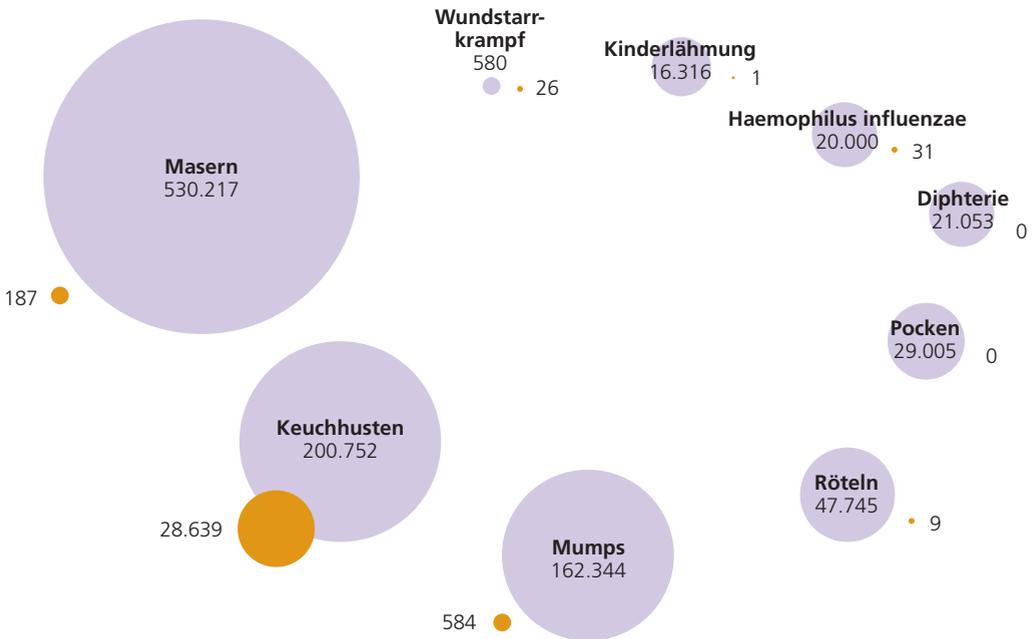


Abb. 2: Jährliche Fallzahlen ausgewählter Infektionskrankheiten in den USA vor und nach der Einführung eines Impfprogrammes. Die historischen Zahlen (in Lila) wurden für eine bestimmte Zeitspanne vor der Einführung einer entsprechenden Impfung bestimmt und gemittelt<sup>19</sup>, die aktuellen Daten (in Orange) beruhen auf den für 2013 gemeldeten Zahlen der amerikanischen Seuchenbehörde.<sup>20</sup>

Mit Schutzimpfungen soll der Einzelne vor einer Infektionskrankheit oder damit assoziierten Komplikationen geschützt werden. Diese individuelle Wirksamkeit („vaccine efficacy“) wird in klinischen Studien belegt. Die meisten Impfungen verfolgen aber noch ein weiteres Ziel: den Schutz der Bevölkerung vor Epidemien durch Reduzierung oder Verhinderung der Erregerübertragung.<sup>21</sup> Durch dieses als Herdenimmunität bekannte Prinzip sollen insbesondere Personen geschützt werden, bei denen aus medizinischen Gründen eine Impfung nicht durchgeführt werden kann, wie beispielsweise Säuglinge oder immungeschwächte Personen, oder solche, die keinen ausreichenden Impfschutz aufbauen wie ältere Menschen. Ein Gemeinschaftsnutzen setzt allerdings erst bei hohen Impfraten ein. Die Herdenimmunität hat auch Auswirkungen auf den Erfolg eines Impfprogrammes („vaccine effectiveness“). Epidemiologische Beobachtungsstudien erfassen diese Wirksamkeit von Impfstoffen im realen Leben, die nur bei ausreichender Akzeptanz gewährleistet ist.

Bei hohen Durchimpfungsraten der Bevölkerung können Krankheitserreger gar regional eliminiert werden oder weltweit ausgerottet werden, wenn der Mensch der einzige Träger ist. So konnte die Kinderlähmung dank weltweiter Impfkampagnen deutlich eingedämmt werden und manche Regionen wie Europa komplett davon befreit werden.<sup>22</sup> Die WHO hat bereits 1988 das Ziel erklärt, den Erreger der Kinderlähmung (Poliovirus) bis ins Jahr 2000 auszurotten, die Frist konnte allerdings nicht eingehalten werden. Derzeit gibt es noch drei Länder (Afghanistan, Nigeria und Pakistan), in denen das Virus zirkuliert und vereinzelte Fälle auftreten. Vor diesem Hintergrund ist es bedeutsam, die Impfbereitschaft in der Bevölkerung in erregerefreien Ländern zu sichern, damit im Falle einer Einschleppung die Verbreitung verhindert wird.

Impfungen leisten aber nicht nur einen direkten Beitrag zur Bekämpfung von Infektionskrankheiten. Impfstoffe gegen Hepatitis B und gegen Humane Papillomaviren können der Entstehung der assoziierten Krebserkrankungen Leberkrebs

und Gebärmutterhalskrebs vorbeugen.<sup>23</sup> Durch Verringerung des Bedarfs an Antibiotika können Impfstoffe gegen bakterielle Erreger außerdem helfen, der Entstehung und Verbreitung von Antibiotikaresistenzen vorzubeugen.

## Aktuelle und zukünftige Herausforderungen der Impfung

Gleichzeitig hat sich der Erfolg der Impfung jedoch als ihr größter Feind herausgestellt: Früher als bedrohlich erlebte Krankheiten verloren ihren Schrecken, viele Menschen haben dank wirksamer Impfprogramme die verheerenden Auswirkungen der durch Impfung vermeidbaren Krankheiten nicht mehr erlebt. Zudem werden die im Vergleich zu den häufig bestehenden Erkrankungskomplikationen seltenen Nebenwirkungen nach Impfungen deutlicher wahrgenommen, insbesondere da diese bei Gesunden erfolgen. Dies mindert die Akzeptanz von Impfungen und folglich gehen die Impfraten in der Bevölkerung zurück. Personen mit impfkritischen Einstellungen erreichen in (sozialen) Medien, im Internet und der Öffentlichkeit eine hohe und auch nachhaltige Aufmerksamkeit, während Berichterstattungen über drohende Grippeepidemien oder andere Krankheitsausbrüche die Impfraten nur vorübergehend steigern.<sup>24</sup>

Ein Beispiel aus der jüngeren Vergangenheit ist der Einbruch der Durchimpfung gegen Masern, Mumps und Röteln (MMR) um etwa 20 Prozent in England nach der Veröffentlichung einer Studie im Jahr 1998, die vermeintlich einen Zusammenhang zwischen dem MMR-Impfstoff und Autismus belegte.<sup>25</sup> Die Studie wurde erst 2010 nach umfangreicher Überprüfung durch Wissenschaftler und Kommissionen zurückgezogen, da sich Teile der Studie als fehlerhaft und später auch als manipuliert herausstellten.<sup>26</sup> Ein Zusammenhang zwischen der MMR-Imp-

fung und Autismus konnte nie nachgewiesen werden.<sup>27</sup> Das Misstrauen gegenüber dem Impfstoff war allerdings lange präsent, so dass die Impfraten erst heute wieder auf dem für das Erreichen einer Herdenimmunität benötigten Niveau liegen.

Tatsächlich ist die Kritik an Impfungen keine Erscheinung der letzten Jahre oder Jahrzehnte. Impfgegner oder -skeptiker gibt es beispielsweise in Deutschland schon seit der Einführung der Impfpflicht gegen Pocken.<sup>28</sup> Als Argumente wurden bereits damals die angeblich fehlende Wirksamkeit von Impfstoffen und beobachtete Nebenwirkungen genannt, zudem spielten religiöse Beweggründe eine Rolle. Heute sind schätzungsweise 3 bis 5 Prozent der deutschen Bevölkerung aus ähnlichen Gründen gegen Impfungen eingestellt. Impfungen werden als überflüssig, schädlich und interessengeleitet durch die Pharmaindustrie angesehen. Teilweise wird auch die Existenz von Krankheitserregern zurückgewiesen oder angezweifelt. Das Robert Koch-Institut und das PEI nehmen im Internet ausführlich Stellung zu den 20 häufigsten Einwänden gegen das Impfen<sup>29</sup>, um entsprechenden Sorgen zu begegnen und Informationsdefizite zu verringern. Für eine effektive Aufklärung und zur Weiterentwicklung der Impfprogramme werden valide Daten zu Häufigkeiten impfpräventabler Krankheiten und zu Impfnebenwirkungen erhoben und der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt.<sup>30</sup> Die Impfquoten sind in Deutschland zwar insgesamt hoch und seit Jahren steigend, aber eben teilweise niedriger als die von der WHO angestrebten Ziele.<sup>31</sup> Da impfkritische Einstellungen Impfprogramme ernsthaft gefährden können, ist es eine Herausforderung für die verschiedenen Akteure im Gesundheitswesen, diesen mit geeigneten Kommunikationsstrategien zu begegnen, um die Akzeptanz von Impfungen zu erhöhen.

Die WHO versucht seit 1974 durch das „Expanded Programme on Immunization (EPI)“ global den Zugang zu Impfstoffen insbesondere für Kinder zu verbessern. Seit Einführung dieses erfolgreichen Programmes ist die Abdeckung

von Routineimmunisierungen gegen Diphtherie, Wundstarrkrampf, Keuchhusten, Kinderlähmung und Masern weltweit von weniger als 5 Prozent auf über 85 Prozent gestiegen, und die Quote ist in vielen Entwicklungsländern genauso hoch wie in den Industriestaaten.<sup>32</sup> Gleichwohl werden immer noch etwa 20 Millionen Kinder weltweit jährlich nicht geimpft, daher ist es neben der Ausrottung von Kinderlähmung erklärtes Ziel der WHO, auch diese Lücken zu schließen.<sup>33</sup> Seit Einführung des EPI-Programmes sind auch eine Reihe weiterer Impfstoffe wie gegen Hepatitis B, Haemophilus influenzae type B, Rotavirus oder HPV in nationale Impfprogramme vieler Länder aufgenommen worden. Neu entwickelte Impfstoffe gilt es möglichst schnell auch in Entwicklungsländern einzuführen, da sie hier vermutlich den größten Impact haben. Für diese Länder wird es eine Herausforderung sein, die damit verbundenen Kosten zu schultern, trotz substanzieller Unterstützung durch die internationale GAVI Impfallianz.<sup>34</sup>

Es bleibt festzuhalten, dass die Entdeckung, Entwicklung und Einführung von Impfstoffen einen enormen Beitrag zur globalen Gesundheit geleistet hat und weiter leisten wird. Weltweit verursachen Infektionskrankheiten aber immer noch etwa 16 Prozent aller jährlichen Todesfälle. Ein Großteil sind auf AIDS, Tuberkulose und Malaria zurückzuführen. Trotz vielversprechender Fortschritte gibt es bisher keine wirksamen und sicheren Impfstoffe gegen die Erreger dieser Krankheiten.<sup>35</sup> Die Entwicklung neuer oder verbesserter Impfstoffe gegen diese und andere bisher nicht durch Impfung vermeidbare und auch neu auftretende Infektionskrankheiten ist ein wichtiges Ziel für die Zukunft. Hierfür können unter anderem neue Erkenntnisse in der Entstehung von Immunantworten, bessere Methoden zur Identifizierung schützender Antigene sowie neuartige Darreichungsformen genutzt werden.<sup>36</sup> Zukünftig sind aber auch Anwendungen von Impfstoffen über die Vorbeugung von Infektionskrankheiten hinaus zu erwarten: Das Feld der Immuntherapien macht Hoffnung für die Behandlung von Krebs, Alzheimer oder Diabetes.

- <sup>1</sup> World Health Organization (2018): Disease burden and mortality estimates 2000-2015 (Global summary estimates), World Health Organization [www.who.int/healthinfo/global\\_burden\\_disease/estimates/en/index1.html](http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/estimates/en/index1.html) [Zugriff am 23.3.2018].
- <sup>2</sup> Behbehani, A. M. (1983): The smallpox story: life and death of an old disease. *Microbiol. Rev.*, 47 (4), 455–509.
- <sup>3</sup> Gelderblom, H. (1996): Die Ausrottung der Pocken. *Spektrum der Wissenschaft* (6), 36–44.
- <sup>4</sup> Ada, G. (2001): Vaccines and Vaccination. *N Engl J Med* (345), 1042–1053.
- <sup>5</sup> Hajj Hussein, I. et al. (2015): Vaccines Through Centuries. Major Cornerstones of Global Health. *Frontiers in Public Health*, 3 (1), 1–16.
- <sup>6</sup> Gelderblom, H. (1996): Die Ausrottung der Pocken. *Spektrum der Wissenschaft* (6), 36–44.
- <sup>7</sup> Hajj Hussein, I. et al. (2015): Vaccines Through Centuries. Major Cornerstones of Global Health. *Frontiers in Public Health*, 3 (1), 1–16.
- <sup>8</sup> Fenner, Frank, Henderson, Donald A, Arita, Isao, Jezek, Zdenek, Ladnyi, Ivan Danilovich. et al. (1988): Smallpox and its eradication. World Health Organization: History of international public health (6), 1371–1409.
- <sup>9</sup> Hajj Hussein, I. et al. (2015): Vaccines Through Centuries. Major Cornerstones of Global Health. *Frontiers in Public Health*, 3 (1), 1–16.
- <sup>10</sup> Schwanig, M. (2002): Die Zulassung von Impfstoffen. Regelungen und Prozesse auf europäischer Ebene. *Bundesgesundheitsblatt* (45), 338–343. European Medicines Agency – Multidisciplinary – Multidisciplinary: vaccines. [www.ema.europa.eu/ema/index.jsp?curl=pages/regulation/general/general\\_content\\_000407.jsp&mid=WC0b01ac058002958b](http://www.ema.europa.eu/ema/index.jsp?curl=pages/regulation/general/general_content_000407.jsp&mid=WC0b01ac058002958b) [Zugriff am 26.3.2018].
- <sup>11</sup> Bren, L. (2006): The Road to the Biotech Revolution. Highlights of 100 Years of Biologics Regulation. *FDA Consumer magazine* (40), 50–57. [www.pei.de/DE/institut/geschichte/geschichte-node.html](http://www.pei.de/DE/institut/geschichte/geschichte-node.html) [Zugriff am 26.3.2018].
- <sup>12</sup> Erath, J. (2003): The global value of vaccination. *Vaccine*, 21 (7-8), 596–600.
- <sup>13</sup> Pollard, A. J. (2007): Childhood immunisation: what is the future? *Arch Dis Child*, 92 (5), 426–433.
- <sup>14</sup> World Health Organisation (2012): Global vaccine action plan 2011 - 2020. [www.who.int/immunization/global\\_vaccine\\_action\\_plan/GVAP\\_doc\\_2011\\_2020/en/](http://www.who.int/immunization/global_vaccine_action_plan/GVAP_doc_2011_2020/en/) [Zugriff am 26.3.2018].
- <sup>15</sup> Erath, J. (2003): The global value of vaccination. *Vaccine*, 21 (7-8), 596–600.
- <sup>16</sup> Meyer, C. et al. (2002): Über die Bedeutung von Schutzimpfungen. *Epidemiologie, Durchimpfungsraten, Programme. Bundesgesundheitsblatt* (45), 323–331.
- <sup>17</sup> Van Wijhe, M. et al. (2016): Effect of vaccination programmes on mortality burden among children and young adults in the Netherlands during the 20th century. A historical analysis. *The Lancet Infectious Diseases*, 16 (5), 592–598.
- <sup>18</sup> Roush, S. W. & Murphy, T. V. (2007): Historical comparisons of morbidity and mortality for vaccine-preventable diseases in the United States. *JAMA*, 298 (18), 2155–2163.
- <sup>19</sup> CDC (2017): Global Routine Vaccination Coverage, 2016. [www.cdc.gov/mmwr/volumes/66/wr/mm6645a3.htm#suggestedcitation](http://www.cdc.gov/mmwr/volumes/66/wr/mm6645a3.htm#suggestedcitation) [Zugriff am 26.3.2018].
- <sup>20</sup> Pfeleiderer, M. & Wichmann, O. (2015): Von der Zulassung von Impfstoffen zur Empfehlung durch die Ständige Impfkommission in Deutschland Kriterien zur objektiven Bewertung von Nutzen und Risiken. *Bundesgesundheitsblatt*, 58 (3), 263–273.
- <sup>21</sup> Wilyard, C. (2014): Polio. The eradication endgame. *Nature*, 507 (7490), S14-S15.
- <sup>22</sup> Andre, F. E. et al. (2008): Vaccination greatly reduces disease, disability, death and inequity worldwide. *Bulletin of the World Health Organization*, 86 (2), 140–146.
- <sup>23</sup> Meyer, C. & Reiter, S. (2004): Impfgegner und Impfskeptiker. Geschichte, Hintergründe, Thesen, Umgang. *Bundesgesundheitsblatt*, 47 (12), 1182–1188.
- <sup>24</sup> Wakefield, A. J. et al. (1998): RETRACTED. Ileal-lymphoid-nodular hyperplasia, non-specific colitis, and pervasive developmental disorder in children. *The Lancet*, 351 (9103), 637–641.
- <sup>25</sup> Deer, B. (2011): How the case against the MMR vaccine was fixed. *BMJ (Clinical research ed.)*, 342, c5347.
- <sup>26</sup> Demicheli, V. et al. (2012): Vaccines for measles, mumps and rubella in children. *The Cochrane database of systematic reviews* (2), CD004407.
- <sup>27</sup> Meyer, C. & Reiter, S. (2004): Impfgegner und Impfskeptiker. Geschichte, Hintergründe, Thesen, Umgang. *Bundesgesundheitsblatt*, 47 (12), 1182–1188.
- <sup>28</sup> RKI – Bedeutung von Impfungen – Antworten des Robert Koch-Instituts und des Paul-Ehrlich-Instituts zu den 20 häufigsten Einwänden gegen das Impfen. [www.rki.de/DE/Content/Infekt/Impfen/Bedeutung/Schutzimpfungen\\_20\\_Einwaende.html](http://www.rki.de/DE/Content/Infekt/Impfen/Bedeutung/Schutzimpfungen_20_Einwaende.html) [Zugriff am 26.3.2018].
- <sup>29</sup> RKI – Nebenwirkungen/Komplikationen. [www.rki.de/DE/Content/Infekt/Impfen/Nebenwirkungen/nebenwirkungen\\_node.html](http://www.rki.de/DE/Content/Infekt/Impfen/Nebenwirkungen/nebenwirkungen_node.html) [Zugriff am 26.3.2018].
- <sup>30</sup> Robert Koch-Institut. (2018): *Epidemiologisches Bulletin des Robert Koch-Instituts* (1).
- <sup>31</sup> CDC. (2017): Global Routine Vaccination Coverage, 2016. [www.cdc.gov/mmwr/volumes/66/wr/mm6645a3.htm#suggestedcitation](http://www.cdc.gov/mmwr/volumes/66/wr/mm6645a3.htm#suggestedcitation) [Zugriff am 26.3.2018].
- <sup>32</sup> World Health Organisation (2012): Global vaccine action plan 2011 - 2020. [www.who.int/immunization/global\\_vaccine\\_action\\_plan/GVAP\\_doc\\_2011\\_2020/en/](http://www.who.int/immunization/global_vaccine_action_plan/GVAP_doc_2011_2020/en/) [Zugriff am 26.3.2018].
- <sup>33</sup> Gavi, the Vaccine Alliance. [www.gavi.org/](http://www.gavi.org/) [Zugriff am 26.3.2018].
- <sup>34</sup> Bourzac, K. (2014): Infectious disease. Beating the big three. *Nature*, 507 (7490), S4-S7.
- <sup>35</sup> Greenwood, B. (2014): The contribution of vaccination to global health. Past, present and future. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 369 (1645), 20130433.

# Biobanken – eine sichere Investition in die Gesundheit?

Dr. Lisette Leonhardt

Medizinische Forschung und der damit verbundene Erkenntnisgewinn sind ohne den Zugang zu geeignetem Probenmaterial und den daraus resultierenden Daten nicht möglich. Die Sammlung, Konservierung und Langzeitlagerung von menschlichem Körpermaterial sowie die Verknüpfung mit den dazugehörigen Daten wird als Biobanking bezeichnet. Diese Informationen umfassen probenbeschreibende, klinische und auch sozioökonomische Daten, die miteinander verknüpft werden können. Dabei besteht eine Biobank aus drei wesentlichen Komponenten: dem biologischen Material und dessen Lagerung, den dazugehörigen Daten und deren Speicherung sowie der Expertise der beteiligten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter.<sup>1</sup>

Biobanken bilden die Grundlage für die klinische Forschung und damit für die Entwicklung innovativer Prognose-, Diagnose- und Therapiemöglichkeiten von Krankheiten. Neben den Forschungszwecken finden die Proben Anwendung in der klinischen Versorgung, wo sie unter anderem zur Prognose von konkreten Krankheitsverläufen eingesetzt werden. Neben klinischen Biobanken, die Proben von Patienten aus Krankenhäusern einlagern, bieten populationsbasierte (epidemiologische) Biobanken mit Proben ohne spezifischen Krankheitsbezug die Möglichkeit, systematische Analysen zur Entwicklung von Präventionsansätzen durchzuführen.<sup>2</sup> Sie haben daher auch für das öffentliche Gesundheitswesen eine große Bedeutung.

Obwohl sie mittlerweile eine unverzichtbare Rolle in der medizinischen Forschung einnehmen, rücken Biobanken nur langsam in die öffentliche Wahrnehmung. Zahlreiche Publi-

kationen in den letzten Jahren verdeutlichen die wachsende Bedeutung dieses Instruments, insbesondere für die personalisierte Medizin.<sup>3</sup> Was als Ausstellungsstück in einigen medizinhistorischen Museen und den Gefrierschränken einzelner Forscher an den Universitäten begann, hat sich mittlerweile zu zentralisierten, datenbankbasierten Forschungsinfrastrukturen entwickelt.

## Vernetzung und Qualitätssicherung als große Herausforderungen für die Nutzbarkeit von Biobanken

Die Vernetzung und Qualitätssicherung dieser Biobanken, die über den gesamten Globus verteilt sind, stellen große Herausforderungen dar und sind gleichzeitig eine absolute Notwendigkeit für deren uneingeschränkte Nutzung. Sogenannte virtuelle Biobanken bieten Forschenden aus Industrie und Akademia mittlerweile die Möglichkeit, spezifisch nach bestimmten Proben zu suchen und sich auszutauschen.<sup>4</sup> Dabei besteht auch die Möglichkeit, Daten bestimmter Proben, beispielsweise digitalisierte Gewebeschnitte, auszutauschen, ohne dabei die Probe selbst zur Verfügung zu stellen.

Humane Proben werden seit über 100 Jahren gesammelt und gelagert.<sup>5</sup> Die Lagerung erfolgt

dabei in der Regel bei sehr niedrigen Temperaturen. Auf diese Weise sind Proben jahrzehntelang konservierbar. Es kann sich dabei um Gewebeproben, Haare, Abstriche, Stuhl oder auch Körperflüssigkeiten wie Liquor, Sputum, Urin und Blut in Form von Plasma oder Serum handeln. Isolierte Komponenten wie beispielsweise Proteine oder Nukleinsäuren werden ebenfalls aufbewahrt.

So heterogen die Proben sind, so unterschiedlich sind die Möglichkeiten, um diese für die entsprechenden biochemischen oder histologischen Analysen vorzubereiten. Der Zeitabschnitt zwischen Probennahme und Analytik, die sogenannte prä-analytische Phase, stellt neben der eigentlichen Lagerung für die Qualität der Probe einen wichtigen Faktor dar. Verschiedene Variablen wie etwa die Handhabung während der Sammlung, die Temperatur, die Art des Probengefäßes und die Zentrifugationsgeschwindigkeit beeinflussen die chemische Zusammensetzung der Probe.<sup>6</sup> Da präanalytische Faktoren und der Umgang mit der Probe im Allgemeinen einen wesentlichen Einfluss auf deren Qualität haben, ist es notwendig, dass diese Informationen Teil der Metadaten zur Probe sind.<sup>7</sup>

Die meisten Proben wurden in der Vergangenheit zu Diagnose- und Therapiezwecken gesammelt. Diese sind nur beschränkt für die Forschung verwendbar, da sie in den allermeisten Fällen nicht standardisiert entnommen wurden und dementsprechend Daten bezüglich Verarbeitung, Lagerung und möglicher Auftauzyklen fehlen. Das Qualitätsmanagement ist daher einer der wichtigsten Faktoren, wenn die generierten Daten valide und reproduzierbar sein sollen. Reproduzierbarkeit ist eine fundamentale Voraussetzung für belastbare wissenschaftliche Ergebnisse. Eine ausreichende Anzahl an Proben mit vergleichbarer Qualität und der Verknüpfung der relevanten klinischen Daten ist nötig, um statistisch valide Aussagen treffen zu können. Aus diesen Gründen ist eine Standardisierung in allen Aspekten des Biobanking notwendig. Die im Jahr 2000 gegründete International Society of Biological and Environmental Repositories (ISBER) beschäftigt sich unter anderem mit der Etablierung gemeinsamer Standards und veröffentlicht in regelmäßigen Abständen Hinweise zu „Best Practice“ für den Umgang mit Proben und den dazugehörigen Daten.<sup>8</sup> Diese Gemeinschaft stellt ein globales Forum dar, das sich mit wissenschaftlichen,

## AUF DER SUCHE NACH DEM SCHATZ ...



technischen, ethischen und juristischen Aspekten des Biobanking beschäftigt und verfügt über ein eigenes Journal. Die Einführung eines Qualitätsmanagementsystems bietet eine Möglichkeit der Zertifizierung und wird von verschiedenen Biobanken bereits angewandt.<sup>9</sup>

Die Welt der Biobanken ist vielschichtig und heterogen. Sie sind über den gesamten Globus verteilt und haben sich dementsprechend auch unabhängig voneinander entwickelt. Derzeit existieren nach Angaben des Deutschen Biobankenregisters allein in Deutschland 128 Biobanken.<sup>10</sup> Neben unterschiedlichen Betreibern gibt es auch verschiedene Zwecke, die Biobanken erfüllen sollen. Es gibt Biobanken, die an Universitäten und Universitätskliniken oder Institute angegliedert sind und kommerzielle Biobanken pharmazeutischer oder biotechnologischer Unternehmen. Es existieren beispielsweise Biobanken, die sich auf die Einlagerung von Molekülen spezialisiert haben, die genetische Informationen speichern oder solche, die sich mit einer ganz konkreten Krankheit beschäftigen. Populationsbasierte Biobanken sind bereits in vielen Ländern etabliert. Darunter fallen Schweden, Dänemark, Großbritannien, Island, Lettland, Estland, USA, Kanada, Japan, Singapur und Südkorea. Auch in Deutschland werden seit 2014 im Rahmen der Nationalen Kohorte Proben und Daten von 200.000 Menschen gesammelt.<sup>11</sup> Je mehr Daten einer Probe zugeordnet werden können, desto umfangreicher sind die Analysemöglichkeiten, auch wenn dies nicht notwendigerweise automatisch zu mehr Erkenntnissen führt. Auf IT-Ebene gehen die großen Datenmengen mit einer ansteigenden Komplexität einher und erfordern ein umfassendes Datenmanagement.

Die Erkenntnis, dass der eigentliche Schatz in der Vernetzung und damit der Durchsuchbarkeit dieser Datenbanken liegt, hat zu deutlichen Anstrengungen auf nationaler und internationaler Ebene geführt, diese Datenbanken miteinander zu verknüpfen und soweit wie möglich einheitliche Standards zu schaffen. Dieses Ziel wird mittels unterschiedlicher Strategien verfolgt.<sup>12</sup>

Auf deutscher Ebene ist hier die zentrale Kooperationsplattform German Biobank Node zu nennen, welche die Interessen der deutschen Biobanken im europäischen Biobankennetzwerk BBMRI-ERIC (Biobanking and BioMolecular Resources Research Infrastructure – European Research Infrastructure Consortium) vertritt.<sup>13</sup> Das BBMRI-ERIC, das mittlerweile aus 19 Mitgliedsstaaten und einer internationalen Organisation (International Agency for Research on Cancer – IARC) besteht, ist eine paneuropäische Infrastruktur nationaler Biobanknetzwerke, die von den beteiligten Mitgliedsstaaten getragen wird.<sup>14</sup> Beispielsweise wurde in dem EU-Projekt „European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC)“ der Zusammenhang zwischen Lebensstil, Umweltfaktoren sowie Ernährung und der Häufigkeit von auftretenden Krebserkrankungen erforscht. Daran nahmen 23 Zentren aus 10 Ländern teil und sammelten dabei Proben und Daten von über einer halben Million Menschen.<sup>15</sup> Im globalen Kontext agieren die bedeutenden Forschungsinfrastrukturen International Society of Biological and Environmental Repositories (ISBER), das Public Population Project in Genomics and Society (P<sup>3</sup>G)<sup>16</sup> und die European, Middle Eastern & African Society for Biopreservation and Biobanking (ESBB).<sup>17</sup>

Eine zentrale Lagerung aller Proben an einem Ort ist nicht möglich, da diese beispielsweise noch für diagnostische Zwecke gebraucht werden. Virtuelle Datenbanken spielen in der Vernetzung daher eine Schlüsselrolle, da sie Forschern über eine Vielzahl von Biobanken gezielte Abfragen ermöglichen. Damit eine virtuelle Datenbank ihren Zweck erfüllt, müssen die Merkmale, die den Proben und dem Spender zugeordnet sind, im System auffindbar sein. Zugang erhält man über spezielle Software oder Webportale. Bezüglich des abfragbaren Informationsgehalts gibt es Unterschiede. Es existieren Biobanken, die lediglich aggregierte Daten, zum Beispiel über die Anzahl der Proben eines bestimmten Materialtyps zur Verfügung stellen oder solche, die Informationen auf Proben-ebene ermöglichen.<sup>18</sup>

Die Einrichtung von virtuellen Datenbanken ist eine komplexe Herausforderung und zudem ein enormer Kostenfaktor. Zur Etablierung eines einheitlichen Datenbanksystems ist die Erfüllung gemeinsamer Standards Voraussetzung. Dies umfasst ein gemeinsames, übergreifendes Datenmodell und entsprechende Transformationsregeln für die angebundenen Datenbanken. Es gibt verschiedene Strategien zur IT-technischen Umsetzung der Vernetzung von Biobanken, die verschiedene Kriterien wie Granularität der Daten, Speicherort oder Automatisierungsgrad unterscheiden.<sup>19</sup> Eine Hürde ist dabei die semantische Heterogenität der probenbeschreibenden Daten. Hinzu kommen regulatorische Angelegenheiten und datenschutzrechtliche Belange, die intranational, national und international unterschiedlich geregelt sind.

## Ethische und juristische Aspekte

Sobald Patienten oder Probanden Proben entnommen und medizinische Daten gespeichert werden, stellen sich ethische Fragen, die es zu beachten gilt. Im deutschen Recht hat jeder Mensch ein Recht auf (informationelle) Selbstbestimmung, Leben und körperliche Unversehrtheit. Damit geht einher, dass für jede Probennahme, unabhängig davon, ob diese zur Diagnostik, zur Forschung oder aber für beides genutzt werden soll, zuvor eine informierte Einwilligung („Inform Consent“) eingeholt werden muss. Diese kann jederzeit widerrufen werden. Dabei kann der Spender entscheiden, ob er über Ergebnisse, die relevant für seine Gesundheit sind, informiert werden möchte oder nicht. Die persönlichen Informationen, die in einer normalen Blutprobe stecken, sind unter Umständen nicht weniger sensibel als die, welche sich in der Patientenakte eines Menschen finden lassen, und können sogar darüber hinausgehen. So besteht die Möglichkeit, durch Messung bestimmter Stoffwechselzwi-

schensprodukte nachzuweisen, ob bestimmte Medikamente eingenommen wurden oder ob ein Risiko für spezifische Krankheiten vorliegt. Folglich sind Besonderheiten des Stoffwechsels eines Menschen erkennbar.

Auch die Tatsache, dass bei der Diagnose von Erbkrankheiten durch genetische Analysen neben dem Spender auch die Familienangehörigen unmittelbar betroffen sein können, verkompliziert das ethische und juristische Geflecht. Der Datenschutz spielt demnach in diesem Zusammenhang eine besondere Rolle, da es sich hierbei um sehr sensible Informationen handelt, die vor Missbrauch geschützt werden müssen. Sorge um den Schutz der Daten und einer damit verbundenen Möglichkeit zur Diskriminierung oder Stigmatisierung können ein Grund für Verunsicherung oder Misstrauen gegenüber Biobanken sein.<sup>20</sup>

So gibt es eingelagerte Proben, die beispielsweise der eigenen Verlaufskontrolle und Therapieempfehlung von Krankheiten dienen sollen, jedoch besteht bei der Sammlung von Proben zu reinen Forschungszwecken in der Regel kein direkter Nutzen für den Spender. Das Interesse und das Verständnis für die Notwendigkeit der Unterstützung von Biobanken für die medizinische Forschung sollten daher sowohl im Sinne der Forschungsgemeinschaft als auch der Gesellschaft sein. Die geschilderten ethischen und juristischen Aspekte haben dazu geführt, dass sich auf nationaler Ebene verschiedene Institutionen wie der Deutsche Ethikrat<sup>21</sup>, der Deutsche Bundestag<sup>22</sup>, der Bundesrat<sup>23</sup> oder die Bundesärztekammer<sup>24</sup> mit dem Thema auseinandergesetzt haben. Ein Gesetz für Biobanken existiert noch nicht, jedoch wird der Bedarf eines solchen Gesetzes auf verschiedenen Ebenen seit einiger Zeit diskutiert. Im Jahr 2015 hat eine Gruppe von Rechtswissenschaftlern den Augsburg-Münchener-Entwurf eines Biobankengesetzes vorgelegt. Dieser Gesetzentwurf, für dessen Regelungen eine Bundeskompetenz besteht, schlägt einen einheitlichen Rechtsrahmen im Umgang mit Biobanken vor.<sup>25</sup> Aufgrund der Heterogenität in Bezug auf Betrieb und Nut-

zung ergibt sich zwangsläufig eine komplexe Rechtslage, bei der auch geltendes EU-Recht beachtet werden muss.

Im Hinblick auf die Spendenbereitschaft eines jeden Einzelnen, welche eine Grundlage für das Betreiben und den Nutzen von Biobanken und damit für den medizinischen Fortschritt darstellt, spielen die Aufklärung der Öffentlichkeit sowie Transparenz eine essenzielle Rolle.<sup>26</sup> Dieser Umstand und die Tatsache, dass der Großteil der Publikationen in diesem Bereich für den Wissenschaftsbetrieb und für Biobankenbetreiber verfasst wurde, hat die deutsche Bundesärztekammer als Anlass genommen, 2017 eine Bekanntmachung durch ihren wissenschaftlichen Beirat erstellen zu lassen.<sup>27</sup> Diese soll in der Klinik tätige Ärzte in der direkten Kommunikation mit den Patienten unterstützen. Sie informiert über wesentliche Aspekte wie Nutzen und Risiken sowie ethische und juristische Aspekte. Dieses Papier wurde vom interdisziplinär besetzten Arbeitskreis „Biobanken“ erstellt und zeigt ein weiteres Mal, dass die Vernetzung und Zusammenarbeit der verschiedenen Disziplinen in Klinik und Forschung absolut notwendig ist.

## Anwendungsbeispiele für die Nutzbarkeit von Biobanken

Biobanken finden Anwendung in der Grundlagenforschung, der personalisierten Medizin, den Lebenswissenschaften, der Biomarker- sowie der Medikamentenentwicklung. Sie sind daher gleichsam ein zentraler Faktor für das öffentliche Gesundheitswesen. Das Potenzial der Forschung geht dabei weit über die Optionen hinaus, die im Rahmen einzelner Projekte beantwortet werden können. Die Möglichkeit, Zusammenhänge zwischen genomischen und metabolischen Veränderungen bei Erkrankungen und Umweltbedingungen sowie Ernährungs- und Lebensweisen herzustellen, ist die

Grundlage für die personalisierte Medizin. Diese zielt darauf ab, für jeden einzelnen Patienten die nach den vorhandenen individuellen Gegebenheiten optimale Prävention oder Therapie zur Verfügung zu stellen. In der Pharmakogenetik werden für die Vorhersage der Wirkung von Medikamenten genetische Daten genutzt.

Große Bedeutung hat diese Vorgehensweise in der Onkologie. Beispielsweise differenzieren sich verschiedene Krebsarten wie Lungenkrebs oder Pankreaskrebs auf molekularbiologischer Ebene in eine Vielzahl von Subtypen, die einer unterschiedlichen Therapie bedürfen. Die Patientenkollektive der einzelnen Subtypen verkleinern sich entsprechend, so dass für klinische Studien die Vernetzung unter den Zentren essenziell ist, um entsprechend große Gruppen für statistisch valide Analysen zu erhalten. Dies ist auch für Patienten mit seltenen Erkrankungen von Relevanz. Nicht zuletzt bei der Medikamentenrepositionierung, bei der für bereits bekannte Wirkstoffe neue Anwendungen identifiziert werden, spielt die systematische Analyse der Prozesse auf verschiedenen Ebenen eine wichtige Rolle, um die Wirkung besser zu verstehen.

Ein weiterer Forschungszweig, der von Biobanken stark profitiert, ist die Systembiologie. Mittels der sogenannten „Omics-Technologien“ werden auf verschiedenen Ebenen (Gene, Proteine, Metaboliten) Daten erhoben, um die molekularen und chemischen Vorgänge in ihrer komplexen Gesamtheit zu verstehen. Die Integration dieser Daten ermöglicht es besser zu verstehen, wie sich biochemische Prozesse gegenseitig regulieren und miteinander in Wechselwirkung stehen. Davon profitieren insbesondere multifaktorielle Krankheiten.

Die Epidemiologie, die sich populationsübergreifend mit gesundheitsbezogenen Zuständen befasst, profitiert ebenfalls von der großen Anzahl verfügbarer Proben und deren Daten. Durch die Konservierung der Proben ist es sogar möglich, den Verlauf von Krankheiten generationenübergreifend zu untersuchen. Der

technische Fortschritt könnte in Zukunft Analysen ermöglichen, die zum Zeitpunkt der Einlagerung noch nicht zur Verfügung standen. So kann der Spender gegebenenfalls auch Jahre nach der Abgabe der Probe am medizinischen Fortschritt teilhaben beziehungsweise diesen unterstützen.

## Biobanken als Grundlage für die Gesundheitsforschung

Das Wissen über molekulare und umweltbedingte Grundlagen menschlicher Erkrankungen auszubauen, um Diagnose und Behandlung zu verbessern, ist sowohl für die medizinische Forschung als auch für die Gesellschaft essenziell. Biobanken stellen dafür heute und in Zukunft eine wichtige Grundlage dar. Die komplexe

Infrastruktur der Biobanken und die damit verbundenen Anforderungen bedürfen einer interdisziplinären Zusammenarbeit. Da Proben und Daten von Spendern die Basis für den Betrieb von Biobanken bilden, kommt es hier zu direkten Berührungspunkten von Forschung und Gesellschaft. Die Förderung des individuellen und kollektiven Vertrauens in solche wissenschaftlichen Infrastrukturen ist daher von fundamentaler Bedeutung. Die Umsetzung möglicher Regelungen wird auf politischer, wirtschaftlicher, technischer und sozialer Ebene diskutiert. Die im Zuge der Einlagerung erhobenen patientenbezogenen Daten und die damit verbundenen ethischen und juristischen Aspekte werfen Fragen bezüglich der Risiken auf. Biobanken finden sich daher im Spannungsfeld zwischen Medizin, Informationstechnologie und Ethik wieder und sind ein Beispiel dafür, dass die enge, internationale Verzahnung zwischen den einzelnen Disziplinen unerlässlich für Innovation und Fortschritt sind.

- <sup>1</sup> P. Holub, M. Swertz, R. Reihls, D. van Enckevort, H. Müller und J.-E. Litton (2016): BBMRI-ERIC Directory: 515 Biobanks with over 60 Million Biological Samples. In: *Biopreservation and Biobanking*, 2016, pp. 559–562, 6.11.2016.
- <sup>2</sup> M. Hummel, C. Rufenach (2015): Biomaterialbanken als Grundlage für die Entwicklung genetisch basierter Präventionskonzepte. In: *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz*, 2015, pp. 127–130.
- <sup>3</sup> J. Kinkorová (2016): Biobanks in the era of personalized medicine: objectives, challenges, and innovation. In: *EPMA Journal*, 22.2.2016.
- <sup>4</sup> Y. De Souza und J. Greenspan (2013): Biobanking Past, Present, Future: Responsibilities and Benefits. In: *AIDS*, 2013, pp. 303–312, 28.1.2013.
- <sup>5</sup> Y. De Souza und J. Greenspan (2013): Biobanking Past, Present, Future: Responsibilities and Benefits. In: *AIDS*, 2013, pp. 303–312, 28.1.2013.
- <sup>6</sup> F. Betsou, R. Barnes, T. Burke, D. Coppola, Y. DeSouza, J. Eliason, B. Glazer, D. Horsfall, C. Kleeberger, S. Lehmann, A. Prasad, A. Skubitz, S. Somiari- und E. Gunter (2009): Human Biospecimen Research: Experimental Protocol and Quality Control Tools. In: *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev*, 2009, pp. 1017–1025, 4.2009.
- <sup>7</sup> H. Moore, A. Kelly, S. Jewell, L. McShane, D. Clark und R. Greenspan, „Biospecimen Reporting for improves study quality,“ *Biopreserv Biobank*, 2011, pp. 9:57–70, 2011.
- <sup>8</sup> ISBER. [www.isber.org/?page=BPR&hhSearchTerms=%22best+and+practice%22](http://www.isber.org/?page=BPR&hhSearchTerms=%22best+and+practice%22).
- <sup>9</sup> D. E., K. Hampson, C. Bray, K. Dixon, W. Ollier und M. Yuille (2012): Selection and Implementation of the ISO9001 Standard to Support Biobanking Research Infrastructure Development. In: *Biopreservation and Biobanking*, 2012, pp. 132–167, 7.2.2012.
- <sup>10</sup> [www.biobanken.de](http://www.biobanken.de).
- <sup>11</sup> H.-E. Wichmann, R. Kaaks, W. Hoffmann, K.-H. Jöckel, K. H. Greiser und J. Linseisen (2012): Die Nationale Kohorte. In: *Bundesgesundheitsblatt*, 2012, 1.6.2012.
- <sup>12</sup> K. Lablans, D. Kadioglu, S. Mate, I. Leeb, H.-U. Prokosch und F. Ückert (2016): Strategien zur Vernetzung von Biobanken. In: *Bundesgesundheitsblatt*, 2016, pp. 373–378, 16.1.2016.
- <sup>13</sup> [www.GBN.de](http://www.GBN.de).
- <sup>14</sup> [www.bbmri-eric.eu](http://www.bbmri-eric.eu).
- <sup>15</sup> <http://epic.iarc.fr/>.
- <sup>16</sup> <http://www.p3g.org/>.
- <sup>17</sup> <https://esbb.org/>.
- <sup>18</sup> K. Lablans, D. Kadioglu, S. Mate, I. Leeb, H.-U. Prokosch und F. Ückert (2016): Strategien zur Vernetzung von Biobanken. In: *Bundesgesundheitsblatt*, 2016, pp. 373–378, 16.1.2016.
- <sup>19</sup> Ebd. K. Lablans et al. (2016)
- <sup>20</sup> Nationaler Ethikrat (2004): *Biobanken für die Forschung – Stellungnahme*. Berlin: Saladruck.
- <sup>21</sup> Deutscher Ethikrat (2010): *Humanbiobanken für die Forschung – Stellungnahme*. Berlin.
- <sup>22</sup> Deutscher Bundestag (2006): *Drucksache 16/5374, TA-Projekt: Biobanken für die humanmedizinische Forschung und Anwendung*. Berlin.
- <sup>23</sup> Bundesrat (2009): *Beschluss des Bundesrates vom 15.5.2009, Drucksache 374/09*.
- <sup>24</sup> F. Montgomery, P. Scriba, M. Dietel und B.-M. Kurth (2017): *Medizinische, ethische und rechtliche Aspekte von Biobanken*. In: *Deutsches Ärzteblatt*, 2017, 15.12.2017.
- <sup>25</sup> U. Gassner, J. Kersten, M. Lindemann, J. F. Lindner, H. Rosenau, B. Schmidt am Busch, U. Schroth und F. Wollenschläger (2015): *Biobankgesetz Ausburg-Münchner-Entwurf (AME-BiobankG)*. Tübingen: Mohr Siebeck, 2015.
- <sup>26</sup> Ebd. F. Montgomery et al. (2017)
- <sup>27</sup> Ebd. F. Montgomery et al. (2017)

# Kommunikation immer und überall

Dr. Jan Wessels

Von Bahnfahrern sind häufig drei Standardklagen zu hören. Zumeist wird über die schon chronische Unpünktlichkeit der Bahn lamentiert, oft gefolgt vom einem heftigen Kopfschütteln darüber, dass Waggon wohl nie eine angenehme Reisetemperatur erreichen, sondern entweder im Sommer auf tropische 38 Grad aufgeheizt oder im Winter aufgrund ausgefallener Heizungen auf 15 Grad und kälter heruntergekühlt sind. Und schließlich folgt die lautstarke Klage darüber, dass Mitreisende, kaum an ihren Plätzen angekommen, den Daheimgebliebenen eben diese unglaubliche Wendung ihres Schicksals telefonisch mitteilen müssen. Und nicht selten in einer Lautstärke, dass das gesamte Großraumabteil diese Erfahrungen teilen darf. Erlebbar ist dies seit gut 25 Jahren – dank der Segnungen der fernmündlichen Kommunikation, der Fortschritte der modernen Informationstechnologie mit den ersten mobilen Telefonen und natürlich dank der neuesten Entwicklungen in Sachen Smartphone.

Innovationen sind heute in aller Munde. Und vieles, was neu ist, wird sogleich als Innovation gesehen. Innovation gilt als Voraussetzung für Wachstum und Wohlstand, für die Lösung gesellschaftlicher Herausforderungen und für ein leichteres, besseres Leben. So sah es der österreichische Nationalökonom Joseph Alois Schumpeter, der den Begriff der Innovation aus der Wirtschaftswissenschaft heraus einem breiteren Publikum bekannt machte. Für ihn waren Innovationen das Neue, das sich im Markt gegen das Alte durchsetzt und dabei möglicherweise auch zerstörerische Wirkung entfalten kann. Das Neue muss dabei nicht unbedingt das objektiv Bessere sein, Neuigkeit kann auch für sich genommen schon ein Grund für Markterfolg sein, wenn das Alte, Hergebrachte seinen Reiz verloren hat. Dies zeigt sich gerade im

Konsumgüterbereich und in der Lebensmittelindustrie, wo viele Innovationen oder neue Produkte nicht wirklich besser als die alten sind, sondern ganz einfach anders – und damit neu. Zumeist aber ist tatsächlich das Bessere der Feind des Guten; Produkte mit anderen, vermeintlich neuen Eigenschaften werden eher gekauft als die alten. Ob diese neuen Eigenschaften dann tatsächlich einen Zusatznutzen für den Käufer oder die Käuferin darstellen, liegt im Auge der jeweiligen Betrachter.

Vor einiger Zeit hätte man mit Blick auf diese Entwicklung aber nicht unbedingt von Innovationen gesprochen, sondern von Fortschritt. Der technische Fortschritt war der Motor, der die Menschheit voran brachte. Diesem Verständnis lag auch ein übergreifendes Konzept der Menschheitsgeschichte zugrunde, wonach sich die Menschheit immer weiter entwickelte, sozusagen der Sonne und dem Licht entgegen. Der Fortschrittsbegriff klingt für viele heute etwas „altbacken“, aber die Idee vom Fortschritt durch Innovation ist doch immer noch fest verwurzelt. Manchmal aber, und dafür soll dieser Beitrag sensibilisieren – kann Innovation auch das Gegenstück zu Fortschritt bedeuten, nämlich Stabilität, Konstanz, Gleichgewicht. Manchmal brauchen wir das Neue dazu, um alte Gewohnheiten beizubehalten, um bestehende Bedürfnisse weiterhin zu befriedigen, auch wenn sich die Umstände deutlich gewandelt haben.

## Unser Bedürfnis nach Nähe und Kommunikation

Eines dieser konstitutiven Bedürfnisse des Menschen ist das Bedürfnis nach Kommunikation. Es hat sich faktisch kaum etwas daran verändert, dass der Mensch kommunizieren will – und zumeist innerhalb einer kleinen Gruppe

fester Bezugspersonen. Geprägt ist dies durch unsere Geschichte, in der der oder die Einzelne für eine ziemlich lange Zeit der Menschheitsgeschichte in kleinen Gruppen eng beieinander lebte und viele Möglichkeiten hatte, sich im Tagesverlauf und am Abend miteinander kontinuierlich auszutauschen. Jedes Mitglied dieser Gruppe war persönlich bekannt, und über die anderen Gruppenmitglieder und/oder ihre Erlebnisse zu reden war wohl ein wesentlicher Inhalt der Kommunikation; auch weil sich das Leben in früherer Zeit vergleichsweise langsam veränderte. Wir modernen Menschen des 21. Jahrhunderts sind alle das Ergebnis dieser Entwicklungsgeschichte und in vielen Punkten stärker durch die Lebensbedingungen der letzten Jahrtausende geprägt als durch die letzten 50 Jahre.

Denn nach wie vor kommunizieren wir, trotz aller Skalierungsmöglichkeiten der Informations- und Kommunikationstechnologien, in erstaunlich kleinen Gruppen und Zusammenhängen. Dabei ließe der Entwicklungspfad von der frühzeitlichen in unsere heutige post-moderne Zeit auch auf anderes schließen. Denn in höchster Dynamik hat sich die Welt dramatisch verändert. Mehr als die Hälfte der Weltbevölkerung lebt heute in Städten, wovon einige gigantisch groß geworden sind. Mittlerweile gibt es weltweit bereits 36 sogenannte Megacities, also Städte mit mehr als 10 Millionen Einwohnern. Aber nur weil die potenzielle Gruppengröße von Kommunikationsteilnehmern und -teilnehmerinnen und die Kommunikationsdichte um ihn herum signifikant gewachsen sind, wächst nicht unbedingt die Kontakt- und Kommunikationsfähigkeit des Menschen. Diese beschränkt sich dem Anthropologen Robin Dunbar zufolge auf 150 Freunde und Bekannte, von denen man die Namen und die wesentlichen Beziehungen untereinander kennen kann, auch bezeichnet als Dunbar-Zahl. Mit solchen Gruppengrößen können wir alle ganz gut umgehen, Beziehungen aufbauen und pflegen, während Kontakte über diese Größenordnung hinaus schnell zur Herausforderung werden. Der Mensch ist also eher für das Zusammenleben in kleinen Gruppen gemacht.

Doch die Post-Moderne ist durch die Anonymität der Großstadt, unglaublich wachsende Informationsströme, eine hohe Mobilität des Einzelnen und stetig wachsende Durchlässigkeit sozialer Beziehungen geprägt. Tagtäglich begegnen wir einer Vielzahl uns völlig unbekannter Menschen. Jeder, der in einer Großstadt wie Berlin U-Bahn fährt, lernt diesen Zustand kennen und wird ihn mitunter als Überforderung wahrnehmen. So fasst etwa die neuste Modellreihe der Berliner U-Bahn laut eigenen Angaben 330 Personen, den Fahrgästen dürfte dies in Stoßzeiten als eher konservative Schätzung erscheinen. Aber auch engste Beziehungsgeflechte bieten immer seltener Kontinuitäten. Unsere heutigen Freiheiten und Perspektiven sowie erforderlichen Flexibilitäts- und Mobilitätsgrade bringen es mit sich, dass Freundschaften durchlässiger werden, Familienzusammenhänge sich auflösen oder durch Wegzug in andere Städte und Länder beachtliche Distanzen zu engen Freunden und Angehörigen entstehen. Immer seltener treffen wir also tatsächlich die Menschen, mit denen wir eigentlich Kontakt haben wollen.

Trotz alledem geht es uns in dieser Stresssituation erstaunlich gut. Ursächlich sind vor allem die vielzähligen Innovationen im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologien. Diese haben nicht die Kommunikation an sich verändert, sondern vor allem dazu beigetragen, das Bedürfnis nach Kommunikation auch bei sehr veränderten und sehr veränderlichen Lebensumständen zu befriedigen. Als Thurn und Taxis im Jahre 1490 das europaweite Postwesen begründete, war dies im Grunde keine Innovation. Eine ausgeprägte Briefkultur hatte es schon in der Antike gegeben. Aber erst das von Thurn und Taxis geschaffene Postwesen erzeugte ein derart dichtes Kommunikationsnetz, das einen schriftlichen Austausch über große Distanzen höchst effizient möglich wurde. Die kürzlich in das UNESCO-Weltdokumentenerbe aufgenommene, aus 15.000 Briefen bestehende Korrespondenz von Wilhelm Leibniz war für die damalige Zeit sicher eine Ausnahme, aber auch erst dank des Postwesens möglich gewor-

den. 1837 konstruierte Samuel Morse dann den Morsetelegraphen und schuf die Möglichkeit der globalen Kommunikation in Echtzeit, die mit dem ersten transatlantischen Tiefseekabel 1858 Wirklichkeit wurde. Bis Mitte der 1950er Jahre setzte sich das Telefon in den westlichen Industriegesellschaften als Mittel der fernmündlichen Kommunikation durch, 1973 stellte Motorola den ersten Prototyp eines Mobiltelefons her. Mitte der 1980er Jahre wurde die SMS eingeführt, 2007 das erste iPhone. WhatsApp und Slack erblickten 2009 das Licht der Welt.

Parallel dazu entwickelte sich auch die Verkehrstechnologie weiter, von der Kutsche zur Eisenbahn und vom Segelschiff über das Dampfschiff bis zum Interkontinentalflug. Die Menschen wurden mobiler und die Entfernung, die ein Mensch in seinem Leben zurücklegte, wurde größer. Zeitgleich wuchs die Bevölkerung und die Lebensräume, insbesondere Städte, verdichteten sich. Dies ließ die Dichte, Distanzen und die Geschwindigkeit der Kommunikation immer weiter steigen. Neue Kommunikationsmöglichkeiten machten eine breite Nutzung möglich – immer preiswerter und dadurch Stück für Stück praktisch überall, jederzeit und für jeden verfügbar. Zwischen 2014 und 2017 stieg der Anteil der Smartphone-Nutzer von 55 auf 81 Prozent.<sup>1</sup> Heute besitzen 57 Millionen Deutsche ein Smartphone – und 2,5 Milliarden Menschen weltweit. Und dieses nehmen die Nutzerinnen und Nutzer, laut einer

britischen Studie<sup>2</sup>, etwa 85-mal am Tag in die Hand, um es auf neue Meldungen zu checken (wobei sie auf Nachfrage eher vermuten, etwa halb so häufig auf das Smartphone zu schauen).

## Funktionen der Kommunikation

Der Siegeszug der modernen Überall-Kommunikation wurde begleitet von einem Dauerlamento, vor allem über die vermeintliche Verdrängung der direkten Kommunikation. Dauertelefonierer in der Bahn werden als Gemeinübel wahrgenommen, Kinder treffen Freunde nicht auf dem Spielplatz, sondern im Chat, Familienkommunikation am Mittagstisch wird durch die gemeinsame WhatsApp-Gruppe ersetzt und mit „Foodporn“, mit Schnappschüssen des eigenen Essens, die Selbstdarstellung in sozialen Medien angereichert.

Vergessen wird bei dieser Kritik, dass auch scheinbar grundlose Kommunikation eine soziale Funktion hat. Das vordergründig inhaltsleere Plaudern ist eine Art „akustischer Fellpflege“, die Zuneigung oder zumindest doch Zugewandtheit und in vielen Fällen auch das Einfordern von Aufmerksamkeit zeigt. Es kann so soziale Bindungen durchaus anbahnen, zumindest aber stärken und gegebenenfalls auch reaktivieren – über größte und kürzeste Distanzen hinweg.

Auch eher negativ wahrgenommene Kommunikation hat seine Funktion. Klatsch und Tratsch

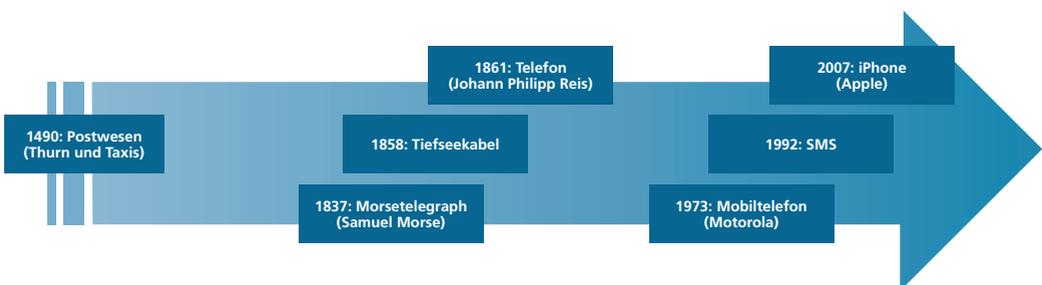


Abb.1: Zentrale Innovationen der Informations- und Kommunikationstechnologien im Laufe der Zeit

wirken als gesellschaftlicher Kitt und sind wichtiges Instrument sozialer Kontrolle. Selbst das Gerücht, schlecht beleumdet und als üble Nachrede sogar zu einer Sünde erklärt, erfüllt durchaus hilfreiche gesellschaftliche Funktionen. Es ist seit jeher der schnellste Kanal der Informationsübertragung und wird heute durch die Möglichkeiten sozialer Medien geradezu zum „Turbo“ der Informationsverbreitung. Natürlich sind nicht alle Informationen, die in der Gerüchteküche der sozialen Netzwerke entstehen, objektive Beschreibungen der Realität. Der Anteil des „weißen Rauschens“, also belanglose Unwichtigkeiten oder falsche Informationen, ist sehr hoch; und nicht selten werden Gerüchte auch gezielt gestreut und interessengeleitet verstärkt.

Ähnlich verhält es sich mit der Angleichung von Weltbildern und Meinungen, die heute schnell und abwertend als Filterblase beschrieben wird. Sie ist weder neu noch ohne soziale Funktion. Eine gemeinsame Weltsicht ist eine wichtige Voraussetzung für Solidarität und gemeinsames Handeln. Wichtigkeit bemisst sich nicht allein anhand objektiver Kriterien, sondern auch entlang der Einschätzungen der eigenen Meinungs-„peers“. Schon die politischen Zeitungen der Arbeiterbewegung sollten für ein gemeinsames Bild auf die Welt sorgen. Gleiches taten die konservativen Medien und vermieden es aktiv, ihre Leser zu einem Blick über die Grenzen der eigenen Meinung hinweg zu motivieren. Offen und neugierig auf die Argumente und Positionen des sprichwörtlichen Anderen zu schauen, war auch in der Welt der traditionellen Medien eher selten. Leser und Leserinnen der Zeitung „Die Welt“ kauften und kaufen sich wohl nur im Notfall eine Ausgabe der „taz“ – und umgekehrt.

### Das Smartphone als Instrument der Überall-Kommunikation

Ob Smalltalk, Tratsch oder echter Meinungsaustausch: Die zentrale Innovation, die heute diese unterschiedlichen Varianten von Kommunikation ermöglicht und damit zur kommunizierenden Nabelschnur wird, die uns mit unseren Freunden und unserer Familie dauerhaft ver-

bindet, ist das Smartphone. Quasi schon zum Körperteil geworden, ist es stets dabei und allgegenwärtig, darf alles sehen und hören, was auch wir sehen und hören. Es kennt unsere Vitalparameter, unsere Vorlieben, unsere Gewohnheiten und jederzeit unseren Aufenthaltsort. Als unser Auge, unser Ohr und unser Mund für die Wahrnehmung und den Austausch mit der Außenwelt wird es so nicht nur zum digitalen Abbild unserer physischen, sondern auch unserer psychischen Präsenz.

Unsere postmoderne Welt, die kein Nah und Fern, dafür nur ein Jetzt und Gleich kennt, macht aber genau dies erforderlich. Erreichbarkeit wird immer weniger eine Frage der Entfernung, sondern immer mehr der zeitlichen Verfügbarkeit und unmittelbaren Reaktionsfähigkeit. Postalische Korrespondenzen im Wochenrhythmus oder Festnetztelefonate in den eigenen vier Wänden verzögerten Kommunikation oder beschränkten sie auf konkrete Orte. Jetzt ist Kommunikation überall möglich und wird entsprechend abverlangt. Das Smartphone macht sie so zum beständigen Strom und schafft eine hohe soziale Interaktion auch über große Distanzen hinweg. Wir sind fast zurückgekehrt in die vorindustriellen Zeiten der dörflichen Gemeinschaft.

Das schafft auch Raum für neue, digitale Innovationen. Findige Start-ups wie „nextdoor“ oder „nebenan.de“ erzeugen virtuell dort Kommunikations- und Interaktionsstrukturen, wo vorher keine bestanden oder nicht funktionierten. Mit den Möglichkeiten digitaler sozialer Medien wird mitten in der Anonymität der Großstadt eine digital vernetzte Nachbarschaft geschaffen, in der reale Alltagsgegenstände verschenkt oder getauscht, kleine Dienstleistungen angeboten und gemeinschaftliche Aktivitäten innerhalb weniger Straßenzüge geplant werden können. So lernen wir nicht nur die Nachbarn im Hausaufgang, sondern auch in den Straßen der Umgebung kennen und schließen vielleicht neue Freundschaften. Der städtische Kiez wird zum Dorf – und Dörfer finden zu neuer Gemeinschaft.

Bei allen Vorzügen, die Innovationen zur Kommunikation des Menschen schaffen, bringen sie auch eine Reihe von Schattenseiten eines „dörflichen“ Lebens in kleinen sozialen Gruppen mit sich. Der soziale Druck zu Anpasstheit und Konformität steigt, die Filterblase führt dazu, dass unser Bild der Welt dem unserer Facebook-Freunde gleicht. Wir liken und bewerten uns beständig gegenseitig, wir setzen uns permanent der Einordnung unseres sozialen Status durch unsere digitalen „Freunde“ aus. Das Versprechen der Moderne von der Lösung der Fesseln, die uns unsere überkommene soziale Herkunft auferlegt hatte, wird nicht mehr eingelöst. Zwar wird der familiäre Hintergrund weniger wichtig, dafür definiert unsere Timeline unseren digitalen Status. Nicht einmal die Anonymität der Großstadt, in der jeder (innerhalb gesetzlicher Grenzen) machen kann, was er will, ist heute noch verlässlich. Im Gegenteil: Anonymität ist sogar durch die breiten Datenspuren, die jeder von uns täglich hinterlässt, unmöglicher denn je. Die allumfassende digitale Vermessung und Beobachtung unseres Lebens schließlich verschärft den sozialen Wettbewerb zwischen allen.

Innovationen im Bereich der Kommunikation sind also Voraussetzung, um die psychischen Anfeindungen der Moderne überhaupt auszuhalten. Sie ermöglichen soziale Nähe und ein Leben in virtuellen Kleingruppen, sie machen erst frei für die hohen Mobilitätsanforderungen und die hoch individuellen Lebensentwürfe in modernen Gesellschaften. Sie bringen dabei allerdings Licht- und Schattenseiten des dörflichen Lebens zurück in die Wirklichkeit unseres großstädtischen Lebens. Sie führen uns vor Augen, dass wir Menschen soziale Wesen sind und ohne dichte soziale Interaktion nicht leben können.

Innovationen in der Kommunikationstechnologie haben unser Leben in diesem Sinne nicht wirklich radikal verändert. Sie haben uns vielmehr ermöglicht, uns an radikal veränderte Umweltbedingungen anzupassen und dabei weiter ein Leben zu führen, wie wir es immer geführt haben und immer führen werden. Als Menschen, die am liebsten in einem engen sozialen Umfeld abzählbar vieler Freunde und Familienangehöriger leben und mit diesen in engem Kontakt und Austausch stehen. Im Zweifel auch virtuell.

<sup>1</sup> BITKOM (2018): Smartphone-Markt: Konjunktur und Trends. Berlin. [www.bitkom.org/Presse/Anhaenge-an-Pls/2018/Bitkom-Prsekonferenz-Smartphone-Markt-22-02-2018-Prsentation-final.pdf](http://www.bitkom.org/Presse/Anhaenge-an-Pls/2018/Bitkom-Prsekonferenz-Smartphone-Markt-22-02-2018-Prsentation-final.pdf) [Zugriff am 26.4.2018].

<sup>2</sup> Sally Andrews et al. (2015): Beyond Self-Report: Tools to Compare Estimated and Real-World Smartphone Use. <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0139004> [Zugriff am 26.4.2018].

# Wie verändert Crowdsourcing die Gesellschaft?

Carolin Thiem

*Innovation ist, in einem Satz, der berechtigte Anlass für die Hoffnung, dass es besser wird. Der Beweis, dass die Zukunft existiert. Dass es einen Fortschritt gibt, eine Perspektive.<sup>1</sup>*

Die Zukunft existiert und sie wird nicht mehr dem Zufall überlassen. Waren es früher angeblich schillernde Einzelpersonen wie Thomas Edison oder James Watt, die in ihren Garagen durch ihre Erfindungen anscheinend wie zufällig bestehende Verhältnisse über Bord warfen, hat sich das Verständnis über die Entstehung von Innovationen in den letzten Jahren stark gewandelt. Erst wurde der Mythos des tüftelnden Alleingangs entmystifiziert und dann haben die Berichte zu Innovationslandschaften und Innovationsystemen die Vorstellung von einzelnen, rein technischen Innovationen abgelöst.

Seit den 2000er Jahren wird von einem Wandel des Innovationsparadigmas – von geschlossen hin zur offen zugänglichen Herstellung von Innovationen – gesprochen. Der Druck auf die Unternehmen durch die Globalisierung der Märkte und die vielen Möglichkeiten durch die neuen digitalen Technologien veränderten die Art zu denken in vielen Firmen. Das Forschen und Entwickeln hinter verschlossenen Türen erschien nicht mehr zeitgemäß. Zudem forderten immer mehr Konsumenten und Konsumentinnen Mitspracherechte. Dem Wunsch mitentscheiden zu können, wie beispielsweise das Produkt der Lieblingsmarke aussieht, wurde nach und nach stattgegeben. Gleichzeitig wurden Nutzer und Nutzerinnen, sogenannte Lead User<sup>2</sup>, durch das Internet sichtbar, die bereits allein an der Weiterentwicklung von Konsumprodukten und Technologien gearbeitet hatten.

Hier wurde erkannt, dass nicht mehr einzelne Forscherinnen und Forscher in den F&E Abteilungen die Zukunft sein werden, sondern eine interaktive Wertschöpfung benötigt wird. Nach und nach stiegen immer mehr Unternehmen auf diesen Zug auf und die Methoden, um diese Öffnung zielgerichtet zu gestalten, vervielfachten sich. Eine der wichtigsten und bekanntesten ist bis heute Crowdsourcing: Das Auslagern von Aufgaben an eine unbestimmte Menge potenzieller Zuarbeiter im Internet.<sup>3</sup> Outsourcing heißt dagegen, dass die Aufgabe an einen bestimmten Akteur, eine Firma oder einen Freelancer, abgegeben wird.

Das spannende Phänomen „Crowdsourcing“ samt seiner zahlreichen Anwendungsmöglichkeiten über den ökonomischen Sektor hinaus soll vorgestellt sowie die Diskussion der aktuellen Herausforderungen wiedergegeben werden. Crowdsourcing wird als Prozessinnovation verstanden, weil es neue interaktive Prozesse von Co-Produktion, Co-Kreation, Co-Marketing und auch Co-Funding hervorgebracht hat.

Die möglichen Aufgaben, die durch Crowdsourcing bearbeitet werden sollen, sind mittlerweile unüberschaubar geworden. Sie reichen von standardisierbaren Routinetätigkeiten, etwa Bewertungen von Videos oder Blogbeiträgen, für Unternehmen bis hin zu kreativen Arbeiten für Verwaltungen, Nonprofit-Organisationen oder Konzernen. Zu diesen Arbeiten gehören auch das Erarbeiten von Prototypen für komplexe Problemstellungen – zum Beispiel für aktuelle politische Herausforderungen auf lokalem oder globalem Niveau – oder kreative Designlösungen (wie neue Uhren und Schmuck-Designs

mit Swarovski-Steinen). Ebenso gestaltet es sich unterschiedlich, ob und wie die Beteiligten entlohnt werden. Die Spannweite beinhaltet kleine Beträge bei Routineaufgaben zum Beispiel bei Amazons Mechanical Turk, größere Geldpreise (Innocentive) oder gar keine monetäre, sondern allenfalls symbolische Entlohnung.

### Crowdsourcing ist überall

Crowdsourcing ist einstweilen in allen Branchen und gesellschaftlichen Teilbereichen angekommen. Das rasant wachsende Interesse an dieser Technologie in verschiedenen sozialen Feldern verweist nicht nur auf eine neue gesellschaftliche Thematisierung der Crowd, sondern ebenso auf neue Formen des Zugriffs auf Arbeits-, Kreativitäts- und Wissenskräfte. Eines der bekanntesten Beispiele aus dem Bereich Crowdsourcing ist Wikipedia, die digitale Wissensplattform, bei der die Weisheit der Vielen propagiert wird.<sup>4</sup> Wikipedia folgt dem Leitsatz von Levy<sup>5</sup>: „Wissen sei am genauesten, wenn es aus verschiedenen Quellen der Bevölkerung besteht“. Durch die Möglichkeit Beiträge einzustellen, zu bearbeiten und zu löschen wird die Demokratisierung der Wissensproduktion bei Wikipedia gelebt. Soziologische Untersuchungen geben aber Aufschluss darüber, dass auch bei dieser digitalen Community Hierarchieverhältnisse bestehen und eben nicht jede oder jeder beliebig Einträge bearbeiten und löschen kann.

Außerdem gibt es Projekte, bei denen die Teilnehmerinnen und Teilnehmer nicht wissen, dass sie Teil eines Crowdsourcings sind, wie bei ReCaptcha. Bei der Überprüfung von persönlichen Daten bei Online-Anbietern muss oft ein Feld mit Buchstaben und Zahlen entziffert werden. Diese Eingaben helfen alte Bücher zu digitalisieren, d. h. fast jede und jeder hat schon mal an einem Crowdsourcing-Projekt teilgenommen. Ein anderes Beispiel ist Duolingo, eine Plattform, auf der Sprachen gelernt werden können. Dort übersetzen die Nutzenden gleichzeitig Webseiten-Fragmente. Crowdsourcing dient demzufolge dazu, Schwarmintelligenz dann einzusetzen, wenn mit Computern nicht die gewünschten Ergebnisse erzielt werden können.

Die Medienwelt griff in den letzten Jahren auch immer öfter auf die Ideen der Crowd zurück. So initiierte ZDFneo 2012 den „Viewers Contest“. Bei diesem konnten Zuschauerinnen und Zuschauer Sendungsideen per Video dem Sender vorschlagen. Als Preis gab es beispielsweise die Teilnahme an einem Fernsehworkshop sowie die Möglichkeit ein Dreh-Set zu besuchen. ProSiebenSat1 startete 2010 sogar einen Wettbewerb namens „Brain Station“. Bei diesem waren Akteure aus der Kreativwirtschaft aufgerufen neue TV-Formatideen einzureichen. Das beste Konzept wurde laut Unternehmensmitteilung mit einem Preisgeld von 2.500 Euro vergütet.<sup>6</sup>

In der Wissenschaft werden Freiwillige im Internet beispielsweise zur Kategorisierung von Sternbildern wie Galaxy Zoo oder für Zellbildanalysen wie Cell Spotting rekrutiert. Diese Art der Beteiligung wird unter dem Begriff der Citizen oder Crowd Science zusammengefasst. Bürgerwissenschaftliche Projekte gibt es schon mehrere Jahre (zum Beispiel Vereine, deren Mitglieder Schmetterlinge sammeln und diese kategorisieren oder Initiativen zur Vogelbeobachtung) und ihre Anwendungsmöglichkeiten haben sich durch die Digitalisierung vervielfältigt. Heute werden durch einfache digitale Eingabemasken und Tutorials Nicht-Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler für die Bearbeitung der wissenschaftlichen Bilder wie Waldbedeckungskarten oder Zellbilder geschult. Oft ist die Aufmachung solcher Plattformen spielerisch gestaltet. Auch sehr angesehene, bekannte Forschungsinstitutionen nutzen die Crowd. Die US-amerikanische Raumfahrtbehörde NASA lässt beispielsweise origami-inspirierte, faltbare Strahlenschutzschilde entwickeln, mit denen Raumschiffe und Astronauten während der Reisen in die Tiefen des Alls geschützt werden sollen. Es können auf einer Plattform Designvorschläge eingereicht werden (DARPA – Defense Advanced Research Projects Agency). Crowd Science ist ein Zeitvertreib und kein aufwändiges Hobby mehr, zu dem man sich hinaus in die Natur begeben muss.

Ebenso entfällt durch diese Plattformen – im Gegensatz zu bürgerwissenschaftlicher Vereinstätigkeit – immer häufiger der kommunikative



hat.<sup>12</sup> Es springen auch Parteien auf den Citi-zensourcing-Zug auf: So startete die CSU Oberbayern 2013 unter dem Motto „Meine Zukunft Oberbayern: Bürger im Dialog“ die erste umfassende Bürgerbeteiligung einer Partei. Auf der Plattform wurde das Parteiprogramm diskutiert, Ideen für Inhalte abgefragt sowie Meinungen zu bestehenden Konzepten eingeholt. Die CSU war Vorreiter, in den letzten Jahren sind viele Parteien nachgezogen und versuchen aktiv ihre Basis digital bei Entscheidungen zu integrieren.

Andere Formen von Citizensourcing sind Plattformen wie der Maerker Brandenburg<sup>13</sup> oder die SmarticipateApp<sup>14</sup> in Hamburg. Über den Maerker (Plattform oder App) können Bewohnerinnen und Bewohner der Region Brandenburg negative Auffälligkeiten in ihrer Region melden. Das reicht von zu hoch gewachsenem Rasen auf einer Verkehrsinsel über eine kaputte Parkbank bis zum Wunsch nach einem Zebrastreifen in der Nähe einer Schule. Die Smarticipate App, ein derzeitiges Forschungsprojekt aus dem Bereich Smart City, geht sogar einen Schritt weiter. Bei diesem Projekt können Hamburgerinnen und Hamburger digital den Standort bestimmen, an dem ein neuer Baum gepflanzt werden soll. Dieser Vorschlag wird auf Basis der verfügbaren Infrastrukturdaten sofort online geprüft. Die App meldet zurück, ob der Standort geeignet ist oder ob der Vorschlag optimiert werden sollte. Durch diese Art der Beteiligung werden Prozesse vereinfacht, aber auch die Verantwortung von der kommunalen Verwaltung an die Bürgerinnen und Bürger übertragen.

Die oft gepredigte erhöhte Transparenz ist dabei nicht immer gegeben, denn die Hoheit über die Bearbeitung der Mängel oder ob tatsächlich ein Baum gepflanzt wird, obliegt immer noch der zuständigen Verwaltung. Digitale Beteiligungsformate werden in der Politik als Revolution gefeiert, da sich jetzt schnell, einfach und ohne großen Aufwand – verglichen zur Teilnahme an einer mehrtägigen Bürgerkonferenz – beteiligt werden kann. Studien sagen aber auch, dass die große Veränderung bisher ausgeblieben ist und sich wenig neue Akteure beteiligen.<sup>15</sup> Diese Aussage bezieht sich auf von Verwaltung oder Politik

initiierte Formate; die Durchschlagskraft von sozialen Medien bei Initiativen „von unten“ ist bei Citizensourcing-Formaten nicht bedacht.

### Die Rechte der Crowdworker

Wie gezeigt wurde, findet Crowdsourcing als Prozessinnovation vielseitig in allen gesellschaftlichen Teilbereichen Anwendung und beeinflusst die Innovationslandschaft. Wie jede Innovation bringt auch Crowdsourcing unentenderte Folgen mit sich. Crowdsourcing schafft Erwartungen an Flexibilisierung und Demokratisierung von Prozessen, aber auch eine neue Form von Arbeit. Aufgaben, die geringe oder eine spezifische Expertise wie Designkenntnisse benötigen, werden nicht mehr an das Personal weitergegeben, sondern über eine digitale Plattform an selbstständige Crowdworker ausgelagert. Die Arbeiter werden über die Plattform entlohnt. Arbeit wird demzufolge von digitalen Infrastrukturen reorganisiert.<sup>16</sup> Ein Argument für Crowdwork ist die Anonymität der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer. Auf den Plattformen für Microtasks sind dem Kunden demografische Daten wie Geschlecht, Alter, Bildungsgrad, ethnischer Hintergrund, Vorstrafenregister und sexuelle Orientierung meist nicht bekannt. Crowdwork bietet demzufolge einen Zugang zum Arbeitsmarkt für Menschen, die eventuell sonst Diskriminierungen ausgesetzt wären oder gar keine Beschäftigung finden würden.

Crowdwork als Soziale Innovation bringt aber nicht nur Vorteile mit sich, denn Crowdwork untersteht keinen Leistungskontrollen, es gibt keine Vorgesetzten, keine Kolleginnen oder Kollegen. Die Akteure der Crowd sind daher weniger sozial verbunden, aber auch zu nichts verpflichtet.<sup>17</sup> Das ruft automatisch die Frage nach der Entlohnung auf, denn was für einen Crowdworker in einem Entwicklungsland ein Monatslohn ist, reicht für einen anderen aus einem Industrieland nicht mal einen Tag. Für das Unternehmen ist dies profitabel, denn es wird jemanden finden, der die Aufgabe für den geplanten Lohn erledigt. Von den meisten Plattformen wird außerdem von den Beschäftigten verlangt, dass sie ihrer Kategorisierung als Selbstständige bzw. unabhängige Auftragnehmer zustimmen. Die

Crowdworker haben demzufolge keinen Anspruch auf arbeitsrechtliche Grundlagen, wie die Zahlung eines Mindestlohns, bezahlten Urlaub, Elternzeit, Entlohnung während Krankheit oder Überstundenvergütung. Weiterhin bestehen bei Plattformen wie 99Designs (bei der Unternehmen von Web-/App-Anwendungen über Logos bis hin zu Merchandise-Artikeln Designarbeiten an die Crowd vergeben) noch Unklarheiten darüber, wie mit den Urheberrechten von den Vorschlägen ausgebildeter Selbstständiger umzugehen ist, die nicht gewinnen.

Bei einer Designausschreibung ohne Crowdsourcing würden die Dateien nur an den Auftraggeber gesendet, auf einer Plattform sind sie für alle Konkurrenten zugänglich und es werden die Arbeitsstunden für die Entwürfe nicht entlohnt. Das Unternehmen zahlt nur für den Siegerentwurf, holt sich aber zahlreiche Anregungen und Ideen kostenfrei ins Haus. In Bezug auf das internationale Recht wird bereits diskutiert, wie diese Fragen zu handhaben sind und wie die Regulierung solcher Plattformen aussehen kann.

## Die Crowd als Innovationsmotor für technische und soziale Innovationen

Durch Crowdsourcing haben sich Beteiligungsprozesse in Politik, Wissenschaft und wirtschaftlicher Wertschöpfung derart gewandelt, dass sich Crowdsourcing selbst innovativ auf die Produktion von Gütern, Kreativität, und Wissen, aber auch auf den Finanz- und Fördermarkt auswirkt. Durch die Aufzählung der verschiedenen Anwendungsbeispiele und deren Reflektion wird deutlich, dass Crowdsourcing nicht nur weitere Produktinnovationen hervorruft, sondern als Innovationsmotor auch verschiedene soziale Innovationen wie Gesetze zu digitaler Arbeit und einem veränderten Umgang mit dem Urheberrecht nach sich ziehen wird. Die Zukunft wird zeigen, in welchen Bereichen die Crowd nachhaltig eine Rolle spielen wird oder wo sie von anderen Akteurinnen und Akteuren abgelöst wird.

<sup>1</sup> Lotter, Wolf (2018): Der Stoff aus dem das Neue ist. Vorabdruck seines Buches „Innovation. Streitschrift für ein barrierefreies Denken.

In: Brand eins Thema: Innovation (5); Heft 8, S. 24–28.

<sup>2</sup> Van Hippel, Erik (1986): Lead Users. A Source of novel product concepts. In: Management Science, Vol. 32, S. 791–80.

<sup>3</sup> Howe, J. (2009): Crowdsourcing: Why the power of the crowd is driving the future of business (1. paperbacked). New York, NY: Three Rivers Press.

<sup>4</sup> Surowiecki, J. (2004): The wisdom of crowds: Why the many are smarter than the few and how collective wisdom shapes business, economies, societies, and nations. New York, NY: Doubleday.

<sup>5</sup> Levy, Pierre (1997): Collective Intelligence: Mankind's Emerging World in Cyberspace. Cambridge, MA: Perseus Books.

<sup>6</sup> ProSiebenSat2 Media AG: BrainStation, veröffentlicht 11.2.2012. [www.soenke-andresen.de/mediapool/89/893091/data/Brainstation\\_2012\\_-\\_ProSiebenSat1.de.pdf](http://www.soenke-andresen.de/mediapool/89/893091/data/Brainstation_2012_-_ProSiebenSat1.de.pdf) [Zugriff am 23.3.2018].

<sup>7</sup> Forschungsprojekt dazu von Sabine Maasen und Sascha Dickel „Evidenz in der Citizen Science. Zwischen nicht-zertifizierter Expertise, professioneller Kontrolle und Technisierung“, nachzulesen unter <http://gepris.dfg.de/gepris/projekt/335449718> [Zugriff am 23.3.2018].

<sup>8</sup> Mindsetmagazin (2016), aktuelle Statistiken sind derzeit nicht verfügbar.

<sup>9</sup> Nickel, Valeria (2017): Crowdfunding: Vor- und Nachteile im Überblick. <https://de.bergfuerst.com/ratgeber/crowdfunding-vorteile-nachteile>, veröffentlicht am: 13.07.2017, [Zugriff am 28.3.2018].

<sup>10</sup> Herb, Ulrich (2012): Sciencestarter: Crowdfunding für wissenschaftliche Projekte, veröffentlicht am 21.11.2012, [www.heise.de/newsticker/meldung/Sciencestarter-Crowdfunding-fuer-wissenschaftliche-Projekte-1753965.html](http://www.heise.de/newsticker/meldung/Sciencestarter-Crowdfunding-fuer-wissenschaftliche-Projekte-1753965.html) [Zugriff am 29.3.2018].

<sup>11</sup> Hilgers, Dennis, und Ihl, Jan C. (2010): Citizensourcing: Applying the Concept of Open Innovation to the Public Sector. The International Journal of Public Participation 4, S. 68–88.

<sup>12</sup> Thiem, Carolin (2015): Neue Aufgaben, neue Bürger- Citizensourcing als soziale Innovation. In: Sozialwissenschaften und Berufspraxis (SuB), 38 Jg., Heft 2, S. 261–273.

<sup>13</sup> <https://maerker.brandenburg.de/bb/aktuell>

<sup>14</sup> [www.hamburg.de/pressearchiv-fhh/9806044/2017-11-01-bsw-smartathon/](http://www.hamburg.de/pressearchiv-fhh/9806044/2017-11-01-bsw-smartathon/)

<sup>15</sup> Dressel, K. et. al. (2012): Die partizipative Begleitung riskanter Entscheidungen als gesellschaftliche Innovation. In Beck, Gerald; Kropp Cordula und Deppe, Ina (Hg.): Gesellschaft innovativ. Wer sind die Akteure? 1. Aufl, 315-330. Wiesbaden. VS Verlag für Sozialwissenschaften / Springer Fachmedien

<sup>16</sup> Dickel, S. und Thiem, C. (2017): Bestellte Massen. Auf dem Weg zu einer Theorie der Crowd – Kongressband, 38. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Soziologie 2016 in Bamberg.

<sup>17</sup> Gerber, C. und Krzywdzinski, M. (2017): Schöne neue Arbeitswelt? Durch Crowdworking werden Aufgaben global verteilt. In: WZB Mitteilungen Heft 155 März 2017. <https://bibliothek.wzb.eu/artikel/2017/f-20463.pdf> [Zugriff am 23.3.2018].

# Von Erbsen zu Designerbabies?

## Die CRISPR/Cas-Methode und ihre historischen Wurzeln

### Ein Austausch eines Medizinethikers und einer Humanbiologin

Dr. Tobias Hainz

Eine biotechnologische Innovation, die seit einigen Jahren weit über Fachkreise hinaus die Menschen bewegt, verbirgt sich hinter der Bezeichnung „CRISPR“. Oft wird sie auch als „Genschere“ bezeichnet. Mein Eindruck ist, dass in CRISPR einerseits große Hoffnungen gesetzt werden, die Technologie andererseits aber auch Ängste weckt. Man erhofft sich etwa wirksame Therapien gegen Erbkrankheiten oder auch Fortschritte in der Bekämpfung von Krankheitserregern. Skeptiker befürchten jedoch eine tiefere Revolution in der Reproduktionsmedizin – bis hin zur „Menschenzüchtung“ und der Erschaffung von „Designerbabies“ ganz nach den Vorstellungen ihrer Eltern. Aber auch weniger futuristische Szenarien werden von Skeptikern angeführt, etwa unumkehrbare Schädigungen von Menschen durch Eingriffe in das menschliche Erbgut, deren langfristige Auswirkungen erst in späteren Generationen sichtbar werden. Bevor man sich jedoch an eine Einschätzung und Abwägung solcher und anderer Chancen und Risiken wagt, sollte man meines Erachtens verstehen, wie CRISPR genau funktioniert und welche Einsatzmöglichkeiten nach heutigem Wissensstand realistisch sind. Wie würdest du diese Aspekte jemandem erläutern, der über kein biomedizinisches Expertenwissen verfügt?

Dr. Anne Dwertmann

Aus Sicht einer Naturwissenschaftlerin finde ich es sehr interessant zu beobachten, welche Informationen zur CRISPR-Technologie in der allgemeinen Tagespresse ankommen und wie die Reaktionen darauf sind! Tatsächlich hat die Entdeckung dieser Technologie auch in der Fachszene einen richtiggehenden Hype ausgelöst, die Aufregung ist also alles andere als unbegründet. Zu deiner Frage, was eigentlich hinter der kryptischen Abkürzung und ihrer Anwendung steckt, um die es sich hier dreht: Das in seiner langen Form „CRISPR/Cas9“ genannte Werkzeug ist ein neuartiges Verfahren der Genomeditierung, durch das mit nie zuvor erreichter Präzision und Schnelligkeit die DNA, also auch das menschliche Erbgut, manipuliert werden kann. Stellt man sich das Genom als viele aufeinanderfolgende Sätze einer Geschichte vor, kann man mit CRISPR nun einzelne Buchstaben oder ganze Satzteile löschen oder auch ersetzen und damit die Geschichte grundlegend verändern. Das CRISPR/Cas9-System ist in bestimmten Organismen ein natürlicher Prozess, es wurde ursprünglich von Bakterien als eine Art Immungedächtnis entwickelt, um das eigene Erbgut vor den DNA-Sequenzen angreifender Viren zu schützen. Einmal von einem Virus infiziert, speichern die Bakterien

einen kleinen Teil der Virus-Erbinformation in den sogenannten „clustered regularly interspaced short palindromic repeats“ (CRISPR) im eigenen Genom ab. Bei einer erneuten Infektion mit demselben Virus werden diese Abschnitte dann quasi als Blaupause verwendet, um die feindliche DNA schnell zu erkennen, das Protein Cas9 zerschneidet daraufhin sofort diese Sequenzen und macht das Virus damit unschädlich.<sup>1</sup>

Klingt nützlich für die Immunabwehr in Bakterien, aber wie lassen sich die Erkenntnisse auf den Menschen übertragen? Außerdem gibt es diesen Mechanismus ja sicher schon viel länger als den Menschen – warum wurde er dann erst jetzt entdeckt?

Dr. Tobias Hainz

Anfang der 90er Jahre wurden erstmals CRISPR-Sequenzen in Bakteriengenomen charakterisiert, in den 2000er Jahren wurde dann Cas9 entdeckt und nach und nach die Funktionsweise des ganzen Systems aufgeklärt.<sup>2</sup> Ohne die zu diesem Zeitpunkt technologisch erstmals verfügbaren DNA-Untersuchungsmethoden wäre dies vorher nicht möglich gewesen. Das Interesse an der „Genschere“ konzentrierte sich anfangs auch eher auf den biotechnologischen Bereich. Man hoffte, mit den neuen Erkenntnissen auf Prozesse der Lebensmittelindustrie, an denen Bakterien beteiligt sind, wie etwa die Joghurtherstellung, einwirken zu können. Erst die „Mütter“ der Technologie, Emanuelle Charpentier und Jennifer Doudna, sowie der Biotechnologe Feng Zhang wiesen 2012 darauf hin, dass sich mit der CRISPR-Methode gezielt Abschnitte aus dem Erbgut entfernen oder austauschen lassen, und zwar auch in Pflanzen, Tieren und Menschen. Damit ist in der Theorie vieles möglich – so könnten zum Beispiel fehlerhafte Gene, die im Menschen zu Erbkrankheiten führen, gegen gesunde Gene ausgetauscht werden. Oder es könnten die Virus-DNA-Sequenzen des HI-Virus vollständig aus HIV-infizierten Menschen eliminiert und die Infektion damit vollständig beseitigt werden. Darüber hinaus gibt es eine Reihe von Anwendungsszenarien in der Tier- und Pflanzenzüchtung sowie in der chemischen Industrie.

Dr. Anne  
Dwertmann

Schon jetzt gibt es eine Reihe von zugelassenen Nutzpflanzen, die mit der CRISPR-Technologie verändert wurden. Diese gelten sogar vor dem Gesetz derzeit als „nicht genmanipuliert“, da die mit CRISPR eingeführten Genmutationen auch mit den klassischen Methoden der Pflanzenmutagenese, wie z. B. Bestrahlung, hätten erzeugt werden können.<sup>3</sup> Auch vor CRISPR gab es also schon Möglichkeiten der Genomeditierung, aber keine davon war so schnell, einfach und genau. Die Grundlagenforschung, beispielsweise im Bereich der Wirkstoffentwicklung, wurde durch die Möglichkeiten von CRISPR bereits revolutioniert.<sup>4</sup> Insgesamt ist das Potenzial der Technologie riesig – ein Nobelpreis für die Entdeckerinnen gilt als ausgemachte Sache.

Der Nobelpreis soll laut Alfred Nobels Testament an Personen verliehen werden, die der Menschheit den größten Nutzen gebracht haben. Das bedeutet, wenn die Verleihung des Preises an die CRISPR-Entdeckerinnen bereits eine ausgemachte

Dr. Tobias Hainz

Sache ist, dann ist es ebenfalls eine ausgemachte Sache, dass die Methode in Zukunft zum großen Nutzen der Menschheit eingesetzt werden wird – sofern man Nobels Testament ernst nimmt. Das finde ich aus ethischer wie auch aus historischer Perspektive gleichermaßen interessant: „Nutzen“ ist in manchen ethischen Theorien eine zentrale Kategorie für die Beurteilung von Handlungen. Allerdings ist sie nicht ohne ihr Pendant zu denken – den „Schaden“, denn eine endgültige Beurteilung sollte stets das Resultat einer Verrechnung von Nutzen und Schaden sein. Gerade Skeptiker, die der CRISPR-Methode ein hohes Schadenspotenzial zuschreiben, könnten eine solche Prophezeiung des Nobelpreises für Charpentier und Doudna daher ein wenig voreilig finden. Umso wichtiger finde ich eine sachliche Auseinandersetzung zu den Nutzen- und Schadenspotenzialen von CRISPR, denn es könnte um weit mehr gehen als um ein paar Millionen schwedische Kronen für den Nobelpreis. Historisch betrachtet ist auffällig, dass ein notwendiger Vorläufer von CRISPR, nämlich das Humangenomprojekt, von einem vergleichbaren Hype begleitet wurde, aber die Hoffnungen nicht gänzlich erfüllen konnte. Auch der Nobelpreis für die wichtigsten Beteiligten ist bislang ausgeblieben.

**Dr. Anne  
Dwertmann**

Das stimmt. Mit gutem Grund verleiht das Nobel-Komitee seine Preise aber oft erst Jahrzehnte nach einer bahnbrechenden Entdeckung, um die langfristigen Folgen für die Menschheit besser absehen zu können. Ich sehe für die Treiber des Humangenomprojekts da durchaus noch eine reelle Chance! Obwohl es stimmt, dass sich die Erwartungen an die Entschlüsselung des Genoms zur Jahrtausendwende nicht erfüllt haben – damals war vorausgesagt worden, dass man in zehn Jahren die genetischen Grundlagen fast aller Krankheiten verstehen wird, um eine weitere Dekade später einen Strauß an neuen Therapiemöglichkeiten in der Hand zu halten.<sup>5</sup> Auch wenn man heute schon für knapp tausend Dollar innerhalb weniger Tage das menschliche Genom individueller Patienten entschlüsseln kann, ist die Interpretation dieser Information ungleich komplexer als vorausgeahnt. Die biomedizinische Grundlagenforschung wurde durch die neuen Erkenntnisse zur Erbgutinformation jedoch tatsächlich revolutioniert, nicht nur was die reine Erkenntnis betrifft, vor allem auch technologisch. Ohne den mit dem Humangenomprojekt verbundenen Innovationsschub wäre auch die umfassende Aufklärung des CRISPR/Cas9-Systems unmöglich gewesen. Leider profitiert der Patient jedoch bisher unmittelbar noch zu wenig davon.

In Bezug auf die zu hohen Erwartungen könnte es der CRISPR-Technologie ähnlich ergehen – trotz der enormen Auswirkungen auf die Grundlagenforschung ist die Technologie von einer kontrollierten und gut verstandenen Anwendung am Menschen immer noch meilenweit entfernt. Noch scheint die Genschere kleinste Fehler beim Schneiden des Genoms zu machen, die sich im Menschen allerdings fatal auswirken können. Außerdem ist es derzeit unmöglich, die CRISPR-Technologie effektiv in einem ausgewachsenen Organismus und nicht nur in einer befruchteten Eizelle im Reagenzglas anzuwenden. Ich würde hier jedoch für etwas Geduld plädieren, das zeigt auch die Geschichte. Wie oft wurden schon Neuentdeckungen zu frühzeitig als „gescheitert“ erklärt oder auch viel zu lange komplett ignoriert.

Das erinnert mich an das Schicksal einer weiteren Entdeckung, die als Vorläufer der CRISPR-Technologie gelten kann: Bereits in den 1860er Jahren beschrieb Gregor Mendel am Beispiel von Erbsenzüchtungen, wie die Vererbung von Merkmalen bei den allermeisten Pflanzen und Tieren funktioniert. Nicht umsonst spricht man auch heute noch von den Mendelschen Regeln, was die Bedeutung von Mendels Entdeckung unterstreicht. Ohne Mendels Erbsenzüchtungen und seine Beobachtungen – die er ohne das Wissen beschrieben hat, dass es etwas wie Gene überhaupt gibt – hätten wir heute vermutlich weder das Humangenomprojekt noch die CRISPR-Technologie. Allerdings wurden die Mendelschen Regeln über mehrere Jahrzehnte kaum rezipiert. Dabei spielten zum Teil triviale Gründe eine Rolle, wie etwa das Desinteresse von Fachkollegen oder eine als umständlich empfundene Terminologie Mendels. Aber beispielsweise in der Sowjetunion wurden Mendels Erkenntnisse bis in die 1960er Jahre aus ideologischen Gründen tatsächlich systematisch unterdrückt.

Dr. Tobias Hainz

Aus heutiger Sicht ist das kaum nachzuvollziehen, wenn man bedenkt, dass die Mendelschen Regeln als eine der wichtigsten Grundlagen für die moderne Pflanzenzucht gelten. Was waren denn die Gründe für die Verleugnung einer solchen richtungsweisenden wissenschaftlichen Erkenntnis?

Dr. Anne  
Dwertmann

In der Sowjetunion hing man der Vorstellung an, Organismen könnten umweltbedingt erworbene Eigenschaften an ihre Nachkommen vererben. Wegen der Unvereinbarkeit der Mendelschen Regeln mit dieser auch als „Neolamarckismus“<sup>6</sup> bezeichneten Vorstellung setzte ihr einflussreichster Vordenker, Trofim Denissowitsch Lyssenko, seine politischen Beziehungen ein, um Mendels Erkenntnisse aus dem wissenschaftlichen Diskurs zu verbannen. Folgen waren unter anderem die politische Verfolgung seiner wissenschaftlichen Kritiker und die Verschwendung knapper Ressourcen für nutzlose Pflanzenzuchtexperimente, die sogar Hungersnöte verstärkten.

Dr. Tobias Hainz

Die Mendelschen Regeln hatten also mit besonders großen Startschwierigkeiten zu kämpfen, bis sie in der Fachwelt angekommen waren und ihr Status als innovative Ideen bestätigt wurde. Diese Hürde hat CRISPR sicher schon genommen. Der Umgang mit den Mendelschen Regeln in der Sowjetunion weist mich aber auf ein weiteres Problem hin, das man im Umgang mit CRISPR tunlichst vermeiden sollte, nämlich eine ideologisch verzerrte Diskussion mit der Gefahr fataler Konsequenzen. Es ist denkbar, dass manche Menschen CRISPR ablehnen, weil sie glauben, dass dadurch Eingriffe in naturgegebene Phänomene ermöglicht werden, die aus guten Gründen so sind, wie sie sind – im Sinne eines „nature knows best“.

Ich kann mir vorstellen, dass für viele Menschen der Gedanke etwas Bedrohliches an sich hat, dass mit der CRISPR-Technologie zumindest theoretisch die biologische Essenz eines jeden Organismus manipuliert werden könnte. Leider arbeitet die Natur beziehungsweise die Evolution nicht immer nur für uns – so passen sich beispielsweise Krankheitserreger in atemberaubender Geschwindigkeit an neue

Dr. Anne  
Dwertmann

Behandlungen an oder breiten sich mit dem Klimawandel in immer neue Regionen aus. Dies trifft beispielsweise auf die Parasitenerkrankung Malaria zu, an der alleine in Afrika jedes Jahr hunderttausende Menschen sterben. Es wird derzeit an einer Anwendung der CRISPR-Technologie geforscht, an den sogenannten Gene-Drives, die die Malaria substanzuell eindämmen oder womöglich sogar ausrotten könnten. Die Gene-Drives, einmal in die frei lebende Population der Malaria übertragenden Anopheles-Mücke eingeführt, sorgen dafür, dass bestimmte neu eingeführte Gene in den Mücken präferentiell weitergegeben werden. So könnte über einen relativ kurzen Zeitraum eine komplette Spezies mit Genen ausgestattet werden, die entweder eine Weiterentwicklung des Malariaparasiten in der Mücke verhindern oder auch die Fortpflanzungsfähigkeit der Mücken ausschalten und die Spezies damit womöglich komplett ausrotten würden.<sup>7</sup> Dabei stellt sich natürlich sofort die Frage nach den damit verbundenen ökologischen Risiken, aber auch die ethische Frage, ob die Ausrottung einer Mückenart zur Bekämpfung der „Geißel der Tropen“ nicht doch gerechtfertigt wäre.

Dr. Tobias Hainz

Völlige Zustimmung. Selbst wenn die Evolution ein in irgendeiner Weise gelenkter Prozess wäre, dann sicher nicht immer zu unserem Vorteil – das zeigt das Beispiel Malaria eindrücklich. Gene-Drives wären dann also eine Möglichkeit, direkt und kurzfristig sehr tief in evolutionäre Prozesse einzugreifen, und zwar – zumindest vordergründig – zu unserem Vorteil. Für eine wohlbegründete ethische Einschätzung reicht es aber noch nicht aus, ausreichend davon überzeugt sein zu können, dass eine Anwendung zur Ausrottung des Malariaparasiten oder zumindest der Anopheles-Mücke als Überträger führen würde. Wie du schon erwähnst, sollte man mindestens abschätzen können, welche Auswirkung diese Form der Entfernung einer ganzen Spezies aus einem Ökosystem für andere dort lebende Arten hätte. Bei einer befriedigenden Informationslage könnte man dann in einen Prozess der Abwägung von Chancen – primär natürlich für uns Menschen – und Risiken eintreten, an dessen Ende eine wie auch immer geartete, in jedem Falle aber guten Gewissens vertretbare ethische Empfehlung stünde. Ich befürchte allerdings, dass in eine solche Debatte nicht nur recht gut greif- und somit auch diskutierbare Argumente eingebracht würden, sondern auch deutlich voraussetzungsreichere Beiträge.

Diese könnten etwa der Natur einen Selbstwert zuschreiben und damit einer Ausrottung der Anopheles-Mücke als Teil dieser Natur widersprechen. Das Problem dabei ist: Solange man nicht transparent darlegt, weshalb die Natur einen Selbstwert haben soll, lässt sich über ein solches Argument schwer diskutieren. Ich glaube aber, dass die Ängste vieler Menschen sich gar nicht so sehr auf die Anwendungsmöglichkeiten von CRISPR auf andere Spezies beziehen, sondern auf uns Menschen selbst – vielleicht sogar mit dem Potenzial, irgendwann einmal die bereits erwähnten „Designerbabies“ zu erzeugen. Der Deutsche Ethikrat hat sich 2017 in einer ad-hoc-Empfehlung mit Keimbahneingriffen<sup>8</sup> beim Menschen befasst, was noch einmal die Dringlichkeit des Themas unterstreicht.<sup>9</sup> Wie schätzt du das Potenzial von CRISPR für solche Anwendungen ein?

Rein technologisch gesehen sind wir von der sicheren Anwendung am Menschen, wie zuvor schon erwähnt, noch weit entfernt. Tatsächlich kann heute niemand sagen, wann die Technologie überhaupt „reif“ genug für das Szenario Keimbahnengineering beim Menschen wäre. Allerdings werden in der Forschung in den USA, China und Großbritannien bereits erste Fakten mit Experimenten an menschlichen Embryonen geschaffen, in denen krankheitsauslösende Gene bereits einigermaßen erfolgreich ausgeschaltet werden können. Ich denke, es ist auch historisch betrachtet relativ sicher, dass die Menschheit in absehbarer Zukunft ein Werkzeug in den Händen halten wird, um tatsächlich das menschliche Erbgut verändern zu können – egal ob über CRISPR oder eine andere Zukunftstechnologie.

Dr. Anne  
Dwertmann

Die Möglichkeit der Präimplantationsdiagnostik hat uns bereits einen Vorschmack dazu gegeben, auch dazu, wie getrieben sich der gesellschaftliche Diskurs dabei gegenüber dem scheinbar unaufhaltsamen technologischen Fortschritt gezeigt hat. Wobei die Anwendung von CRISPR in der menschlichen Keimbahn erstmals in der Wissenschaftsgeschichte nicht nur Auswirkungen auf ein einzelnes ungeborenes Kind, sondern auch auf dessen noch nicht gezeugte Nachkommen unbestimmter Zahl bedeuten würde und damit weiter greifende Auswirkungen hätte als jede Technologie davor. Ich befürworte daher eine umfassende ethische, rechtliche und gesellschaftliche Auseinandersetzung mit den Anwendungsmöglichkeiten von CRISPR. Nur in einer offenen Debatte können die Chancen und Risiken einer solchen Technologie wirklich umfassend gegeneinander abgewogen werden. Ich denke, die technologische Möglichkeit, das Erbgut von Menschen umfassend ändern zu können wird irgendwann kommen – besser wir bereiten uns jetzt schon darauf vor.

Zu dieser Vorbereitung in Form einer offenen Debatte sollte meines Erachtens auch eine Auseinandersetzung mit der Frage gehören, wer eigentlich die „Beweislast“ für oder gegen Anwendungsmöglichkeiten von CRISPR trägt: die Befürworter oder die Skeptiker? Wir haben schon viel über Chancen und Risiken gesprochen, und auch über Sicherheit. Dabei schwingt die folgende Frage mit: Wann sind bestimmte Anwendungsmöglichkeiten von CRISPR eigentlich sicher genug? Aber wenn man diese Frage stellt, bürdet man die Beweislast implizit bereits den Befürwortern auf, denn man fordert ein Mindestmaß an Sicherheit, dessen Erreichen von den Befürwortern nachzuweisen ist. Im konkreten medizinischen Anwendungsfall ist das auch gerechtfertigt, aber auf einer Vorstufe, auf der wir uns derzeit befinden, möchte ich dafür plädieren, auch eine andere, für mich gleichwertige Frage zu stellen, die zumindest teilweise die Beweislast umkehrt. Wann müssen die Chancen, die bestimmte Anwendungen von CRISPR bieten, als so groß erachtet werden, dass man trotz etwaiger Sicherheitsbedenken oder anderer Vorbehalte ein Verbot der Erforschung dieser Anwendungen aus ethischen Gründen kaum noch rechtfertigen kann? Während die erste Frage vor allem von den Befürwortern Antworten verlangt, nimmt die zweite Frage auch die Skeptiker in die Pflicht. Denn nun müssen sie argumentieren – und zwar ethisch und empirisch – weswegen sie sich trotz großer Chancen gegen die Erforschung bestimmter CRISPR-Anwendungen aussprechen.

Dr. Tobias Hainz

**Dr. Anne  
Dwertmann**

Das sehe ich genau so. Oder um Professor Peter Dabrock, Theologe und Vorsitzender des Deutschen Ethikrates zu zitieren: „Man trägt Verantwortung für das, was man tut, aber auch für das, was man wider besseres Wissen verhindert“.<sup>10</sup> Ich jedenfalls blicke positiv in die Zukunft und bin sehr gespannt, wie die Menschheit mit den neuen Möglichkeiten von CRISPR umgehen wird.

- 
- <sup>1</sup> Fischer, Lars (2017): Die 5 wichtigsten Fragen zu CRISPR/Cas9. In: Spektrum, 24.3.2017. [www.spektrum.de/wissen/wie-funktioniert-crispr-cas9/1441060](http://www.spektrum.de/wissen/wie-funktioniert-crispr-cas9/1441060) [Zugriff am 28.3.2018].
- <sup>2</sup> Broad Institute (o. J.): CRISPR Timeline. [www.broadinstitute.org/what-broad/areas-focus/project-spotlight/crispr-timeline](http://www.broadinstitute.org/what-broad/areas-focus/project-spotlight/crispr-timeline) [Zugriff am 28.3.2018].
- <sup>3</sup> Genetic Literacy Project (o. J.): How are governments regulating CRISPR and New Breeding Technologies (NBTs)? <https://gmo.geneticliteracyproject.org/FAQ/how-are-governments-regulating-crispr-and-new-breeding-technologies-nbts/> [Zugriff am 29.3.2018].
- <sup>4</sup> Scott, Andrew (2018): How CRISPR is transforming drug discovery. Gene editing is quietly revolutionizing the search for new drugs. In: Nature 555, S10-S11.
- <sup>5</sup> Wade, Nicholas (2010): A Decade Later, Genetic Map Yields Few New Cures. In: New York Times, 12.6.2010. [www.nytimes.com/2010/06/13/health/research/13genome.html](http://www.nytimes.com/2010/06/13/health/research/13genome.html) [Zugriff am 28.3.2018].
- <sup>6</sup> Der Neolamarckismus geht auf den französischen Biologen Jean-Baptiste de Lamarck (1744-1829) zurück, der unter anderem annahm, dass Organismen sich im Laufe ihres Lebens an die Bedingungen ihrer Umwelt anpassen und diese Anpassungen dann an ihre Nachkommen vererben. Das populärste, von Lamarck selbst verwendete Beispiel für diese Hypothese ist der Giraffenhals: Lamarck nahm an, dass ein karger Lebensraum Giraffen dazu gezwungen habe, sich nach hochgelegenen und dadurch für konkurrierende Tiere unerreichbare Blätter zu strecken, um an ausreichend Nahrung zu gelangen. Auf diese Weise habe sich durch die Streckbewegung zunächst der Hals lebender Giraffen verlängert. Die Verlängerung sei dann durch Fortpflanzung an die Nachkommen weitergegeben worden. Um die Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert war der Neolamarckismus noch wissenschaftlich gleichbedeutend mit der auf Charles Darwin zurückgehenden Theorie der Evolution. Erst durch Erkenntnisse in der Genetik und deren Vereinbarkeit mit der Darwinschen Evolutionstheorie wurde der Neolamarckismus widerlegt und diese wissenschaftliche Auseinandersetzung entschieden.
- <sup>7</sup> Eser, Uta; Kassel, Dieter (2017): Darf der Mensch die Malaria-Mücke ausrotten? Uta Eser im Gespräch mit Dieter Kassel. Deutschlandfunk Kultur. [www.deutschlandfunkkultur.de/gene-drives-darf-der-mensch-die-malaria-muecke-ausrotten.1008.de.html?dram:article\\_id=398976](http://www.deutschlandfunkkultur.de/gene-drives-darf-der-mensch-die-malaria-muecke-ausrotten.1008.de.html?dram:article_id=398976) [Zugriff am 28.3.2018].
- <sup>8</sup> Mit der Keimbahn wird eine Abfolge von Zellen im frühen Embryonalstadium ab der befruchteten Eizelle bezeichnet, aus denen die Keimzellen (Eizellen bzw. Spermien) des erwachsenen Organismus entstehen. Werden die Kennzeichen dieser Zellen verändert, so sind die Veränderungen an die Nachkommen vererbbar. Veränderungen in allen anderen, sogenannten somatischen Geweben wirken sich nicht auf nachfolgende Generationen aus.
- <sup>9</sup> Deutscher Ethikrat (2017): Keimbahneingriffe am menschlichen Embryo: Deutscher Ethikrat fordert globalen politischen Diskurs und internationale Regulierung. Deutscher Ethikrat. Berlin. [www.ethikrat.org/dateien/pdf/empfehlung-keimbahneingriffe-am-menschlichen-embryo.pdf](http://www.ethikrat.org/dateien/pdf/empfehlung-keimbahneingriffe-am-menschlichen-embryo.pdf) [Zugriff am 28.3.2018].
- <sup>10</sup> Deutsches Ärzteblatt (2017): Debatte über neue Regulierung genom-edierter Pflanzen gefordert. [www.aerzteblatt.de/nachrichten/73111/Debatte-ueber-neue-Regulierung-genom-edierter-Pflanzen-gefordert](http://www.aerzteblatt.de/nachrichten/73111/Debatte-ueber-neue-Regulierung-genom-edierter-Pflanzen-gefordert) [Zugriff am 29.3.2018].

# Was machen wir bloß mit den Sozialen Innovationen?

Miriam Kreibich

*“Although social innovations pop up in many areas and policies and in many disguises, and social innovation is researched from a number of theoretical and methodological angles, the conditions under which social innovations develop, flourish and sustain and finally lead to societal change are not yet fully understood both in political and academic circles.”<sup>1</sup>*

Letztens stellte ich mir die Frage, was man wohl in einem Museum für Soziale Innovationen ausstellen würde. Was für ein Exponat könnte eine Besucherin oder einen Besucher dort faszinieren? Wohl kaum eine Postkarte des ersten genossenschaftlichen Ladens der „Redlichen Pioniere von Rochdale“. Diese Gruppe von Webern in Nordengland gilt als eine der Begründer der Konsumgenossenschaftlichen Bewegung in der Mitte des 19. Jahrhunderts und gab den Anstoß dafür, dass sich innerhalb von nur 20 Jahren beachtliche 600 Konsumgenossenschaften mit 130.000 Mitgliedern und einem Umsatzvolumen von umgerechnet 56 Millionen Reichsmark in England und Schottland bildeten. Und erst recht nicht würde ein Foto einer glücklichen Familie vor einem Fröbel-Kindergarten zu Beginn des 20. Jahrhunderts eine eigene Ausstellung rechtfertigen. Beides waren jedoch mächtige Soziale Innovationen, die entscheidend zu gesellschaftlichem bzw. sozialem Wandel beigetragen haben.

Obwohl wahrlich nicht neu, werden Soziale Innovationen in der Politik erst seit einigen Jahren zunehmend rezipiert. Sie spielen eine entscheidende Rolle in der Millenniums-Agenda und in den Leitlinien der EU-Programme. Es

gibt sogar Forschungseinrichtungen, die „Soziale Innovationen“ heute in ihrem Namen tragen. Obama maß den Sozialen Innovationen so viel Bedeutung zu, dass er ein eigenes Büro „Office for Social Innovation und Civic Participation“ einrichtete, „to create a more outcomes-driven government and social sector“. Letztendlich ging es wohl vor allem darum zu wissen, welche Maßnahmen und Methoden sich für die Allgemeinheit als die besten herausgestellt haben. Diese wollte man kennen und – noch besser – nutzen können.

Auch auf europäischer Ebene beschäftigt man sich mit Sozialen Innovationen: Im von der Europäischen Kommission geförderten Projekt SI DRIVE (Social Innovation: Driving Force for Social Change)<sup>2</sup> wurden über 1.000 Fälle von Sozialen Innovationen empirisch untersucht und neben sieben Hauptanwendungsfeldern<sup>3</sup> auch die Akteure ins Visier genommen. Die Autoren zeigen, dass die bisherige Annahme, Soziale Innovationen entstünden ausschließlich in der Zivilgesellschaft zur Überwindung von Marktversagen, so nicht haltbar ist. Eine Fokussierung auf diese Akteursgruppe sei deutlich zu kurz gegriffen, da Soziale Innovationen nicht nur in der Zivilgesellschaft, sondern auch und vermehrt in der Wirtschaft, Politik und Wissenschaft entstehen. In einem anderen EU-geförderten Forschungsprojekt – transit (transformative social innovation theory – wurden 20 transnationale Netzwerke in Europa und Lateinamerika untersucht.<sup>4</sup> Darunter u. a. Ashoka, DESIS-network, FABLABS, Participatory Budgeting, Slow Food, Impact Hub und Transition Towns, um diesen „dynamischen und komplexen Phänomen“ eine

Theorie zugrunde legen zu können. Auch in Deutschland äußerte man sich zu dem Thema: Die Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) hat in ihrem Jahresgutachten 2017 auf die Bedeutung Sozialer Innovationen als Innovationstreiber für unsere Gesellschaft hingewiesen und gefordert, der bereits bestehenden Erweiterung des Innovationsbegriffs auch konkrete Aktionen folgen zu lassen.

Das Feld der Sozialen Innovationen ist breit – eigentlich gibt es kein Feld ohne Soziale Innovationen, zumindest fällt mir auf Anhebung keins ein ...

Sozialen Innovationen wird eine immer größere Rolle bei der Lösung gesellschaftlicher Herausforderungen zugesprochen. Trotzdem werden sie immer ein bisschen wie die „Schmuddelkinder“ der Innovationen behandelt. Man weiß eigentlich nicht so richtig, was man damit anfangen und wie man sie bewerten soll und erst recht nicht, ob und wie man sie fördern soll. Klar ist nur: Es gibt sehr viele und es werden – gefühlt, aber wohl auch faktisch – immer mehr. Doch die Unsicherheit im Umgang mit Sozialen Innovationen zeigt sich auch daran, dass sich aufgrund fehlender umfassender Konzepte bisher kein eigenes Feld der Innovationspolitik zu Sozialen Innovationen etablieren konnte.

Nehmen wir zum Beispiel den Bereich Bildung: Die Digitalisierung ermöglicht erstmalig eine allgemeine, freie und barrierearme Nutzung von Bildungsangeboten – unabhängig von individuellen oder gruppenspezifischen Voraussetzungen (akademisch, finanziell, kulturell etc.). Das führt zu Veränderungen bestehender Lernarrangements, bei Gestaltungsmöglichkeiten und Rahmenbedingungen der Wissensgenerierung und beim Wissenstransfer (MOOCS, Blended Learning). Digitale Übungskonzepte oder andere innovative Simulationssysteme ermöglichen eine völlig neue ort- und zeitunabhängige Erstellung und Verbreitung von Bildungsinhalten. Dadurch können individuelle Bildungs- und Qualifizierungsbedarfe erfüllt

werden – auch jenseits bestehender klassischer Bildungswege, Organisationsstrukturen und Formen der Zusammenarbeit. Mit Hilfe dieser „digitalen Inklusion“ lassen sich innovative Bildungskonzepte entwickeln und umsetzen sowie neue Formen des Lernens und der Wissensvermittlung generieren. Durch Soziale Innovationen können neue und organisationsübergreifende Bildungskonzepte das Verhältnis zwischen Angebot und Nachfrage von Bildungsinhalten verbessern, neue Kooperationsformen auf regionaler, nationaler und internationaler Ebene anstoßen, kulturelle Distanzen reduzieren und Kreativität und Partizipation (auch generationenübergreifend) fördern. Was beispielsweise möglich ist, haben uns drei Studentinnen und Studenten mit der Kiron-Universität für Flüchtlinge gezeigt. Das 2015 gegründete „Social-Start-up“ entwickelte ein Konzept, durch das junge Flüchtlinge ihre Studien ortsunabhängig fortführen können. Unterdessen sind weltweit mehr als 40 Universitäten an dem Projekt beteiligt.

Oder nehmen wir den Bereich Energie: Energiekooperativen, lokale Energieproduktion, Repairing-, Reusing- und Recyclingwerkstätten oder Genossenschaften zur Schonung von Ressourcen und zur Verbesserung der Kreislaufwirtschaft etc. bestehen bereits, werden gelebt und erprobt. Das traditionelle Konsument-Erzeuger-Verhältnis steht längst in Frage. Soziale Innovationen regen urbane Transformationsprozesse an und entwickeln innovative Klimastadt Konzepte. Der systemische Charakter der Energiewende mit neuen Aufgaben, Dienstleistungen und auch Teilnehmenden bietet ein großes Potenzial für Soziale Innovationen. Insbesondere mit Blick auf den Wunsch vieler nach einem positiven Beitrag zur Energiewende, nach mehr Lebensqualität und dem effizienten Gebrauch von Ressourcen in Richtung „Zero-Emission“, nehmen Verbraucherinnen und Verbraucher eine immer aktivere Rolle ein. Sie wollen mehr Nachhaltigkeit, Transparenz und Partizipation entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Dies erfordert neue und andere Formen der Nutzerintegration – viel-

fach ist heute die Sprache von „Prosumern“, Konnektivität und Konvergenz. Wie hoch die Nachfrage nach alternativen Konzepten ist, zeigt der Erfolg der Energiegenossenschaften: In nur etwas mehr als zehn Jahren stieg laut Statistischem Bundesamt (2116) die Anzahl der Energiegenossenschaften von 66 im Jahr 2001 auf 888 im Jahr 2013.

Der Bereich Mobilität ist noch stark von technologischen Lösungsansätzen wie alternativen Antriebstechniken und der Förderung der Elektromobilität geprägt. Zudem fehlt an vielen Stellen ein wirksames Zusammenspiel von technologischen Möglichkeiten und gesellschaftlichen Bedarfen. Aber auch hier sind Ansätze für ein sinnvolles Ineinandergreifen von technischen und sozialen Maßnahmen sowie Strategien zur Verbesserung und Verbreiterung von sich verändernden Mobilitätsbedarfen zunehmend gewünscht. Klassische Transportsysteme wie der private PKW verlieren besonders bei jungen Erwachsenen in den Metropolen massiv an Bedeutung. Mit Carsharing- oder Car-Pooling-Modellen, Bürgerbussen, Radfahrerbüros oder dem „laufenden Schulbus“, einem Begleitservice für Schulanfänger, haben bereits Ideen den Schritt zu alternativen Services und Transportsystemen geschafft. Menschen ohne eigenes Auto brauchen nicht bei dem ungeplanten Großeinkauf (nach dem Motto: „Ich gehe nur mal eben Kerzen holen.“) vor IKEA zu stehen, weil ihnen die Drive-Now oder Car-to-go etc. App anzeigt, dass drei Autos auf dem Parkplatz für den Transport ihrer Waren zur Verfügung stehen.

Überhaupt die gesamte Sharing Economy ist eine großartige Soziale Innovation! Was wird nicht heute alles geteilt? Die Lieblingsmusik, das heimische Sofa, der eigene Garten, die übriggebliebene Lasagne, Zeit, Wissen... Praktisch für alles gibt es – der Digitalisierung sei Dank! – eine Plattform und für vieles zumindest ausreichend viele Gleichgesinnte, die diese teilen möchten, wie auch der Siegeszug von Airbnb gezeigt hat.

## Definition? Definitiv schwer!

Lange wurde in den wissenschaftlichen Kreisen um eine gemeinsame Definition für Soziale Innovationen gerungen, die auch eine Abgrenzung zu den Begriffen „nicht-technologische“ oder „sozio-ökonomische“ Innovationen enthält. Wenngleich sich auch heute noch nicht alle, die sich wissenschaftlich mit dem Thema Soziale Innovationen beschäftigen, gleichermaßen mit der von Zapf über Grunwald, Howaldt, Schwarz et. al.<sup>5</sup> entwickelten Definition der „Neukonfiguration bestehender sozialer Praktiken, die sichtbare gesellschaftliche Veränderungen mit sich bringen und Probleme oder Bedürfnisse besser lösen bzw. befriedigen als dies auf der Grundlage etablierter Praktiken möglich ist“, gleichermaßen anfreunden können, so etabliert sie sich doch zunehmend in ihren drei Kernaussagen: Eine bereits bestehende soziale Praktik wird verändert. Die Veränderung wird gesellschaftlich angenommen. Sie wird gesellschaftlich angenommen, weil sie zu einem besseren Ergebnis führt. Das ist ein Verlauf der Entwicklung, wie er prinzipiell auch bei technologischen Innovationen vorkommt. Doch wie weiter? Soziale Innovationen können substitutiv sowie komplementär sein. Sie entstehen überwiegend aus gesellschaftlichen oder auch persönlichen Bedarfen und werden durch Individuen oder Gruppen getrieben bzw. beziehen diese in die Entwicklung ihrer Innovation ein. Sie sind gekennzeichnet von einer systemischen Betrachtungsweise und stehen häufig quer zu gewachsenen Strukturen. Sie verändern die Herangehensweise der Menschen an Probleme, beziehen andere Akteure anders ein und entwickeln bedarfsgerechte Dienstleistungen. Sie können bestehende Pfadabhängigkeiten auflösen und damit neue und andere Geschäftsmodelle generieren. Nichts sagt die Definition jedoch darüber aus, ob es sich hier nur um Non-Profit-Innovationen handelt oder ob diese nur im sozialen Bereich ihren Innovationshumus finden. Auch nicht, ob die neue soziale Praktik

möglicherweise nicht-beabsichtigte Ergebnisse zutage fördert oder zu Kollateralschäden in anderen Bereichen führen könnte – oder gar ein gesellschaftlicher Irrweg ist! Wenn man sich Uber und Facebook ansieht, so kann man durchaus hinterfragen, ob diese Sozialen Innovationen rundum wünschenswert sind.

Aber nicht nur die Produkte und Prozesse ändern sich, sondern auch der Blick auf die potenziellen Kunden. Bei der Entwicklung von Sozialen Innovationen sind Industrie und Wissenschaft häufig nur noch „Mitwirkende“, im äußersten Falle auch nur noch Zaungäste, um sie zu begleiten und zu unterstützen. Transformationswissen ist gefragt, um die komplexen, systemischen Prozesse gestalten zu können. Das geht nicht ohne die Konsumenten. „Praxisakteure“ werden immer stärker in ehemals ausschließlich wissenschaftliche oder wirtschaftliche Prozesse der Problemfindung und Ergebniszielung eingebunden bzw. übernehmen sogar die bestimmende Rolle. Nutzerinnen und Nutzer emanzipieren sich und übernehmen mit „Daumen hoch oder runter“ Entscheidungen für sich selbst oder für allgemeines gesellschaftliches Handeln.

Dieser „vertical change“ verdrängt Althergebrachtes und fördert auch auf der sozialen Ebene einen Paradigmenwechsel. Dies betrifft vor allem unsere Arbeits- und Kommunikationsformen. Er betrifft aber auch Organisationsstrukturen in Institutionen, der Verwaltung und Bildungs- und Gesundheitssystem. Sektoren (z. B. Lebens-, Arbeits- und Wohnumfelder), die bisher getrennt waren, „verdichten“ sich und wachsen zusammen. Diese Konvergenz entwickelt ihrerseits neue Produkte und Dienstleistungen oder Geschäftsmodelle.

## Doch was fangen wir jetzt damit an?

Welchen Stellenwert billigen wir Sozialen Innovationen zu – in unserem noch immer stark technologisch geprägten Innovationsverständnis? Wie bewerten wir sie<sup>6</sup>? Wie sollen wir sie fördern? Sollen wir überhaupt? Taugen sie gar wie „Fortschritt“ und „Nachhaltigkeit“ als neues gesellschaftliches Leitbild, wie Reinhard Hofbauer vom Zentrum für Zukunftsstudien der FH Salzburg in seinem Aufsatz: „Soziale Innovationen als Leitbild für Soziale Entwicklung fragt?“<sup>7</sup> Und wo Licht ist, ist auch Schatten. Auch das hat sich in den Diskussionen um Airbnb und Uber gezeigt. Die Forderung nach einer „Folgenabschätzung Sozialer Innovationen“ wird daher zu Recht von einigen Forschungseinrichtungen angemahnt.

Nur eins scheint sicher: Für die Gestaltung und Beantwortung gesellschaftlicher Herausforderungen werden in allen Zukunftsfeldern gesellschaftlich gewünschte und induzierte Innovationen benötigt. Diese lassen sich nicht nur durch technische Innovationen abdecken, sie brauchen auch gesellschaftliche Veränderungsprozesse. Soziale Innovationen waren und werden immer wichtige Treiber für den gesellschaftlichen Wandel sein.

Im neu erschienenen „Atlas of Social Innovation – New Practices for a better Future“ hat die Sozialforschungsstelle (sfs)<sup>8</sup> der TU Dortmund Beispiele für Soziale Innovationen auf der ganzen Welt und aus unterschiedlichen Politikfeldern zusammengestellt. Die Publikation zeigt, wie die Gesellschaft Sozialen Innovationen nutzen kann, um neue Praktiken für eine bessere Zukunft langfristig zu etablieren.

Prof. Dr. Howaldt ist Direktor der Sozialforschungsstelle an der TU Dortmund und Autor mehrerer Bücher zum Thema Soziale Innovationen:



*Weltweit erproben Soziale Innovatoren neue Strategien, um komplexen Herausforderungen wie dem Klimawandel, dem demografischen Wandel oder sozialer Ungleichheit zu begegnen. Soziale Innovationen, das sind kreative und zielgerichtete soziale Praktiken, die dazu*

*beitragen, neue Lösungen für gesellschaftliche Probleme zu entwickeln. Sie verändern die Art wie wir leben, arbeiten und konsumieren, wie wir uns organisieren und unsere politischen Prozesse gestalten. Oft lassen sich die Potenziale neuer Technologien nur dann entfalten, wenn diese in die Veränderung sozialer Praktiken eingebettet sind.*

*Allerdings fehlen zurzeit in den meisten Ländern noch unterstützende Infrastrukturen, wie sie im Bereich der Technologieförderung erfolgreich entwickelt wurden, ebenso wie eine auf die Förderung sozialer Innovationen ausgerichtete Innovationspolitik. Auch sind Universitäten und Forschungsinstitute bisher nicht systematisch in die Entwicklung Sozialer Innovationen eingebunden. In der verstärkten Einbindung des Themas in Forschung und Politik liegt eine wichtige Herausforderung für die Zukunft.*

---

<sup>1</sup> Jenson, Jane/ Harrison, Denis (2013): Social innovation research in the European Union: Approaches, findings and future directions., S. 5: [https://ec.europa.eu/research/social-sciences/pdf/policy\\_reviews/social\\_innovation.pdf](https://ec.europa.eu/research/social-sciences/pdf/policy_reviews/social_innovation.pdf) [Zugriff am 7.5.2018]

<sup>2</sup> [www.si-drive.eu/](http://www.si-drive.eu/)

<sup>3</sup> Bildung und lebenslanges Lernen, Beschäftigung, Energie(versorgung), Klimawandel, Transport und Mobilität, Gesundheit und Soziales, Armutsbekämpfung und nachhaltige Entwicklung

<sup>4</sup> [www.transitsocialinnovation.eu](http://www.transitsocialinnovation.eu)

<sup>5</sup> Vgl. u. a. Jürgen Howaldt, Michael Schwarz (2010): Soziale Innovation im Fokus. Bielefeld.

<sup>6</sup> Einen Vorschlag unterbreitet eine Studie des Umweltbundesamtes zum Thema „Nachhaltiger Konsum durch soziale Innovationen“. In ihr werden die Merkmale „Innovativität“, „Formalisierung“, „Eigeninitiative“ und „Gemeinschaftlichkeit“ der Bewertung Sozialer Innovationen zugrunde gelegt:

- **Grad der Innovativität** der alternativen Praxis, die über das Ausmaß der Veränderung der etablierten Praktiken durch alternative Formen definiert wird.
- **Grad der Formalisierung** der alternativen Praxis, die einen Hinweis darauf liefert, wie stabil die Strukturen sind, die durch oder mit der alternativen Praxis etabliert und aufrechterhalten werden.
- **Grad der Eigeninitiative**, der beschreibt, wie viel eigene Initiative notwendig ist, um die innovativen Alternativen zu initiieren und zu praktizieren.
- **Grad der Gemeinschaftlichkeit**, der sich darauf bezieht, ob zur Umsetzung der innovativen Idee Gemeinschaften gebildet werden müssen und wie stark die Gemeinschaftlichkeit der Beteiligten untereinander ist.

<sup>7</sup> Reinhard Hofbauer (2017). [www.zeitschrift-zukunftsforschung.de/ausgaben/2016/ausgabe1/4484](http://www.zeitschrift-zukunftsforschung.de/ausgaben/2016/ausgabe1/4484) [Zugriff am 7.5.2018].

<sup>8</sup> [www.socialinnovationatlas.net](http://www.socialinnovationatlas.net) [Zugriff am 7.5.2018].

# Transformation der Energieversorgung – die Energiewende funktioniert nur digital

Dr. Stefan Wolf ▪ Dr. Markus Gaaß ▪ Roman Korzynietz

Die disruptive Kraft der Digitalisierung hat nicht nur die globale Kommunikation und die weltweiten Logistikabläufe verändert, sie wird auch zum bestimmenden Element der nächsten Phase der Energiewende. Um die anstehende Transformation des deutschen Energiesystems in ihrer Dimension zu verdeutlichen, werden in diesem Beitrag das bisher erreichte, das aktuell geplante und das zukünftig mögliche beschrieben und die zu lösenden Herausforderungen für Wissenschaft, Wirtschaft und Politik benannt.

Ausgelöst wurde die Energiewende durch eine Reihe einschneidender Ereignisse. Eine Über-

sicht dieser „Game Changer“ findet sich in Abbildung 1. Die Ölpreiskrisen der Jahre 1973 und 1979 sowie die Reaktorkatastrophen in Tschernobyl im Jahr 1986 und in Fukushima im Jahr 2011 befeuerten die Erforschung erneuerbarer Energien und die Entwicklung von Effizienztechnologien. Der Beginn der Energiewende war vor allem motiviert durch die negativen Umweltauswirkungen und die begrenzte Verfügbarkeit fossiler Ressourcen. Hinzu kamen unmittelbare gesundheitliche Auswirkungen durch Schadstoffbelastungen, die nicht zuletzt durch den aktuellen Abgaskandal der Automobilindustrie einer breiten Öffentlichkeit ins Bewusstsein gerufen wurden.

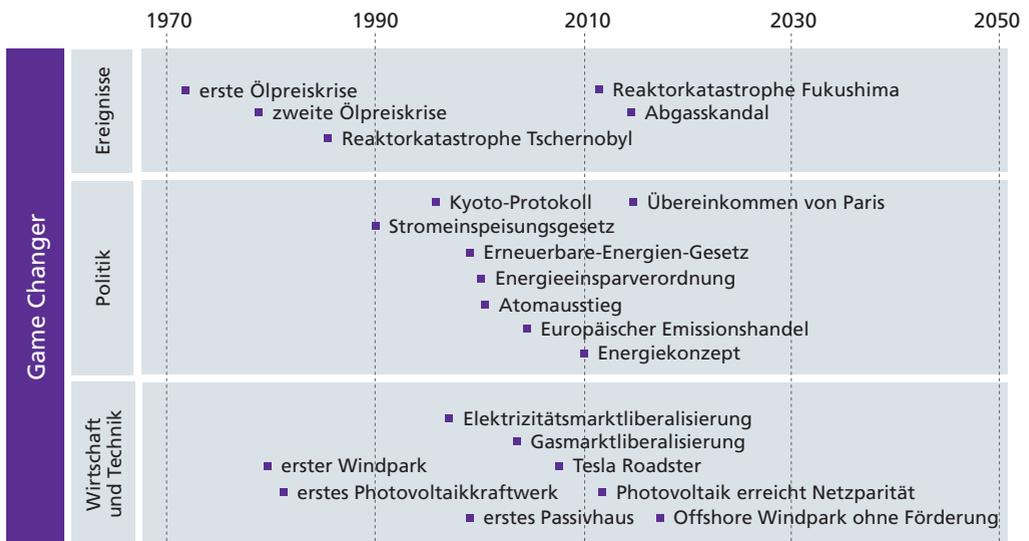


Abb. 1: Game Changer der Energiewende

Zudem reift zunehmend die Erkenntnis, dass die Menschheit mit ihrem Wirken einen globalen Klimawandel ausgelöst hat.<sup>1</sup> Ohne wirksame Gegenmaßnahmen wird allein im Verlauf des 21. Jahrhunderts ein globaler Temperaturanstieg von 4,8 °C erwartet.<sup>2</sup> Das entspricht ungefähr der Erwärmung seit dem Höhepunkt der letzten Eiszeit vor 22.000 Jahren. Zu dieser Zeit war Berlin vergletschert und der Meeresspiegel lag 120 Meter unter dem heutigen Niveau.<sup>3</sup> Von einem weiteren Meeresspiegelanstieg wäre das Leben von mehr als 600 Millionen Menschen unmittelbar bedroht.<sup>4</sup> Hinzu kämen die gravierenden Auswirkungen weiterer Veränderungen wie Dürren und Extremwetterereignisse. Diese Prognosen verdeutlichen die extremen Folgen des Klimawandels. Um diesem entgegenzuwirken, ist weltweit eine drastische Reduktion von Treibhausgasemissionen und damit eine Abkehr von der fossilen Energieversorgung aus Kohle, Öl und Gas unabdingbar.

Diese globale Herausforderung verlangt nach einem international koordinierten Vorgehen. Seit der ersten Weltklimakonferenz im Jahr 1995 moderieren die Vereinten Nationen den politischen Abstimmungsprozess zum Schutz des Weltklimas. Im Kyoto-Protokoll von 1997 wurden erstmalig völkerrechtlich verbindliche Klimaziele vereinbart. Mit dem Übereinkommen von Paris aus dem Jahr 2015 hat sich die Weltgemeinschaft auf das Ziel geeinigt, den globalen Temperaturanstieg auf deutlich unter 2 °C zu begrenzen. Die internationalen Vereinbarungen zum Klimaschutz haben die jeweiligen Bundesregierungen in Deutschland 2007 mit den Meseberger Beschlüssen, 2010 mit dem Energiekonzept sowie 2016 mit dem Klimaschutzplan 2050 in einen nationalen Zielkorridor überführt. Demnach sollen bis zum Jahr 2050 die Treibhausgasemissionen in Deutschland um mindestens 80 bis 95 Prozent im Vergleich zum Referenzjahr 1990 gesenkt werden. Die entscheidenden Werkzeuge, um dieses Ziel zu erreichen, sind einerseits der effizientere Einsatz von Energie und andererseits die Deckung des verbleibenden Energiebedarfs aus erneuerbaren Quellen. Zur zentralen Herausforderung

dieser Energiewende werden das Management der zunehmend dezentral erzeugten Energie sowie des fluktuierenden Energieangebots. Die notwendigen Maßnahmen zur Bewältigung dieser Herausforderung lassen sich in drei Phasen gliedern. Diese Phasen dienen zugleich als strukturierendes Element für die nachfolgende Betrachtung der Energiewende.

## Die niedrig hängenden Früchte sind gepflückt – Phase 1

Seit dem Beginn der Energiewende in den 1980er Jahren haben sich die erneuerbaren Energien von Nischentechnologien zu ausgereiften Basistechnologien entwickelt. Antrieb für diesen technologischen Fortschritt war nicht zuletzt das Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (EEG), das im Jahr 2000 in Deutschland in Kraft trat. Das Gesetz schuf wirtschaftliche Planungssicherheit für Investoren und setzte somit den Startpunkt für die Kommerzialisierung der Energiewende. Unterstützt wurde dieser Prozess durch den Start des europäischen Emissionshandels im Jahr 2005. Dieser gibt für die Stromerzeugung und die energieintensive Industrie einen Pfad mit einer jährlichen Verknappung der erlaubten CO<sub>2</sub>-Emissionen vor. Derzeit sind die Preise zum Erwerb von Emissionsrechten allerdings so gering, dass der Emissionshandel kaum Steuerungswirkung entfaltet. Aufgrund der Krise der südeuropäischen Wirtschaft hat sich ein Überschuss an ungenutzten Emissionsrechten aufgebaut, der auf die Preise drückt. Es bestünde also die Möglichkeit, diese Situation zu nutzen und durch eine Tilgung überschüssiger Emissionsrechte die Geschwindigkeit der Energiewende zu erhöhen. Zudem könnten höhere Preise für Emissionsrechte die Wettbewerbsfähigkeit der erneuerbaren Energien weiter verbessern.

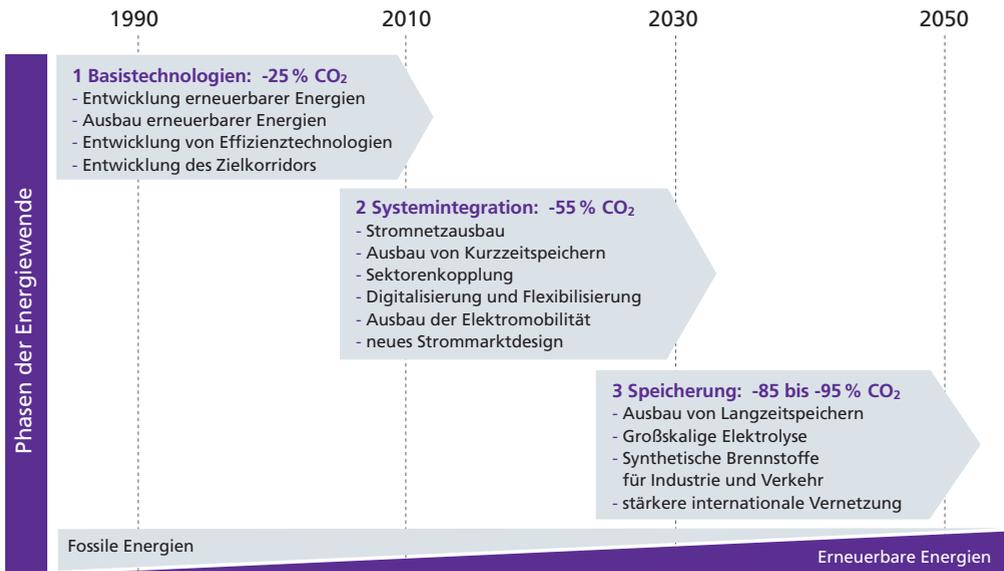


Abb. 2: Phasen der Energiewende

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an acatech (2017): Sektorkopplung – Optionen für die nächste Phase der Energiewende. Hg. v. acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V. München

Mit der Nutzung der **Windenergie** zur Stromerzeugung wird bereits seit Ende des 19. Jahrhunderts experimentiert. Die ersten Windparks wurden 1980 in den USA und 1987 in Deutschland in Betrieb genommen. In dieser Zeit erlebte die Windenergie einen Technologiesprung durch die Entwicklung großer Windturbinen in Dänemark und Deutschland, die mehrere Megawatt Leistung erreichten. Heute werden in Deutschland fast 30.000 Windkraftanlagen mit einer Gesamtleistung von circa 56 Gigawatt betrieben.<sup>5</sup> Mit der weiterhin zunehmenden Verbreitung sinken die Kosten der Windenergie, so dass im Jahr 2017 erstmals Offshore-Windparks ohne staatliche Förderung in Planung gingen.

Die **Photovoltaik** wurde zu Beginn ihrer Entwicklung fast ausschließlich in der Raumfahrt genutzt. Ab Mitte der 1970er Jahre kamen Anwendungen an entlegenen Orten ohne eigene Stromversorgung, etwa in Signalanlagen auf Ölbohrinseln oder im Telekommunikationsnetz im australischen Outback, hinzu. Die erste großtechnische Nutzung der Photovoltaik er-

folgte mit der Inbetriebnahme eines Photovoltaikkraftwerks mit einem Megawatt Spitzenleistung in den USA im Jahr 1982. Seitdem wurde die Technologie erheblich weiterentwickelt, so dass die Kosten der Photovoltaik bis heute um 96 Prozent gesunken sind. In Deutschland wurde 2012 die Netzparität erreicht. Seither kann Strom günstiger von einer Photovoltaikanlage erzeugt, als aus dem Netz bezogen werden. Dieser technische Fortschritt wurde zu wesentlichen Anteilen durch die deutschen Aktivitäten zur Stimulation der Photovoltaiknachfrage (z. B. EEG-Einspeisetarife oder das 100.000 Dächer-Programm) erreicht.

Auch die Erforschung und Nutzung der **Bioenergie** wurde von Politik und Wirtschaft vorangetrieben. Für die Gebäudebeheizung wurden Biomassekessel entwickelt und durch das Marktanzreizprogramm (MAP) gefördert. In Biogasanlagen werden methanbildende Bakterien genutzt, um aus biogenen Abfällen und landwirtschaftlichen Erzeugnissen Biogas zu erzeugen. Das Biogas wird verstromt oder aufbereitet in das Gas-

netz eingespeist. Dafür erhält der Betreiber eine Vergütung nach dem EEG. Für den Verkehrssektor werden biogene Kraftstoffe wie Methanol oder Biodiesel hergestellt. Nach einem starken Anstieg der Bioenergienutzung in den 2000er Jahren stagniert der Ausbau aufgrund einer Debatte um die Nutzungskonkurrenz zwischen Energieerzeugung und Nahrungsmittelversorgung. Neue Verfahren, wie die Kultivierung von Algen und die Nutzung von Pflanzenresten, sind bisher technisch aufwändig und wirtschaftlich nicht konkurrenzfähig.

Ein weiteres wesentliches Element der Energiewende ist die Steigerung der **Energieeffizienz**. Seit Mitte der 1970er Jahre ist eine zunehmende Entkopplung des Wirtschaftswachstums vom Energieverbrauch zu beobachten.<sup>6</sup> Durch technische Entwicklungen und regulatorische Vorgaben wie die Energieeinsparverordnung (EnEV) wurde der Wärmebedarf neuer Gebäude seither um 90 Prozent reduziert. Mit dem Passivhaus wurde 1990 ein Gebäudekonzept vorgestellt, das vollständig ohne klassische Heizungsanlage auskommt. Die Sanierungsquote der Bestandsgebäude verharrt allerdings auf niedrigem Niveau<sup>7</sup>, sodass der Anteil effizienter Gebäude nur langsam steigt. In der Industrie sind hingegen signifikante Fortschritte in der Steigerung der Energieeffizienz zu verzeichnen. Hier wird dank Prozessoptimierung für die gleiche Wertschöpfung heute 33 Prozent weniger Energie benötigt als noch 1990.<sup>8</sup> Diese Effizienzsteigerung wird jedoch weitgehend vom Ausbau der Produktionskapazität kompensiert.

Im **Verkehrssektor** wurden bisher keine signifikanten Erfolge in der Reduktion von Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen erzielt. Allerdings hat sich unter anderem durch die Aktivitäten von Tesla die Wahrnehmung der Elektromobilität gewandelt. In der Folge gewann die Entwicklung elektrischer Fahrzeuge erheblich an Dynamik. Weiter beschleunigt wird diese Entwicklung durch den Abgaskandal, ausgelöst durch die Manipulationen verschiedener Autohersteller zur Umgehung gesetzlicher Vorgaben. Zudem sehen sich Kom-

munen verstärkt mit Verfahren aufgrund von EU-Grenzwertverletzungen gesundheitsschädlicher, überwiegend verkehrsbedingter Emissionen konfrontiert. Große Erwartungen werden in den Markthochlauf der Elektromobilität gesetzt, denn Elektrofahrzeuge können mit Strom aus erneuerbaren Energien betrieben werden und benötigen bei gleicher Fahrleistung rund 70 Prozent weniger Energie als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor.<sup>9</sup>

Die Entwicklung der Basistechnologien wird begleitet von der Erarbeitung des **politischen Zielkorridors** und der Anpassung der politischen Rahmenbedingungen. So hat die Bundesregierung im Jahr 2002 den Atomausstieg beschlossen. Eine zwischenzeitliche Verlängerung der Kraftwerkslaufzeiten wurde nach der Reaktorkatastrophe in Fukushima im Jahr 2011 wieder zurückgezogen. Mit der Liberalisierung der Energiemärkte wurden Erzeugung und Netze organisch und institutionell getrennt, so dass alle Energieerzeuger einen diskriminierungsfreien Netzzugang erhalten. Die Trennung sorgt dafür, dass alle Erzeugungsanlagen ihre Leistung gleichberechtigt am Markt anbieten können.

Zudem hat die Bundesregierung mit dem Energiekonzept von 2010 die Ziele der Energiewende bis zum Jahr 2050 definiert. Durch den Klimaschutzplan 2050 wurde das Übereinkommen von Paris in diese Ziele aufgenommen und in Treibhausgasemissionsziele für die einzelnen Wirtschaftssektoren übersetzt.

In dieser ersten Phase der Energiewende wurde viel erreicht. Die erneuerbaren Energien können sich bereits in einigen Marktsegmenten ohne Förderung gegen fossile Energieerzeugungstechnologien durchsetzen. Mehr als ein Drittel des Stroms stammt in Deutschland aus erneuerbaren Energien.<sup>10</sup> Damit ist eine Ausbaustufe erreicht, in der sich die wetterabhängigen Schwankungen von Wind- und Solarstrom spürbar auf den Betrieb der Stromnetze auswirken. Darüber hinaus konnte auch die Energieeffizienz gesteigert werden. Die

hierfür notwendigen Technologien sind verfügbar und werden durch Marktanzreizprogramme in die Anwendung gebracht. Dennoch genügen die bisherigen Anstrengungen nicht, um dem Klimawandel mit der gebotenen Geschwindigkeit entgegenzuwirken. Das Klimaschutzziel für das Jahr 2020 wird voraussichtlich verfehlt. Um das nächste Ziel im Jahr 2030 zu erreichen, muss Deutschland die **Geschwindigkeit bei der Umsetzung der Energiewende verdoppeln**. Dafür sind erhebliche forschungs- und industriepolitische Anstrengungen notwendig.

## Die Digitalisierung führt die Energiewende auf den Erfolgspfad – Phase 2

Der Ausbau erneuerbarer Energien schreitet weiter voran. In der zweiten Phase der Energiewende müssen die Anfängerfolge bei der Transformation der Stromversorgung auf den Mobilitätssektor, die Gas- und die Wärmeversorgung übertragen werden. Gleichzeitig wirken sich die wetterabhängigen Schwankungen der Wind- und Solarenergie immer stärker auf den Betrieb der Stromnetze aus. Damit steht die Energieversorgung vor einem **Paradigmenwechsel**. Bisher wurde Strom immer genau dann erzeugt, wenn er benötigt wurde. Künftig müssen Maßnahmen ergriffen werden, mit denen sich der Stromverbrauch und die Verfügbarkeit erneuerbarer Energien stärker voneinander entkoppeln lassen.

Dazu muss der Energieaustausch zwischen den verschiedenen Sektoren des Energiesystems intensiviert werden. Diese auch als **Sektorenkopplung** bezeichnete Integration des Energiesystems bietet mehrere Vorteile. Zum einen kann erneuerbarer Strom zur Verdrängung fossiler Energieträger genutzt werden und zum

anderen führt die sektorübergreifende Verwendung von Speichern zu einer optimierten Ausnutzung vorhandener Infrastrukturen. Die energetischen Kopplungs- und Speichermöglichkeiten im Energiesystem sind in Abb. 3 grafisch aufbereitet.

Im **Wärmesektor** kann Strom in Direktheizungen oder mittels Wärmepumpen in Wärme gewandelt werden. Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) wandeln chemisch gebundene Energie wie Gas, Öl etc. in Wärme und Strom. Wärmespeicher können zum netzdienlichen Betrieb dieser Anlagen eingesetzt werden. Optionen für die Kopplung von Strom- und Wärmesektor im Stadtbereich sind die lokale Optimierung des Energieaustauschs in Quartieren und die Einbindung von Power-to-Heat-Technologien in Wärmenetze. Ferner eignen sich Wärmenetze in besonderer Weise, um die Wärmeversorgung von dicht bebauten und mit historischer Bausubstanz ausgestatteten Innenstadtbereichen zu dekarbonisieren, also in Richtung eines niedrigeren Umsatzes von Kohlenstoff umzustellen. In der Industrie können zudem Abwärmeströme effizienter genutzt werden.

Im **Gassektor** können Power-to-Gas-Anlagen mit Hilfe der Elektrolyse Wasserstoff erzeugen. Dieser kann entweder direkt genutzt oder zur Erzeugung synthetischer Kohlenwasserstoffe verwendet werden. Weiterhin können die erheblichen Speicherkapazitäten des Gasnetzes genutzt werden. Wasserstoff und synthetisch erzeugte Kohlenwasserstoffe können stofflich oder energetisch in der Industrie sowie energetisch im Verkehrssektor und der Stromerzeugung eingesetzt werden. Aufgrund der vergleichsweise geringen Effizienz der Energiewandlungskette wird die Integration des Gassektors in großem Maßstab erst dann erfolgen, wenn die übrigen Kopplungsoptionen ausgeschöpft sind.

Im **Verkehrssektor** kann regenerativer Strom entweder direkt in Elektrofahrzeugen oder indirekt als Wasserstoff in Brennstoffzellenfahrzeugen sowie als Synthesegas oder Synthesekraft-

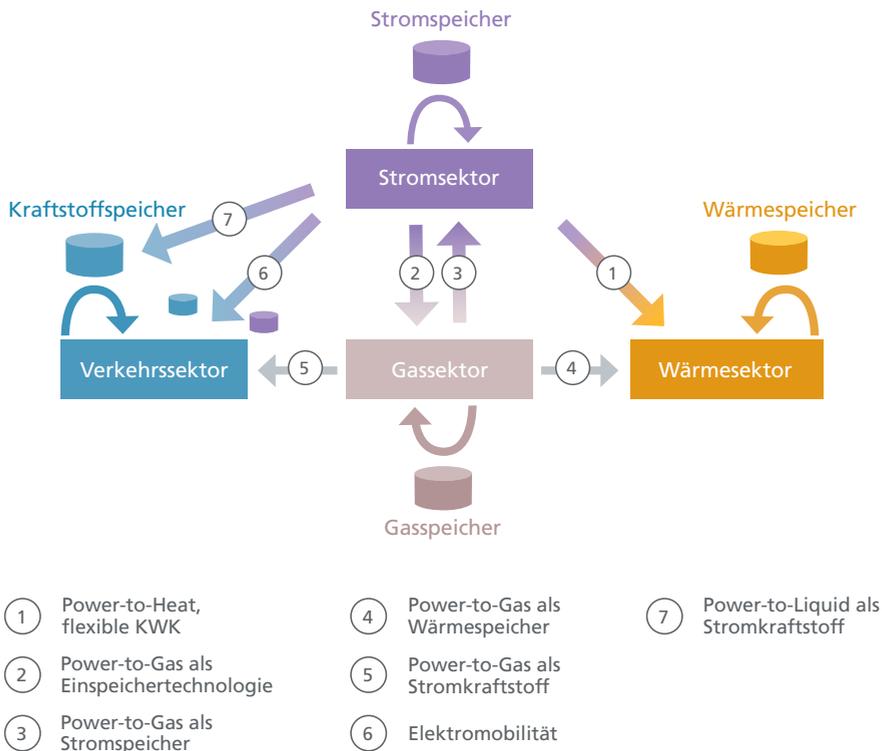


Abb. 3: Technologieoptionen und Energieflüsse in der Sektorenkopplung

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Sterner, Michael; Thema, Martin; Eckert, Fabian; Moser, Albert; Schäfer, Andreas; Drees, Tim et al. (2014): Stromspeicher in der Energiewende. Untersuchung zum Bedarf an neuen Stromspeichern in Deutschland für den Erzeugungsausgleich, Systemdienstleistungen und im Verteilnetz. Hg. v. Agora Energiewende. Berlin

stoff in Verbrennungsmotorfahrzeugen genutzt werden. Aus Effizienzgründen empfiehlt sich die direkte Stromnutzung überall dort, wo die vergleichsweise geringen Energiedichten von Batterien akzeptiert werden können. Darüber hinaus können die Batteriespeicher von Elektrofahrzeugen, eine geeignete Ausstattung und Ladeinfrastruktur vorausgesetzt, zur Stabilisierung der Stromnetze eingesetzt werden.

Damit die Kopplung der Energiesektoren eine stabilisierende Wirkung auf das Gesamtsystem entfalten kann, müssen die Energieflüsse intelligent gesteuert werden. Das stellt insbesondere die Betreiber von Verteilnetzen vor große Herausforderungen. An diese unterste Netzebene werden in Zukunft immer häufiger sowohl kleine Erzeugungsanlagen wie Blockheizkraftwer-

ke oder Photovoltaikanlagen als auch Ladestationen für Elektrofahrzeuge angeschlossen. Dadurch ergeben sich völlig veränderte Anforderungen an die Netze. Bisher gibt es auf der Verteilnetzebene allerdings kaum Möglichkeiten steuernd in die Stromflüsse einzugreifen, da aufgrund fehlender Sensorik weder der Zustand des Netzes noch die aktuellen Stromflüsse bekannt sind.

Die **Digitalisierung** liefert die notwendigen Technologien und Werkzeuge, um die hohe Komplexität des integrierten Energiesystems beherrschbar zu machen. Die Ausstattung der Netze mit Sensorik und der Rollout von Smart Metern liefern Informationen zur Optimierung des Netzbetriebs. Die intelligente Steuerung der einzelnen Energiesystemkomponenten macht

diese flexibel einsetzbar. So können beispielsweise energieintensive Industriebetriebe ihre Produktion in Zeiten verlagern, in denen reichlich erneuerbarer Strom verfügbar ist. Ein weiteres Beispiel wäre die gesteuerte Ladung von Elektrofahrzeugen in Abhängigkeit der Netzauslastung.

Mit diesen **Flexibilitätsoptionen** wird die Nachfrageseite in den Betrieb des Energiesystems integriert. Durch den Ausgleich von Stromnachfrage und -angebot können die Netze entlastet und Notmaßnahmen wie Umverteilung von Lastflüssen (Redispatch) und das Abschalten erneuerbarer Erzeugungsanlagen (Einspeisemanagement) vermieden werden. Dazu kommt es vor allem dann, wenn die Prognose des wetterabhängigen Angebots erneuerbarer Energien nicht korrekt war, wenn unvorhergesehen ein Kraftwerk ausfällt oder wenn kurzfristige Ertragsspitzen in der erneuerbaren Energieerzeugung auftreten. Die Kosten für diese Maßnahmen belaufen sich in Deutschland jährlich auf mehrere hundert Millionen Euro.<sup>11</sup> Entsprechend groß ist der Bedarf an präzisen Prognosen der Energieflüsse und an flexiblen Steuerungsmöglichkeiten. Dafür müssen die Daten von Sensoren innerhalb des Netzes wie etwa Smart Meter gesammelt und informationstechnisch mit weiteren Daten wie beispielsweise Wetterdaten kombiniert werden. Durch das intelligente Zusammenführen von Daten können sich völlig neue digitale Geschäftsmodelle ergeben. Beispiele hierfür sind die Nutzung künstlicher Intelligenz zur Erstellung präziser Energieprognosen oder die Etablierung neuer Märkte, auf denen etwa Flexibilitätsoptionen gehandelt werden.

Diese **Smart Markets** sammeln Informationen zu den verfügbaren Flexibilitätsoptionen und dienen der Preisbildung für die angebotene Flexibilität. In Kombination mit den Netzzustandsdaten erstellen diese Smart Markets automatisiert eine Angebotshierarchie, die vom Netzbetreiber – perspektivisch ebenfalls automatisiert – abgerufen werden kann. Damit auch kleine Anlagen an diesem Handel teilnehmen

können, bündeln Aggregatoren viele dieser Anlagen auf Flexibilitätsplattformen oder in virtuellen Kraftwerken und setzen sie gemeinsam am Markt ein. Auch im Handel von Strom eröffnet die Digitalisierung neue Wertschöpfungsoptionen. So arbeiten zahlreiche Unternehmen daran, einen dezentralen Stromhandel auf Basis der Blockchain-Technologie aufzubauen.<sup>12</sup> Damit wäre es auch für kleine Erzeuger möglich, ihren Strom selbst zu vermarkten. In Verbindung mit dem Internet-of-Things (IoT) ist es perspektivisch vorstellbar, dass Maschinen automatisiert Energie untereinander handeln. Aufgrund der zunehmenden Dezentralisierung und der steigenden Komplexität des Energiesystems sind diese automatisierten Prozesse notwendig, um den Systembetrieb zu optimieren und die Kosten der Energiewende zu minimieren. Bei allen Möglichkeiten der Digitalisierung ist allerdings zu beachten, dass es sich beim Energiesystem um eine kritische Infrastruktur handelt, womit hohe Anforderungen an Versorgungsqualität, Sicherheit und Datenschutz einhergehen. Digitale Produkte und Geschäftsmodelle müssen diesen Anforderungen gerecht werden.

Mit den erneuerbaren Energien verändert sich die Wertschöpfungsstruktur im Energiemarkt völlig. Während die Kosten der fossilen Energieerzeugung vor allem von den Brennstoffkosten abhängen, so dominieren bei den erneuerbaren Energien die anfänglichen Investitionskosten. Die reine Erzeugung erneuerbarer Energien verursacht kaum zusätzliche Kosten. Der Wert der Energie verlagert sich von der Energiebezugsmenge hin zur gesicherten Verfügbarkeit. Das gegenwärtige **Energiemarktdesign** ist allein auf die Energieerzeugungskosten fokussiert und kann diesen Wandel nicht zufriedenstellend abbilden. Ein künftiges Marktdesign muss die Aspekte Versorgungssicherheit und Netzauslastung im Energiehandel berücksichtigen.

In Deutschland gilt das Prinzip „Netzoptimierung vor Netzausbau (NOVA)“ als Leitlinie für die Restrukturierung der Netzinfrastruktur. Dennoch werden zusätzliche Stromleitungen von den Erzeugungsschwerpunkten erneuer-

barer Energien im Norden des Landes zu den industriell geprägten Verbrauchsschwerpunkten im Westen und Süden benötigt. Daher sieht der Netzentwicklungsplan der Bundesnetzagentur den Neubau von 2.800 Kilometern Leitungstrassen und die Verstärkung von 2.900 Kilometern bestehender Trassen vor. Mit dem Markthochlauf der Elektromobilität und der weiteren Verbreitung der Photovoltaik wird zudem die Verstärkung der Verteilnetze notwendig. Auch wenn mit der Flexibilisierung der Verbraucherseite der Bedarf an zusätzlichen Netzkapazitäten verringert werden kann, müssen die Verteilnetze künftig größere Strommengen transportieren.

Aus diesem Grund muss auch in der zweiten Phase der Energiewende die Energieeffizienz weiter vorangetrieben werden. Damit Energieeffizienztechnologien Anwendung finden und erneuerbare Energien weiter ausgebaut werden, müssen die Rahmenbedingungen entsprechend gestaltet werden. Der EU Treibhausgas-Emissionshandel muss fortgesetzt und gestärkt werden. Zudem muss die Verwendung fossiler Energieträger auch in den nicht vom Emissionshandel erfassten Wirtschaftssektoren unattraktiver werden. Das kann auf nationaler Ebene beispielsweise durch eine Neugestaltung der Steuern und Abgaben auf Energieträger geschehen. Diese Markteingriffe werfen allerdings automatisch Fragen nach der Verteilung von Erträgen und Lasten der Energiewende auf. Die Politik ist gefordert, geeignete Rahmenbedingungen zu setzen und die Verteilungsfragen gerecht zu beantworten.

## Die Zukunft bringt neue Herausforderungen – Phase 3

In der dritten Phase werden erneuerbare Energien die Energieerzeugung dominieren. Es kommt zunehmend zu Situationen, in denen

ein Überschuss an Energie vorhanden ist. Zugleich muss die Energieversorgung auch dann gesichert werden, wenn weder Wind- noch Solarenergie in ausreichendem Maße verfügbar sind. Ein Teil der Lösung dieses Problems wird die stärkere **internationale Vernetzung** des Energiesystems sein. Bereits heute erstreckt sich das europäische Verbundnetz über 24 Länder von Portugal bis Rumänien und von Dänemark bis Malta. Der vielfältige Technologiemix, etwa Wasserkraft in den Bergen, Geothermie im Rheingraben und Offshore Wind vor den Küsten, und die schiere Größe dieses Energieverbundes tragen dazu bei, lokal begrenzte Wetterphänomene auszugleichen.

Ein weiterer wichtiger Bestandteil auf dem Weg zu einem Energiesystem mit 80 bis 95 Prozent weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen wird der Einsatz von **Langzeitspeichern** zur späteren Nutzung überschüssiger Energie sein. Aufgrund der hohen Energiedichte und der guten Lagerbarkeit über lange Zeiträume kommen hier chemische Energieträger zum Einsatz. Mit Power-to-Gas-Anlagen werden Wasserstoff und andere synthetische Brennstoffe erzeugt, die gelagert und später rückverstromt werden können. Bereits heute können die Lagerkapazitäten des Gasnetzes den gesamten deutschen Energiebedarf für mehr als eine Woche decken. In Zukunft wäre durch die effizientere Energienutzung und den Ausbau der Speicherkapazitäten eine Versorgung über Wochen bis Monate möglich. Darüber hinaus können synthetische Brennstoffe überall dort eingesetzt werden, wo erneuerbare Energien weder direkt, noch in Form von Strom genutzt werden können. Ein Beispiel hierfür ist der Luftverkehr. Im Zusammenhang mit der Erzeugung synthetischer Kraftstoffe ist jedoch zu beachten, dass eine geeignete Kohlenstoffquelle gefunden werden muss. Um zusätzliche Treibhausgasemissionen zu vermeiden, darf dieser nicht aus fossilen Quellen stammen.

Perspektivisch kommt das erneuerbare **Energiesystem der Zukunft** vollständig ohne fossile Energieträger aus. Das Stromnetz bildet das

Rückgrat des Energiesystems. Die Energienachfrage folgt flexibel dem Angebot erneuerbarer Energien. Dazu werden auftretende Energieüberschüsse mit europäischen Nachbarn ausgetauscht oder zur späteren Nutzung in Stromspeichern, als Wärme oder gebunden in chemischen Energieträgern gespeichert. Zudem wird in Zukunft dank der Effizienzgewinne, unter anderem aus der Wärmedämmung von Gebäuden, dem Umstieg auf Elektromobilität oder der Einführung effizienterer Produktionsprozesse in der Industrie, deutlich weniger Energie benötigt. In der wirtschaftlichen Gesamtbilanz der Energiewende gleichen sich die Kosten aus: für Investitionen in Energieeffizienz, erneuerbare Energien und Energienetze, und die Erträge, etwa aus Technologieexport und der Vermeidung externer Kosten. Bei einer weltweiten Durchführung der Energiewende ist für Deutschland sogar mit einer leicht positiven Bilanz zu rechnen.<sup>13</sup>

Um diese **Vision** einer intelligenten und klimafreundlichen Energieversorgung Realität werden zu lassen, muss der Ausbau erneuerbarer Energien weiter vorangetrieben und der Einsatz fossiler Brennstoffe marginalisiert werden. Die Digitalisierung wird dazu beitragen, die Energiesektoren zu einem integrierten Gesamtsystem zusammenzuführen und die einzelnen Akteure zu vernetzen.

Zudem ermöglicht sie die Einbindung und damit die aktive Beteiligung und Teilhabe von Bürgerinnen und Bürgern an der Energiewende, so dass aus bloßen Konsumenten sogenannte Prosumer oder Prosumenten werden, die Energie nicht nur beziehen – also konsumieren – sondern selbst produzieren. Damit die Treibhausgasemissionen wie angestrebt um 80 bis 95 Prozent gegenüber 1990 reduziert werden können, sind eine intensivere internationale Vernetzung des Energiesystems und der Aufbau einer Infrastruktur zur langfristigen Speicherung von Energie notwendig. Dieser Transformationsprozess muss durch eine vorausschauende Forschung und Entwicklung begleitet werden, damit Lösungen und Produkte am Markt verfügbar sind, wenn sie benötigt werden.

Auf dem Weg der Energiewende sind wir gerade erst losgelaufen. Erste Erfolge bei der Etablierung der Basistechnologien der Energiewende stimmen hoffnungsvoll. Mit Ausdauer und Beharrlichkeit können auch die nächsten Schritte gelingen. Um die Chance zu bewahren, rechtzeitig ans Ziel zu gelangen und den Klimawandel wirksam zu bekämpfen, müssen wir die Geschwindigkeit der Energiewende allerdings drastisch erhöhen.

- 
- <sup>1</sup> Bernstein, Lenny; Bosch, Peter; Canziani, Osvaldo; Chen, Zhenlin; Christ, Renate; Davidson, Ogunlade et al. (2007): Climate Change 2007: Synthesis Report. Summary for Policymakers. Hg. v. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Valencia.
- <sup>2</sup> Pachauri, Rajendra; Allen, Myles R.; Barros, Vincente, R.; Broome, John; Cramer, Wolfgang; Christ, Renate et al. (2014): Klimaänderung 2014. IPCC-Synthesebericht. Hg. v. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Genf.
- <sup>3</sup> Fleming, Kevin; Johnston, Paul; Zwart, Dan; Yokoyama, Yusuke; Lambeck, Kurt; Chappell, John (1998): Refining the eustatic sea-level curve since the Last Glacial Maximum using far- and intermediate-field sites. In: Earth and Planetary Science Letters 163 (1-4), S. 327-342. DOI: 10.1016/S0012-821X(98)00198-8.
- <sup>4</sup> Oliver-Smith, Anthony (2009): Sea Level Rise and the Vulnerability of Coastal Peoples. Responding to the Local Challenges of Global Climate. Hg. v. United Nations University. Bonn.
- <sup>5</sup> WindGuard (2018)a: Status des Offshore-Windenergieausbaus in Deutschland 2017. Hg. v. Deutsche WindGuard GmbH. Varel.  
WindGuard (2018)b: Status des Onshore-Windenergieausbaus in Deutschland 2017. Hg. v. Deutsche WindGuard GmbH. Varel.
- <sup>6</sup> Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hg.) (2018)a: 40 Jahre Energieforschung – Forschen für die Energiewende. [www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/Energieforschung/40-jahre-energieforschungsprogramm.html](http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/Energieforschung/40-jahre-energieforschungsprogramm.html). [Zugriff am 3.4.2018].
- <sup>7</sup> Rein, Stefan (2016): Datenbasis zum Gebäudebestand – Zur Notwendigkeit eines besseren Informationsstandes über die Wohn- und Nichtwohngebäude in Deutschland. Hg. v. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. Berlin.
- <sup>8</sup> Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hg.) (2018)b: Energiedaten. Gesamtausgabe. Berlin.
- <sup>9</sup> Bezogen auf den Fahrzeugbetrieb mit der Systemgrenze Fahrzeug, siehe Quaschnig, Volker (2016): Sektorkopplung durch die Energiewende – Anforderungen an den Ausbau erneuerbarer Energien zum Erreichen der Pariser Klimaschutzziele unter Berücksichtigung der Sektorkopplung. Berlin.
- <sup>10</sup> Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hg.) (2018)b: Energiedaten. Gesamtausgabe. Berlin.
- <sup>11</sup> Agora Energiewende (Hg.) (2017): Optimierung der Stromnetze. Sofortmaßnahmen zur Senkung der Netzkosten und zur Rettung der deutschen Strompreiszone. Berlin.
- <sup>12</sup> Seidel, Uwe (2018): Wie die Blockchain-Technologie Erneuerbare Energien auch ohne staatliche Zulage rentabel machen kann. In: Handelsblatt Journal, Sonderveröffentlichung zum Thema „ENERGIEWIRTSCHAFT“. Düsseldorf.
- <sup>13</sup> BCG; prognos (2018): Klimapfade für Deutschland. Hg. v. The Boston Consulting Group. München. Henning, Hans-Martin; Palzer, Andreas (2015): Was kostet die Energiewende? Wege zur Transformation des deutschen Energiesystems bis 2050. Freiburg.

# Die Evidenzbasierte Medizin – ein kritischer Denkansatz erobert die Welt

Dr. Tatjana Heinen-Kammerer

Die Erkenntnis, dass eine These in der Medizin nur so lange gilt, bis sie falsifiziert und durch neues Wissen abgelöst wird, ist aus heutiger Sicht trivial. Auch die Forderung, eine Therapie nach ihrem Nutzen und ihrem Risiko für den Patienten zu beurteilen, erscheint selbstverständlich. Aber die Medizin verstand sich über Jahrhunderte vor allem als eine Erklärungswissenschaft im Kontext dogmatischer Systeme. Dabei stand nicht das Ergebnis der Behandlung im Vordergrund, sondern das (vermeintliche) Wissen.<sup>1</sup> Frei nach dem Motto, wenn die Theorie nicht zur Praxis passt, muss die Praxis falsch sein. Anerkannte Lehrmeinungen anzuzweifeln oder überhaupt nur im Rahmen einer Studie überprüfen zu wollen, war in der Medizin lange Zeit der Garant für einen Karriereabbruch.<sup>2</sup>

Obwohl die Fähigkeit bzw. Bereitschaft zur ständigen kritischen Überprüfung und gegebenenfalls Verwerfung von Hypothesen heute ein Qualitätskriterium für Wissenschaftlichkeit ist, galt dies für die Medizin lange Zeit nicht. Der Medizinbetrieb ist auch heute noch ein hochgradig autoritäres Umfeld, in dem der Ruhm von manchen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern auf einer bestimmten wissenschaftlichen Hypothese basiert. Da ist es zwar nicht entschuldbar aber erklärbar, dass jeglicher Zweifel an dieser Hypothese im Keim erstickt wird. Hängt die soziale Absicherung, Karriere und Einkommensmaximierung der Handelnden an dieser Hypothese, werden Zweifelnde bekämpft bis hin zum Ausschluss von der wissenschaftlichen Community. Insbesondere, wenn das wissenschaftliche Kartenhaus eine gewisse Größe erreicht hat, droht bei Widerlegen der zu-

grundlegenden Thesen massiver Gesichtungsverlust. Hat sich eine Lehrmeinung durchgesetzt, erfordert es auf Seiten der Zweifler viel Mut, sie dennoch zu hinterfragen. So finden sich in der Literatur zum Teil skurril anmutende Beispiele wie die Annahme, Frauen hätten weniger Zähne als Männer. Wie einfach hätte diese falsche Annahme im Rahmen einer Studie widerlegt werden können.<sup>3</sup> So harmlos dieses Beispiel ist, finden sich in der Geschichte der Medizin auch Beispiele, in denen Menschen zu Schaden kamen. Die Hemmschwelle für kritische Nachfragen durch Zweifelnde oder kritische Geister in der Medizin war Jahrhunderte lang jedoch sehr hoch.

## Das Bessere als Feind des Guten

Nun könnte der Leser auf die Idee kommen, dass dies eher historische Betrachtungen sind und sich die Zeiten längst geändert haben. Aber es existieren auch recht junge Beispiele. Die Beharrungskräfte des Standards wirken ebenso bei der Entwicklung und Einführung neuer, effektiverer Therapien oder Operationsmethoden, durch die bisherige Standardverfahren obsolet zu werden drohen. Häufig konnten sich diese Innovationen nur weiter entwickeln, weil sich die Verfechter ins Ausland begaben. So etwa Kurt Semm, der als gelernter Instrumentenmacher und Gynäkologe Anfang der 1970er Jahre die minimalinvasive Chirurgie entwickelte und 1980 die weltweit erste minimalinvasive Blinddarmoperation sowie die erste Entfernung eines Eierstocks durchführte. Man kann sich leicht vorstellen, welche Affront dies für die etablierten Chirurgen bedeutete und so forderte der damalige Präsident der Deutschen Gesellschaft für Gynäkologie

und Geburtshilfe, Kurt Semm die Approbation zu entziehen. Kurt Semm blieb daraufhin nur die Möglichkeit in die USA auszuweichen, um die Methode weiter zu entwickeln und verfeinern zu können. Aus den USA konnte die Methode dann später wieder nach Deutschland importiert werden.<sup>4</sup> Mittlerweile hat sich die minimalinvasive Chirurgie – zum Vorteil der Patientinnen und Patienten – als Standardverfahren durchgesetzt.

Autoritäre Systeme und Eminenzen, ganz gleich auf welchem Gebiet, tun sich mit der Aufgabe von Deutungs- und Erklärungshoheit schwer, da die Handlungslogiken in solch einem Umfeld anderen Gesetzen als denen der Wissenschaftlichkeit und der Rationalität gehorchen. Vor diesem Hintergrund entwickelte sich in den 1980er Jahren in Kanada die Idee von einer evidenzbasierten Medizin (EbM) statt der bisherigen „eminenzbasierten“ Medizin.

Treibende Kraft der EbM war es, sich bei Behandlungsentscheidungen im Medizinbetrieb nicht mehr an ärztlichen Hierarchien und Lehrmeinungen zu orientieren, sondern an den vorhandenen Forschungsergebnissen und wissenschaftlichen Erkenntnissen.<sup>5</sup> Dabei sollte der einzelne Arzt selbst befähigt werden, Forschungs-

ergebnisse zu recherchieren, zu beurteilen und auf seine Fragen anwenden zu können.<sup>6</sup> Als Wiege der EbM gilt eine Gruppe um den Internisten und Nephrologen David L. Sackett von der McMaster-Universität in Hamilton/Ontario, Kanada. Was zunächst als Bewegung entstanden war, griff rasch um sich, wurde weltweit aufgenommen und weiter entwickelt. Natürlich fordert ein derartiger Aufstand gegen das medizinische Establishment vielfältige Kritik heraus und so sah sich die Gruppe um Sackett genötigt, in einem Artikel 1996 noch einmal darzulegen, was EbM ist und was nicht.<sup>7</sup>

EbM ist definiert als der gewissenhafte, ausdrückliche und vernünftige Gebrauch der gegenwärtig besten externen, wissenschaftlichen Evidenz für Entscheidungen in der medizinischen Versorgung individueller Patientinnen und Patienten. Die Praxis der EbM bedeutet die Integration individueller klinischer Expertise mit der bestmöglichen externen Evidenz aus systematischer Forschung.<sup>8</sup> Dabei ist evidenzbasierte Medizin eher eine Herangehensweise als ein medizinisches Leitbild oder eine Methode.<sup>9</sup> EbM sieht vor, dass die Ärztin bzw. der Arzt sowohl die Wünsche und Ansprüche der Patientinnen und Patienten als auch die interne Expertise wie auch die externe Evidenz auf

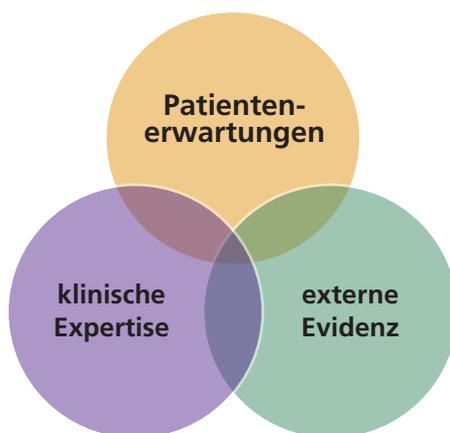


Abb. 1: Evidenzbasierte Medizin

Quelle: Möglichkeiten und Grenzen ähnlich wie in Eichler et al. (2015): Deutsches Ärzteblatt, Jg. 112, Heft 51-52.

Basis der Studienlage für konkrete Entscheidungen heranzieht. Dabei können und dürfen sich die Zielgrößen der drei Wirkbereiche durchaus widersprechen.<sup>10</sup>

Die Befähigung der Ärztinnen und Ärzte, Studien selbst zu recherchieren und zu bewerten, sollte von hierarchischen Denkbarrieren befreit werden. Mit der Zeit wurde jedoch deutlich, dass dies die einzelne Person sowohl hinsichtlich der Fähigkeiten als auch hinsichtlich der nötigen zeitlichen Ressourcen überfordert. Einige Autoren sprechen gar von Selbstüberschätzung, da Ärztinnen und Ärzte Wissenschaft anwenden, aber keine Wissenschaftler sind.<sup>11</sup> Einen Lösungsansatz bieten die Cochrane-Center, die die Studienlage zu einem Thema analysieren, in Health Technology Assessments (HTA) zusammenfassen und der Community zur Verfügung stellen. Ein weiteres Mittel, um relevante Informationen aus der Wissenschaft in den Versorgungsalltag zu transferieren, sind medizinische Leitlinien. Sie stellen konkrete Handlungsempfehlungen für den Versorgungsablauf in Form von systematisch entwickelten Entscheidungshilfen bereit.<sup>12</sup> So bedeutete der Siegeszug der EbM auch einen Entwicklungsschub für Leitlinien und HTA. Wurde früher auf die herrschende Lehrmeinung verwiesen, um unerwünschte, neue Therapieansätze zu verhindern, so wird heute auf die fehlende oder unzureichende Evidenz verwiesen. So ist die EbM zwar angetreten, um Hierarchien zu zerstören, hat aber neue Hierarchien in Form von Leitlinien und HTA geschaffen.<sup>13</sup>

### Bedeutung der evidenzbasierten Medizin für den Patienten

Die EbM hat auch zu höheren Ansprüchen aus und in Richtung der Patientinnen und Patienten geführt. Es entwickelte sich das Konzept des shared decision-making, bei dem die Patientinnen und Patienten mit ihren Präferenzen vom Behandelnden in die Therapieentscheidung einbezogen werden. Auch hier stellt sich wie bei den Behandelnden die Frage, wie die Patientinnen und Patienten dazu befähigt werden können und ob sie dies auch möchten. Es führt weiter

zu den Fragen, welche Gesundheitskompetenz die Patienten im Einzelfall mitbringen, wie die Behandelnden dies erkennen und welche Informationen die Patientinnen und Patienten in welcher Form benötigen, um nachhaltige Entscheidungen treffen zu können. Hier steht die Forschung zur Förderung der Gesundheitskompetenz zumindest in Deutschland erst am Anfang.

### Bedeutung der evidenzbasierten Medizin für das Gesundheitssystem in Deutschland

Auch auf der Ebene des Gesundheitssystems hat die EbM Spuren hinterlassen. Auf Systemebene gilt es vielfältige Entscheidungen zu treffen, sei es über die Anwendung neuer diagnostischer, medizinisch-technischer oder therapeutischer Möglichkeiten oder welche Qualität mit welchen Indikatoren sichergestellt werden soll bis hin zur Frage, welche Screening-Maßnahmen für welche Bevölkerungsgruppen eingeführt werden sollen. So entwickelte sich im angelsächsischen Raum die EbM in Richtung Evidence-Based Healthcare (EBHC). Muss in der EbM die Ärztin bzw. der Arzt nun persönliche Erfahrung, Patientenwünsche und externe Evidenz in Entscheidungen einfließen lassen, so gehen bei der EBHC die vorhandene Evidenz, die zur Verfügung stehenden Ressourcen und die gesellschaftspolitischen Werte, auf denen das Gesundheitssystem basiert, in systemrelevante Entscheidungen ein.<sup>14</sup> Vor diesem Hintergrund wird auch verständlich, dass es in den Gesundheitssystemen der unterschiedlichen Länder trotz gleicher internationaler Evidenzlage zu unterschiedlichen Bewertungen der Evidenz und unterschiedlichen Entscheidungen kommen kann. Zur Beurteilung der Evidenz werden insbesondere zusammenfassende Produkte der Evidenzbasierten Medizin, wie Leitlinien, systematische Übersichtsarbeiten oder HTA herangezogen.

In Deutschland gewann die EbM insbesondere durch die Arbeit der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaft und des Ärztlichen Zentrums für Qualität in der Medizin ab Mitte der 1990er Jahre bei

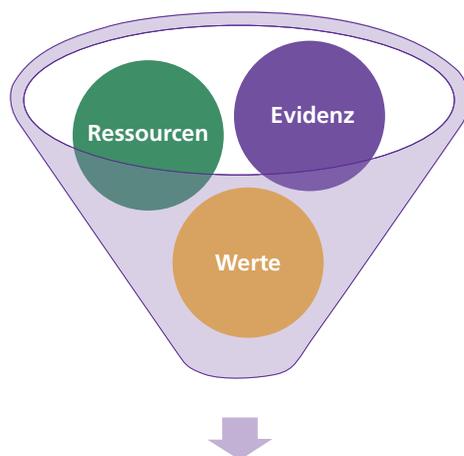


Abb. 2: Entscheidungen auf Systemebene

der Erstellung von medizinischen Leitlinien an Bedeutung. Die Auswirkungen der evidenzbasierten Medizin konzentrierten sich vor diesem Hintergrund zunächst auf die unmittelbare ärztliche Behandlung. Spätestens mit dem im Jahr 2004 in Kraft getretenen Gesetz zur Modernisierung der gesetzlichen Krankenversicherung griff der Gesetzgeber jedoch das Konzept auf und institutionalisierte es auf Ebene der Gesetzlichen Krankenversicherung (GKV).<sup>15</sup> Die Grundsätze der EbM und der EBHC finden sich daher in der Verfahrensordnung des Gemeinsamen Bundesausschusses<sup>16</sup>, der weitreichende Entscheidungen über den Leistungskatalog und Vergütungsfragen des Gesundheitssystems trifft. Dabei muss für das Gesundheitssystem zunächst beurteilt werden, ob eine medizinische Maßnahme einen höheren Nutzen mit sich bringt als bisherige Standardverfahren, ob der Effekt die Kosten rechtfertigt und ob sich das System die Maßnahme überhaupt leisten kann und will.<sup>17</sup> Die Methoden der EbM haben sich nicht nur in Deutschland im Laufe der letzten Jahre als Goldstandard der Bewertung medizinischer Entwicklungen etabliert. Ihnen kommt mittlerweile die Rolle eines Innovationsfilters zu.

### Veränderte Rahmenbedingungen für die Industrie

Damit haben sich die Rahmenbedingungen nicht nur für die Ärzteschaft verändert, sondern ebenso für die Industrie. In einem ersten Schritt erfolgte 2011 die Einführung der Nutzenbewertung für Arzneimittel mit dem Arzneimittelmarktneuordnungsgesetz, die ebenso implementierte Nutzenbewertung nicht-medikamentöser Verfahren nahm bisher eine eher untergeordnete Rolle ein. Mit der Einführung der frühen Nutzenbewertung von Medizinprodukten hoher Risikoklassen<sup>18</sup> mit dem GKV-Versorgungsstärkungsgesetz 2015 wendet sich das Blatt nun.

Wer Innovationen im Bereich der Arzneimittel oder Medizintechnik heute ins GKV-System bringen will, sollte Wirksamkeit und Nutzen auf Basis hochwertiger Studien nachweisen können. In der Nutzenbewertung ist bei Erstattungsentscheidungen eine Konzentration auf randomisierte, kontrollierte klinische Studien zu beobachten, die jedoch bisher nur für einen kleinen Teil von medizinischen Fragestellungen überhaupt vorliegen. Und so mahnen namhafte Autoren, bei den Ansprüchen an die Qualität der Studien zum Nutznachweis Augenmaß

zu bewahren. Zu beachten sei dabei, ob bereits eine Vielzahl von Therapieoptionen zur Verfügung steht oder ob es sich um die Behandlung einer schwerwiegenden Erkrankung ohne Behandlungsalternative handelt.<sup>19</sup>

Während die Pharmaindustrie bereits auf jahrelange Erfahrungen mit der Nutzenbewertung zurückblicken kann, muss sich die Medizintechnik erst noch anpassen. Bisher liegen im Bereich der mittelständisch geprägten Medizintechnik vergleichsweise wenige randomisierte, kontrollierte klinische Studien vor, die einer Nutzenbewertung standhalten können. Beim Einsatz von Medizinprodukten, zum Beispiel im Rahmen von Operationen, entscheiden maßgeblich die Fähigkeiten und Fertigkeiten des Anwenders über den Erfolg der Maßnahme. Dementsprechend kann der Outcome in diesen Fällen nicht eindeutig dem Anwender oder dem Medizinprodukt zugeordnet werden. Dies macht randomisierte, kontrollierte klinische Studien, die auf den Nachweis der Kausalität gerichtet sind, zumindest interpretationsbedürftig. Hinzu kommen schnelle Innovationszyklen, bei denen die Produkte im Sinne von Schrittinnovationen laufend weiterentwickelt werden, sowie eine geringe Flexibilität beim Anpassen des Studiendesigns.<sup>21</sup>

Dementsprechend war der Anreiz für diese Studien auf Seiten der Industrie bisher eher überschaubar.

Darüber hinaus muss auch erwähnt werden, dass Verfahren etwa der frühen Nutzenbewertung von neuen Methoden mit Medizinprodukten hoher Risikoklassen<sup>22</sup> bis zur endgültigen Entscheidung fast vier Jahre dauern können. Dies bedeutet eine besondere Herausforderung, da der Produktlebenszyklus in der Medizintechnik vergleichsweise kurz ist. Typischerweise sind Medizinprodukte nach 18 bis 24 Monaten nach Markteinführung technisch überholt.<sup>23</sup> Bis das Ergebnis der Nutzenbewertung also vorliegt, stehen die Chancen gut, dass es das Produkt in dieser Form nicht mehr gibt. Aber auch diese Herausforderungen können die Umsetzung der EbM nicht stoppen. Denn letztlich regen gerade sie zur Weiterentwicklung von Studiendesigns und Nutzenbewertung an.<sup>24</sup>

Die Evidenzbasierte Medizin hat vielfältige Entwicklungen im Gesundheitssystem angestoßen und ist mittlerweile zu einem entscheidenden Maßstab für die Bewertung von Innovationen in der Medizin über Grenzen und Gesundheitssysteme hinweg geworden. In der Folge hat sich auch die gesamte Forschungslandschaft verändert.

- 
- <sup>1</sup> Vgl. Raspe, Heiner (2007): Theorie, Geschichte und Ethik der Evidenzbasierten Medizin (EbM). In: Lehrbuch Evidenzbasierte Medizin in Klinik und Praxis, 2. überarb. u. erweiterte Aufl. 2007, S. 15-29.
- <sup>2</sup> Vgl. Köbberling, Johannes (2007): Der Zweifel als Triebkraft des Erkenntnisgewinns in der Medizin. In: Lehrbuch Evidenzbasierte Medizin in Klinik und Praxis, 2. überarb. u. erweiterte Aufl. 2007, S. 9.
- <sup>3</sup> Ebd. Köbberling, Johannes (2007)
- <sup>4</sup> Vgl. Wikipedia: Kurt Semm, [https://de.wikipedia.org/wiki/Kurt\\_Semm](https://de.wikipedia.org/wiki/Kurt_Semm) [Zugriff am 2.4.2018].
- <sup>5</sup> Raspe, Heiner (2007): Theorie, Geschichte und Ethik der Evidenzbasierten Medizin (EbM). In: Lehrbuch Evidenzbasierte Medizin in Klinik und Praxis, 2. überarb. u. erweiterte Aufl. 2007, S. 15-29.
- <sup>6</sup> Vgl. Eichler, Martin et al. (2015): Evidenzbasierte Medizin. Möglichkeiten und Grenzen. In: Deutsches Ärzteblatt, Jg. 112, Heft 51-52, 2015.
- <sup>7</sup> Sackett, David et al.: Evidence based medicine: what it is and what it isn't, [www.ebm-netzwerk.de/was-ist-ebm/leitartikel-sackett/](http://www.ebm-netzwerk.de/was-ist-ebm/leitartikel-sackett/), [Zugriff am 1.4.2018].
- <sup>8</sup> Vgl. Netzwerk für evidenzbasierte Medizin: [www.ebm-netzwerk.de/was-ist-ebm/leitartikel-sackett/](http://www.ebm-netzwerk.de/was-ist-ebm/leitartikel-sackett/) [Zugriff am 01.4.2018].
- <sup>9</sup> Eichler, Martin et al. (2015): Evidenzbasierte Medizin. Möglichkeiten und Grenzen. In: Deutsches Ärzteblatt, Jg. 112, Heft 51-52, 2015.
- <sup>7</sup> Sackett, David et al.: Evidence based medicine: what it is and what it isn't, [www.ebm-netzwerk.de/was-ist-ebm/leitartikel-sackett/](http://www.ebm-netzwerk.de/was-ist-ebm/leitartikel-sackett/), [Zugriff am 1.4.2018].
- <sup>10</sup> Ebd. Eichler, Martin et al. (2015)
- <sup>11</sup> Ebd. Eichler, Martin et al. (2015)
- <sup>12</sup> Vgl. Kopp, Ina; Leigemann, Monika; Ollenschläger, Günter (2015): Evidenzbasierte Medizin und Leitlinien. In: Lehrbuch Evidenzbasierte Medizin in Klinik und Praxis, 2. überarb. u. erweiterte Aufl. 2007, S. 361-373.
- <sup>13</sup> Eichler, Martin et al. (2015): Evidenzbasierte Medizin. Möglichkeiten und Grenzen. In: Deutsches Ärzteblatt, Jg. 112, Heft 51-52, 2015.
- <sup>7</sup> Sackett, David et al.: Evidence based medicine: what it is and what it isn't, [www.ebm-netzwerk.de/was-ist-ebm/leitartikel-sackett/](http://www.ebm-netzwerk.de/was-ist-ebm/leitartikel-sackett/), [Zugriff am 1.4.2018].
- <sup>14</sup> Vgl. Gibis, Bernhard et al. (2007): Systemsteuerung im Rahmen des SGB V: der Gemeinsame Bundesausschuss. In: Lehrbuch Evidenzbasierte Medizin in Klinik und Praxis, 2. überarb. u. erweiterte Aufl. 2007, S. 375-386.
- <sup>15</sup> Vgl. Knieps, Franz: Zehn Jahre IQWiG 2014, S. 23.
- <sup>16</sup> Der Gemeinsame Bundesausschuss (G-BA) ist das oberste Beschlussgremium der gemeinsamen Selbstverwaltung der Ärzte, Zahnärzte, Psychotherapeuten, Krankenhäuser und Krankenkassen in Deutschland. [www.g-ba.de/](http://www.g-ba.de/)
- <sup>17</sup> Vgl. Busse, Reinhard; Gibis, Bernhard (2007): Welche Evidenz braucht das System? In: Lehrbuch Evidenzbasierte Medizin in Klinik und Praxis, 2. überarb. u. erweiterte Aufl. 2007, S. 61-73.
- <sup>18</sup> Paradebeispiel für Medizinprodukte der höchsten Risikoklasse III sind alle aktiven, implantierbaren Medizinprodukte wie z. B. Herzschrittmacher. Daneben gibt es aber auch Medizinprodukte wie den Hirnspatel, der sehr viel Ähnlichkeit mit einem Kaffeelöffel hat, jedoch aufgrund der Tatsache, dass er bei Hirnoperationen mit Hirngewebe in Berührung kommt, in Risikoklasse III verortet ist. Vgl. Leonhard, Martin (2016): Medizinprodukte. Alles gut geregelt? Druck auf mittelständisch geprägte Branche wächst weiter. In: Gesundheitsökonomie und Qualitätsmanagement 2016; 21:103-107.
- <sup>19</sup> Gibis, Bernhard et al. (2007): Systemsteuerung im Rahmen des SGB V: der Gemeinsame Bundesausschuss. In: Lehrbuch Evidenzbasierte Medizin in Klinik und Praxis, 2. überarb. u. erweiterte Aufl. 2007, S. 375-386.
- <sup>20</sup> Vgl. Mühlbacher, Axel C.; Juhnke, Christin (2018): Nutzenbewertung für Untersuchungs- und Behandlungsmethoden mit Medizinprodukten hoher Klassen: Die Abwägung von Patientennutzen, Evidenz und Zugang. Gesundheitswesen 2018; 80 (Suppl 2): 80 – 87.
- <sup>21</sup> Ebd. Mühlbacher, Axel C.; Juhnke, Christin (2018)
- <sup>22</sup> Vgl. § 137 h SGB V.
- <sup>23</sup> SPECTARIS (2015): Die deutsche Medizintechnik-Industrie. SPECTARIS Jahrbuch 2015.
- <sup>24</sup> Mühlbacher, Axel C.; Juhnke, Christin (2018): Nutzenbewertung für Untersuchungs- und Behandlungsmethoden mit Medizinprodukten hoher Klassen: Die Abwägung von Patientennutzen, Evidenz und Zugang. Gesundheitswesen 2018; 80 (Suppl 2): 80 – 87.

# Innovation und radikale Innovation – worum handelt es sich und wie planbar sind sie?

Eine Bestandsaufnahme mithilfe der Soziologie

Dr. Hannes Kurtze

„Disruptive“ oder „radikale“ Innovationen scheinen auf den ersten Blick sehr wichtige Innovationen zu sein. Mit ihnen werden gern Veränderungen von großer Tragweite assoziiert: der Buchdruck hängt mit der Reformation zusammen, der Dieselmotor mit dem Automobil. Was ist der Charakter solcher Innovationen und wie laufen sie ab? Nach einem etwas sorgfältigeren Blick in die Details dieser Zusammenhänge wird niemand ernsthaft behaupten wollen, dass hierbei rationale Einzelentscheidungen mit Blick auf eine geplante Zukunft bestimmend waren: Gutenberg stand weder die Reformation noch die Aufklärung im Sinn. Der Selbstzündermotor war von Diesel zunächst als stationärer Motor für kleinere Betriebe gedacht, für die die Dampfmaschine zu aufwändig war. Heute hingegen sind vornehmlich Fahrzeuge mit dieser Verbrennungsmaschine ausgestattet. Auf der anderen Seite setzen Begriffe wie Innovationsmanagement, Innovationscontrolling, Dienstleistungs- oder Geschäftsmodellinnovation gerade Planbarkeit und Steuerbarkeit von Innovationen voraus. Nicht zu Unrecht lassen sich erfolgreiche Innovationen benennen, die es ohne kluge Planung oder Unternehmensstrategie nicht gegeben hätte.

Dieser Kontrast lässt erstens fragen, was überhaupt Innovationen sind. Wir fragen dann

zweitens, inwiefern Innovationen und radikale Innovationen „planbar“ sind und überlegen drittens, wie man sie fördern kann. Für diese Fragestellungen greifen wir auf die Soziologie zurück und gehen dabei insbesondere auf die Planbarkeit und Steuerbarkeit von Innovationen ein.

## Was sind überhaupt Innovationen?

Innovation ist aus Sicht der Soziologie ein allgemein verständlicher Sinnkontext, d. h. salopp gesprochen wird in der Gesellschaft wohlgeordnet und viel über Innovation geredet und geschrieben. Wenn in der Gesellschaft mit der Allgemeinform „Innovation“ kommuniziert wird, dann fallen meistens folgende Aspekte zusammen<sup>1</sup>:

- Innovation wird meistens auf ein technisches Artefakt zurückgeführt.
- Innovation wird als folgenreiche Veränderung empfunden. Als radikale Innovationen werden Innovationen verstanden, deren Auswirkungen als gesamtgesellschaftlich folgenreich interpretiert werden.

- Innovation wird als neuartig beschrieben.
- Dabei wird Innovation als Verbesserung wahrgenommen.

So gefasst, ist Innovation im allgemeinen Sprachgebrauch verbindlich und geläufig. In der Soziologie jedoch wird der Begriff der Innovation als Terminus oder Fachbegriff nicht verwendet. Der wesentliche Grund für diese Vakanz im soziologischen Begriffsrepertoire ist darin zu suchen, wie die Soziologie die *Veränderung* gesellschaftlicher Strukturen versteht und erklärt. Es ist für unsere Zwecke lohnenswert, dass wir dieser soziologischen Sicht detaillierter nachgehen. Dafür wählen wir im Folgenden die so genannte soziologische Systemtheorie, die zur Beschreibung von Veränderung den Begriff der *Evolution* einführt.<sup>2</sup> Die Systemtheorie hebt sehr präzise hervor, dass man den Blick zunächst auf ein soziales Referenzsystem fokussieren muss. Soziale Systeme sind, grob formuliert, kommunikationsbasierte autonome soziale Zusammenhänge wie die Wirtschaft, die Politik, die Massenmedien, aber auch Unternehmen, Familien oder zum Beispiel Redaktionssitzungen. Solche sozialen Systeme sind mittels *Variation*, *Selektion* und *Restabilisierung* zur Veränderung bzw. Evolution imstande. Mit Variation meint die Soziologie die Fähigkeit zur Irritation durch unerwartete oder unwahrscheinliche Abweichungen in der Umwelt von Bekanntem für das Referenzsystem – die meisten Abweichungen bleiben ohne weitere Folgen, das Referenzsystem geht ohne weiteres über sie hinweg. In einigen Fällen wird jedoch vom Referenzsystem ein strukturell relevanter Vorzugswert erkannt; diese Fähigkeit wird als Selektion beschrieben. Die Restabilisierung schließlich beschreibt die Fähigkeit der „Sicherung“ der Abweichung, d. h. für die Aufnahme in die Systemstrukturen.

Die Rede vom „Referenzsystem“ und seiner „Evolution“ bietet häufig Anlass für Missverständnisse. Die Soziologie bemüht damit tatsächlich keine Metapher aus dem technischen Bereich wie zum Beispiel ein System kommu-

nizierender Röhren. Gemeint sind wie oben erwähnt komplexe soziale Gefüge wie eine Organisation, wie ein Unternehmen, aber auch das System der Wirtschaft oder des Rechts. Sie sind in sich geschlossen, aber auch für ihre Umwelt offen und nehmen Veränderungen wie geschildert nach eigenen Maßgaben vor. Die Pointe ist: Nicht die Umwelt des Referenzsystems entscheidet über diese Veränderungen, sondern nur das Referenzsystem. Soziale Systeme fügen sich in ihrer Veränderung bzw. Evolution nicht äußeren Entscheidungen und lassen sich nicht direkt lenken. Es mag zwar Erfahrungswerte geben, wie etwa die Wirtschaft durch die Umwelt zur Änderung veranlasst werden kann, etwa aus der Politik per Gesetzesrahmen. Doch die Erfahrung lehrt eben auch, dass die Wirtschaft sich nicht zu einer bestimmten Inflationsrate hindirigieren lässt oder dass Gesetzesrahmen in der Wirtschaft auch ganz andere Folgen haben können als in der Umwelt gewünscht – siehe die steigenden Gehälter nach Einführung der Offenlegungspflicht der Vorstandsbezüge von börsennotierten Unternehmen. Soziale Systeme sind also für die Einfuhr von Irritationen umweltoffen und dennoch autonom.

## Sind Innovationen und radikale Innovationen planbar?

Zurück zu unserer Fragestellung: Wir haben oben den allgemeinen Gebrauch des Begriffes der Innovation und die soziologische Auffassung von Evolution getrennt. Bei der Veränderung sozialer Systeme erkannten wir eine deutliche Betonung der Autonomie der sozialen Systeme. Es ist nun recht einsichtig, dass bei Innovationsprozessen planende Entscheidungen mit Blick auf eine geplante Zukunft nicht die Effekte haben müssen, die ursprünglich intendiert wurden. Ob soziale Systeme die neuen angebotenen technischen Möglichkeiten in der gedachten Weise anneh-

men werden, ist nicht gesichert. Sie sind, knapp ausgedrückt, zu komplex und zu autonom.

Das ist vielleicht kein verblüffendes Ergebnis – aber es ist hervorzuheben, dass wir in der Lage sind, diese Zusammenhänge konzeptionell zu erfassen. Es ist nunmehr verständlich, dass sich die Innovationsforschung mit dem Begriff der *Systeminnovation* auf das Milieu der Innovationen zu fokussieren beginnt – die Soziologie würde formulieren: sich auf die Systemreferenz bezieht<sup>3</sup>. Wir können außerdem den Erfolg des Innovationsmanagements erklären. Er beruht auf außerordentlich detailliertem Erfahrungswissen im Bezugsrahmen sozialer Systeme, wie es zum Beispiel Marketingabteilungen zur Produkteinführung besitzen. Dennoch kann der Erfolg im Sinne eines Vollzugs intendierter Veränderungen in einem sozialen System damit nicht gesichert werden. Wir können nämlich durch die Unterscheidung von Umwelt und Referenzsystem auch erklären, warum ein technisches Artefakt wie der Dieselmotor oft nicht jene Resonanz in der Gesellschaft hervorruft wie ursprünglich geplant.

## Wie können Innovationen gefördert werden?

Blicken wir hierzu in unsere Arbeit als Projektträger, wo Verwertungspläne und Abschätzungen des Innovationspotenzials eine Rolle spielen: Ein Förderantrag, der zurückhaltend geschrieben ist, erscheint nicht sehr erfolgversprechend. Insofern nimmt es nicht Wunder, wenn die potenzielle

Reichweite der vorgestellten Innovation optimistisch in Richtung globaler oder großräumiger Auswirkungen abgeschätzt wird oder wenn das Verwertungskonzept sich nicht auf Nischenbereiche beschränkt. Mit unseren Ergebnissen können wir jedoch zusätzlich zur Empfehlung nach angemessener Zurückhaltung präziser formulieren, dass im Falle von sozialen Systemen Planbarkeit nicht oder nur in sehr begrenztem Umfang unterstellt werden sollte. Solange die Resonanz der sozialen Systeme nicht abzuschätzen ist, wäre zu empfehlen, sich den Blick auf eine geplante Zukunft zu verkneifen. Mindestens sollte sich auf die technisch absehbaren Potenziale beschränkt oder unter deutlicher Hervorhebung von Unsicherheit das Spektrum möglicher Veränderungen, Anwendungen und Umsetzungen bewertet werden. Dies gilt besonders für die radikalen Innovationen, von denen gesamtgesellschaftliche Veränderungen erwartet werden, d. h. wo es garantiert auf die Resonanz autonomer sozialer Systeme ankommt.

Oder in anderen Worten: Je sicherer eine Innovation eine folgenreiche Veränderung in sozialen Systemen einschließen soll, desto weniger würden wir es in Förderanträgen empfehlen, den Innovationsvorgang mittels Arbeits- und Zeitplan vom „Ende der Geschichte“, also von der antizipierten erfolgreichen Etablierung der Innovation her zu erzählen. Stattdessen würden wir es begrüßen, wenn Förderanträge narrativ in der Gegenwart beginnen und offen oder gern visionär, jedoch nicht alternativlos planend in die Zukunft schauen. Diese Empfehlung gilt besonders für radikale Innovationen, da sie wie dargestellt eigendynamische gesellschaftliche Austarierungsprozesse betreffen, die im Voraus kaum prognostiziert werden können.

<sup>1</sup> Vgl. Holger Braun-Thürmann (2005): Innovation. Transcript, Bielefeld, 2005.

Vgl. a.: Cristina Besio, Robert J. Schmidt (2012): Innovation als spezifische Form sozialer Evolution: Ein systemtheoretischer Entwurf. Technical University Technology Studies Working Papers 3/2012, Berlin, 2012.

<sup>2</sup> Vgl. Niklas Luhmann (1997): Gesellschaft der Gesellschaft. Frankfurt a. M.: Suhrkamp.

<sup>3</sup> Vgl. zur Systeminnovation auch den Beitrag von Peter Dortans in diesem Band.

# Digitale Hochschule

Dr. Ernst Andreas Hartmann

Die Hochschulen waren bereits in den 90er Jahren des vorigen Jahrhunderts Vorreiter und Innovationstreiber bei der Implementierung umfangreicher technischer Infrastrukturen, aber auch von ersten multimedialen Lernelementen und universell nutzbaren E-Learning-Plattformen. Seitdem sind Campus-Management- und Lern-Management-Systeme nicht mehr aus den Hochschulen wegzudenken. Mit der fortschreitenden Digitalisierung bei einer globalen Verfügbarkeit von digitalen Inhalten und Services sind die Hochschulen heute mehr denn je auf innovative Lösungen in allen Leistungsbereichen – Lehre, Forschung, Wissenstransfer und interne Verwaltung – angewiesen:

Im Vordergrund der Diskussion und der öffentlichen Wahrnehmung zu digitalen Hochschulen steht aktuell die digitale **Lehre**, mit MOOCs (Massive Open Online Courses), SPOCs (Small Private Online Courses), Flipped Classrooms, virtuellen Laboren und Learning Analytics.

Die digitale **Forschung** wird durch mehrere, teilweise voneinander unabhängige Trends geprägt. Data Science steht für ein Konzept empirischer Forschung, das mit der in allen empirischen Wissenschaften verbreiteten hypothetico-deduktiven Methodologie nicht mehr viel gemeinsam hat: Die Forschung beginnt nicht mehr (notwendigerweise) mit theoriebasierten Hypothesen, die dann empirisch getestet werden; vielmehr sollen induktiv „die Daten selbst sprechen“. Gleichzeitig, und weitgehend unabhängig von solchen methodologischen Umbrüchen, entstehen digitale Forschungsinfrastrukturen, die neue Möglichkeiten der Sekundärnutzung von Daten, der Replikation und Integration empirischer Befunde eröffnen.

Der **Wissenstransfer** aus der Hochschule in die allgemeine Öffentlichkeit kann durch digitale Medien viel zielgruppengerechter, anschaulicher und leichter zugänglich gestaltet werden.

Die **Verwaltung** der Hochschulen ist durch den breiten Einsatz von Campusmanagementsystemen bereits stark digitalisiert. Herausforderungen bestehen noch in der Integration dieser Systeme mit Lehr-Lernplattformen, Forschungsdateninfrastrukturen, digitalen Bibliotheken und externen Datenquellen, wie etwa digitalen Daten zu Hochschulzugangsberechtigungen (beispielsweise digitale Abiturzeugnisse).

Wie könnte das alles im Alltag aussehen? Ein Ausflug in die zukünftige Welt der digitalen Hochschule zeigt einige Schlaglichter:

- Helena hat gerade erfolgreich ihr Abitur abgelegt und möchte studieren. Sie sucht sich im Internet einen passenden Studiengang aus, klickt auf „**Immatrikulieren**“, gibt ihre **e-Identity** an und bekommt unmittelbar die Rückmeldung, dass sie eingeschrieben ist. Alle Voraussetzungen werden anhand digitaler Daten automatisch geprüft. Irgendwelche Papiere braucht sie dafür nicht, und außer ihr selbst ist kein anderer Mensch mit dem Vorgang befasst.
- Helena nimmt mit vielen anderen Studienanfängern an einer mehrtägigen Einführungsveranstaltung ihrer neuen Hochschule teil. Viele Professoren stellen in diesen Tagen ihre Fachgebiete vor und diskutieren mit den Erstsemestern. Kleine Gruppen von Erstsemestern werden während der ganzen Zeit von **humanoiden Robotern** als Studienein-

gangs-Coaches begleitet. Die Roboter wissen auch auf die entlegensten Fragen Antworten, werden nie ungeduldig und beantworten gerne Fragen zum tausendsten Mal. Sie können sich individuell auf die einzelnen Erstsemester einstellen, sie können auch Emotionen erkennen und haben keine Probleme mit Humor und Ironie.

- Während des Studiums macht Helena ein Auslandssemester. Im **europäischen Studienangebots-Portal** konnte sie vorher genau und verbindlich sehen, welche Kurse welcher ausländischen Hochschule auf welche Module ihres Heimat-Studiengangs anerkannt werden. Sobald sie an der Gasthochschule eine Prüfung abgelegt hat, werden die Ergebnisse in einem elektronischen **Open Badge** dokumentiert. Dieser Badge wird sofort und automatisch in Helenas **e-Portfolio** eingelezen. Auch an ihrer Heimathochschule wird das Ergebnis sofort und automatisch als Studienleistung in einem elektronischen Zertifikat und für ihr elektronisches Abschluszeugnis dokumentiert.
- Nach ihrem Studium möchte sich Helena auf passende Stellen bewerben. Sie kann alle Informationen und Belege ihres e-Portfolios differenziert und gezielt zu definierten Zeiträumen potenziellen **Arbeitgebern** zugänglich machen. Die Arbeitgeber benötigen keine weiteren und insbesondere gar keine physischen Dokumente wie zum Beispiel Zeugniskopien. Daraus entstehen auch wichtige Vorteile für die Arbeitgeber. Es müssen nicht mehr Berge von pdf-Dokumenten gelesen und ausgewertet werden (von Papierdokumenten ganz zu schweigen), vielmehr können die Daten sofort digital gelesen, analysiert und aufbereitet werden. Und nicht zuletzt: Wenn wesentliche Daten wie Zeugnisse und Zertifikate in einer sicheren digitalen Form – beispielweise innerhalb einer Blockchain – vorliegen, werden Dokumentenfälschungen sehr viel schwieriger, die Daten verlässlicher.
- Rupert hat sich nach einer Berufsausbildung zum Mechatroniker zum Industriemeister Mechatronik weitergebildet. Nun sucht er **Weiterbildungsangebote** zum Thema Industrie 4.0. Mittel- bis langfristig kann er sich auch vorstellen, berufsbegleitend noch ein Hochschulstudium zu absolvieren, um seine Karriereaussichten zu verbessern. Im europäischen Studienangebots-Portal erhält er sofort Informationen dazu, welche Studienmodule welcher Hochschulen zu seinen Interessen passen, berufsbegleitend und online studiert werden können. Weiterhin erhält er Informationen, auf welche Module seine Berufsbildung **angerechnet** wird, und wie er unterschiedliche Module unterschiedlicher Hochschulen über die Zeit zu einem Bachelor-Studiengang und -abschluss **akkumulieren** kann.
- Rupert beginnt seine Weiterbildung mit Hochschulzertifikaten zur CyberSecurity. Die Kurse sind komplett online, auch die **Prüfungen**. Prüfungsergebnisse werden auch bei ihm sofort in Open Badges und in seinem e-Portfolio dokumentiert.
- Rupert kann seine neuen Kenntnisse **direkt am Arbeitsplatz** umsetzen. Dazu tragen mehrere Faktoren bei. Ein Teil seines Studiums besteht aus praxisintegrierten Forschungs-, Innovations- und Lernprojekten. Zu Ruperts Aufgaben gehört es, einen Produktionsbereich auf additive Fertigungsverfahren umzustellen. Dieses komplexe Projekt mit Literatur- und Dokumentenanalyse, Konzeption, Planung, Umsetzung und kritischer Auswertung war für ihn zugleich ein Lehrprojekt, ein Teil seines Studiums. Zweitens kann Rupert Techniken der Erweiterten Realität mit seiner Datenbrille nutzen, um sich Informationen aus seinem Studium und seiner Hochschule direkt bei der Arbeit verfügbar zu machen. Drittens sind die neuen Produktionsanlagen so stark mit Datenerfassungs-, -analyse- und -visualisierungstools ausgestattet, dass sie selbst direkt als Lernsysteme genutzt werden können.

- Helenas und Ruperts Lernverhalten wird mit **Learning Analytics** ausgewertet. Im Ergebnis werden ihnen ergänzende Materialien (z. B. MOOCs, Webinare, ...) empfohlen und direkt online zugänglich gemacht. Wenn sie es wünschen, werden die Daten auch ihren Tutoren an den jeweiligen Hochschulen vertraulich zur Verfügung gestellt, damit die Tutoren sie noch besser betreuen und beraten können.
- Anne ist Entwicklerin für digitale Medien an einer renommierten deutschen Hochschule. Sie arbeitet besonders daran, **Erweiterte und Virtuelle Realität** didaktisch zu nutzen. Mit den von ihr entwickelten Lehr-/Lernsystemen können Studenten bei Exkursionen in ihren Datenbrillen Informationen zu Architektur, Geschichte oder Botanik abrufen. Mit ihren VR-Systemen kann man mit allen Sinnen eintauchen in die Korona eines Sterns, das Mitochondrium einer menschlichen Körperzelle, das Innere einer Werkzeugmaschine, ...
- Alexander ist Sozialwissenschaftler und erforscht Bildungsbiografien. Seine Forschungsergebnisse – qualitative Daten – stellt er bei einem **Forschungsdatenzentrum** ein, damit andere Wissenschaftler seine Daten auch verwenden können. Umgekehrt nutzt er regelmäßig online Daten anderer Forscher, um sie mit seinen eigenen Daten zu vergleichen und, wo möglich, zu integrieren.
- Alexander ist auch Dozent für empirische Bildungsforschung. In seinen Seminaren – die teilweise als Webinare organisiert sind – nutzt er Daten der Forschungsdatenzentren; die Studenten können mit diesen Daten wissenschaftliche Fragestellungen untersuchen und dabei ihre fachlichen wie auch methodischen Kompetenzen entwickeln. So **verbindet** Alexander ganz praktisch **Forschung und Lehre**.

Hochschulen als Einrichtungen der Forschung und der Lehre nehmen eine ganz besondere Rolle ein in den Innovationssystemen. Digitale

Technologien erweitern entscheidend die Möglichkeiten der Hochschulen, diese Rolle auszugestalten. Durch digitale Konzepte und Technologien wie Open Badges, e-Portfolios und Blockchain wird es möglich, **personenbezogene und angebotsbezogene Bildungsdaten** auf einem neuen Qualitätsniveau zur Verfügung zu stellen. Personen werden ihre Bildungsdaten flexibel, sicher, gezielt und vor allem souverän verwenden können. Informationen zu Bildungsangeboten der Hochschulen – ob traditionell oder weiterbildend – werden viel umfassender, differenzierter und aktueller zur Verfügung stehen.

Die **Qualität der Lehre** wird sich stark verbessern: Immersive digitale Medien erlauben völlig neue Lernerlebnisse „mit allen Sinnen“. Das Selbstlernen wird mehr und mehr durch digitale Medien unterstützt; Dozenten können sich konzentrieren auf vertiefende Diskussionen, Beratung, Lernbegleitung und andere Aufgaben, die menschliche Kompetenzen erfordern. Learning Analytics wird dazu beitragen, dass Lernangebote viel genauer auf individuelle Bedarfe zugeschnitten werden können.

Die **Zugänglichkeit** der Hochschulbildung wird sich für viele Menschen verbessern. Berufstätige und Personen mit Familienpflichten profitieren von Angeboten, die sie zeitlich flexibel von zu Hause aus oder am Arbeitsplatz wahrnehmen können. Neue Formen der Mensch-Technik-Interaktion (zum Beispiel Sprach-Ein- und -Ausgabe, Gestenerkennung bis hin zu Brain-Computer-Interfaces) erschließen neue Zugänge für Menschen mit Einschränkungen im Bereich des **Hörens oder Sehens**.

Auch die **räumliche** Zugänglichkeit der Hochschulbildung wird sich deutlich verbessern. Menschen in **entlegenen Regionen** werden ohne Qualitätsverluste an einer breiten – letztlich weltweiten – Palette von Angeboten der Hochschulbildung teilnehmen können. Hier liegen auch Chancen für Entwicklungsländer hinsichtlich der Teilhabe an weltweiten Wissensströmen.

Durch räumlich und zeitlich flexibel nutzbare Forschungsdatenbestände und ebenso räumlich und zeitlich flexibel gestaltbare Bildungsangebote entstehen neue Möglichkeiten der Verbindung von **Forschung und Lehre**, des forschenden Lernens.

## Wird sich also eine schöne, neue, digitale Hochschulwelt von allein einstellen, quasi naturgesetzlich, allein durch den Sog der technologischen Entwicklung?

Sicher nicht, auf dem Weg zur digitalen Zukunft der Hochschulen sind einige Herausforderungen zu bewältigen, schwierige Fragen zu beantworten. Die Wirkung digitaler Medien und Systeme stellt sich nicht automatisch ein, und sie erschließt sich nicht von allein. Dies betrifft alle Aspekte der digitalen Hochschule: Lehre, Forschung, Wissenstransfer, Verwaltung:

- Welche digitalen Lehr-/Lernformate wirken wie auf was? Allein die Digitalisierung der Lehre dürfte gar keine **Wirkung** haben. Vielmehr bieten digitale Techniken Möglichkeiten, grundlegende Aspekte des menschlichen Lernens besser anzusprechen: Das aktive Lernen kann durch digitale Lehr-/Lernsettings besonders herausgefordert werden, induktives Lernen kann in Simulationsumgebungen effektiver und effizienter verlaufen als in der realen Welt – manchmal ermöglicht die virtuelle Umgebung auch erst experimentelles, induktives Lernen, das in der Realität so gar nicht stattfinden könnte, weil es in den jeweiligen Kontexten zu gefährlich oder viel zu kostspielig wäre. Alle diese Wirkungs-

mechanismen digitalen Lehrens und Lernens müssen gut erforscht und verstanden werden, um die Potenziale der digitalen Technik gut nutzen zu können.

- Ersetzen Big Data und Data Science einfach die gute alte Welt Popper'scher **Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie**? Einfach so, durch die reine Kraft der Methoden? Oder wird nicht vielmehr ein neuer methodologischer, erkenntnis- und wissenschaftstheoretischer Diskurs herausgefordert, der die neuen Möglichkeiten der Datenanalyse kritisch begleitet und die wissenschaftliche Praxis ihrer Verwendung neu gestaltet?
- Wie stellt sich Wissenstransfer aus den Hochschulen in die allgemeine Öffentlichkeit dar im Zeitalter **sozialer Netzwerke**? Wie sind wissenschaftliche Inhalte noch vermittelbar, wie können Konzepte von Seriosität, Fundiertheit und fachlicher Unabhängigkeit kommuniziert, aufrechterhalten, vielleicht auch neu erfunden werden?
- Welche Rolle spielen IT-Systeme für Führung und Steuerung, für die **Governance** einer Hochschule? Dies betrifft nicht nur die *IT-Governance*, also die Steuerung und Gestaltung des fortschreitenden Digitalisierungsprozesses der Hochschule, sondern zunehmend die Governance *durch* IT-Systeme, die Nutzung digitaler Technologien für die wirtschaftliche, soziale und wissenschaftliche Positionierung und Entwicklung der Hochschulen. Welche Auswirkungen hat das auf die praktische Möglichkeit der Autonomie, des autonomen Handelns von Hochschulen? Viele dieser Fragen sind kaum untersucht, manche nicht einmal explizit hergeleitet und gestellt worden.

Die Beantwortung dieser Fragen wird darüber entscheiden, welche Konzepte der digitalen Hochschule unter welchen Bedingungen welche Aussichten auf Wirksamkeit und generell Erfolg haben werden.

Es gibt aber auch einen Regelungsbereich, der eine ganz grundlegende Bedeutung für den Erfolg und die Akzeptanz der digitalen Hochschule hat: Dies sind Fragen des Datenschutzes und der informationellen Selbstbestimmung.

Wie die Verleihung des Big-Brother-Award an die beiden Münchner Universitäten – wie berechtigt auch immer – deutlich gemacht hat, kann die grundlegende Akzeptanz digitaler Lösungen im Hochschulbereich an unzureichenden Regelungen in diesem Bereich scheitern.

Somit steht im Mittelpunkt der Ausgestaltung der digitalen Hochschule die Frage nach den Daten, nach Eigentümerschaft, Kontrolle, Souveränität über die Daten und nach Sicherheit der Daten:

- Wie kann in der praktischen Umsetzung gewährleistet werden, dass die Individuen – hier vor allem Lernende, Lehrende und Forschende – tatsächlich wirksam und verlässlich voll-

ständige **Kontrolle über ihre Daten** haben, insbesondere, aber nicht nur im Kontext von Learning Analytics?

- Welche **Verantwortung** haben hier die **Hochschulen** zu tragen? In welchem Maße müssen sie aktiv die Datensouveränität der Individuen herbeiführen und sichern? Welche Aufgaben und Funktionen müssen sie dafür übernehmen? Was müssen sie selbst gewährleisten durch eigene Tätigkeit und Verantwortung, etwa durch eigenes Datenhosting, was können sie unter welchen Bedingungen an Dritte – beispielweise (private) Dienstleister und Intermediäre – weitergeben, beauftragen?
- Welche Rolle können, müssen **staatliche oder parastaatliche Akteure** auf Bundes- oder Landesebene hier spielen, durch Regelung, Regulation, Bereitstellung und /oder Kontrolle von Infrastruktur (z. B. Kursplattformen, Forschungs- und Bildungsdateninfrastrukturen)?



Wenn es gelingt, diese Kontrolle der Dateneigentümer über ihre Daten effektiv und effizient herzustellen, kann die digitale Hochschule ihre Rolle in regionalen, nationalen und globalen Innovationssystemen in einer ganz neuen Weise erfüllen:

Längst überfällige **Innovationen in der Lehre** und der Weiterbildung – wie etwa die Ersetzung der klassischen Vorlesung, Förderung induktiven, erfahrungsbasierten Lernens – werden durch digitale Techniken und digital vermittelte Didaktiken – Inverted Classrooms, Simulationen, virtuelle Labore, Erweiterte und Virtuelle Realität – stark katalysiert und letztlich wirksam und „flächendeckend“ herbeigeführt.

Die **Verbindung von Forschung und Lehre** wird auf einem neuen Niveau (wieder-)hergestellt werden. Dazu tragen didaktische Innovationen wie forschungsprojektbasiertes Lernen ebenso bei wie die breite Verfügbarkeit digitaler Forschungsdaten für die forschungsbasierte Lehre.

Der **Wissenstransfer** zwischen Hochschule und Praxis kann mit digitalen Medien viel zielgruppengerechter, schneller, breiter, interaktiver erfolgen.

Heute hinkt die Digitalisierung der Hochschulen, abgesehen von bestimmten, stark digitalisierten Forschungsbereichen, in vielen Aspekten noch der Digitalisierung anderer Gesellschaftsbereiche hinterher. So sind etwa Erweiterte und Virtuelle Realität heute in der Wirtschaft stärker verbreitet als in der Hochschule. Je stärker und integrativer die Digitalisierung aber voranschreitet, desto mehr wächst auch die Chance, dass die digitale Hochschule einmal – zumindest in Teilaspekten – **Treiber der digitalen Innovation** werden könnte. Ähnlich wie Spiele-Anwendungen eine starke Rolle in der Entwicklung der Mensch-Technik-Interaktion inne haben, könnten etwa virtuelle Labore oder Labore in Telepräsenz und andere entstehende digitale Anwendungen in der Hochschullehre technische Entwicklungen anstoßen, die auf andere Anwendungsfelder ausstrahlen.

# Wie Brot und Sprengstoff aus der Luft die Welt veränderten: Das Haber-Bosch-Verfahren

Dr. Moritz Kirste ■ Dr. Jan Philipp Meyburg

Mit der Industriellen Revolution im späten 18. Jahrhundert und insbesondere im Verlauf des 19. Jahrhunderts begann die Bevölkerung in Europa sehr schnell zu wachsen. Dieser massive Anstieg – allein in Europa waren es insgesamt 116 Prozent<sup>1</sup> – wurde durch die Erschließung neuer Flächen für die Landwirtschaft und die effizientere Nutzung des vorhandenen Ackerlandes ermöglicht. Durch Justus von Liebig's Forschungen war seit Mitte des 19. Jahrhunderts bekannt, dass Pflanzen wichtige anorganische Nährstoffe, allen voran Stickstoff, aber auch Kalium und Phosphat benötigen und dass durch die zusätzliche Ausbringung dieser Substanzen die Ernteerträge signifikant gesteigert werden konnten. Warum aber ist gerade das Fehlen von Stickstoff dabei ein fundamentaler, ertragsbegrenzender Faktor?

Im Vergleich zu den anderen Hauptnährelementen ist sein Anteil in lebender Materie gering. Der menschliche Organismus besteht beispielsweise nur zu ca. drei Prozent aus Stickstoff. Im Gegensatz zu anderen Elementen, wie etwa Kohlenstoff, kann er von Pflanzen nur aus dem Boden und nicht direkt aus der Luft aufgenommen werden. Für die natürliche Anreicherung des Bodens mit Stickstoff sorgen Bakterien, die sowohl atmosphärischen Stickstoff als auch den in der toten Biomasse vorhandenen Stickstoff in für Pflanzen und damit letztlich auch für Menschen bioverfügbare chemische Verbindungen umwandeln. Im menschlichen Organismus wird er für den Aufbau von unverzichtbaren Biomolekülen wie

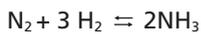
DNA, RNA und Proteinen benötigt. Die beiden Nucleinsäuren DNA und RNA dienen in den Zellen als Speicher und Transporteur genetischer Informationen, während Proteine als Botenstoffe, Rezeptoren, Katalysatoren und Strukturbausteine fungieren.

Seit Beginn der Landwirtschaft versuchen Menschen die Ernteerträge durch Unterstützung des Pflanzenwachstums zu erhöhen, indem sie zusätzliche Stickstoffverbindungen in Form von Mist oder Kompost auf die Äcker ausbringen oder durch eine gute Stickstoffversorgung garantierende wechselnde Fruchtfolge. Lange Zeit waren ihnen die zugrundeliegenden Prozesse nicht bekannt – erst durch Justus von Liebig's Erkenntnisse konnten im 19. Jahrhundert die Erträge der Landwirtschaft gezielt mit Hilfe künstlicher Düngung auf der Basis von Salzen gesteigert und auf diese Weise die Bevölkerung ernährt und ein verstärktes Wachstum gewährleistet werden.

Bereits 1798 hatte Thomas Robert Malthus das Verhältnis von Bevölkerungswachstum und Bodenertrag untersucht und ermittelt, dass die Lebensmittelproduktion auf Dauer jedoch nicht mit dem Wachstum der Menschheit Schritt halten könne. Die für die Düngung benötigten stickstoffhaltigen Salze wurden fast ausnahmslos durch die Erschließung von Salpeterorkomen in der Atacama-Wüste im Grenzgebiet zwischen Bolivien, Chile und Peru und durch den Abbau von Guano (Vogelmist) gewonnen. Ein effizientes technisches Verfahren für

die Gewinnung von Stickstoff gab es nicht und spätestens nach einer viel beachteten Rede von William Crookes vor der British Association for the Advancement of Science in Bristol im Jahre 1898 war absehbar, dass die natürlichen Stickstoffvorkommen im Laufe des 20. Jahrhunderts zuneige gehen würden.<sup>2</sup> William Crookes prophezeite, dass der Welt neue Konflikte um die natürlichen Stickstoffvorkommen und Hungersnöte in ungeahntem Ausmaße drohen würden, wenn es nicht gelänge, den in der Luft enthaltenen Stickstoff chemisch zu fixieren und als Dünger zu verwenden. Die Idee ist naheliegend, denn Luft besteht bis zu 80 Prozent aus elementarem Stickstoff, der in dieser Modifikation jedoch lediglich von speziellen Bakterien umgewandelt werden kann. Die Bindung von Luftstickstoff als sogenanntes Brot aus der Luft galt demnach zu Beginn des 20. Jahrhunderts als eine der größten chemischen Herausforderungen für die Ernährung und Versorgung der Menschheit.

Neben anderen Chemikern begann im Jahr 1904 auch Fritz Haber in Karlsruhe mit dem Studium der Darstellung von Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) aus Luft-Stickstoff ( $\text{N}_2$ ) und Wasserstoff ( $\text{H}_2$ ) gemäß der Reaktionsgleichung:



Synthetisierter Ammoniak kann anschließend als Ausgangsstoff für die Düngemittelherstellung verwendet werden. 1906 erkannte Haber, dass bei Normaldruck und einer Temperatur von 1000 °C die Ausbeute der Reaktion lediglich 0,004 Prozent beträgt und die Reaktion unter diesen Umständen wirtschaftlich nicht effizient genutzt werden konnte<sup>3</sup>. Diesem Hindernis liegen einige fundamentale chemische und thermodynamische Zusammenhänge zugrunde, die im Folgenden kurz erläutert werden.

Chemische Reaktionen laufen üblicherweise bei konstanter Temperatur (isotherm) und konstantem Druck (isobar) ab. Ohne äußere Einflüsse stellt sich ein Gleichgewichtszustand zwischen Ausgangsstoffen – in diesem Falle  $\text{N}_2$  und  $\text{H}_2$  –

und Produkten, also  $\text{NH}_3$ , ein. Ist das System jedoch nicht im Gleichgewicht, verläuft die Reaktion jeweils in die Richtung, in die das Gleichgewicht verändert wurde. Die obere Gleichung lässt sich also als eine Art Waage vorstellen, bei der der Doppelpfeil das Zentrum der Waage und die Ausgangsstoffe und Produkte die beiden Waagschalen bilden. Eine Möglichkeit, die Waage aus dem Gleichgewicht zu bringen, ist die Temperatur. Bei der gewünschten Richtung, also von links nach rechts, handelt es sich um eine exotherme Reaktion. Es wird Wärme frei, und demnach wird die Reaktion begünstigt, wenn man dem System Wärme entzieht und somit die Waage zugunsten der rechten Seite aus dem Gleichgewicht bringt.

Eine zweite Möglichkeit ist der Druck. Erhöht man den Druck in dem System, bewegt sich das Gleichgewicht auf die Seite, wo weniger Moleküle sind. Links befinden sich vier Moleküle pro Volumeneinheit (ein Stickstoff und drei Wasserstoff) und auf der rechten Seite sind nur zwei Ammoniakmoleküle. Durch Druckerhöhung wird die gewünschte Reaktion also begünstigt.

Zuletzt kann das Gleichgewicht beeinflusst werden, indem kontinuierlich Stoff hinzugefügt oder entnommen wird. Wird dem System Ammoniak entzogen, so entsteht ein Überschuss an Ausgangsstoffen, der wiederum weitere neue Reaktionen hin zu Ammoniak ermöglicht.

Chemische Reaktionen werden aber noch durch einen weiteren Aspekt beeinflusst: Die sogenannte Reaktionskinetik, also die Geschwindigkeit, mit der die Reaktion abläuft. Diese wird durch die Höhe der Aktivierungsenergie bestimmt, welche überwunden werden muss, damit eine Reaktion überhaupt ablaufen kann. Ist diese Aktivierungsenergie niedrig, so verläuft die Reaktion schnell. Ist sie jedoch wie im Fall von Luft-Stickstoff ( $\text{N}_2$ ) sehr hoch, da die Dreifachbindungen zwischen den beiden Stickstoffatomen aufgebrochen werden muss<sup>4</sup>, dann verläuft die Reaktion sehr langsam und damit ineffizient. Die Reaktionsgeschwindigkeit

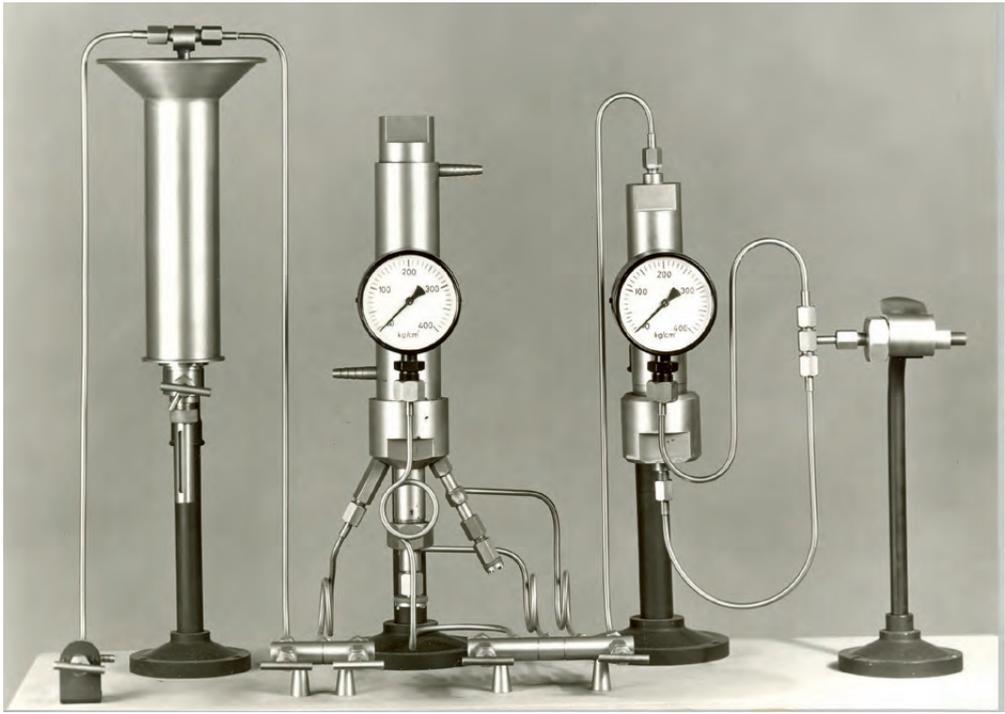


Abb. 1: Nachbau der Versuchsanordnung Fritz Habers zur Ammoniaksynthese

kann beschleunigt werden, indem die Temperatur des Systems erhöht und dadurch die Aktivierungsenergie leichter überwunden wird – ein Vorgang der jederzeit zuhause beim Kochen oder Backen nachvollzogen werden kann.

Für die Synthese von Ammoniak entsteht durch die beschriebenen Zusammenhänge eine Zwickmühle: Einerseits muss dem System für eine effiziente Reaktion Wärme zugefügt werden, gleichzeitig steht dies im Gegensatz zur ersten Forderung, dass dem System aus Sicht der Waage und des Gleichgewichtes eigentlich Wärme entzogen und die Reaktion zusätzlich durch hohen Druck und die Entnahme der Endprodukte begünstigt werden müsste.

Haber erkannte dies und beschäftigte sich in der Folge mit Druckreaktoren und entwickelte zudem Reaktoren aus denen synthetisierter Ammoniak abfließen konnte.<sup>5</sup> Die Ammoniaksynthese konnte jedoch auch in dieser

Form weiterhin nicht wirtschaftlich realisiert werden. Den eigentlichen Ausweg fand Haber schließlich, indem er geeignete Reaktionskatalysatoren verwendete. Katalysatoren vermögen chemische Reaktionen zu beschleunigen oder überhaupt zu ermöglichen, indem sie alternative Reaktionspfade bieten, die deutlich geringere Aktivierungsbarrieren als die ursprüngliche Reaktion aufweisen. Hierfür kommen üblicherweise Übergangsmetalle in Frage, da sie freie Valenzen für die Adsorption (Bindung) und Reaktion der Edukte bieten, jedoch die entstehenden Produkte auch wieder desorbieren lassen (Sabatier-Prinzip).<sup>6</sup> Haber identifizierte zunächst Osmium als geeignetes Katalysatormaterial. Mit seinen Assistenten konnte Haber zeigen<sup>7</sup>, dass bei einem Druck von 200 Atmosphären und einer Temperatur von 600 °C unter Verwendung von Osmium-Katalysatoren eine Ausbeute von 18 Prozent realisierbar war: Am 13. Oktober 1908 beantragte er beim kaiserlichen Patentamt in



Abb. 2: Fritz Haber und Carl Bosch

Berlin ein Patent für ein „Verfahren zur Synthetischen Darstellung von Ammoniak aus den Elementen“.

Kurz darauf wurde Haber Mitarbeiter der Badischen Anilin- und Soda-Fabrik in Ludwigshafen am Rhein (BASF) und überließ dieser die wirtschaftliche Verwertung seiner Forschung. Er hatte zuvor aufgezeigt, dass die Synthese von Ammoniak aus Luft-Stickstoff und Wasserstoff mittels geeigneter Katalysatoren nur unter Hinnahme eines Kompromisses zwischen Temperatur, Druck, Konzentration und Reaktionskinetik möglich ist. Zusätzlich mussten die technische Realisierbarkeit und der wirtschaftliche Aufwand berücksichtigt werden. Die zunächst verwendeten Osmium-Katalysatoren waren zu teuer, weshalb nach Alternativen gesucht werden musste. Bei der BASF versuchten daher Carl Bosch und Alwin Mittasch, Stickstoff zunächst an Metallnitriden und Metallcyaniden zu fixieren. Nach langer systematischer Suche in 20.000 Versuchen mit etwa 3.000 verschiedenen Katalysatoren fand Mittasch schließlich Katalysatoren auf Basis von günstigen Eisenoxiden, die eine großtechnische Ammoniaksynthese ermöglichen konnten.<sup>8</sup> Auch heute noch werden die von Mittasch identifizierten Katalysatoren für die Ammoniaksynthese verwendet. Der zugrundeliegende Reaktionsmechanismus konnte erst zum ausgehenden 20. Jahrhundert von Gerhard Ertl und seinen Mitarbeitern auf molekularer Ebene vollständig aufgedeckt werden.<sup>9</sup>

Trotz des Verständnisses der grundsätzlichen chemischen Zusammenhänge und der Entdeckung eines günstigen Katalysators waren für eine Produktion im industriellen Maßstab die verfahrenstechnischen Probleme für die Ammoniaksynthese bei enormen Drücken von 200–400 bar und die damit verbundenen ingenieurtechnischen Schwierigkeiten noch lange nicht gelöst.<sup>10</sup> Für die Konstruktion geeigneter Reaktoren wurde bei der BASF mit der Unterstützung des Vorstands und des Aufsichtsrats sowie unter Umgehung der üblichen Zuständigkeiten und Abteilungsstrukturen eine Hochdruckwerkstatt eingerichtet.<sup>11</sup> Spezialisten verschiedener Disziplinen (Chemie, Maschinenbau, Physik) arbeiteten hier unter der Leitung von Carl Bosch gemeinsam an der technischen Ausführung der Ammoniaksynthese, für deren Umsetzung es zu diesem Zeitpunkt keinerlei technische Referenzen gab.

Als große Herausforderungen wurden insbesondere die Kontrolle und die Bereitstellung von Wasserstoff in industriellen Maßstäben, bei hohem Druck und hohen Temperaturen identifiziert. Die zunächst verwendeten Stahllegierungen der Reaktoren erwiesen sich als ungeeignet, da im Verlauf des Prozesses Wasserstoff dissoziierte, atomar in die Reaktorwände eindiffundierte und diese hierdurch erodierte. Eindringender atomarer Wasserstoff rekombiniert vorwiegend an Gitterfehlstellen wieder zu  $H_2$  und verbleibt sodann im Metallgitter. Dies führt

zu Spannungen und zu einer Versprödung des Stahls (Wasserstoffversprödung), die schließlich zu Rissen in den Reaktorwänden führen. In Erkenntnis dessen wurden in der Folge austenitische Stahllegierungen (vorwiegend Chrom-Nickel-Stähle) entwickelt, die sich als weitgehend unempfindlich gegen die Wasserstoffversprödung auch bei hohen Wasserstoffdrücken und hohen Reaktionstemperaturen erwiesen. In austenitischen Legierungen und Stählen liegt Eisen hauptsächlich in kubisch-flächenzentrierter Gitterstruktur vor. Dies erhöht die Zähigkeit der Legierung und somit dessen Widerstandsfähigkeit gegen Brüche oder Rissausbreitung.

Die interdisziplinäre Zusammenarbeit bei BASF gilt als herausragendes Beispiel für das effektive Zusammenspiel verschiedener Disziplinen in der chemischen Großindustrie. Das von Haber 1908 eingereichte Patent zur synthetischen Herstellung von Ammoniak wurde am 8. Juni 1911 vom Kaiserlichen Patentamt als Patent

Nr. 235421 ausgegeben<sup>12</sup> und bereits 1913 nahm die BASF in ihrem Werk in Oppau erstmals eine industrielle Anlage in Betrieb. Sofort wurden hier nach dem entwickelten Verfahren täglich zunächst 30 Tonnen Ammoniak produziert.<sup>13</sup> Im Anschluss befasste sich die BASF mit der Oxydation von Ammoniak zu Salpeter (Ammoniumnitrat,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ), denn dieser kann von vielen Pflanzen deutlich besser aufgenommen werden.

Mit dem Ausbruch des Ersten Weltkrieges 1914 rückte jedoch eine andere Verwendung von Ammoniak als die zur Düngemittelherstellung in den Vordergrund: die Nutzung zur Sprengstoffproduktion. Da Deutschland über keine eigenen Salpetervorkommen verfügte, kam der Salpetererzeugung eine militärische Schlüssel-funktion zu. Dieser Umstand veranlasste Carl Bosch zur Abgabe seines sogenannten Salpeterversprechens gegenüber dem Kriegsministerium. Innerhalb weniger Monate wurde ein Verfahren zur Salpeterherstellung etabliert, so dass

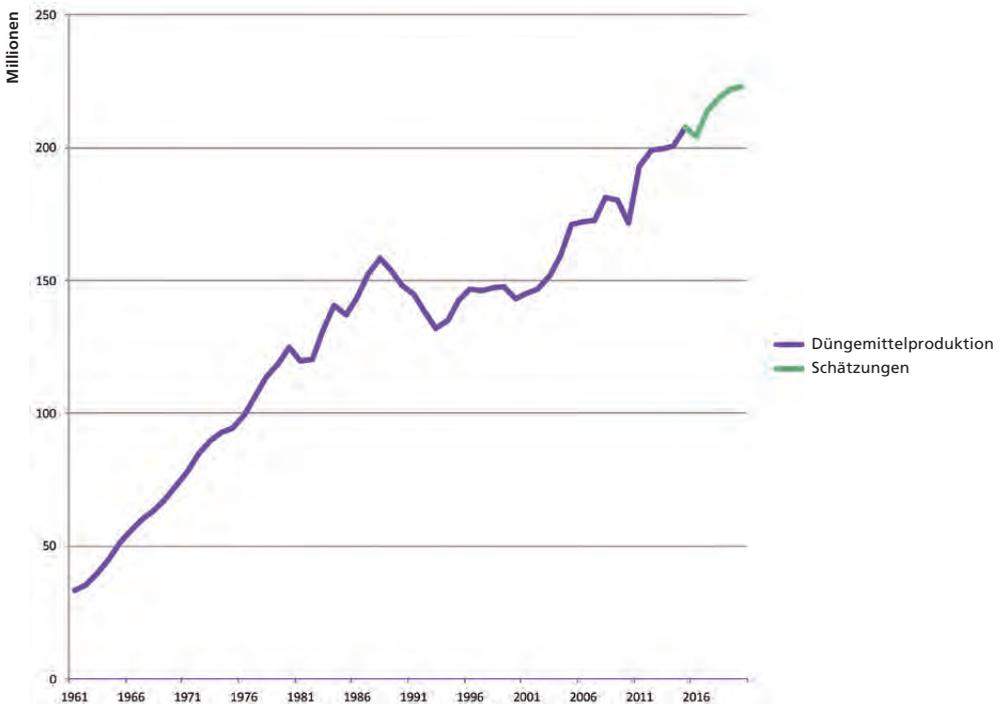


Abb. 3: Weltweite Düngemittel in Mio. Tonnen seit den 1960er Jahren bis heute. Ab 2015 handelt es sich um Schätzungen. Quelle: UN: Food and Agriculture Organization of the United Nations. [www.fao.org/home/en](http://www.fao.org/home/en) [Zugriff am 4.4.2018].

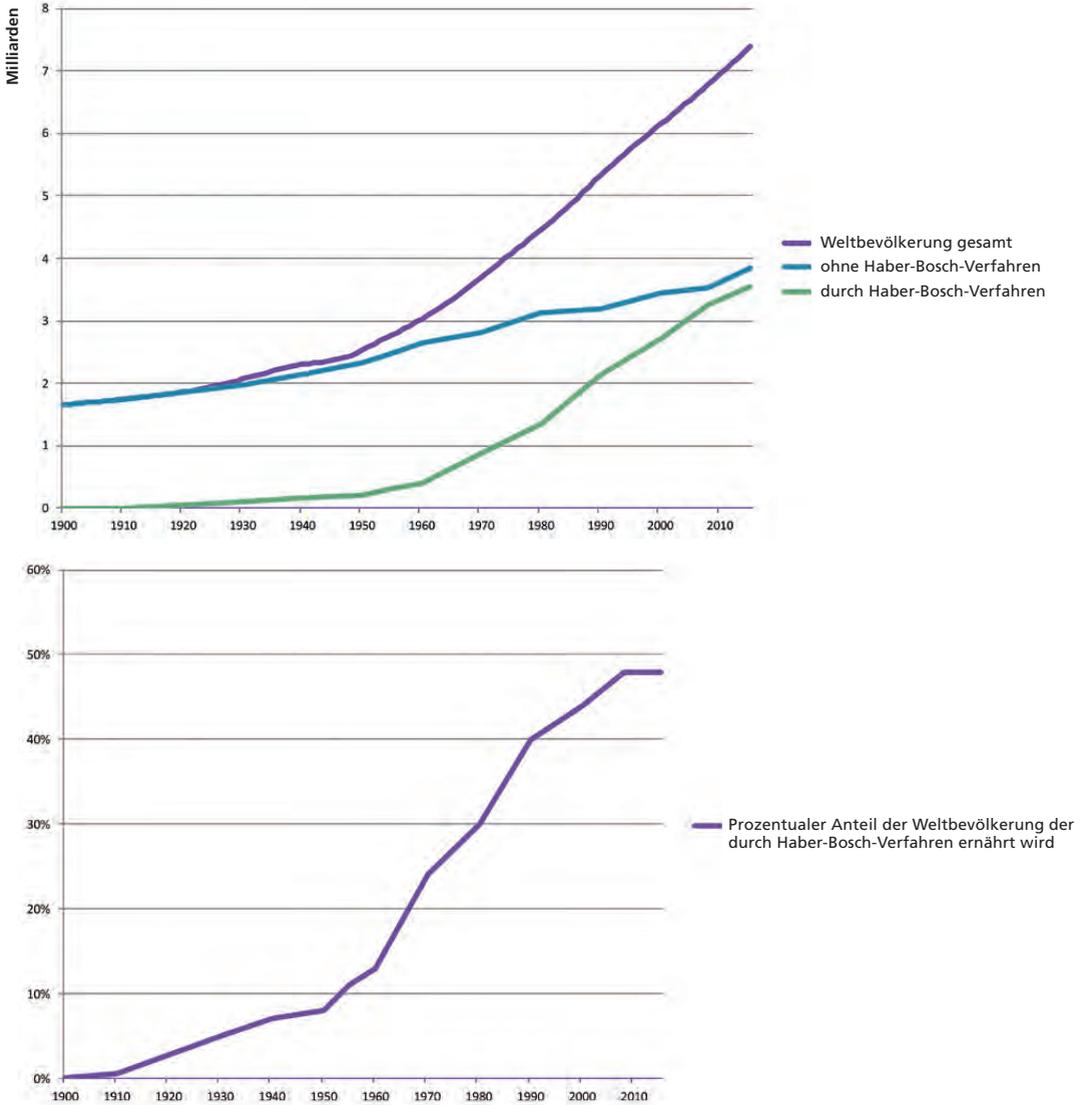


Abb. 4: Entwicklung der Weltbevölkerung seit 1900 und Anteile der Weltbevölkerung, die durch das Haber-Bosch-Verfahren ernährt werden.

im April 1915 bereits 1.000 Tonnen Salpeter und 1917 schon 13.000 Tonnen monatlich erzeugt werden konnten.<sup>14</sup> Erst mit dem Ende des Ersten Weltkrieges 1918 wurden die Produktion von Ammoniak und die nachgelagerte Produktion von Salpeter wieder auf die Herstellung von Düngemitteln ausgerichtet. Trotz der zweischneidigen Nutzbarkeit der Ammoniaksynthese vergab die Nobelstiftung im Zusammenhang mit dem Haber-Bosch-Verfahren den Nobelpreis

für Chemie 1918 an Fritz Haber und 1931 an Carl Bosch, sowie 2008 an Gerhard Ertl.

Ohne Übertreibung kann die Entdeckung des Haber-Bosch Verfahrens und die damit einhergehende industrielle Produktion von Düngemitteln als einer der Hauptfaktoren für die weltweiten massiven Bevölkerungszuwächse im 20. Jahrhundert und die damit verbundenen Veränderungen identifiziert werden.<sup>15</sup> Anlässlich des

100-jährigen Jubiläums des Haber-Bosch Verfahrens bezeichnete beispielsweise eine Veröffentlichung in *Nature Geoscience* das 20. Jahrhundert als ein Jahrhundert des Ammoniaks, welches das Aussehen der Welt veränderte.<sup>16</sup> Dieser Umstand lässt sich mit einigen Zahlen belegen.

Seit den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts hat sich die Düngemittelproduktion ca. um den Faktor 6,5 auf aktuell ca. 200 Mio. Tonnen jährlich erhöht, Abbildung 3. Diese riesigen Mengen Dünger werden auf die Felder ausgebracht, fördern das Pflanzenwachstum und dienen im Nachgang einerseits zur Ernährung von Tieren und Menschen und andererseits zur Erzeugung von Bioenergie. Gleichzeitig werden ca. 2 Prozent des gesamten weltweiten Energiebedarfs für die Ammoniakherstellung durch das Haber-Bosch-Verfahren verwendet.<sup>17</sup> Die Wichtigkeit der Ammoniakherstellung für die Weltbevölkerung ist Organisationen wie der UN natürlich vollumfänglich bewusst, weshalb beispielsweise jährlich die produzierte Menge im sogenannten „world fertilizer trends and outlook summary report“<sup>18</sup> mit dem Bedarf abgeglichen wird, um möglichen Engpässen und damit drohenden Hungersnöten vorzubeugen.

Unsere Abhängigkeit von der Ammoniaksynthese zeigt die Abbildung 4. Das Anwachsen der Weltbevölkerung im Verlauf des 20. Jahrhunderts von ca. 1,6 auf derzeit etwa 7,4 Mrd. Menschen kann zwar nicht ausschließlich auf die Stickstoffdüngung zurückgeführt werden, der Anteil ist jedoch massiv. Ca. 48 Prozent der Weltbevölkerung werden heute durch das Haber-Bosch-Verfahren ernährt.<sup>19,20</sup> Man kann diese Zahl auch noch auf andere Weise verdeutlichen. Durchschnittlich ist jedes zweite Stickstoffatom im Körper eines jeden derzeit lebenden Menschen durch das Haber-Bosch-Verfahren synthetisiert worden. Welche gravierenden Auswirkungen ein plötzliches Ende der synthetischen Erzeugung von Ammoniak hätte, kann man sich leicht ausmalen. Die häufig negative, öffentliche Wahrnehmung der chemischen Industrie sollte diesbezüglich relativiert werden.

Die weltweite Abhängigkeit vom Haber-Bosch-Verfahren hat natürlich auch eine Reihe von Kehrseiten. Neben dem hohen Energiebedarf des Verfahrens ist der massive Bevölkerungszuwachs im Laufe des 20. Jahrhunderts, dessen Ende auch im 21. Jahrhundert bisher nicht in Sicht ist, ein mögliches weltweites Problem. Die damit verbundenen Umweltzerstörungen und der Klimawandel gehören sicherlich zu den größten Herausforderungen dieses Jahrhunderts. Die massive Erzeugung von pflanzlichen Nahrungsmitteln bewirkt über den Umweg des damit ermöglichten hohen Fleischkonsums verstärkte Treibhausgasemissionen. Die Stickstoffdüngung trägt aber auch direkt zum Klimawandel bei, denn bei der bakteriellen Umsetzung der im Boden enthaltenen Nitrate entsteht  $N_2O$ , welches in den tieferen Schichten der Atmosphäre den Treibhauseffekt fördert und in den oberen Schichten zur Zerstörung der Ozonschicht beiträgt. Zudem führt die Überdüngung in landwirtschaftlich intensiv genutzten Regionen zur Erhöhung des Nitratspiegels, der wiederum das Grundwasser verunreinigt, und zu einer Versauerung des Bodens führt.

Ein weiterer ungewollter Effekt von Überdüngung ist das übermäßige Wachsen bestimmter natürlich vorkommender Pflanzen, welche etwa durch die sogenannte Algenblüte vorhandene Vegetationssysteme zerstören. So wurden in Australien beispielsweise bereits große Teile des Great Barrier-Riffs von Algen überwachsen, weil Dünger von den Feldern des Bundesstaates Queensland eingeschwemmt wird. Zuletzt sollte auch die stets und von Beginn an immer mitgedachte weitere Verwendung der Ammoniaksynthese nicht vergessen werden, nämlich die zur Sprengstoffherstellung. Genaue Abschätzungen der Zahlen sind hier schwierig, einige Quellen geben die Zahl der Todesopfer durch Munition, die aufgrund des Haber-Bosch-Verfahrens hergestellt werden konnte, jedoch mit ca. 100 bis 150 Millionen innerhalb des 20. Jahrhunderts an.<sup>21</sup>

Die Tragweite und Bedeutung des Haber-Bosch-Verfahrens für die Menschheit des 20.

und 21. Jahrhunderts ist offensichtlich. Nachdem im 19. Jahrhundert aufgrund der Sorge vor Hungersnöten die chemische Fixierung von Luft-Stickstoff zur Ammoniakgewinnung als größte Aufgabe der Chemie verstanden wurde und Haber, Bosch, Mittasch und ihren Assistenten dies schließlich gelang, stellt sich nun zu Beginn des 21. Jahrhunderts die Frage nach einer vergleichbaren größten Herausforderung.

Zweifelslos entsteht durch den nachgewiesenen Anstieg von CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre – der auch mit der massiven synthetischen Herstellung von Ammoniak zusammenhängt – eine solche Herausforderung und schon jetzt darf die Entwicklung eines großtechnischen Verfahrens zur Bindung und Nutzung des verfügbaren CO<sub>2</sub> als nächste große Aufgabe für die interdisziplinäre Forschung aller Länder angesehen werden.

- 
- <sup>1</sup> Mortimer, I. (2014): Centuries of change. Which century saw the most change and why it matters to us. London: The Bodley Head.
- <sup>2</sup> Crookes, W. (1898): Address of the President before the British Association for the Advancement of Science, Bristol, 1898. In: *Science* 28, Vol. 8, Issue 200, S. 561–575.
- <sup>3</sup> Friedrich, B. (2005): Fritz Haber. Chemist, Nobel Laureate, German, Jew. By Dietrich Stoltzenberg. In: *Angew. Chem. Int. Ed.* 44 (26), S. 3957–3961.
- <sup>4</sup> Holleman, A. F.; Wiberg, E.; Wiberg, N. (2007): Lehrbuch der anorganischen Chemie. 102., stark umgearb. u. verb. Aufl. / von Nils Wiberg. Berlin u. a.: de Gruyter.
- <sup>5</sup> Friedrich, B. (2005): Fritz Haber. Chemist, Nobel Laureate, German, Jew. By Dietrich Stoltzenberg. In: *Angew. Chem. Int. Ed.* 44 (26), S. 3957–3961.
- <sup>6</sup> Kolasinski, K. (2012): *Surface Science. Foundations of Catalysis and Nanoscience*. 3. ed. Hoboken: John Wiley & Sons.
- <sup>7</sup> Hermann, A. (1965): Haber und Bosch. Brot aus Luft – Die Ammoniaksynthese. In: *Phys. Bl.* 21 (4), S. 168–171.
- <sup>8</sup> Lemmermann, O. (1951): Alwin Mittasch. Geschichte der Ammoniaksynthese. Verlag Chemie, Berlin-Weinheim, 1951.
- <sup>9</sup> Ertl, G. (1990): Elementarschritte bei der heterogenen Katalyse. In: *Angew. Chem.* 102 (11), S. 1258–1266.
- <sup>10</sup> Bosch, C. (1932): The development of the chemical high pressure method during the establishment of the new ammonia industry. Nobel Lecture. Stockholm, 1932.
- <sup>11</sup> Hauschildt, J.; Salomo, S.; Schultz, C.; Kock, A. (2016): *Innovationsmanagement*. 6., vollständig aktualisierte und überarbeitete Auflage. München: Verlag Franz Vahlen (Vahlers Handbücher).
- <sup>12</sup> Badische Anilin- und Soda-Fabrik in Ludwigshafen am Rhein (1908): Verfahren zur synthetischen Darstellung von Ammoniak aus den Elementen. Angemeldet durch Badische Anilin- und Soda-Fabrik in Ludwigshafen am Rhein am 13. Oktober 1908. Anmeldenr.: 235421.
- <sup>13</sup> Appl, M. (1999): *Ammonia. Principles and industrial practice*. Weinheim u. a.: Wiley-VCH.
- <sup>14</sup> Hermann, A. (1965): Haber und Bosch. Brot aus Luft – Die Ammoniaksynthese. In: *Phys. Bl.* 21 (4), S. 168–171.
- <sup>15</sup> Mortimer, I. (2014): Centuries of change. Which century saw the most change and why it matters to us. London: The Bodley Head.
- <sup>16</sup> Erisman, J. W.; Sutton, M. A.; Galloway, J.; Klimont, Z.; Winiwarter, W. (2008): How a century of ammonia synthesis changed the world. In: *Nature Geosci* 1 (10), S. 636–639.
- <sup>17</sup> Pfromm, P. H. (2017): Towards sustainable agriculture. Fossil-free ammonia. In: *Journal of Renewable and Sustainable Energy* 9 (3), S. 34702.
- <sup>18</sup> UN (2017): World fertilizer trends and outlook to 2020. Summary Report. [www.fao.org/3/a-i6895e.pdf](http://www.fao.org/3/a-i6895e.pdf) [Zugriff am 4.4.2018].
- <sup>19</sup> Erisman, J. W.; Sutton, M. A.; Galloway, J.; Klimont, Z.; Winiwarter, W. (2008): How a century of ammonia synthesis changed the world. In: *Nature Geosci* 1 (10), S. 636–639.
- <sup>20</sup> Ritchie, H. (2017): How many people does synthetic fertilizer feed? <https://ourworldindata.org/how-many-people-does-synthetic-fertilizer-feed>. [Zugriff am 4.4.2018].
- <sup>21</sup> Erisman, J. W.; Sutton, M. A.; Galloway, J.; Klimont, Z.; Winiwarter, W. (2008): How a century of ammonia synthesis changed the world. In: *Nature Geosci* 1 (10), S. 636–639.

# Innovationen im Spiegel der langfristigen Aktienkursentwicklung

Dr. Sven Beyer ■ Dr. Werner Wilke

## Einfluss von Innovationen auf die Gesamtmarktentwicklung von Aktien

Aus Sicht der Wissenschaft und der Innovationsförderung führt die Auseinandersetzung mit historischen Entwicklungen in der Regel nicht zu eindeutigen Zukunftsprognosen – das ist und kann auch gar nicht der Anspruch sein. Stattdessen führt die intensive Auseinandersetzung mit vergangenen Ereignissen und den Rahmenbedingungen, unter denen sich diese vollzogen haben, zu einem geschärften Blick auf die Entwicklungen in der jüngeren Vergangenheit und der Gegenwart. Es soll aus der zeitlichen Distanz der historischen Rekonstruktion heraus die Möglichkeit geschaffen werden, differenzierte Perspektiven auf das aktuelle Geschehen einzunehmen.<sup>1</sup> Der vorliegende Beitrag verknüpft zwei für die moderne Gesellschaft wichtige Teilbereiche – die technologische Entwicklung der letzten zwei Jahrhunderte mit der finanzwirtschaftlichen – und geht insbesondere der Frage nach, ob und wenn ja wie sich bedeutende Innovationen in der Entwicklung der Finanzmärkte widerspiegeln.

Die Prognose von Aktienkursen übt seit Generationen eine große Faszination aus, würde einem doch deren exakte Vorhersage immensen Reichtum garantieren, insbesondere wenn man der Erste wäre, der den Trend erkennt. Leider gilt aber auch das Bonmot, welches unter anderen Mark Twain zugeschrieben wird, wonach Prognosen extrem schwierig sind, vor allem wenn sie die Zukunft betreffen. Finanzanalysten ergänzen dies gern mit der Bemerkung „nie war es schwerer als heute eine Prognose

für dieses Jahr abzugeben“. Nicht umsonst werden Aktienkurse auch als sogenannter Random Walk, also als ein reiner Zufallsprozess, modelliert – eine Sichtweise, die für kurze Zeiträume auch bestätigt werden konnte. Verlängert man allerdings den Betrachtungszeitraum auf mehrere Jahre, so lässt sich unschwer erkennen, dass die Kurse durchaus ein tendierendes Verhalten zeigen. Für Analysten und Anleger ist bereits die Kenntnis der Richtung des vorherrschenden Trends, seine mögliche Dauer und die Einschätzung seiner Stärke von großem Wert. Es geht dabei aus dieser übergeordneten Sichtweise um eine Einschätzung, wie das aktuelle Kursniveau zu verorten ist in dem Sinne, ob sich der Markt eher in einer übergeordneten Aufwärts- oder Abwärtsbewegung befindet und welche Rückschlüsse auf das künftige Kurspotenzial daraus abgeleitet werden können. Hielscher konstatierte diesbezüglich: „Fundierte Aktienanalysen erfordern ein langfristig orientiertes Vorstellungsmodell der Kursentwicklung, das es erlaubt, aktuelle Situationen nicht nur isoliert, sondern jeweils in umfassenderen Gesamtzusammenhängen zu beurteilen.“<sup>2</sup>

Das von Hielscher aufgestellte Analysekonzept greift dazu auf die Überlegungen von Schumpeter zurück und formuliert ganz in dessen Sinne die langfristige Aktienkursentwicklung als ein System kurz-, mittel- und langfristiger sich überlagernder Wellen, die sich in ihrer Wirkung teils neutralisieren oder aber verstärken. Neben den konjunkturell bedingten Wellenbewegungen mit einer Zeitdauer von in der Regel drei bis sieben Jahren spielen die vornehmlich durch Innovationen induzierten langfristigen Wellen

mit einer Dauer von mehr als 30 bis 40 Jahren eine herausragende Rolle.<sup>3</sup>

Abbildung 1 zeigt die Tagesultimowerte des bekannten Börsenbarometers Dow Jones Industrial Average (DJIA)<sup>4</sup> vom Jahr seiner ersten Berechnung 1896 bis 2018 in halb-logarithmischer Darstellung. Im Unterschied zum in Deutschland besser bekannten DAX werden bei diesem Index keine Dividenden reinvestiert; der Indexverlauf reflektiert damit ausschließlich die Wertentwicklung der im Index enthaltenen Unternehmen. Der Wert bestimmt sich dabei im Wesentlichen aus der Erwartung der Marktteilnehmer über die zukünftigen Unternehmensgewinne und der Rendite einer geeigneten alternativen Geldanlage. Zumindest über die letzten rund 120 Jahre lässt sich ohne Zögern die Aussage treffen, dass die Kurse im langfristigen Mittel permanent steigen. Diese Trendkomponente wird auch als Basistrend bezeichnet und stellt so gesehen eine Bestätigung der von André Kostolany zugeschriebenen Börsenweis-

heit „Kaufen Sie Aktien, nehmen Sie Schlaftabletten, und schauen Sie die Papiere nicht mehr an. Nach vielen Jahren werden Sie sehen: Sie sind reich.“

Wer allerdings auf dem Hochpunkt der Aktienhausse im Jahr 1929 mit dieser Strategie investiert hatte, musste fast dreißig Jahre warten, um auch nur seinen Einstandskurs wieder zu sehen. Gleiches gilt für eine Investition ab Mitte der 1960er Jahre. Erst ab 1982 lösten sich die Kurse aus der fast zwei Jahrzehnte dauernden Seitwärtsbewegung und setzten zu einem riesigen heute noch andauernden Kursschub an – von rund 1.050 Punkten im Jahr 1982 bis auf mehr als 26.000 Punkte im Jahr 2018. Weder der Finanzderivaten zugeschriebene „Crash“ im Jahr 1987 oder das „Platzen“ der Dot-Com-Blase Anfang des Jahres 2000, noch die Finanzkrise im Jahr 2008 haben dazu geführt, dass sich diese Entwicklung umkehrt. Aus langfristiger Sicht heraus waren dies vielmehr nur verhältnismäßig kurze Episoden, an



Abb. 1: Dow Jones Industrial Average 1896 bis 2018

Quelle: Indexdaten von <https://stooq.com/q/d/?s=%5Edj&c=0> [Zugriff am 22.2.2018].

welche im Anschluss die Kurse mit unverminderter Dynamik wieder nach oben kletterten. Offensichtlich lassen sich diese Entwicklungen nicht mehr allein mit klassisch konjunkturell bedingten Veränderungen erklären. Es scheint vielmehr Marktconstellations zu geben, in denen sich die Ertragskraft einer Vielzahl von Unternehmen abseits von Einflussfaktoren, wie etwa Arbeitskosten, Rohstoffpreisen etc. so enorm steigert, dass die Bewertung von Unternehmen innerhalb weniger Jahre um den Faktor 10 oder mehr angehoben wird.

### Innovationen als Treiber der Langen Wellen

Als Ursache für die beobachtbaren Phasen eines enormen Wachstums der Unternehmensgewinne kann auf die Arbeiten von Joseph Schumpeter zurückgegriffen werden, der wiederum mit seinen Überlegungen auf der Beobachtung von Nikolaj Kondratieff zur wirtschaftlichen Entwicklung in sogenannten Langen Wellen aufsetzte. Im Unterschied zu Kondratieff sah Schumpeter allerdings Inno-

vationen als deren wesentlichen Einflussfaktor und den dynamischen Unternehmer als Träger der Diffusion von Innovationen in das aktuelle wirtschaftliche und gesellschaftliche Umfeld. Lange Wellen werden im Vorstellungsmodell von Schumpeter durch epochale technische Innovationen bestimmt, die von Gerhard Mensch später als Basisinnovationen bezeichnet wurden.<sup>5</sup> Statt des sinusförmigen Zyklusverlaufs im Modell von Schumpeter formulierte Mensch<sup>6</sup> weiterhin ein Metamorphose-Modell, nach dem Basisinnovationen eine schubweise Entwicklung der Wirtschaft verursachen. Ohne im Weiteren auf die in diesem Zusammenhang existierende umfangreiche wirtschafts- und auch sozialwissenschaftliche Diskussion eingehen zu können, lässt sich als kleinster gemeinsamer Nenner jedenfalls eine Unterscheidung in eine Phase „Aufschwung mit wachsender Prosperität und einigen rezessiven Momenten“ und eine Phase „Abschwung mit allgemein abnehmenden ökonomischen Aktivitäten“ vornehmen.<sup>7</sup>

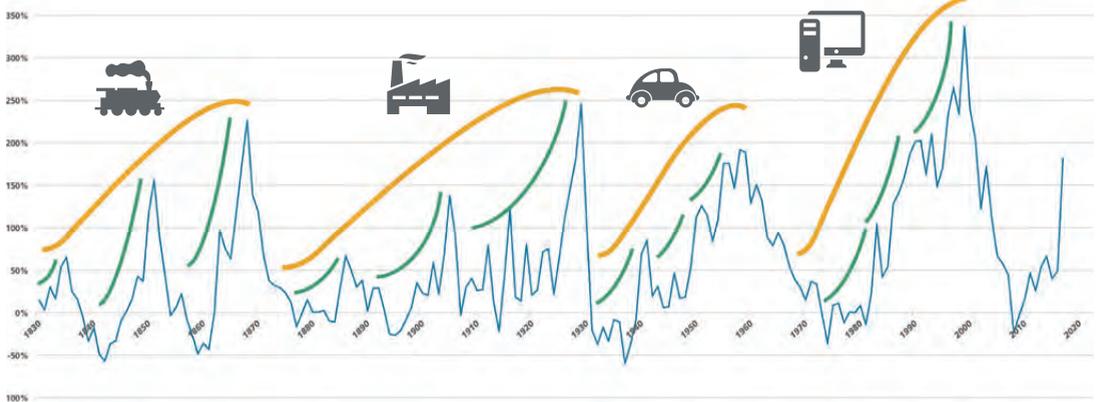


Abb. 2: Kondratieff-Zyklen 1830 bis heute. Die orange eingezeichneten Swings deuten die Phase „Aufschwung mit wachsender Prosperität und einigen rezessiven Momenten“ an.

Quelle: DJIA. [https://de.wikipedia.org/wiki/Dow\\_Jones\\_Industrial\\_Average](https://de.wikipedia.org/wiki/Dow_Jones_Industrial_Average) [Zugriff am 15.4.2018].

Die in Abbildung 2 gezeigten fünf Kondratieff-Zyklen sind eine häufig anzutreffende Einteilung, die sich im Wesentlichen mit den Langen Wellen der Aktienkursentwicklung deckt. Danach würde die erste Welle bestimmt durch die Entwicklung der Dampfmaschine und Möglichkeit zur massenhaften Produktion von Baumwolle, die zweite Welle durch die Innovationen im Transportwesen mit der Entwicklung der dampfgetriebenen Eisenbahn sowie die Fortschritte bei der Stahlproduktion. Die dritte Welle war hauptsächlich getrieben durch Innovationen auf dem Gebiet der Elektrotechnik und der Chemie, während der Treiber für die vierte Welle die Massenmotorisierung sowie die Petrochemie waren. Von herausragender Bedeutung für die Ausbildung der fünften Welle sind sämtliche Innovationen im Zusammenhang mit der Informationstechnik.

Für die Darstellung der Kondratieff-Zyklen in Abbildung 2 haben wir die 10-jährigen Kursrenditen des DJIA verwendet, d. h. es wurde der Jahresendstand des Index von 1989 (= 2753)

ins Verhältnis zu dem des Jahres 1896 (= 964) gesetzt und in Prozent ausgewiesen (=186 Prozent). Die Indexdaten vor 1896 wurden auf der Grundlage der Kurse von einzelnen Aktien künstlich berechnet.<sup>8</sup> Ferner ist zu berücksichtigen, dass die Wahl eines 10-Jahres-Zeitraumes für die Berechnung der Rendite willkürlich gewählt ist und die Besonderheiten der Indexkonstruktion sowie auch dessen Zusammensetzung Einfluss auf dessen Verlauf haben. Die vorstehende Tendenzaussage deckt sich aber mit denen anderer Autoren, deren Aussagen auf der Analyse ausgewählter gesamtwirtschaftlicher Größen, wie zum Beispiel der Veränderungsrate des Bruttoinlandsprodukts oder Außenhandels-, Beschäftigungs-, Investitions- und Produktionsdaten fußen.<sup>9</sup>

Der Übergang vom 4. auf den 5. Kondratieff sowie die Überlagerung dieser Entwicklung durch andere Megatrends lässt sich auch an der Marktkapitalisierung der wertvollsten Unternehmen nach Branchen ablesen. So dominierte in den 1980er Jahren noch die Energie- und

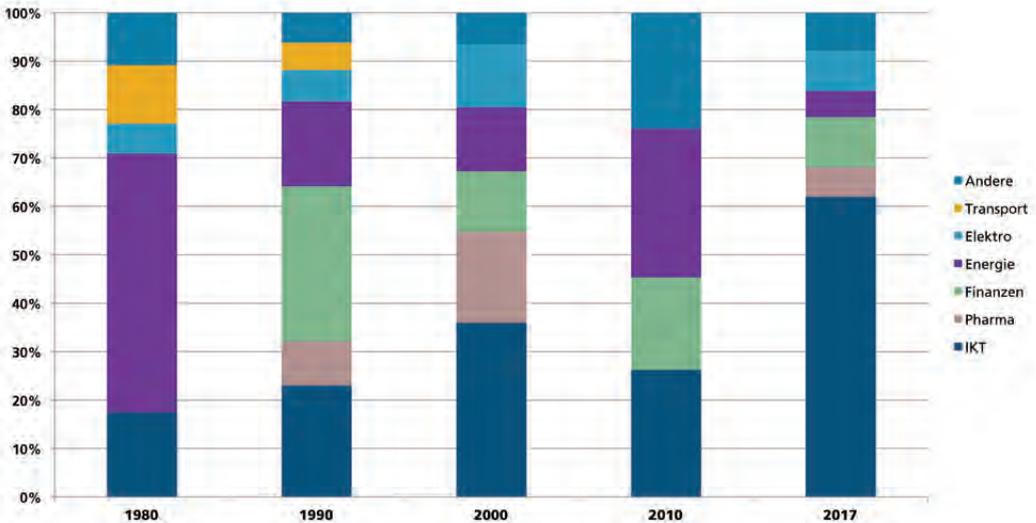


Abb. 3: Marktkapitalisierung der 15 wertvollsten Unternehmen weltweit nach Branchen.  
 Quelle: Eigene Analyse auf der Grundlage der Daten von Portfolio Institutionell. [www.portfolio-institutionell.de/fileadmin/user\\_upload/portfolio-international/pit\\_10\\_13\\_grafik\\_fullpage\\_28.pdf](http://www.portfolio-institutionell.de/fileadmin/user_upload/portfolio-international/pit_10_13_grafik_fullpage_28.pdf). [Zugriff am 15.4.2018].

Versorgungsbranche im Zuge des ausklingenden 4. Kondratieff deutlich vor allen anderen Branchen. Die Informations- und Kommunikationstechnologiebranche zeigte zu diesem Zeitpunkt immerhin schon einen Anteil von etwas mehr als 15 Prozent und nahm in den folgenden 20 Jahren stetig zu. Der große Anteil des Finanzsektors 1990 ist insbesondere auf japanische Banken zurückzuführen, die befeuert durch die dortige riesige Immobilien- und Aktienmarktblase eine extrem hohe Marktkapitalisierung aufwiesen. Der scheinbare Rückgang des IKT-Sektors im Jahr 2010 ist letztlich nur ein relativer, der durch den Megatrend „Wirtschaftswachstum in China“ und den damit einhergehenden „Ressourcenhunger“ zu erklären ist. Dies bedingte einen enormen Anstieg auch der Ölpreise, und eine deutlich höhere Bewertung von Unternehmen des Energiesektors.

Im Jahr 2017 haben die Big 5 der IKT-Branche Apple, Alphabet (Google), Amazon, Facebook und Microsoft den Anteil, wie ihn die Energie- und Versorgungsunternehmen Anfang der 1980er Jahre mit Ausklingen des 4. Kondratieff-Zyklus hatten. Angesichts der ungeheuren globalen Marktmacht der Big 5-Unternehmen gibt es inzwischen vermehrt Rufe nach deren Aufspaltung.<sup>10</sup>

## Was macht eine Innovation zur Basisinnovation?

Welches sind aber nun die Merkmale, die Innovationen auszeichnen müssen, um als Basisinnovation und damit als Treiber eines lang anhaltenden Wachstumspfades der wirtschaftlichen Entwicklung zu dienen? Dazu folgen wir den Überlegungen des britischen Konjunkturforschers Christopher Freeman<sup>11</sup>, wonach das zentrale Merkmal einer Basisinnovation darin begründet ist, dass diese ein neues technologisches Paradigma in einem führenden Sektor begründet, welches sich in Form von

sekundären Folgewellen auf die gesamte Industrie und Wertschöpfung einer Volkswirtschaft ausbreitet. Im Zuge dieses von ihm als Diffusion bezeichneten Prozesses kommt es zu umfangreichen Anschluss-, Verbesserungs- und Erweiterungsinnovationen, was einhergeht mit der Herausbildung neuer Absatz- und Beschaffungsmärkte, einem beschleunigten Wirtschaftswachstum und der Ausbildung von verwandten Innovationen, denen Freeman die Bezeichnung „Neue technologische Systeme“ gab. Die Bildung dieser technologischen Systeme wird von Freeman auch als Schwarmbildung bezeichnet und spielt zusammen mit dem „Bandwagon-Effekt“ die entscheidende Rolle für das starke Wachstum. Der Bandwagon-Effekt beschreibt das Phänomen, dass immer mehr Investoren die technologischen Neuerungen weiterentwickeln und neue Anwendungsfelder erschließen. Abbildung 4 zeigt den Diffusionsprozess und die Neuen Technologischen Systeme am Beispiel des 1. Kondratieff.

Im Mittelpunkt des 1. Kondratieff-Zyklus, der von England als „leading country“ ausging, stand die Basisinnovation „Dampfmaschine“, die in Kombination mit dem mechanischen Webstuhl und der neu entwickelten Organisationsform „Fabrik“ erstmals eine industrielle Massenfertigung von Textilien ermöglichte. Dampfgetriebene Webmaschinen waren um den Faktor 20 produktiver als die Konkurrenz im Ausland, Spinnmaschinen sogar um den Faktor 200. England wurde durch diese Produktivitätssprünge in kürzester Zeit zum Global Player und zur industriellen Großmacht, vergleichbar mit dem heutigen Status der USA. Die Basisinnovation „Dampfmaschine“ war zwar die Initialzündung, hätte aber für sich allein genommen nur wenig bewirkt. Es war vielmehr die Diffusion in vorgelagerte und anwendende Branchen, die den breit angelegten wirtschaftlichen Aufschwung einleitete. Neben der Textilindustrie, die zu dieser Zeit fast dreimal so groß war wie die Schwerindustrie, profitierte der Maschinenbau (Antrieb für Bohr-, Dreh- und Fräsmaschinen), die Hüttentechnik (Antrieb von Gebläsen), die Metallumformtechnik (Walzen-

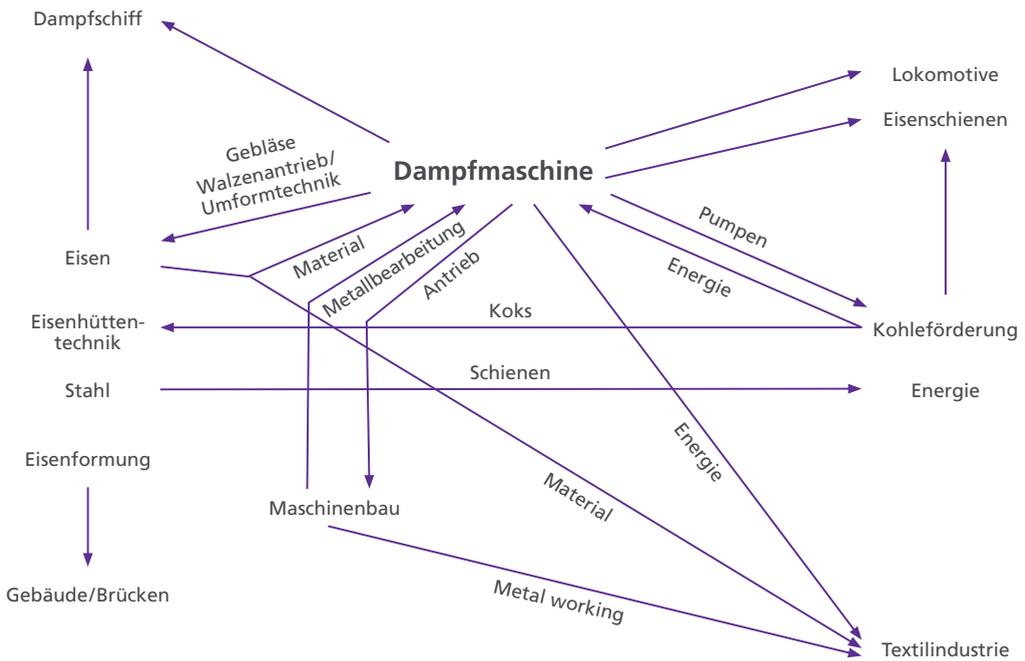


Abb. 4: Technologisches System und Diffusion nach Freeman am Beispiel des 1. Kondratieff  
 Quelle: Wright, N. (2014): Die Wiederentdeckung Kondratieffs, Hamburg, S. 50.

nantrieb) und der Bergbau (Antrieb von Pumpen).<sup>12</sup> Um die Güter von und zu den Fabriken und Häfen zu transportieren entstand zu dieser Zeit weiterhin ein umfangreiches Netz von Kanälen und Schleusen, die mit normierten Narrowboats betrieben wurden, die allerdings den enorm gestiegenen Bedarf an Transportleistung kaum bewältigen konnten.

### Von der Eisenbahn zum Personalcomputer und Internet

In der Regel entfaltet nicht eine einzelne Innovation einen breiten Aufschwung. Stattdessen ist es oftmals erst das Zusammenwirken mehrerer teils schon länger existierender Basisinnovationen in Produkte, die einen latent vorhandenen breiten Bedarf scheinbar plötzlich decken. Vergleichbar mit dem starken Aufschwung der Textilindustrie durch die Kombination der bereits existierenden Innovation „Mechanischer Webstuhl“ mit der neu entstandenen Basisinnovati-

on „Dampfmaschine“ war auch die Revolution im Transportwesen mit der Entwicklung der dampfgetriebenen Eisenbahn eine Kombination von bereits vorhandenen und neuen technologischen Entwicklungen im Sinne eines eher evolutorischen Prozesses. Dieser begann bereits im 16. Jahrhundert mit der Entwicklung von auf Holzschienen geführten Loren in den Goldminen von Transilvanien zum Transport von Geröll und Erz innerhalb der Bergwerke sowie zu den Verladestellen. Die Technik wurde von deutschen Bergwerksbetrieben im Erzgebirge adaptiert und verbreitete sich von dort nach ganz Europa<sup>13</sup>. Im 18. Jahrhundert wurden dann die ersten gusseisernen Winkelschienen für die Benutzung durch gewöhnliche Pferde-fuhrwerke auf besonders gefährlichen Streckenabschnitten eingeführt. Schon bald reifte auch der Gedanke, statt Pferden die Dampfmaschine als Antriebsquelle zu nutzen.

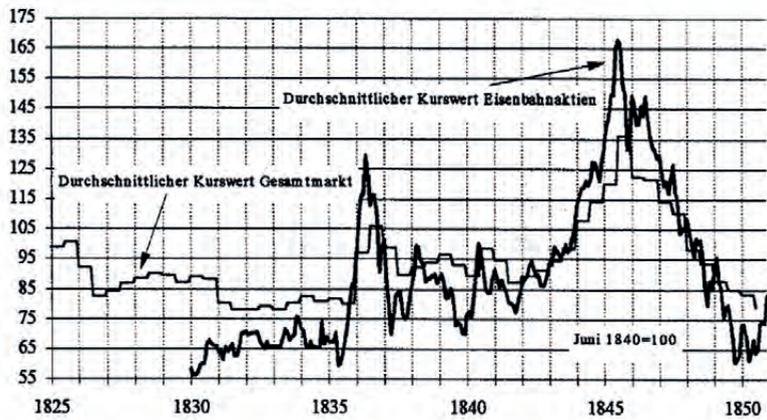


Abb. 5: Innovationsschübe und Kursentwicklung im 2. Kondratieff am Beispiel der Entwicklung von englischen Eisenbahnaktien. Quelle: Gayer/Rostow/Schwartz (1975): *The Growth and the Fluctuation of the British Economy 1790 – 1850. A historical statistical and theoretical Study of Britain's Economic Development*, 2. Auflage, Hassocks, S. 373.

Obwohl aber bereits 1783 die Entwicklung gelang, die Kolbenbewegung der Dampfmaschine in eine Achsantriebskraft zu wandeln, dauert es noch bis zum Jahr 1825, bis in Großbritannien die erste öffentliche Eisenbahn auf der Strecke Stockton-Darlington in Betrieb genommen wurde. Voraussetzungen dafür waren die Entwicklung eines Antriebssystems für die Räder aus Kurbelzapfen und Stangen, welches deutlich zuverlässiger war als die bis dahin vorherrschenden komplizierten Getriebekonstruktionen – revolutionäre Fortschritte in der Dampftechnologie, die einen enormen Leistungszuwachs zur Folge hatten sowie insbesondere auch die deutlich verbesserte Technologie bei der Herstellung von Schienen. Es war mithin also erst die Kombination einer Vielzahl von Faktoren, die den technologischen Durchbruch der Eisenbahn als massentaugliches Verkehrsmittel ermöglichte.

Der wirtschaftliche Durchbruch der Eisenbahn lag insbesondere darin begründet, dass im Vergleich zu den Kosten der Narrowboats, die bis

zu diesem Zeitpunkt in England über ein weit verzweigtes Netz von Kanälen den Transport von Kohle, Eisen und anderen Massengütern übernommen hatten, die Verkehrswege deutlich einfacher und kostengünstiger zu bauen waren und zum anderen deutlich größere Gütermengen über weitere Strecken schnell bewegt werden konnten. Die Kursentwicklung der Eisenbahnaktien zeigt sehr anschaulich, dass sich die technologische Entwicklung, die wirtschaftliche Nutzbarmachung und auch die gesellschaftliche Akzeptanz in mehreren großen Schüben vollzogen haben:

Die Strecke Stockton – Darlington war die erste auf öffentlichem Boden betriebene Eisenbahnverbindung und diente ausschließlich der Anbindung lokaler Kohlefelder an den Hafen von Stockton im Sinne einer Ergänzung der Kanalschifffahrt. Auch die in der Folge gebaute Verbindung von Manchester nach Liverpool war anfangs rein für den Güterverkehr gedacht; wurde später aber auch für den Personenver-

kehr geöffnet. Entgegen allen Erwartungen war es der Personenverkehr, der die zweite starke Wachstumsphase einläutete. So wuchs die Transportleistung allein auf dieser Strecke von jährlich 180.000 Kutschenfahrgästen auf 445.000 Reisende mit der Eisenbahn. Die Eisenbahn reduzierte die Reisekosten gegenüber der Kutsche um 50 Prozent, die Fahrzeit um fast 75 Prozent und gewährte gleichzeitig ein deutlich höheres Maß an Sicherheit. Einen weiteren großen Schub erfuhr die Wirtschaft durch die Entstehung überregionaler Eisenbahnsysteme. Alleine von 1841 bis 1850 wurden in Großbritannien über 5.000 Meilen Schienennetz neu eröffnet. Die Entwicklung setzte sich in Wellen fort, das Wachstum blieb phänomenal. Betrug das Passagieraufkommen allein in Großbritannien um 1850 bereits 80 Millionen, so waren es 1880 bereits 600 Millionen und 1900 mehr als 1 Milliarde Passagiere jährlich.

Blicken wir noch mal zusammenfassend auf die Ingredienzien des 2. Kondratieff: Es gab eine bislang fast ausschließlich stationär betriebene Kraftquelle in Form der Dampfmaschine, es gab Loren auf Holzschienen zum Abraumtransport in den Bergwerken, es gab Fortschritte in der Eisenhüttentechnik und es gab einen permanent wachsenden Bedarf an Transportleistung, der mit den bestehenden Mitteln nicht mehr gedeckt werden konnte.

Springen wir nun in das Jahr 1980: Das Bild des Computers in der Öffentlichkeit war das von riesigen Apparaten, die nur von einem ganzen Team von Technikern und hochqualifizierten Maschinenbedienern (Operator) betrieben werden konnten und darüber hinaus extrem teuer waren. Sowohl die Programmierer als auch die Endanwender konnten nicht in direkte Interaktion mit dem Computer treten, sondern mussten über zeitaufwändige Routinen die Eingaben und Ausgaben des Computers beim Operator in Auftrag geben. Dies war letztlich auch dem möglichst wirtschaftlichen Betrieb dieser Anlagen geschuldet, die rund um die Uhr ausgelastet werden sollten und daher über die soge-

nannte Stapelverarbeitung betrieben wurden.<sup>14</sup> Das bis weit in die 1970er-Jahre hineinreichende kulturelle Leitbild, mit dem man üblicherweise auf diese Maschinen schaute war also sehr ähnlich dem der Dampfmaschine als stationär betriebene Großanlage.

Die Ideengeschichte des Personalcomputers und des Internets, und damit der Beginn des fünften Kondratieff, wird neben der Entwicklung des elektronischen Digitalcomputers in den 1940er Jahren durch zwei weitere wichtige Entwicklungen geprägt. So beschrieb bereits 1945 der Analogrechenpionier V. Bush detailliert, wie Menschen mit einer informationsverarbeitenden Maschine arbeiten und vor allem auch in Interaktion treten könnten. Der von ihm vorgestellte Memory Extender wurde zwar nie realisiert, beeinflusste aber in den 1960er Jahren eine ganze Reihe von jungen Computerwissenschaftlern bei ihrer Arbeit an neuen Systemen. Eine weitere sehr wichtige Entwicklung für das Verhältnis von Mensch zu Maschine war die Etablierung der Kybernetik als wissenschaftliche Disziplin, bei der der Mensch nicht mehr nur das Anhängsel von linearen Ein- und Ausgabeprozessen war, sondern als Element von Regelkreisen mit der Technologie interagieren sollte. Insbesondere auch die Anforderungen des Militärs führten dazu, dass bereits in dieser Zeit erste Mensch-Computer-Schnittstellen entwickelt wurden, wie wir sie auch heute kennen. So gab es bereits zu dieser Zeit die ersten Bildschirmsysteme für Texte und Grafiken, einen sogenannten Lichtgriffel als Eingabegerät für grafische Elemente sowie die von Engelbart bereits Anfang der 1960er Jahre vorgestellte Computermaus.

Der Personalcomputer, wie wir ihn heute kennen, wurde vom Grundsatz her bereits 1973 am Xerox-Forschungszentrum Palo Alto Research Center (PARC) entwickelt. Die Arbeitsstation mit dem Arbeitstitel „Xerox Alto“ hatte ein objektorientiertes Betriebssystem, eine grafische Benutzeroberfläche, die über eine Computermaus angesteuert wurde, WYSIWYG-Funktionalitäten, Text- und Grafikbearbeitungsprogramme,

eine Ethernet-Schnittstelle zur Vernetzung mit anderen Arbeitsstationen, eine Wechselfestplatte und sogar eine Anbindung zu einem lokalen Laserdrucker. Diese Entwicklung war allerdings ein reines Forschungsprojekt einer Gruppe junger interdisziplinär arbeitender Wissenschaftler und blieb so weitestgehend unbekannt. Erst ab 1978 bot Xerox eine weiterentwickelte Version des Alto zu einem Preis von 32.000 US-Dollar an. In einem Zeitraum von zehn Jahren wurden ca. 2.000 Stück hergestellt, was nicht einmal annähernd die Dimensionen der späteren Verbreitung des PC erreichte.

Auch der Computer-Riese IBM brachte im Jahr 1975 ein eigenes System auf den Markt, scheiterte jedoch insbesondere wegen zu hoher Verkaufspreise und daran, dass das System nicht erweiterbar war und die einzig verfügbare Software ausschließlich von IBM stammte. Wesentlich erfolgreicher waren dagegen die Produkte aus der Hobbyistenszene, die Mikrocomputer aus teils vorgefertigten Bausätzen selbst bastelten. Anfangs wurde der Mikrocomputer insbesondere als neuartiges Spielgerät gesehen, es gab aber Ende der 1970er Jahre bereits erste Büroanwendungen für diese Geräte, wie etwa den Apple II oder den Com-

modore PET. Der Erfolg des Apple II sowie die Herausbildung einer Reihe von Software-Unternehmen führten schließlich 1980 auch bei IBM zu der Überzeugung, dass es an der Zeit sei, sich mit diesem Marktsegment ernsthaft zu befassen. Insbesondere bei kleinen und mittleren Unternehmen bestand großer Bedarf an der elektronischen Unterstützung ihrer Geschäftsprozesse, der insbesondere durch die zu dieser Zeit aufkommenden ersten Tabellenkalkulations- und Textverarbeitungsprogramme geweckt wurde. IBM beschritt bei der Neukonzeption des IBM-PC diesmal einen völlig anderen Weg: Der Preis wurde konkurrenzfähig angesetzt, es wurden handelsübliche Komponenten verwendet, neue Funktionen oder leistungsfähigere Komponenten konnten durch Steckkarten nachgerüstet werden und das zum Einsatz kommende Betriebssystem MS-DOS durfte vom Hersteller Microsoft auch an andere lizenziert werden. Der IBM-PC wurde vom Fleck weg ein unglaublicher Erfolg und schuf einen Quasi-Standard für den kompletten Markt der Mikrocomputer, dem sich alle anderen Anbieter mit Ausnahme von Apple anschlossen. Offener Industriestandard, handelsübliche Komponenten und eine breite herstellerunabhängige Software-Basis legen den Grundstein für den Massenmarkt der Arbeitsplatzrechner.<sup>15</sup>



Abb. 6: Vorläufer des Personalcomputers von Xerox Anfang der 1970er Jahre

Zu dieser Zeit startete Apple den Prozess, einen Nachfolger für den erfolgreichen Apple II zu entwickeln. Bislang waren dessen Käufer fast ausschließlich Bastler, Privatanwender und Schulen. Für das Nachfolgemodell sollte der Einstieg in das schnell wachsende Geschäft mit Bürocomputern gefunden werden. Einigen Mitarbeitern bei Apple waren die Arbeiten im PARC von Xerox bekannt und es gelang ihnen zwei Besichtigungstermine zu bekommen. Als Steve Jobs die grafische Benutzeroberfläche sowie die über eine Maus gesteuerte Eingabe des Xerox Alto sah, wurde ihm innerhalb von Minuten klar, wie in einer sehr nahen Zukunft Personalcomputer funktionieren würden. Die Einführung der grafischen Benutzeroberfläche für Personalcomputer durch Apple wurde

schließlich Mitte der 1980er Jahre durch Microsoft unter dem Namen Windows übernommen und stellt bis heute den Industriestandard dar.

Genauso fortschrittlich wie die grafische Benutzeroberfläche des Xerox Alto war auch der Gedanke, einen Laserdrucker als Bestandteil des PC-Arbeitsplatzes anzusehen. In den 1960er und 1970er Jahren beherrschten laut arbeitende Nadel- und Typenraddrucker die Büros und Institute, Grafiken wurden mit sogenannten Plottern erstellt. Professionelle Laserdrucker kosteten mehrere 100.000 US-Dollar. 1984 brachte HP mit dem LaserJet den ersten Desktop-Laserdrucker der Welt auf den Markt. Der Preis lag bei ca. 3.500 US-Dollar. Hintergrund für diese Entwicklung war die Lösung des Problems, den Laserstrahl zu modulieren. Zu Zeiten der ersten Laserdrucker kannte man nur große und teure Gaslaser, deren Licht nicht schnell moduliert werden konnte. Sie erforderten komplizierte mechanische Optiken um das Laserlicht abzulenken. Erst die spätere Entwicklung der Halbleiterlaser ermöglichte die einfache und kostengünstige Modulation des Lichtes und damit um Größenordnung niedrigere Herstellungskosten bei ebenso dramatisch geringeren Abmessungen, die in jedem Büro Platz fanden.

Auch hier ging mit der Halbleitertechnologie eine Basisinnovation voraus, die Anfang der 50er Jahre mit den ersten Transistoren ihren Anfang nahm. Erst 20 Jahre später gelang es Gruppen in der Sowjetunion und den USA nahezu zeitgleich, kleine Halbleiterlaser zu realisieren, die ohne aufwändige Kühlung in Konsumelektroniken eingesetzt werden konnten. Alfjorow und Kroemer erhielten dafür im Jahr 2000 den Nobelpreis in Physik.

Die grafische Benutzeroberfläche legte schließlich auch den Grundstein für den zweiten größeren Wachstumsschub im Zusammenhang mit der Digitalisierung. Nachdem der Personalcomputer bereits Ende der 1980er Jahre an praktisch jedem Büroarbeitsplatz zu finden war, entstand zunehmend der Bedarf nach deren Vernet-

zung. Wie der Digitalcomputer selbst, war auch der Gedanke der Vernetzung bereits in den 1940er Jahren entstanden. Wie beim Computer war die Umgestaltung der Mensch-Computer-Schnittstelle der Moment, als das, was heute als Internet integraler Bestandteil unseres privaten und beruflichen Lebens geworden ist, seinen Durchbruch erlebte. Im Jahre 1993 wurde der erste Web-Browser unter dem Namen Mosaic vorgestellt, der Text und Grafik einer HTML-Seite integriert unter einer grafischen Benutzeroberfläche darstellte.<sup>16</sup> Damit war es auch dem technischen Laien ohne weiteres möglich, die Funktionen des Internet in vollem Umfang zu nutzen. In der Folge wuchs auch die Anzahl privater Nutzer von Personalcomputern und des Internets explosionsartig. Im Jahr 1995 startet schließlich Amazon.com als reiner Online-Händler neben vielen anderen in dieser Zeit entstandenen Geschäftsideen.

Die ab Anfang der 1990er Jahre einsetzende Euphorie ist durchaus vergleichbar mit der „Railway-Mania“ ab den 1830er Jahren. Die Börsenkurse der Unternehmen, die direkt oder auch nur indirekt mit der Internet-Ökonomie in Verbindung gebracht wurden, erreichten Größenordnungen, die selbst mit den optimistischsten Annahmen nicht mehr in Einklang zu bringen waren. Nach dem starken Kursanstieg in den 1980er Jahren und dem nochmals beschleunigten Wachstum der Kurse bis zum Jahr 2000 setzte im Zuge des Platzen der DotCom-Blase eine deutliche Marktberreinigung ein. Heute, fast zwei Jahrzehnte später, zeigt sich aber auch, dass die Visionen und auch das prognostizierte Umsatz- und Ertragspotenzial einiger Ideen, wie beispielsweise des Internet-Kaufhauses, durchaus Substanz hatten. Es fehlten zur damaligen Zeit nur die technischen und infrastrukturellen Voraussetzungen in Form von ausreichender Bandbreite und damit Transaktionsgeschwindigkeit, um den sofortigen Durchbruch zu ermöglichen.

Auch dem unzweifelhaft unser Arbeits- wie auch Privatleben prägenden Hype der Smartphones ging nicht eine einzelne Innovation vo-

raus. Die Kombination aus Basisinnovation wie der Mikroelektronik und zahlreichen teilweise daraus abgeleiteten – weiteren Innovationen wie Displaytechnologie, Wireless-Technologien, Breitband-Funknetze, Mikrosystemtechnik mit Mikrosensoren und Mikrooptiken sowie Lithium-Ionen-Akkus ermöglichte die nutzergerechte technische Realisierung zu marktgängigen Preisen.

Die solchen Produkten innewohnende Komplexität führt zu der einen Erfolg insgesamt einschränkenden Bedingung, dass das Produkt nur so gut wie sein schwächstes Glied sein kann. Auf das Smartphone angewandt wird deutlich, dass jede der genannten Teiltechnologien zu bestimmten Zeiten dieser limitierende Faktor war. Deutlich wird das exemplarisch an dem Vorläufer des heute fast als Goldstandard gefeierten iPads. 1993<sup>17</sup> präsentierte Apple-CEO John Scully stolz „Newton ist hier! Das Zeitalter des PDA hat begonnen, eine Revolution für die Jackentasche“. Tatsächlich war der Newton 19 cm hoch, zwei cm dick, 400 g schwer und kostete 700 Dollar.

Bereits damals kamen die noch heute verbreiteten energiesparenden ARM-Chips zum Einsatz, sie sind sozusagen die Komponente der Basisinnovation Mikroelektronik. Die Eingabe erfolgte durch einen Stift mittels wenig überzeugender Handschriftenerkennung.<sup>18</sup> Doch wie das US-Magazin Home Office Computing schon 1994 schrieb: „Die Menschen müssten mit diesen Geräten überall Daten senden und empfangen können (Texte, Faxe, vielleicht auch Audio- und Videodateien, Datenbanken aufrufen und Online-Dienste nutzen können.“ Doch die gerade erst im Aufbau befindlichen Mobilfunknetze konnten das Senden und Empfangen von Daten mangels Bandbreite und Abdeckung nicht erfüllen: „Leider ist das noch nicht möglich. PDAs sind Hochgeschwindigkeitszüge ohne Schienen.“ Apple war mit dem Newton zu früh dran und stoppte 1998 die Produktion.

Und nicht nur die Technologie muss eine bestimmte Reife erreichen, auch die Geschäfts-



Abb. 7: Newton (Revolution für die Jackentasche) im Vergleich zum iPhone

modelle müssen passen und auf entsprechende Akzeptanz stoßen. Diese Kombination erfüllt dann ein bisher nicht explizit ausgesprochenes Bedürfnis vieler Konsumenten. Auf unser Beispiel des Newton bezogen, kam neben den technischen Unzulänglichkeiten auch Apples Festhalten an seiner Philosophie der in sich geschlossenen Apple- bzw. Mac-Welt. Alle Peripherie und Software war proprietär für die eigenen Produkte. Daher gab es für den Newton nur eine sehr beschränkte Zahl von Programmen und damit Anwendungen. Ein limitierender Faktor, den Steve Jobs beim iPhone über Bord warf. Mit dem für alle Entwickler weltweit offenen App-Store, eingebunden in die bereits zuvor für die Musikindustrie revolutionäre iTunes-Plattform, wurden Kreativität und Anwendungen für das iPhone eröffnet, die Apple allein niemals hätte erfinden können. Das iPhone und später die anderen Smartphone-Plattformen wurden zur Basistechnologie für bisher unbekannte Bedürfnisse und schafften Wertschöpfung weit über den Verkauf reiner Hardware hinaus. Die Zeit war 2007 eben reif für diese Kombination aus Technologie, Infrastruktur und Geschäftsmodell. Sicherlich kam noch das geniale Marketing eines Steve Jobs hinzu, das für eine rasende Verbreitung sorgte und damit die neuen Märkte mit sich zog.

Die so geschaffenen Werte bilden sich nur 14 Jahre nach der beinahe Pleite von Apple in dem Rang des seit 2011 wertvollsten Unternehmens

der Welt ab. Die Dekade zuvor wurde von Microsoft dominiert, das 1999 auf Rang 1 gelangte. Dies war 1967 IBM gelungen, das erst rund 20 Jahre später diese Position an Microsoft abgab.

### Fazit und Ausblick

Die Auseinandersetzung mit historischen Entwicklungen führt nicht zu eindeutigen Zukunftsprognosen – auch wir möchten daher weder das Ende des fünften noch den Beginn des sechsten Kondratieff-Zyklus ausrufen. In unseren Augen verdient aber die Verknüpfung von Innovationsumfeld und Aktienmarktentwicklung noch stärkere Aufmerksamkeit. Zwar sind auch Aktienmarktbewertungen nicht einfaktoriell und die Märkte phasenweise durch Übertreibungen

in beide Richtungen „verrauscht“. Allerdings gilt auch, dass die Finanzmärkte einschließlich des Bereichs Venture Capital wohl die größten informationsverarbeitenden Systeme darstellen dürften, bei denen mit Hilfe von Heerscharen von Banken, Unternehmensberatungen, Analysten, Forschungseinrichtungen, Datenbanken und Rechenleistung insbesondere auch der Antwort auf die eine Frage nachgegangen wird: Welches Unternehmen wird die nächste IBM, Microsoft oder Apple? Insofern bietet es sich aus Sicht der Forschungsförderung an, mit wachem Auge auf die Entwicklungen im Finanzsektor zu schauen, um auch auf diesem Weg frühzeitig Innovationsfelder oder sogar Basisinnovationen zu entdecken und entsprechende Trends begleiten zu können.

- 
- <sup>1</sup> vgl. auch Friedewald, M. (1999): Die geistigen und technischen Wurzeln des Personalcomputers, S. 165.
- <sup>2</sup> Hielscher, U.(1999): Investmentanalyse, 3. Aufl., München, S. 147.
- <sup>3</sup> Es wäre natürlich zu kurz gesprungen, wollte man die Kursentwicklung von Aktien ausschließlich auf einen oder wenige Faktoren reduzieren. Demographische Effekte, die Entstehung gänzlich neuer Märkte, wie durch die Öffnung und das enorme Wirtschaftswachstum Chinas in den letzten 25 Jahren geschehen, fundamentale Änderungen im Finanzsystem oder das Herausbilden gesamtgesellschaftlicher Megatrends, wie z. B. Gesundheit, ökologische Lebensweise etc. haben natürlich ebenfalls Einfluss auf die Ertragslage der Unternehmen. Dennoch konnte über die letzten 200 Jahre immer wieder ein auffälliger Zusammenhang zwischen Innovationen und einer nachhaltig starken Aktien-Gesamtmarkt-entwicklung beobachtet werden.
- <sup>4</sup> Der DJIA umfasst dreißig an der New Yorker Stock Exchange gelistete Aktien von global agierenden Unternehmen aus einer Vielzahl von Branchen. Im Jahr 2018 war nur noch ein Unternehmen im Index vertreten, das auch bei der ersten Berechnung im Jahre 1896 schon berücksichtigt wurde, nämlich die von Thomas Edison gegründete General Electric Company. Es kann gezeigt werden, dass unter Auslassung der Kriegsjahre 1914 – 1924 und 1940 – 1949 die Kursentwicklung des DJIA weitestgehend Deckungsgleich mit der des deutschen Aktienmarktes ist, vgl. Hielscher, U. (1999).
- <sup>5</sup> Kretschmann, D. (2014): Die langen Wellen der Konjunktur, Ansbach, S. 38-39.
- <sup>6</sup> Im Gegensatz zu Schumpeters Theorie sieht Mensch den Ursprung eines neuen Kondratieff-Zyklus nicht in der Phase des wirtschaftlichen Gleichgewichts, sondern in der Depression. Hier wollen die Unternehmer die Tristesse dieses Zustandes nicht mehr hinnehmen und führen Basisinnovationen durch. Dadurch kommt es in der Depressionsphase zu einem schubweisen Entstehen von Basisinnovationen, was schließlich zu einer neuen Aufschwungphase führt. In dieser lassen die Innovationen stetig nach. Der Mangel an Innovationen führt schließlich wieder in eine neue Depression, in der dann wieder ein neuer Aufschwung beginnen kann. Vgl. <https://de.wikipedia.org/wiki/Kondratjew-Zyklus> [Zugriff am 31.3.2018].
- <sup>7</sup> Gräbe, H.-G. (2013): Lange Wellen und globale Krise, in: Sozial.Geschichte Online 11, <http://www.stiftung-sozialgeschichte.de>, 2013, S. 60.
- <sup>8</sup> vgl. Stock Price Record, by Months, 1789 to Date.; Cycles Magazine, Foundation for the Study of Cycles, 1965, Bd. 16, S. 162. [https://de.wikipedia.org/wiki/Dow\\_Jones\\_Industrial\\_Average](https://de.wikipedia.org/wiki/Dow_Jones_Industrial_Average) [Zugriff am 31.3.2018].
- <sup>9</sup> vgl. Kretschmann, D. (2014): Die langen Wellen der Konjunktur, Ansbach, S. 34-50.
- <sup>10</sup> vgl. z. B. Macrons düstere Prognose: „Wacht auf. Sie sind zu groß.“, [www.faz.net/aktuell/wirtschaft/diginomics/macron-facebook-und-google-koennten-zu-gross-werden-15522240.html?GEPc:s5](http://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/diginomics/macron-facebook-und-google-koennten-zu-gross-werden-15522240.html?GEPc:s5) [Zugriff am 2.4.2018].
- <sup>11</sup> Wright, N.: Die Wiederentdeckung Kondratieffs, S. 48.
- <sup>12</sup> Nefiodow, L.(2000): Der sechste Kondratieff, Bonn, S. 229.
- <sup>13</sup> vgl. Hielscher, U. (2001): The Emergence of the Railway in Britain, London, S. 11.
- <sup>14</sup> vgl. zur Entwicklungsgeschichte des Computers insb. auch Friedewald, M.: Die geistigen und technischen Wurzeln des Personal Computers, S. 166-171.
- <sup>15</sup> vgl. Universität Erlangen, Fundstücke aus ISER BI86 – 12/2011: Dreißig Jahre IBM Personal Computer, S. 68-70.
- <sup>16</sup> vgl. Das erste Steinchen – Happy Birthday: Der Mosaic-Browser ist zehn Jahre alt, [www.heise.de/ct/artikel/Das-erste-Steinchen-288826.html](http://www.heise.de/ct/artikel/Das-erste-Steinchen-288826.html) [Zugriff am 29.3.2018].
- <sup>17</sup> Die Entwicklung des Newton Message Pad hatte Apple intern bereits 1987 gestartet. Wirtschaftlich wurde der Newton für Apple zu einem Desaster und kostete Scully seinen Job. Steve Jobs kehrte 1996 zu Apple zurück.
- <sup>18</sup> Scully: „Zukunft des Computings“, Jobs bei der Vorstellung des iPhones „Wer braucht noch einen Stylus? Wir haben selbst die zehn besten Eingabegeräte an uns – unsere Finger!“

# Innovation für schnelle Prozessoren

Wie die EUV-Lithographie von Europa aus vom Mythos zur Praxis wird

Dr. Antonia Schmalz

*Nachdem Prometheus aus dem Göttergeschlecht der Titanen die Erde betreten hatte, formte er aus dem Ton der Erde die Menschen. Er lehrte sie verschiedene Handwerke, Buchstaben und Zahlen, die Wirkung von Heilmitteln, den Lauf der Gestirne und vieles mehr. Zur Vollendung ihrer Zivilisation, ihrer Kultur und ihrer Wissenschaft brachte er ihnen das Feuer, das er heimlich von den Göttern entwendet hatte. Doch dieser Raub erzürnte den Göttervater Zeus. Die allzu forsche und gierige Nutzung ihrer neuen Fähigkeiten und die daraus entstandene Technologia, die schon fast den Künsten und Kräften der Götter glich, war ihm schon lange ein Dorn im Auge. So ersann er eine Strafe, die den Menschen ihre unersättliche Gier zum Zwang und zur Last machen sollte. Fortan mussten die Menschen im Schweiße ihres Angesichts ewiglich die Technologia so weiter entwickeln, dass binnen zwei Jahren die von den Menschen als „Schaltkreise“ und „Prozessoren“ bezeichneten Treiber der Technologia ihre Performance verdoppelten.*

Anfangs verzweifelten die Menschen an der unlösbar scheinenden Aufgabe. Man stelle sich im Vergleich nur vor, die Automobilindustrie solle plötzlich in einem Zwei-Jahresrhythmus den Ausstoß an Luftschadstoffen halbieren. Doch schnell stellten die Menschen fest, dass die „Moore'sches Gesetz“ getaufte Forderung auch in ihrem eigenen ökonomischen Kreislauf Sinn ergab. Alle 18 bis 24 Monate soll sich demnach die Anzahl der Schaltelemente in einem Prozessor-Chip verdoppeln (Abbildung 1). Da die Herstellungskosten im Wesentlichen mit der Fläche skalieren, kann man so bei gleicher

Leistung Fläche und damit Kosten sparen oder bei gleichem Preis die Leistung erhöhen. Beide Aspekte zusammen mit einem typischerweise geringeren Stromverbrauch der neuen Technologien können zu neuen Anwendungen führen und damit den Markt für Prozessoren weiter vergrößern. Ein Teil der so erzielten Gewinne kann dann wieder investiert werden, um die immensen Kosten für Forschung und Anschaffungen zur Umsetzung des nächsten Technologiesprungs zu finanzieren.

*Durch diese Erkenntnis auch aus eigenem Antrieb motiviert gingen die Menschen gemeinsam mit ihrem Beschützer Prometheus, dessen Name „der Vorausdenkende“ bedeutet, die gigantische Aufgabe mit einem ausgereiften Plan an.*

Der Kreislauf konnte nur funktionieren wenn alle Akteure abgestimmt handelten und dadurch auch eine Planungssicherheit bekamen. So schufen die Menschen die International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS), in der die technischen Ziele und Beiträge mit den Technologieforschern, den Herstellern der Fertigungsanlagen sowie den Halbleiterherstellern, die die verschiedensten Chips fertigen, und auch den Anwendern für Jahre im Voraus abgestimmt und regelmäßig aktualisiert werden. Jeder neue „Technologieknoten“ wurde mit der kleinsten Strukturgröße im Schaltkreis bezeichnet (Abbildung 1); alle Eigenschaften des neuen Knotens wie auch die Strategien zur Umsetzung wurden festgelegt.

Das zentrale Herstellungskonzept für integrierte Schaltkreise ist die Fotolithographie. Für jeden

Schaltkreis, der bestimmte Funktionen erfüllen soll, gibt es eine Vorlage – meist eine Schattenmaske der Schaltkreisstrukturen, die mit Laserlicht beleuchtet wird und stückweise mehrfach auf einer mit einer funktionalen Schicht und mit Fotolack beschichteten Siliziumscheibe („Wafer“) abgebildet wird (Details siehe Abbildung 2a). Wird der Lack entwickelt, kann danach, je nachdem ob eine Stelle belichtet wurde oder nicht, selektiv geätzt werden, sodass die abgebildeten Strukturen in die funktionale Schicht übertragen werden.

Das einfachste Mittel, um immer kleinere Strukturen und damit dichtere Schaltkreise zu erzeugen, war immer kurzwelligeres Laserlicht zu verwenden. Möchte man mit einem Pinsel einen fünf Millimeter breiten Strich zeichnen, verwendet man am besten einen fünf Millimeter breiten Pinsel.

*In bewährter Tradition unterstützte Prometheus – von den Göttern unbemerkt – die Menschen auch in den weiteren Entwicklungen, indem er den Göttern immer neue Wellenlängen stahl.*

*Licht mit Wellenlängen von 436 nm, 365 nm, 248 nm und 193 nm half den Menschen, mit dem Strafzyklus der Götter Schritt zu halten und immer kleinere Strukturen zu erzeugen. Als jedoch Zeus dem Räuber auf die Schliche kam, war er aufs Neue erzürnt und erdachte eine Hinterlist. Er lockte Prometheus mit Licht einer besonders kurzen Wellenlänge von nur 13,5 nm, das die Menschen vermeintlich auf lange Sicht von ihren Sorgen befreien würde. Dieses Licht, das unter den Menschen fortan EUV (Extremes Ultraviolett) genannt wurde, versah Zeus jedoch heimlich mit zwei Eigenschaften, die es für die Menschen völlig unbrauchbar machen sollten.*

- 1) EUV-Licht zu erzeugen ist extrem komplex und ineffizient. Hat die Quelle aber eine zu geringe Leistung, muss jeder einzelne Wafer länger belichtet werden und der Durchsatz der Fertigung sinkt. Damit kann der von den Menschen aufgebaute Wirtschaftszyklus, der bisher die Innovationsserie am Laufen hielt, nicht aufrechterhalten werden.

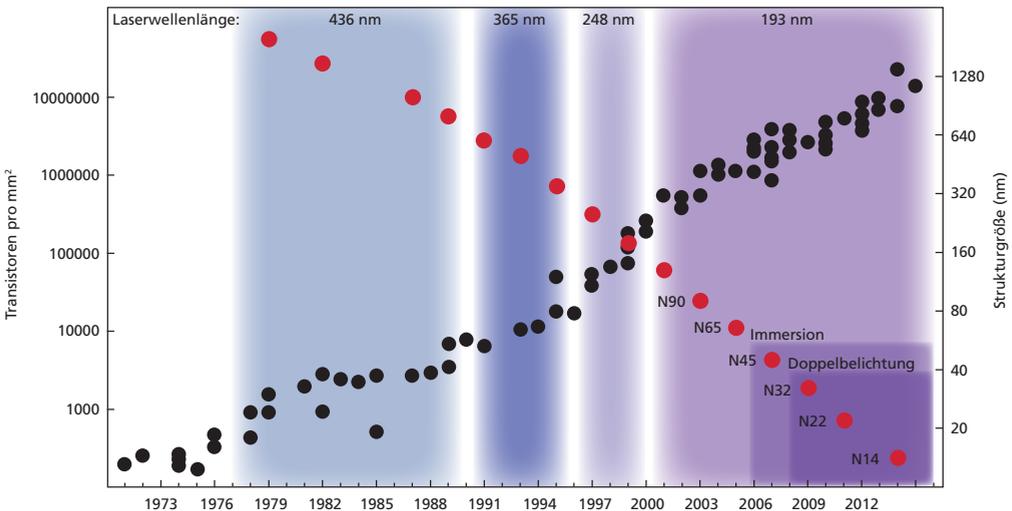


Abb. 1: Illustration des Mooreschen Gesetzes. Die schwarzen Punkte zeigen die Entwicklung der Anzahl der Schaltelemente (Transistoren) pro Chip-Fläche für verschiedene kommerzielle Prozessoren. Die roten Punkte zeigen die jeweils kleinsten umsetzbaren Strukturgrößen und für die späteren Jahre die gängigen Bezeichnungen der Technologieknoten (nach Intel). Die eingezeichneten Laserwellenlängen werden in der Herstellung der jeweiligen Prozessoren genutzt.

**2)** EUV-Licht wird in jedem Festkörper und nach kürzesten Strecken sogar in Luft absorbiert. Damit muss die gesamte Belichtung im Vakuum stattfinden und es können für die Abbildung der Maske auf den Wafer keine Linsen verwendet werden. EUV-Licht wird größtenteils im Linsenglas absorbiert ohne hindurch zu strahlen oder zumindest wie bei einem Spiegel reflektiert zu werden. Die deponierte Energie erwärmt und verformt das Material.

Doch die Menschen nahmen auch diese Herausforderungen tapfer an. Durch eine besondere, aufwändige Beschichtung der Linsen- bzw. Spiegelkörper, die aus über 50 einzelnen Lagen von jeweils nur wenigen Nanometern (ein Millionstel Millimeter) Dicke besteht, schafften sie es, dass immerhin etwa 70 Prozent des EUV-Lichts von der Oberfläche reflektiert wurde (Details siehe Abbildung 2b). Dadurch konnte ein komplexes Abbildungssystem mit Spiegeln aufgebaut werden, das ähnlich den bisherigen Objektiven in die Lithographieanlage eingebaut werden kann.

Auch für die Verbesserung der EUV-Quelle hatten die Menschen immer neue Ideen. Man zündete elektrische Entladungen in Xenon-Gas (GDPP: Gas-Discharge Produced Plasma). Dabei entstand EUV-Strahlung. Als die Intensität des erzeugten Lichtes nicht ausreichte, fingen einige Gruppen an, die Entladung durch einen starken Laser zu induzieren (LPP: Laser Produced Plasma) und Zinn statt Xenon zu nutzen. In neuen Systemen beschießt ein Kohlenstoffdioxid-Laser mehrere Zehntausend einzelne Zinntropfen pro Sekunde.

Das ganze System der EUV-Lithographie war dennoch so komplex, dass an allen Ecken und Enden mit immer neuen Lösungen um kleinste Verbesserungsschritte gekämpft werden musste, doch dank der Kreativität der Menschen blieb die Hoffnung auf die Umsetzung der EUV-Lithographie für lange Zeit bestehen.

Ende der 90er Jahre glaubten viele, EUV könne für den 65 nm-Knoten, der um 2005/2006 her-

um eingeführt werden sollte, einsatzbereit sein. Nach ersten öffentlich geförderten Forschungsaktivitäten in den USA formierte der große Halbleiterhersteller Intel eine amerikanische Kollaboration namens EUV LLC, an der sich neben ihm weitere große Halbleiterhersteller, unter anderem auch Infineon und IBM, beteiligten. Forschungspartner waren vor allem die großen amerikanischen „National Laboratories“ (NL) in Livermore (LLNL), Albuquerque (SNL) und Berkeley (LBNL), die der breiten Bevölkerung meist durch die Atomwaffenforschung bekannt sind. Durch die EUV LLC hat die Industrie zwischen 1997 und 2002 die gesamte Forschung zur EUV-Lithographie finanziert.<sup>1</sup>

Im Jahre 2001, gegen Ende der Laufzeit des EUV LLC-Vertrags, waren die Vorhersagen hervorragend und das Vertrauen in die Technologie groß. Ein erster Demonstrator, der unter Laborbedingungen die grundsätzliche Funktion nachwies, stand – der Weg zur Kommerzialisierung schien begehbar. EUV wurde von vielen als die einzige Lösung für Technologieknoten unterhalb von 50 nm gesehen und nun sollte die Technologie innerhalb von wenigen Jahren bereit sein für den Einsatz in der Massenproduktion. Eine von vielen ähnlich klingenden öffentlichen Aussagen lautete etwa: „A few hurdles still stand in the way of widespread adoption, but the technological problems have been solved and extreme ultraviolet (EUV) lithography will be ready for production in the next few years, according to Charles Gwyn, EUV LLC program director.“<sup>2</sup>

Damit die Technologie von den Chipherstellern aber akzeptiert und wirtschaftlich in der Massenproduktion einsetzbar wurde, musste sie bestimmte Anforderungen erfüllen. Einerseits sollte ein Durchsatz von 125 Wafern pro Stunde und Anlage erzielt werden (Stand 2017). Andererseits musste auch die finale Ausbeute an funktionierenden Chips pro Wafer ausreichend hoch sein.

Der Durchsatz wird vor allem durch die Dauer bestimmt, für die ein einzelner Wafer belichtet werden muss. Je geringer aber die Intensität ist,

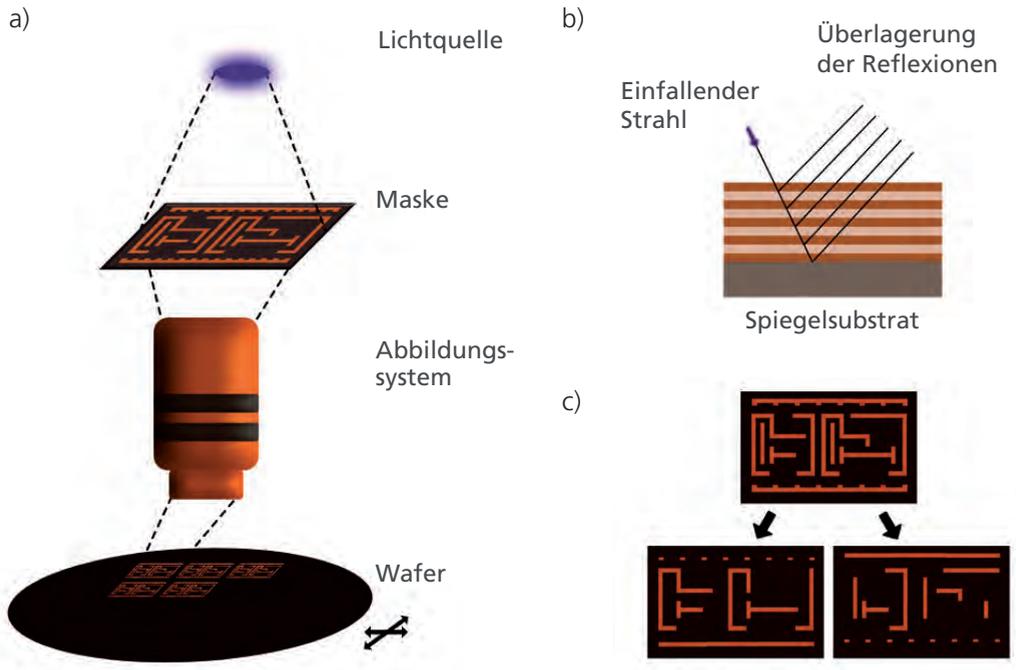


Abb. 2: Fotolithographie

- a) **Fotolithographie:** Eine Maske, die eine Lage der Schaltkreisstrukturen eines Chips durch transparente und absorbierende Bereiche darstellt, wird mit Laserlicht beleuchtet. Das durchscheinende Licht wird mit einem hochgenauen Objektiv auf einer Siliziumscheibe (Wafer) abgebildet. Nach einer Belichtung wird der Wafer schrittweise verfahren und der gleiche Schaltkreis erneut abgebildet, so dass ein einzelner Wafer hunderte oder sogar tausende identischer Chips enthalten kann.
- b) **Mehrlagen-Spiegel (Bragg-Reflektor):** Wird an einer Oberfläche nur ein extrem geringer Anteil des einfallenden Lichts reflektiert, kann man durch eine Stapelung von vielen reflektierenden Oberflächen (EUV: mehr als 50) im richtigen Abstand voneinander erreichen, dass sich die jeweils zurückgespiegelten Lichtwellen überlagern und verstärken. Dabei muss die Dicke der einzelnen Lagen (EUV: wenige Nanometer) sehr genau an die betrachtete Wellenlänge angepasst sein.
- c) **Mehrfachbelichtung:** Strukturen in einem Abstand (pitch), der nicht mehr aufgelöst werden kann, werden auf zwei verschiedene Masken verteilt und nacheinander belichtet. Die Breite einer einzelnen Linie (critical dimension) kann über Prozessparameter und den Fotolack beeinflusst werden.

die auf dem Wafer ankommt, desto länger ist die benötigte Belichtungszeit, um eine Aktivierung des Fotolacks zu erreichen. Für eine möglichst kurze Belichtungszeit muss also die Quelle sehr leistungsstark sein und das Licht möglichst ohne weitere Verluste durch das Abbildungssystem transportiert werden. Damit werden aber genau die zwei kritischsten Punkte des EUV-Lichts tangiert. Bei jeder einzelnen Reflexion an jedem Spiegel gehen etwa 30 Prozent des Lichts verloren. Damit übersetzt sich die Forde-

rung nach einem Durchsatz von 125 Wafern pro Stunde in eine Quellenleistung von 250 Watt (Stand 2017). Die EUV-Quellen der Labor demonstratoren aus dem Jahre 2002 lieferten eine Leistung von unter 5 Watt.

Limitierende Faktoren für die finale Ausbeute sind Verunreinigungen im Prozess und Defekte auf der Maske. Bei Strukturen, die nur noch wenige Nanometer groß sind, sind Verunreinigungen durch einzelne, winzigste Partikel bereits

kritisch. Die Halbleiterfertigung findet schon seit langem hochautomatisiert in streng kontrollierten, hochsauberen Reinräumen statt. Für EUV werden aber die Anforderungen noch einmal erhöht. Vor allem geringste Verunreinigungen und kleinste Defekte auf der Maske haben eine verheerende Auswirkung auf die Ausbeute, da sich die Fehler auf jeden Chip übertragen. Die defektfreie Herstellung sowie die Inspektion und Reparatur von EUV-Masken waren damit große Steine auf dem Weg der EUV-Lithographie von der ersten Labordemonstration in die Massenproduktion.

Nach dem ersten Labordemonstrator wurde die EUV-Technologie trotz der weiterhin vorhandenen Herausforderungen von zahlreichen Unternehmen weiterentwickelt, die jeweils verschiedene technologische Aspekte abdeckten. Die drei großen involvierten Anlagenhersteller und Systemintegratoren waren Nikon und Canon aus Japan, sowie ASML aus den Niederlanden.

*Selbst Zeus, der die Entwicklungen mit einer Mischung aus Zorn und Bewunderung beobachtete, befürchtete für eine kurze Zeit, dass der Erfindungsreichtum der Menschen, aber auch ihr Gier nach Reichtum und Fortschritt, die Grenzen der Natur verschieben und fast göttliche Werke erschaffen könnte.*

Um während dieser Entwicklungen gleichzeitig die Götter befriedigen und im treibenden Zwei-Jahresrhythmus die Strukturen verkleinern zu können, wurden parallel alle Aspekte der Chipherstellung mit der letzten verfügbaren Wellenlänge von 193 nm bis an die Grenzen ausgereizt. Durch ein einzigartiges Zusammenspiel aller Prozesse, Materialien und Technologien schafften es die Menschen, mit dem 193nm-Licht Strukturen mit Breiten und Abständen von nur 48 nm herzustellen. Das hieße mit einem 5 mm breiten Pinsel 1,2 mm breite Linien zu zeichnen. Größter Hebel dabei war die Einführung der sogenannten Immersionslithographie (bezeichnet als 193i). Hier wurde in den Spalt zwischen Objektiv und Wafer eine Flüssigkeit eingebracht, die das Licht stärker bricht als

Luft und damit eine höhere Auflösung erlaubt. Durch diesen Trick konnten sogar alle verzweifelten Pläne stillgelegt werden, den Göttern noch eine Zwischenwellenlänge von 157 nm zu stehen, da auch dieses Licht wieder neue Probleme mit sich gebracht hätte.

Doch um 2008 kam der Zeitpunkt, zu dem mit 32 nm der erste Technologieknoten anstand, der mit den bereits ausgereizten 193 nm unter keinen Umständen mehr machbar schien. Obwohl Nikon, Canon und ASML bereits einzelne Test- und Entwicklungsanlagen fertig gestellt und ausgeliefert hatten, war die EUV-Technologie weiterhin nicht reif für die Produktion.

*Die Menschen verfielen in Panik und die Aussicht auf die göttlichen Strafen, die sie sich für den Fall ausmalten, dass der Innovationszyklus unterbrochen wurde, ließ sie des Nachts nicht mehr schlafen.*

So wurde notgedrungen auf ein Konzept ausgewichen, das zwar die Größenskalierung garantieren konnte, aber die für die menschliche Ökonomie wichtige Kostenskalierung störte. Bei der sogenannten Mehrfachstrukturierung (Multipatterning) wurde für einen einzelnen Wafer ein doppelter Maskensatz nacheinander belichtet (Details siehe Abbildung 2c). Dadurch konnte die Dichte der strukturierten Elemente weiter erhöht werden, man benötigte aber pro Wafer und damit pro Chip mehr teure Masken und mehr Zeit, wodurch die Kosten stiegen. Die hochgenaue Ausrichtung der beiden Belichtungsschritte zueinander stellte dabei eine neue technische Herausforderung dar.

Doch nachdem diese Technologie einmal etabliert war, ließ sie sich im Prinzip auch für weitere Technologieknoten noch auf die Spitze und zu kleineren Strukturen treiben, indem das gewünschte Muster nicht nur auf zwei, sondern auf drei oder vier Masken aufgeteilt wird. Dadurch würden allerdings sowohl die Kosten pro Wafer weiter steigen als auch die Anforderungen an die Ausrichtungsgenauigkeit.

### Fun Fact

In den Entwurf eines Chips für den 14 nm-Knoten fließen im Schnitt 200 Personenjahre Arbeit, es werden für die Herstellung der verschiedenen Lagen insgesamt 66 verschiedene Masken benötigt und ein Fertigungsdurchlauf dauert 90 Tage.<sup>3</sup>

Damit war plötzlich die Notwendigkeit und Überlegenheit der EUV-Lithographie nicht mehr eindeutig. Selbst wenn die Technologie eines Tages reif für die Massenproduktion wäre, wären die Investitionskosten in komplett neue EUV-Anlagen und die dazugehörige Infrastruktur wie auch die Betriebskosten enorm. Die Kostenrechnungen hingen von verschiedensten Faktoren, wie etwa der angenommenen Nutzbarkeitsdauer der EUV-Technologie allgemein und der konkreten Anlagen, ab und fielen selten eindeutig aus. Die Wahrscheinlichkeit, dass EUV es wirklich in die Fertigung schaffen würde, war damit drastisch gesunken.

Mittelfristig wirkte sich diese Situation zusammen mit den immer noch vorhandenen Hürden bei der Industrialisierung der EUV-Lithographie auf die Strategien der betroffenen Unternehmen aus. Zwar gab es auch 2008 noch vorsichtige Pläne für EUV-Anlagen bei den drei Herstellern Nikon, Canon und ASML. Bereits 2009 brachte Nikon jedoch seine EUV-Entwicklungen auf unbestimmte Zeit zum Stillstand. Betrachtet man heute die Webseiten der beiden japanischen Unternehmen, taucht EUV nicht mehr auf.

*Den Göttervater Zeus erfreuten diese Entwicklungen. Zwar hatten die Menschen es geschafft, den Strafzyklus mit dem Mooresches Gesetz am Laufen zu halten, für den Raub des göttlichen Lichts haben die Menschen aber Buße getan. Das von Zeus boshaft verwandelte, unbrauchbar gemachte EUV-Licht hatte die Menschen Nerven, Zeit und Geld gekostet, hat-*

*te die Branche in verschiedene Lager gespalten und den Menschen ihre Unzulänglichkeiten vor Augen geführt.*

*Doch auch Europa, Tochter des Königs Agenor, beobachtete schon seit geraumer Zeit die Spielchen ihres ehemaligen Geliebten Zeus und war von den kleinen Fortschritten und der verbissenen Willensstärke der Menschen beeindruckt. Dass Zeus die trotz der Hürden erzielten Erfolge verärgert hatten, kam der verlassenen Frau nur entgegen. Als das Blatt sich nun zu wenden drohte und die Menschen bereit schienen aufzugeben, fasste Europa den Entschluss, die Menschen zu unterstützen.*

Um den verbleibenden Systemintegrator ASML aus den Niederlanden fand sich in Europa ein innovatives Netzwerk von Unternehmen, das fast alle Aspekte der EUV-Lithographie abdecken konnte. Um die Weiterentwicklung der EUV-Quelle voranzutreiben, akquirierte ASML 2013 den vielversprechenden amerikanischen Hersteller Cymer, der nun als Teil von ASML die hochentwickelte Technologie ausschließlich in diese Anlagen einbringt. Ein weiterer zentraler Partner ist das deutsche Unternehmen Zeiss, das das Herzstück der Lithographieanlage – die hochauflösenden Optiken – entwickelt und exklusiv an ASML liefert sowie weltweite Patente auf die zentralen Schlüsseltechnologien besitzt. Für die neueste Generation der EUV-Objektive muss die Oberflächenform eines Spiegels mit bis zu einem Meter Durchmesser auf mehrere Pikometer (mehrere Milliardstel Millimeter) genau den Designvorgaben entsprechen. AMTC, ein weiteres Unternehmen in Deutschland, ist einer von wenigen Maskenherstellern, die überhaupt Kompetenzen für EUV besitzen. Am Forschungsinstitut IMEC in Belgien steht die nötige Infrastruktur für wegberreitende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Verfügung. Sogenannte Pilotlinien, die alle nötigen Prozessschritte für eine erste Fertigung von neuesten Technologien abdecken, können hier entwickelt, integriert und getestet werden. Die in Deutschland und Europa starken Branchen der Automatisierungstechnik und der



Abb. 3: Teil der EUV-Lithographie-Optik in der Fertigung von Zeiss

Messtechnik tragen zur Beherrschung der extremen Anforderungen an die Infrastruktur, zum Beispiel bezüglich Kontamination, bei.

Zusammen mit einer konsequenten, nachhaltigen öffentlichen Förderung der Technologieentwicklung auf nationaler und europäischer Ebene von 1994 bis heute konnte dieses Netzwerk aus Unternehmen und Forschungseinrichtungen endlich zentrale technologische Durchbrüche erzielen. Im Juli 2017 wurden durch ASML erstmals die geforderten 250 Watt Quellleistung in einer Fertigungsumgebung außerhalb des Labors demonstriert. Bereits Ende 2016 hatte ASML erstmals eine defektfreie Schutzmembran (Pellicle) vorgestellt, die im Betrieb Partikel von der Maske abschirmen soll und gleichzeitig die Abbildung nicht stört. Dies war neben der Quellleistung einer der kritischsten offenen Punkte.

Die großen Chip-Hersteller Samsung, Globalfoundries und TSMC haben sich in diesem Zuge

2017 erstmals zur Einführung der EUV-Technologie für den 7nm-Knoten bekannt und konkrete Pläne veröffentlicht. Samsung hat hierfür Anfang 2018 den Grundstein für eine neue, sechs Milliarden Dollar teure EUV-Halbleiterfabrik gelegt.

In den 90er Jahren des 20. Jahrhunderts dominierte Nikon den Markt mit etwa 50 Prozent Marktanteil. Nach der erfolgreichen Einführung der Immersionslithographie im Jahr 2004 übernahm ASML jedoch die Führung und besitzt den größten Marktanteil mit etwa 60 Prozent nach ausgelieferten Anlagen und sogar 70-80 Prozent nach Umsatzerlösen.<sup>4</sup> Derzeit ist ASML der einzige Lieferant von EUV-Lithographieanlagen weltweit. Die EUV-Technologie gibt es nur „Made in Europe“. Damit kann sich Europa voraussichtlich für die nächsten Jahre im Ökosystem der Chip-Fertigung immerhin im Bereich der Anlagenherstellung gegen den weltweiten Wettbewerb behaupten und gleichzeitig dazu beitragen, die Entwicklung von innovativen,

schnellen und kompakten Prozessor-Generationen weiterzutreiben.

Wie es weitergeht, wenn im Innovationszyklus des Mooreschen Gesetzes auch die EUV-Technologie ausgereizt ist, ist die nächste spannende Frage, auf die die Menschen eine Antwort finden müssen.<sup>5</sup>

Die Erfolgsgeschichte der EUV-Entwicklungen zeigt einerseits die große Chance und Triebkraft einer abgestimmten internationalen Roadmap für eine ganze Branche, wie sie basierend auf dem Mooreschen Gesetz für die Halbleiterindustrie vorliegt, andererseits die komplexe Interaktion zwischen grundsätzlicher technischer Machbarkeit und Umsetzung im wirtschaftlichen Umfeld.

*Als Zeus dämmerte, dass seine hinterhältige Rache nicht aufgegangen war, erzitterte der gesamte Olymp unter seinem Zorn. Eine seiner Geliebten, die listige Elektra, wusste jedoch ihren wutentbrannten Verehrer zu besänftigen. Durch eine Spracheingabe an einen Online-Shop der Menschen bestellt sie ihm das neueste Smartphone, das mit einer autonomen Drohne bis an den Fuß des Olymp geliefert wurde. Zeus war fortan damit beschäftigt, die Spiele seiner zahlreichen Enkelkinder mit der hochauflösenden Kamera festzuhalten und in den Sozialen Medien, die mit schnellsten Rechenzentren betrieben wurden, mit den Menschen zu teilen.*

<sup>1</sup> Intel (Hrsg.). (2001). Partners Unveil First Extreme Ultraviolet Chip-Making Machine. [www.intel.com/pressroom/archive/releases/2001/20010411tech.htm](http://www.intel.com/pressroom/archive/releases/2001/20010411tech.htm) [Zugriff am 9.4.2018].

<sup>2</sup> Jeff Chapell (EDN Network, Hrsg.). (2001): EUV LLC Says Technology is Ready. [www.edn.com/electronics-news/4357234/EUV-LLC-Says-Technology-is-Ready](http://www.edn.com/electronics-news/4357234/EUV-LLC-Says-Technology-is-Ready) [Zugriff am 9.4.2018].

<sup>3</sup> Vortrag, EUV Litho Workshop 2017, „EUV Mask Technology and Economics: Impact of Mask Costs on Patterning Strategy“, Bryan Kasprovicz (Photronics Inc.), <https://www.euvlitho.com/2017/P33.pdf> [Zugriff am 9.4.2018].

<sup>4</sup> Prof. Steffen Wettengl. (2014). Holländisch-schwäbisches Innovationsduo vor dem großen Sprung. Der BWL-Blog von Prof. Steffen Wettengl. <http://wettengl.info/Blog/?p=4587> [Zugriff am 9.4.2018].

<sup>5</sup> Rick Merritt (EE Times, Hrsg.). (2018). Path to 2 nm May Not Be Worth It. Diminishing returns may evaporate at 5 nm. [www.eetimes.com/document.asp?doc\\_id=1333109&page\\_number=1](http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1333109&page_number=1) [Zugriff am 9.4.2018]. Semiconductor Engineering (Hrsg.). Tag: Next Generation Lithography. <https://semiengineering.com/tag/next-generation-lithography> [Zugriff am 9.4.2018].

# Wohlstand durch Materialeffizienz

Kleiner Einsatz, große Wirkung – die demea

Dr. Julia Kaltschew ▪ Dr. Claudia Ritter

## Materialeffizienz und Nachhaltigkeit

Als vor gut 300 Jahren Hans Carl von Carlowitz, ein sächsischer Berghauptmann, den Begriff Nachhaltigkeit ins Leben rief, hatte er sicher nicht die heutigen Produktionsstandorte in Deutschland im Kopf. Vielmehr ging es um eine ökologisch verträgliche und gleichzeitig wirtschaftlich lohnende Bewirtschaftung von Wäldern. Er formulierte als erster das Prinzip der Nachhaltigkeit: Bei der Rodung von Wäldern müsse man „bedenken [...] wo ihre Nachkommen Holz hernehmen sollen“. Denn „wenn die Holz und Waldung erst einmal ruiniert, so bleiben auch die Einkünfte auff unendliche Jahre hinaus zurücke, ... daß also unter gleichen scheinbaren Profit ein unersetzlicher Schade liegt“.<sup>1</sup> Auch auf lange Sicht und für die nachfolgenden Generationen sollte der Wald als Einkommensquelle dienen und den Lebensunterhalt sichern.

An Brisanz hat das Thema seitdem nicht verloren. Ganz im Gegenteil, der Umgang mit den natürlichen Ressourcen wird die Lebensumstände auf der Erde in den kommenden Jahren dramatisch beeinflussen. Die wachsende Weltbevölkerung und die zunehmende ökonomische Entwicklung führen zu einem stetig steigenden Bedarf an Lebensmitteln, Wasser, Energie und Gebrauchsgütern – fast überall auf der Welt wächst die Nachfrage nach „materiellen“ Produkten. Nicht nur der Lebensunterhalt soll gesichert werden, auch das Bedürfnis nach Konsum wächst stetig. Die ökonomische Entwicklung und der technologische Fortschritt gehen oft auf Kosten der Umwelt und ihrer Ressourcen. Die Ausgangs-

materialien liefert immer die Natur. Doch sind die Rohstoffe auf der Erde endlich, ihre Förderung wird immer aufwändiger, kostspieliger, risikoreicher und schadet dem Ökosystem zunehmend.

Wie lange kann unsere Umwelt wohl noch diesen enormen Ressourcenbedarf und die damit verbundenen Veränderungen in unserem Lebensraum vertragen, ohne dass die Menschen erhebliche Einschränkungen im Alltag hinnehmen müssen? Und was hat all das mit der Überschrift zu tun?

Ganz einfach, ein sparsamer Umgang mit Ressourcen lohnt sich nicht nur aus ökologischer Sicht, sondern macht sich auch auf dem Konto bemerkbar. Steigende bzw. schwankende Preise für Rohstoffe und Materialien stellen eine zunehmende Belastung für Unternehmen des produzierenden Gewerbes dar. Eine gesicherte Versorgung mit Rohstoffen und Materialien ist von grundlegender Bedeutung für die dauerhafte Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit der Wirtschaft.

Materialkosten stellen im Produzierenden Gewerbe nach Veröffentlichungen des Statistischen Bundesamts mit fast 43 Prozent den weitaus größten Kostenblock dar. Im Vergleich zu den gut 20 Prozent Personalkostenanteil ist das mehr als das Doppelte. Energiekosten hingegen verursachen nur 1,8 Prozent der Gesamtkosten. Diese Zahlen verdeutlichen, dass Einsparungen im Bereich Material einen besonders großen Einfluss auf die Produktionskosten haben und die Wettbewerbsfähigkeit von Un-

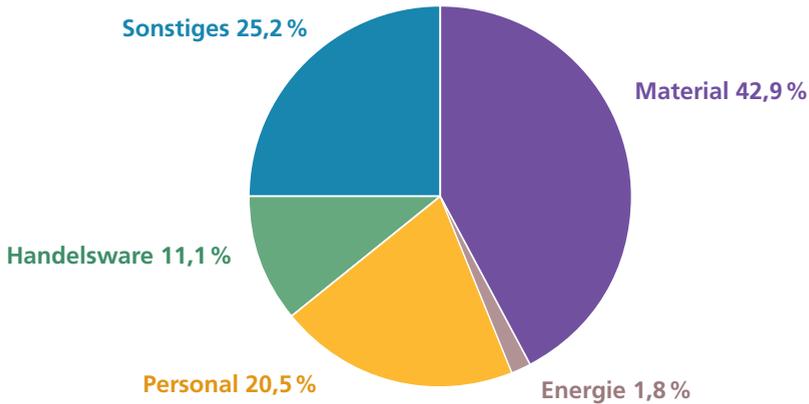


Abb. 1: Kostenstruktur im produzierenden Gewerbe in 2015  
Quelle: Statistisches Bundesamt (Destatis) (2017): Produzierendes Gewerbe.

ternehmen durch Erschließung von Einsparpotenzialen deutlich verbessert werden kann.

Ist das aber nicht offensichtlich und eigentlich ganz selbstverständlich? Sollten nicht alle Unternehmen von sich aus auf den sparsamen Einsatz von Produktionsmitteln aller Art achten?

Weit gefehlt! Die Realität sieht leider anders aus! Um Unternehmen zu helfen, ihre Einsparpotenziale zu identifizieren und wettbewerbsfähiger zu werden, wurde die Deutsche Materialeffizienzagentur (demea) vom damaligen Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie gegründet.

### Die Deutsche Materialeffizienzagentur

Viele Unternehmer im verarbeitenden Gewerbe gehen davon aus, dass in ihren Unternehmen keine Materialverluste vorkommen, da nach ihrer Ansicht alle Abläufe optimiert sind. In den seltenen Fällen, in denen ein Materialeinsparpotenzial im eigenen Betrieb vermutet wird, wird dieses Thema oft trotzdem nicht weiterverfolgt. Das liegt zum einen an fehlenden personellen Ressourcen und der mühsamen Einbindung von zusätzlichen Aufgaben in das Tagesgeschäft und zum anderen am erforderlichen Wissen, den benötigten Materialeinsatz zu analysieren, Effizienzpotenziale aufzuspüren und diese mit geeigneten Maßnahmen zu erschließen.

Zudem fürchten Unternehmen eventuell anfallende Investitionskosten. Deshalb unterstützte das BMWi kleine und mittelständische Unternehmen durch Beratungsprogramme, den Rohstoff- und Materialeinsatz im Unternehmen zu verringern. Die demea führte diese Förderprogramme im Auftrag des BMWi aus. Zu den Aufgaben der demea zählten dabei, das Bewusstsein für Rohstoff- und Materialeffizienz zu schärfen, Unternehmen zur Erschließung von Rohstoff- und Materialeffizienzpotenzialen zu motivieren und schließlich die Erkennung und Erschließung von Einsparpotenzialen zu fördern.

Ein zentraler Bestandteil der Arbeit der demea waren Aufbau und Pflege eines Beraterpools mit mehr als 200 Beratern. Die Beratungen der Unternehmen in den Förderprogrammen wurden ausschließlich von autorisierten Beratungsunternehmen durchgeführt. So konnten die Unternehmen auf die Fachkompetenz des jeweiligen Beraters und die effiziente Durchführung des Beratungsprojekts vertrauen. Der Fokus wurde stets auf das Aufspüren konkreter Einsparungen von Rohstoffen und Material in der Produktkonstruktion, im Fertigungsprozess sowie im Umfeld der Produktion gelegt. Da den Unternehmen selbst oftmals nicht bewusst war, in welchen Umfängen Rohstoff- und Materialeffizienzpotenziale bei ihnen verborgen liegen

und sie keinen akuten Handlungsbedarf sahen, war es die Hauptaufgabe der Berater, die Unternehmen für das Thema zu sensibilisieren und mit spezifischem Fachwissen von außen kritisch auf bestehende Prozesse zu schauen. Mit dem Blick von außen können in der Regel eingespielte und zum Teil starre Prozesse besser hinterfragt und analysiert werden.

Hierbei wurde festgestellt, dass Materialeffizienzpotenziale in jedem Unternehmen vorhanden sind. Mit einfachen Maßnahmen und geringen Investitionen, die sich nach kurzer Zeit amortisiert hatten, wurden durchschnittliche Einsparungen in Höhe von etwa 2 Prozent des Jahresumsatzes erreicht. Über das eingesparte Material hinaus wurden in den Unternehmen auch weitere Einspareffekte erzielt, da in jedem verarbeiteten Material bereits Kosten für Arbeit und Energie aus den vorgelagerten Prozessen enthalten sind. Die Unternehmen konnten auf diese Weise nicht nur ihre Rendite steigern, sondern gleichzeitig auch die Umwelt entlasten.

Die demea musste zunächst dafür sorgen, dass das Thema bei Unternehmen des produzierenden Gewerbes und in der Fachszene stärker in den Fokus rückte. Neben zahlreichen regionalen Infoveranstaltungen fanden jährlich Konferenzen im BMWi statt, auf denen sich interessierte Unternehmen, Berater und Multiplikatoren vernetzen und über neue Themen der Material- und Rohstoffeffizienz informieren konnten. Dabei wurde auch der Material- bzw. Rohstoffeffizienzpreis an Unternehmen und Forschungseinrichtungen verliehen. Prämiert wurden innovative Lösungen zur nachhaltigen Steigerung der Materialeffizienz bzw. neue anwendungsorientierte Forschungsergebnisse zur Verbesserung der Materialeffizienz. Die demea wurde im Laufe der Zeit stärker in der Fachszene wahrgenommen und vernetzte sich mit anderen Akteuren, beispielsweise im noch immer aktiven Kompetenzpool Ressourceneffizienz und im EU-weiten Projekt REMake mit Partnern aus 7 Ländern.



Abb. 2: Ansatzpunkte für Materialeffizienz in allen Unternehmensbereichen

### Ansätze zur Materialkostenreduzierung

Schnell zeigte sich, dass die Einsparmöglichkeiten sehr facettenreich sind. Ansatzpunkte zur Verbesserung der Materialeffizienz finden sich in fast allen Unternehmensbereichen: bei der Produktkonstruktion, in den Fertigungsprozessen, bei der Fabrikorganisation, in der Logistik oder durch Recycling und Substitution.

Ein Beispiel: Sollten die für die Produktion benötigten Holzvorräte auf dem Hof ohne Überdachung gelagert werden? Die erste Intuition sagt: nein! Und auch bei näherer Betrachtung ist augenscheinlich, dass Holz, wenn es ungeschützt der Witterung ausgesetzt wird, schneller altert und damit unnötige Materialverluste entstehen. Tatsächlich waren es gerade die offensichtlichen Dinge, die von Materialeffizienzberatern identifiziert wurden und deren Verbesserung zu einer deutlichen Steigerung der Materialeffizienz in Unternehmen führte.

Obwohl das Thema sehr komplex ist und eine Vielzahl von Parametern und Prozessschritten zu beachten sind, sind es häufig die schlichten Ansätze, die große Verbesserungen bewirken. Auch scheint das Problem nicht selten in der Komplexität der Dinge zu liegen. Im Folgenden werden einige konkrete Ansätze zur Senkung der Materialkosten und Beispiele aus den Förderprogrammen dargestellt.

**Kostentransparenz und Information sind fundamentale Voraussetzungen für die Erkennung und Erschließung von Einsparpotenzialen.** Wo sind welche Materialien gelagert? Gibt es Reststücke, die verwendet werden könnten? Sind die Materialien schon für andere Produktionsprozesse verplant? Wichtige Informationen müssen klar und verständlich dokumentiert und allen Mitarbeitern zugänglich gemacht werden. Die Einbindung der Mitarbeiter ist generell ein zentraler Erfolgsfaktor bei der Erschließung von Materialeinsparpotenzialen. In den Bereichen Konstruktion, Produktion und Vertrieb tätig, üben sie entscheidenden Einfluss auf den effizienten Umgang mit Material aus. Daher trägt eine Sensibilisierung und Schulung

der Mitarbeiter sowie deren Einbindung in Verbesserungsprozesse entscheidend zur Verbesserung des Materialeinsatzes bei.

**Die Lagerorganisation stellt eine typische Verlustquelle dar, die nicht einfach zu erkennen ist.** Insbesondere in Betrieben, die mit der Zeit stark gewachsen sind, finden häufig unnötige Materialtransporte statt. Dies erhöht die Zahl von Beschädigungen oder Verwechslungen und somit die Ausschussquote. Nicht selten werden eingelagerte Materialien oder Komponenten nicht gefunden und aus der Not heraus nachbestellt oder nachproduziert. Auch kommt es immer wieder vor, dass Materialien direkt aus dem Lager entsorgt werden, weil Produkte nicht mehr marktfähig sind oder Komponenten nicht mehr verbaut werden können, weil sie durch neue Versionen ersetzt wurden. Schlanke, gut organisierte Lager erhöhen die Materialeffizienz und senken die Kapitalbindung.

**Materialeinsparungen durch Weiterentwicklung der Produktkonstruktion sind nicht auf den ersten Blick erkennbar und oft nur mit größerem Aufwand umsetzbar.** Aber die Hebelwirkung ist meist höher als bei der Prozessoptimierung und wirkt sich auf weitere Bereiche aus. In vielen Fällen sind Komponenten überdimensioniert oder sogar überflüssig. Welche Materialstärken sind erforderlich? Welchen Belastungen ist das Produkt in der Nutzung ausgesetzt? Lässt sich die Komponentenvielfalt reduzieren? Mit der Beantwortung dieser Fragen können neben verbesserten Gebrauchseigenschaften (z. B. geringeres Gewicht durch Leichtbauweise) auch Energieeinsparungen erzielt werden. Bei der Organisation der Fertigung ist es zudem sinnvoll, Aufträge zusammenzufassen, um vorhandenes Material optimal ausnutzen zu können. Durch geeignete quantitative Verschnittoptimierung und eine auftragsübergreifende Produktion können Restlängen und -flächen mit wenigen Materialverlusten verbraucht werden. Dies gelingt am besten, je geringer die Teile- und Komponentenvielfalt ist.

**Auch durch die Auswahl der Bearbeitungsprozesse kann die Materialeffizienz wesentlich beeinflusst werden.**

Dabei muss bedacht werden, dass gerade in kleinen Unternehmen oft noch traditionelle Produktionstechnologien eingesetzt werden, die weit entfernt sind von den neuesten Forschungsergebnissen. Spanabhebende Formgebungsprozesse bringen beispielsweise deutlich erkennbare Materialverluste mit sich. Bei der Metallverarbeitung bietet es sich daher an, durch Verformung Rohlinge zu erzeugen, die der Zielstruktur sehr nahe kommen und nur noch leicht durch Drehen oder Fräsen überarbeitet werden müssen. Generell bieten der Einsatz additiver Fertigung, neuer Verbundwerkstoffe und recyclingfähiger Materialien enorme Einsparungspotenziale. Weitere wichtige Aspekte bei der Auswahl des geeigneten Bearbeitungsverfahrens sind Energieverbrauch und Prozesssicherheit bzw. Ausschussquoten. Auch der Werkzeugauswahl kommt eine große Bedeutung zu. Schlechte oder schnell abnutzende Werkzeuge erhöhen die Ausschussquote und senken die Effizienz.

In fast allen Beratungsprojekten fiel auf, dass gerade die kleinen Unternehmen keine konstant durchgängige Qualitätskontrolle durchführen. Dabei ist dies ein wichtiger Ansatzpunkt für die Vermeidung von Materialverlusten. Fallen die Mängel erst bei der Endkontrolle oder beim Kunden auf, sind viel Material, Arbeitszeit und ggf. Energie verschwendet worden.

## Ressourcen schonen, Wirtschaft stärken

Die Ergebnisse der Beratungen zeigen, dass mit relativ kleinem Einsatz eine erstaunlich große Wirkung erzielt werden konnte. Das ermittelte durchschnittliche Einsparpotenzial lag bei 2 Prozent des Jahresumsatzes der Unternehmen. In einer Erstberatung (Potenzialanalyse) für maximal 17.000 € wurden durchschnittliche Kos-

teneinsparungen in Höhe von 200.000 € allein beim Materialeinsatz aufgedeckt. Betrachtet man all diese Erkenntnisse aus den Förderprogrammen der demea wird schnell klar, dass in produzierenden Unternehmen viel Material verschwendet wird, was negative ökonomische wie auch ökologische Auswirkungen hat.

Material und Ressourcen stecken in allen Produkten, deren Produktion und Verkauf die gute wirtschaftliche Lage in Deutschland auch weiterhin sichern sollen. Sowohl technische als auch soziale Innovationen oder neue Geschäftsmodelle sind gefragt, diesen Wohlstand aufrecht zu erhalten und den deutschen Mittelstand wettbewerbsfähig zu halten. Durch die interdisziplinäre Kooperation von Unternehmen und Forschungseinrichtungen verschiedener Bereiche müssen Wissen zusammengetragen und sowohl neue Materialien als auch neue Produktionstechnologien in neue Produkte und Dienstleistungen umgesetzt werden. Einen effizienten Umgang mit Ressourcen dabei von Beginn an mitzudenken, kann einerseits die Lebensgrundlage künftiger Generationen sichern und ist gleichzeitig ein Wettbewerbsvorteil für den deutschen Mittelstand.

Ein Wandel im Umgang mit Ressourcen ist über kurz oder lang vonnöten. Das Zeitalter des hemmungslosen Konsums und der scheinbar unbegrenzten Ressourcen ist vorbei. Ein Anreiz für Unternehmen, sich dem Thema eher früher als später zu widmen, kann der finanzielle Aspekt sein. Nicht nur aus „moralischer“ Sicht, sondern auch aus Gründen der Kosteneinsparung und des Wettbewerbs, ist der effiziente Einsatz von Ressourcen sinnvoll und notwendig. Ist Materialeffizienz – oder besser Ressourceneffizienz – also ein wesentlicher Trend des 21. Jahrhunderts?

Die Arbeit der demea reiht sich ein in ein Spektrum vielfältiger Projekte, die in der VDI/VDE-IT bis heute zum Thema Ressourceneffizienz durchgeführt wurden. Das Neue bei der demea war die Einbeziehung kompetenter und erfahrener Materialeffizienzberater, das Besondere

ein schneller und unmittelbarer Beitrag zur Verbesserung der Materialeffizienz in den mittelständischen Unternehmen. So hat die öffentliche Hand mit der dema in vielen Unternehmen einen Innovationsschub angeregt: über die Erschließung von Einspareffekten durch relativ

einfache organisatorische Verbesserungen und die Reduktion des Materialeinsatzes hinaus, wurde auch ein offenerer Umgang mit Impulsen von außen, neuen Ideen der eigenen Mitarbeiter und eine gewisse Innovationskultur in Gang gesetzt.

---

<sup>1</sup> Carlowitz, Hannß Carl von (1713): *Sylvicultura Oeconomica* oder haußwirthliche Nachricht und Naturmäßige Anweisung zur Wilden Baum-Zucht.

# Die Innovation vor Augen

Dr. Marcel Kappel ▪ Dr. Karsten Rapsch

In der heutigen Gesellschaft sind innovative Ideen und Produkte der Vergangenheit allgegenwärtig. In manchen Fällen ist es möglich, diese direkt zu benennen oder zu identifizieren und in manchen Fällen haben sich diese Technologien so stark in unser alltägliches Leben integriert, dass wir diese als Innovation gar nicht mehr wahrnehmen. Dennoch hat die Menschheit in den vergangenen Jahrhunderten erstaunliche Technologien hervorgebracht, die unsere Gesellschaft bis heute nachhaltig prägen, verbessern oder gar erst ermöglichen. Eine dieser Technologien wird heutzutage von mehr als 60 Prozent der über 16-jährigen täglich benutzt und sogar MacGyver wäre neidisch auf den Einfallsreichtum hinter dieser Innovation.<sup>1</sup> Ohne diese wären viele Menschen so stark in ihrem sozialen Leben eingeschränkt, dass ein normales Miteinander nicht möglich wäre. Dabei fällt einem Großteil der Personen, die diesen Gegenstand benötigen, gar nicht mehr auf, dass sie ihn fast immer dabei haben und er ein unverzichtbarer Teil ihres alltäglichen Lebens geworden ist. Das heißt jedoch nicht, dass sie ihn nicht mehr sehen. Vielmehr sehen gerade viele Menschen DURCH ihn hindurch, um diesen Text zu lesen. Die Rede ist von der Brille.

Im Laufe der Jahrhunderte hat die Brille eine erstaunliche Wandlung vollzogen, wobei sie sich stets den jeweiligen Zeiten, technologischen Rahmenbedingungen und den Herausforderungen der damaligen Gesellschaft angepasst hat. Über diese Zeit wurde sie weiterentwickelt, optimiert, adaptiert und hat einen festen Platz in unserer heutigen Gesellschaft eingenommen.

*„Wenn man sich in unserer Zeit eine größere Menge von Menschen betrachtet, findet man darunter nicht wenige, welche sich eines Glases bedienen, um in der Nähe oder in die Ferne*

*besser zu sehen. Dies fällt uns gar nicht mehr auf, wir sind gewöhnt, dieses wichtige Hilfsmittel im allgemeinen Gebrauche zu finden.“<sup>2</sup>*

Die Feststellung wurde schon im Jahre 1903 vom deutschen Augenarzt Emil Bock getroffen. Mehr als 100 Jahre später trifft diese Aussage immer noch zu, vielmehr ist die Brille noch mehr Teil unserer Gesellschaft geworden.

Seit Anbeginn der Menschheit gab es keine Hilfe für Fehlsichtige. Während für Kurzsichtige die fernen Dinge verschwommen waren, war die Nähe für die sogenannten „Übersichtigen“ – die Weitsichtigen – nicht mehr scharf zu erkennen. Wer davon beeinträchtigt war, hatte früher einfach Pech gehabt und musste damit leben!

Der Erfolg der Brille in diesem Maße war in ihren Anfängen noch lange nicht abzusehen. Die ersten Schritte hin zu einer optischen Sehhilfe gehen zurück bis in die Antike, als Archimedes erste Untersuchungen an grob behauenen Kristallen durchführte, diese aber nicht als Sehhilfe verwendete. Trotzdem hielt sich lange das Gerücht, dass die ersten Sehhilfen in der Antike zu suchen seien. Zum Beispiel berichtete Marco Polo, dass in China Augengläser schon seit mehr als 1.000 Jahren bekannt waren. Diese Gläser erwiesen sich aber als magisches Utensil bei traditionellen Heilpraktiken und hatten keinerlei sehkorrigierende Wirkung. Auch berichtete Plinius d. Ä. (23–79 n. Chr.), dass Kaiser Nero seine geliebten Gladiatorenkämpfe immer durch einen Smaragden betrachtete. Neuere Forschungen ergaben jedoch, dass er dies nicht aufgrund einer Fehlsichtigkeit tat, sondern als Schutz gegen das gleißende Sonnenlicht in der Arena.<sup>3</sup> In dieser Zeit war es gängige Praxis, sich bei nachlassender Sehkraft von ei-

nem Bediensteten vorlesen zu lassen, so wie es auch der Gelehrte und Politiker Cicero (106-43 v. Chr.) gehandhabt hat. Auch wenn dieser Gedanke einen gewissen Charme hat, war dieses Prinzip sicherlich nicht dauerhaft zukunftsfähig.

Erste konkrete mathematische Berechnungen zur Lichtbrechung und -reflexion wurden dann von Ibn al-Heitham (965-1039) in Basra angestellt. Er erkannte in seiner Abhandlung „Schatz der Optik“ zudem auch die optische Vergrößerung von konvexen Linsen und fertigte als Erster sogenannte Lesesteine aus geschliffenem Glas mit einer glatten Grundfläche an. Jahrhunderte später gelangten Übersetzungen der Schriften al-Heitams nach Westeuropa.<sup>4</sup> Italienische Mönche griffen die Gedanken auf und entwickelten die Lesesteine weiter. Zwar mussten diese noch über jeden einzelnen Buchstaben geführt werden, doch älteren Mönchen war es nun wieder vergönnt ihre Schriften zu entziffern. Es ist sicherlich auch kein Zufall, dass bei der umfangreichen Schreibarbeit der Mönche in dunklen Klosterräumen bei flackerndem Kerzenlicht das Aufkommen von einfachen Lesehilfen auf durchaus fruchtbaren Boden fiel. Typische Materialien für die Linsen zu dieser Zeit waren Bergkristall oder auch der Edelstein Beryll – von dem sich auch der Name „Brille“ ableitete. Einzig die Glashütten von Murano in Venedig waren im 13. Jahrhundert in der Lage, völlig klares Glas ohne Blasen herzustellen. Es stellte sich heraus, dass dies ideal war für optische Sehhilfen. Im Jahre 1300 wurde die Herstellung von Augengläsern per Ratsbeschluss reglementiert und erste Qualitäts-Vorschriften und -bedingungen definiert.<sup>5</sup>

Die Lesesteine der Mönche wurden zur bequemeren Handhabung bald auf beiden Seiten geschliffen, mit einem dicken Ring aus Eisen, Horn oder Holz eingefasst, sowie mit einer Halterung versehen, welche als „Manokel“ bezeichnet wird. Seit dem 16. Jahrhundert sind solche Einhandgläser auch mit konkaven Linsen nachweisbar, also zum Gebrauch bei Kurzsichtigkeit. Durch das Zusammennieten zweier dieser Stielgläser entstand die erste Brillenform, die

Nietbrille<sup>6</sup>. Zwar musste man diese Urform der Brille von Hand auf der Nase festhalten, jedoch war dadurch das Lesen und Schreiben bis ins hohe Alter möglich. Diese Form der Brille wurde zum Inbegriff der Intellektualität, so dass mittelalterliche Maler die gelehrigsten Figuren der Geschichte mit Brille abbildeten. Dadurch sind interessanterweise auf einigen Gemälden aus dieser Zeit einige Anachronismen entstanden (wie in Abbildung 1).



Abb.1: Conrad von Soest malte 1403 in der Stadtkirche in Bad Wildungen den sogenannten „Brillenapostel“. Dies ist die früheste Darstellung einer Brille nördlich der Alpen und gleichzeitig ein herrlicher Anachronismus.

Die ersten Brillen, die zumindest eine gewisse Ähnlichkeit mit den heutigen Modellen hatten, tauchten dann Ende des 15. Jahrhunderts auf. Hier wurde die Nietbrille von der Bügelbrille abgelöst, deren Fassung dann aus einem einzigen Stück bestand, wie beispielsweise aus Eisen, Silber, Bronze oder Leder. Als Zusatz zu diesen Modellen wurde ein elastischer Ledersteg angebracht und mit einem Schlitz versehen. Dieser wurde dann verwendet, um das Gestell auf dem Nasenrücken zu fixieren. Hierbei lag auch das größte Problem der damaligen Brillengestelle. Immer wieder rutschten die schweren

Gläser von der Nase oder wurden so stark auf der Nase fixiert, dass der Träger dies als äußerst unangenehm empfand. Aufgrund der besonders edlen Materialien für die Fassung galten in dieser Zeit in Spanien besonders große Modelle gar als Statussymbol. Dort war das Tragen einer Brille ein Zeichen von Luxus und gesellschaftlichem Rang; je grösser die Gläser, desto teurer die Brille und umso höher die gesellschaftliche Stellung des Trägers. In den anderen Ländern hatte die Brille jedoch einen schweren Stand. Sie wurde zwar als Zeichen von Intelligenz angesehen, aber natürlich auch als ein Eingeständnis des Älterwerdens. Viele berühmte Personen lehnten es deshalb auch ab eine Brille zu tragen, auch wenn sie stark kurzsichtig waren, wie beispielsweise Napoleon und Goethe (*„So oft ich durch eine Brille sehe, bin ich ein anderer Mensch und gefalle mir nicht.“*).<sup>7</sup>

Im 18. Jahrhundert kam dann die sogenannte Nürnberger Drahtbrille auf den Markt. Hier wurden die Gläser durch dünne metallene Bügel gehalten. Damals bekam sie den äußerst treffenden, aber wenig schmeichelhaften Namen „Nasenquetsche“. Trotzdem setzte sie sich in ganz Europa durch und bot einen bis dahin nicht für möglich gehaltenen Tragekomfort.

Seit Ende des 18. Jahrhunderts ist auch das sogenannte Monokel bekannt. Bestehend aus nur einer Linse in einer runden Fassung wurde es nur von den Muskeln rund um das Auge gehalten. Insbesondere in der höheren Gesellschaft in Deutschland und England lag dieses Modell voll im Trend. Die Franzosen konnten sich jedoch generell mit Brillen nicht anfreunden. Wenn man eine Brille tragen musste, war ihnen das ungemein peinlich. So setzte sich bei unseren westlichen Nachbarn die sogenannte „Scherenbrille“ durch. Diese wurde mit einer Hand vor die Augen gehalten, ähnlich wie ein Opernglas, und konnte gegebenenfalls schnell weggesteckt werden. Diese Variante war in der Öffentlichkeit so dezent, dass sogar Napoleon und Goethe ihren Gefallen daran fanden.<sup>8</sup>

Nach der Entwicklung der ersten Brille dauerte es fast 500 Jahre bis die Idee entstand, die Gläser und die Fassung mit Bügeln seitlich an den Schläfen zu fixieren. Die sogenannte Ohrenbrille wurde Mitte des 18. Jahrhunderts in einer Vorform von einem Pariser Optiker und dann in einer verbesserten Form (mit Gelenken und verlängerten Bügel, so dass sie über die Ohren reichten) von einem Londoner Optiker entwickelt.<sup>9</sup> Die Brille, so wie wir sie heute kennen, mit ihrer anatomisch perfekten Passung, wurde dann in den goldenen 20er Jahren entwickelt und in den Jahrzehnten danach bis heute ständig weiter optimiert und individualisiert.

Auch wenn der Entwicklungsweg hin zu den heutigen Modellen im Wesentlichen klar beschrieben und nachvollziehbar ist, gab es doch viele Varianten und Techniken, die man heute als entwicklungstechnische Einbahnstraße oder bestenfalls als Kuriosität bezeichnen würde. Da wäre zum Beispiel die Bandbrille zu nennen, die man sich mittels eines Lederbands einfach um den Kopf band, oder die Stirnreifbrille aus Stahl, bei der man nicht viel erklären muss.<sup>10</sup> Ein weiteres Beispiel ist die Mützenbrille, bei der die Linsen an einer Mütze angebracht wurden. Wenn man dieses Modell trug, musste man, als eine der wenigen Ausnahmen in der damaligen Zeit, die Kopfbedeckung zur Begrüßung nicht abnehmen. Eigentlich ein tolles Verkaufsargument! Es gab noch weitere Zwischenformen, wie zum Beispiel die Zweistärkenbrille (Bifokalbrille), die von Benjamin Franklin (1706–1790) erfunden wurde. Um die Korrektur von Kurzsichtigkeit und Weitsichtigkeit in einer Brille zu kombinieren, fertigte er pro Seite zwei halbe Linsen an, die mit einer waagerechten Trennung in einem Rahmen untergebracht wurden. Dies stellte zu der damaligen Zeit eine bahnbrechende Innovation dar. Diese damals neu entwickelte Zweistärkenbrille sollte jedoch erst zwei Jahrhunderte später in die breite Anwendung gehen.<sup>11</sup>

Doch nicht nur der Mensch hat zur Veränderung und Adaption der Brille beigetragen, sondern die Brille selbst hat in den letzten

Jahrzehnten auch Einfluss auf unsere heutige Gesellschaft, den technologischen Fortschritt und direkt bzw. indirekt auf die Evolution der gesamten Menschheit genommen. Schon der Philosoph René Descartes hat angemerkt, dass die Fähigkeit zu sehen eine unserer essenziellsten Fähigkeiten ist.<sup>12</sup> Daher gehören alle in diesem Zusammenhang diesen Sinn verstärkenden oder erhaltenden Erfindungen zu den wichtigsten der Menschheit. Die Brille ist nach heutiger Definition ein Medizinprodukt, welches dazu dient, körperliche Mängel zu kompensieren und die volle Leistungsfähigkeit des menschlichen Körpers wieder her zu stellen.<sup>13</sup>

Doch darüber hinaus ermöglicht die Brille nicht nur die Kompensation körperlicher Mängel, sondern vielmehr eine Leistungssteigerung ihres Benutzers. So konnte in der Vergangenheit durch die Anwendung der Brille die zunehmende Sehschwäche von älteren Menschen kompensiert werden. Dadurch konnten diese ihre Berufe, bei welchen es auf gute Augen ankam, länger ausüben und somit länger produktiv tätig sein. So konnte durch die Nutzung von Brillen die Lebensarbeitszeit von beispielsweise Schreibern, Lektoren, Instrumenten- und Werkzeugmachern, Webern und Metallarbeitern mehr als verdoppelt werden.<sup>14</sup> Zudem erlaubte die Brille auch Arbeiten, welche ohne Sehkorrektur bzw. -verstärkung gar nicht möglich gewesen wären. Beispiele hierfür sind die Feinmechanik, die Herstellung genauerer und präziserer Werkzeuge und die Entwicklung komplizierter Maschinen.<sup>15</sup> Geschichtlich gesehen war die Brille eine von mehreren Schlüsselerfindungen, welche bereits im Mittelalter die spätere Überlegenheit Europas begründete.<sup>16</sup> Provokativ formuliert könnte man somit schlussfolgern, dass die Erfindung der Brille maßgeblich zur Entwicklung von Technologien, die wir heute als disruptiv oder innovativ bezeichnen, beigetragen hat. Unumstritten ist hingegen, dass ohne die Erfindung der Brille unsere heutige Gesellschaft und unser alltägliches Leben anders aussehen würden.

Die belebte Welt, wie wir sie kennen, ist ein Produkt der Evolution. Ein Grundprinzip der

Evolutionstheorie besteht darin, dass sich stets die effizientesten Eigenschaften einer Spezies durchsetzen („survival of the fittest“) und es somit zu einer kontinuierlichen Weiterentwicklung innerhalb der Spezies kommt. Unbestritten ist wohl, dass der Mensch durch seine kontinuierliche genetische Weiterentwicklung zu einem der erfolgreichsten Säugetiere auf unserem Planeten geworden ist. Das Ergebnis, welches wir heute kennen, ist jedoch kein reines Zufallsprodukt. Einer der wichtigsten Erfolgsfaktoren in der evolutionären Entwicklung des Menschen war seine Fähigkeit, bereits früh Werkzeuge herstellen und einsetzen zu können, um seine körperlichen Limitierungen zu kompensieren. Zu eben jenen Werkzeugen gehört auch die Brille! Durch den Einsatz von Werkzeugen war der Mensch, im Vergleich zu anderen Lebewesen, in der Lage, seine eigene Evolution zu beeinflussen. Unter normalen Selektionsbedingungen würden starke Sehhinderungen dazu führen, dass das betroffene Individuum sich gegen seine Artgenossen nicht durchzusetzen würde.<sup>17</sup> Durch die Verwendung von Hilfsmitteln, wie zum Beispiel der Brille, konnte der Mensch diesem Selektionsdruck entgehen, und somit indirekt seine eigene Evolution maßgeblich mitgestalten. Obwohl dies ein Teil der Wahrheit ist, zeigen aktuelle Studien, dass die Kurzsichtigkeit nicht allein ein Produkt der Evolution ist. Vielmehr belegen diese, dass die Kurzsichtigkeit ein Massenphänomen der jüngsten Vergangenheit ist und im Vergleich zu klassischen genetischen Veränderungen deutlich schneller entsteht.<sup>18</sup>

Eine mögliche Ursache für diesen rapiden Anstieg der Kurzsichtigkeit liefern verschiedene Studien. Es konnte gezeigt werden, dass offensichtlich ein Zusammenhang zwischen Kurzsichtigkeit und Naharbeit besteht. Je mehr Tätigkeiten im Nahbereich unserer Augen stattfinden (wie Büroarbeit, aber auch das stundenlange Starren auf sein Smartphone), desto wahrscheinlicher ist es, von Kurzsichtigkeit betroffen zu sein. Schlussendlich ist es jedoch noch nicht abschließend geklärt, welche Ursachen tatsächlich verantwortlich gemacht werden können.

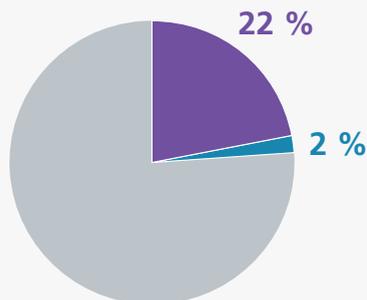
Andere Studien sehen den Hauptgrund nicht im Nahsehen, sondern vermuten einen Zusammenhang zwischen Kurzsichtigkeit und der Aufenthaltzeit im Freien. Demnach kann sich das Sonnenlicht auf das Augenwachstum auswirken. Hauptrolle spielt in diesem Fall das Dopamin, welches das Augenwachstum reguliert.<sup>19</sup> In einem sind sich die Studien aber einig und sicher: Rausgehen ins Freie kann den Augen nicht schaden!

Mit dem Wissen über die Jahrhunderte alte Entwicklung und dem Umstand, dass die Brille uns mittlerweile so selbstverständlich geworden ist, dass wir nicht lange darüber nachdenken, wenn wir sie morgens aufsetzen, ist es doch einigermaßen erstaunlich, dass die Geschichte dazu bei der breiten Bevölkerung weitgehend in Vergessenheit geraten ist. Dabei haben nur wenige Erfindungen so viel für die soziale Inklusion getan wie die einfache Korrekturbrille.

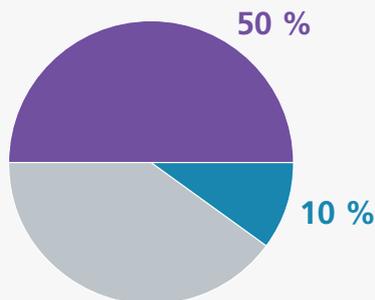
Für den Fall, dass man einen einfachen Seefehler hat, jedoch keine Möglichkeit sich eine Korrekturbrille zu beschaffen, ist es laut der WHO dreimal wahrscheinlicher arbeitslos zu sein, sich bei einem Verkehrsunfall zu verletzen oder unter Depressionen zu leiden. Ohne Brille ist es zudem sehr schwer bzw. nicht möglich ein Auto zu fahren, ein Buch zu lesen oder bestimmten Tätigkeiten nachzugehen, bei denen ein uneingeschränktes Sehvermögen notwendig ist. Einfachste Formen des gesellschaftlichen Zusammenseins werden extrem herausfordernd und können betroffene Personen vor ungeahnte Probleme stellen. Sehr konservativ schätzt die WHO, dass weltweit mehrere Hundert Millionen Menschen auf eine Seehilfe angewiesen sind.<sup>20</sup> Andere Studien gehen da noch erheblich weiter und nennen Zahlen von bis zu 1,5 Mrd. betroffenen Menschen nur für Kurzsichtigkeit oder bis zu 2,3 Mrd. Betroffenen für alle Sehfehler, die mit einer einfachen Korrekturbrille

## Die Prävalenz der Kurzsichtigkeit ist auf dem Vormarsch

Gesamte Weltbevölkerung mit Kurzsichtigkeit im Jahr **2000**



Prognostizierte Kurzsichtigkeit der gesamten Weltbevölkerung im Jahr **2050**



vs

■ schwache/mittlere Kurzsichtigkeit > -0.50 D

■ starke Kurzsichtigkeit > -5.00 D

Abb. 2: Im Jahre 2050 werden 60 Prozent der Weltbevölkerung an Kurzsichtigkeit leiden. Jeder Zehnte wäre demnach sogar stark kurzsichtig. Im Vergleich zum Jahr 2000 also ein erheblicher Anstieg.

Quelle: Holden, B. A.; Fricke, T. R.; Wilson, D. A.; Jong, M.; Naidoo, K. S.; Sankaridurg, P.; Wong, T. Y.; Naduvilath, T. J.; Resnikoff, S. (2016): Global Prevalence of Myopia and High Myopia and Temporal Trends from 2000 through 2050. In: *Ophthalmology* 123 (2016) 5, S. 1036–42.

behooben werden können – das entspricht mehr als 30 Prozent der jetzigen Weltbevölkerung.<sup>21</sup>

Es ist sicherlich interessant zu wissen, dass die globale Verteilung extrem unterschiedlich ist. Einige asiatische Länder haben bei Kurzsichtigkeit eine Rate von über 80 Prozent. Insbesondere in den Schulen und Universitäten Singapurs liegt die Quote zwischen 80 und 90 Prozent. In Europa und in den USA liegt der Wert bei ca. 30 bis 40 Prozent, während in Afrika nur Werte zwischen 10 und 20 Prozent festgestellt wurden.<sup>22</sup> Wenn Sie bereits jetzt der Meinung sind, dass diese Werte besorgniserregend klingen, dürfen Sie nicht schockiert sein, wie eine mögliche Zukunft aussehen könnte.

Laut einer aktuellen Studie wird im Jahre 2050 jeder zweite Mensch auf der Welt kurzsichtig sein. Aufgrund der Tatsache, dass die Zahlen zukünftig weiter steigen werden, können eigentlich nur noch Optiker und Augenärzte zuversichtlich in die Zukunft blicken.<sup>23</sup>

Obwohl sie von einem Großteil der Bevölkerung benötigt wird, ist sie nicht von allen geliebt. Sie wird trotz ihrer ungeheuren Nützlichkeit in der öffentlichen Wahrnehmung auch heute oftmals noch immer als optischer Makel angesehen. Abgesehen von Brillenwerbung zeigen Fotos in aktuellen Modejournalen und Zeitschriften nur in sehr geringer Zahl Brillenträger.<sup>24</sup> Oder fällt Ihnen spontan ein Kino- oder Fernsehheld mit Brille ein? Ausgenommen sind hier natürlich Sonnenbrillen, die aus anderen Gründen in Filmen getragen werden. Man denke an dieser Stelle nur an einen James Bond, eine Marilyn Monroe oder einen John McLane mit Hornbrille. Ein interessanter Gedanke, aber wenig überzeugend. Und sollte Ihnen doch noch ein Kinoheld einfallen wie etwa Harry Potter, dann sollen mit Hilfe der Brille bestimmte Eigenschaften des Charakters, wie Intelligenz, Verletzlichkeit oder ein hohes Alter verdeutlicht werden. In Anbetracht des schwindelerregenden weltweiten Anstiegs der Kurzsichtigkeit könnte sich die Sichtweise der Medien bei der Darstellung von Brillenträgern jedoch in den nächsten

Jahrzehnten noch ändern. Es gibt aber auch Menschen, die ihre Brille zum Markenzeichen gemacht haben. Hier gehört die Sehhilfe zum festen Bestandteil der öffentlichen Wahrnehmung. Prominente Beispiele sind hier: Elton John, Woody Allen, Gandhi und Johnny Depp, welcher seit der Geburt auf dem linken Auge fast blind und auf dem rechten Auge stark kurzsichtig ist. Diese Liste ließe sich noch um einiges verlängern, da immer mehr Menschen zu ihrer Sehhilfe stehen und diese nicht als störenden Makel wahrnehmen.

Fakt ist jedoch, dass die Beeinträchtigung durch Sehbehinderungen kontinuierlich zunimmt und die Gesellschaft vor massive Probleme stellt. Besonders vor dem Hintergrund des demographischen Wandels und der zunehmenden Digitalisierung in Kombination mit sich rapide verändernden Arbeits- und Lebensbedingungen sind Lösungen und Konzepte notwendig, um diesen Veränderungen begegnen zu können. Obwohl nicht eindeutig feststeht, welchen Einfluss die Brille auf unsere evolutionäre Entwicklung hatte, kann jedoch guten Gewissens behauptet werden, dass sie auch in Zukunft ein unverzichtbares Hilfsmittel der Menschheit sein wird. In diesem Zusammenhang kann provokativ behauptet werden, dass die Brille unsere historische und technologische Entwicklung zunächst ermöglicht hat und uns auch in Zukunft die Nutzung der Digitalisierung und die Adaption an die sich verändernden Lebensbedingungen vereinfachen wird. Vielmehr ist und wird das Grundprinzip der Brille auch in Zukunft ein verlässliches Hilfsmittel der Menschheit darstellen, unabhängig davon, wie sich die technische Ausgestaltung weiterentwickeln wird. Somit war, ist und bleibt die Brille einer der innovativsten Erfindungen der Menschheit.

### Fazit

Aus den mittelalterlichen italienischen Klöstern heraus und nach einer Jahrhunderte alten Entwicklung trat die Brille ihren Siegeszug um die Welt an. Dieser hält bis heute unverändert an und ein Ende des Erfolgs der einfachen Sehhilfe ist mit Blick auf neuere Entwicklungen noch

lange nicht abzusehen. Oder mit anderen Worten ausgedrückt: Die Geschichte der Brille ist noch lange nicht zu Ende. Ganz im Gegenteil. Heutzutage und auch in Zukunft werden Gläser, Bügel und Nasenaufgaben optimiert und weiterentwickelt. Innovative Hightech-Werkstoffe maximieren den Tragekomfort; die Gläser werden immer noch dünner und leichter, die Fassungen immer stabiler und flexibler. Längst gibt es schon Modelle im Bereich von unter 15 Gramm Gewicht. Diese lange und kuriose Entwicklungsgeschichte der Brille bis zu den heutigen Modellen mit all ihren Irrungen und Wirrungen zeigt aber auch, dass eine Innovation niemals zu Ende entwickelt und niemals fertig optimiert ist. Eine Innovation muss sich immer den äußeren Umständen und dem entsprechenden Zeitgeist anpassen. Hier sei nochmal das Beispiel der Franklinschen Bifokalbrille genannt: Obwohl die Brille seiner Zeit um 200 Jahre voraus war, hat sie sich Mitte des 18. Jahrhunderts noch nicht durchsetzen können. Damals waren zwei verschiedene Brillen mit unterschiedlichen

optischen Werten einfach deutlich billiger und einfacher zu beschaffen als die Speziallösung des Mannes auf dem 100 Dollar Schein. Heute sind der Vielfalt an Formen und Materialien jedoch kaum mehr Grenzen gesetzt.

Eine Prognose für die Zukunft der Brille ist, in Anbetracht von Laser-OPs, (irgendwann intelligenten) Kontaktlinsen, aber auch Virtual und Augmented Reality Brillen, sehr schwierig. Aber angesichts des drastischen Anstiegs der Kurzsichtigkeit können zumindest Optiker sehr wahrscheinlich optimistisch in die Zukunft schauen. Schaden kann es für die eigenen Augen jedenfalls nicht, wenn man sich ab und zu mal vornimmt: „Mehr draußen, weniger drinnen.“ Auch sollten Sie mal Ihre eigene Brille abnehmen (die Wahrscheinlichkeit ist ja recht hoch, dass Sie eine auf der Nase haben) und genauer betrachten. Vielleicht sehen Sie Ihre Brille, das Ergebnis eines 700 Jahre langen Entwicklungsprozesses, dann mit anderen Augen.

<sup>1</sup> Institut für Demoskopie (2014): Brillenstudie. Allensbach.

<sup>2</sup> Bock, E. (1903): Die Brille und ihre Geschichte. Wien. Verlag Josef Safar.

<sup>3</sup> Buck, S (2002): Der geschärfte Blick. Zur Geschichte der Brille und ihrer Verwendung in Deutschland seit 1850. Marburg.

<sup>4</sup> Verma, R. L. (1969): Al-Hazen. Father of modern optics. In: al-Arabi (1969).

<sup>5</sup> White, L. (1961): Eilmer of Malmesbury, an Eleventh Century Aviator. A Case Study of Technological Innovation, Its Context and Tradition. In: Technology and Culture (1961).

<sup>6</sup> Buck, S. (2002): Der geschärfte Blick. Zur Geschichte der Brille und ihrer Verwendung in Deutschland seit 1850. Marburg.

<sup>7</sup> Goethe, J. W. v.; Muschg, A. (2006): Wilhelm Meisters Wanderjahre oder die Entsagenden, 1. Aufl., [Nachdr.]. Frankfurt am Main, Leipzig.

<sup>8</sup> Buck, S. (2002): Der geschärfte Blick. Zur Geschichte der Brille und ihrer Verwendung in Deutschland seit 1850. Marburg.

<sup>9</sup> Rossi, F. (1989): Brillen. Vom Leseglas zum modischen Accessoire. München.

<sup>10</sup> Münchow, W. (1984): Geschichte der Augenheilkunde. In: Der Augenarzt; 9 (1984).

<sup>11</sup> Kuisle, A. (1997): Brillen. Gläser, Fassungen, Herstellung, 3. überarb. Aufl. München.

<sup>12</sup> Descartes, R. R. (2017): La Dioptrique. Paris, l'édition originale du Discours est Leyde 1637.

<sup>13</sup> Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte: Medizinproduktegesetz. www.bfarm.de

<sup>14</sup> Landes, D. S. (1999): Wohlstand und Armut der Nationen. Warum die einen reich und die anderen arm sind, Berlin.

<sup>15</sup> Wikipedia: Brille. <https://de.wikipedia.org/wiki/Brille>. [Zugriff am 5.4.2018].

<sup>16</sup> Landes, D. S. (1999): Wohlstand und Armut der Nationen. Warum die einen reich und die anderen arm sind, Berlin.

<sup>17</sup> Rühli, F.; van Schaik, K.; Henneberg, M. (2016): Evolutionary Medicine. The Ongoing Evolution of Human Physiology and Metabolism. In: Physiology (Bethesda, Md.) 31 (2016) 6, S. 392–97. Kutschera, U. (2009): Tatsache Evolution. Was Darwin nicht wissen konnte, Orig.-Ausg. München.

<sup>18</sup> Morgan, I.; Megaw, P. (2004): Using natural STOP growth signals to prevent excessive axial elongation and the development of myopia. In: Annals of the Academy of Medicine, Singapore 33 (2004) 1, S. 16–20.

<sup>19</sup> Jörg Zittlau (2009): Die Menschheit wird kurzsichtig. Axel Springer SE (Hrsg.). [www.welt.de/welt\\_print/wissen/article5440310](http://www.welt.de/welt_print/wissen/article5440310).

[Zugriff am 05.04.2018] Wallman, J.; Winawer, J. (2004): Homeostasis of eye growth and the question of myopia. In: Neuron 43 (2004) 4, S. 447–68.

<sup>20</sup> Bulletin of the World Health Organization 2012; 90:728-738. doi: 10.2471/BLT.12.104034 World Health Organization (2017):

Vision impairment and blindness. [www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/en/](http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/en/). [Zugriff am 5.4.2018].

<sup>21</sup> Foster, P. J.; Jiang, Y. (2014): Epidemiology of myopia. In: Eye (London, England) 28 (2014) 2, S. 202–08.

<sup>22</sup> Dolgin, E. (2015): The myopia boom. In: Nature 519 (2015) 7543, S. 276–78.

<sup>23</sup> Holden, B. A.; Fricker, T. R.; Wilson, D. A.; Jong, M.; Naidoo, K. S.; Sankaridurg, P.; Wong, T. Y.; Naduvilath, T. J.; Resnikoff, S. (2016):

Global Prevalence of Myopia and High Myopia and Temporal Trends from 2000 through 2050. In: Ophthalmology 123 (2016) 5, S. 1036–42.

<sup>24</sup> Buck, S. (2002): Der geschärfte Blick. Zur Geschichte der Brille und ihrer Verwendung in Deutschland seit 1850. Marburg.

# Von der Schallplatte bis zum online Musikstreaming

## Die Digitalisierung der Musikindustrie – ein Lehrstück für andere Branchen und Sektoren?

Konstantin Schneider

Kaum ein anderer Markt hat die Folgen der Digitalisierung in den letzten 20 Jahren so stark zu spüren bekommen wie die Musikindustrie. Vor der Digitalisierungswelle war der Musiksektor ein recht übersichtlicher Markt. Das hauptsächliche Abspielmedium für Musik war die Schallplatte, die für den Verbraucher nur schwer zu vervielfältigen war. Die einzige Möglichkeit bot die Musikkassette, mit der Alben zumindest kopiert und Lieder aus dem Radio aufgenommen werden konnten.

Diese Musikwelt wirkt im Jahr 2018 wie aus der Steinzeit. Musik ist heute weitestgehend digital verfügbar und kann beliebig oft ohne jeglichen Qualitätsverlust kopiert werden. Durch das Smartphone und Musikstreaming-Anbieter wie Deezer, Spotify oder Apple Music ist fast jeder Song jederzeit überall verfügbar. Die Musikindustrie hat also einen enormen Wandel durchlaufen. Umsätze sind eingebrochen, Geschäftsmodelle haben sich verändert und bis heute ist die Debatte über den Wert künstlerischer Leistung noch nicht beendet. Das Beispiel des Musikmarktes zeigt, welche Veränderungen durch die Digitalisierung hervorgerufen werden können und wie sie Strukturen maßgeblich verändern kann. Daher lohnt sich eine vertiefende Betrachtung, um zu verstehen, ob andere Branchen von diesen Veränderungen lernen können. Dabei liegt der Fokus vor allem auf der Digitalisierung der Tonträger; Verände-

rungen im Bereich der Aufnahme- und Studio-technik sollen in diesem Beitrag nicht weiter betrachtet werden, da diese Prozesse die tiefere Analyse sehr komplexer Zusammenhänge erfordern würden.

### Die analoge Musikwelt – stetes Wachstum bis 1999

Mit der Einführung der Schallplatte zum Ende des 19. Jahrhunderts entwickelte sich zunehmend die Musikindustrie und mit ihr auch die Plattenfirmen. Ihre Aufgabe ist es, Musik in Studios zu produzieren, aufzunehmen und anschließend auf Tonträger zu pressen. Zudem kümmern sie sich um Vertrieb, Vermarktung und Verkauf. Dieses Prinzip hat sich zunächst über die Jahre kaum verändert. Die Schallplatte wurde zwar technisch stetig weiterentwickelt, aber letztlich musste der Verbraucher die Musik im Plattenladen kaufen. Ihm boten sich eigentlich keine Alternativen. Die Plattenfirmen hatten somit die absolute Hoheit über die Musikrechte, da Musik nur schwer kopiert und vervielfältigt werden konnte.

Leichte Veränderungen dieses Prinzips kamen erst durch die Einführung der Musikkassette im Jahr 1965.<sup>1</sup> Sie ermöglichte es, Musik beispielsweise aus dem Radio aufzunehmen oder von einer Schallplatte zu kopieren. Schon damals gab es erste Diskussionen über Eigentumsrechte an der Musik. So titelte 1977 ein Artikel im

Spiegel über die Musikkassette „Klang-Supermarkt zum Nulltarif“.<sup>2</sup> Heute ist bekannt, dass die Musikkassette die Umsätze und Entwicklungen auf dem Musikmarkt nicht merklich negativ beeinflusst hat. Es ist nicht zu massenhaften illegalen Kopien und Aufnahmen gekommen, wie einst befürchtet. Dies liegt vor allem daran, dass die Qualität der Kopien nicht besonders gut war und das Aufnehmen recht viel Zeit in Anspruch nahm.

Im Jahr 1984 setzte sich die Compact Disc (CD) als ein neues Tonträgerformat langsam durch. Auch dieses Mal schien es, dass dieses Format die Strukturen im Markt kaum verändert. Im Gegenteil, die CD sorgte zunächst einmal für eine weitere starke Umsatzsteigerung. So stieg der Umsatz der Musikindustrie in Deutschland von ca. 1,1 Mrd. Euro im Jahr 1984 auf 2,7 Mrd. Euro im Jahr 1998 stetig an.<sup>3</sup> Doch die CD war nicht nur einfach ein neuer Tonträger, sondern ein ganz neues Speichermedium. Auf ihr wurden die Musikstücke nicht auf Tonspuren analog gespeichert, wie bei der Kassette oder der Schallplatte, sondern auf Dateien. Diese Dateien können ohne Qualitätsverlust beliebig oft kopiert werden. Diese Entwicklung war der Startschuss für enorme Umwälzungsprozesse in der Musikindustrie, die bis heute anhalten.

## Die Digitalisierung der Musikindustrie – Einbruch und Wiederauferstehung

### Große Umsatzeinbrüche zwischen 1999 und 2004

Die Umwälzungsprozesse in der Musikindustrie Ende der 1990er Jahre wurden nicht nur durch die CD allein ausgelöst, sondern durch eine Vielzahl unterschiedlicher Entwicklungen und Innovationen:

- Entwicklung des MP3 Kompressionsverfahren (eigentlich MPEG 1 Layer III)

Kern dieses Verfahrens ist es, nur noch den für den Menschen hörbaren Teil der Musik als Datei zu speichern. Dadurch konnte die Größe einer Audiodatei um bis 85 Prozent verringert werden. Anfang der 1990er Jahre wurde das Verfahren MPEG 1 Layer III (kurz MP3) zum Patent angemeldet. Zwar wurde das Format über die Jahre stetig weiterentwickelt (MPEG 2, 3, 4) und verfeinert, aber das Grundprinzip blieb immer gleich. Bis heute ist das MP3-Format, das im Weiteren als Synonym für alle Weiterentwicklungen stehen soll, das gängige Format zum Austausch von Musik.

- Ausbau des Breitband Internets

Anfang der 2000er Jahre haben sich die Download-Raten im Internet durch den Ausbau der Breitband-Anschlüsse drastisch erhöht. Waren vorher über ein analoges Modem gerade einmal 56kb/s möglich bzw. über ISDN 128 kb/s, konnten schon mit den ersten DSL-Anschlüssen bis zu 1000kb/s (bzw. 1 mbit) erreicht werden. So konnte eine MP3-Datei binnen weniger Minuten heruntergeladen werden.

- Peer-2-Peer Netzwerke (Filesharing)

Peer-2-Peer Netzwerke ermöglichen es, Dateien direkt zwischen Computern dezentral auszutauschen. Ein Peer-2-Peer Netzwerk kann aus vielen verschiedenen Computern bestehen. Die Netzwerke sind in der Regel vollkommen dezentral organisiert. Es gibt allerdings Abwandlungen, die einen zentralen Verzeichnisserver nutzen, um den Nutzern eine vereinfachte Suche zu ermöglichen. Die wohl berühmteste Filesharing-Plattform ist Napster, auch wenn sie heute in der Form nicht mehr existiert. Weitere bekannte Plattformen sind etwa Bittorrent oder eMule.

- Günstige Speichermedien

Auch die Speichermöglichkeiten wurden mit der Zeit immer günstiger. Zunächst einmal waren es vor allem der CD-Brenner und die CD-Rohlinge, die zur Kopie von Musik genutzt

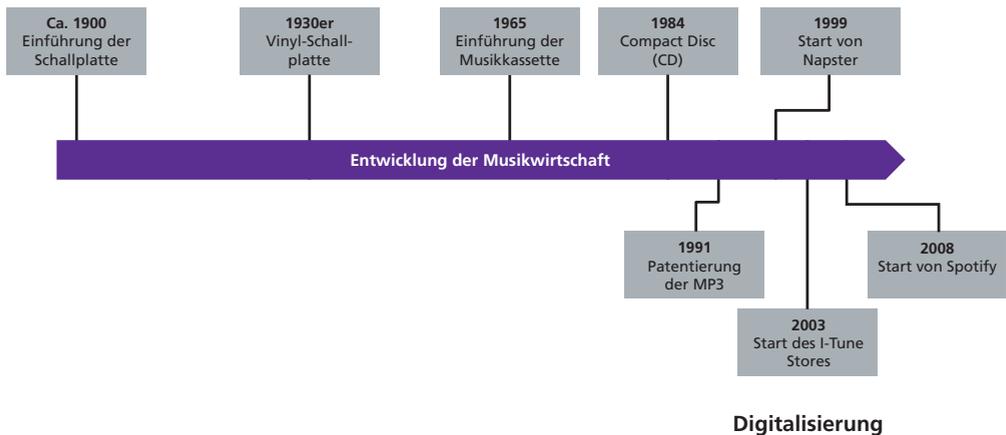


Abb. 1 Entwicklung der Musikindustrie

Quelle: Eigene Darstellung nach Bundesverband Musikindustrie e. V. (2012): Musik im digitalen Wandel – Eine Bilanz aus zehn Jahren Brennerstudie. Berlin.

wurden. So besaßen 2004 bereits 41 Prozent der deutschen Haushalte einen CD-Brenner. Abgelöst wurde der CD-Rohling dann von mobilen Festplatten und dem USB-Stick. Auch die Zahl der MP3-Player stieg Anfang der 2000er Jahre deutlich an.<sup>4</sup>

Letztlich war es ein Zusammenspiel all dieser verschiedenen Entwicklungen, die eine große Zäsur im Musikmarkt auslösten. Den Anfang dieser Entwicklungen stellt das Jahr 1999 dar, in dem die Musikausbörse Napster online ging. Damit wurde eine Plattform geschaffen, die es den Nutzern ermöglichte, schnell und unproblematisch MP3-Dateien auszutauschen. Musik wurde damit fast schlagartig zu einem öffentlichen Gut, das heißt sie war fast für jeden ohne Einschränkungen frei zugänglich, zumindest für diejenigen, die einen Breitband-Anschluss hatten.

Die Plattenfirmen und etablierten Akteure auf dem Musikmarkt reagierten zunächst einmal auf diese Entwicklungen eher zurückhaltend und versuchten ihre bestehenden Geschäftsmodelle, die auf dem Verkauf von Alben und Singles beruhten, zu sichern. Die Musikindustrie steckte ihre Bemühungen in das Thema „Digital Rights Management“ (nachfolgend: DRM).

Ziel war es, das massenhafte uneingeschränkte Kopieren und Austauschen von MP3-Dateien durch digitale Wasserzeichen oder andere Verschlüsselungsverfahren deutlich einzudämmen.

Heute ist bekannt, dass dieser Weg nicht wirklich erfolgreich war. Im Gegenteil, technisch waren die DRM-Systeme Anfang der 2000er Jahre noch nicht wirklich ausgereift. Sie führten zu erheblichen Einschränkungen beim Verbraucher. So konnte nicht mehr jeder CD-Player jede CD abspielen. Eigene Dateien, auch wenn sie legal erworben wurden, konnten nicht einfach auf andere Abspielgeräte (PC, MP3-Player, etc.) kopiert werden. Die DRM-Systeme konnten die Entwicklungen auf dem Musikmarkt also kaum aufhalten. In den folgenden Jahren brachen die Umsätze daher extrem ein. Von 1998 bis 2007 hatten die etablierten Plattenfirmen ein massives Problem. Es war leichter und komfortabler, eine illegale MP3-Datei aus dem Internet herunterzuladen als ein Musikstück legal zu erwerben.

### Erste legale Online-Angebote für Musik – der iTunes Store

Bewegung in den Markt kam erst durch die Firma Apple. Schon 2001 wurde mit dem Verkaufsstart des iPods ein wichtiger Meilenstein

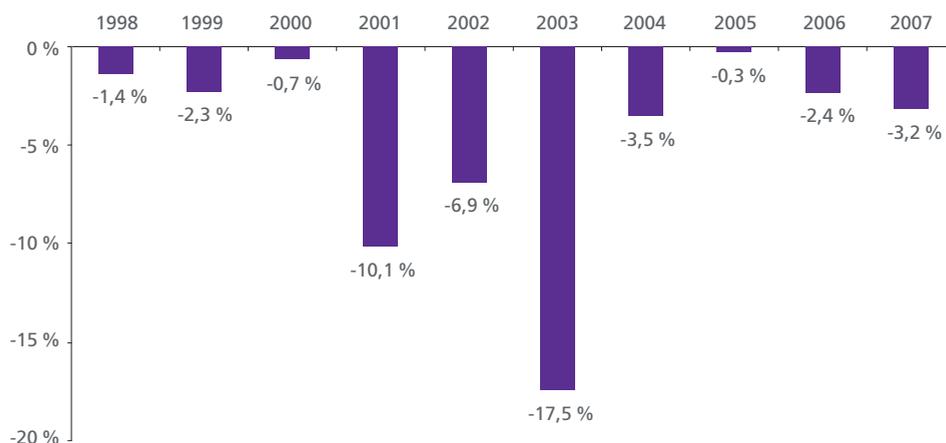


Abb. 2: Umsatzentwicklung des Musikmarktes in Deutschland von 1998 bis 2007

Quelle: Bundesverband Musikindustrie e. V. (2008): Musikindustrie in Zahlen 2007. Berlin. (Veränderung nominal gegenüber dem jeweiligen Vorjahr)

zur Verbreitung digitaler Musik gelegt. Zudem wurde mit dem iTunes Store im Jahre 2004 eine legale Alternative zu den bisher illegalen Tauschbörsen geschaffen. Apple ließ sich darüber hinaus noch ein sehr einfaches Preissystem einfallen. MP3-Dateien konnten für einen günstigen einheitlichen Preis heruntergeladen werden (1 Euro pro Song; 9,90 Euro pro Album). Auch Apple setzte zunächst auf MP3-Dateien mit DRM. Diese wurden allerdings schrittweise ab dem Jahr 2007 abgeschafft. Der Start des iTunes Store und weiterer legaler Angebote konnte den Abwärtstrend bei den Umsätzen der Musikindustrie deutlich bremsen und stellte zum ersten Mal eine wirkliche Alternative zu den illegalen Downloadplattformen dar. Dies zeigt sich auch in den Umsatzzahlen, die im digitalen Vertrieb sukzessive anstiegen. Ab dem Jahr 2004 kletterten die Umsätze mit legalen und bezahlten Downloads in Deutschland schrittweise nach oben, bis zum Höchststand im Jahr 2013 mit 255 Mio. Euro.

Trotz dieser positiven Entwicklungen konnte auch der iTunes Store die sinkenden Umsätze auf dem Musikmarkt nur etwas abmildern. Zu-

mal im Jahr 2005 ein weiterer wichtiger Akteur in den Markt einstieg: Die Videoplattform YouTube ging an den Start. Obwohl eigentlich für Videos gedacht, entwickelte sie sich schnell zu einer Plattform für Musik. Bis heute ist die Musikindustrie im Konflikt mit der Videoplattform, da die Höhe von Lizenzgebühren für Musikstücke immer wieder diskutiert wird.

## Steigende Umsätze durch das Musikstreaming

Erst in den letzten Jahren erholten sich die Umsätze wieder ein wenig. Dies liegt vor allem an dem Musikstreaming, das zunehmend an Bedeutung auf dem Musikmarkt gewinnt. Interessanterweise war einer der Pioniere in diesem Bereich ein alt bekannter Name, nämlich Napster. Zwischenzeitlich wurde die Plattform von einer großer Plattenfirma, der Bertelsmann Music Group (BMG) gekauft und war bemüht, ein legales Vertriebsmodell zu entwickeln. Somit

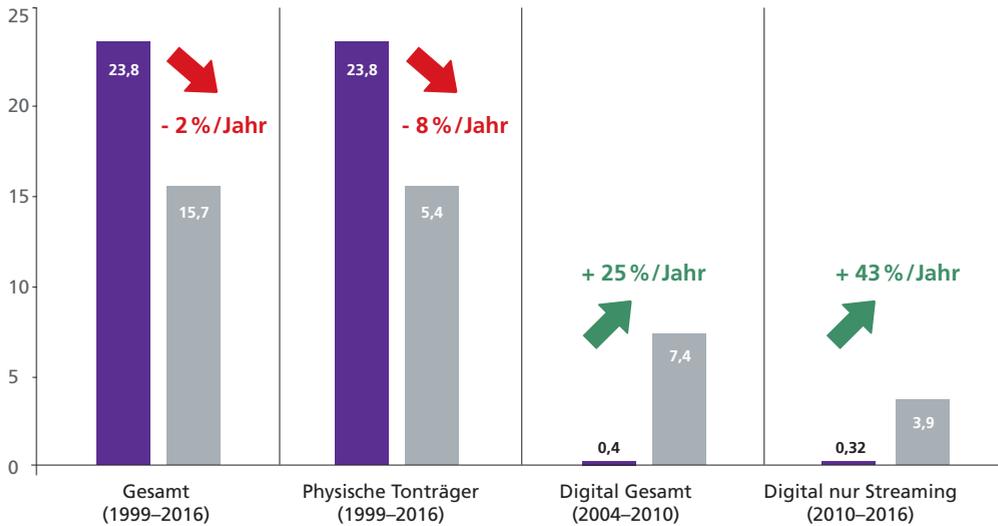


Abb. 3. Umsatzentwicklung der Musikindustrie nach Segmenten (Umsatz in Mrd. US\$)

Quelle: Eigene Darstellung nach International Federation of the Phonographic Industry (2018): Global Music Report 2017 – annual state of the industry. London.

hatte Napster schon im Jahr 2005 eine Musikflatrate für 10 Euro angeboten. Damals konnte sich der Nutzer die Musik entweder am PC anhören oder auf einem MP3-Stick speichern. Die Dateien zerstörten sich nach vier Wochen selbst, wenn sie nicht wieder am PC aktualisiert wurden. Dieses System war etwas umständlich und wurde vom Verbraucher nicht so richtig angenommen. Erst Spotify konnte die Idee mit einer eigenen App und einem werbefinanzierten Gratisangebot massentauglich machen. Dabei wird die Musik nicht mehr heruntergeladen, sondern direkt online gestreamt. Spotify, das 2008 an den Start ging (in Deutschland 2012), hat derzeit etwa 150 Mio. Nutzer, von denen etwa 70 Mio. ein bezahltes Abonnement abgeschlossen haben.

Heute ist das Musikstreaming der Wachstumsbereich in der Musikindustrie. Der Umsatz stieg von 320 Mio. Dollar im Jahr 2010 auf ca. 3,9 Mrd. Dollar im Jahr 2017.<sup>5</sup> Auch in Deutschland sind die Umsätze zuletzt auf 549 Mio. Euro (2016) im Bereich Streaming deutlich gestiegen.<sup>6</sup> IT-Schwergewichte wie Amazon und Apple haben inzwischen die Potenziale des Musik-

streaming erkannt und sind in den Markt mit eingestiegen. Wie nachhaltig diese Geschäftsmodelle tatsächlich sind, wird sich in den nächsten Jahren noch zeigen. Bisher hat keiner dieser Dienste wirklich Gewinn gemacht. So hat Spotify alleine im letzten Jahr einen Verlust von 378 Mio. Euro zu verzeichnen.<sup>7</sup>

## Folgen der Digitalisierung der Musikindustrie

Wirtschaftlich gesehen führten die Entwicklungen ab 1999 zunächst einmal zu enormen Einbußen bei der Musikindustrie. So sank der Umsatz von 23,8 Mrd. Dollar im Jahr 1999 auf 15,7 Mrd. Dollar im Jahr 2016. Damit ist gut ein Drittel des Marktes in diesen Jahren weggebrochen. Dies liegt vor allem an den physischen Tonträgern, die 1999 noch für den gesamten Umsatz der Musikindustrie verantwortlich waren. Insgesamt brach der Markt für physische Tonträger um 77 Prozent ein.<sup>8</sup>

Ab dem Jahr 2004 sind vor allem digitale Erlösquellen für den Musikmarkt hinzugekommen. Sie sind in den letzten Jahren der absolute Wachstumsmotor, seit 2004 stiegen die Umsätze in diesem Bereich um satte 25 Prozent pro Jahr. Absoluter Wachstumstreiber ist dabei das Musikstreaming, hier konnte in den letzten Jahren sogar eine Umsatzsteigerung von durchschnittlich 42 Prozent im Jahr erreicht werden.<sup>9</sup>

Auch wenn sich die Wachstumsraten nicht direkt miteinander vergleichen lassen, weil sie sich auf unterschiedliche Zeiträume beziehen, zeigt sich, dass die Digitalisierung in der Musikindustrie angekommen ist und inzwischen für stetig steigende Umsätze sorgt. Sie hat also nicht zur vollkommenen Auflösung des Marktes geführt. Neue Geschäftsmodelle wie das Musikstreaming sind entstanden und neue Marktteilnehmer, wie Spotify, Apple, Amazon oder Google hinzugekommen. Dennoch bleibt festzuhalten, dass die früheren Umsatzrekorde der physischen Tonträger, insbesondere der CD, immer noch in weiter Ferne liegen. Es wird sich zeigen, ob die Musikindustrie irgendwann noch einmal diese Größenordnungen erreichen kann.

Aber was für Folgen haben diese Entwicklungen für das Kulturgut Musik? Wird der Zugang für Künstler durch die neuen Plattformen erleichtert? Wird die Musik an sich vielseitiger, innovativer und mutiger? Diese Fragen lassen sich nur schwer beantworten. Zunächst einmal haben Plattformen wie Spotify oder Youtube die Musikwelt für jeden Künstler zugänglich gemacht. Früher hatte eine Band ohne Plattenvertrag kaum die Möglichkeit, ihre Musik zu veröffentlichen und damit ein breiteres Publikum zu erreichen. Heute stehen solchen Bands bei Spotify gleich 150 Mio. Nutzer zur Verfügung. Gleichzeitig ist es aber durch die Masse an Angeboten wesentlich schwieriger geworden, die Aufmerksamkeit auf diesen Plattformen zu erregen. Hierzu braucht es wiederum professionelle Kampagnen, die nur mit Hilfe der Plattenindustrie finanziert werden können. Heute muss eine Plattenfirma im Schnitt 0,5 bis 2 Mio. Dollar investieren, um einen Künstler auf dem

US-Markt zu platzieren. Das sind schon enorme Investitionen.<sup>10</sup>

Bands, die also einfach nur Musik machen und diese einer breiteren Masse zur Verfügung stellen wollen, haben nun einen leichteren Zugang zur Öffentlichkeit. Wollen die Künstler aber wirklich von ihrer Musik leben und auch kommerziell erfolgreich sein, ist es weiterhin sehr schwer, dies ohne einen Plattenvertrag und damit ohne die Unterstützung einer der großen Labels zu erreichen. Denn auch wenn die großen Plattenfirmen stagnierende Umsätze haben und es in den letzten Jahren verschiedenste Konzentrationsprozesse gab, werden heute immer noch 75 Prozent des Musikmarktes von den großen Plattenfirmen Sony Music Entertainment (22,2 Prozent), Universal Music Group (32,8 Prozent) und der Warner Music Group (18,1 Prozent) beherrscht. Auch vor der Digitalisierung hatten die Major Labels eine ähnlich große Marktmacht.

### Lehren aus der Musikindustrie

Die Musikindustrie hat wohl als erste Branche die massiven Veränderungen, die durch Digitalisierungsprozesse hervorgerufen werden können, direkt gespürt. Natürlich hat der Musikmarkt ganz spezifische Eigenschaften, die sich nicht einfach auf andere Sektoren übertragen lassen. Trotzdem können einige Lehren aus dem Beispiel Musikwirtschaft gezogen werden, die sich im Bereich Digitalisierung auf andere Branchen übertragen lassen.

## Digitalisierung beinhaltet ein komplexes Zusammenspiel verschiedenster Innovationen

Es gibt nicht die eine Idee oder Innovation, die strukturveränderte Prozesse auslöst, sondern das Beispiel Musikindustrie zeigt, dass es ein

Zusammenspiel verschiedenster technologischer- und Dienstleistungs-Innovationen (vor allem neuer Geschäftsmodelle) ist, die den Wandel vorantreiben. In diesem Fall handelt es sich vor allem um ein Wechselspiel beider Innovationsarten.

Zunächst einmal waren es technische Neuerungen wie MP3-Dateien, Breitband-Anschluss, CD-Brenner, die zu einem massenhaften illegalen Austausch von MP3-Dateien geführt haben. Es fehlte an passenden Geschäftsmodellen, die eine Antwort auf diese Entwicklung geben konnten. Erst mit dem iPod in Kombination mit dem iTunes-Store wurde diese Problematik zumindest ansatzweise gelöst. Auf der an-

deren Seite hatte Napster schon 2005 mit der Musik-Flatrate ein innovatives Geschäftsmodell entwickelt, das zunächst aber wenig Aufmerksamkeit auf sich gezogen hat. Erst als 2007 mit dem iPhone sich langsam auch das Smartphone insgesamt durchgesetzt hatte, waren die technischen Voraussetzungen geschaffen und Spotify konnte mit seiner App das Geschäftsmodell etablieren.

Aber nicht nur dieses Wechselspiel aus Technologie und zugehörigen Geschäftsmodellen macht das Thema Digitalisierung so herausfordernd. Es sind auch die immer komplexer werden Innovationsprozesse. Diese sind heute nämlich vor allem branchenübergreifend und global:

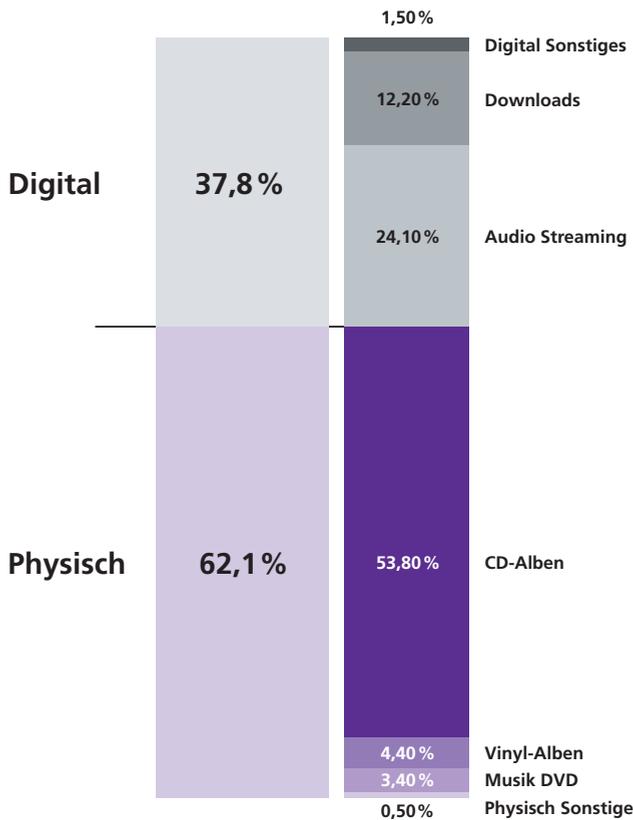


Abb. 4: Umsätze Musikindustrie 2016 in Deutschland nach Segmenten  
 Quelle: Eigene Darstellung nach Bundesverband Musikindustrie e. V. (2017): Musikindustrie in Zahlen 2016. Berlin.

- **branchenübergreifend**

Viele der technischen Innovationen wie MP3-Datei, Breitband-Abschlüsse, Peer2Peer-Netzwerke sind zunächst einmal vollkommen unabhängig voneinander entstanden und hatten mit dem Thema Musik (die MP3-Datei mal ausgenommen) eigentlich nichts gemein. Erst ihr Zusammenspiel hat die immensen Veränderungen auf den Märkten ausgelöst.

- **global**

Gerade auch die Digitalisierung zeigt, dass heute Innovationsprozesse mehr und mehr standortunabhängig sind. Die MP3-Datei wurde beispielsweise in Deutschland entwickelt, das eigentlich erste funktionierende Geschäftsmodell durch die Firma Apple in den USA und Spotify, der erfolgreichste Streaming-Dienstleister im Musikbereich, hat seinen Firmensitz in Schweden. Die Prozesse im Themenfeld Digitalisierung sind also äußerst komplex. Innovationen, die heute vielleicht noch nicht relevant sind, können durch Ideen aus anderen Bereichen oder durch neue Geschäftsmodelle auf einmal eine marktbeherrschende Stellung einnehmen. Die Herausforderung wird sein, diese Prozesse zu beobachten und zu analysieren, um daraus die richtigen Schlüsse zu ziehen.

### **Bestehende Strukturen und neue Märkte existieren lange Zeit parallel**

Das Beispiel Musikindustrie zeigt auch, dass bestehende Märkte, Technologien und Produkte nicht einfach so wegbrechen, sondern dass eine recht lange Zeit Parallelstrukturen aus unterschiedlichen Geschäftsmodellen existieren können.

Obwohl schon lange totgesagt, ist die CD auch im Jahr 2016 mit einem Anteil von 53,8 Prozent immer noch der Hauptumsatzbringer der Musikindustrie in Deutschland<sup>11</sup>, auch weltweit sind es immerhin noch 34 Prozent.<sup>12</sup> Sogar die Schallplatte feierte in den letzten Jahren ein kleines Comeback als Nischenprodukt. So stiegen die Umsätze von Vinyl-Alben von ca. 4

Mio. Euro im Jahr 2005 auf über 70 Mio. im Jahr 2017 an.<sup>13</sup>

Rückblickend lässt sich leicht sagen, dass die Musikindustrie die Digitalisierung verschlafen hat. Dabei wird aber gern vergessen, dass sie vor enormen Herausforderungen stand. Das gewinnbringende CD-Geschäft musste am Laufen gehalten werden, während gleichzeitig in neue Technologien und Geschäftsmodelle investiert werden musste. Erschwerend kam hinzu, dass diese neuen Geschäftsmodelle die bestehenden Strukturen obsolet machten. Dieser Spagat zwischen der Aufrechterhaltung der bestehenden Geschäftsmodelle, die zunächst noch die Gewinnbringer sind, und der Investition in neue Technologiefelder und Märkte wird auch für andere Branchen schwierig zu bewältigen sein. Denn auch hier machen die neuen Geschäftsmodelle bestehende Strukturen überflüssig. Diese Herausforderung für die Unternehmen wird häufig unterschätzt und übersehen.

Dieser Kraftakt ist übrigens sowohl für KMU als auch für Großunternehmen schwer zu managen. Während bei Kleinunternehmen eine falsche Investition schnell zu einem Existenzproblem werden kann, haben Aktiengesellschaften das Problem, das Aktionäre Gewinne und Dividenden erwarten. Diese generiert aber das Kerngeschäft. Zukünftige Gewinne, die durch neue Geschäftsfelder entstehen, spiegeln sich eher selten im Aktienkurs wieder.

### **Die Digitalisierung lässt sich nicht aufhalten**

Trotz dieser Probleme müssen sich die Firmen der Herausforderung der Digitalisierung stellen. Denn eines zeigt das Beispiel der Musikindustrie auch: Die Digitalisierung lässt sich nicht aufhalten. Wenn die Unternehmen nicht selbst aktiv werden, werden andere neue Akteure in die Märkte eindringen und diese erobern. Die Musikindustrie hat lange versucht die Entwicklungen aufzuhalten und ist damit letztlich gescheitert. Durch ihr Zögern hat sie es zugelassen, dass es gerade zwischen den Jahren 1999 und 2004 für den Verbraucher einfacher war,

sich illegale Musik aus dem Netz zu ziehen als sie im Plattenladen zu kaufen. Bis heute leidet die Musikindustrie unter dieser Phase enorm.

Ein solcher Zustand sollte in anderen Branchen möglichst verhindert werden. Daher ist es wichtig, sich frühzeitig mit der Thematik zu beschäftigen und die eigenen Geschäftsmodelle immer wieder in Frage zu stellen. Viele Unternehmen tun dies heute, weil sie aus Beispielen wie der

Musikindustrie gelernt haben, dass sie sich diesen Prozessen kaum entziehen können. Letztlich läuft die Digitalisierung in den verschiedenen Branchen und Sektoren höchst unterschiedlich ab, klare Musterlösungen und Vorgehensweisen wird es zur Lösung der vielfältigen Aufgaben kaum geben. Dennoch zeigt das Beispiel der Musikindustrie, dass sich ein Blick über den Tellerrand hinaus lohnt, um Fehler zu vermeiden und von Erfahrungen zu profitieren.

---

<sup>1</sup> Bundesverband Musikindustrie e. V. (2008): Musikindustrie in Zahlen 2007. Berlin.

<sup>2</sup> Der Spiegel (1977): Klang-Supermarkt zum Nulltarif. [www.spiegel.de/spiegel/print/d-40915958.html](http://www.spiegel.de/spiegel/print/d-40915958.html) [Zugriff am 1.4.2018].

<sup>3</sup> Bundesverband Musikindustrie e. V. (2017): Musikindustrie in Zahlen 2016. Berlin.

<sup>4</sup> Bundesverband Musikindustrie e. V. (2012): Musik im digitalen Wandel – Eine Bilanz aus zehn Jahren Brennerstudie. Berlin.

<sup>5</sup> International Federation of the Phonographic Industry (IFPI) (2018): Global Music Report 2017 – annual state of the industry. London.

<sup>6</sup> Bundesverband Musikindustrie e. V. (2017): Musikindustrie in Zahlen 2016. Berlin.

<sup>7</sup> Manager Magazin (2018): Warum Spotify trotz Horror-Verlusten an die Börse geht: Tech-Wette für die Massen. [www.manager-magazin.de/finanzen/boerse/spotify-boersengang-des-streaming-dienstes-trotz-horror-verlusten-a-1201045.html](http://www.manager-magazin.de/finanzen/boerse/spotify-boersengang-des-streaming-dienstes-trotz-horror-verlusten-a-1201045.html) [Zugriff am 1.4.2018]

<sup>8</sup> International Federation of the Phonographic Industry (2018): Global Music Report 2017 – annual state of the industry. London.

<sup>9</sup> International Federation of the Phonographic Industry (2018): Global Music Report 2017 – annual state of the industry. London.

<sup>10</sup> International Federation of the Phonographic Industry (2016): Investing in Music-The Value of Record Companies. London.

<sup>11</sup> Bundesverband Musikindustrie e. V. (2017): Musikindustrie in Zahlen 2016. Berlin.

<sup>12</sup> International Federation of the Phonographic Industry (2016): Investing in Music-The Value of Record Companies. London.

<sup>13</sup> Bundesverband Musikindustrie e. V. (2017): Musikindustrie in Zahlen 2016. Berlin.

# Antibiotika

## Wie ein vergessenes Experiment die Behandlung von Infektionskrankheiten revolutionierte

Dr. Claudia Baumann ▪ Dr. Eva Suhren

### Die Pest und Co. – bakterielle Infektionskrankheiten

Infektionskrankheiten haben die Geschichte der Menschheit immer wieder in vielen Bereichen berührt sowie beeinflusst und tun es zum Teil heute noch. Schon die Erwähnung der Pest ruft leichtes Unbehagen und Sorge hervor, obwohl die Krankheit heutzutage bei frühzeitiger Erkennung und Behandlung – dank der Entdeckung der Antibiotika vor gut 100 Jahren – relativ gut behandelt werden kann. Die Pest wird als eine der großen Seuchen bereits in der Bibel benannt und die großen Pestseuchen forderten bis zum Ende des 19. Jahrhunderts weltweit Millionen von Menschenleben.<sup>1</sup>

Von der Cholera in Indien berichteten portugiesische Entdecker das erste Mal Mitte des 16. Jahrhunderts und auch diese Erkrankung kostete und kostet nach wie vor in großen Epide-



Abb. 1: Die Pest in Ashdod, Kupferstich einer alttestamentarischen Szene von Étienne Picart (ca. 1677)

mien unzähligen Menschen das Leben. Zuletzt machte 2010 ein großer Cholera-Ausbruch in Haiti Schlagzeilen, der sich in dem von dem Erdbeben geschwächten Land besonders schnell ausbreiten konnte. Auch heute noch hat Haiti, aufgrund von extrem schlechten sanitären Bedingungen und einem nicht funktionierenden Gesundheitssystem, mit der vor 2010 als ausgerottet geltenden Erkrankung zu kämpfen.<sup>2</sup>

Die Tuberkulose, auf deren Existenz sich bereits Hinweise aus der Antike finden, hat besonders im 17. Jahrhundert mit einer dichteren Besiedelung der städtischen Räume und den damit einhergehenden schlechteren hygienischen Bedingungen an Bedeutung gewonnen. Obwohl Mitte des 20. Jahrhunderts mit der Entdeckung der Antibiotika eine Heilung der Tuberkulose möglich wurde, ist die Verbreitung dieser Krankheit heute wieder angestiegen. Dies liegt auch in einer Resistenzentwicklung der Tuberkulose-Erreger begründet, was dazu führte, dass die WHO die Tuberkulose 1993 zum weltweiten Notfall erklärte.<sup>3</sup>

Zu den großen bakteriellen Seuchen zählen und zählten Syphilis, Typhus, Lepra, Tuberkulose, Pest und Cholera. Die Ursachen der Erkrankungen waren lange Zeit unklar. So galt Tuberkulose beispielsweise als Erbkrankheit und wurde mit Frischluftkuren behandelt. Die Syphilis, deren Herkunft bis heute ungeklärt ist, wurde lange Zeit mit einer Quecksilberkur behandelt, die jedoch ähnlich schädlich wie die Erkrankung selbst war. Als Ursache für die Cholera

wurden sogenannte „Miasmen“, also Dünste, angenommen, bis Mitte des 19. Jahrhunderts der Erreger *Vibrio Cholerae* identifiziert werden konnte. Die Miasmentheorie oder die Kontagionstheorie (Infektion durch das Berühren eines Kranken) waren die beiden dominierenden Annahmen, wie Seuchen sich verbreiteten. Die Erkenntnis, dass mikroskopisch kleine Erreger, wie etwa Bakterien, Krankheiten auslösen können, reifte erst mit der Entdeckung des Erregerbakteriums der Tuberkulose, dem *Mycobacterium tuberculosis*, durch Robert Koch im Jahre 1882. Damit wurde gleichzeitig der Weg zu einer ursächlichen Behandlung geebnet.<sup>5</sup>

### Penicillin – ein Game Changer, der mehrmals entdeckt werden musste

Vor 100 Jahren lag die durchschnittliche Lebenserwartung noch etwa 30 Jahre niedriger als heute. Es ist davon auszugehen, dass Antibiotika und andere Arzneimittel – neben Faktoren wie verbesserter Wasserqualität, Hygiene und Ernährung – ein Grund dafür sind, dass die Lebenserwartung in Deutschland deutlich gestiegen ist.<sup>7</sup> 1910 wurde mit Salvarsan das ers-

te Antibiotikum gegen Syphilis auf den Markt gebracht.<sup>8</sup> Noch bekannter ist wohl die Entdeckung des Penicillins. Als der Wissenschaftler Alexander Fleming 1928 aus seinem Urlaub zurückkam, entdeckte er in einer seiner Petrischalen, in der er Bakterienkulturen wachsen ließ, einen Schimmelpilz. Fleming bemerkte, dass um den Schimmelpilz herum keine Bakterien wachsen konnten und der Pilz offensichtlich in der Lage war, die Bakterien in seiner Umgebung abzutöten. Anstatt die verunreinigte Kultur zu verwerfen, fing Fleming an, mit dem Extrakt des Schimmels zu experimentieren und fand heraus, dass er weitere Bakterienarten abtöten konnte.<sup>9</sup>

Gemeinhin gilt Fleming als der Entdecker des Penicillins, doch tatsächlich wurde Penicillin zuvor bereits zweimal entdeckt – und wieder vergessen. So isolierte bereits 1893 der italienische Arzt Bartolomeo Gosio eine Substanz aus einem Pilz der Gattung *Penicillium*, die das Wachstum von Milzbrandserregern hemmt. Seine Veröffentlichungen fanden jedoch keine breitere Beachtung, da sie auf Italienisch ver-

## i

### Bakterien und deren Detektion

Bakterien sind einzellige Mikroorganismen, die keinen Zellkern besitzen und etwa 0,1 bis 700 µm groß sind. Bakterien lassen sich nach verschiedenen Merkmalen einteilen, wie etwa das Aussehen (z. B. stäbchenförmig, spiralförmig, rund), nach dem Sauerstoffbedarf (aerob = sauerstoffverbrauchend, anaerob = können ohne Sauerstoff leben) oder nach dem Färbverhalten. Das unterschiedliche Färbverhalten der Bakterien wird auch zur Diagnostik des Erregers einer Erkrankung ausgenutzt. Die Gram-Färbung, eine der wichtigsten Färbungen der medizinischen Mikrobiologie, bei der die Bakterien mit einer Farbstoff-Lösung behandelt werden, unterteilt die Bakterien in grampositive (blaue Einfärbung) und gramnegative (rote Einfärbung) Erreger, was in der unterschiedlichen Membranstruktur der Erreger begründet liegt. Während grampositive Bakterien eine dicke Peptidoglykanschicht aus Murein besitzen, haben gramnegative Bakterien nur eine dünne Peptidoglykanschicht aus Murein sowie eine zusätzliche äußere Lipidmembran, so dass Farbstoffe leichter wieder ausgespült werden.<sup>6</sup> Durch das Lichtmikroskop kann so anhand des Färbverhaltens und typischer morphologischer Merkmale eine erste Verdachtsdiagnose erstellt werden. Mit zusätzlichen molekularbiologischen Methoden lassen sich die Bakterien anschließend noch spezifischer identifizieren.

fasst waren und nicht übersetzt wurden. Vier Jahre später schrieb der französische Militärarzt Ernest Duchesne seine Doktorarbeit über die antibiotische Wirkung von Schimmelpilzen. Er war in einem Militärhospital auf arabische Stallburschen aufmerksam geworden, die die Sättel in dunklen, feuchten Räumen lagerten, damit sie Schimmel ansetzen. Sie behaupteten, die Scheuerwunden an den Pferde Rücken würden dadurch schneller abheilen. Duchesne experimentierte daraufhin mit Kolibakterien und einem Penicillium-Stamm und fand heraus, dass dieser das Wachstum der Bakterien tatsächlich unterdrückte. Doch die Zeit war noch nicht reif für diese Entdeckung und seine Doktorarbeit wurde vom Institute Pasteur abgelehnt.<sup>10</sup>

Nach Flemings Wiederentdeckung des Penicillins sollten noch einmal fast 10 Jahre verge-

hen, bis 1938 die Forscher Howard W. Florey und Ernst B. Chain auf der systematischen Suche nach bakterienabtötenden Stoffen auf die Forschungsergebnisse Flemings stießen. Erst 1941 wurde der erste Mensch mit Penicillin behandelt, bevor das Medikament Anfang der 1940er Jahre der Allgemeinheit zur Verfügung stand. 1945 erhielten Fleming, Chain und Florey für ihre Entdeckung den Nobelpreis. Penicillin nahm nicht nur der Tuberkulose, der Lungenentzündung und vielen anderen Infektionskrankheiten den Schrecken, sondern löste auch in aller Welt die systematische Suche nach weiteren Antibiotika aus. Es begann die sogenannte Goldene Ära der Antibiotika, die eine Flut immer neuer Wirkstoffe und Kombinationen mit sich brachte, sodass sich Antibiotika zu einem der Grundpfeiler der modernen Medizin entwickelten.<sup>11</sup> Diese Entwicklung hat zusam-

### Zellwandsynthese

Cycloserin  
Vancomycin  
Teichoplanin  
Bacitracin  
Penicilline  
Cephalosporine  
Monobactame  
Carbapeneme

### Folsäure-metabolismus

Trimethoprim  
Sulfonamide

### Periplasma

$\beta$ -Lactamasen  
Aminoglykosid-modifizierende Enzyme

### Zellwand

Periplasma

### Zellmembran

### DNA-Gyrase

Quinolone

### DNA-abhängige RNA-Polymerase

Rifampin

### Proteinsynthese (50s-Inhibitoren)

Erythromycin (Makrolide)  
Chloramphenicol  
Clindamycin

### Proteinsynthese (30s-Inhibitoren)

Tetracyclin  
Spectinomycin  
Streptomycin  
Gentamicin  
Tobramycin (Aminoglykoside)  
Amikacin

### Proteinsynthese (tRNA)

Mupirocin

### Zellmembran

Polymyxine

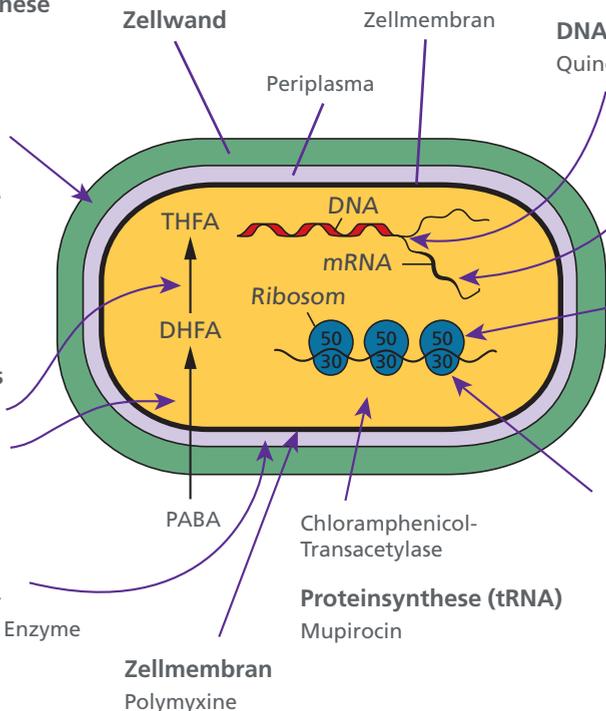


Abb. 2: Angriffspunkte von Antibiotika im und am Bakterium

## Welche Arten von Antibiotika gibt es und wie wirken sie?

**Antibiotika** sind primär von Mikroorganismen gebildete Substanzen, die das Wachstum anderer Mikroorganismen hemmen oder diese abtöten. **Chemotherapeutika** sind synthetisch hergestellte Substanzen mit antimikrobieller Wirkung.<sup>12</sup> Umgangssprachlich werden jedoch Wirkstoffe zur Behandlung von Infektionskrankheiten eher als Antibiotika bezeichnet, während der Begriff Chemotherapeutika vor allem mit der Tumorthherapie in Verbindung gebracht wird, weshalb in diesem Artikel der Begriff Antibiotikum bzw. Antibiotika verwendet wird.

Antibiotika, die Bakterien in ihrem Wachstum hemmen, werden als bakteriostatisch bezeichnet, während bakterizide Wirkstoffe die Erreger abtöten. Bei letzteren wird noch unterschieden zwischen bakteriziden Wirkstoffen, die proliferierende, also sich vermehrende Erreger abtöten, und degenerativ bakteriziden Wirkstoffen, die alle Entwicklungsstufen von Bakterien abtöten.

Antibiotika lassen sich darüber hinaus nach weiteren Kriterien einteilen: neben der bakteriostatischen oder bakteriziden Wirksamkeit sind dies die chemische Struktur, die durch die Antibiotika angreifbaren Erreger oder die Wirkmechanismen.

Die unterschiedlichen Antibiotika greifen die Erreger an verschiedenen Punkten an. So können Antibiotika die Zellwandsynthese der Bakterien behindern ( $\beta$ -Laktam-Antibiotika, Glykopeptide), die Integrität der Bakterienzellwand stören (Colistin, Polymyxin B), die Funktion der DNA (Nitroimidazole, Chinolone) oder die Proteinsynthese (Aminoglykoside, Tetrazykline, Chloramphenicol, Makrolide) beeinflussen sowie in den Folsäure-Metabolismus eingreifen (Trimethoprim, Sulfonamide). Die Zusammenhänge der Wirkmechanismen von Antibiotika sind komplex und werden mitunter noch immer untersucht.

Die Wirkung von Antibiotika ist zudem abhängig von weiteren Faktoren wie u. a. der körpereigenen Abwehr, dem Stoffwechsel der Bakterien, dem pH-Wert des infizierten Gewebes sowie dem Infektionsort (z. B. intra-/extrazellulär, Gewebe/Knochen).

men mit einer Verbesserung der Hygiene und der allgemeinen Lebensbedingungen zu einem fundamentalen Fortschritt in der Bekämpfung von Infektionskrankheiten geführt.

### Resistenzentwicklung – wie sich Bakterien wehren

Nach der Markteinführung eines jeden Antibiotikums entstehen in Bakterien früher oder

später Resistenzen, wodurch die von ihnen ausgelöste Erkrankung nicht mehr mit diesem Antibiotikum behandelbar ist. Als Resistenz wird eine Erregervermehrung trotz wirksamer Konzentration des Antibiotikums am Wirkort bezeichnet. Eine primäre Resistenz besteht, wenn eine Bakterienart genetisch bedingt immer unempfindlich gegen ein bestimmtes Antibiotikum ist. Von einer Mutationsresistenz wird

gesprochen, wenn vor Beginn der Therapie einzelne Erreger durch Mutation resistent gegen ein Antibiotikum werden, auf das sie eigentlich empfindlich reagieren. Eine sekundäre Resistenz entsteht, wenn es während der Therapie durch den Selektionsdruck des Antibiotikums zu einer Vermehrung der durch Mutation resistent gewordenen Erreger kommt.<sup>13</sup>

Resistenzen in Bakterien werden durch Resistenzgene ausgelöst, die in Form von Plasmiden – kleine ringförmige Erbinformationen enthaltende DNA-Moleküle, die außerhalb der Chromosomen in Bakterien vorkommen und sich autonom replizieren – auf andere Erreger übertragbar sind. Bakterien entwickeln so mithilfe der Resistenzgene Mechanismen, mit denen die Wirkmechanismen der Antibiotika unschädlich gemacht werden. So können Bakterien beispielsweise Enzyme bilden ( $\beta$ -Laktamasen), die das Antibiotikum zersetzen, sie können Angriffspunkte des Antibiotikums strukturell verändern, einen Stoffwechsel-Bypass bilden, so dass der Angriffspunkt im Stoffwechsel des Bakteriums ersetzt wird, oder durch eine Veränderung der Membranpermeabilität das Eindringen des Wirkstoffs in den Erreger verhindern. Eine Kreuzresistenz besteht, wenn ein Bakterium gegen alle Vertreter einer bestimmten Antibiotikagruppe mit gleichem Wirkmechanismus resistent ist (etwa Penicilline und Cephalosporine) und als Multiresistenz wird die fehlende Empfindlichkeit gegenüber mehreren Antibiotikaklassen bezeichnet.<sup>14</sup> Die Tuberkulose und weitere bakterielle Infektionserkrankungen weisen inzwischen extrem arzneimittelresistente Erreger auf, die gegen alle Erstlinien-Antibiotika und mindestens zwei der Zweitlinien-Antibiotika resistent geworden sind.<sup>15</sup> Damit stehen für derartige Erreger bereits diverse Behandlungsoptionen nicht mehr zur Verfügung.

Die Entwicklung von Resistenzen ist eine uralte Eigenschaft von Bakterien. Selbst in Bakterien, die seit vier Millionen Jahren isoliert lebten, konnten Forscher Resistenzen nachweisen.<sup>16</sup> Nichtsdestotrotz beschleunigt die unsachgemäße Anwendung von Antibiotika die Entwick-

lung dieser Resistenzbildung. Zunächst wurde die Resistenzentwicklung gegen antibiotische Wirkstoffe kaum wahrgenommen und die mit ihr einhergehende Problematik jahrzehntelang weitestgehend ignoriert – eine fatale Fehleinschätzung, da immer mehr Bakterien multiple Resistenzen ausbilden und die von ihnen ausgelösten Krankheiten mitunter kaum noch behandelt werden können.

### Bakterielle Infektionen werden wieder zur Gefahr

Antibiotika gehören nach wie vor zu den am häufigsten verordneten und auch preiswertesten Arzneimitteln. So werden schätzungsweise 600 bis 700 Tonnen Antibiotika in Deutschland in der Humanmedizin jährlich verbraucht, 85 Prozent davon werden von niedergelassenen Ärzten verordnet.<sup>17</sup> Im Kontrast dazu stehen die Empfehlungen zur Minimierung des Einsatzes von Antibiotika, um die Entstehung von Resistenzen zu minimieren.<sup>18</sup> Auch die Erwartungshaltung der Patienten stellt ein Problem beim Einsatz von Antibiotika dar. So ergab sich bei einer Umfrage, dass während der Grippe- und Erkältungszeit ein Großteil der Patienten eine Antibiotika-Verordnung erwartet, wenn ihre Erkältungsbeschwerden nicht von selbst besser werden. Diese Erwartungshaltung ist vor allem dann problematisch, wenn sie sich auf das Ordnungsverhalten der Ärzte auswirkt. Auch Wissenslücken führen zu verschobenen Erwartungshaltungen der Patienten. So denken 31 Prozent der Deutschen, Antibiotika würden bei Virusinfekten wirken und 19 Prozent erhoffen sich Hilfe bei Pilzinfektionen. Es braucht daher mehr Aufklärung für den Einsatz und den Nutzen von Antibiotika, um die Wertschätzung für deren Bedeutung im Kampf gegen mitunter sonst tödliche, bakterielle Infektionen zu erhöhen.<sup>19</sup>

Neben dem Einsatz von Antibiotika in der Humanmedizin muss auch der Einsatz in der Tierhaltung und -medizin kritisch beäugt werden. Pharmazeutische Unternehmen und Großhändler haben im Jahr 2013 insgesamt 1.452 Tonnen Antibiotika an Tierärzte in Deutschland

abgegeben. Bei Nutz- wie auch Klein- und Heimtieren wurden in den letzten Jahren vermehrt multiresistente Keime nachgewiesen, die auf den Menschen übertragen werden können.<sup>20</sup> Hierbei können aus Mast- und Lebensmittelbetrieben antibiotische Wirkstoffe auch in die Umwelt gelangen und eine signifikante Rolle bei der Entstehung und Verbreitung von Resistenzen gegen medizinisch wichtige Antibiotika spielen.<sup>21</sup>

Vor dem Hintergrund der steigenden Resistenzentwicklung besteht ein stetig wachsender Bedarf an neuen, innovativen Antibiotika. Dass es an eben diesen allerdings mangelt, hat zum einen ökonomische Gründe. Derzeit können die kostspielig zu entwickelnden Antibiotika ihre Entwicklungskosten nicht wieder einspielen und sind daher für wirtschaftlich agierende Pharmaunternehmen eher unattraktiv. Es ist ökonomisch wesentlich sinnvoller, ein Medikament gegen eine chronische Krankheit zu entwickeln, das Patienten über Jahre einnehmen müssen. Zudem kommt erschwerend hinzu, dass neue Antibiotika vermutlich für Notfälle zurückgehalten werden würden, um die Resistenzbildung gegen die neuen Wirkstoffe möglichst lang hinauszögern zu können. Darüber hinaus sind neue Antibiotika extrem schwer zu finden und viele aussichtsreiche Wirkstoffe haben sich in Tests zur Anwendbarkeit zum Beispiel als zu giftig erwiesen.<sup>22</sup>

Durch die mangelnde gesellschaftliche Wertschätzung von Antibiotika und den Rückgang

der Antibiotikaforschung seitens der Industrie hat sich die Anzahl der neu zugelassenen antibiotischen Wirkstoffe drastisch reduziert. Um dem entgegenzuwirken ist neben der Entwicklung neuer antibiotischer Wirkstoffe auch der Erhalt der Wirksamkeit der derzeit verfügbaren Antibiotika unbedingt erforderlich. Hierfür sind der sparsame Einsatz von Antibiotika und neue, präzise diagnostische Verfahren vonnöten, mit denen nicht nur die Art der Infektion und das ursächliche Bakterium, sondern auch dessen Resistenzprofil detektiert wird, damit das passende Antibiotikum gezielt eingesetzt werden kann. Auch der One-Health Ansatz, der einer ganzheitlichen, interdisziplinären Betrachtung entspricht und die komplexen Zusammenhänge zwischen Mensch, Tier, Umwelt und Gesundheit beschreibt, ist für eine Aufrechterhaltung unserer antibiotischen Therapiemöglichkeiten von entscheidender Bedeutung.

Um in all diesen Bereichen Erfolge zu erzielen, wurden in den letzten Jahren zahlreiche Programme, Initiativen und Kooperationen ins Leben gerufen, die auf nationaler und vor allem internationaler Ebene mithilfe der verschiedensten Disziplinen dafür sorgen sollen, dass wir auch in Zukunft gegen bakterielle Infektionskrankheiten gewappnet sind. Ganz im Sinne von Robert Koch:

*„Ich wünsche, dass im Kriege gegen die kleinsten, aber gefährlichsten Feinde des Menschengeschlechts eine Nation die andere immer wieder überflügeln möge.“<sup>23</sup>*

- <sup>1</sup> Pharmazeutische Zeitung (23/2015): Infektionsgeschichte: Alte Seuchen und neue Antibiotika. Avoxa – Mediengruppe Deutscher Apotheker GmbH. [www.pharmazeutische-zeitung.de/index.php?id=58138](http://www.pharmazeutische-zeitung.de/index.php?id=58138) [Zugriff am 11.4.2018].
- <sup>2</sup> CDC – Cholera 2010: Cholera in Haiti. [www.cdc.gov/cholera/haiti/index.html](http://www.cdc.gov/cholera/haiti/index.html) [Zugriff am 11.4.2018].
- <sup>3</sup> WHO (1993): WHO declares tuberculosis a global emergency. In: Sozial- und Präventivmedizin 38 (4), S. 251–252.
- <sup>4</sup> Dobson, Mary J. (2009): Seuchen, die die Welt veränderten. Von Cholera bis SARS. Unter Mitarbeit von Ute Mareik. Autoris. dt. Ausg. Hamburg: G + J/RBA (National geographic history).
- <sup>5</sup> Deutsches Ärzteblatt (2007): Robert Koch (1843–1910): Die Entdeckung des Tuberkelbazillus. [www.aerzteblatt.de/archiv/54941/Robert-Koch-\(1843-1910\)-Die-Entdeckung-des-Tuberkelbazillus](http://www.aerzteblatt.de/archiv/54941/Robert-Koch-(1843-1910)-Die-Entdeckung-des-Tuberkelbazillus) [Zugriff am 11.4.2018].
- <sup>6</sup> Spektrum (1999): Gram-Färbung. [www.spektrum.de/lexikon/biologie/gram-faerbung/29134](http://www.spektrum.de/lexikon/biologie/gram-faerbung/29134) [Zugriff am 11.4.2018].
- <sup>7</sup> Pharmazeutische Zeitung (2015): Antibiotika: Wichtig wie eh und je. Avoxa – Mediengruppe Deutscher Apotheker GmbH. [www.pharmazeutische-zeitung.de/index.php?id=56845](http://www.pharmazeutische-zeitung.de/index.php?id=56845) [Zugriff am 11.4.2018].
- <sup>8</sup> Dobson, Mary J. (2009): Seuchen, die die Welt veränderten. Von Cholera bis SARS. Unter Mitarbeit von Ute Mareik. Autoris. dt. Ausg. Hamburg: G + J/RBA (National geographic history).
- <sup>9</sup> Science History Institute (2017): Alexander Fleming. [www.sciencehistory.org/historical-profile/alexander-fleming](http://www.sciencehistory.org/historical-profile/alexander-fleming) [Zugriff am 11.4.2018].
- <sup>10</sup> Stadler, Marc; Dersch, Petra (2016): How to overcome the antibiotic crisis. Facts, challenges, technologies and future perspectives. Cham, Switzerland: Springer (Current topics in microbiology and immunology, volume 398).
- <sup>11</sup> Leopoldina Stellungnahme 2013: Antibiotika-Forschung. Probleme und Perspektiven, [Zugriff am 11.4.2018].
- <sup>12</sup> Karow, Thomas; Lang-Roth, Ruth (2016): Allgemeine und Spezielle Pharmakologie und Toxikologie. Vorlesungsorientierte Darstellung und klinischer Leitfaden für Studium und Praxis 2017. 25. Auflage. Pulheim: Thomas Karow.
- <sup>13</sup> Stock und Wiedemann (1998): Die Bestimmung der natürlichen Antibiotika-Empfindlichkeit. In: Chemotherapie Journal 7. Jahrgang (4/1998), [Zugriff am 11.4.2018].
- <sup>14</sup> Munita, Jose M.; Arias, Cesar A. (2016): Mechanisms of Antibiotic Resistance. In: Microbiology spectrum 4 (2). DOI: 10.1128/microbiolspec.VMBF-0016-2015.
- <sup>15</sup> WHO (2018): Global antimicrobial resistance surveillance system (GLASS) report. Early implementation 2016-2017, [Zugriff am 11.4.2018].
- <sup>16</sup> Bhullar, Kirandeep; Waglechner, Nicholas; Pawlowski, Andrew; Koteva, Kalinka; Banks, Eric D.; Johnston, Michael D. et al. (2012): Antibiotic resistance is prevalent in an isolated cave microbiome. In: PLoS one 7 (4), e34953. DOI: 10.1371/journal.pone.0034953.
- <sup>17</sup> Bätzing-Feigenbaum, Jörg; Schulz, Maik; Schulz, Mandy; Hering, Ramona; Gisbert-Miralles, Jana; Kern, Winfried V. (2015): Entwicklung des Antibiotikaverbrauchs in der ambulanten vertragsärztlichen Versorgung, [Zugriff am 11.4.2018].
- <sup>18</sup> The Review on Antimicrobial Resistance 2016: TACKLING DRUG-RESISTANT INFECTIONS GLOBALLY. FINAL REPORT AND RECOMMENDATIONS. Chaired by Jim O'Neill, [Zugriff am 11.4.2018].
- <sup>19</sup> DAK-Umfrage 2017: Junge Erwachsene nehmen oft Antibiotika. [www.dak.de/dak/bundes-themen/junge-erwachsene-nehmen-oft-antibiotika-1972760.html](http://www.dak.de/dak/bundes-themen/junge-erwachsene-nehmen-oft-antibiotika-1972760.html) [Zugriff am 11.4.2018].
- <sup>20</sup> Die Bundesregierung: DART 2020. Antibiotika-Resistenzen bekämpfen zum Wohl von Mensch und Tier, [Zugriff am 11.4.2018].
- <sup>21</sup> Gullberg, Erik; Cao, Sha; Berg, Otto G.; Ilbäck, Carolina; Sandegren, Linus; Hughes, Diarmaid; Andersson, Dan I. (2011): Selection of resistant bacteria at very low antibiotic concentrations. In: PLoS pathogens 7 (7), e1002158. DOI: 10.1371/journal.ppat.1002158.
- <sup>22</sup> Spektrum (2017): Antibiotikaresistenzen. Die neue Welt der Superbakterien. [www.spektrum.de/wissen/gehen-uns-die-antibiotika-aus/1443165](http://www.spektrum.de/wissen/gehen-uns-die-antibiotika-aus/1443165) [Zugriff am 11.4.2018].
- <sup>23</sup> Inschrift am Denkmal von Robert Koch in der Luisenstraße in Berlin

# Das Smartphone

Wie ein digitales Multitool sämtliche Lebensbereiche veränderte

Johannes Mock

»Der Allsprecher. [...] Erteilt in jedem Augenblicke Orts- und astronomische Zeit, Länge und Breite, Wetterstand und Wettervoraussage. Ersetzt Kennkarte, Pässe, Uhr, Sonnenuhr und Kompaß, nautisches und meteorologisches Gerät. Vermittelt automatisch die genaue Position des Trägers an alle Rettungswarten bei Gefahren zu Lande, auf dem Wasser und in der Luft. Verweist im Peilverfahren an jeden gewünschten Ort. Weist auch den Kontostand des Trägers beim Energieion aus und ersetzt auf diese Weise das Scheckbuch bei jeder Bank und jeder Postanstalt, und in unmittelbarer Verrechnung die Fahrkarten auf allen Verkehrsmitteln. [...] Vermittelt die Programme aller Sender und Nachrichtenagenturen, Akademien, Universitäten, sowie die Permanentsendungen des Punktamtes und des Zentralarchivs. Hat Anschluß an alle Radiostationen mit ihren Strömen des Wissens, der Bildung und Unterhaltung, soweit

sie durch Ton und Wort zu übermitteln sind. Gibt Einblick in alle Bücher und Manuskripte, soweit sie durch das Zentralarchiv akustisch aufgenommen sind, ist an Theater, Konzerte, Börsen, Lotterien, Versammlungen, Wahlakte und Konferenzen anzuschließen, und kann als Zeitung, als ideales Auskunftsmittel, als Bibliothek und Lexikon verwandt werden. Gewährt Verbindung mit jedem anderen Phonophor der Welt, [...] Auch kann eine beliebige Menge von Anschlüssen gleichzeitig belegt werden — das heißt, daß Konferenzen, Vorträge, Wahlakte, Beratungen möglich sind. Auf diese Weise vereinen sich die Vorzüge der Telephone mit denen der Radios. [...] Das Eigentümliche beruht auf der Vereinfachung, auf der Verdichtung in einen kleinen Apparat; Man möchte meinen, daß der Stoff mit seinen kristallinen Gittern und seinen strahlenden Metallen unmittelbare Intelligenz gewonnen hätte, [...]«<sup>1</sup>

Dieses Zitat entstammt der Feder des umstrittenen Autors Ernst Jünger. In seinem 1949 veröffentlichtem Roman „Heliopolis“ beschreibt Jünger ein Gerät namens Phonophor. Die Beschreibung des technischen Multifunktionsgerätes erinnert stark an einen gegenwärtig omnipräsenten Gebrauchsgegenstand: das Smartphone.

Heute sind Smartphones aus unserem Alltag kaum wegzudenken. Junge Erwachsene schauen durchschnittlich 80 Mal täglich auf ihr Smartphone. Ob man sich mit einem öffentlichen Verkehrsmittel bewegt, die Fußgängerzone passiert oder im Wartezimmer einer Arzt-

praxis sitzt: Die Hybridgeräte mit dem großen Touchscreen sind stets in den Händen unserer Mitmenschen zu sehen. Dies war jedoch nicht immer so. Inwiefern das Smartphone eine Innovation ist, die zu großen Veränderungen in sämtlichen Bereichen unseres Lebens geführt hat, soll im Folgenden betrachtet werden.

Per Definition ist das Smartphone ein Mobiltelefon, das die technologischen Voraussetzungen bietet, zusätzlich viele Tätigkeiten, die früher an einem Computer verrichtet wurden, mobil auf diesem Gerät durchzuführen. Fast alle aktuellen Modelle lassen sich über einen Touchscreen und nicht wie ihre Vorgänger über

eine alphanumerische Tastatur bedienen. Sie bieten die Voraussetzungen, eine Verbindung mit dem Internet herzustellen. Ihre Betriebssysteme sind so gestaltet, dass die Geräte durch den Download und die Installation von Apps um zahlreiche Software-Funktionen erweitert werden können. Das Smartphone zeichnet sich also dadurch aus, dass es die Funktionsweisen einiger früher getrennter Geräte in sich vereint und mobil nutzbar macht. Bildhaft könnte man es als das Multitool oder das Schweizer Taschenmesser des digitalen Zeitalters betrachten. Wie normale Mobiltelefone nutzen wir es, um zu telefonieren und SMS zu schreiben. Sie dienen als Uhr, Wecker und Kalender. Der mobile Internetzugang ermöglicht zudem neben dem Versenden und Empfangen von E-Mails, das Aufrufen von Webseiten, das Nutzen von Messenger Apps, Diensten wie Skype und die Kommunikation über Social Media Plattformen wie Facebook.

Es gab auch zuvor herkömmliche Mobiltelefone, die eine Verbindung zum Internet aufbauen konnten, doch fragen wir uns: „Kennen wir jemanden der dies wirklich genutzt hat?“ Die Antwort fällt meist negativ aus. Sensortechnik, Kameras und Mikrofone ermöglichen heute das Aufzeichnen, Bearbeiten und Versenden von audiovisuellen Daten. Die großen Displays dienen zur Bedienung und Wiedergabe von Medien. Spiele, komplexe Anwendungen, Sprachassistenten, Enzyklopädien und Programme, welche die Inanspruchnahme von Dienstleistungen ermöglichen, können auf den Geräten installiert und mobil verwendet werden. Sie erfüllen die Rolle von Navigationsgeräten, was durch integrierte GPS-Technologie ermöglicht wird. Mobil Geschäftsabschlüsse zu tätigen, unsere Konten zu verwalten oder mittlerweile auch viele andere Geräte zu steuern, die über ein Heimnetzwerk, Bluetooth oder das Internet mit dem Smartphone verbunden werden können, ist dank dieser Innovation von vielen Menschen täglich ausgeübte Praxis. Angefangen vom Computer, der heimischen TV- oder Stereoanlage bis hin zur Steuerung von Heizung, Jalousien und anderen Bestandteilen des so

genannten Smart Homes: Immer mehr Komponenten unserer alltäglichen Umgebung werden vernetzt und Teil des „Internet of Things“.

Die ersten Smartphones wurden von Beginn bis Mitte der 90er Jahre entwickelt. Vorläufer der Geräte, welche heute die Bezeichnung Smartphone tragen, ist der von Bellsouth und IBM entwickelte SIMON. Der von Nokia eingeführte Personal Communicator gilt als das erste Smartphone. Das Gerät wurde als mobiles Büro beworben und zu sehr hohen Preisen vermarktet. Der Nokia Communicator bestach dadurch, dass er neben der Möglichkeit, Adressdatenbanken zu verwalten und anzulegen, auch Faxe versenden konnte und den Nutzerinnen und Nutzern einen HTML-fähigen Browser bot. 1999 brachte der damals in der Mobilfunkbranche marktführende Hersteller das Modell Nokia 7110 auf den Markt. Von nun an war es möglich, für eine mobile Verbindung optimierte Webseiten aufzurufen. Dieses Gerät gilt als das erste „Wap-Handy.“ Mit weiteren Modellen der Hersteller Nokia, Blackberry und Motorola wurde die Möglichkeit der mobilen Internetnutzung umgesetzt. Zusammen mit der Firma Blackberry dominierte Nokia den Smartphonemarkt. Bis zum Jahr 2006 war Nokias Symbian das meistgenutzte Betriebssystem (OS). Natürlich hatten auch herkömmliche Mobilfunkgeräte Multimediafunktionen und konnten etwa als Speicher- und Wiedergabegerät für MP3 verwendet werden. Die im Folgenden beschriebenen Neuerungen durch das Smartphone machten diese Funktionen jedoch erst benutzerfreundlich.

Die Vorstellung des ersten iPhone ist der entscheidende Wendepunkt in der Geschichte des Smartphones. In einer mittlerweile vielfach zitierten Präsentation kündigte Steve Jobs am 9. Januar 2007 auf der Messe MacWorld das erste Apple-Smartphone an. Als er dabei versprach, drei Technologien in einem Gerät zu vereinen („einen Widescreen iPod mit Touch-Kontrolle, ein revolutionäres Mobiltelefon und ein bahnbrechendes Internet-Kommunikations-Gerät“), war der Öffentlichkeit noch nicht bewusst, welches Ausmaß der durch das erste iPho-

ne in Gang gesetzte Transformationsprozess sämtlicher Lebensbereiche annehmen würde<sup>2</sup>: Die Multitouch-Funktion revolutionierte die Bedienung von Geräten über Displays und war eine der vielen Eigenschaften des iPhones, die den Erfolg des Produktes bedingten. Andere Hersteller zogen schnell nach und so wurden Produkte auf Basis anderer OS ebenfalls über das Display bedienbar. 2008 wurde das erste Android Smartphone, das HTC Dream, auf dem Markt eingeführt. Von diesem Zeitpunkt an begann ein Wettrennen zwischen Herstellern von Mobilfunkgeräten. Die Verkaufszahlen der Smartphones stiegen an. Als Marktführer konnten sich Samsung und Apple durchsetzen. Im Bereich der Betriebssysteme setzten sich Apples iOS und Googles Android durch. In den folgenden zehn Jahren wurde die Hardware der mobilen Alleskönner immer weiter verbessert: Die Kameras wurden kleiner sowie schärfer, die Rechenleistung höher, die Displays hochauflösender, die Sensoren genauer und die Funktionsweise der Betriebssysteme wurde verbessert. Die zur Verfügung stehenden Funktionen durch Apps nahmen zu.

## Das Smartphone – eine disruptive Innovation

Die Smartphones holten ihre Vorgänger innerhalb weniger Jahre ein und setzten sich somit als neuer Standard durch. Im Jahr 2017 existierten weltweit über 2,4 Milliarden Smartphonebesitzer.<sup>3</sup> In den Jahren 2007 bis 2017 sank ebenfalls der Absatz aller elektronischen Geräte, deren Funktionsweise nun in einem Gerät zusammengefasst wurde. Dazu gehören vor allem Digitalkameras und MP3-Player, aber auch Navigationssysteme. Gegenwertig besitzen also mehr Menschen ein Smartphone als ein herkömmliches Mobilfunkgerät. Doch was genau macht den nicht reversiblen Siegeszug des Smartphones aus und wie genau ist seine rasche Ausbreitung zu verstehen?

Die Eigenschaft einer so genannten disruptiven Innovation ist es, etablierte Technologien oder Verfahrensweisen abzulösen. Innerhalb dieses Vorganges finden sowohl im Privatleben als auch in der Berufswelt, Industrie und Wirtschaft einschlägige Veränderungen statt. In vielen Fällen wird von einer disruptiven Innovation gesprochen, wenn eine herkömmliche Technologie oder Verfahrensweise stark digitalisiert und dadurch ihre Funktionsweise vereinfacht oder extrem erweitert wurde. Vor dem Hintergrund des bis hier Gesagten lässt sich vermuten, dass Smartphones eine solche disruptive Innovation par Excellence darstellen.<sup>4</sup>

Relevant für die seit 2007 ansteigende Nachfrage sind die zahlreichen Möglichkeiten, die dem Benutzer durch mobile Apps geboten werden. In diesem Zusammenhang wird der App-Store zum Mittelpunkt der digitalen Revolution. Er bietet Nutzenden einerseits die Möglichkeit, zahlreiche Programme mit verschiedenen Funktionen zu installieren. Andererseits konnten Softwareentwickler auf der ganzen Welt nun ihre Kreativität nutzen um einen neuen Markt zu erschließen. Als weitere ausschlaggebende Faktoren für den Siegeszug des Smartphones gelten die intuitive Bedienung, das Design, das Zusammenspiel von Hard- und Software sowie Branding bzw. die Marketingstrategien der Hersteller.

Mobile Apps sind also ein wichtiger Bestandteil dieser Erfolgsgeschichte. Es ist klar, dass diese nicht allein durch die Einführung des technischen Artefakts stattfinden konnte. Der mobile Zugriff auf das Internet musste gewährleistet sein, um Daten austauschen zu können. Eine vorweggehende Innovation schuf die Rahmenbedingung für den Erfolg der Multifunktionsgeräte: die Einführung des 3G-Mobilfunkstandards.<sup>5</sup> Regierungen erkannten diese Trends schnell. Um die Jahrtausendwende wurden erstmals Lizenzen zur Bewirtschaftung der Standards versteigert. Doch erst mit dem steigenden Bedarf mussten Netze umgebaut und neue Infrastrukturen geschaffen werden, um den Anforderungen gerecht zu werden. Seit dem Jahr

2008 stieg beispielsweise das Datenvolumen im Deutschen Mobilfunk von elf Petabyte auf ca. 1.200 Petabyte im Jahr 2017 an.<sup>6</sup> Diese Menge entspräche etwa 285 Billionen Büchern in englischer Sprache und somit 17.400 Mal der Library of Congress. Durch das Aufkommen der modernen Smartphones stiegen auf Seiten der Hersteller der Bedarf an Displays, Kameras, Flashspeicher, Sensortechnologien und Funkhardware. Der Bedarf an einer Fertigung in großen Stückzahlen ist auf die ansteigende Nachfrage zurückzuführen. Es wurden dafür neue Fertigungsketten und Lieferprozesse geschaffen. Die Ansprüche an die Hardware wuchsen immer weiter. Es ist fraglich, ob die Entwicklung der Kameratechnik ohne das Smartphone das heutige hohe Niveau erreicht hätte.

Die bis dahin bestehende Mobilfunkindustrie wurde einem radikalen Transformationsprozess unterworfen; neue Industriezweige wurden entwickelt und neue Märkte geschaffen. Mit den mobilen Apps entstand ein vollständig neuer Markt. Die Hardware und Entwicklungsbranche begann zu boomen. Die Zahl der weltweit Beschäftigten für mobile App-Entwicklungen lag im Jahr 2016 bei 12 Millionen Personen.

Mit Verbreitung der Apparate seit 2007 wuchs die Nachfrage stetig weiter. Man spricht in diesem Zusammenhang von einem positiven Netzwerkeffekt: Besitzen nur wenige Personen ein solches Gerät, sind die Möglichkeiten der Inanspruchnahme von Dienstleistungen wie Kommunikationsservices durch Social Media limitiert. Mit steigender Anzahl von Nutzerinnen und Nutzern steigen jedoch die Vorzüge des Besitzes. Das Netzwerk breitet sich aus und es sind mehr potenzielle Kommunikationspartner verfügbar. Auch bei der Einführung des Telefons vor einem Jahrhundert stieg der Nutzen ein Telefon zu besitzen mit dem Wachstum des Netzwerkes. Social Media kann in diesem Zusammenhang als eine treibende Kraft verstanden werden. Dieser Effekt wirkt sich sowohl auf die Seite des Angebots von Hardware und Services als auch auf die Seite der Nutzenden aus. Mit steigender Nachfrage

bei den Anbietern der Services wuchs wiederum die Nachfrage nach Geräten bei den Produzenten.

Google und Apple können als die wirtschaftlichen Gewinner dieses Prozesses gesehen werden. Beide waren vorher keine Akteure in der Mobilfunkbranche. Sie sind von außerhalb in die Branche eingestiegen, haben somit den Start des disruptiven Prozesses maßgeblich beeinflusst und dabei ganz unterschiedliche Strategien verfolgt. Worin lag jedoch ihre Motivation? Diese war klar ökonomischer Natur. Google konnte durch das Eindringen in das Geschäft mit Smartphones klar seine wirtschaftliche Machtposition, die auf dem Suchmaschinenservice beruht, verteidigen. Schon vor Einführung des Smartphones galt Google durch seine Dienstleistungen als führend im Internet. Google war nie ein Hersteller von Hardware. Durch die Entwicklung des erfolgreichen Android konnte das Unternehmen den Markt erobern, ohne in die Hardware-Branche einsteigen zu müssen. Apple hingegen war seit Beginn des Jahrtausends Teil der Unterhaltungsmedienindustrie. Der Erfolg des iPods und von iTunes wurde durch Handys bedroht, die in der Lage waren, Musik wiederzugeben, Fotos zu machen und Videos abzuspielen. Um den Verlust großer Anteile in der Entertainmentbranche durch Mobilfunkgeräte abzuwenden, musste Apple selbst ein multifunktionales Mobilfunkgerät entwickeln. Ebenso konnte der Hardwarehersteller durch den Einstieg in den Mobilfunkmarkt sein Portfolio entscheidend ausweiten und das eigene Wachstum steigern. Dieses Wachstum ist mit Sicherheit eine grundlegende Motivation. Durch iOS konnte Apple seine verfügbaren Strukturen im Bereich Medien auf das Thema Software erweitern. Dieser strategische Gedanke und folglich hohe Investitionen in Forschung und Entwicklung legten den Grundstein für die Entwicklung des Smartphones.

Primär haben sich mit der Verbreitung des Smartphones das Maß sowie die Art und Weise, wie wir das Internet nutzen, stark gewan-

delt. Fast alle zuvor im Internet vollzogenen Handlungen können nun mobil vollzogen werden. Ebenso wurde der Spielraum möglicher Handlungsweisen erweitert. Die Netze wurden bedarfsgerecht ausgebaut. Für viele Menschen ist es mittlerweile Teil des Alltags, über ihr Mobilfunkgerät Musik oder Filme zu streamen. Mobilität erhält in diesem Zuge einen komplett neuen Stellenwert. Der weitere Ausbau der Netze von 3G über den Zwischenschritt LTE zum neuen Standard 5G hin wird diese Entwicklungstendenz auf sämtliche Technologien, die in unserem Alltag verwurzelt sind, ausdehnen und den durch das Smartphone in Gang gesetzten Transformationsprozess beschleunigen. Ebenfalls hat sich die Art und Weise menschlicher Kommunikation stark verändert. Durch den Erfolg von Social Media wandelten sich unsere Sprache und unsere kommunikativen Gepflogenheiten. Wie wir mit Informationen über uns selbst umgehen, welche Informationen wir bereit sind preiszugeben und welchen Stellenwert wir der Selbstdarstellung unserer Mitmenschen einräumen, hat sich durch den mobilen Zugriff auf Social Media und die Möglichkeit, Bild- und Tonmaterial immer und überall zu teilen, gewandelt. Wir sind freizügiger geworden.

Die Wahrnehmung und die Bewertung unserer Umwelt haben sich im Rahmen des hier beschriebenen Prozesses ebenfalls transformiert. Die Häufigkeit, mit der wir nach dem Vorhandensein von Wi-Fi oder entsprechenden Passwörtern fragen, ist Beleg für diese Tatsache. Fragen wie „Warum sollte ich noch ein Buch mitnehmen?“, „Habt ihr eine Steckdose?“ oder „Warum hat dieses Gerät keinen Touchscreen?“ zeigen die Selbstverständlichkeit, mit der wir Smartphones benutzen, die Alltäglichkeit der Bedienung von Touchscreens und den zunehmenden Rückgang von Printmedien an. Ebenso ist der alltägliche Rückgriff auf Suchmaschinen, mit deren Hilfe Sachlagen geklärt oder neue Argumente zur Untermauerung eigener Positionen gefunden werden sollen, Indikator für bedeutungsvolle Eingriffe in unsere Handlungs- und Kommunikationsweise. Der Status

von Information wird in diesem Zuge einem Wandel unterzogen, denn für die Besitzerinnen und Besitzer von Smartphones stehen Online-Enzyklopädien und Suchmaschinen jederzeit zur Verfügung.

Die Verhaltensänderungen haben eine Reorganisation unserer Umwelt und den Umbau der Infrastruktur für den flächendeckenden Zugang zu mobilen Daten erforderlich gemacht. Wi-Fi-Hotspots zur Ermöglichung eines Internetzugangs sind über unsere Städte verteilt, Funknetze werden ausgebaut. Nicht nur in Gebäuden, sondern auch in öffentlichen Verkehrsmitteln steht vermehrt der Zugang zu Netzwerken und somit zum Internet zur Verfügung. Das Smartphone ist ein stetiger Begleiter in unserem Alltag geworden. Von einigen Dienstleistern und Serviceanbietern wird bezüglich der Kommunikation mit Kunden der Besitz eines Smartphones vorausgesetzt. Dies birgt natürlich die Gefahr, dass Personen, die kein Smartphone besitzen, im Zuge dieser Entwicklung abgehängt werden können. Parallel dazu wünschen sich viele Bürgerinnen und Bürger verstärkt eine smartphonefreundlichere Umgebung – wir wollen smart wohnen und smart leben. Trotz der steigenden Mobilität und der vielfachen Erleichterung unseres Alltags darf dennoch nicht übersehen werden, dass mit Innovationen auch neue Herausforderungen und Problemstellungen auf sämtlichen Ebenen zu Tage treten können.

Die Begriffe Datenhoheit, Datenschutz, Datenmacht und Datenmissbrauch stecken ein Themenfeld ab, das mit dem Erfolg des Smartphones stark an Relevanz gewonnen hat. Seitdem immer mehr Menschen das Smartphone nutzen, um Informationen zu teilen, über das Internet zu kommunizieren, mobil Inhalte des Webs abzurufen und Geschäftsabschlüsse zu tätigen, entstand eine unfassbar große Menge an Daten. Der Schutz dieser Daten ist eine entscheidende Herausforderung unserer Gegenwart. Der Missbrauch dieser Daten kann nicht nur zur Verletzung der Privatsphäre führen, sondern auch zur gezielten Manipulation, wie beispiels-

weise die derzeitige Debatte um Facebook, Cambridge Analytica und den Umgang mit Daten im Zuge des US-Wahlkampfes 2016 zeigt. Ein weiteres Beispiel, anhand dessen die Herausforderung durch die Innovation illustriert werden kann, ist der Umgang mit Daten, die von Gesundheits-Apps und Wearables erzeugt werden. Kritische Stimmen sehen ein Problem darin, dass personenbezogene Daten über den Gesundheitszustand in die Hände von Arbeitgebern und Versicherungen gelangen könnten und Entscheidungen über die Beitragseinstufungen oder die Ausgestaltung der Beschäftigungsverhältnisse beeinflussen. All dies illustriert nicht nur die facettenreichen Veränderungen durch eine disruptive Innovation, sondern dass Gesellschaft und Innovation zusammen zu denken sind. Eine Innovation, wie die hier besprochene, erleichtert und verbessert unser Leben auf der einen Seite, während sie gleichzeitig Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und das Individuum vor große Herausforderungen stellt.<sup>7</sup>

## Die Rolle des Smartphones am Beispiel politischer Bewegungen

Wie bereits angedeutet, spielt das Smartphone mittlerweile auch eine Rolle in der Sphäre des Politischen und somit im Politikjournalismus. Während der als Arabischer Frühling bekannten politischen Umschwünge im Jahr 2011 wurden „neue Medien zum Mittel der Selbstermächtigung“.<sup>8</sup> In diesem Zusammenhang etablierte sich die Plattform Facebook als das wichtigste Medium zur Mobilisierung der Bevölkerung. Der Kurznachrichtendienst Twitter und die Plattform YouTube wurden zu den Kanälen, mit deren Hilfe der Weltöffentlichkeit Informationen über die Proteste mitgeteilt wurden. Doch es war das Smartphone, das die technologische Voraussetzung bot, aufgenommene Bilder und Videos schnell zu

verarbeiten, zu kommentieren, mit Informationen über die eigene Position zu versehen und online bereit zu stellen. Dies diente zur Verbreitung von Informationen über die Proteste und somit zu einer Steigerung der nationalen und internationalen Aufmerksamkeit. Besonders in Situationen, in denen professionellen Journalisten die Ausübung ihres Berufs erschwert oder unmöglich gemacht wurde, konnten Videomaterial und Fotos schnell im Internet veröffentlicht werden. Protestteilnehmer wurden zu sogenannten Bürger-Journalisten. Bedeutende Nachrichtensender nahmen Zugriff auf diese Materialien und sorgten für eine weltweite Verbreitung. Somit erhielt das von den Teilnehmern an den Protesten aufgenommene Rohmaterial Gewichtung in einer wesentlich größeren Dimension. Die Rolle des Smartphones für den Journalismus und die Öffentlichkeit wird an diesem Beispiel deutlich. Sowohl Journalisten als auch Privatpersonen werden durch das digitale Multitool befähigt, Informationen aufzuzeichnen, zu kommentieren und mit der Öffentlichkeit zu teilen. Weiterhin sind innerhalb dieser Entwicklung klassische Strukturen aufgelöst worden. Bisherige Rezipienten bzw. Konsumenten können nun zu Prosumenten von Nachrichten und Medien werden, sei es durch Social Media, Blogs oder Kurznachrichtendienste. Neue partizipative Elemente am politischen Zeitgeschehen sind im Rahmen des Innovationsprozesses entstanden. An dieser Stelle soll eine weitere Transformation, die auf dem Feld des Journalismus durch Smartphones und die neuen Konzepte des mobilen Zugriffs auf Informationen in Gang gesetzt wurde, erwähnt werden: Wir konsumieren unsere Nachrichten immer mehr in digitaler als gedruckter Form. Die im Januar 2018 aufgekommenen Proteste im Iran und der damit einhergehende massive Rückgriff auf mobile Apps belegen, wie die Technologie als Werkzeug innerhalb politischer Prozesse etabliert ist.<sup>9</sup>

### Fazit

Das Smartphone ist eine Innovation, die sämtliche Bereiche unseres Lebens gewandelt hat. Eine Umfrage zeigt, dass sich mittlerweile 71



Abb. 1: Smartphones spielen bei Protesten auf der Straße eine immer größere Rolle wie zum Beispiel in Hongkong.

Prozent der Smartphone Nutzenden in Deutschland ein Leben ohne das Gerät nicht mehr vorstellen können.<sup>6</sup> Dies zeugt von der immensen Akzeptanz gegenüber der Innovation und mag wohl auf die damit einhergehenden vielfältigen Erleichterungen in unserem Alltag zurückzuführen sein. Durch das Smartphone hat sich unsere Lebenswelt verändert und gleichzeitig haben wir es als Teil unseres Alltags akzeptiert. Innerhalb von nur zehn Jahren ist es zu unserem stetigen Begleiter geworden. Mittlerweile ziehen wir es PCs und Laptops vor, um auf das Internet zuzugreifen. Es ließ andere Produkte, deren Funktion es inkorporierte, obsolet werden. Auch wenn derzeit die Verkaufszahlen leicht stagnieren, sich eine Sättigung des Marktes andeutet und ein Innovationsplateau zu verzeichnen ist bzw. bei neuen Modellen Verbesserungen nur inkrementeller Natur sind, schmälert dies nicht den Status als eine der wichtigsten technologischen Neuerungen der vergangenen Jahrzehnte.

Der Fokus der Verbraucher verschiebt sich nun jedoch langsam auf andere Produkte. Bei genauerer Betrachtung wird deutlich, dass das Interesse an den Technologien steigt, als deren Wegbereiter das Smartphone gilt: Sprachassistenten, Augmented Reality- und Virtual Reality-Produkte. Einige Experten gehen davon aus, dass mit der Einführung des neuen Telekommunikationsstandards 5G die Wertschöpfung des Smartphones weiter ausgebaut werden könnte. Durch seine Omnipräsenz und durch die vielfältigen Funktionsweisen erweitert es das Repertoire menschlicher Handlungsmöglichkeiten wie kaum eine Innovation zuvor. Selbst wenn die Displays kleiner werden oder verschwinden, die Geräte nicht mehr in der Hand, sondern um das Handgelenk getragen werden und die Bedienung sich auf die Spracheingabe verlagern wird, zeigt dies nicht eine Abwendung vom Smartphone an. Diese Phänomene verweisen auf eine sehr hohe Akzeptanz der neuartigen Geräte. Wir wünschen uns intuitivere Bedie-

nungen. Die immer intelligenteren Programme interpretieren unser Verhalten und beginnen für uns voraus zu denken oder machen Services immer individueller. Damit ändert sich die Mensch-Maschine-Schnittstelle. Durch die Wearables wird die Annäherung zwischen

menschlichem Körper und multifunktionalem Kommunikationsgerät immer größer. Technikvisionäre träumen heute davon, die durch Smartphones geschaffenen Möglichkeiten über Gedankenbewegungen – mittels Brain-Computer-Interfaces – nutzbar zu machen.

---

<sup>1</sup> Jünger, E. (1949): Heliopolis – Rückblick auf eine Stadt. Tübingen. S. 347 - 349.

<sup>2</sup> Montag, C. (2018): Homo Digitalis. Smartphones, Soziale Netzwerke und das Gehirn. Wiesbaden.

<sup>3</sup> Murphy, D.: 2,4 BN Smartphone Users in 2017, Say E.Marketer: (<http://mobilemarketingmagazine.com/24bn-smartphone-users-in-2017-says-emarketer>) [Zugriff am 7.5.2018].

<sup>4</sup> Bendel, O.: Disruptive Technologien. <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/disruptive-technologien-54194> [Zugriff am 7.5.2018].

<sup>5</sup> Madsen Strojler, E.; Prethun Hartington, S.: Disruptive Technologies and Networking in Telecom Industries. Aarhus 2015. S. 4. [www.omicsonline.org/open-access/disruptive-technologies-and-networking-in-telecom-industries-2375-4389-1000165.php?aid=65836](http://www.omicsonline.org/open-access/disruptive-technologies-and-networking-in-telecom-industries-2375-4389-1000165.php?aid=65836) [Zugriff am 7.5.2018].

<sup>6</sup> Bitkom (2017): Smartphone-Markt. Konjunktur und Trends. [www.bitkom.org/Presse/Anhaenge-an-PIs/2017/02-Februar/Bitkom-Pressekonferenz-Smartphone-Markt-Konjunktur-und-Trends-22-02-2017-Praesentation.pdf](http://www.bitkom.org/Presse/Anhaenge-an-PIs/2017/02-Februar/Bitkom-Pressekonferenz-Smartphone-Markt-Konjunktur-und-Trends-22-02-2017-Praesentation.pdf) [Zugriff am 7.5.2018].

<sup>7</sup> Vor allem im Bereich der Psychologie werden Phänomene wie Smartphonesucht, Depression durch die sich ändernde Qualität unserer Kommunikation und die Abnahme kognitiver Fähigkeiten diskutiert. Die Literatur zu diesem Thema ist tief und komplex. vergl. Montag, C. (2018)

<sup>8</sup> El Difaroui, Asiem: Die Rolle der neuen Medien im Arabischen Frühling. [www.bpb.de/internationales/afrika/arabischer-fruehling/52420/die-rolle-der-neuen-medien?p=all](http://www.bpb.de/internationales/afrika/arabischer-fruehling/52420/die-rolle-der-neuen-medien?p=all) [Zugriff am 7.5.2018].

<sup>9</sup> Quinn, M.: One Difference Between 2018 and 2009 Iran Protests: 48 Million Smartphones. [www.voanews.com/a/difference-between-2009-and-2018-iran-protests-is-48-million-smartphones-4190712.html](http://www.voanews.com/a/difference-between-2009-and-2018-iran-protests-is-48-million-smartphones-4190712.html) [Zugriff am 7.5.2018].

# Meta-Innovationen oder die Innovation des Innovationssystems selbst

Peter Dortans

## Worum soll es in diesem Beitrag gehen und was ist der Anspruch?

Das nationale Innovationssystem in Deutschland fördert nicht nur Innovationen, es unterliegt auch selbst einem Innovationsdruck, von dem die VDI/VDE-IT als Teil des Systems betroffen ist. Nach einigen kurzen Anmerkungen zur Rolle der VDI/VDE-IT und zum Innovationssystem befasst sich dieser Text mit einem Beispiel für Meta-Innovationen. Er tut dies anhand der zurzeit diskutierten Forderung nach einer Förderung von radikalen Innovationen. Diese Überlegungen sind für die VDI/VDE-IT auch vor dem Hintergrund ihres eigenen Geschäftsmodells interessant, weil nämlich von einigen Akteuren unterstellt wird, dass man für diese keine Projektträger benötigt.

Ein langjähriger Weggefährte von Seiten der Gesellschafter des Unternehmens hat einmal gesagt: Die VDI/VDE-IT ist ein Kind des Ministeriums (damals Bundesministerium für Forschung und Technologie, BMFT, gegründet 1972) und wird es immer bleiben. Wir sind stolz darauf und mit Begeisterung seit 1978 Teil des deutschen und europäischen Innovationssystems und Tochterunternehmen der beiden großen deutschen Ingenieurvereinigungen. Für Deutschland und sein Innovationssystem tätig zu sein, ist uns deshalb wichtig. Gleichzeitig muss man eine gewisse kritische Distanz zum eigenen Handeln haben, um es weiter entwickeln zu können. Nur weil etwas immer schon gemacht wurde und gut war, muss das nicht für alle Zukunft richtig sein. Andererseits ist nicht alles, was neu ist oder neu klingt, deshalb auch gut.

## Die Rolle der VDI/VDE-IT

Die VDI/VDE Innovation + Technik GmbH mit ihren Vorläuferinstitutionen ist seit 40 Jahren Teil des deutschen und europäischen Innovationssystems. Wie der Beitrag, den das Unternehmen in dieser langen Zeit mit vielen hundert engagierten und begeisterten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern geleistet hat, zu bewerten ist, mag der Leser entscheiden. Wenn es aber ein Element gibt, das sich positiv durch die gesamten 40 Jahre zieht, dann ist es die Bereitschaft des Teams, sich dem Wettbewerb der Ideen zu stellen und sich dem vollen Innovationsdruck des Innovationssystems selbst auszusetzen. Inhouse-Vergaben, Grundfinanzierungen oder die Einbindung in große grundfinanzierte Organisationen standen für die VDI/VDE-IT nie zur Debatte. Das Unternehmen lebt von seinen im Wettbewerb gewonnenen Aufträgen und nur von diesen.

Seit seiner Gründung ist die besondere Kompetenz für die Förderung von KMU ein Merkmal des Unternehmens, entstanden durch die mit der Gründung verbundene Aufgabe der Einführung der Mikroelektronik bei KMU. Ausgehend von dieser Konfiguration wurde das Know-how-Spektrum über die Themen Gründung, Informationstechnik, Bildung, Arbeit, Gesundheit und weitere bis heute konsequent ausgebaut.

Zur Rolle der VDI/VDE-IT gehört auch die klare Abgrenzung zu den anderen Akteuren im Innovationssystem. Das Parlament und die Ministerien gestalten Politik, geforscht wird an Universitäten, Forschungseinrichtungen und in Unternehmen – die VDI/VDE-IT be-

rät die Akteure des Innovationssystems zu (neuen) Strategien und Instrumenten in diversen Themenfeldern und setzt Maßnahmen im Auftrag um. Sie analysiert und evaluiert das Innovationssystem in einigen Teilen und trägt damit auch zu dessen Weiterentwicklung bei.

Gelegentlich wird die Frage diskutiert, ob Projektträger für das deutsche Innovationssystem unverzichtbar sind. Das sollte man mit einer guten Portion Bescheidenheit bezweifeln, es gibt fast immer andere Optionen. Aufgabe der VDI/VDE-IT und ihrer Wettbewerber ist es vielmehr, immer nachzuweisen, dass ihre Einbindung zu einem international sehr wettbewerbsfähigen Innovationssystem führt. Gerade die wettbewerbliche Vergabe von Projektträgerschaften zum Management der staatlichen Förderprogramme in Deutschland führt zu immer neuen Ideen und zu einer starken Kunden- und Klientenorientierung, wobei Kunden Ministerien und Klienten geförderte Einrichtungen und Unternehmen sind. Fördereinrichtungen im Besitz des öffentlichen Auftraggebers sind einfacher zu beauftragen, führen aber durch fehlenden Wettbewerb nach unserer Überzeugung langfristig zu schlechteren Ergebnissen. Hier kommt der gleiche Effekt zum Tragen wie bei hohen Schutzzöllen für bestimmte Industrien. Weniger Wettbewerb führt fast nie zu besseren Ergebnissen.

Wegen dieser wettbewerblichen Marktpositionierung diskutieren die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der VDI/VDE-IT leidenschaftlich mit anderen Partnern im Innovationssystem dessen Weiterentwicklung und über Innovationen des Systems selbst.

### Zum Begriff des Innovationssystems

Im Brockhaus von 1970 findet sich der Begriff Innovation oder Innovationssystem nicht, in der Ausgabe von 2001 wird ihm als Schlüsselbegriff ein Sonderkapitel gewidmet.<sup>1</sup> Das Thema Innovation ist heute sicher in der Mitte der Gesellschaft angekommen, auch wenn es in der öffentlichen Wahrnehmung oft hinter anderen

Themen wie Wirtschaft und Bildung zurückstehen muss. Innovationspolitik erzeugt eben in der Regel keine tagesaktuellen Schlagzeilen, was für die elektronischen und Printmedien aber wichtig ist.

Die OECD definierte 1999 ein Innovationssystem wie folgt:

*“The market and non-market institutions in a country that influence the direction and speed of innovation and the technology diffusion can be said to constitute a national innovation system. Innovation systems also exist at other levels, e.g. there are worldwide, regional or local networks of firms and clusters of industries.”<sup>2</sup>*

Damit sind Forschungseinrichtungen, Bildungseinrichtungen und Unternehmen wie auch Finanziers gleichermaßen erfasst und eben auch die Projektträger.

Innovationssysteme bestehen aus vielen verschiedenen Bestandteilen und, wenn es gut läuft, ist das Ganze mehr als die Summe seiner Teile. Diese Bestandteile sind öffentliche oder private Institutionen, Regierungsstellen oder auch Einzelpersonen. Es können „offizielle“ und offenkundige Partner des Innovationssystems sein, wie es Bundesministerien, Forschungseinrichtungen oder Transfereinrichtungen und Finanziers wie der Hightech Gründerfonds sind. Es können auch Partner sein, die sich ihrer Rolle im Innovationssystem nicht oder nur sehr begrenzt bewusst sind wie etwa Juristen, Steuerberater oder Handwerker. Das gesamte System ist sehr stark verwoben und fast alle Faktoren beeinflussen sich gegenseitig, was natürlich nichts Neues ist.

Ein wesentlicher Faktor für das Innovationssystem sind auch die gesetzlichen Rahmenbedingungen für die Akteure in einer Volkswirtschaft. Sind unsere Rahmenbedingungen überhaupt so aufgestellt, dass zum Beispiel disruptive Innovationen auf Gebieten, in denen die deutsche Wirtschaft nachhaltig stark ist, erfolgen könnten, oder Unternehmensentwicklungen wie bei Google,



Abb. 1: Akteure des deutschen Forschungs- und Innovationssystems  
 Quelle: Eigene Darstellung ergänzt um Projektträger nach Bundesministerium für Bildung und Forschung (2016):  
 Bundesbericht Forschung und Innovation 2016, S. 53. [www.bmbf.de/pub/BuFi\\_2016\\_Hauptband.pdf](http://www.bmbf.de/pub/BuFi_2016_Hauptband.pdf) [Zugriff am 7.5.2018].

Apple usw. möglich wären? Was wäre, wenn ein börsennotiertes Industrieunternehmen zehn Jahre alle Gewinne in FuE investiert und nicht ausschüttet und dann den Durchbruch erzielt? Wäre ein solches Unternehmen nicht zwischenzeitig längst von einem liquiden US-Konzern oder einem Staatsfonds gekauft und zerlegt worden?

### Meta-Innovationen oder die Innovation im Innovationssystem selbst

An dieser Stelle sei die Frage gestellt, ob und wie innovativ ein Innovationssystem selbst sein muss. Wann bzw. warum müssen neue Elemente dazukommen und wie unterscheidet man bei diesen zwischen Innovationsinventionen (tolle neue Idee) und Innovationsinnovationen (tolle neue Idee, die auch wirkt)?

Könnte für ein nationales oder sektorales Innovationssystem dasselbe gelten wie für Unternehmen? Wer im Wettbewerb um zukunftsfähige Produkte, also innovative Produkte und Verfahren, stehen bleibt, wird auf Dauer nicht bestehen können. Innovationssysteme existieren, um diesen Wettstreit um Wettbewerbsfähigkeit innerhalb und zwischen den Volkswirtschaften zu beeinflussen. Die Produkte und Märkte veränderten sich in den letzten Jahrzehnten mit zunehmender Geschwindigkeit und damit ändern sich auch die für Unternehmen relevanten Erfolgsfaktoren. Innovationssysteme setzen an den Erfolgsfaktoren der Unternehmen an. Sie haben deshalb zum Beispiel Know-how über Forschungsförderung, Kontakte über Netzwerke und über Bildungsthemen die Leistungsfähigkeit der Belegschaften gefördert. Selten werden be-

stehende Erfolgsfaktoren vollkommen obsolet, Know-how beispielsweise ist schon immer und wird auch immer relevant sein. Deshalb sind neue Elemente im Innovationssystem auch meistens zusätzlich zu bestehenden eingeführt worden. Das System selbst muss sich also unbedingt auch weiterentwickeln und offen für Meta-Innovationen sein.

Innovative Unternehmen und deren Leitungen fühlen sich vielleicht manchmal Herstellern von Me-Too-Produkten überlegen, nicht immer zu Recht. Wie ist es nun bei Me-Too-Produkten in Innovationssystemen? Steuerliche Forschungsförderung oder eine deutsche DARPA<sup>3</sup> wären vielleicht Me-Too-Produkte, aber andererseits ist es keine schlechte Idee, eine Idee intelligent zu kopieren, wenn sie denn erfolgreich ist. Es muss also nicht immer unbedingt eine radikale Innovation sein. Hauptsache, die Methode erreicht ihr Ziel, manchmal auch dadurch, dass man sie weiter entwickelt oder verfeinert.

Unternehmen und Volkswirtschaften müssen also immer wieder neue Wege suchen, Ansätze der Konkurrenz, also anderer Volkswirtschaften, prüfen und ggf. verbessert übernehmen.

Seit vielen Jahren wird eine steuerliche Forschungsförderung diskutiert und von verschiedenen Akteuren des Innovationssystems gefordert.<sup>4</sup> Weiterhin wird seit dem Innovationsdialog 2017 eine Agentur für radikale Innovationen diskutiert, die manchmal auch als eine deutsche DARPA bezeichnet wird.<sup>5</sup> Beides wären im weiteren Sinne Me-Too-Produkte, da die USA diese Instrumente schon einsetzen. Was spricht dagegen, es ihnen gleich zu tun? Nichts! Wenn eine Methode in einem anderen, vergleichbaren Umfeld gut funktioniert, darf, ja muss man sie kopieren, gerade auch dann, wenn es keine bessere Idee gibt. Wichtig ist, dass man die Methode auf die eigenen Gegebenheiten anpasst und aus den Fehlern der anderen lernt. Dann wird aus dieser Idee, dieser Invention eine Innovation im Innovati-

onssystem, da sie dann die Wirkung erreicht, die intendiert ist.

Deutschland hat sein Innovationssystem in den letzten Jahren mit der missionsorientierten Hightech Strategie und der konzentrierten KMU-Förderung etwa durch das ZIM-Programm des BMWi und die KMU-Innovativ-Förderung des BMBF und zahlreiche weitere Instrumente der Ministerien bereits in seiner strategischen Ausrichtung innovativ weiterentwickelt und die positive wirtschaftliche Entwicklung ist sicherlich auch eine Folge des Innovationssystems und seiner Innovationsfähigkeit. Mit einer Agentur für radikale Innovationen würde nun eine Weiterentwicklung mit einem neuen Teilnehmer erfolgen.

Die Förderung von Innovationen hat in Deutschland eine lange Tradition. Mit den Maßnahmen des damaligen BMFT Mitte der 70er Jahre wurde der Fokus auf die Unternehmen und dort vor allem auf die KMU gelenkt. Eine Verbundprojektförderung, bei denen etwa KMU, GU, Universitäten und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen zusammenarbeiten, ist seit vielen Jahren ein erfolgreich erprobtes Instrument.

Die anderen Volkswirtschaften bleiben ebenfalls nicht stehen und entwickeln ihre Innovationssysteme weiter. Oft finden dazu „Fact Finding Missions“ nach Deutschland statt. Kanada hat sich beispielsweise für ZIM interessiert, wohl auch, weil man von der eigenen steuerlichen FuE Förderung nicht nur begeistert ist (angeblich war die steuerliche FuE z. B. in Kanada teilweise sehr aufwändig in der Administration).

Ein Aspekt, der zu unserem nationalen Innovationssystem aktuell diskutiert wird, ist die Forderung nach disruptiven Innovationen verbunden mit der Forderung, bürokratischen Aufwand zu reduzieren. Beide Aspekte sind Grund genug, über eine Weiterentwicklung des Innovationssystems nachzudenken: Das passiert auch bei vielen Akteuren und es betrifft ein Unternehmen, das wie die VDI/VDE-IT viele Projektträger-schaften betreut, insbesondere.

## Disruptive Innovationen – Worum geht es?

Disruptive Innovationen aus den USA haben deutsche Unternehmen, und nicht nur diese, in den letzten Jahren vor erhebliche Herausforderungen gestellt. Plattformen wie Amazon, Facebook und Google, Hersteller wie Apple und Microsoft ändern mit ihren Geschäftsmodellen die Spielregeln auf den Märkten drastisch. Es ist allgemein bekannt, dass es aus Deutschland bzw. Europa keine vergleichbaren Impulse gibt. Mit ihren zum Teil extrem großen Liquiditätsreserven greifen diese globalen Player Unternehmen anderer Branchen in Deutschland an, etwa Amazon deutsche Handelsunternehmen oder Tesla deutsche Automobilhersteller. Ob sie damit langfristig erfolgreich sein werden, ist noch nicht entschieden. Allerdings zeigt die Erfahrung, dass, wenn solche Angriffe erfolgreich sind, den bisherigen Anbietern in den betroffenen Branchen das Aus oder eine Weiterexistenz als Nischenanbieter, wie z. B. der Uhren- und Fotoindustrie nach dem Mikroelektronikschock der 70er Jahre, droht.

Disruptiv bedeutet „störend“ oder „unterbrechend“. Und genau das sind diese Innovationen für die bisherigen Anbieter in den Märkten. Wenn solche disruptiven oder radikalen Innovationen nicht auch aus Deutschland kommen, ist das eindeutig eine Herausforderung für das nationale Innovationssystem in Deutschland insgesamt.

Dabei sollte man die Frage, ob diese Unternehmen mit ihren radikalen Innovationen volkswirtschaftlich und gesellschaftlich positiv oder negativ zu bewerten sind, nicht vorschnell beantworten. Die wesentliche Wertschöpfung zum Beispiel von Apple findet offensichtlich nicht in den USA statt und auch der Einzelhandel in den USA leidet unter Amazon.

Radikale Innovationen kommen mehrheitlich nicht von „alten Bekannten“ der Branchen,

sondern von bis dato unbekanntem Akteuren. Die erfolgreichste Suchmaschine des Internets kam nicht von Microsoft, das beste Smartphone nicht von Nokia und der größte Onlinehandel ist nicht von Sears oder der Metro aufgebaut worden. Es ist vielleicht gewagt zu behaupten, dass radikale Innovationen oft wehtun und manchmal an der Grenze der Legalität stattfinden. Andererseits sind Google und Facebook wirtschaftlich erfolgreich, seit sie die Nutzerdaten unter Vernachlässigung des Datenschutzes konsequent ausbeuten. Auch die Bedrohung des Einzelhandels durch Amazon könnte noch in mancherlei Hinsicht schmerzhaft Folgen haben.

## Was macht die DARPA aus? Was kann man von ihr lernen?

Alle disruptiven Innovationen der oben erwähnten Unternehmen nutzten konsequent die Möglichkeiten neuer Technologien und haben diese zum Teil auch weiterentwickelt. Aber eine intensive FuE-Tätigkeit wurde von diesen Akteuren im Rahmen ihrer Startphase nicht durchgeführt. In der Förderung disruptiver Innovationen durch die DARPA ist dieser Aspekt durchaus zu sehen. Gewünscht werden Ergebnisse, die schnell verfügbar und militärisch nutzbar sind. Der DARPA-Challenge-Ansatz muss, im Unterschied zur DARPA finanzierten Forschung, möglicherweise eher als lösungsorientiert denn als technologieorientiert angesehen werden. Will man disruptive Innovationen anstoßen, könnte das dennoch ein interessanter Ansatz sein.

Wenn man das deutsche oder europäische Innovationssystem mit Blick auf die radikalen Innovationen weiterentwickeln will, ist eine Me-Too-Strategie, die sich ein erfolgreiches Vorbild wie die DARPA nimmt, sicherlich bedenkenswert. Die DARPA beansprucht auf ihrer

Website in der Tat einige sehr wesentliche Innovationen als Ergebnis ihres Wirkens.<sup>6</sup>

Um Ansätze von anderen Innovationssystemen zu übertragen, ist die Analyse des Kontextes von großer Bedeutung. Die DARPA hat folgendes Mission Statement: „For sixty years, DARPA has held to a singular and enduring mission: to make pivotal investments in breakthrough technologies for national security“.<sup>7</sup> Über ihre Investitionsstrategie schreibt sie: „DARPA’s investment strategy begins with a portfolio approach. Reaching for outsized impact means taking on risk, and high risk in pursuit of high payoff is a hallmark of DARPA’s programs“.<sup>8</sup> Der entscheidende Aspekt ist die Erzielung hoher Gewinne bei hohem Risiko, gleichzeitig will man einen Beitrag für die nationale Sicherheit leisten. In diesem Zusammenhang wird auch der dual-use Ansatz diskutiert, also die militärische und zivile Nutzung von Forschungsergebnissen. Wenn man die militärische Nutzung als Option ausschließt, wird man sich ein anderes Lead-kundenmodell überlegen müssen. Sicherheit könnte auch ohne militärische Ausprägung ein Feld sein.

Die DARPA bezeichnet ihre Forschung als eine „anwendungs- oder nutzerinspirierte Grundlagenforschung“. Die Dauer der einzelnen Forschungsaktivitäten liegt zwischen fünf und zehn Jahren. In dieser Zeit kommt es regelmäßig zu einer Rotation der Verantwortlichen in den Forschungsvorhaben. Diese Personalrotation wird bei der DARPA als ein wesentliches Element angesehen.

Die aktuelle DARPA-Challenge „The Spectrum Collaboration Challenge (SC2)“ passt sehr gut in dieses Schema.<sup>9</sup> Der Sieger wird möglicherweise in der Lage sein, eine intelligente Nutzung vorhandener Frequenzspektren mit Hilfe von künstlicher Intelligenz zu realisieren. Das könnte große Folgen für die Dominanz eines solchen Unternehmens in einer digitalisierten Welt haben.

## Aspekte bei der Initiierung disruptiver Innovationen

Was bedeutet dies für das deutsche Innovationssystem? Innovationen finden in der Wirtschaft, in Unternehmen und auf Märkten statt. Der Staat kann sie nicht fordern, ja vielleicht nur schwer fördern. Schon in früheren Jahren wirkte die Forderung: „Es muss mehr innoviert werden!“ auf den einen oder anderen abgehoben. Nun also die Forderung: Es muss mehr und vor allem disruptiv innoviert werden.

Was ist die Rolle des Staates? Marianna Mazzucato hat zur Rolle des Staates ein interessantes Buch geschrieben „The Entrepreneurial State“. Der deutsche Titel lautet: „Das Kapital des Staates“. Offensichtlich tut sich in Deutschland selbst ein Verlag schwer, den Staat als unternehmerisch zu sehen. Mazzucato schreibt vom Staat als Unternehmer, der hohe Risiken eingeht und die Grundlagen für die wesentlichen Innovationen des 20. Jahrhunderts geschaffen hat. Zu Recht weist sie darauf hin, dass von der Eisenbahn über das Internet bis hin zu Pharma- und Nanoforschung der Staat die riskanten Ausgaben für die Forschung und die Ausbildung übernommen hat. Das gilt sicher auch für Deutschland. Nur welche Forschungsergebnisse dann von Unternehmen zu welchem Zeitpunkt aufgegriffen werden, darauf hat der Staat wenig Einfluss. Manche Ergebnisse werden nie erfolgreich aufgegriffen (z. B. Transrapid). Hier könnte ein der DARPA-Challenge vergleichbares Konzept greifen.

Dieses Förderformat der DARPA, die DARPA-Challenge, ist vermutlich ihr bekanntestes, wengleich hier nur ein Bruchteil des Budgets verwendet wird. Das Interessante bei einem solchen Wettbewerb ist, dass nicht die Forschungsthemen im Vordergrund stehen, sondern die sehr präzise Formulierung einer sehr ambitionierten Aufgabenstellung. Die DARPA wird sich zu diesem Zeitpunkt kaum mit der Frage befassen, wer die Projekte durchführen soll, noch befasst sie sich mit Details der Umsetzung (analog verfährt das BMBF bei seinen missionsorientierten Maßnahmen). Ausgelobt wird von

der DARPA lediglich ein höheres Preisgeld, das nach einem life-contest vergeben wird.

Zu gestalten ist jedoch auch eine Strategie oder Methode, wie die Gewinner dann motiviert werden, möglichst in Deutschland eine Innovation umsetzen.

Wäre ein Elektroauto, das einen vergleichbaren Preis wie ein Fahrzeug mit Verbrennungsmotor und vergleichbare Leistungen hätte, eine disruptive Innovation? Vermutlich schon. Tesla versucht dies. Die wirtschaftlichen und technischen Erfolge überzeugen jedoch nicht wirklich. Bislang ist mit großem unternehmerischen Mut viel Geld verbrannt worden. Dennoch wird dieses Experiment in den USA und nicht im Autoland Deutschland gewagt. Falls Tesla der Durchbruch gelingt, könnte die deutsche Automobilindustrie vor einem ähnlichen Problem stehen, wie die Kamera- und Uhrenindustrie in den 70er Jahren. Falls nicht, bleibt alles beim Alten und in den USA haben einige Investoren viel Geld verloren. Allerdings würde man einem deutschen Autobauer einen Wagen von der eingeschränkten Zuverlässigkeit eines Tesla wohl auch nachhaltig verübeln.

Auch in den USA sind Investitionen in innovative Technologieunternehmen übrigens nicht durchgängig und schon immer en vogue gewesen. Warren Buffet hätte die Chance gehabt bei der Gründung von Intel, als eine vergleichsweise geringe Investition von 2,5 Mio. Dollar benötigt wurde, mit einzusteigen. Er tat es nicht, weil er Technologieunternehmen durchaus misstraute, wie Alice Schroeder in ihrer Biographie über Buffet schreibt.<sup>10</sup> Es scheint daher auf jeden Fall richtig, wenn der Staat nicht aufhört, in riskante Projekte zu investieren, wenn der (volks-)wirtschaftliche oder gesellschaftliche Nutzen im Erfolgsfall nur groß genug ist. Jede Häme im Fall des Misserfolgs wäre jedenfalls fehl am Platze.

Wichtig, auch wenn es ordnungspolitisch schwierig ist, bleibt allerdings die Verwertungsfrage. Forschungsergebnisse, die mit deutschen Steuergeldern erzielt wurden, sollten auch zum Nutzen

der deutschen Volkswirtschaft und dann der europäischen verwertet werden – und dafür braucht es Unternehmer im eigenen Land.

Wenn man einen Projektträger leitet, steht man diesen Gedanken nachdenklich gegenüber, denn Projektträger verdienen ihr Geld bisher nicht mit einer DARPA. Auf der anderen Seite gilt, wer Innovation predigt, darf sich selbst nicht wegducken. Nur weil ein anderes Geschäftsmodell das eigene beeinträchtigt, macht Ablehnung keinen Sinn. Das gilt für die Industrie wie für alle Partner im Innovationssystem.

Was könnten wichtige Erfolgskriterien sein? Kann es disruptive Innovationen mit alten Bekannten in Industrie und Forschung geben, oder erfordern neue Lösungen neue Player und wie motiviert man diese? Zu diesen Fragen könnten Projektträger einiges beitragen, auch wenn sie möglicherweise nicht unmittelbar Teil der Lösung sind. Aber: Wer innovativ sein will, muss sich auch neben sein eigenes Geschäftsmodell stellen können oder innovative Ansätze als Chance zur Erweiterung seiner Geschäftstätigkeit verstehen.

### **Mindset für die Akteure im Innovationssystem**

Keine Angst vor Misserfolgen! Wenn das Ergebnis disruptiv sein soll, dann darf die Messlatte der Aufgabenstellung nicht niedrig liegen und dann ist Scheitern eine Option und kein Problem. Wenn die Aufgabe sehr herausfordernd ist, muss man neue Player zulassen, auch wenn sie das Risiko scheinbar erhöhen. Die Aufgabe, bessere Schreibmaschinen zu bauen, wurde auch nicht von der Feinmechanik in Verbindung mit Schreibmaschinenherstellern gelöst.

Auch wenn die Forschungsarbeiten viele Jahre in Anspruch nehmen können, muss Zeitdruck aufgebaut werden – sonst fehlt die Dynamik. Deshalb sollte man auch keine neuen Strukturen schaffen, die den Antrieb haben, sich zu verselbständigen und Dauerarbeitsverhältnisse bereitzustellen.

## Governance und Rahmenbedingungen für FuE-Projekte

Governance stellt den Ordnungsrahmen für die Leitung und Überwachung von Systemen dar. Sollen FuE-Projekte mit dem Ziel, disruptive Innovationen hervorzubringen, vorangetrieben werden, sollte man über einige Spielregeln nachdenken.

Die verantwortlichen Personen müssen für die Resultate verantwortlich sein. Eine hohe Flexibilität in der Vorgehensweise muss möglich sein: Jeder Ansatz, der sich als Irrweg erweist, muss sofort gestoppt werden können. Keine Partnereinrichtung und keine Person hat einen Anspruch, bis zum Schluss der Laufzeit dabei zu bleiben und das Budget auszuschöpfen. Die Mittel dürfen natürlich nur für das Vorhaben aufgewendet werden, ob dies aber in Unteraufträgen, Gehältern, Investitionen in Anlagen oder Dienstreisen erfolgt, sollte nicht einzeln genehmigt werden müssen. Das stellt erhebliche Herausforderungen an die Art der Finanzierung.

Die Steuerung der Forschungsarbeit sollte über Meilensteine erfolgen. Diese müssen so definiert sein, dass durch sie nicht das Controlling der Projektförderung durch die Hintertür zurückkehrt. Meilensteine sind als Zwischenresultate zu verstehen, die das Vertrauen stärken, dass das Ziel erreicht wird. Wenn eben dieses Vertrauen bei einem inhaltlich kompetenten Kontrollgremium verlorengeht, muss ein Abbruch jederzeit möglich sein. Ein solcher Abbruch sollte in keinem Fall als Versagen der Beteiligten gewertet, aber gut dokumentiert werden. Wichtig ist, dass auch aus Fehlversuchen gelernt wird.

### Regeln für die Finanzierung

Die Finanzierung von Forschung für disruptive Innovationen darf keine klassische Projektförderung sein! Vielmehr muss dies als ein Investment eines unternehmerisch handelnden Staates verstanden werden. Ein Investment erfolgt immer unter Risiko. Letztlich ist es im positiven Sinne eine Wette auf die Zukunft. Im Risiko liegt

allerdings eine große Übereinstimmung mit der Projektförderung, die ebenfalls Vorhaben mit erhöhtem Risiko finanziert.

Es kann deshalb auch keine Aufteilung des Budgets nach Jahren oder Kostenarten geben. Richtig ist: Wer das Geld des Steuerzahlers verwenden möchte, muss darüber Rechenschaft ablegen. Das Nähere regelt etwa die Bundeshaushaltsordnung. Auch an dieser Stelle wird man neue Wege gehen müssen, sonst wird zu viel Zeit mit der Rechtfertigung von Entscheidungen verbracht, oder – schlimmer noch – Entscheidungen werden nicht getroffen. Hier könnte man sich eine permanente Kostenevaluation vorstellen, indem ein Dritter eine ständige Rechnungsprüfung in Form einer Begleitung vornimmt. Geprüft wird nur, ob die Mittel für Personal eingesetzt werden, das an der Forschung beteiligt ist, und die Sachmittel für die Forschung verwendet werden. Vermutlich wird man auch die Regeln der öffentlichen Beschaffung nicht anwenden können. Es liegt viel in der Verantwortung der Forschenden. Die Details dieser Regeln müssen sorgfältig abgestimmt werden und die aktuelle Rechtslage müsste überprüft werden. Aber so ist das bei disruptiven Innovationen: Sie stören und sie brechen bestehende Regeln – schon in der Vorbereitung!

### Kommunikation als Teil der Herausforderung

Transparenz ist bei einem solchen Vorgehen von hoher Bedeutung, allerdings ohne wichtige Geheimnisse vor der Zeit zu offenbaren. Die Öffentlichkeit als Investor hat ein Recht auf Informationen über die Vorhaben und den gewählten Weg. Unternehmen, die mit den Ergebnissen später eine disruptive Innovation gestalten sollen, müssen permanent über den Fortschritt informiert werden und ggf. zur Mitarbeit eingeladen werden.

Die Kommunikation zu solchen Vorhaben muss sich als spannende Geschichte darstellen, um die Mitte der Gesellschaft zu erreichen und eine positive Grundhaltung zu befördern. Dies

ist durchaus eine Aufgabe für die Verantwortlichen der Forschungsarbeit.

### Fazit

Geld ist nicht alles! Die Bedingungen für seine Verwendung entscheiden über seinen Wert. Der Trade-off zwischen dem Erfordernis zur Kontrolle der Vorgehensweise und der erforderlichen schnellen Flexibilität für die Wirksamkeit eines Investments ist die Herausforderung.

Wenn ein Innovationssystem disruptive Innovationen begünstigen soll, muss es sich selbst zum Teil neu erfinden. Das bedeutet eine sehr herausfordernde Aufgabe für die Gestalter in Legislative, Exekutive und für Dienstleister, die nicht nur an die Akquisition neuer Aufträge denken, sondern an das große Ziel. Die VDI/VDE-IT steht dafür seit ihrer Gründung zur Verfügung.

---

<sup>1</sup> F. A. Brockhaus (1970): Brockhaus Studienausgabe. Wiesbaden, Bd. 10, S. 555.

<sup>2</sup> OECD (1999): Managing National Innovation Systems, S. 23. [http://echo.iat.sfu.ca/library/oecd99\\_managing\\_National\\_IS.pdf](http://echo.iat.sfu.ca/library/oecd99_managing_National_IS.pdf) [Zugriff am 7.5.2018].

<sup>3</sup> Defense Advanced Research Projects Agency

z. B. EFI-Expertenkommission Forschung und Innovation (2008):

EFI-Gutachten. Berlin: EFI, S. 35. [www.e-fi.de/fileadmin/Gutachten\\_2008/EFI\\_Gutachten\\_2008.pdf](http://www.e-fi.de/fileadmin/Gutachten_2008/EFI_Gutachten_2008.pdf) [Zugriff 7.5.2018].

<sup>5</sup> EFI – Expertenkommission Forschung und Innovation (2018): Gutachten zu Forschung, Innovation und technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands 2018, Berlin: EFI, S. 62. [www.e-fi.de/fileadmin/Gutachten\\_2018/EFI\\_Gutachten\\_2018.pdf](http://www.e-fi.de/fileadmin/Gutachten_2018/EFI_Gutachten_2018.pdf) [Zugriff am 7.5.2018].

<sup>6</sup> [www.darpa.mil/Timeline/index.html](http://www.darpa.mil/Timeline/index.html)

<sup>7</sup> [www.darpa.mil/about-us/about-darpa](http://www.darpa.mil/about-us/about-darpa)

<sup>8</sup> [www.darpa.mil/our-research](http://www.darpa.mil/our-research)

<sup>9</sup> [www.darpa.mil/news-events/spectrum-collaboration-challenge-sc2](http://www.darpa.mil/news-events/spectrum-collaboration-challenge-sc2)

<sup>10</sup> Schroeder, Alice (2008): Warren Buffet: Das Leben ist wie ein Schneeball. München. vgl. S. 430.

# X-Strahlen: Wie die Entdeckung Wilhelm Conrad Röntgens die moderne Medizin prägte

Stephan Krumm

Die Entdeckung der Röntgenstrahlung bzw. X-Strahlen im Jahr 1895 markierte in vielerlei Hinsicht den Beginn einer bemerkenswerten Entwicklung: Die bewusste Nicht-Patentierung der Technologie, die rasante Verbreitung und Kommerzialisierung, die sorglose Nutzung ohne Folgenabschätzung und nicht zuletzt der maßgebliche Einfluss auf die Diagnostik und medizinische Behandlung waren bis zu diesem Zeitpunkt für die Medizintechnik beispiellos.

Erstmals war es Ärztinnen und Ärzten möglich, ohne invasive Maßnahmen das Innere des lebenden Menschen umfassend in die Diagnose einzubeziehen. Sowohl durch die Weiterentwicklung der Röntgentechnik selbst wie beispielsweise die Computertomographie als auch durch äußere technologische Fortschritte wurden Hersteller und Anwender immer wieder vor neue Herausforderungen gestellt, etwa durch Digitalisierung und Vernetzung. Dabei haben die heute in der radiologischen Diagnostik eingesetzten Verfahren nur noch das physikalische Grundprinzip mit den ersten Röntgengeräten gemein. Zunehmend erreichen auch Entwicklungen aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz die Radiologie.

Der Beitrag zeigt anhand der Röntgentechnik, wie sich auch vermeintlich erprobte Technologien weiterentwickeln und Hersteller Innovationen in Produkte integrieren müssen, um wettbewerbsfähig zu bleiben. Zugleich sollen die Gefahren zu schneller und unbedachter Technikadaption und die soziotechnischen Folgen

moderner Bildgebung auf die Behandlung von Patientinnen und Patienten beleuchtet werden.

## Die Entdeckung der X-Strahlen: Revolution per Zufall

Am 8. November 1895 machte Wilhelm Conrad Röntgen in seinem Labor an der Universität Würzburg die Entdeckung, die – zumindest im deutschsprachigen Raum – seitdem seinen Namen trägt. Per Zufall entdeckte er beim Experimentieren mit Kathodenstrahlröhren die später auf Vorschlag eines Kollegen nach ihm benannte Röntgenstrahlung.<sup>1</sup> Es folgen arbeitsreiche Wochen mit zahlreichen Versuchen. Noch im gleichen Jahr fertigte er das erste Röntgenbild der Hand seiner Ehefrau Bertha an. Es ist die Geburtsstunde der Radiologie. Bereits am 6. Januar 1896 erscheint in der Londoner Tageszeitung „The Daily Chronicle“ eine kurze Notiz von dessen Wiener Korrespondenten mit dem Titel „Remarkable Scientific Discovery“, in dem die Eigenschaften und die Funktionsweise des Versuchsaufbaus von Röntgen beschrieben werden. Wie schnell sich die Nachricht der Entdeckung verbreitete, zeigt sich auch daran, dass Röntgen bereits am Abend des 12. Januar 1896 eine Vorführung seiner Entdeckung vor der kaiserlichen Familie, Vertretern des Hochadels und ranghohen Militärs im Schloss zu Berlin abhielt. Das Potenzial der Entdeckung im medizinischen Bereich wurde schon sehr früh erkannt.<sup>2</sup>

Die ersten medizinisch-wissenschaftlichen Meldungen zur Entdeckung wurden bereits wenig

später in der „Deutschen medicinischen Wochenschrift“ veröffentlicht. Im September 1897 erschien gar die erste deutschsprachige radiologische Fachzeitschrift „Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen“.<sup>3</sup> Im Jahr 1896 begannen die Firmen Siemens & Halske sowie Reiniger, Gebbert & Schall (später in Siemens aufgegangen) die Fabrikation von Röntgenröhren und -apparaten.<sup>4</sup>



Abb. 1: Frühe Röntgenaufnahme einer menschlichen Hand mit Ring

Aufgrund der wenige Jahrzehnte zuvor erstmalig eingerichteten interkontinentalen Telegrafentelegraphenleitungen verbreitete sich die Entdeckung innerhalb kurzer Zeit über den Globus. Gleichzeitig verzichtete Röntgen darauf, die Ergebnisse seiner Forschungen zurück zu halten oder patentieren zu lassen. Sein Ziel war es, den Menschen die Vorteile der Technologie möglichst schnell zugänglich zu machen, sodass diese Nutzen stiften konnte. Auch aufgrund des vergleichsweise simplen Versuchsaufbaus begannen weltweit zeitnah Forschungsaktivitäten im Bereich der Röntgentechnik. Röntgen selbst

wandte sich vergleichsweise schnell anderen Forschungsthemen zu.<sup>5</sup>

Die frühe Euphorie rund um die Technologie führte allerdings dazu, dass Betrachtungen der Sicherheitsrisiken zunächst kaum eine Rolle spielten. Im Jahr 1896 wurden zwar die ersten Strahlenschäden und Nebenwirkungen dokumentiert, wie lokaler Haarausfall, Hautrötung, Dermatitis, die Langzeitfolgen für die Gesundheit wurden jedoch lange Zeit vernachlässigt.<sup>6</sup> Frühe Röntengeräte benötigten bei ähnlichen Belichtungsverhältnissen im Vergleich zu modernen Geräten bis zu 1.500 Mal mehr Strahlung bei einer Belichtungsdauer von ca. 90 Minuten. Bei heutigen Geräten liegt diese bei wenigen Millisekunden.<sup>7</sup>

Wenngleich die medizinische Anwendung bereits früh im Fokus der Entwicklung lag, wurde das Potenzial der Technologie auch für weitere Felder erkannt, wie etwa zerstörungsfreie Materialprüfung oder Sicherheitstechnik.

### Die Reifung der Röntgentechnik

Die Entdeckung und Nutzung der Röntgenstrahlung kann ohne Zweifel als eine der größten medizintechnischen (Sprung-)Innovationen bezeichnet werden und hat die Behandlung von Patientinnen und Patienten nachhaltig verändert. Vor dieser Entwicklung bestand für Ärztinnen und Ärzte keine umfassende Möglichkeit, erkrankte Menschen ohne sichtbare äußere Beschwerden ohne invasive Verfahren zu untersuchen und die Beschwerden entsprechend adäquat zu diagnostizieren.<sup>8</sup>

Nach der Verbreitung der Entdeckung wurden in rasantem Tempo technische Verbesserungen, wie die Nutzung von elektrolytischen Stromunterbrechern oder die Blendentechnik eingeführt<sup>9</sup>, die auch dazu beitrugen, dass die Technologie während des 1. Weltkriegs flächendeckend eingesetzt wurde.<sup>10</sup> Erstmals konnten Schussfrakturen und Steckschüsse sichtbar gemacht werden. Anschließend entwickelten sich wie die einfach zu transportierende Röntgenkugel oder Bildverstärker trugen zur raschen Verbreitung bei.<sup>11</sup>

Die Röntgentechnik bildete die Grundlage für die moderne diagnostische Bildgebung. So wurden Anfang der 1970er Jahre die ersten Computertomographen (CT) entwickelt. Die ersten kommerziellen Geräte wurden 1972 auf dem Markt eingeführt.<sup>12</sup> Auch diese Technologie fand in Krankenhäusern innerhalb weniger Jahre eine starke Verbreitung. Herkömmliches Projektionsröntgen führt dazu, dass sogenannte Schattenbilder entstehen. Hierbei verdecken sich Organe gegenseitig und Strukturen sind nicht eindeutig zuordbar.<sup>13</sup> Dieses Problem umgehen CT durch die Erstellung von Schnittbildern.

Ebenfalls Anfang der 1970er Jahre startete der ähnlich erfolgreiche Siegeszug der Magnetresonanztomographie (MRT). Hierbei wird auf die Nutzung von Gesundheit gefährdender Röntgenstrahlung oder anderer ionisierender Strahlung verzichtet und mit starken elektromagnetischen Feldern gearbeitet. Somit basiert die Technologie zwar auf einem grundsätzlich anderen physikalischen Prinzip, ist jedoch für die diagnostische Bildgebung einer der wichtigsten Meilensteine und wird daher im Folgenden ebenfalls berücksichtigt. Wenngleich CT und MRT wesentlich komplexere technische Verfahren und Konstruktionen zugrunde liegen,

konnten sich auch diese Technologien schnell im Versorgungsgeschehen durchsetzen.

Während der letzten Jahrzehnte standen die bildgebende Diagnostik im Allgemeinen und die Röntgentechnik im Speziellen mehreren großen technischen Herausforderungen gegenüber, beispielsweise Reduktion der Strahlenexposition und Kontrasterhöhung der Aufnahmen. Eine der bisher vermutlich folgenreichsten Änderungen bestand in der Digitalisierung der Röntgentechnik. Zwar war die Nutzung von Computern bereits Grundvoraussetzung für die CT-Technologie, die Übertragung auf das klassische Projektionsröntgen sowie die entsprechende flächendeckende Kommerzialisierung fanden allerdings erst Jahre später statt.

Die bildgebende Diagnostik war damit ein Ausgangspunkt für die Digitalisierung der Dokumentation des gesamten Krankenhauses. Während analoge Röntgenaufnahmen in langen Regalen archiviert wurden, mussten für die digitalen Informationen adäquate Speichermöglichkeiten gefunden werden. Dies führte zur Etablierung von Röntgeninformationssystemen (RIS) und digitalen Bildarchivierungssystemen (PACS: Picture Archiving and Communication System).<sup>16</sup>

## i

### Was ist ein CT? Was ist ein MRT?

Die Computertomographie bzw. Computertomografie, Abkürzung CT, ist ein bildgebendes Verfahren in der Radiologie. Mittels computergestützten Berechnungen werden bei der CT auf Basis der Absorptionswerte von durch den Körper tretenden Röntgensignalen Schnittbilder erzeugt. Durch die rechnerbasierte Auswertung einer Vielzahl von Röntgenbildern, die aus verschiedenen Richtungen aufgenommen werden, können Schnittbilder rekonstruiert und sogar 3D-Modelle erzeugt werden.<sup>14</sup>

Die Magnetresonanztomographie, abgekürzt MRT oder MR, ist ebenfalls ein bildgebendes Verfahren. Das grundlegende Funktionsprinzip basiert auf dem physikalischen Aspekt der Kernspinresonanz. Mittels der MRT lassen sich ebenfalls Schnittbilder und 3D-Modelle erzeugen. MRT bietet insbesondere bei weichen Körperstrukturen einen besseren Kontrast, wobei Patientinnen und Patienten keiner ionisierenden Strahlung ausgesetzt sind.<sup>15</sup>

## Radiologie an Dr. Watson: Bitte übernehmen Sie!

Die bildgebende Diagnostik war und ist auch in einem weiteren technologischen Trend ein Vorreiter: der Anwendung Künstlicher Intelligenz (KI). Bereits in den 1970er Jahren wurden erste Publikationen zum Einsatz von CAD-Systemen veröffentlicht (CAD: computer-aided detection oder computer aided diagnosis). Diese unterstützen die Ärztinnen und Ärzte bei der Befundung von digitalen gespeicherten Aufnahmen. Insbesondere im Bereich der CT- und MRT-Auswertung ist diese Unterstützung notwendig, da die Bilddaten einer Untersuchung mehrere Tausend Einzelaufnahmen umfassen können. Die manuelle Befundung durch das Fachpersonal wäre nicht nur sehr zeitaufwändig, sondern erfordert gleichzeitig ein hohes Maß an Konzentration. CAD-Systeme dienen der Analyse der Aufnahmen sowie der Identifikation von Auffälligkeiten. Entsprechende Systeme werden bereits seit einigen Jahren im klinischen Alltag angewendet.

Künstliche Intelligenz im Sinne der aktuell öffentlich häufig diskutierten Deep Learning Algorithmen, bei denen der Computer anhand eines Trainingsdatensatzes einen entsprechenden Analyse-Algorithmus selbstständig optimiert, sind aktuell jedoch vorwiegend in Forschungsprojekten und Prototypen zu finden. Nichtsdestotrotz ist nach aktuellem Stand davon auszugehen, dass Patientinnen und Patienten in der bildgebenden Diagnostik als eine der ersten Gruppen von den neuen KI-Technologien profitieren werden. Die potenziellen technischen Möglichkeiten zur Unterstützung der Ärztinnen und Ärzte beschränken sich dabei nicht nur dar-

auf Auffälligkeiten zu markieren. Denkbar ist die Möglichkeit, automatisiert Volumenmessungen durchzuführen oder die Konsistenz und Struktur von Läsionen zu bestimmen. Außerdem könnte KI die Analyse des Krankheitsverlaufs erleichtern, indem etwa relevante Schnittbilder automatisiert identifiziert und ausgerichtet sowie im Zeitverlauf verglichen werden.

Ein weiteres denkbare Einsatzfeld von KI ist die Ermittlung und Reduktion der zur Untersuchung notwendigen Strahlungs-dosis anhand der individuellen Patientencharakteristika.<sup>18</sup> Technische Innovationen in diesem Feld kommen neben etablierten Medizintechnikunternehmen wie Siemens oder General Electric auch von großen IT-Unternehmen wie IBM mit ihrer KI namens „Watson“. Im Zuge der Entwicklungen rund um das Thema Künstliche Intelligenz drängen zumindest für den Softwarebereich zunehmend neue Anbieter auf den Markt, der in dieser Hinsicht vielfach durch die Produktideen von Start-ups geprägt wird.<sup>19</sup>

## Wettbewerb treibt Innovation

Der Markt für technische Geräte zur bildgebenden Diagnostik weist eine oligopolistische Struktur auf und wird durch die Hersteller Siemens, General Electric (GE) und Philips dominiert, die zusammen einen Marktanteil von nahezu zwei Drittel erreichen.<sup>20</sup> Siemens bzw. dessen Vorgängerfirmen<sup>21</sup> sowie GE<sup>22</sup> sind bereits seit den frühen Anfängen der Röntgentechnologie Ende der 1890er Jahre in diesem Bereich aktiv. Auch Philips kann auf eine lange Historie zurückblicken und produzierte bereits in den 1910er Jahren erste Geräte.<sup>23</sup> Aufgrund

### i

Röntgen hilft beim Schuhkauf: Unter dem Pedoskop, auch bekannt als Schuh-Fluoroskop, konnten Kundinnen und Kunden bis in die 1970er Jahre mittels Röntgenaufnahmen Sitz und Passform von Schuhen überprüfen. Insbesondere beim Schuhkauf für Kinder war die Anwendung beliebt. Ursprünglich in den 1920er Jahren entwickelt, dauerte es einige Jahrzehnte, bis die gesundheitlichen Gefahren zu einem Verbot der Anwendung in Schuhgeschäften führten. In Deutschland geschah dies Anfang der 1970er Jahre.<sup>17</sup>

der langen Erfahrung und des Entwicklungsvorsprungs der etablierten Hersteller weist der Markt der bildgebenden Verfahren sehr hohe Markteintrittsbarrieren auf, insbesondere für Großgeräte wie CT oder MRT. Zum einen ist zur Entwicklung der komplexen Geräte erhebliches Hard- und Software Know-how notwendig. Zum anderen werden die Geräte vor allem in einem sehr kostensensitiven und schwer zu erreichenden Markt – der stationären Versorgung im Krankenhaus – verkauft und betrieben. Dies führt dazu, dass neue Wettbewerber erhebliche Investitionen tätigen müssten, um zu ernstzunehmenden Konkurrenten zu werden. Trotz der bestehenden Marktmacht erfolgte eine stetige Weiterentwicklung der technischen Verfahren. Gleichzeitig hat diese jedoch auch dazu geführt, dass die Hersteller relativ geschlossene Systeme und proprietäre Lösungen angeboten haben und weiterhin anbieten, womit ein barrierefreier Umstieg zwischen einzelnen Systemen erschwert wird.

### Soziotechnische Folgen moderner Bildgebung

Nicht nur für Ärztinnen und Ärzte, sondern auch für Patientinnen und Patienten ist die bildgebende Diagnostik zum festen Bestandteil vieler medizinischer Behandlungen geworden. Statistisch betrachtet wird jeder Mensch in Deutschland pro Jahr 1,7 Mal einer Röntgenanwendung unterzogen.<sup>24</sup> Davon sind ca. 40 Prozent der Fälle auf zahnmedizinische Anwendungen zurückzuführen. Im Zeitraum von 2007 bis 2014 nahmen insbesondere Mammographien (35 Prozent) und CT-Untersuchungen (40 Prozent) zu; gleiches gilt für MRT-Untersuchungen (55 Prozent), bei denen jedoch keine schädliche Strahlung erzeugt wird.<sup>25</sup> Die Zunahme an dosisintensiven Untersuchungen, insbesondere beim CT, hat auch zur Folge, dass trotz der Fortschritte in der Röntgentechnik in den vergangenen 30 Jahren, die zu einer erheblichen Reduktion der Strahlendosis der meisten Röntgenanwendungen geführt haben,

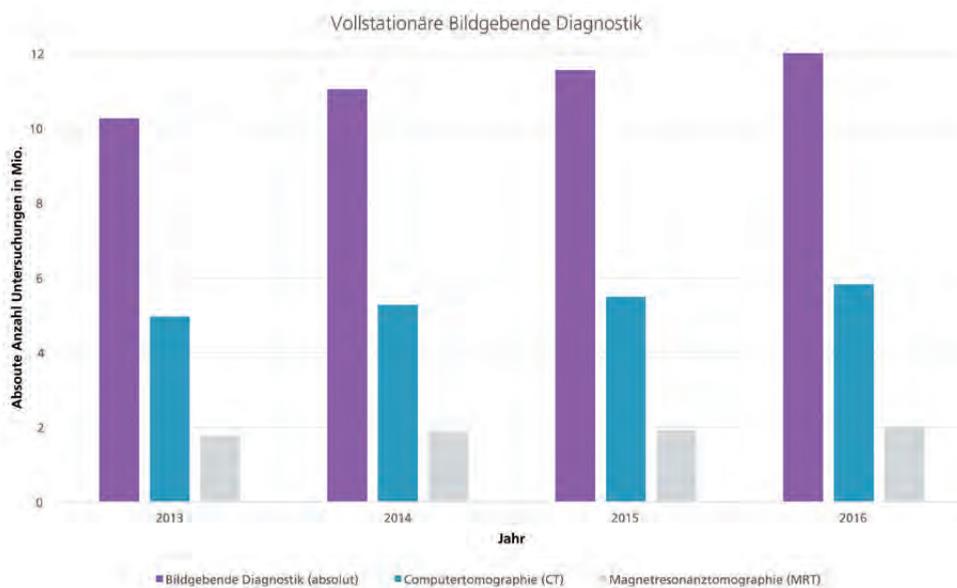


Abb. 2: Vollstationäre Bildgebende Diagnostik

Quelle: eigene Auswertung nach Statistisches Bundesamt (2014 – 2017): Fallpauschalenbezogene Krankenhausstatistik (DRG-Statistik) Diagnosen, Prozeduren, Fallpauschalen und Case Mix der vollstationären Patientinnen und Patienten in Krankenhäusern. [www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Gesundheit/Krankenhaeuser/FallpauschalenKrankenhaus2120640167004.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Gesundheit/Krankenhaeuser/FallpauschalenKrankenhaus2120640167004.pdf?__blob=publicationFile) [Zugriff am 23.4.2018].

die mittlere Strahlenexposition zunimmt. Circa 9 Prozent der Röntgenanwendungen entfallen auf CT-Untersuchungen und sind damit gleichzeitig für 65 Prozent der kollektiven effektiven Strahlendosis verantwortlich.<sup>26</sup>

Eine Abschwächung des Trends zu mehr Bildgebung z. B. im vollstationären Bereich ist u. a. aufgrund des zunehmenden Anteils der älteren Bevölkerung derzeit nicht erkennbar (siehe Abbildung 2). Wie in Abbildung 3 zu erkennen ist, werden in der Bevölkerungsgruppe der 60- bis 80-jährigen besonders häufig entsprechende Untersuchungen durchgeführt.

Auch wenn die Gefahren zu häufiger radiologischer Untersuchungen seit Jahrzehnten gut erforscht sowie in der Breite bekannt sind und sich der vergleichsweise sorglose Umgang mit Röntgenstrahlung gelegt hat, so stellt sich weiterhin die Frage, ob alle Untersuchungen tatsächlich notwendig sind.

Kritisiert wird beispielsweise, dass teilweise Doppeluntersuchungen oder nicht notwendige Diagnostik durchgeführt werden. So hat sich der Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung im Jahr 2015 mit der Frage auseinandergesetzt, ob technischer Fortschritt im Gesundheitswesen eine Quelle für Kostensteigerungen oder eine Chance für Kostensenkungen ist und hierfür näher den Einsatz von MRT bei Rückenschmerzen untersucht. Da MRT für eine Vielzahl von Krankheitsbildern zusätzliche Informationen liefern kann, kam es in den vergangenen Jahrzehnten zu einer starken Indikations- und Anwendungsausweitung. MRT werden jedoch häufig auch in Situationen angewandt, in denen keine ernsthafte Erkrankung vermutet wird, wie etwa bei Kreuzschmerzen. Dies ist einer der Gründe, warum sich die MRT zu einem entscheidenden Kostentreiber entwickelt hat.<sup>27</sup> Gleiches gilt für die Untersuchung von Kreuzschmerzen mittels CT. Allerdings sind hierbei neben den Kosten

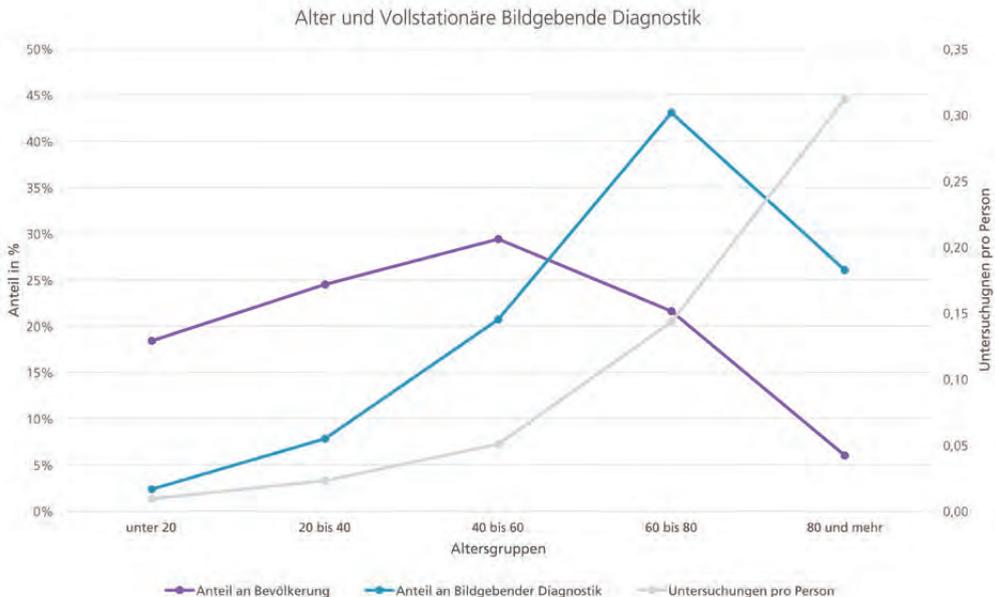


Abb. 3: Alter und vollstationäre Bildgebende Diagnostik

Quelle: eigene Auswertung nach Statistisches Bundesamt (2017): Staat & Gesellschaft - Bevölkerungsstand - Bevölkerung - Statistisches Bundesamt (Destatis). [www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/Tabellen/\\_lrbev01.html](http://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/Tabellen/_lrbev01.html) [Zugriff am 23.4.2018].

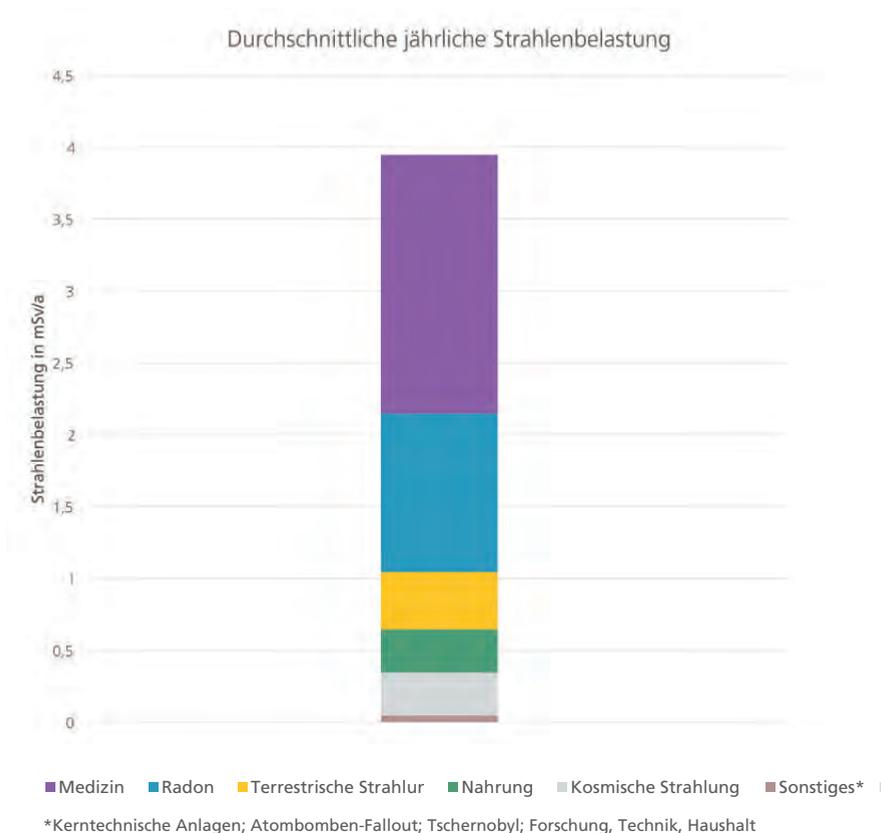


Abb. 4: Durchschnittliche jährliche Strahlenbelastung nach Strahlenquellen

Quelle: BfS (2016): Strahlenschutz Konkret. Röntgendiagnostik – Nutzen und Risiken. Hg. v. Bundesamt für Strahlenschutz

insbesondere auch die gesundheitlichen Risiken durch die Röntgenstrahlung zu berücksichtigen.<sup>28</sup>

Die hohen Kosten entstehen nicht nur aufgrund der enormen Anfangsinvestitionen bei der Anschaffung, sondern auch durch den verhältnismäßig hohen Betriebs- und Personalaufwand, der zur Nutzung einer CT- oder MRT-Anlage sowie der anschließenden Befundung notwendig ist. Die technische Anwendung von Röntgenstrahlung beschränkt sich jedoch nicht nur auf die diagnostische Bildgebung. Sie wird beispielsweise in der Strahlentherapie zur Krebsbehandlung eingesetzt.

### Fazit

Die Entwicklung der Röntgentechnologie blickt auf eine mehr als 120-jährige Historie zurück. Sie war zum einen selbst Ausgangspunkt für zahlreiche technische Innovationen und Optimierungen, wie Weiterentwicklung des herkömmlichen Röntgens, Computertomographie oder reduzierte Strahlenexposition, und gleichzeitig zahlreichen externen technischen Umwälzungen, wie Digitalisierung, Vernetzung im Krankenhaus, Telemedizin und künstliche Intelligenz, ausgesetzt. Dies hatte zur Folge, dass sich selbst marktführende Hersteller immer wieder auf neue technische Herausforderungen einstellen und ihre Produkte kontinuierlich weiterentwickeln mussten, um wettbewerbsfähig zu bleiben.

Obwohl diese Entwicklungen immer wieder sehr deutliche Mehrwerte für Patientinnen und Patienten gebracht haben, hat sich das grundlegende physikalische Prinzip nicht verändert. Die Bedeutung der bildgebenden Diagnostik ist trotz immer wieder öffentlich artikulierter

Kritikpunkte ungebrochen. Insbesondere in Anbetracht des demographischen Wandels ist nicht davon auszugehen, dass sich das stetige Wachstum der radiologischen Anwendungen in den nächsten Jahren abschwächt oder gar umkehrt.

- <sup>1</sup> Riechmann, J. (2014): Der Einfluss der Entdeckung der Röntgenstrahlen auf die Diagnostik und Therapie in der Urologie. Die erste Epoche von den Anfängen bis zur retrograden Harntraktdarstellung. Medizinischen Hochschule Hannover. Hannover. <https://d-nb.info/981085857/34> [Zugriff am 23.4.2018].
- <sup>2</sup> Kütterer, G. (2005): Ach, wenn es doch ein Mittel gäbe, den Menschen durchsichtig zu machen wie eine Qualle! Die Röntgentechnik in ihren ersten beiden Jahrzehnten - ein besonders faszinierendes Stück Medizin- und Technikgeschichte, dargestellt in Zitaten. Norderstedt: Books on Demand.
- <sup>3</sup> ebd. Kütterer, G. (2005)
- <sup>4</sup> Siemens AG (2016): Hintergrund-Information: Die Meilensteine der Medizintechnik-Geschichte von Siemens. Hg. v. Siemens AG Communications and Government Affairs. München. [www.siemens.com/press/pool/de/events/2014/healthcare/2014-05-medmuseum/hintergrund-medmuseum-d.pdf](http://www.siemens.com/press/pool/de/events/2014/healthcare/2014-05-medmuseum/hintergrund-medmuseum-d.pdf) [Zugriff am 23.4.2018].
- <sup>5</sup> Knopp, G. (2017): Die Sternstunden der Deutschen: Edel Elements.
- <sup>6</sup> swissradiology consulting (2017): Geschichte des Röntgen - Radiologie24. [www.radiologie24.ch/radiologie-mediathek/lexika-radiologie24/kurze-geschichte-der-radiologie/roentgen\\_1895-1900](http://www.radiologie24.ch/radiologie-mediathek/lexika-radiologie24/kurze-geschichte-der-radiologie/roentgen_1895-1900) [Zugriff am 4.4.2018].
- <sup>7</sup> Kemerink, M.; Dierichs, T. J.; Dierichs, J.; Huynen, H. J. M.; Wildberger, J. E.; van Engelshoven, J. M. A.; Kemerink, G. J. (2011): Characteristics of a first-generation x-ray system. In: *Radiology* 259 (2), S. 534–539. DOI: 10.1148/radiol.11101899.
- <sup>8</sup> Riechmann, J. (2014): Der Einfluss der Entdeckung der Röntgenstrahlen auf die Diagnostik und Therapie in der Urologie. Die erste Epoche von den Anfängen bis zur retrograden Harntraktdarstellung. Medizinischen Hochschule Hannover. Hannover. <https://d-nb.info/981085857/34> [Zugriff am 23.4.2018].
- <sup>9</sup> Albers-Schönberg, H. (2008): Vor hundert Jahren. Die Entwicklung und der derzeitige Stand der Roentgentechnik. In: *Zeitschrift für Evidenz, Fortbildung und Qualität im Gesundheitswesen* 102 (2), S. 117–119. DOI: 10.1016/j.zefq.2008.02.015.
- <sup>10</sup> Ruisinger, M. M. (o. J.): Röntgenbilder im Ersten Weltkrieg. Hg. v. Deutsches Medizinhistorische Museum. [www.drg.de/de-DE/1666/roentgenbilder-im-ersten-weltkrieg](http://www.drg.de/de-DE/1666/roentgenbilder-im-ersten-weltkrieg) [Zugriff am 4.4.2018].
- <sup>11</sup> Siemens AG (2016): Hintergrund-Information: Die Meilensteine der Medizintechnik-Geschichte von Siemens. Hg. v. Siemens AG Communications and Government Affairs. München. [www.siemens.com/press/pool/de/events/2014/healthcare/2014-05-medmuseum/hintergrund-medmuseum-d.pdf](http://www.siemens.com/press/pool/de/events/2014/healthcare/2014-05-medmuseum/hintergrund-medmuseum-d.pdf) [Zugriff am 23.4.2018].
- <sup>12</sup> Kramer, M.; Gomerich, H. (2009): CT- und MRT-Atlas. Transversalanatomie des Hundes, 12 Tabellen. Hg. v. Michael Mihaljevic. Stuttgart: Parey.
- <sup>13</sup> Dössel, O. (2016): Bildgebende Verfahren in der Medizin. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- <sup>14</sup> Buzug, T. M. (2004): Einführung in die Computertomographie. Mathematisch-physikalische Grundlagen der Bildrekonstruktion. Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-18593-9>.
- <sup>15</sup> Hombach, V.; Barkhausen, J. J. (2009): Kardiovaskuläre Magnetresonanztomographie. Atlas und DVD ; mit 28 Tabellen. Stuttgart: Schattauer. [http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?id=3097086&prov=M&dok\\_var=1&dok\\_ext=htm](http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?id=3097086&prov=M&dok_var=1&dok_ext=htm) [Zugriff am 4.4.2018].
- <sup>16</sup> Wiley, G. (o. J.): The Prophet Motive: How PACS Was Developed and Sold - Axis Imaging News. Hg. v. Decisions in Axis Imaging News. [www.axisimagingnews.com/2005/05/the-prophet-motive-how-pacs-was-developed-and-sold/](http://www.axisimagingnews.com/2005/05/the-prophet-motive-how-pacs-was-developed-and-sold/) [Zugriff am 24.4.2018].
- <sup>17</sup> Spitzer, M. (2012): Das Pedoskop: Aus der Geschichte kann man lernen! In: *Nervenheilkunde* (4), S. 203–207. <https://thieme-connect.de/products/ejournals/abstract/10.1055/s-0038-1628160> [Zugriff am 23.4.2018].
- <sup>18</sup> Fornell, D. (2017): Examples of How Artificial Intelligence Will Improve Medical Imaging. Hg. v. itn imaging technology news. [www.itnonline.com/videos/video-examples-how-artificial-intelligence-will-improve-medical-imaging](http://www.itnonline.com/videos/video-examples-how-artificial-intelligence-will-improve-medical-imaging) [Zugriff am 24.4.2018].
- <sup>19</sup> Harvey, H. (2017): The A-Z Guide to radiology AI companies showcasing at RSNA 2017. <https://medium.com/@DrHughHarvey/the-a-z-guide-to-radiology-ai-companies-showcasing-at-rsna-2017-8c9976db90df> [Zugriff am 23.4.2018].
- <sup>20</sup> Statista (2017): Top 10 Medizintechnikunternehmen nach weltweiten Marktanteilen im Segment bildgebende Diagnostik 2016 und 2022 | Statistik. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/332494/umfrage/fuehrende-medizintechnikunternehmen-nach-weltweiten-marktanteilen-im-segment-bildgebende-diagnostik> [Zugriff am 11.4.2018].
- <sup>21</sup> Siemens AG (2016): Hintergrund-Information: Die Meilensteine der Medizintechnik-Geschichte von Siemens. Hg. v. Siemens AG Communications and Government Affairs. München. [www.siemens.com/press/pool/de/events/2014/healthcare/2014-05-medmuseum/hintergrund-medmuseum-d.pdf](http://www.siemens.com/press/pool/de/events/2014/healthcare/2014-05-medmuseum/hintergrund-medmuseum-d.pdf) [Zugriff am 23.4.2018].
- <sup>22</sup> Kellner, T. (2014): Seeing the Unseen: The Past 100 Years and the Future of Medical Imaging. Hg. v. General Electric. [www.ge.com/reports/post/104081928440/seeing-the-unseen-the-past-100-years-and-the](http://www.ge.com/reports/post/104081928440/seeing-the-unseen-the-past-100-years-and-the) [Zugriff am 23.4.2018].
- <sup>23</sup> Philips (o. J.): History of X-ray. Hg. v. Philips. [www.philips.com/consumerfiles/newscenter/main/shared/assets/Downloadablefile/FACT\\_SHEET\\_X-ray\\_history.pdf](http://www.philips.com/consumerfiles/newscenter/main/shared/assets/Downloadablefile/FACT_SHEET_X-ray_history.pdf) [Zugriff am 23.4.2018].
- <sup>24</sup> Datenjahr 2014
- <sup>25</sup> Bundesamt für Strahlenschutz (2018): Röntgendiagnostik: Häufigkeit und Strahlenexposition. Hg. v. Bundesamt für Strahlenschutz. [www.bfs.de/DE/themen/ion/anwendung-medizin/diagnostik/roentgen/haeufigkeit-exposition.html](http://www.bfs.de/DE/themen/ion/anwendung-medizin/diagnostik/roentgen/haeufigkeit-exposition.html) [Zugriff am 11.4.2018].
- <sup>26</sup> Bundesamt für Strahlenschutz (2016): Strahlenschutz Konkret. Röntgendiagnostik - Nutzen und Risiken.
- <sup>27</sup> Deutscher Bundestag (2015): Technischer Fortschritt im Gesundheitswesen: Quelle für Kostensteigerungen oder Chance für Kostensenkungen? <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/18/042/1804283.pdf> [Zugriff am 4.4.2018].
- <sup>28</sup> Gilbert, F. J.; Grant, A. M.; Gillan, M. G. C.; Vale, L. D.; Campbell, M. K.; Scott, N. W. et al. (2004): Low back pain. Influence of early MR imaging or CT on treatment and outcome-multicenter randomized trial. In: *Radiology* 231 (2), S. 343–351. DOI: 10.1148/radiol.2312030886.

# Der neue Pflegebedürftigkeitsbegriff

Aufbruch in eine digital unterstützte Pflege (Oder wusste Tocotronic damals schon etwas, was wir noch nicht wussten?)

Maxie Lutze ▪ Markus Adelberg

Als die Hamburger-Schule Band Tocotronic 1995 sloganhaft „Digital ist besser“ sangen, beschrieben Musikjournalisten die Klänge als „einfach“, ja geradezu „dilettantisch“. Den Stand der Digitalisierung vor 23 Jahren im Vergleich zu heute haben diese Attribute ganz sicher gut wiedergegeben. Heute überholt, war die CD als digitales Medium damals noch relativ neu.

Als die VDI/VDE-IT 2010 die ersten Schritte in Sachen digitale und technische Assistenzsysteme für ältere Menschen und kurz danach für Menschen mit Pflegebedarf machte, hatte sich in der Alten- sowie Kranken- und Gesundheitspflege auch noch nicht viel an dem Stand der Digitalisierung geändert.

## Game Changer – Menschen im Mittelpunkt

Technologien haben sich im Laufe der Jahre dramatisch weiterentwickelt. Die tiefgreifenden Branchenveränderungen im technologischen Bereich haben eins gemein: Sie zeichnen sich durch eine zunehmende Konzentration auf die Bedürfnisse und die Rolle des Menschen aus.

Befördert wird die Entwicklung „vom Menschen im Mittelpunkt“ von drei Trends:

- Einerseits die zunehmende Anerkennung und Auseinandersetzung mit Nichtwissen<sup>1</sup> über Menschen, nicht nur als Antrieb von Wissenschaft und Forschung, sondern auch für künftige Geschäftsmodelle und Absatzmärkte.

- Andererseits das Fortschreiten interdisziplinären Denkens, Lernens und Arbeitens, bei denen Konzepte über Disziplinen hinweg gedacht zu interdisziplinären Denkansätzen werden, die in kooperativen Prozessen zu komplexen Problemlösungen – integrierte Problemlösungskompetenz – führen.

- Außerdem ein sich wandelndes Menschenbild, weg von einer Fokussierung auf die Defizite und hin zu den Potenzialen, auch im hohen Alter.<sup>2</sup> Den Menschen in den Mittelpunkt zu stellen, ist dabei kein Phänomen einzelner Forschungsdisziplinen oder rein technologischer Branchen. Human- oder Nutzerzentrierung (engl. Human- oder User-Centred, H/UCD) betrifft die Gestaltung von Lern-Angeboten und Bürger-Services ebenso wie die Entwicklung von digitalen Technologien und physischen Produkten. Der Ansatz erkennt an, dass nicht alle Informationen über die Bedürfnisse von Menschen bekannt sind und diese Unwissenheit genutzt werden kann, um neues Wissen zu generieren, etwa um neue Technologien zu entwickeln. Die Identifikation menschlicher Bedürfnisse und Wünsche spielen bei der Gestaltung eine zentrale Rolle, um daraus die Frage abzuleiten: Welche dieser Herausforderungen können mittels neuer Technologien gelöst werden?

## Bedürfnisse und Fähigkeiten von Menschen mit Pflegebedarf

Statt neuer Technologien und Digitalisierung stand 1995 in der Pflege die Einführung der

Pflegeversicherung auf dem Plan. Eine damit verbundene Orientierung von Pflegebedürftigkeit an der Berechnung einzelner Verrichtungen nach Zeitvorgaben hat seitdem das gesellschaftliche Verständnis von professioneller Pflege in Deutschland geprägt. So waren als Beispiel für das Duschen pflegebedürftiger Menschen 15 bis 20 Minuten vorgesehen, Abweichungen davon mussten begründet und dokumentiert werden.<sup>3</sup> Vor allem deshalb ist das System später auch in die Kritik geraten. Die Kritik galt einer Diskrepanz zwischen den tatsächlichen Bedarfslagen pflegebedürftiger Menschen und dem vorhandenen pflegerischen Versorgungsangebot.<sup>4</sup>

Die Fokussierung auf Zeit und körperliche Defizite schloss präventive und rehabilitative Pflege aus. Beratende und edukative Interventionen wurden nicht berücksichtigt. Essentielle Aspekte der Lebensqualität wie soziale Interaktion, Teilhabe und Kommunikation erhielten zu wenig Aufmerksamkeit. Daher kam es auch bei Menschen mit eingeschränkter Alltagskompetenz zu unzureichenden Einschätzungen der Pflegebedürftigkeit bezüglich des Aufwandes für Pflege, Betreuung und Anleitung.

Seit 2017 gilt in Deutschland ein neuer Pflegebedürftigkeitsbegriff (PB) und damit verbunden ein neues Begutachtungsinstrument (BI). Der Begriff zeichnet sich durch die Zentrierung auf die pflegebedürftige Person und ihre Bedürfnisse aus. Die Begutachtung eines pflegebedürftigen Menschen erfolgt nun nicht mehr anhand seiner Defizite, sondern sie stellt den Grad seiner Selbstständigkeit fest. Dabei werden auch die Möglichkeiten zur Selbstversorgung, die Gestaltung seines Alltagslebens sowie seiner sozialen Kontakte und außerhäuslichen Aktivitäten intensiver als zuvor in die Beurteilung des Unterstützungsbedarfs einbezogen. Zudem können kognitive Aspekte – die insbesondere für Menschen mit Demenz relevant sind – sowie präventive und rehabilitative Möglichkeiten nun gewertet werden. Der Begriff steht damit für einen Kulturwandel in der Pflege. Der pflegebedürftige Mensch

mit seinen vorhandenen Fähigkeiten steht im Mittelpunkt.

Das neue Begutachtungsinstrument (BI) bewertet die Pflegebedürftigkeit anhand von fünf Modulen, die unterschiedliche Lebensbereiche widerspiegeln und verschieden gewichtet werden (vgl. Abbildung 1).

- Modul 1 „Selbstversorgung“ (40 Prozent) umfasst vor allem Körperpflege und Ernährung.
- Modul 2 „Bewältigung und selbständiger Umgang mit krankheits-/therapiebedingten Anforderungen und Belastungen“ (20 Prozent) beschreibt Tätigkeiten wie selbstständige Medikamenteneinnahme, Verbandswechsel oder Arztbesuche.
- Modul 3 „Gestaltung des Alltagslebens und soziale Kontakte“ (15 Prozent) beurteilt die Fähigkeit zur selbstständigen gesellschaftlichen Teilhabe.
- Modul 4 umfasst die zwei Bereiche „Kognitive und kommunikative Fähigkeiten“ sowie „Verhaltensweisen und psychische Probleme“ (15 Prozent) und schätzt krankheitsbedingte Einschränkungen oder vorhandene Selbstständigkeit im Hinblick auf Entscheidungen, Orientierung, Gefährdungen oder Beeinträchtigungen ein.
- Modul 5 „Mobilität“ (10 Prozent) umfasst die Fähigkeit zur Fortbewegung sowie die Lageveränderung des Körpers.

### Technikgestaltung für und mit Menschen

Eine gezielte Ausrichtung von Prozessen und Produkten auf Menschen und ihre Bedürfnisse ist ein Paradigma, das im Zuge der Digitalisierung immer stärker in den Fokus rückt. So sind methodische Ansätze wie „User-Centered Design“ oder „Design Thinking“ in sämtliche Bereiche der Arbeitswelt und auch die Politikgestaltung diffundiert.

## Der neue Pflegebedürftigkeitsbegriff und das neue Begutachtungsinstrument im Überblick – Sechs Lebensbereiche werden in fünf Modulen betrachtet und gewichtet

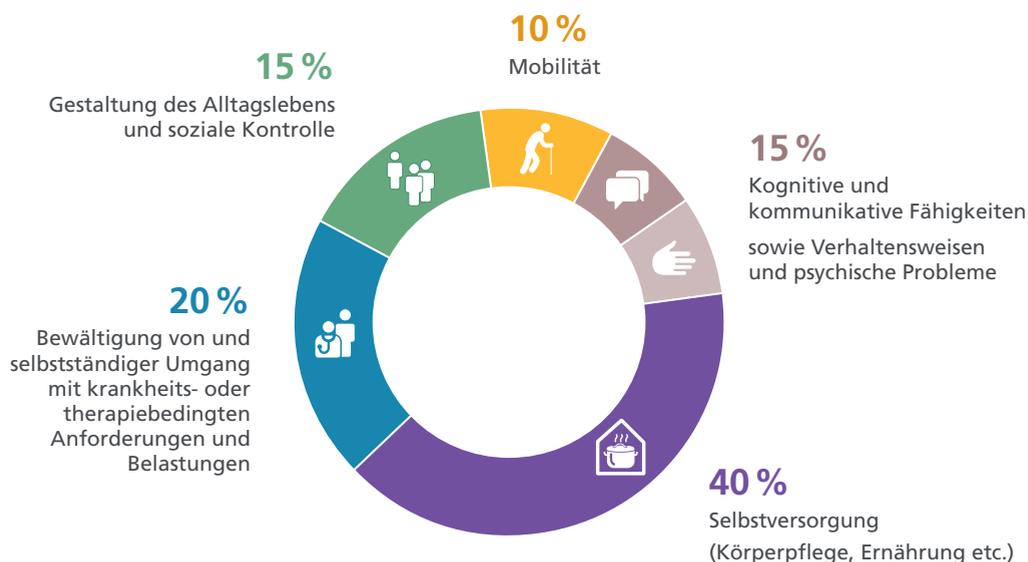


Abb. 1: Begutachtungsinstrument zur Erhebung des Pflegebedarfs in fünf Lebensbereichen  
Quelle: GKV-Spitzenverband (2017): Pflegebegutachtung - fünf Pflegegrade. [www.gkv-spitzenverband.de/service/versicher-ten\\_service/pflegebegutachtung\\_ab\\_2017/fuenf\\_pflegrade.jsp](http://www.gkv-spitzenverband.de/service/versicher-ten_service/pflegebegutachtung_ab_2017/fuenf_pflegrade.jsp) [Zugriff am 26.4.2018].

Das sogenannte nutzerzentrierte Design wurde in den 80er Jahren geprägt.<sup>5</sup> Es bedeutet, sich auf die Bedürfnisse der Nutzenden eines Produktes zu konzentrieren, Aktivitäten und Aufgaben zu analysieren sowie eine allgemeine Anforderungsanalyse durchzuführen. Es schließt ein, während der Produktentwicklung frühzeitige Tests sowie Evaluierungen durchzuführen und schrittweise das Produkt zu qualifizieren (iterativ). Ebenso wie die verwandte Entwicklung Human-Centered Design (HCD) werden Menschen als das wichtigste Element von Informationssystemen betrachtet. Eigenschaften und Fähigkeiten sollen so explizit bei Interaktionen von Menschen mit interaktiven Technologien berücksichtigt werden. H/UCD stehen damit für einen Wandel von einer technikzentrierten hin zu einer menschenzentrierten Technologieentwicklung.

H/UCD sind seit Jahrzehnten Forschungsgegenstand der Wissenschaft und stehen in Zusammenhang mit der Erkenntnis, dass die Konzentration auf den Menschen bessere Ergebnisse für die Gestaltung von Produkten und deren Nutzung liefert. Damit wurde der Ansatz auch zunehmend für die Industrie interessant. Großbritannien hat mit der Festlegung von Design-Grundsätzen für die Gestaltung von Bürgerinformationen und -services UCD in die politische Arbeit eingebunden.<sup>6</sup>

UCD hat sich seither weiter aufgeächert und entwickelt (vgl. Tabelle 1). User Experience (UX) und Interaktionsdesign (IxD) sind weitere Ausprägungen einer auf den Menschen ausgerichteten Technologiegestaltung. Trotz ihres unterschiedlichen Fokus' liegt deren gemeinsamer Kern darin, digitale Produkte immer im Hinblick auf die Nutzbarkeit zu optimieren. Die eingesetzten Methoden und gewonnenen

Phase	Ansatz und Nutzerrolle	Rolle von Technik
Unterstützte Techniknutzung	Anpassung des Nutzerverhaltens an die Technik durch Hilfestellung bei der Nutzung von Technik (Dokumentation, Training, Beratung)	Technologien als Werkzeug von Experten
Nutzbare und sinnvolle Technik (Usability, UI)	Gebrauchstauglichkeit durch leichte Erlernbarkeit und Nutzung von Technik	Technologie als Ermöglicher zur Erreichung von Nutzerzielen
Erfahrungen gestalten (User Experience)	Vertiefung des Verständnis über das Erleben von Menschengruppen, Co-Creation und Personalisierung	Technologie als Bestandteil bestehender (Geschäfts-) Prozesse
Innovationen gestalten	Nutzererwartungen und-verhalten transformieren (Probleme und unentdeckte Bedürfnisse erschließen)	Technologie als Proxy für Dienstleistungen; Transformation der Wertschöpfung

Tabelle 1: Eigene Darstellung – Entwicklung nutzerorientierter Designprozesse

Ergebnisse sind eine Reaktion und Weiterentwicklung auf Veränderungen in der technologischen Landschaft. Die Entwicklungen von Technologien einschließlich sich wandelnder Eingabemöglichkeiten wie Gesten oder Sprache führen zu einer kontinuierlichen Qualifizierung und Verbreitung von Design- und Evaluierungsmethoden in Bezug auf Hardware, Software und Dienstleistungen. Auch individuelle Unterschiede bei der Verwendung durch verschiedene (Be-)Nutzergruppen unter Berücksichtigung von Alter, Kultur und Geschlecht gewinnen an Bedeutung. Zunehmend konzentriert sich die Forschung außerdem auf umfassendere Anliegen wie die Auswirkungen von Technologie-design und -nutzung auf soziale und kulturelle Aspekte sowie die globale Nachhaltigkeit. Über die Zeit gesehen ist eine Verschiebung des Designprozesses immer weiter zum Nutzer erfolgt (vgl. Tabelle 1).

In der Regel schließt eine bedürfnisorientierte Entwicklung auch die Fähigkeiten von Menschen mit ein. Schutzbedürftige Gruppen wie pflegebedürftige Menschen standen bei der Entwicklung von Technologien und Produkten bisher allerdings kaum im Fokus. Von Bedeutung ist, dass sich sowohl die kognitiven als auch körperlichen Fähigkeiten bei Pflegebedürftigkeit kontinuierlich verändern können.

### Menschen im Mittelpunkt der Entwicklung von Pflegetechnologien

Die Alten-, Kranken- und Gesundheitspflege ist ein gesellschaftlicher Bereich, in dem der Einsatz von unterstützender Technik und Technologien zunehmend in den Fokus rückt. Seit Jahren steigt die Zahl pflegebedürftiger Menschen<sup>7</sup>, während es immer schwieriger wird, ausreichend Personal in der Pflege zu finden.<sup>8</sup> Da sich schon heute eine erhebliche Versorgungslücke abzeichnet, wird mit dem Einsatz innovativer

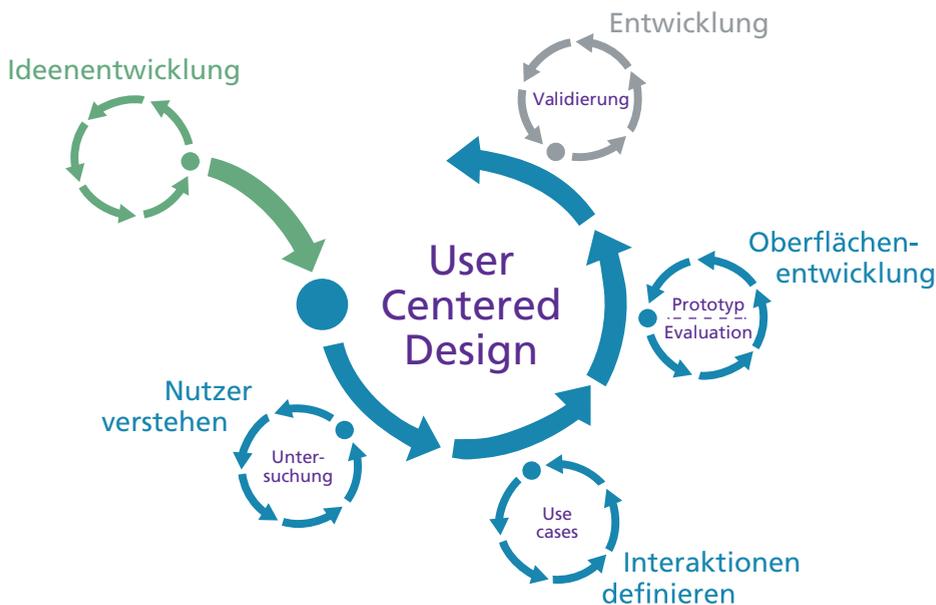


Abb. 2: Designprozesse, bei denen Menschen im Fokus stehen, in Anlehnung an Beger Design (2018)  
 Quelle: Beger Design (2018): Interface Design – Funktion mit Vision. <http://wordpress.begerdesign.com/kompetenzen/interface-design/> [Zugriff am 2.5.2018].

Technologien wie der elektronischen Dokumentation, digitalen Assistenzsystemen, Telecare und Robotik die Hoffnung auf Unterstützung und Entlastung verbunden. Zugleich gibt es Vorbehalte bei der Vorstellung, Technik in die auf Beziehungsarbeit beruhende pflegerische Versorgung von Menschen stärker einzubinden. Auch deshalb schreitet die Digitalisierung in der Pflege langsamer voran als in anderen Branchen, wie der ärztlichen Gesundheitsversorgung.<sup>9</sup>

Dennoch, einige Kernprozesse wie die Dokumentation im stationären und ambulanten Bereich sowie die Routenplanung in der ambulanten Versorgung erfolgen inzwischen vielfach elektronisch.<sup>10</sup> Der Pflegeprozess bietet noch mehr Potenzial, wie die folgenden Beispiele zeigen:

- Das Seniorenzentrum Breipohls Hof bietet Bewohnerinnen und Bewohnern umfangreiche technische Assistenz- und Sicherheitsfunktionen. Ein Pflegebett unterstützt bei

der Sturzprophylaxe, eine Rufanlage funktioniert ohne das Abheben eines Hörers und das Dusch-WC gibt Sicherheit bei der persönlichen Hygiene. Als zentrales Kommunikationsmedium (Video-Telefonie, Internet) dient ein Smart-TV mit integrierter Sprach- und Gestensteuerung zur Aufrechterhaltung sozialer Kontakte und gesellschaftlicher Teilhabe.<sup>11</sup>

- Auch Roboter werden in der Pflege eingesetzt. In einer Wohngruppe für demenzkranke Menschen des Deutschen Roten Kreuzes (DRK) wird die Roboter-Robbe „Paro“ eingesetzt, die Schwanz und Augen bewegen sowie Töne der Zufriedenheit von sich geben kann. Im Inneren ist der Therapieroboter mit Sensoren und Motoren ausgestattet, die es ermöglichen, auf Geräusche wie Namen und Grüße zu reagieren. Mittels „Paro“ können Therapeuten Menschen mit demenziellen und neurologischen Erkrankungen aktivieren, beruhigen und unterstützen.<sup>12</sup>

- Den großen Anteil der Pflege tragen in Deutschland die Familien pflegebedürftiger Personen. Für pflegende Angehörige sind die psychischen und physischen Belastungen oft hoch, besonders wenn sie selbst schon älter sind. Fehlen Anleitung und Unterstützung, ist die Situation schnell überfordernd. Unterstützung bieten mittlerweile verschiedene Apps, wie etwa die App „DAK Pflegeguide“, die situationsgerecht verständliche Informationen und Schulungen oder Dienstleistungen zur Entlastung vermittelt. So können Pflegehilfsmittel direkt über die App bestellt oder Bescheinigungen wie Arbeitsunfähigkeit eingereicht werden.<sup>13</sup>

Bisher am weitesten verbreitet sind Lösungen in der Sicherheits- und Kommunikationstechnik, beispielsweise Rufanlagen und Notrufsysteme. Das bekannteste Beispiel ist der klassische Hausnotruf, welcher Anfang der 70er Jahre entwickelt wurde. Die meisten Entwicklungen und Dienstleistungen befinden sich allerdings noch in der Vormarktphase.

Aufgrund des akuten Handlungsbedarfs sind die Erwartungen an innovative Pflegetechnologien hoch. Unterschiedliche hinderliche Faktoren können derzeit ausgemacht werden, die eine Etablierung von modernen Technologien in Pflegesettings erschweren: Mangelnde Akzeptanz, zähe Wissensdiffundierung, fehlende empirische Belege über den individuellen und pflegerischen Nutzen von Pflegetechnologien, geringe Beachtung von IT-Kompetenzen in der pflegerischen Aus-, Fort- und Weiterbildung sowie fehlende Geschäftsmodelle in einem stark regulierten Gesundheitsmarkt zählen zu den meistgenannten Aspekten.<sup>14</sup>

### Der neue Pflegebedürftigkeitsbegriff (PB) als Innovationsimpuls

In unserer Rolle als Technologie- und Innovations-Beratungsunternehmen beschäftigt sich die VDI/VDE-IT seit 2010 umfassend mit der Frage, wie neue Technologien gefördert und dabei die Wirkung für die Gesellschaft gewinnbringend gestaltet werden kann. Die Rolle des

neuen Pflegebedürftigkeitsbegriffs (PB) für die Pflege wurde bereits dargestellt. Was aber bedeutet dieser für die Entwicklung neuer Technologien?

- Pflegebedürftige als Adressaten neuer Technologien ganzheitlich wahrnehmen: Damit verbunden ist die Chance, Technikentwicklung künftig noch stärker auf Menschen und ihre Fähigkeiten sowie Bedürfnisse auszurichten und defizitorientierte Sichtweisen zu überwinden. Auch wenn körperliche und kognitive Beeinträchtigungen unweigerlich Veränderungen mit sich bringen, birgt die Berücksichtigung des neuen PB das Potenzial, einen Beitrag zu Lebensqualität wie die Förderung der sozialen Einbindung (Teilhabe) und der Kommunikation zu leisten.
- Pflegebedürftige spezifisch wahrnehmen: Pflegebedürftige als homo demographicus, also als statistische Größe und Motivationspunkt für Technikentwicklung zu begreifen, greift zu kurz. Der PB steht für eine individuelle Bedarfserfassung, die anhand der Module des Begutachtungsinstruments (BI) in unterschiedlichen Lebensbereichen gefördert werden kann. Bei der Technikentwicklung kann dieser herangezogen werden, um die Bedürfnisse strukturiert zu erheben und sie durch geeignete Methoden zu vertiefen. Statt vermeintlicher Probleme „der“ Pflegebedürftigen werden so echte Bedarfe spezifischer Gruppen adressiert.
- Befähigende Technologien entwickeln: Der PB orientiert sich an den Fähigkeiten pflegebedürftiger Menschen und folgt somit einem ressourcenorientierten Ansatz, der auch die Prävention einschließt. Existierende Notfall- und Sicherheitstechnologien erfüllen wichtige Grundbedürfnisse. Ein Fokus auf sie allein vernachlässigt Möglichkeiten, Verschlechterungen der Bedürftigkeit vorzubeugen (Prävention) und rehabilitative Maßnahmen zu fördern. Der PB eröffnet damit Raum für die Entwicklung von Technologien, die anregen, ohne zu überfordern oder gar solche, die Spaß machen.

- Nutzenaspekte von Pflegetechnologien einordnen: Bis heute sind empirische Nachweise über Effekte von Pflegetechnologien rar. Wenn es um die Frage geht, wie diese künftig finanziert werden können, müssen Erfahrungen gemacht und belastbare Messungen durchgeführt werden. Zudem werden Kriterien benötigt, die der Bewertung zugrunde gelegt werden können. Die mit dem BI formulierten Lebensbereiche, können als Teil der Nutzererhebung herangezogen werden. Einen ersten Ansatz hat VDI/VDE-IT mit IEGUS 2013 mit vorlegen können.<sup>15</sup>

Die Einbindung des PB und des BI in die nutzerzentrierte Gestaltung (UCD) bietet die Möglichkeit, die Zielgruppe Pflegebedürftige und ihre Bedarfe zu differenzieren sowie Bedürfnissen, Wünschen und Einschränkungen eingehend Aufmerksamkeit zu schenken.

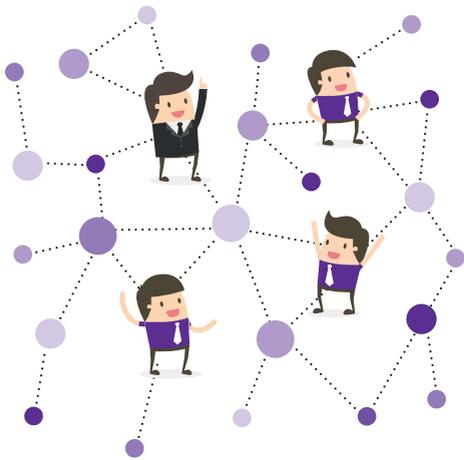


Abb. 3: Eine Technologie – unterschiedliche Ziele, ein Ziel – unterschiedliche Wege

### Alle Perspektiven sind von Bedeutung

Was bei der Entwicklung von Pflegetechnologien bislang vielfach unberücksichtigt bleibt, ist die (Nutzer-)Perspektive anderer an der Pflege beteiligter Personengruppen. Angehörige, Personen und Organisationen innerhalb des Gesundheits- und Pflegewesens sowie Entscheidungsträger aus Verwaltung und Politik – alle von ihnen haben auch eine eigenständige Per-

spektive auf die pflegerische Versorgung und verbinden damit unterschiedliche Anforderungen und Faktoren.

Geht es um die Perspektive Angehöriger, ist festzustellen, dass über ihre Bedürfnisse und Lebenslagen wenig konkretes Wissen vorliegt<sup>16</sup>, was für die Gestaltung von Technologie herangezogen werden kann; gleiches gilt für die verschiedenen Personengruppen der professionellen Pflege. Daraus resultieren unweigerlich auch Schwierigkeiten, wenn es um die Finanzierung neuer Pflegetechnologien geht. Stakeholder-Alignment – die Klärung wichtiger Nutzungsfragen aller in der Pflege relevanten Akteure – ist das Schlagwort, das künftig inhaltlich zu gestalten ist. Damit ist die Notwendigkeit für einen gemeinsamen Dialog zwischen allen Akteuren wie Entwicklerinnen und Entwicklern, Personen der Pflege, Verwaltung und Politik angesprochen, die mit dem Ansatz der integrierten Forschung Folge leisten (vgl. Beitrag von Stubbe und Weiß in diesem Band).

### Technologien wandeln sich schnell, Menschen hingegen langsam

Haben Tocotronic Recht behalten mit ihrem Lied „Digital ist besser“? Die Antwort darauf lieferte ein Jahr später Fettes Brot mit dem Lied „Jein“. Eine pauschale Antwort gibt es nicht.

Die Technologisierung und Digitalisierung ungeeigneter Prozesse in der Pflege birgt keinen Mehrwert für pflegebedürftige Menschen, ihre Angehörigen oder Personen der professionellen Pflege. Die ausgewählten Beispiele zeigen aber Technologielösungen, die den Menschen in den Mittelpunkt stellen und zur Steigerung von Sicherheit, Selbstbestimmtheit und Unterstützung beitragen können.

Es gilt sich bewusst zu machen, dass die heutige Lebenserwartung vieler Menschen sowie die Anzahl der Pflegebedürftigen im Verhältnis zu den Versorgungsressourcen ein anthropologisches Novum darstellen, die alle Beteiligten als Homo dialogus fordern.

Welche Ideen haben Pflegebedürftige, Angehörige und Pflegenden für die Gestaltung der neuen digitalen Versorgungswelt? Welche technischen und nicht-technischen Kompetenzen brauchen sie, um diese aktiv gestalten können?

Außer Frage steht, dass Technik allein diese Herausforderungen nicht löst. Menschen- bzw. nutzerzentrierte Gestaltungsansätze stellen jedoch ein großes Repertoire zur Verfügung, mit dem Prozesse der pflegerischen Versorgung allgemein und der Einsatz von Technik im Speziellen sinnvoll gestaltet werden können. Der nächste Schritt für eine nutzerzentrierte Gestaltung in der Pflege liegt darin, Methoden und Formate für ein gemeinsames Forschen und

Entwickeln mit vulnerablen Personengruppen, wie Demenzbetroffenen oder mobilitätsbeeinträchtigten Menschen, zu finden. Sie sollten sich eignen, künftige Technologien gemeinsam zu entwerfen und zur Anwendung zu bringen.

Trotz der drängenden Herausforderungen in der Pflege bedarf es also Geduld, gepaart mit einem kontinuierlichen Dialog darüber, wie wir – wenn wir in die Situation kommen – künftig pflegen und gepflegt werden wollen. Genauso wie eine Etablierung des neuen Pflegebedürftigkeitsbegriffs benötigt die menschenzentrierte Technikgestaltung in der Pflege Zeit und Raum für Erfahrungen.

- 
- <sup>1</sup> Harari, Yuval Noah (2015): Eine kurze Geschichte der Menschheit. Unter Mitarbeit von Jürgen Neubauer. 4. Aufl. München: Pantheon.
- <sup>2</sup> Kruse, Andreas (2012): Generali Altersstudie 2013. Wie ältere Menschen leben denken und sich engagieren. Orig.-Ausg. Frankfurt am Main: Fischer Taschenbuch (Fischer, 18935).
- <sup>3</sup> Bundesweites Pflegenetzwerk (2014): Orientierungswerte zur Pflegezeitbemessung. [www.pflegestufe.com/pflege/orientierungswerte-zur-pflegezeitbemessung](http://www.pflegestufe.com/pflege/orientierungswerte-zur-pflegezeitbemessung) [Zugriff am 2.5.2018].
- <sup>4</sup> Gohde, Jürgen (2013): Reformbedarf der Pflegeversicherung. In: G&S Gesundheits- und Sozialpolitik 67 (4), S. 7–13. DOI: 10.5771/1611-5821-2013-4-7.
- <sup>5</sup> Norman, Donald A. (Hg.) (1986): User centered system design. New perspectives on human-computer interaction. Hillsdale NJ u. a.: Erlbaum.
- <sup>6</sup> GOV.UK (2012): Government design principles. [www.gov.uk/guidance/government-design-principles](http://www.gov.uk/guidance/government-design-principles). [Zugriff am 2.5.2018].
- <sup>7</sup> Statistisches Bundesamt (Destatis) (2015): Pflegestatistik 2013 - Pflege im Rahmen der Pflegeversicherung – Deutschlandergebnisse.
- <sup>8</sup> Bertelsmann Stiftung (2012): Themenreport „Pflege 2030 - Was ist zu erwarten – was ist zu tun? [www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/BSt/Publikationen/GrauePublikationen/GP\\_Themenreport\\_Pflege\\_2030.pdf](http://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/BSt/Publikationen/GrauePublikationen/GP_Themenreport_Pflege_2030.pdf). [Zugriff am 2.5.2018].
- <sup>9</sup> Ärzte Zeitung Online (Hg.) (2018): Smart Health: Digitalisierung verdient mehr Aufmerksamkeit. [www.aerztezeitung.de/praxis\\_wirtschaft/e-health/article/958282/gastbeitrag-smart-health-digitalisierung-verdient-aufmerksamkeit.html](http://www.aerztezeitung.de/praxis_wirtschaft/e-health/article/958282/gastbeitrag-smart-health-digitalisierung-verdient-aufmerksamkeit.html) [Zugriff am 2.5.2018].
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2017): Monitoring Report Wirtschaft DIGITAL 2017. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). [www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/monitoring-report-wirtschaft-digital-2017.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=18](http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/monitoring-report-wirtschaft-digital-2017.pdf?__blob=publicationFile&v=18) [Zugriff am 14.2.2018].
- <sup>10</sup> Initiative Neue Qualität der Arbeit (INQA) - Offensive Gesund Pflegen- BGW (2018): Digitalisierung in der Pflege: Wie intelligente Technologien die Arbeit professionell Pflegenden verändern. [www.inqa.de/SharedDocs/PDFs/DE/Publikationen/pflege-4.0.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](http://www.inqa.de/SharedDocs/PDFs/DE/Publikationen/pflege-4.0.pdf?__blob=publicationFile&v=2) [Zugriff am 2.5.2018].
- IGES (2017): Digitalisierung in der ambulanten Pflege – Chancen und Hemmnisse. [www.iges.com/e6/e1621/e10211/e15829/e21725/e21792/e21794/attr\\_obj21796/LangfassungAbschlussberichtDigitalisierungPflege\\_IGES\\_ger.pdf](http://www.iges.com/e6/e1621/e10211/e15829/e21725/e21792/e21794/attr_obj21796/LangfassungAbschlussberichtDigitalisierungPflege_IGES_ger.pdf) [Zugriff am 2.5.2018].
- <sup>11</sup> v. Bodelschwingsche Stiftungen Bethel (Hg.) (2018): Assistive Technologie. [www.altenhilfe-bethel.de/cms/Unsere\\_Angebote/Altenheime/Seniorenzentrum\\_Breipohls\\_Hof/Assistive\\_Technologie/177](http://www.altenhilfe-bethel.de/cms/Unsere_Angebote/Altenheime/Seniorenzentrum_Breipohls_Hof/Assistive_Technologie/177) [Zugriff am 2.5.2018].
- <sup>12</sup> Patock, Mareike (2017): Roboter-Robbe hilft Demenzkranken. Hg. v. Neue Westfälische. [www.nw.de/lokal/kreis\\_herford/spenge/21909856\\_Roboter-Robbe-hilft-Demenzkranken.html?em\\_cnt=21909856](http://www.nw.de/lokal/kreis_herford/spenge/21909856_Roboter-Robbe-hilft-Demenzkranken.html?em_cnt=21909856) [Zugriff am 2.5.2018].
- <sup>13</sup> DAK-Gesundheit (2017): DAK Pflegeguide: Die App für pflegende Angehörige. So erleichtern wir Ihren Pflege-Alltag. [www.dak.de/dak/leistungen/app-dak-pflegeguide-1863678.html](http://www.dak.de/dak/leistungen/app-dak-pflegeguide-1863678.html) [Zugriff am 8.5.2018].
- <sup>14</sup> Weiß, Christine; Lutze, Maxie; Compagna, Diego; Braeseke, Grit; Richter, Tobias; Merda, Meiko (2013): Unterstützung Pflegebedürftiger durch technische Assistenzsysteme. Abschlussbericht zur Studie. Hg. v. Bundesministerium für Gesundheit (BMG). VDI/VDE Innovation + Technik GmbH; IEGUS. Berlin, zuletzt geprüft am 7.7.2016.
- <sup>15</sup> Ebd. Weiß, Christine et al. (2013)
- <sup>16</sup> Hielscher, Volker; Kirchen-Peters, Sabine; Nock, Lukas; Ischebeck, Max (2017): Pflege in den eigenen vier Wänden: Zeitaufwand und Kosten. Pflegebedürftige und ihre Angehörigen geben Auskunft, zuletzt geprüft am 11.7.2017.

# Autorinnen und Autoren



## Markus Adelberg

Markus Adelberg ist seit 2017 als Berater in der VDI/VDE-IT im Bereich Demografischer Wandel und Zukunftsforschung tätig. Er absolvierte seine Ausbildung zur examinierten Pflegefachkraft. Anschließend folgten mehrere Jahre der Berufstätigkeit in der vollstationären gerontopsychiatrischen Betreuung und Versorgung. 2014 absolvierte Markus Adelberg seinen B. Sc. im Studiengang Gesundheits- und Pflegemanagement mit dem Schwerpunkt Assistenzsysteme im Alter. Danach folgte 2016 der erfolgreiche Abschluss (M. Sc.) an der medizinischen Fakultät der Martin Luther Universität Halle in dem Studiengang Gesundheits- und Pflegewissenschaft.



## Dr. Claudia Baumann

Claudia Baumann ist Biomedizinerin und promovierte an der Humboldt Universität Berlin im Bereich der Experimentellen Immunologie. Dabei setzte sie sich mit körpereigenen Alarmsignalen auseinander, die bei Virusinfektionen freigegeben werden, um die Zellen der Immunabwehr zu aktivieren. Seit 2017 ist sie als Beraterin in der VDI/VDE-IT im Bereich Kommunikationssysteme, Mensch-Technik-Interaktion, Gesundheit tätig und berät in Fragen der Gesundheitsforschung und -versorgung.



## Dr. Sven Beyer

Sven Beyer ist Wirtschaftsingenieur mit technischer Fachrichtung Nachrichtentechnik. Er promovierte im Bereich Finanzierung und war vor seiner Tätigkeit bei VDI/VDE Innovation + Technik GmbH Partner bei einer internationalen Wirtschaftsprüfungsgesellschaft. Seit 2017 ist er Abteilungsleiter für die Bereiche Rechnungswesen, Einkauf und Objektverwaltung.



## Alfons Botthof

Alfons Botthof ist Physiker, Direktor des Instituts für Innovation und Technik sowie Leiter des Bereichs Gesellschaft und Innovation in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH. Seine Arbeitsschwerpunkte umfassen angewandte Innovationsforschung bzw. Politikberatung zu Hochtechnologie-themen, die Konzeption, Koordination und Durchführung Innovationsprozesse unterstützender Maßnahmen, Begleitforschungen sowie die Evaluation staatlicher Förderungsmaßnahmen. Alfons Botthof leitete Begleitforschungen u. a. zu Mikrosystemtechnik und autonomen Systemen und ist eingebunden in Prozesse und Netzwerke zum Zukunftsprojekt Industrie 4.0 der Bundesregierung. Des weiteren unterstützt er das BMBF bei der Bearbeitung strategischer Themen.



### Peter Dortans

Peter Dortans ist seit 1999 einer der Geschäftsführer der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH. Er studierte an der Universität Köln Betriebswirtschaftslehre und war danach mehrere Jahre im In- und Ausland für die ESSO AG in den Bereichen Marketing und Controlling tätig. 1994 übernahm Peter Dortans bei der VDI/VDE-IT die Leitung der Abteilung Innovationsmanagement und war ab 1998 Leiter des Bereiches Betriebswirtschaftliche Beratung. In seiner Position als Geschäftsführer ist er u. a. für die Themengebiete Strategische Unternehmensentwicklung, Bildung und Wissenschaft sowie Demografischer Wandel und Zukunftsforschung zuständig.



### Dr. Anne Dwertmann

Anne Dwertmann studierte Humanbiologie und promovierte in der molekularen Krebsforschung. Seit 2013 arbeitet sie bei der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH als wissenschaftliche Mitarbeiterin für den Bereich Kommunikationssysteme, Mensch-Technik-Interaktion und Gesundheit. Sie ist Projektleiterin in der Projektträgerschaft zur Wirkstoffforschung- und -entwicklung für das Referat „Forschung für globale Gesundheit“ im Bundesministerium für Bildung und Forschung und berät das Bundesgesundheitsministerium in Fragen zur personalisierten Medizin.



### Dr. Anne Endmann

Anne Endmann ist Biotechnologin und Beraterin im Bereich Kommunikationssysteme, Mensch-Technik-Interaktion und Gesundheit. Im Anschluss an eine Promotion am Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung in Braunschweig arbeitete sie mehrere Jahre als Projektleiterin in der Impfstoffentwicklung bei einem Biotechnologieunternehmen. Seit 2015 ist sie bei der VDI/VDE-IT tätig und berät im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung zur Ausgestaltung von Fördermaßnahmen im Bereich der pharmazeutischen Forschung und Entwicklung in Wissenschaft und Wirtschaft mit dem Schwerpunkt der Translation von Forschungsergebnissen in die Gesundheitsversorgung.



### Dr. Markus Gaaß

Markus Gaaß ist Diplom-Physiker und seit 2015 als Berater in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH im Bereich Industrielle Forschung und Entwicklung tätig. Zuvor promovierte er an der Universität Regensburg unter anderem im Kontext des Sonderforschungsbereichs „Spinphänomene in reduzierten Dimensionen“ bzw. des Graduiertenkollegs „Electronic Properties of Carbon Based Nanostructures“, wo er sich mit quantenmechanischen Effekten beim Stromtransport in Kohlenstoffnanostrukturen beschäftigte. Anschließend war er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Bayerischen Zentrum für Angewandte Energieforschung e. V. und forschte dort zu Themen wie Wärmespeicherung und rationellem Energieeinsatz.



### Dr. Tobias Hainz

Tobias Hainz ist Philosoph mit einer Spezialisierung in der biomedizinischen Ethik und promovierte mit einer Arbeit zur ethischen Bewertung von hypothetischen Technologien zur Verlängerung der menschlichen Lebensspanne. Seit 2017 ist er als Berater im Bereich Kommunikationssysteme, Mensch-Technik-Interaktion, Gesundheit der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH tätig. Zuvor forschte er als Postdoktorand zur Ethik neuartiger und zukünftiger Biotechnologien sowie zu Bürgerbeteiligung in der medizinischen Forschung und Innovation.



### Dr. Ernst Hartmann

Ernst Hartmann leitet den Bereich Bildung und Wissenschaft und gehört als Gründungsdirektor der Leitung des iit an. Er beschäftigt sich mit der Digitalisierung in Forschung und Lehre, der wissenschaftlichen Weiterbildung und der Arbeitsgestaltung für Industrie 4.0. Er ist Arbeits- und Organisationspsychologe, lehrt Arbeitssystemgestaltung an der RWTH Aachen und war vor seiner Tätigkeit bei der VDI/VDE-IT unter anderem als Arbeitspsychologe in der Industrie tätig.



### Dr. Tatjana Heinen-Kammerer

Dr. Tatjana Heinen-Kammerer ist Volkswirtin mit sozialwissenschaftlicher Richtung und seit 2017 als Seniorberaterin in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH im Bereich Gesundheit tätig. Zuvor arbeitete sie lange Zeit in der Krebsfrüherkennung und der Versorgungsforschung, wie auch in der Medizintechnik und einem führenden Verband der pharmazeutischen Industrie. Ihre Expertise liegt darüber hinaus in der Nutzenbewertung, der Gesundheitssystemforschung und Gesundheitsökonomie. Sie publizierte eine Vielzahl von wissenschaftlichen Beiträgen und Artikeln in der Versorgungsforschung.



### Dr. Julia Kaltschew

Julia Kaltschew ist Physikerin und promovierte an der ETH Zürich über Magnetismus in Halbleiterstrukturen. Seit 2010 ist sie als Beraterin bei der VDI/VDE-IT tätig. Die Schwerpunkte ihrer Arbeit liegen auf der Begutachtung und Begleitung von Projekten in den Themenfeldern Elektroniksysteme, automatisiertes Fahren und Materialeffizienz für verschiedene Bundesministerien und Landeseinrichtungen. Als Autorin ist sie an Veröffentlichungen im Bereich Materialeffizienz und Positionspapieren zum Thema Elektromobilität und automatisiertes Fahren beteiligt.



### Dr. Marcel Kappel

Marcel Kappel ist seit 2015 als wissenschaftlicher Berater bei der VDI/VDE-IT im Bereich „Kommunikationssysteme und Mensch-Technik-Interaktion“ für das Bundesministeriums für Bildung und Forschung und für den Modernitätsfonds des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur tätig. Zuvor war er drei Jahre als Entwicklungsingenieur für Fahrzeugakustik und physikalische Komfortbewertung beschäftigt. An der Universität Potsdam promovierte er im Bereich der angewandten Physik kondensierter Materie mit Arbeiten auf den Gebieten Akustik, Sensorik und Physik der Musikinstrumente.



### Dr. Moritz Kirste

Moritz Kirste ist promovierter Physiker und in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH als Berater im Bereich Kommunikationssysteme, Mensch-Technik-Interaktion, Gesundheit tätig. Er beschäftigt sich mit den Themen künstliche Intelligenz, Robotik, Data Science und innovativen, digitalen Technologien. Vor seiner Tätigkeit in der VDI/VDE-IT erforschte er in der Grundlagenforschung am Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft und der Academia Sinica in Taiwan physikalische und chemische Prozesse in der Gasphase. Moritz Kirste ist Gastdozent an der Beuth Hochschule für Technik Berlin und Rezensent für Fachzeitschriften.



### Roman Korzynietz

Roman Korzynietz ist seit 2017 als Berater in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH im Bereich Zukunftstechnologien und Europa tätig. Als Diplom-Ingenieur für Maschinenbau - Erneuerbare Energien mit langjähriger internationaler Erfahrung in der Projektentwicklung und Forschung berät, analysiert und forscht er schwerpunktmäßig in den Themenbereichen Erneuerbare Energien, Energiewende und Nachhaltigkeit. Zuvor beschäftigte er sich mit der Entwicklung und Nutzung solarer Hochtemperatur-Technologien.



### Miriam Kreibich

Miriam Kreibich ist wissenschaftliche Mitarbeiterin und Stellvertretende Bereichsleiterin im Bereich Gesellschaft in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH. Als Seniormanagerin berät sie öffentliche Auftraggeber zu innovativ-politischen Themen, insbesondere zu Fragen des Wissens- und Erkenntnistransfers und der Sozialen Innovationen. Miriam Kreibich hat Soziologie und Osteuropawissenschaften an der Freien Universität Berlin studiert. Vor dem Studium war sie freie Unternehmerin und Redakteurin.



### Stephan Krumm

Stephan Krumm studierte Wirtschaftsingenieurwesen in den Fachrichtungen Elektrotechnik und Medizintechnik in Ilmenau, Berlin und Barcelona. Seit 2017 arbeitet er bei der VDI/VDE-IT als wissenschaftlicher Mitarbeiter und berät das Bundesministerium für Gesundheit in Fragen rund um die Themen eHealth und digitale Technologien. Vor dieser Tätigkeit war er als Berater am IGES Institut im Bereich Krankenversicherung tätig und arbeitete u. a. an der Entwicklung von Benchmarkingansätzen zum Vergleich des Leistungsmanagements innerhalb der GKV.



### Dr. Hannes Kurtze

Hannes Kurtze ist promovierter Physiker. Bis 2012 forschte er als Doktorand und Postdoc zu Halbleiter-Nanostrukturen an der TU Dortmund. Nebenher studierte er Technikphilosophie an der TU Darmstadt. Seit 2012 ist er bei der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH. Im Jahr 2014 war er im Rahmen einer Personalausleihe beim Bundesministerium für Bildung und Forschung tätig. Derzeit arbeitet Hannes Kurtze bei der VDI/VDE-IT für das BMBF u. a. zum Thema Digitalisierung der Wissenschaft und zur Validierung des wissenschaftlichen Innovationspotenzials mit Schwerpunkt Ingenieurwissenschaften und Physik.



### Dr. Lisette Leonhardt

Lisette Leonhardt ist Biochemikerin und in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH beratend für Projektträgerschaften des Bundesministeriums für Bildung und Forschung sowie des Bundesministeriums für Gesundheit tätig. Im Rahmen ihrer Promotion am Leibniz-Zentrum für Medizin und Biowissenschaften beschäftigte sie sich mit der allergischen Immunantwort der Lunge. Anschließend war sie mehrere Jahre in einem zur BASF-Gruppe gehörenden Unternehmen als Projektleiterin für Metabolite Profiling Studien unterschiedlichster Indikationsgebiete tätig.



### Maxie Lutze

Maxie Lutze ist Informatikerin und Human-Factors Expertin. Sie berät und forscht seit 2011 im Bereich „Demografischer Wandel und Zukunftsforschung“. Ihre Aufgabenschwerpunkte liegen in der fachlichen Begutachtung und Betreuung nationaler und europäischer Projekte sowie der Entwicklung innovations- und technologiepolitischer Maßnahmen. Sie verantwortet für das Bundesministerium für Bildung und Forschung die Ausgestaltung der Initiative „Pflegeinnovationen 2020“ und begleitet das Cluster „Zukunft der Pflege“.



### Dr. Jan Philipp Meyburg

Jan Philipp Meyburg ist seit 2017 als Berater in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH im Bereich Kommunikationssysteme, Mensch-Technik-Interaktion, Gesundheit tätig und hospitiert derzeit im Bundesministerium für Bildung und Forschung in Bonn. Zuvor studierte er Design und Chemie und untersuchte in der physikalischen Chemie Energieflüsse und Umladungen infolge von oberflächenkatalysierten Reaktionen mit Metall-Isolator-Metall-Dünnschichtsystemen. Als Freelancer legte er seinen gestalterischen Fokus auf kartografische Visualisierungen, Informationsgrafik und Typografie.



### Johannes Mock

Johannes Mock studierte Philosophie an der Philipps-Universität Marburg und der Technischen Universität Dresden. Während des Studiums setzte er sich unter anderem mit Technikphilosophie, Wissenschaftstheorie und Umweltethik auseinander. Seine aktuellen Arbeitsschwerpunkte sind Technikethik sowie die Auseinandersetzung mit Human Enhancement-Technologien. Seit Januar 2018 ist bei der VDI/VDE-IT als Projektassistent im Bereich Gesellschaft und Innovation tätig.



### Dr. Karsten Rapsch

Karsten Rapsch ist seit 2017 als Berater in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH im Bereich Kommunikationssysteme, Mensch-Technik-Interaktion, Gesundheit tätig und arbeitet primär in Projektträgerschaften für das Bundesministerium für Bildung und Forschung. Zuvor promovierte und arbeitete er an der Technischen Universität Berlin und dem Fraunhofer Institut für Zelltherapie und Immunologie zu den Themen Antibiotikaresistenzen, innovative Wirkstoffmoleküle für die pharmazeutische Entwicklung und Schnell-diagnostika für das on-site monitoring von bakteriellen Kontaminationen und Infektionen.



### Dr. Claudia Ritter

Claudia Ritter ist seit 2008 in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH im Bereich Innovation und Kooperation tätig und als Projektleiterin und Seniorberaterin mit den Themen Mittelstandförderung, Vernetzung von Wirtschaft und Wissenschaft sowie Technologietransfer im Auftrag des BMWi betraut. Sie promovierte an der Humboldt-Universität zu Berlin in physikalischer Chemie und forschte als Post-Doc in den USA an Themen zur Oberflächencharakterisierung und Nanotribologie. Als Autorin ist sie an Veröffentlichungen und Studien zu Materialeffizienz, Netzwerken, Trends und Innovationen beteiligt.



### Dr. Antonia Schmalz

Antonia Schmalz ist Physikerin und promovierte 2012 am Max-Planck-Institut für Quantenoptik. In der Münchner Geschäftsstelle der VDI/VDE-IT arbeitet sie seitdem als wissenschaftliche Mitarbeiterin in verschiedenen Projektträgerschaften rund um das Thema Elektronische Systeme, unter anderem mit den Schwerpunkten Electronic Design Automation und Halbleiterfertigung.



### Konstantin Schneider

Konstantin Schneider absolvierte sein Studium der Geographie an der Philipps-Universität Marburg. Seit über 10 Jahren beschäftigt er sich mit den Themen Clustern, Innovationsförderung und Regionalentwicklung. Zudem arbeitete er in seiner Zeit bei der Medien- und Filmgesellschaft Baden-Württemberg an der Schnittstelle zwischen Digital- und Kreativwirtschaft. Seit 2014 ist er als Projektleiter bei der VDI/VDE-IT am Standort Stuttgart tätig. Neben der stellvertretenden Leitung der Cluster-Agentur Baden-Württemberg wirkt er in verschiedenen Projekten zum Thema Smart Specialisation und regionaler Standortentwicklung mit.



### Dr. Patrick Schweitzer

Patrick Schweitzer ist seit 2014 als Berater in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH im Bereich Kommunikationssysteme, Mensch-Technik-Interaktion, Gesundheit tätig. Er beschäftigt sich hauptsächlich mit Projekten und Fragen rund um IT-Sicherheit und Privacy. Zuvor arbeitete er bei der X-Lane GbR als IT-Consultant, nachdem er an der Universität Luxemburg zu dem Thema Bedrohungsanalysen in der IT-Sicherheit promovierte.



### Dr. Julian Stubbe

Julian Stubbe ist seit 2017 als Berater in der VDI/VDE-IT im Bereich Demografischer Wandel und Zukunftsforschung tätig. Zuvor promovierte er an der Technischen Universität Berlin im Graduiertenkolleg „Innovationsgesellschaft heute“, wo er sich mit Fragen gesellschaftlicher, wissenschaftlicher und künstlerischer Innovationen auseinandersetzte. Er veröffentlichte und begutachtete Aufsätze zu Themen wie der gesellschaftlichen Bedeutung technischer Kreativität sowie zu methodischen Fragen der Innovationsforschung.



### Dr. Eva Suhren

Eva Suhren ist Apothekerin und Gesundheitswissenschaftlerin. In den letzten Jahren war sie als Projektkoordinatorin in der internationalen Zusammenarbeit bei verschiedenen Hilfsprojekten in Haiti sowie in der öffentlichen Apotheke tätig. Eva Suhren hat in der onkologischen Grundlagenforschung promoviert und eine qualitative Masterstudie im Bereich subjektives Gesundheitsempfinden erarbeitet. Seit 2017 ist sie als fachliche Beraterin in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH zum Thema Gesundheit tätig.



### Carolin Thiem

Carolin Thiem unterstützt die VDI/VDE Innovation + Technik GmbH im Bereich Gesellschaft und Innovation. Als fachliche Beraterin beschäftigt sie sich mit den Auswirkungen des digitalen Wandels auf die Gesellschaft und mit der Förderung von Sozialen Innovationen. Sie verfolgt weiterhin ihre Promotion in Wissenschafts- und Technikforschung an der TU München zu „Neuen Öffentlichkeiten“. Zuvor war sie tätig in der Innovations- und Designforschung bei der HYVE AG und der Service Innovation Labs GmbH.



### Désirée Tillack

Désirée Tillack ist Diplom-Journalistin und wechselte im Jahr 2017 als Beraterin zum Institut für Innovation + Technik in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, nachdem sie sechs Jahre lang Referentin in der Abteilung Öffentlichkeitsarbeit war. Dort konzipierte und begleitete sie PR-Aktivitäten und Veranstaltungen vor allem für das Bundesministerium für Bildung und Forschung sowie das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Zuvor hatte Désirée Tillack bei Turner Broadcasting System (u. a. CNN International) gearbeitet.



### Christine Weiß

Christine Weiß studierte Maschinenbau mit Fachrichtung Biomedizinische Technik an der TU Berlin. Im Rahmen des Studiums arbeitete sie als Werkstudentin bei Siemens Medical Systems in den USA und in Erlangen. Anschließend sammelte Christine Weiß fünf Jahre Industrieerfahrung als medizintechnische Entwicklungsingenieurin bei B. Braun Melsungen. Seit 2000 arbeitet sie für die VDI/VDE-IT als wissenschaftliche Mitarbeiterin für Gesundheit und Demografie und ist seit 2011 Seniormanagerin und stellvertretende Leiterin des Bereichs Demografischer Wandel und Zukunftsforschung.



### Dr. Jan Wessels

Jan Wessels ist Politologe und arbeitet seit 2000 bei der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH. Seine Schwerpunkte liegen in der Evaluation von Forschungs-, Technologie- und Innovationspolitik sowie in der strategischen Politikberatung zu Themen der Innovationspolitik, insbesondere für das Bundesministerium für Bildung und Forschung und das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Jan Wessels ist Sprecher des Arbeitskreises Forschungs-, Technologie- und Innovationspolitik der DeGEval – Gesellschaft für Evaluation.



### Dr. Werner Wilke

Werner Wilke ist promovierter Physiker und seit 1999 einer der Geschäftsführer der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH. Sein Studium absolvierte er an der Technischen Universität Berlin, war danach als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft, bevor er bei der Auergesellschaft GmbH die Leitung der Abteilung Product Management übernahm. Seit 1995 ist er bei der VDI/VDE-IT tätig, zunächst als Abteilungsleiter, dann als Leiter des Bereiches Technik. In seinem Zuständigkeitsbereich als Geschäftsführer der VDI/VDE-IT liegen u. a. die Themengebiete Kommunikationssysteme, Mensch-Technik-Interaktion, Digitalisierung, industrielle Forschung und Innovation sowie Zukunftstechnologien.



### Dr. Stefan Wolf

Stefan Wolf ist Ingenieur und seit 2018 als Berater in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH im Bereich Zukunftstechnologien und Europa tätig. Im Auftrag von Kunden aus Politik und Wirtschaft liefert er Expertise zu Innovationsfragen in den Themenbereichen Energiewende und Elektromobilität. Zuvor promovierte er an der Universität Stuttgart auf dem Gebiet der Energiesystemanalyse.

Für die Mitarbeit am Peer-Review danken wir Alfons Botthof, Dr. Marc Bovenschulte, Dr. Claudia Brunnlieb, Dr. Kristian Döbrich, Peter Dortans, Dr. Anne Dwertmann, Dr. Anne Endmann, Wolfram Groß, Volker Härtwig, Doris Johnsen, Dr. Katja Karrer-Gauss, Stephan Krumm, Ulrich Kuchelmeister, Dr. Lisette Leonhardt, Dr. Joachim Lepping, Dr. Gerd Meier zu Köcker, Lasse Reising, Dr. Michael Schubert, Dr. Markus Schürholz, Uwe Seidel, Dr. Eva Suhren, Guido Zinke.

## Bildnachweise

- S. 12: © Ingo Bartussek/Fotolia  
 S. 24: © Everett Historical/shutterstock  
 S. 30: © Lisette Leonhardt  
 S. 43: © ibreakstock/Fotolia  
 S. 57: © Jürgen Howaldt  
 S. 81: © Wavebreakmedia /iStock  
 S. 85: © BASF  
 S. 86: links: „Haber, Fritz (1868 – 1934)“ von ETH-Bibliothek Zürich, Bildarchiv ([http://ba.e-pics.ethz.ch/latelogin.jsp?records=:34054&r=152751823\\_0202#1527518355446\\_4](http://ba.e-pics.ethz.ch/latelogin.jsp?records=:34054&r=152751823_0202#1527518355446_4)) / Fotograf: Photographisches Institut der ETH Zürich /PI\_29-C-0097 / CC BY-SA (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.de>) rechts: © BASF  
 S. 99: © Jan Braun/ Heinz Nixdorf MuseumsForum  
 S. 101: „Newton and iPhone: ARM and ARM“ von Blake Patterson (<https://www.flickr.com/photos/35448539@N00/2379207825/>) CC BY 2.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/deed.de>)  
 S. 110: © Zeiss  
 S. 119: © Stephan Hahn  
 S. 134: © Everett Historical/shutterstock  
 S. 147: © Meiyi524/iStock  
 S. 159: „X-ray of the bones of a hand with a ring on one finger“ von Wilhelm Konrad von Röntgen (<https://wellcomecollection.org/works/zj6w4ad>) CC BY (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)  
 S. 172: © designed by Dooder / Freepik  
 S. 174 ff.: © Anke Jacob  
 S. 177: Foto Kreibich © Annette Koroll

# Impressum

**Herausgeber:**

VDI/VDE Innovation + Technik GmbH  
Hauptsitz in Berlin: Steinplatz 1, 10623 Berlin  
in München: Heimerstraße 37, 80339 München  
in Dresden: Kramergasse 2, 01067 Dresden  
in Bonn: Dreizehnmorgenweg 36, 53175 Bonn  
in Stuttgart (Projektbüro): Willi-Bleicher-Straße 19, 70174 Stuttgart

**Redaktion, Gestaltung und Realisation:**

VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, Agentur 33 GmbH

**Druck:**

Schöne Drucksachen GmbH

**Stand:**

Juni 2018  
ISBN: 978-3-89750-191-1

