



INSTITUT
FUTUR

Freie Universität



Berlin

Technologievorausschau in frühen Entwicklungsstadien.

Ein beispielhaftes methodisches Vorgehen für Technologien wie
Quantum Computing und Blockchain

Herbert Pirke

iF · SCHRIFTENREIHE | 06/21
Sozialwissenschaftliche Zukunftsforschung

Impressum

Institut Futur
Freie Universität Berlin
Fabeckstr. 37
14195 Berlin
© 2021

Herausgeber: Gerhard de Haan
Redaktion: Sascha Dannenberg
Daina Körting
Lea Rahman

Abstract

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit Technologien in frühen Entwicklungsstadien, die im Rahmen der Technologievorausschau schwer zu bewerten sind, da anfangs nur sehr wenig Information zur Bewertung vorliegt und die Entwicklungsmöglichkeiten vielfältig sind. Zudem werden neue Technologie oft von einem Hype begleitet, der durch überzogene Erwartungen eine Bewertung zusätzlich erschweren kann. Gleichzeitig besteht ein stetiger Bedarf an technologierelevanter Information, um sowohl Chancen als auch Risiken einschätzen zu können und damit einen zielgerichteten Ressourceneinsatz zu gewährleisten. Im Rahmen dieser Problemstellung fragt die Arbeit, ob ein nach Entwicklungsstadium differenzierter Ansatz helfen kann, Technologie speziell in frühen Entwicklungsstadien zu bewerten und rückt die Akteure dabei in den Fokus der Vorausschau. Die Arbeit stellt zwei Theorien in den Mittelpunkt: In den Science and Technology Studies werden unter dem Namen System Builder zentrale Akteure beschrieben, die den Technologiediskurs und das Ausbilden von Technologiepfaden und Innovationssystemen beeinflussen. In der Innovationsforschung geht das Lead User Konzept auf zentrale Akteure ein, die als Vorreiter der Innovationsadoption zukünftige Bedarfe einer breiteren Nutzerbasis antizipieren und selbst in den Innovationsprozess eingreifen. Basierend auf diesen beiden Theorien, den Theorien und methodischen Ansätzen der Technikwissenschaftlichen Vorausschau und der Innovationsforschung sowie den Ergebnissen leitfadengeführter Experteninterviews wird ein beispielhaftes methodisches Vorgehen für die Technologievorausschau in frühen Entwicklungsstadien vorgestellt. Dieses wird am Beispiel der beiden Technologien Blockchain und Quantum Computing zur Anwendung gebracht und bezüglich Machbarkeit und Nützlichkeit einer kritischen Bewertung unterzogen.

This thesis addresses technologies in early stages of development, which are difficult to assess in the context of technology foresight, as very little information is available for assessment at the beginning and the development possibilities are manifold. In addition, new technologies are often accompanied by hype which can lead to exaggerated expectations and thus make an assessment even more difficult. At the same time, there is a constant need for technology-relevant information in order to evaluate opportunities and risks and thus ensure a well-directed use of resources. This thesis addresses this problem by asking whether an approach differentiated by development stage could help to evaluate technology, especially in early development stages, and whether it would make sense to move the actors involved into the focus of foresight. To this end, two theories that describe such central roles in the innovation process are focused upon: In science and technology studies, under the name of system builders, central actors are described who influence the technological discourse and the formation of technology paths and innovation systems. In innovation studies, the lead user concept discusses central actors who, as pioneers of innovation adoption, anticipate future needs of a broader user base and intervene in the innovation process themselves. Based on these two theories, the theories and methodological approaches of technology foresight and innovation research, and the results of expert interviews, an exemplary methodological approach for technology foresight in early stages of development is presented. The latter is then applied to two example technologies, blockchain and quantum computing, and subjected to a critical evaluation with regard to feasibility and usefulness.

Zur iF-Schriftenreihe

Mit dieser Schriftenreihe veröffentlicht das **Institut Futur** Arbeitsergebnisse und Analysen, die im Kontext des Instituts entstanden sind - insbesondere Abschlussarbeiten von Studierenden des weiterbildenden **Masterstudiengangs Zukunftsforschung**. Die Palette der Themen ist entsprechend breit gehalten. Vieles hat explorativen Charakter. Das hat zwei Gründe: Erstens basiert die Zukunftsforschung bisher kaum auf einem konsolidierten wissenschaftlichen Fundament. Ihre Qualitäts- und Gütekriterien sind ebenso in der Diskussion wie ihre wissenschafts- und erkenntnistheoretischen Implikationen. Zweitens ist ihr Gegenstand so allumfassend, dass sich das Feld kaum ab-, geschweige denn eingrenzen lässt. Technologische Vorausschau gehört ebenso dazu wie Forschungen zum sozialen Wandel, zur Veränderung von Wirtschaftsstrukturen, zur Veränderung der Umwelt, zur Geschichte der Zukunftsvorstellungen, zur Bedeutung von Design, zu Wünschen und Bedürfnissen, zu den Forschungsmethoden und zu Fragen der Kontingenz künftiger Entwicklungen wie deren Vorhersage – um nur einige prägnante aktuelle Themenfelder zu benennen. Entsprechend offen ist das Konzept dieser Schriftenreihe. Sie bietet Facetten der Reflexion zu speziellen Themen, Analysen und Impulse für weitere Forschungsfragen, aber auch Ergebnisse aus empirischen Studien – immer mit Blick auf mögliche künftige Entwicklungen, Gestaltungsoptionen und Erwartungen.

Bei aller Offenheit und Heterogenität existiert für die Publikationen dennoch eine Rahmung. Zunächst sind einige der üblichen Kriterien von Wissenschaftlichkeit selbstverständlich Grundlage für die Beiträge: Transparenz, Nachvollziehbarkeit von Argumentationen, Zitationsmodi etc. folgen den wissenschaftlichen Gepflogenheiten. Darüber hinaus orientieren sich die Beiträge erstens erkenntnis- bzw. wissenschaftstheoretisch implizit oder explizit an konstruktivistischem Denken. Es scheint der Auseinandersetzung mit Zukunft generell angemessen, sie als konstruiert zu betrachten, da über sie schwerlich als Tatsache oder gar als Wirklichkeit gesprochen werden kann. Mit konstruktivistischen Ansätzen wird erkennbar, dass Wirklichkeiten geschaffen werden – das gilt schon für jegliche Gegenwartsdiagnose und für den Entwurf von Zukünften allemal. Zweitens folgen die Beiträge sozialwissenschaftlich in der Regel einem Verständnis von Gesellschaft, wie es im Kontext der Theorien zur zweiten oder reflexiven Moderne formuliert wird. Das bedeutet etwa, nicht mehr von eindeutigen Grenzen zwischen Natur und Gesellschaft auszugehen, sondern anzuerkennen, dass wir im Anthropozän leben. Wissen und Nichtwissen werden als eng miteinander verbunden angesehen. Auch sind eindeutige Trennungen zwischen sozialen Sphären immer weniger möglich. Ungewissheiten, Risiken und Wagnisse und das Unerwartete werden nicht als wegzuarbeitende Phänomene, sondern als Quellen für die Zukunftsforschung akzeptiert und genutzt, um Zukunft als gestaltbar darzustellen. Ob mit der hier gewählten erkenntnistheoretischen und gesellschaftstheoretischen Orientierung ein haltbarer Rahmen für die Schriftenreihe und darüber hinaus auch für die Zukunftsforschung gefunden wird, wird sich erweisen. Die Herausgabe der IF-Schriftenreihe dient u.a. als ein Beitrag zu dieser Diskussion.

Gerhard de Haan

- Herausgeber -

Inhalt

1. Einleitung	6
1.1 Problemfeld	6
1.2 Zielsetzung	7
1.3 Aufbau und Methodik	7
2. Stand der Wissenschaft und begriffliche Einordnung	8
2.1 Technologie und Technologievorausschau	8
2.2 Lineare und nicht-lineare Technologieentwicklung	9
2.3 Zukunftskonzepte der Technikgenese	10
2.4 Technologie als Konstrukt zentraler Akteure	11
2.5 Momentum der Technologieentwicklung	12
3. Perspektiven der Technologievorausschau	13
3.1 Technologievorausschau aus Sicht der Technikwissenschaft	13
3.2 Technologievorausschau aus Sicht der Innovationsforschung	16
3.3 Zusammenfassende Betrachtung	20
4. Technologievorausschau durch Betrachtung zentraler Akteure	23
4.1 Methodik bei der Durchführung und Auswertung der Interviews	23
4.2 Interviewauswertung und Ergebnisse	26
4.3 Designelemente eines methodischen Vorgehens zur Technologievorausschau	37
4.4 Ein beispielhaftes methodisches Vorgehen zur Technologievorausschau in frühen Entwicklungsstadien	43
5. Aktuelle Beispiele von Technologien in frühen Entwicklungsstadien	47
5.1 Blockchain	47
5.2 Quantum Computing	56
6. Fazit und Ausblick	66
Literaturverzeichnis	70

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1: Basisaktivitäten der Technologiefrüherkennung	15
Abbildung 3-2: Entscheidungsprozess der Diffusionstheorie	18
Abbildung 3-3: Adopter-Kategorien und Innovationsgruppen	18
Abbildung 3-4: Faktoren des Lead Markets	20
Abbildung 4-1: Der Möglichkeitsraum.	37
Abbildung 4-2: Der Lead Use Case.	42
Abbildung 4-3: Darstellung des technologischen Momentums.	46
Abbildung 5-1: Microsoft Academic Suchergebnis „blockchain“.	52
Abbildung 5-2: Momentum der Blockchaintechnologie	56
Abbildung 5-3: Microsoft Academic Suchergebnis „(quantum computing)“	59
Abbildung 5-4: Momentum der Technologie Quantum Computing	65

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Übersicht der methodischen Ansätze und Theorien	22
Tabelle 4-1: Liste der in den Interviews befragten Expertinnen und Experten	24
Tabelle 4-2: Interviewleitfaden	25
Tabelle 4-3: Interviewauswertung: Methodisches Vorgehen	28
Tabelle 4-4: Interviewauswertung: Vorgehen in frühen Entwicklungsstadien	30
Tabelle 4-5: Interviewauswertung: Bewertungs- und Erfolgskriterien	31
Tabelle 4-6: Interviewauswertung: Akteure der Technologieentwicklung	33
Tabelle 4-7: Interviewauswertung: Sicht der eigenen Rolle	34
Tabelle 4-8: Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Interviews	35
Tabelle 4-9: Vorgehen in vier Schritten	45

I. Einleitung

In einer Gesellschaft des stetigen Wandels ist der Stillstand zu einem bedrohlichen Szenario geworden und die Veränderung zur Konstante. So beschreibt Hartmut Rosa (1999: 163/164) die vornehmlich technologisch getriebene Beschleunigung der Gesellschaft. Die Beherrschung technologischer Innovation wird damit zum zentralen Faktor für die Zukunftsfähigkeit eines Landes oder Unternehmens (Gerpott 2005: 1). Gleichzeitig entsteht ein stetiger Bedarf an technologie-relevanter Information, um sowohl Chancen als auch Risiken einschätzen zu können und damit einen zielgerichteten Ressourceneinsatz zu gewährleisten (Wellensiek, Schuh, Hacker & Saxler 2011: 90). Die Technologievorausschau schickt sich an, diesen Informationsbedarf in Form von Orientierungswissen zu adressieren (Möhrle & Isenmann 2017), sieht sich dabei aber mit einigen grundsätzlichen Problemen konfrontiert.

I.1 Problemfeld

Technologie wird über viele Jahre entwickelt und existiert lange nur auf Papier oder in Laborumgebungen, bevor die ersten Anwendungen und Produkte entstehen (Pillkahn 2007: 37). Die Methoden der Technologievorausschau beruhen dabei oft auf der Betrachtung der Eigenschaften neuer Technologien sowie der Reaktion der Menschen darauf (hierzu mehr in Kapitel 3). Was aber, wenn diese Interaktion zwischen Menschen und Technologie noch nicht stattfinden konnte, weil fertige Produkte erst noch entwickelt werden oder in Nischen existieren (Geels 2004: 912) und so einem eingeschränkten Nutzerkreis zur Verfügung stehen? Zudem werden neue Technologie oft von einem Hype begleitet, der zu überzogenen Erwartungen führen kann und so eine Bewertung zusätzlich erschwert (Dedehayir & Steinert 2016).

Ein weiteres Problemfeld ergibt sich aus der Erkenntnis, dass Methoden der Technologievorausschau (siehe hierzu Cuhls 2008) oft unabhängig vom Entwicklungsstand der betrachteten Technologie eingesetzt werden (hierzu mehr in Kapitel 4.2.3). So wird häufig im Rahmen größerer Vorausschauprozesse eine große Anzahl an Technologien betrachtet. Und obwohl diese sich meist in sehr unterschiedlichen Entwicklungsstadien befinden, werden dennoch alle mit denselben Methoden bewertet (siehe hierzu Holtmannspötter et al. 2021; OECD 2018; Warnke et al. 2019; Zweck et al. 2015). Manchmal steht sogar die Methode schon fest, bevor die Ziele der Betrachtung definiert sind (Cuhls 2008: 8). Der Entwicklungsstand der betrachteten Technologien wird so gänzlich außer Acht gelassen.

1.2 Zielsetzung

Die vorliegende Arbeit widmet sich dieser Problemstellung, indem sie hinterfragt,

- (1) ob ein nach Entwicklungsstadium differenzierter Ansatz helfen könnte, Technologie speziell in frühen Entwicklungsstadien zu bewerten und
- (2) ob es hierfür sinnvoll wäre, die wirkenden Akteure¹ in den Fokus der Vorausschau zu rücken, anstatt einer Betrachtung der Eigenschaften von Technologie und deren Einfluss auf die Umwelt.

Hierzu wird untersucht, wie wirkmächtige Akteure, die im Laufe der Technologieentwicklung immer wieder andere sind, mit ihren Hoffnungen, Wünschen und Erwartungen neue Technologie ermöglichen und formen (Grunwald 2012: 59, 80).

Dabei stehen zwei Theorien, die solch zentrale Rollen im Innovationsprozess beschreiben, im Mittelpunkt dieser Arbeit:

In den *Science and Technology Studies* werden unter dem Namen *System Builder* zentrale Akteure beschrieben, die den Technologiediskurs beeinflussen und das Ausbilden von Technologiepfaden und Innovationssystemen ermöglichen (hierzu mehr in Kapitel 2.4).

In der Innovationsforschung geht das *Lead User Konzept* auf zentrale Akteure ein, die als Vorreiter der Innovationsadoption zukünftige Bedarfe einer breiteren Nutzerbasis antizipieren und selbst in den Innovationsprozess eingreifen (hierzu mehr in Kapitel 3.2.3).

Aus den gewonnenen Erkenntnissen soll ein akteurszentriertes, beispielhaftes Vorgehen zur Vorausschau für Technologien in frühen Entwicklungsstadien erarbeitet werden, welches im Anschluss an zwei aktuell diskutierten Technologien kritisch überprüft wird.

1.3 Aufbau und Methodik

Bezüglich des allgemeinen Aufbaus dieser Arbeit wurde ein sowohl induktiver als auch deduktiver Ansatz gewählt. Nach der Einleitung in Kapitel 1, werden in den induktiv geprägten Kapiteln 2 und 3 die theoretischen Grundlagen gelegt. Diese werden in Kapitel 4 um Interviews mit Expertinnen und Experten ergänzt mit dem Ziel, zentrale Thesen und Designelemente zu formulieren, um anhand dieser ein beispielhaftes methodisches Vorgehen für Technologie in frühen Entwicklungsstadien zu erarbeiten.

In Kapitel 5, dem deduktiven Teil dieser Arbeit, wird dieses methodische Vorgehen an zwei aktuell diskutierten Technologien beispielhaft angewandt, um es einer kritischen Prüfung bezüglich Machbarkeit und Praxistauglichkeit zu unterziehen.

Kapitel 6 formuliert zusammenfassende Erkenntnisse und Kritik sowie einen weiteren Ausblick auf mögliche weiterführende Untersuchungen zum Thema.

Methodisch wird insbesondere der induktive Teil zur Herleitung der Thesen und des methodischen Vorgehens von der Literaturrecherche bestimmt. Hierzu werden die für diese Arbeit relevanten Erkenntnisse aus den *Science and Technology Studies*, der technikwissenschaftlichen

¹ Aufgrund der besseren Lesbarkeit wird im Text das generische Maskulinum verwendet. Gemeint sind jedoch immer alle Geschlechter.

Vorausschau und der Innovationsforschung herausgearbeitet. Diese werden im Anschluss über leitfadengeführte Experteninterviews hinsichtlich ihrer Praxisrelevanz überprüft und ergänzt. Die Überprüfung des methodischen Vorgehens an den beiden Beispieltechnologien bedient sich vorhandener Studien der Technologievorausschau und der vorhandenen Artefakte der im Technologiediskurs aktiven Akteure und deren Handeln.

2. Stand der Wissenschaft und begriffliche Einordnung

2.1 Technologie und Technologievorausschau

Für diese Arbeit ist die Abgrenzung der beiden Begriffe *Technik* und *Technologie* von besonderer Bedeutung. So wird in der Literatur sowohl der Begriff *Technikvorausschau* (z. B. Cuhls 1998) als auch *Technologievorausschau* (z. B. Wellensiek et al. 2011: 4) verwendet. Dabei fällt zunächst auf, dass es diese Unterscheidung in der englischen Sprache nicht gibt, da der Begriff *Technology* beide deutschsprachigen Begriffe umfasst (Firat, Woon & Madnick 2008: 1). Die Nutzung des englischen Begriffs führt daher zunehmend dazu, dass auch im Deutschen *Technologie* und *Technik* als Synonym verstanden werden (Grupp 1997: 10).

In dieser Arbeit fiel die Entscheidung zugunsten des Begriffs *Technologie*, was im Folgenden näher erläutert werden soll. Es ist dabei keinesfalls so, dass der Begriff *Technik* für diese Arbeit nicht infrage kam, trägt er doch das Element der Handlung und des Verfahrens in sich (Grunwald 2013a: 13) und würde damit eine Verbindung zu den handelnden Akteuren schaffen, die in dieser Arbeit eine zentrale Rolle spielen. Zudem ist der Begriff *Technik* weitaus häufiger in den Titeln technologiebezogener Bewertungsmethoden zu finden, wie z. B. *Technikbewertung*, *Technikfolgenabschätzung* oder *Technikethik* (hierzu mehr Kapitel 3.1).

Trotzdem wurde für diese Arbeit der Begriff *Technologie* bevorzugt, da er im Gegensatz zum Begriff *Technik* auf die Nähe zur Wissenschaft und Forschung verweist (Schmitz 2017: 45). Es bietet sich damit die Möglichkeit der genauen begrifflichen Definition des Betrachtungsgegenstands dieser Arbeit: Die *Technologievorausschau* beschreibt speziell die frühen, forschungsintensiven Entwicklungsstadien. Es wird, wie im Falle der *Technologiefrüherkennung* (Zweck 2000), also einerseits der Bezug zu Wissenschaft und Forschung hervorgehoben, *Technologie* demgemäß als angewandte Wissenschaft wahrgenommen (Bijker, Hughes & Pinch 2012: 13), andererseits aber auch das frühe Entwicklungsstadium der Technologie betont.

Ein weiteres Argument, das für die Nutzung des Begriffs *Technologie* spricht, ist die Tatsache, dass er weiter gefasst verstanden wird als *Technik*. So sieht Gerpott (2005: 17) *Technologie* als „allgemeine wissenschaftlich fundierte Erkenntnisse über Ziel-/Mittelbeziehungen, die bei der Lösung praktischer Probleme von Unternehmen angewendet werden können.“ Hier steht also das Wissen um mögliche Problemlösungspotentiale im Vordergrund und nicht die fertigen Lösungen und deren Eigenschaften. Mit dem Fokus dieser Arbeit auf frühe Technologiestadien mit ihren noch

weitgehend unbekanntem Entwicklungspotentialen ist somit auch nach dieser Definition der Begriff *Technologie* der passendere.

Der Begriff der *Technologievorausschau*, wie er in dieser Arbeit verstanden wird, bezieht sich auf einen strategischen und langfristigen Blick in die Zukunft mit dem Ziel der Bewertung positiver sowie negativer Potentiale (Cuhls 2020: 338). Er beginnt ab einem zeitlichen Betrachtungshorizont von mindestens fünf Jahren (Steinmüller 1997: 20), ist ein Sammelbegriff verschiedener Theorien und methodischer Ansätze (Cuhls 2012: 12–13; Porter et al. 2004: 4–5) for example, technology intelligence, forecasting, roadmapping, assessment, and foresight. All of these techniques fit into a field we call technology futures analysis (TFA und steht für angewandte Zukunftsforschung (Cuhls 2020: 336). Um den Rahmen der hier vorliegenden Arbeit in Grenzen zu halten, werden in den Kapiteln 2 und 3 nur Theorien und methodische Ansätze beschrieben, die der beschriebenen Definition von *Technologievorausschau* und dem damit verbundenen langfristigen und strategischen Anspruch gerecht werden. Auf andere, eher in der taktisch operativen Planung verortete Verfahren, wie z. B. das Roadmapping (Cuhls 2008: 10), wird nicht weiter eingegangen.

2.2 Lineare und nicht-lineare Technologieentwicklung

Unter dem Begriff der *Technikgeneseforschung* war früh der Versuch einer Kategorisierung und Strukturierung der Entwicklungsabläufe der Technologieentstehung unternommen worden (Dierkes 1997: 8; Grupp 1997: 53). Dabei wurde anfänglich von einer linear ablaufenden Entwicklung ausgegangen (Steinmüller 1997: 94), eine Sichtweise, die teilweise immer noch eingenommen wird (Europäische Kommission 2013).

Diese linearen Modelle wurden in der Vergangenheit mehrfach kritisch hinterfragt (Grupp 1997: 17) und durch zyklische Ansätze der Technologieentwicklung ergänzt, wie z. B. das Triple Helix Modell von Leydesdorff (1995) oder die zyklischen Phasen der Anpassung von Innovationsdesigns aus den *Science and Technology Studies* (Pinch & Bijker 2012: 37). Letztere Modelle basieren auf der Idee, dass sich unterschiedliche Akteure in der Technologieentwicklung immer wieder gegenseitig beeinflussen und es zu einer nicht-linearen, zyklischen Entwicklung kommt.

Da in dieser Arbeit von Technologie in frühen Entwicklungsstadien die Rede ist (und es somit ja auch spätere Stadien der Entwicklung geben muss), impliziert dies zunächst, dass in dieser Arbeit von einem linearen Entwicklungsverlauf ausgegangen wird. Das ist jedoch nur bedingt der Fall. Einerseits wird im weiteren Verlauf der Arbeit noch mehrfach auf zyklische Rückkopplungseffekte eingegangen, die bei der wechselseitigen Einflussnahme zwischen zentralen Akteuren und Technologie entstehen (hierzu mehr in Kapitel 2.4). Andererseits wird davon ausgegangen, dass neue Technologien und darauf basierende Innovationen in Marktnischen ihren Ursprung finden (Geels 2004). Anfänglich sind also Einsatz und Verfügbarkeit neuer Technologien begrenzt, besagte Rückkopplungseffekte finden dementsprechend in geringem Umfang statt. Wenn in dieser Arbeit also von frühen Entwicklungsstadien die Rede ist, ist damit der Verbreitungsgrad gemeint, der über ein Nischendasein noch nicht hinausgekommen ist. Bei der Bewertung von Potentialen einer Entwicklung über die anfänglichen Nischen hinaus, wird von zyklischen Anpassungsprozessen ausgegangen.

2.3 Zukunftskonzepte der Technikgenese

Eine Grundannahme zur Überprüfung der in dieser Arbeit vorgestellten Problem- und Fragestellung ist die Idee, dass Technologie konstruiert und von zentralen Akteuren der Technologieentwicklung erschaffen wird, indem diese gemäß ihrer Zukunftsbilder und -erwartungen und entsprechend ihrer Handlungsmacht agieren und so auch den gesellschaftlichen Technologiediskurs beeinflussen (Grunwald 2012: 12, 24). Da es sich, wie bei jeder Form von Vorausschau, stets um gegenwärtige Zukünfte handelt (Grunwald 2009: 27), also Konstruktionen, die im jeweiligen gegenwärtigen Kontext der Betrachter entstehen, findet man sich in einem ständig wechselnden, weitläufigen und sehr diversifizierten Beobachtungsraum wieder. Aufgrund der daraus resultierenden Komplexität gibt es bis heute keine allgemeine Hermeneutik der Zukunftsgestaltung, die Technologie planbar machen könnte (Grunwald 2012: 24/25). Es stellt sich also die Frage, ob sich die Entwicklung von Technologie generell planen und gestalten lässt und welchen Einfluss Akteure in der Technologieentwicklung überhaupt haben können. Um diese Frage zu untersuchen, sollen im Folgenden einige der grundlegenden Wahrnehmungsmuster und Zukunftskonzepte der Technikgenese vorgestellt werden.

Unter dem Begriff *Technikdeterminismus* verbirgt sich die Idee, dass eine generelle Gestaltbarkeit und Steuerbarkeit der Technologieentwicklung nicht gegeben ist, da Technologie selbständig und nach dem Prinzip von Versuch und Irrtum entsteht und sich so der Möglichkeit einer Prognose entzieht (Grunwald 2012: 31).

Dem gegenüber steht der *Sozialdeterminismus*, der von direkter Einflussnahme unterschiedlicher Akteure ausgeht, die in verschiedenen Phasen der Technologieentwicklung wirksam werden (Grunwald 2012: 59).

Diese beiden generellen Wahrnehmungsmuster spiegeln sich in den drei grundlegenden Zukunftskonzepten wider, die bei der Technologievorausschau unterschieden werden können: die *prognostische*, *evolutive* und *gestalterische* Sicht auf die Zukunft (Grunwald 2012: 32).

Die *prognostische* Sicht auf die Zukunft basiert auf einem deterministischen Geschichtsverständnis, das von einer historisch bedingten Eigengesetzlichkeit ausgeht. Hieraus folgt ein Prognoseoptimismus, der, bei Verständnis der Gesetze und Muster, eine klare Vorhersagbarkeit postuliert. Die Technologie wird als determinierende Konstante angesehen, auf die die Gesellschaft reagiert statt diese aktiv zu gestalten (Grunwald 2012: 33).

Die *evolutive* Sicht auf die Zukunft sieht die Entwicklung von Technologie als Evolutionsprozess. In diesem wird von einer graduellen Veränderung ausgegangen, die in erster Linie vom Umgang und der Verwendung neuer Technologie getrieben wird und nicht von der Veränderung der Technologie selbst. Sie ist daher ergebnisoffen, wenig beeinflussbar und somit auch nicht prognostizierbar. Auch hier steht der reaktive Mensch im Vordergrund und nicht der Gestalter (Grunwald 2012: 35/36).

Die *gestalterische* Sicht hingegen sieht die Zukunft als offenen Möglichkeitsraum, mit einer absichtlichen Einflussnahme als Notwendigkeit. Hier rücken Zukunftsbilder und -erwartungen zentraler Akteure in den Mittelpunkt, die mit einem gestalterischen Anspruch agieren (Grunwald 2012: 34). Nun stellt sich die Frage, wie sich die hier vorliegende Arbeit bezüglich der zuvor beschriebenen

Zukunftskonzepte positioniert. Die Zukunftsforschung geht sowohl von der Annahme multipler Zukünfte aus, als auch von der Prämisse, dass Zukunftswissen immer auch Handlungswissen sein soll (De Jouvenel 1964: 13–17). Die beiden technikdeterminierten *prognostischen* und *evolutiven* Zukunftskonzepte stehen dabei in Konflikt mit diesen beiden Annahmen, weil von einer klaren Vorhersehbarkeit ausgegangen (*prognostische* Sicht) oder die Möglichkeit der Einflussnahme verneint wird (*evolutive* Sicht). Angesichts der einleitend formulierten Problemstellung und Zielsetzung, stehen in der vorliegenden Arbeit *sozialdeterministische* und *gestalterische* Zukunftskonzepte im Vordergrund. Es wird im Weiteren also davon ausgegangen, dass Technologie ein gesellschaftliches, sozial konstruiertes Artefakt darstellt, und dies unter der Prämisse einer gestaltbaren Zukunft.

Allerdings bleibt zu beachten, dass nicht von einer Entweder-oder-Situation auszugehen ist, wenn über allgemeine Reflexionsbegriffe gesprochen wird. Kein Betrachtungsgegenstand wird sich in Zukunftsfragen nur dem einen oder anderen Konzept unterwerfen lassen. Die Konzepte dienen daher als gedankliche Anker, um z. B. die eigene Methodenkonstruktion der Vorausschau zu verorten und die zuvor definierte Perspektive transparent anzuzeigen (Grunwald 2012: 70).

2.4 Technologie als Konstrukt zentraler Akteure

Der Begriff des in dieser Arbeit oft genannten handelnden Akteurs suggeriert erst einmal, dass womöglich Einzelpersonen am Werk wären, die namentlich genau zu benennen wären und die man, z. B. im Rahmen eines Vorausschauprozesses, einfach befragen könnte. Das kann vereinzelt der Fall sein. So hat z. B. Hughes seine Theorie des *System Builders* an der Person Thomas Edison sowie weiterer Personen aus dessen Umfeld abgeleitet (Hughes 1979). Andererseits wird in der Diffusionstheorie nach Rogers (2003) die Verbreitung von Innovation als Kommunikationsprozess angesehen (hierzu mehr in Kapitel 3.2.2), der nicht nur unter einzelnen Personen stattfindet, sondern auch in Institutionen (Geels 2004: 907) und Communities (Schubert, Sydow & Windeler 2013: 1389). Dabei wird angenommen, dass diese nicht gänzlich anonyme Gebilde sind, da Zukunftsbilder und -erwartungen häufig von zentralen Personen im Technologiediskurs ausgehen (Dierkes, Hoffmann & Marz 1992: 36; Knie 1994: 62).

Zusammenfassend zeichnen sich die handelnden Akteure in dieser Arbeit durch die folgenden zwei Merkmale aus:

1. Ihre Wechselbeziehung zwischen der Technologie und ihnen selbst: Akteure beeinflussen durch ihr Handeln die Technologie und die Technologie bzw. der gesellschaftliche Technologiediskurs beeinflusst das Handeln der Akteure (Grunwald 2012: 22; Hughes 2012: 45).
2. Ihre Wechselbeziehung zwischen den Zukunftsbildern und -erwartungen und der Zukunftsgestaltung: Unter der Annahme, dass Zukunftswissen zentraler Akteure zugleich auch immer Handlungswissen darstellt, kann davon ausgegangen werden, dass der Blick in die Zukunft diese immer auch verändert (Cuhls 2008: 6; Grunwald 2012: 69). Sie wird damit zur selbsterfüllenden oder selbstzerstörenden Prophezeiung (siehe hierzu auch Merton 1948).

Es ist daher eine zentrale Annahme dieser Arbeit, dass die Betrachtung der zentralen Akteure und deren Zukunftsbilder sowie -erwartungen Rückschlüsse auf die Entwicklungspotentiale von Technologie in frühen Entwicklungsstadien erlaubt. Gerade wenn Eigenschaften und Problemlösungspotentiale neuer Technologie nur schwer zu bewerten sind, könnte die Betrachtung der handelnden Akteure wichtige Anknüpfungspunkte zur Vorausschau bieten (hierzu mehr in Kapitel 4.2.3).

2.5 Momentum der Technologieentwicklung

Ein für diese Arbeit entscheidender Begriff ist das *Momentum*, das im Rahmen der *Science and Technology Studies* erforscht und diskutiert wurde (Hughes 2012). Analog zu seinem Pendant aus der Physik kann *Momentum* als richtunggebende Kraft verstanden werden, die sich einerseits aus der Summe aller Zukunftserwartung im Technologiediskurs zusammensetzt. Andererseits umfasst sie konkrete Artefakte wie Investitionen, Know-how und vorhandene Ressourcen (Hughes 2012: 70). Das *Momentum* ermöglicht das Ausbilden technologischer Pfade, die zum einen ein hohes Maß an Effizienz bei der Umsetzung (z. B. Produktion) von Technologie ermöglichen (Schubert et al. 2013: 1391). Zum anderen ergeben sich auch Pfadabhängigkeiten, die beim Umstieg auf neue Technologien hindernd wirken können (Sydow, Schreyögg & Koch 2009). Wenn Technologiepfade also ein Teilaspekt des Momentums sind und gleichzeitig die Entwicklung von Technologie fördern und behindern können, gilt dasselbe auch für das Momentum: Es kann sowohl zur treibenden Kraft als auch zum Hemmschuh der Technologieentwicklung werden.

Eine weitere Ambivalenz des *Momentums* zeigt sich in der Tatsache, dass es nicht nur beeinflusst werden kann, sondern auch selbst die Akteure beeinflusst. Es positioniert sich also zwischen den beiden Polen des Technik- und Sozialdeterminismus (Hughes 2012: 102) und sorgt über einen iterativen Aushandlungsprozess für einen stabilisierenden Effekt zwischen Technologie und den Akteuren, indem es auf diese beiden Aspekte einwirkt und sie zusammenführt (Schubert et al. 2013: 1391).

Für diese Arbeit ist die Tatsache, dass das *Momentum* teilweise messbar ist, besonders interessant. Aspekte der Pfadentwicklung und -bildung wie Wissen, Investitionen, vorhandene Prozesse und Verfahren spiegeln sich in Bilanzen, Patenten sowie Forschungs- und Investitionsdatenbanken wider. Die Intensität und Art des Technologiediskurses lässt sich an Artefakten erkennen, wie das Vorhandensein von Konsortien, Verbänden, und Konferenzen, in deren Aktivitäten sich das Momentum manifestiert (Schubert et al. 2013: 1403).

3. Perspektiven der Technologievorausschau

Technologie hängt im Laufe ihrer Entwicklung immer wieder von Entscheidungen ab, die teils bewusst, teils intuitiv getroffen werden (Cuhls 1998: 10; Grupp 1997: 7) und teilweise auch von zufälligen Ereignissen abhängen (Schmitz 2017: 31). Im Falle der Technologievorausschau und besonders in frühen Entwicklungsstadien handelt es sich daher um Entscheidungen unter Unsicherheit, weil nur unvollständige Informationen vorliegen (Haag, Schuh, Jennifer & Schmelter 2011: 313). Die Methoden der Zukunftsforschung und der Technologievorausschau haben daher stets das Ziel, den Grad der Unsicherheit und somit die Komplexität der Entscheidungen zu reduzieren und sind damit Strategien der Unsicherheitsabsorption (Cuhls 2020: 337; Steinmüller 2017: 32). Bei der Betrachtung der in den folgenden Kapiteln beschriebenen Theorien und methodischen Ansätze zur Technologievorausschau stellt sich die Frage, wie diese dazu beitragen, den Grad der Unsicherheit zu reduzieren, um zur Vorausschau von Technologien in frühen Entwicklungsstadien beizutragen. Dabei wird in zwei Kategorien unterschieden: Die technikwissenschaftliche Sicht, die im folgenden Kapitel 3.1 ausgeführt wird und die der Innovationsforschung im darauffolgenden Kapitel 3.2.

3.1 Technologievorausschau aus Sicht der Technikwissenschaft

Neben der Technikgeneseforschung (Kapitel 2.2 und 2.3) und Technikgeschichte (Grupp 1997) beschäftigt sich die Technikwissenschaft mit technologischen Entwicklungspotentialen und somit der Vorausschau (Grunwald & Kornwachs 2012). In den folgenden Kapiteln werden einige zentrale Theorien und methodischen Ansätze der Technikwissenschaft kurz vorgestellt, mit dem Ziel die Aspekte hervorzuheben, die für die Fragestellung und Zielsetzung dieser Arbeit einen Erkenntnisgewinn versprechen.

3.1.1 Technikbewertung

Die *Technikbewertung* ist als Oberbegriff für zukunftsbezogene Technologiebetrachtungen zu verstehen und in der VDI Richtlinie 3780 kodifiziert (VDI 2000). Sie umfasst sowohl die Technologievorausschau als auch die Technikfolgenabschätzung (Cuhls 1998: 11) und hat den Anspruch der Gestaltbarkeit durch Entscheider aus Wissenschaft, Gesellschaft und Politik (VDI 2000: 2). Dabei kommt ein interdisziplinärer Ansatz zum Tragen mit dem Ziel, Auswirkung und Zielerfüllung zu bewerten (VDI 2000: 3/4). Methodisch schlägt die Richtlinie ein Vorgehen in vier Schritten vor (VDI 2000: 27):

1. Definition und Strukturierung des Problems
2. Folgeabschätzung
3. Bewertung
4. Entscheidung

Für Technologien in frühen Entwicklungsstadien zeigt sich bereits im ersten dieser vier Schritte das in Kapitel 1.1 beschriebene Problem der Bewertung: Die „Definition und Strukturierung des Problems“ sowie die dafür nötige „Definition der Zielsetzung und Bewertungskriterien“ (VDI 2000: 2), lassen sich in den frühen Entwicklungsstadien schlecht abschätzen (Steinmüller 1997: 88).

Die Technikbewertung gemäß der VDI Richtlinie 3780 kennt kein nach technologischem Entwicklungsstand differenziertes Vorgehen. Es wird lediglich darauf verwiesen, dass bei der früh greifenden innovativen Technikbewertung eher qualitative Methoden zum Einsatz kommen (VDI 2000: 27).

3.1.2 Technikfolgenabschätzung und Technikethik

Während die Technikbewertung noch sehr allgemein gehalten ist und der Fokus auf „Begriffe und Grundlagen“ bereits im Titel der VDI Richtlinie 3780 steht, ist die *Technikfolgenabschätzung* (oder englisch *Technology Assessment*) schon sehr viel konkreter in ihrer Zielsetzung. Sie entstand vor über 50 Jahren im Kongress der Vereinigten Staaten, findet aber heute weltweit Anwendung (Grunwald 2018: XIII). Auch wenn keine einheitliche Definition für die Technikfolgenabschätzung vorliegt (Grunwald 2018: 3), lässt sie sich anhand ihrer Zielsetzung genauer charakterisieren:

1. Sie stellt sich den Herausforderungen, die sich durch die Interaktion von Gesellschaft und Technologie ergeben, indem sie die Folgen der Technik identifiziert und diskutiert (Grunwald 2018: 3).
2. Sie sieht sich als wissenschaftlichen Kommunikationsprozess mit dem Ziel der Meinungsbildung im Technologiediskurs und leistet so Beiträge insbesondere in der Politikberatung (Bösch & Dewald 2018: 12; Grunwald 2018: 5).
3. Sie besitzt Gestaltungsanspruch an die Zukunft, in dem sie über eine interdisziplinäre und normative Forschungspraxis zum öffentlichen Diskurs anregt (Dusseldrop 2013: 395).

Aus dem in Punkt (3) genannten Bezug zur Normativität der Technikfolgenabschätzung ergibt sich die Verbindung zur *Technikethik* (Grunwald 2013b: 2). Beide, die *Technikfolgenabschätzung* und die *Technikethik*, beanspruchen für sich, in Form eines kritischen Diskurses einen Beitrag zu leisten, um die durch Technik verursachten gesellschaftlichen Probleme zu lösen. Allerdings hat die *Technikethik* einen stärkeren normativen Fokus, während die *Technikfolgenabschätzung* eher deskriptiver Natur ist (Dusseldrop 2013: 398). Die *Technikethik* fragt nicht nur danach, welche Folgen Technologie mit sich bringt, sondern wie technische Innovationen ethisch zu beurteilen sind und welche Schlüsse sich daraus ergeben (Grunwald 2013b: 3). Ihr eigentlicher Gegenstand ist dabei nicht die Technik selbst, sondern die normativen Unsicherheiten im Umgang mit ihr (Grunwald 2013b: 4).

Da neuere Ansätze der *Technikfolgenabschätzung* vermehrt den normativen Anspruch hervorheben und, wie eingangs schon erwähnt, es keine klare Definition gibt, wird man beide Denkansätze

ze, *Technikethik* und *Technikfolgenabschätzung*, häufig gleichzeitig in den jeweiligen Aktivitäten der Technologiebewertung und Vorausschau finden (Dusseldrop 2013: 399).

Für diese Arbeit ist besonders interessant, dass der Fokus von *Technikfolgenabschätzung* und *Technikethik* nicht nur auf den Eigenschaften der Technologie selbst liegt, sondern auch auf den Akteuren und deren Handeln. Für diese akteursbezogene Betrachtung von Technologie wird in der *Technikfolgenabschätzung* auf das *Vision Assessment* zurückgegriffen, ein diskursanalytischer Ansatz, der Visionen und Narrative im Technologiediskurs einbezieht (Lösch, Grunwald, Meister & Schulz-Schaffer 2019).

3.1.3 Technologiefrüherkennung

Nach Zweck (Zweck 2000) besteht das Ziel der *Technologiefrüherkennung* darin, „(...) aussichtsreiche Technologieansätze zu ermitteln und geeignete Maßnahmen zwecks Erlangen wettbewerbsförderlicher Maßnahmen rechtzeitig zu ergreifen.“ Neben der Bewertung von Potentialen neuer Technologie ist die Bildung von Resilienzstrategien ein weiteres Ziel der Technologiefrüherkennung (Wellensiek et al. 2011: 90). Sie fungiert dabei als Bindeglied zwischen der strategischen Vorausschau und der operativen Planung (Wellensiek et al. 2011: 89).

Die Technologiefrüherkennung kennt zwei Basisaktivitäten der Informationssuche, das *Scanning* und *Monitoring*, die in Abbildung 3-1 genauer beschrieben sind.

	Ungerichtete Suche	Gerichtete Suche	
Informal	Das Abtasten nach (schwachen) Signalen außerhalb der Domäne ohne festen Themenbezug	Das Abtasten nach (schwachen) Signalen innerhalb der Domäne ohne festen Themenbezug	Scanning
Formal	Das Abtasten nach (schwachen) Signalen außerhalb der Domäne mit einem speziellen Themenbezug	Das Abtasten nach (schwachen) Signalen innerhalb der Domäne mit einem speziellen Themenbezug	
		Die Beobachtung und vertiefende Suche nach Informationen außerhalb der Domäne mit speziellem Themenbezug eines bereits identifizierten Signals	Die Beobachtung und vertiefende Suche nach Informationen innerhalb der Domäne mit speziellem Themenbezug eines bereits identifizierten Signals

Abbildung 3-1: Basisaktivitäten der Technologiefrüherkennung (Quelle: Krystek & Müller-Stewens 2006)

Wie an den Basisaktivitäten der *Technologiefrüherkennung* zu erkennen ist, kann sie als Prozess des Wissensmanagements verstanden werden (Wellensiek et al. 2011: 91). Ein Problem bei der Gewinnung von Zukunftswissen ist dabei, dass es einerseits im Umfeld der in die Zukunft blickenden Akteure entsteht. Andererseits ist es aber nicht einfach zu erkennen, da es aus sogenannten schwachen Signalen (Ansoff 1975) besteht, die zu erkennen besonderer Aufmerksamkeit und Prozesse bedürfen (Gerpott 2005: 101; Wellensiek et al. 2011: 92).

Allerdings werden diese schwachen Signale erkennbar, sobald sie auf wirkende Akteure treffen und so Handlungswissen zur Bewertung technologischer Potentiale entsteht (Wellensiek et al. 2011: 92/93).

Zusammenfassend wird festgehalten, dass zwei der zentralen Aspekte der Technologiefrüherkennung für diese Arbeit große Bedeutung haben:

1. Das Treffen schwacher Signale auf zentrale Akteure wie z. B. innovative Kunden und Zulieferer, Lead User (hierzu mehr in Kapitel 3.2.3) oder wissenschaftlich führende Institutionen (Gerpott 2005: 103/104)
2. Die Bewertung des Grads der Neuheit der identifizierten Technologie, z. B. in dem geprüft wird, ob die Technologie bereits anderweitig direkt oder indirekt gefördert wird (Zweck 2000: 140)

Als Einschränkung muss an dieser Stelle allerdings erwähnt werden, dass die Technologiefrüherkennung in erster Linie auf die Informationsbeschaffung und Beobachtung abzielt und somit zwar wichtige Informationen erhebt, jedoch selbst keine Methode der Vorausschau darstellt (Mieke 2006: 24).

3.2 Technologievorausschau aus Sicht der Innovationsforschung

Laut Hauschild et al. (2016: 4) wird Innovation wie folgt definiert:

„Innovationen sind qualitativ neuwertige Produkte oder Verfahren, die sich gegenüber einem Vergleichszustand ‚merklich‘ – wie auch immer das zu bestimmen ist – unterscheiden“.

Dabei unterscheidet sich die Innovation von der Invention, der reinen Erfindung, darin, dass es sich bei Innovation immer um vermarktete Erfindungen handelt, also um fertige Produkte (Hauschild et al. 2016: 5). Somit ergibt sich schon aus der Begriffsdefinition erneut das in Kapitel 1.1 beschriebene Problemfeld, dass in den frühen Entwicklungsstadien oft noch keine fertigen oder nur Nischenprodukte vorliegen. Wie später noch gezeigt wird (Kapitel 3.3 bzw. Tabelle 31) können die Theorien und methodischen Ansätze der Innovationsforschung zur Fragestellung und Zielsetzung der vorliegenden Arbeit Beiträge leisten, da sich die zu Grunde liegenden Prinzipien auch auf frühere Entwicklungsstadien anwenden lassen.

3.2.1 Akzeptanzforschung

Als erstes Beispiel wird hier die *Akzeptanzforschung* angeführt, genauer gesagt einer ihrer bekanntesten Vertreter, das *Technology Acceptance Model* oder *TAM*. Es wurde von Fred Davis (1985) entwickelt, der anhand der Verbreitung von Computern in Unternehmen grundlegende Verhaltensregeln der Akzeptanz ableitete. Deren Variablen lassen sich in zwei Gruppen einteilen: *perceived usefulness*, dem wahrgenommenen Nutzen und *perceived ease of use*, der wahrgenommenen Nutzerfreundlichkeit (Arnold & Klee 2015: 18). Interessant ist hierbei die subjektive Wahrnehmung der Innovation bei der Entscheidung, deren Zustandekommen in den Weiterentwicklungen des *TAM* noch genauer definiert und durch weitere Variablen ergänzt wurde:

- *TAM II* (Venkatesh & Davis 2000), dem die Faktoren subjektive Norm (z. B. Grad der Einbeziehung in Entscheidungen, Partizipation), Freiwilligkeit (direkte und indirekte Beeinflussung, Gestaltbarkeit) und Image (z. B. Status, der Aufgrund der Nutzung der Technologie erlangt wird) hinzugefügt wurden.
- *TAM III* (Venkatesh 2000), das um die Faktoren Selbstwirksamkeit des Nutzers (die individuelle Fähigkeit, die Innovation zu nutzen), Emotionen (Verspieltheit und Ängste) und Handlungswissen ergänzt wurde.

Diese verhaltenstheoretischen Grundlagen finden sich nicht nur in den noch folgenden Theorien und methodischen Ansätzen der Innovationsforschung wieder, sondern sind auch für die vorliegende Arbeit relevant: Die Variablen aus dem *TAM II* und *III* sind Aspekte, in denen sich Zukunftswünsche und -erwartungen der Akteure widerspiegeln, die ihrerseits den Technologiediskurs und somit die Technologieentwicklung beeinflussen.

3.2.2 Diffusion

Als zweite Theorie der Innovationsforschung wird in diesem Kapitel auf die *Diffusionstheorie* nach Rogers (2003) eingegangen. Während sich die Akzeptanzforschung dem Verhalten bei der Adoption von Innovation widmet, sieht sich die Diffusionstheorie als Kommunikationsprozess: „Diffusion is the process in which an Innovation is communicated through certain channels over time among the members of a social system.“ (Rogers 2003: 5)

Dieser Kommunikations- und Entscheidungsprozess verläuft über fünf Schritte, wobei sich die Akteure im System über Kommunikationskanäle gegenseitig beeinflussen (siehe hierzu Abbildung 32). Rogers zeigt hier also Parallelen zu dem bereits zuvor beschriebenen Technikdiskurs (Kapitel 3.1.2), dem Einfluss auf die Pfadentwicklung und somit dem *Momentum* der Technologieentwicklung (Kapitel 2.5).

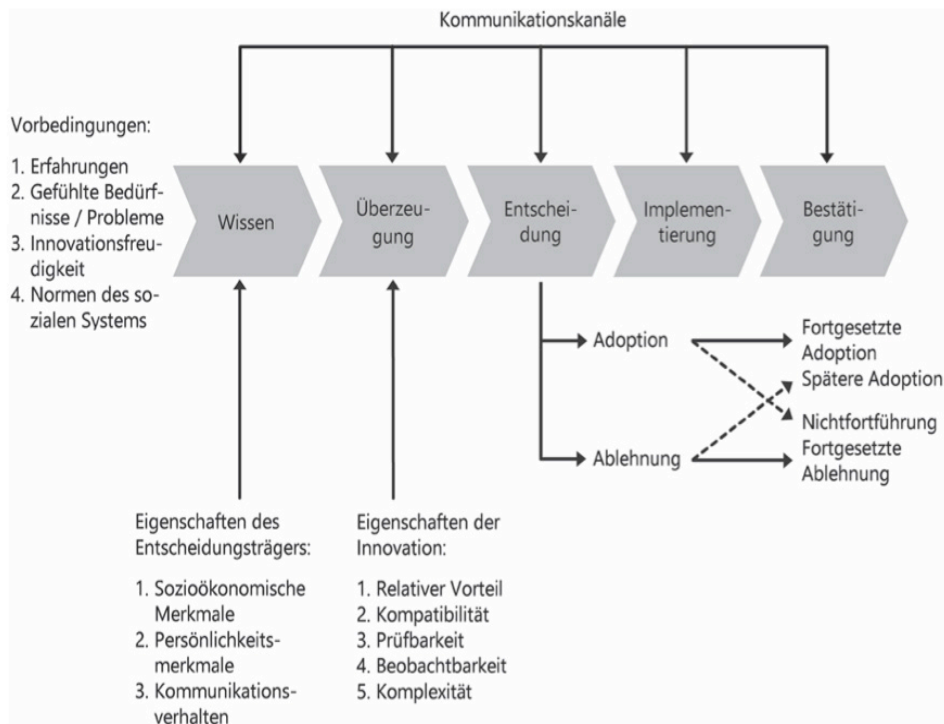


Abbildung 3-2: Entscheidungsprozess der Diffusionstheorie (Quelle: Rogers 2003: 165)

Rogers teilt die Akteure der Innovation in vier Gruppen ein, den sog. Adopter-Kategorien (siehe Abbildung 3-3). Diese nehmen sich jeweils nacheinander einer Innovation an und repräsentieren so den Innovationsgrad der Nutzer in der jeweiligen Kategorie (Rogers 2003: 247–250).

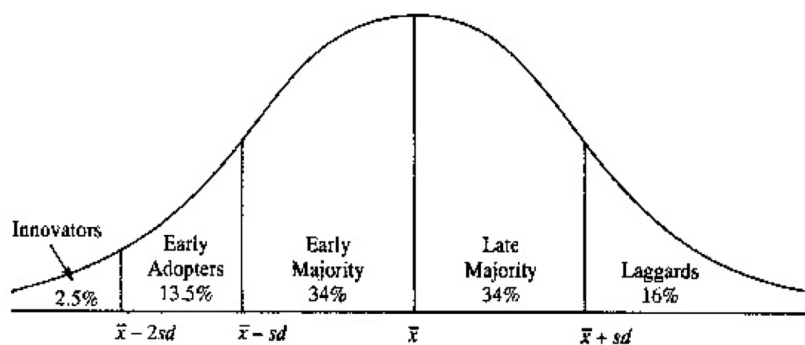


Abbildung 3-3: Adopter-Kategorien und Innovationsgruppen (Quelle: Rogers 2003: 347)

„Innovators“ sind nach Rogers also die ersten Nutzer einer neuen Technologie und machen gerade einmal 2,5 % der Nutzerbasis aus. Trotzdem sind sie es, die einer breitflächigen Diffusion den

Weg ebnen. Auch wenn sich diese Sicht wieder auf Innovationen und damit auf fertige Produkte bezieht (und nicht auf frühe Technologiestadien, die womöglich noch keine breit verfügbaren Produkte hervorgebracht haben), so bestätigt die Diffusionstheorie die Wichtigkeit zentraler Akteure im Innovationsprozess. Mit dieser Annahme beschäftigt sich auch das *Lead User* Konzept, das im folgenden Kapitel vorgestellt werden soll.

3.2.3 Lead User

Das *Lead User* Konzept (von Hippel 1986, 1995) entstand ursprünglich aus der Marktforschung, als Reaktion auf erkannte Unzulänglichkeiten im Falle sich schnell verändernder, technologiegetriebener Geschäftsfelder (von Hippel 1986: 791). Nach von Hippel (1986: 798) sind *Lead User* „(...) users (1) who are at the leading edge of each identified trend in terms of related new product and process needs and (2) who expect to obtain a relatively high net benefit from solutions to those needs.“

Die Definition zeigt Parallelen zum *TAM* (perceived usefulness) und der *Diffusion* (Innovators, Early Adopters) auf, wobei sich das *Lead User* Konzept in einem Aspekt von den anderen beiden Theorien unterscheidet: Die *Lead User* treten nicht nur als Nutzer von Innovation auf, sondern sind selbst als Innovatoren aktiv, indem z. B. Unternehmen diese als Ideenquelle in die Produktentwicklung mit einbeziehen oder die Nutzer selbst eigene Innovationen erschaffen (von Hippel 2005: 22). Diese beiden Eigenschaften, also das Antizipieren von Bedarfen und die aktive Rolle im Innovationsprozess, sind zwei der tragenden Elemente im später noch genauer ausgeführten beispielhaften methodischen Vorgehen für die Technologievorausschau in frühen Entwicklungsstadien (hierzu mehr in Kapitel 4.4).

3.2.4 Lead Market

Mit seiner *Lead-Market-Strategie* greift Beise (2006) einige Aspekte aus den drei zuvor beschriebenen Innovationstheorien auf, erweitert diese aber um eine ökonomische Märktesicht, im Folgenden *Lead Market* genannt, von denen Innovation ausgeht. Er liefert einen pragmatischen Ansatz der Komplexitätsreduktion, der klare Handlungsanweisungen, basierend auf einer Reihe von Studien zur Technologieentwicklung, beinhaltet (Beise 2006: VII). Dabei ist für diese Arbeit besonders interessant, dass die Eigenschaften der Technologie selbst nicht im Vordergrund stehen (Beise 2006: 7, 113), sondern die Eigenschaften und Faktoren des *Lead Market* (Abbildung 34). Der *Lead Market* ist im Gegensatz zum *Lead User* oder *Early Adopter* nach Rogers auch nicht der Ort, wo die Technologie als erstes genutzt oder erfunden wurde (Beise 2006: 22). Vielmehr nimmt der *Lead Market* eine Führungsrolle bei der Etablierung neuer Innovationen ein. In diesen wird, wie in dem zuvor bereits erwähnten *Closing* Prozess der *Science and Technology Studies* (Kapitel 2.2), von einer Anpassung und Selektion von *Innovationsdesigns* ausgegangen. Dabei entsteht im *Lead Market* dasjenige *Innovationsdesign*, das sich im Anschluss international durchsetzt (Beise 2006: 8). Das *Innovationsdesign* ist ein zentraler Begriff der *Lead Market* Strategie und beschreibt „(...) eine ganz konkrete technische Umsetzung einer Funktion oder eines Funktionsbündels (...)“ (Beise 2006: 40). Die Grundlegende Annahme ist dabei, dass unterschiedliche Eigenschaften von

Märkten auf Basis derselben Technologie unterschiedliche *Innovationsdesigns* hervorbringen, die miteinander konkurrieren. Der *Lead Market* ist der Ort, wo sich seine bestimmenden Faktoren (siehe hierzu Abbildung 3-4) in besonders hoher Ausprägung vorfinden und die schwächeren Ausprägungen der anderen Märkte kompensiert werden (Beise 2006: 115).

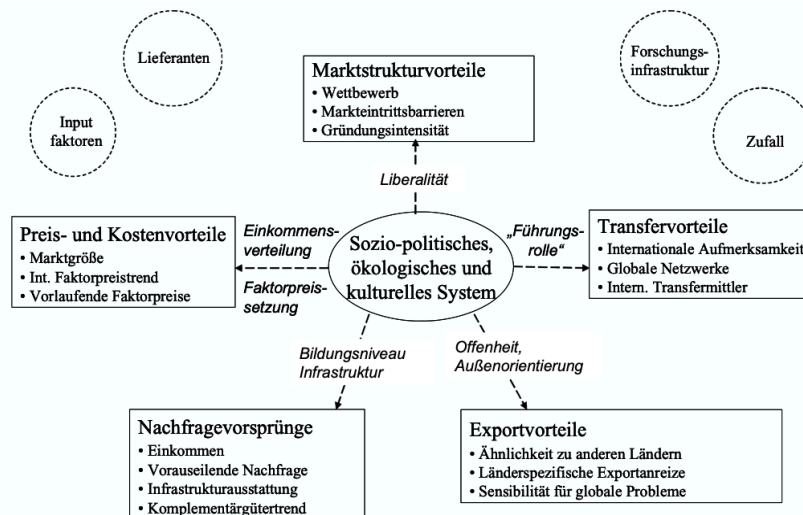


Abbildung 3-4: Faktoren des Lead Markets (Quelle: Beise 2006: 121)

Wie beim *Lead User* steht auch der *Lead Market* an der Spitze eines Trends. Allerdings spielen im Vergleich zu Ersterem zusätzliche ökonomische Aspekte eine zentrale Rolle (Beise 2006: 119):

1. Der Preis der neuen Innovation im Verhältnis zum Einkommen
2. Der wahrgenommene Nutzen (Preis-Leistungs-Verhältnis)

Gerade der letzte Punkt, der wahrgenommene Nutzen (siehe auch hier die Entscheidungsfaktoren aus dem TAM in Kapitel 3.2.1), ist ein zentraler Faktor für die internationale Verbreitung. Es stellen sich Nachahmungseffekte ein, wenn der *Lead Market* eine ausreichende Sichtbarkeit hat (Beise 2006: 133). In der Nachahmung und Sichtbarkeit spiegelt sich erneut der Einfluss des Technologiediskurses wider, als einer der beiden Faktoren des technologischen *Momentums*.

Daneben ist für diese Arbeit weiterhin interessant, dass das Vorhandensein verschiedener, konkurrierender *Innovationsdesigns* ein messbarer Faktor und einer der zentralen Indikatoren für *Lead Market* ist (Beise 2006: 138). Dieser Aspekt wird in dieser Arbeit noch aufgegriffen (hierzu mehr in Kapitel 4.4).

3.3 Zusammenfassende Betrachtung

Bei Gegenüberstellung der in Kapitel 3.1 und 3.2 vorgestellten Sichtweisen fällt auf, dass sich die technikwissenschaftliche Sicht auf die Eigenschaften der Technologie selbst und deren Eigenschaften konzentriert und dabei fragt, was daraus werden könnte, sobald die Technologie beginnt, mit ihrer Umwelt zu interagieren (Zweck 2000: 135). Hier ist eine Tendenz zum Push-Mechanismus zu erkennen und somit zur Annahme, dass die Technologie selbst Innovation vorantreibt (Hau-

schildt et al. 2016: 262).

Die aktuelle Innovations- und Akzeptanzforschung hingegen fragt danach, wie die Wünsche und Erwartungen, aber auch Befürchtungen und Ängste zukünftiger Nutzer mit den neuen Eigenschaften der Technologie interagieren, sich Erfolg in Form von Akzeptanz und Diffusion einstellt oder die Technologie aufgrund von Ablehnung scheitert. Neben den bereits in Kapitel 2.5 vorgestellten Technologiepfaden spielen hier also verhaltenstheoretische Betrachtungen eine Rolle, die die Nutzer und Märkte der Technologie in den Fokus rücken. Hier ist eine Tendenz zum Pull-Mechanismus zu erkennen, da davon ausgegangen wird, dass sich die Entwicklungsprozesse neuer Technologien an Bedarfen von Nutzern und Märkten orientieren (Hauschildt et al. 2016: 262).

Beiden Ansätzen gemein ist jedoch die Betrachtung der Interaktion von Technologie und ihrer Umwelt sowie die jeweilige Reaktion darauf. Die Nutzer spielen in dieser Umwelt eine maßgebende Rolle, was wieder zu der bereits in der Einleitung formulierten Problemstellung führt: Wie bewertet man Technologie, die keine oder nur Nischenprodukte hervorgebracht hat und bei der die Interaktion zwischen Technologie und Umwelt nur begrenzt stattfinden konnte?

Wie später in dieser Arbeit noch ausgearbeitet wird (hierzu mehr in Kapitel 4.4), ist ein möglicher Lösungsansatz, den Pull-Mechanismus im Entstehungsprozess von Technologie nach vorne zu verlagern. Anstatt der Betrachtung der Nutzer und deren Zukunftswünsche und -erwartungen, könnten die zentralen Akteure und Entscheider der Technologieentwicklung deren Platz in der Betrachtung einnehmen. Dies geschieht unter der Annahme, dass diese analog zum *Lead User* Konzept aus Kapitel 3.2.3, Anforderungen antizipieren können. Weiterhin interagiert die Technologie in frühen Entwicklungsstadien nicht mit Nutzern, sondern mit Entscheidern aus Forschung, Politik und Wirtschaft und wird so zum Teil des gesellschaftlichen Diskurses. Der gesellschaftliche Technologiediskurs wiederum tritt an die Stelle des Marktes und wirkt so als Pull-Mechanismus auf die Entwicklung von Technologie. Wichtig ist dabei die Feststellung, dass Technologieentwicklung nie gänzlich als Markt-Pull zu erklären ist, da Innovation immer dann entsteht, wenn Push und Pull aufeinandertreffen (Hauschildt et al. 2016: 4).

Bleibt noch die Frage nach der Relevanz aller in Kapitel 3 vorgestellten Theorien und methodischen Ansätze für die hier vorliegende Arbeit. Wie im letzten Absatz beschrieben hat sich die in der Einleitung formulierte Problemstellung bestätigt. Trotzdem bleibt festzuhalten, dass die vorgestellten Theorien und methodischen Ansätze wichtige Kernaspekte in sich tragen, die im Kapitel 4.4 beschriebenen methodischen Vorgehen Anwendung finden und in Tabelle 31 zusammenfassend dargestellt sind.

Tabelle 3-1: Übersicht der methodischen Ansätze und Theorien (Quelle: eigene Darstellung)

Theorie	Relevante Aspekte
<i>Technikbewertung</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Grundlegende Begriffe und taxonomische Einordnung
<i>Technikfolgenabschätzung und Technikethik</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Kein alleiniger Fokus auf die Eigenschaften der Technologie bei der Bewertung • Stattdessen Einbeziehen von Akteuren, Diskursen, Zukunftsbildern und Narrativen bei der Bewertung
<i>Technologiefrüherkennung</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Zusammentreffen von Akteuren, Zukunftswissen und schwachen Signalen • Bewertung des Grades der Neuheit der Technologie und ihrer späteren Produkte
<i>Akzeptanzforschung</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Einbeziehen von Akteuren in die Bewertung und grundlegende Annahmen über deren Verhalten • Subjektive Wahrnehmung der Technologie als entscheidender Faktor
<i>Diffusion</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Innovationsverbreitung als Kommunikationsprozess in Netzwerken • Akteursbezug durch Schlüsselrollen im Adoptionsprozess
<i>Lead User Konzept</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Akteursbezug durch Schlüsselrollen im Adoptionsprozess • Antizipation von Bedarfen größerer Nutzerkreise durch zentrale Akteure • Schlüsselrollen sind nicht nur die ersten Anwender, sondern aktiver Teil des Innovationsprozesses
<i>Lead Market Strategie</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Attribute der Märkte, in denen Innovation entsteht, als zentrale Faktoren • Aushandlungsprozesse konkurrierender Innovationsdesigns führen zu erfolgreichen Innovationen • Nicht mehr die frühe oder gar erste Nutzung entscheidet, sondern die finale Selektion des Innovationsdesigns im Lead Market

4. Technologievorausschau durch Betrachtung zentraler Akteure

Bislang basiert diese Arbeit auf der Auswertung einschlägiger Literatur. Daraus ergaben sich Erkenntnisse wie z. B. die Eigenschaften zentraler Akteure in der Technologievorausschau. In diesem Kapitel sollen diese Akteure nun selbst zu Wort kommen, und zwar im Rahmen von Leitfadeninterviews, mit denen der bislang gewonnene Erkenntnisstand gemäß seiner Praxistauglichkeit überprüft werden soll. Dies gilt insbesondere in Anbetracht der beiden zentralen Fragen dieser Arbeit:

1. Ist aus Sicht der angewandten Praxis ein differenziertes Vorgehen für Technologien in frühen Entwicklungsstadien von Vorteil oder gar schon in Anwendung?
2. Könnte sich dabei ein akteurszentriertes Vorgehen besonders eignen, und wird ein solcher Ansatz in der Praxis schon angewandt?

Auf Basis der Ergebnisse der Leitfaden-Interviews, sowie unter Berücksichtigung der in Kapitel 2 und 3 dargelegten Annahmen und Erkenntnisse sollen in Kapitel 4.3 zentrale Designelemente herausgearbeitet werden, auf denen das beispielhafte methodische Vorgehen in Kapitel 4.4 aufbaut.

4.1 Methodik bei der Durchführung und Auswertung der Interviews

Zielsetzung der Gespräche mit den Expertinnen und Experten war, im Rahmen von systematisierenden Leitfadeninterviews Prozesswissen über die genutzten Methoden der Technologievorausschau zu erlangen (Bogner, Littig & Menz 2014; Flick 2019). Die Suche und Auswahl der zu befragenden Personen basierte daher auf den folgenden Kriterien:

- Personen mit beratender Funktion in technologischen Bewertungs- und Entscheidungsprozessen
- Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in Forschungseinrichtungen, die sich mit Methoden der Technologievorausschau beschäftigen oder selbst Technologievorausschau betreiben

Nach erfolgreicher Recherche ergaben sich acht Interviews wie in Tabelle 4-1 aufgeführt.

Tabelle 4-1: Liste der in den Interviews befragten Expertinnen und Experten (Quelle: eigene Darstellung)

	Datum	Berufsbezeichnung, Titel
Interview1	13.11.2020	Wissenschaftliche Mitarbeiterin im Bereich der Technikfolgenabschätzung
Interview2	25.11.2020	Forschungsgruppenleiter im Bereich der Technikfolgenabschätzung
Interview3	08.12.2020	Berater und Zukunftsforscher
Interview4	10.12.2020	Experte im Bereich Foresight eines internationalen Technologieunternehmens
Interview5	11.12.2020	Leiter einer Foresight-Abteilung in einem internationalen Industrieunternehmen
Interview6	15.12.2020	Science Marketing und Research Manager im Think Tank einer Forschungseinrichtung (zwei Personen)
Interview7	16.12.2020	Investment Analyst in einem Venture Capital Unternehmen
Interview8	06.01.2021	Investment Manager in einem Venture Capital Unternehmen

Der Leitfaden wurde nicht vorab versandt, da aus Rücksicht auf die Zeit der Befragten keine Vorbereitung nötig sein sollte. Weiterhin sollte trotz des systematisierenden Ansatzes eine gewisse Spontaneität der Antworten erhalten bleiben und so auch Deutungswissen mit abgefragt werden (Bogner et al. 2014; Flick 2019).

Einleitend zu den 45- bis 90-minütigen Interviews wurden das Thema der Arbeit sowie die zentralen Fragen und Annahmen kurz vorgestellt. Im Anschluss wurde eine offene Diskussion geführt über die in der Praxis anzutreffenden Methoden, Akteure, Zukunftsbilder und -erwartungen sowie deren Relevanz für die Prozesse der Vorausschau. Die Rolle des Fragestellers und Autors dieser Arbeit sollte die eines Experten auf Augenhöhe sein, da dies zur Qualität des Gesprächsniveaus beiträgt und sich besonders für systematisierende Interviews eignet (Bogner et al. 2014).

Tabelle 4-2: Interviewleitfaden (Quelle: eigene Darstellung)

In welcher Rolle sehen sich die Expertinnen und Experten?	
	Als Teilnehmer und Gestalter oder als Beobachter und Reagierende?
	Als Teil des Forschungs- und Innovationsprozesses selbst oder als Enabler / System Builder, der den gesellschaftlichen Technologiediskurs beeinflusst?
Welche Zukunftsbilder prägen das Handeln der Befragten?	
	Was ist die Erwartung an Technologie und deren Einfluss auf die Zukunft?
	Wird diese Zukunftserwartung kommuniziert und ist diese Kommunikation institutionalisiert, gibt es eine Community, die sich über bestimmte Kanäle regelmäßig austauscht?
Wie wird Vorausschau im Allgemeinen und Technologievorausschau im Speziellen betrieben?	
	Welche Methoden kommen zum Einsatz?
	Wird bei der Methodenwahl differenziert nach Entwicklungsstand der Technologie vorgegangen?
	Werden Betrachtungsgegenstände der Vorausschau auf eine andere Art klassifiziert, die Einfluss auf die Methodenwahl hat?
Ist der laufende Technologiediskurs Teil der Bewertung von Technologie?	
	Wie wird der Einfluss des Technologiediskurses bewertet?
	Ist der Technologiediskurs institutionalisiert?
	Lässt sich die Intensität des Technologiediskurses messen?
Ist die Betrachtung zentraler Akteure Teil der Bewertung von Technologie?	
	Was macht die Akteure der Betrachtung wert?
	Sind deren Zukunftsbilder und -erwartungen bekannt und fließen diese in die Bewertung ein?
	Wie ist der Einfluss der Akteure auf den laufenden Technologiediskurs zu bewerten?
Wie werden der Nutzen und Mehrwert von Technologie bewertet?	
	Was macht Technologie wirklich neu?
	Wie wird der Nutzen einer Technologie bewertet, insbesondere wenn noch nicht klar ist, welche Produkte daraus entstehen werden?
Wurden die beiden Beispiel-Technologien der Arbeit schon betrachtet?	
	Wurde für Quantum Computing bereits Vorausschau betrieben und falls ja, mit welchen Methoden und was war das Ergebnis?
	Wurde für Blockchain bereits Vorausschau betrieben und falls ja, mit welchen Methoden und was war das Ergebnis?

Bei der Auswertung wurden gemäß der induktiven Kategorienbildung nach Mayring (2015: 69–72) schrittweise aus den transkribierten Interviews gemäß eines zuvor definierten Abstraktionsniveaus und auf Basis der Fragen des Interviewleitfadens Kategorien identifiziert und in Hauptkategorien zusammengefasst. Nach Stabilisierung dieses Kategoriensystems wurden alle Transkripte erneut überprüft und die Textstellen final den Kategorien zugeordnet.

Sowohl die Transkription als auch die Auswertung wurde mithilfe der Software MAXQDA durchgeführt (VERBI 2020). Das im Anhang beigefügte Kategoriensystem sowie die Auflistung der Kategorien und der dazugehörigen Textstellen sind Exporte aus MAXQDA.

4.2 Interviewauswertung und Ergebnisse

Im Folgenden werden die Interviews über die zuvor definierten Kategorien vergleichend ausgewertet. Als Quellenangabe wird dabei auf *Codes* verwiesen, ein Begriff, der in MAXQDA Anwendung findet und durch das gewählte Vorgehen als Synonym zu den *Kategorien* nach Mayring (2015) anzusehen ist. Da MAXQDA für die in diesem Kapitel getroffenen Aussagen als Quellenangabe dient, wird im Weiteren der Begriff *Code* verwendet. Hierbei ist zu beachten, dass die *Codes* hierarchisch aufgebaut sind, manche also in weitere *Codes* unterteilt wurden.²

Neben der vergleichenden Auswertung der *Codes* wird auch auf einzelne Positionen in den Interviews direkt Bezug genommen. Als Quellenangabe wird dabei die Interviewnummer genannt, wie in Tabelle 4 I beschrieben, sowie die Position mit einem „P:“ angegeben, also z. B. „Interview I (P: 12)“ oder „(Interview I, P: 12)“.³

4.2.1 Systemische Betrachtungsebene bei der Technologiebewertung

Eine der ersten Fragestellungen, die in diesem Kapitel untersucht werden soll, ist die der Systemebene, auf der die interviewten Personen Technologievorausschau betreiben. Über den Code *Betrachtete Systemebene* wurden die Interviews dahingehend untersucht, ob Technologien im Kontext ganzheitlicher Systeme bewertet werden oder ob der Fokus auf die Technologie und deren Eigenschaften und Entwicklungspotentiale selbst liegt.

Bei der Analyse des Codes *Betrachtete Systemebene* fiel auf, dass in allen Interviews eine breite, interdisziplinäre Systemsicht genannt wurde:

- In Interview I und Interview 2, in denen Technologie aus Sicht der Technikfolgenabschätzung und somit der Politikberatung bewertet wird, stehen die vielseitigen gesellschaftlichen Auswirkungen von Technologie im Vordergrund (Interview I, P: 2, 44; Interview 2, P: 23).
- Aus Sicht eines Beraters und Zukunftsforschers im Innovationsmanagement wurde insbesondere die Abhängigkeiten des Betrachtungsgegenstandes zu anderen Technologien in den Vordergrund gerückt (Interview 3, P: 82, P: 20-22). Zusätzlich wurde aber auch die Notwendigkeit der Einbeziehung des sozio-technischen Umfelds der Technologie genannt, das sich im Wechselspiel mit der Technologie und den abhängigen Systemkomponenten entwickelt (Interview 3, P: 89).
- In Interview 4 und Interview 5, aus Sicht des Industrie- und des Technikunternehmens, ist die Betrachtung geopolitischer und gesellschaftlicher Megatrends ein maßgeblicher Treiber für eine gesamtheitliche Betrachtung (Interview 4, P: 11; Interview 5, P: 7).

2 Die Codestruktur der Interviewauswertung kann in der „Anlage 1: Codestruktur der Interviewauswertung“ auf Anfrage beim Studien- und Prüfungsbüro des MA Zukunftsforschung eingesehen werden.

3 Alle auf diese Art direkt zitierten Interviewpositionen können in der „Anlage 2: Auszug aus den Interviewtranskripten“ auf Anfrage beim Studien- und Prüfungsbüro des MA Zukunftsforschung eingesehen werden.

- Ähnliches gilt auch für Interview6: Mit dem Ziel der wissenschaftlichen Ausrichtung von Forschungsschwerpunkten wurden Bedarfe aus Gesellschaft und Wirtschaft genannt, die vor dem Hintergrund der Problemlösungspotentiale neuer Technologien bewertet werden (Interview6, P: 3, 20).
- Aus der Sicht der Venture Capital Unternehmen ist eine breite Betrachtung ganzer Technologiefelder (Interview7, P: 13) und eines breiten Spektrums an Unternehmen und Branchen nötig (Interview8, P: 17), um potenziell wichtige Entwicklungen nicht zu verpassen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich die breite Systemsicht aus den Interviews durch zwei maßgebliche Aspekte begründet:

1. Einerseits muss ein breites Spektrum an Technologien betrachtet werden, da Innovation immer in Innovationsnetzwerken entsteht und Abhängigkeiten zu anderen technologischen Entwicklungen betrachtet werden müssen.
2. Andererseits ergibt sich die breite Systemsicht durch die in den Interviews häufig genannte Zielsetzung, Technologie über deren gesellschaftlichen Auswirkungen und Problemlösungspotentiale zu bewerten, ein wichtiger Bewertungsfaktor, wie auch in Kapitel 4.2.4 noch näher dargestellt wird.

Somit stellt sich die Frage, welche weiteren Faktoren eine Rolle spielen und wie diese in der Praxis in das methodische Vorgehen eingebettet werden. Diese Fragen werden in den folgenden Kapiteln genauer betrachtet.

4.2.2 Methodenwahl und Vorgehen bei der Bewertung

Eine der einleitenden Fragen zu Beginn der Interviews war die Frage danach, wie die interviewten Personen allgemein ihre Vorgehensweise und Methodik bei der Technologievorausschau beschreiben würden. Die Antworten darauf wurden unter dem Code *Methodisches Vorgehen* zusammengefasst. In den darunter angeordneten Codes wurde betrachtet, ob und wie das Entwicklungsstadium oder andere Kriterien die Methodenwahl beeinflussen und ob Akteure sowie deren Diskurse und Leitbilder (mehr zum Begriff des Leitbilds in Kapitel 4.3.1) Eingang in die Bewertung finden. Die Ergebnisse dieser Auswertung sind in Tabelle 4-3 dargestellt. Die Angaben, die in dieser Tabelle unter „Nennungen“ gezählt werden, sind Textstellen, unter denen positive Angaben zum Einbezug von Kriterien zur Methodenwahl gemacht wurden, wie Entwicklungsstadien, Akteure, Diskurse und Leitbilder. Da die Interviews unterschiedlich lang waren, ist die Spalte „Summe aller Nennungen“ nur bedingt relevant. In kürzeren Interviews kommen Mehrfachnennungen naturgemäß seltener vor als in denen mit bis zu doppelter Dauer. Dafür eignet sich die Spalte „Anzahl Interviews mit Nennungen“ sehr viel besser zur Bewertung der Codes, da diese den Grad des Konsenses der interviewten Personen widerspiegelt.

Tabelle 4-3: Interviewauswertung: Methodisches Vorgehen

(Quelle: Export aus dem MAXQDA Code.Matrix Browser über alle genannten Codes)

MAXQDA Code	Anzahl Nennungen								Summe aller Nennungen	Anzahl Interviews mit Nennungen
	IV 8	IV 7	IV 6	IV 5	IV 4	IV 3	IV 2	IV 1		
Einsatzspektrum der Technologie	1	0	0	0	0	1	0	0	2	2
Transferpotential von der Technologie zum Geschäftsmodell	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Skalierbarkeit	3	1	0	1	0	0	0	0	5	3
Strategische Gesichtspunkte	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
Emotionale Eigenschaften	1	2	2	1	0	0	0	0	6	4
Disruptive Eigenschaften	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1
Machbarkeit	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
Problemlösungspotential	5	2	3	0	0	2	1	0	13	5
Vorhandensein von Killer-/Pilotanwendungen	0	1	1	0	0	1	0	0	3	3
Messbare Optimierungspotentiale	0	2	0	2	0	1	0	0	5	3
Entwicklung abhängiger Systemkomponenten	0	1	1	0	0	2	0	0	4	3
Konvergenz Anwendungspotential und Akteure	5	0	0	0	1	1	1	1	9	5
Konvergenz Anwendungspotential und Markt	4	2	0	0	1	0	0	0	7	3
Konvergenz Zukunftserwartung und Anwendungspotential	1	0	1	1	0	1	0	0	4	4
Konvergenz Zukunftserwartung und Tech-Push	0	0	1	1	0	0	3	0	5	3
Wirtschaftliches Potential	2	3	0	0	0	1	1	0	7	4
Potential zur Realisierung vormals ummöglicher Anwendungsfälle	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
SUMME	23	15	9	7	3	10	6	2		

Bei der Auswertung fällt zuerst einmal auf, dass alle interviewten Personen angaben, dass für Technologie in frühen Entwicklungsstadien ein differenziertes Vorgehen notwendig wäre, beziehungsweise zur Anwendung kommt.

In fünf von acht Interviews wurden alternative Kriterien genannt, die zu einem differenzierten Methodeneinsatz führen können und so die Methodenwahl beeinflussen:

1. Betrachtung ganzer Innovationssysteme (Interview 1, P: 44; Interview 3, P: 82; Interview 5, P: 7; Interview 6, P: 32; Interview 8, P: 12/13)
2. Übergreifende Trends und große gesellschaftliche Fragen (Interview 1, P: 2; Interview 4, P: 11; Interview 6, P: 3)
3. Bewertung von Technologie als Querschnittstechnologie (Interview 2, P: 45; Interview 3, P: 18, 82)

Hier spiegelt sich die bereits im vorigen Kapitel 4.2.1 erwähnte ganzheitliche Systemsicht wider, die sich auf die Methodenwahl vor allem dahingehend auswirkt, dass für ganzheitliche Betrachtungen vermehrt qualitative Methoden zum Einsatz kommen (hierzu mehr im nächsten Kapitel 4.2.3).

Ein weiterer Aspekt, der für alle acht Interviews Gültigkeit hat, ist die Aussage, dass Akteure bei der Bewertung eine wichtige Rolle spielen. Dabei wurden sehr unterschiedliche Akteursgruppen in die Bewertung einbezogen, wie in Kapitel 4.2.4 noch näher ausgeführt wird. Zuvor wird aber noch darauf eingegangen, wie aus Sicht der interviewten Personen im Falle früher Entwicklungsstadien vorgegangen werden sollte.

4.2.3 Vorgehen in frühen Entwicklungsstadien

Für diese Arbeit ist besonders interessant, dass unter den befragten Personen Konsens herrschte, dass Technologien in ihren frühen Entwicklungsstadien eher selten betrachtet werden.

So wurde in Interview1 und Interview2 zum Ausdruck gebracht, dass die Technikfolgenabschätzung erfahrungsgemäß eher reifere Technologie betrachtet und daher erst in späteren Entwicklungsstadien in die Technologievorausschau einsteigt. Trotzdem wurden Ausnahmen genannt, in denen auch frühe Entwicklungsstadien betrachtet wurden, wenn diese bereits ausreichende gesellschaftliche Relevanz entwickelt haben (Interview1, P: 8; Interview2, P: 45).

Ein anderer genannter Grund, warum erst ab einem bestimmten Reifegrad bewertet wird, ist der Informationsbedarf der vorab festgelegten Methode, wenn also z. B. bei Literaturrecherche oder Diskursanalyse noch nicht genügend Quellen vorhanden sind und so keine Bewertung möglich ist (Interview1, P: 8; Interview2, P: 45; Interview6, P: 20).

Die beiden Venture Capital Unternehmen (Interview7 und Interview8) investieren hauptsächlich in fertige Produkte und deren Unternehmen (Interview7, P: 5; Interview8, P: 3) und somit in relativ späte Entwicklungsstadien von Technologie. Es wurden aber auch hier Ausnahmen genannt, mit Verweis auf das erhöhte Risiko durch frühe Entwicklungsstadien einerseits und den größeren Chancen andererseits (Interview7, P: 5; Interview8, P: 17).

Generell wurde die Schwierigkeit der Betrachtung früher Technologien, wie in der Einleitung schon dargestellt, in den Interviews bestätigt (Interview7, P: 5; Interview3, P: 18, 74; Interview4, P: 9; Interview6, P: 16). In den Fällen, wo Technologie in frühen Entwicklungsstadien bewertet wird, kommen aber sehr unterschiedliche methodische Ansätze zum Einsatz, wie Tabelle 4-4 zeigt.

Tabelle 4-4: Interviewauswertung: Vorgehen in frühen Entwicklungsstadien
(Quelle: Export aus dem MAXQDA Code-Matrix Browser über alle genannten Codes)

MAXQDA Code	Anzahl Nennungen								Summer aller Nennungen	Anzahl Interviews mit Nennungen
	IV 8	IV 7	IV 6	IV 5	IV 4	IV 3	IV 2	IV 1		
Educated Guessing	1	1	0	0	0	1	0	0	3	3
Bewertung des disruptiven Potentials	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
Kreativmethoden	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1
Betrachtung früher Akteure	1	0	0	0	1	2	1	0	5	4
Diskursanalyse & Vision Assessment	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1
Beobachtung von Pilot-/Pionieranwendungen	0	1	1	0	0	0	0	1	3	3
Expertenbefragung	0	1	0	0	0	0	0	1	2	2
SUMME	2	3	1	0	2	4	2	2		

Es fällt auf, dass das Vorgehen bei der Technologie in frühen Entwicklungsstadien stark qualitativ geprägt ist. Das drückt sich insbesondere im Code *Educated Guessing* aus, der einer kurzen Erläuterung bedarf: In drei der acht Interviews wurde angegeben, dass die Bewertung der Technologie zwar durch Experten, aber auf Basis einer subjektiv-intuitiven Bewertung, eines „Good-Guess“ (Interview8, P: 19) oder einem „Educated Guessing“ (Interview7, P: 3, 23) vorgenommen wurde. Dies wurde mit der schon zuvor dargestellten Aussage erklärt, dass frühe Entwicklungsstadien schwer zu bewerten sind, auch weil zu Anfang der Technologie Push-Faktor überwiegt, der stark vom Zufall geprägt ist (Interview3, P: 89; Interview5, P: 3; Interview7, P: 27). In der Wahrnehmung der interviewten Personen kann Technologie in frühen Entwicklungsstadien also oft nur indirekt und intuitiv bewertet werden. Alternativ wird dabei auf die *Betrachtung früher Akteure*, zurückgegriffen, dem meistgenannten Vorgehen für frühe Entwicklungsstadien.

4.2.4 Bewertungs- und Erfolgskriterien

Unter dem Code *Bewertungs- und Erfolgskriterien* wurde untersucht, welche konkreten Kriterien bei der Technologievorausschau typischerweise zu einer positiven oder auch negativen Prognose führen, also die Bewertung maßgeblich beeinflussen. Die Ergebnisse dieser Untersuchung wurden in Tabelle 4-5 zusammengefasst. Die beiden als am wichtigsten angesehenen Kriterien, die jeweils in fünf Interviews genannt wurden, waren:

- Das *Problemlösungspotential* (siehe auch gleichnamiger Code), also das Potential der Technologie vorhandene Probleme zu lösen
- Die *Konvergenz Anwendungspotential und Akteure* (siehe auch hier den gleichnamigen Code), also das Zusammentreffen von Anwendungspotential und geeigneten Akteuren, die diese umzusetzen vermögen

Tabelle 4-5: Interviewauswertung: Bewertungs- und Erfolgskriterien
(Quelle: Export aus dem MAXQDA Code-Matrix Browser über alle genannten Codes)

MAXQDA Code	Anzahl Nennungen								Summe aller Nennungen	Anzahl Interviews mit Nennungen
	IV 8	IV 7	IV 6	IV 5	IV 4	IV 3	IV 2	IV 1		
Einsatzspektrum der Technologie	1	0	0	0	0	1	0	0	2	2
Transferpotential von der Technologie zum Geschäftsmodell	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Skalierbarkeit	3	1	0	1	0	0	0	0	5	3
Strategische Gesichtspunkte	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
Emotionale Eigenschaften	1	2	2	1	0	0	0	0	6	4
Disruptive Eigenschaften	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1
Machbarkeit	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
Problemlösungspotential	5	2	3	0	0	2	1	0	13	5
Vorhandensein von Killer-/Pilotanwendungen	0	1	1	0	0	1	0	0	3	3
Messbare Optimierungspotentiale	0	2	0	2	0	1	0	0	5	3
Entwicklung abhängiger Systemkomponenten	0	1	1	0	0	2	0	0	4	3
Konvergenz Anwendungspotential und Akteure	5	0	0	0	1	1	1	1	9	5
Konvergenz Anwendungspotential und Markt	4	2	0	0	1	0	0	0	7	3
Konvergenz Zukunftserwartung und Anwendungspotential	1	0	1	1	0	1	0	0	4	4
Konvergenz Zukunftserwartung und Tech-Push	0	0	1	1	0	0	3	0	5	3
Wirtschaftliches Potential	2	3	0	0	0	1	1	0	7	4
Potential zur Realisierung vormals unmöglicher Anwendungsfälle	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
SUMME	23	15	9	7	3	10	6	2		

Das Problemlösungspotential ist dabei nah verwandt mit dem Anwendungspotential, da die Fähigkeit konkrete Probleme zu lösen als Untermenge und Spezialfall des Anwendungspotentials gesehen werden kann. Zusammen betrachtet ist anhand der beiden meistgenannten Erfolgskriterien ableitbar, dass die richtigen Anwendungspotentiale auf die richtigen Akteursgruppen treffen müssen, damit diese konkrete Probleme lösen und so die Technologie Aussicht auf Erfolg hat.

Ein weiterer für diese Arbeit interessanter Aspekt ergab sich aus dem Code *Konvergenz Zukunftserwartung und Anwendungspotential*, der zusammen mit den Codes *Emotionale Eigenschaften* und *Wirtschaftliches Potential* die zweithäufigste Anzahl an Nennungen in den Interviews aufweisen konnte. So wurde unter dem Code *Konvergenz Zukunftserwartung und Anwendungspotential* in drei Fällen angegeben, dass die Zukunftserwartungen manchmal das Anwendungspotential übersteigen können, also einerseits ein Hype vorliegt, andererseits die betroffene Technologie und ihr Zukunftspotential teils trotzdem positiv bewertet werden (Interview6, P: 33; Interview7, P: 19; Interview8, P: 17). Es zeigt sich also, dass manche Akteure auch dann frühe Technologien aufgreifen, wenn das Problemlösungspotential noch nicht ersichtlich oder auf Basis einer sachlich fundierten Analyse keine Bewertung möglich ist. Somit tritt die Eigenschaft der Technologie in den Hintergrund. Stattdessen wird bewertet, was und von wem etwas daraus gemacht wird. Interview8 (P: 19) spricht dabei sogar von einer abnehmenden Rolle der Eigenschaften der Technologie selbst und einer Zunahme des Einflusses der Akteure auf die Technologieentwicklung.

Generell zeigt sich gerade in dem Code *Konvergenz Zukunftserwartung und Anwendungspotential*, wie stark Zukunftsbilder und -erwartungen Technologie beeinflussen. Hier lohnt sich daher ein Vergleich mit den akteurszentrierten Theorien und methodischen Ansätze aus den Kapiteln 2 und 3, worauf in Kapitel 4.2.6 noch näher eingegangen wird.

Zuvor lohnt aber noch ein Blick auf die beiden zweitplatzierten Erfolgskriterien, die in vier der acht Interviews Erwähnung fanden: *Emotionale Eigenschaften* und *Wirtschaftliches Potential*. Der Code *Emotionale Eigenschaften* beschreibt die Eigenschaft mancher Technologien, Emotionen

auszulösen und unterstützt dabei die bereits in Kapitel 3 und Kapitel 4.2.3 dargestellte Erkenntnis, dass in frühen Entwicklungsstadien teilweise auf subjektiv-intuitiver Basis, dem *Educated Guessing*, bewertet und entschieden wird. Die *Emotionalen Eigenschaften* beeinflussen also das Handeln zentraler Akteure, indem sie eine Erwartungshaltung bezüglich der *Konvergenz Zukunftserwartung und Anwendungspotential* aufbauen. Die subjektive, teils emotionale Einschätzung und die darauf basierende Zukunftserwartung stellt hier einmal mehr den Akteursbezug in der Technologievorausschau in den Vordergrund.

Der Faktor *Wirtschaftliches Potential* ist einer der Faktoren, der gerade in frühen Entwicklungsstadien schwer zu bewerten ist, da die darauf basierenden Innovationen noch ein Nischendasein fristen und gerade zu Anfang nur begrenzt kommerziell erfolgreich sind. Um diesen Faktor trotzdem bewerten zu können lohnt die Betrachtung des Codes *Skalierbarkeit*, der sowohl von den beiden Venture Capital Unternehmen (Interview 7 und 8) als auch dem Unternehmen der Automobilbranche (Interview5, P: 17) genannt wurde. Letzterer ist für diese Arbeit besonders interessant, da er eben nicht nur eine Bewertung des *wirtschaftlichen Potentials* in frühen Entwicklungsstadien zulässt, sondern auch Parallelen zu dem in Kapitel 2.5 erwähnten *Momentum* aufweist. Danach können Pfadabhängigkeiten und Pfadgenerierung die Richtung und Entwicklung von Technologie sowohl behindern als auch fördern. Analog dazu wurden diese Technologiepfade über den Faktor *Skalierbarkeit* in den Interviews einerseits als Abhängigkeit verstanden, die die weitere Entwicklung hindert (Interview7, P: 15), andererseits wurden sie auch als Voraussetzung angesehen, um weitere Entwicklungspotentiale aufzuzeigen (Interview8, P: 3). Für die Skalierbarkeit ist weiterhin interessant, dass sie sowohl auf den Eigenschaften der Technologie und dessen Problemlösungspotential beruht (Interview8, P: 23, Interview7, P: 15), als auch wieder einen Akteursbezug hat, und zwar über das Geschäftsmodell (Interview8, P: 3) und die Wirkmächtigkeit der handelnden Akteure (Interview5, P: 15).

Nach der Betrachtung der wichtigsten Erfolgsfaktoren ist ebenso ein Blick auf die als weniger relevant angesehenen Faktoren von Interesse. So überrascht es, dass angesichts der Wichtigkeit der Markteigenschaften, wie in Kapitel 3.2.4 anhand des *Lead Market* dargestellt, der Code *Konvergenz Anwendungspotential und Markt* nur dreimal genannt wurde und somit nur zur Gruppe der Drittplatzierten gehört. Dies lässt sich aber damit erklären, dass in den Gesprächen der Fokus auf frühe Entwicklungsstadien gesetzt wurde. Wie auch schon im Kapitel 3.2 zur Vorausschau in der Innovationsforschung gesagt wurde, greifen die dort vorgestellten Thesen erst später im Entwicklungsprozess. Es handelt sich naturgemäß um Innovationen, also marktreife Produkte, und nicht um Inventionen mit ersten Nischenanwendungen.

4.2.5 Akteure in der Technologieentwicklung

In den vorhergehenden Kapiteln wurde mehrfach der Akteursbezug in der Technologievorausschau in den Vordergrund gerückt. In diesem Kapitel wird darauf eingegangen, wer diese Akteure genau sind und wie diese wirken.

Unter dem Code *Bewertung von und durch Akteure* (siehe Kapitel 4.2.2 und Tabelle 4-3) sind weitere Codes subsumiert, die die jeweils genannten Akteursgruppen beschreiben.

Tabelle 4-6: Interviewauswertung: Akteure der Technologieentwicklung.

(Quelle: Export aus dem MAXQDA Code-Matrix Browser über alle genannten Codes)

MAXQDA Code	Anzahl Nennungen								Summer aller Nennungen	Anzahl Interviews mit Nennungen
	IV 8	IV 7	IV 6	IV 5	IV 4	IV 3	IV 2	IV 1		
Universitäre Forschung	1	1	1	0	0	0	0	0	3	3
Außeruniversitäre Forschung	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1
Gesellschaftliche Diskursteilnehmer	0	0	0	1	0	0	1	1	3	3
Visionäre	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1
Experten in Beraterrolle	1	2	0	0	0	1	0	0	4	3
Politik als Regulierer	0	0	0	1	0	1	2	2	6	4
Politik als Forschungsförderer	0	0	1	0	0	0	2	0	3	2
Medien	0	0	1	0	0	0	1	0	2	2
Verbände	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Start-ups	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
Privatwirtschaftliche Investoren	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
Wirkmächtige Marktakteure	0	0	1	1	4	0	0	1	7	4
Vorhandener oder potentieller Kundenstamm	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
Entscheider im Unternehmen	3	1	0	0	0	1	0	0	5	3
SUMME	5	6	5	3	5	4	6	5		
Durchschnitt:	4,9								Einmalnennung:	43%

Als erstes fallen die Vielzahl und die relativ gleichmäßige Verteilung der Aussagen über die acht Interviews auf. So wurden pro Interview zwischen drei und sechs unterschiedliche Akteure genannt, im Durchschnitt 4,9. Sechs der insgesamt 14 genannten Akteursgruppen wurden nur in jeweils einem Interview erwähnt. Trotz dieser Vielfalt und Streuung stechen drei der genannten Akteure heraus:

- Die politischen Akteure sind mit zwei Codes vertreten, *Politik als Regulierer* und *Politik als Forschungsförderer*. Politik als Regulierer wird in vier der acht Interviews genannt und ist einer der meistgenannten Codes. Mit drei Interviews liegt der Code *Politik als Forschungsförderer* immerhin noch in der Gruppe der Zweitplatzierten. Beide Codes zusammengenommen führen zu einer Nennung von Politik als zentralen Akteur (in der einen oder anderen Rolle) in fünf der acht Interviews.
- Als weiteren Code, der in vier der acht Interviews genannt wurde, sind die *Wirkmächtigen Marktakteure* zu nennen. Unter diesem Code beziehen sich die interviewten Personen entweder auf große, wirkmächtige Industrieunternehmen (Interview4, P: 47; Interview5, P: 17; Interview6, P: 10), Konkurrenten (Interview4, P: 25) oder auch branchenfremde Unternehmen mit ähnlichen Problemstellungen (Interview1, P: 28). Insbesondere in Kombination mit dem Code *Entscheider im Unternehmen*, einer der am zweithäufigsten genannten Codes, wird der Einfluss der Unternehmen in der Technologieentwicklung deutlich.
- Ein weiterer Code in der Gruppe der Zweitplatzierten, der immer noch in drei von acht Interviews genannt wurde, sind die *Experten in Beraterrolle*. Um diesen besser zu verstehen, lohnt sich ein Blick auf den Code *Eigene Rolle*, beziehungsweise die beiden darunter eingeordneten Codes *Gestalter und System Builder* und *Beobachter und Berater* (siehe Tabelle 4-7). Die interviewten Personen wurden gefragt, wie sie ihre eigene Rolle in der Technologieentwicklung sehen, also eher passiv als *Beobachter und Berater* oder als aktiven *Gestalter und System Builder*. Alle interviewten Personen gaben

an, dass ihre eigentliche Rolle zwar eher beratender Natur sei, diese jedoch auch immer eine gestaltende Funktion habe, indem sie z. B. Handlungsoptionen aufzeige. So ergibt sich ein erheblicher Einfluss von Akteuren in beratender Funktion, insbesondere auf die beiden zuvor genannten politischen und wirtschaftlichen Akteure. Diese nehmen die Beratungsleistung in Anspruch und nutzen das so erworbene Zukunftswissen für ihre Entscheidungen.

Tabelle 4-7: Interviewauswertung: Sicht der eigenen Rolle.

(Quelle: Export aus dem MAXQDA Code-Matrix Browser über alle genannten Codes)

MAXQDA Code	Anzahl Nennungen								Summe aller Nennungen	Anzahl Interviews mit Nennungen
	IV 8	IV 7	IV 6	IV 5	IV 4	IV 3	IV 2	IV 1		
Eigene Rolle/Gestalter & System Builder	1	1	1	1	2	2	2	2	11	8
Eigene Rolle/Beobachter & Berater	1	1	1	1	1	1	1	2	8	8
SUMME	2	2	2	2	3	3	3	4		

In Interview2 und Interview6 wurde ergänzend darauf hingewiesen, dass es nicht nur auf das Vorhandensein der einzelnen Akteure ankomme, sondern auch auf das Aufeinandertreffen der richtigen Akteure und das Ausbilden von Akteursnetzen (Interview2, P: 17; Interview6, P: 32). Zusammen mit der zuvor genannten Streuung und Vielfalt kann hier die Aussage abgeleitet werden, dass in den Augen der interviewten Personen eine ausschließliche Bewertung einzelner Akteure nicht als sinnvoll wahrgenommen wird, sondern stattdessen ein breites Spektrum von Akteuren und Akteursnetzen betrachtet werden müssen. Abschließend soll auch hier das Augenmerk auf Akteursgruppen gelegt werden, die überraschend wenig Beachtung fanden:

- Die *Lead User* (Kapitel 3.2.3) waren für keine der interviewten Personen wichtige Akteure. Wie schon für die *Lead Market Strategie* festgestellt wurde, greift auch das *Lead User* Konzept erst bei fertigen, marktreifen Produkten. Daher ist auch hier wieder die geringe Relevanz in den Interviews über den Fokus auf frühe Entwicklungsstadien zu erklären.
- Das in Kapitel 2.2 vorgestellte zyklische Modell der Technikgenese von Leydesdorff (1995), besteht aus einer Triple Helix von sich gegenseitig beeinflussenden Akteuren aus Politik, Wirtschaft und der universitären Forschung. Die *Universitäre Forschung* (siehe gleichnamiger Code) wurde in drei der acht Interviews als wichtiger Akteur genannt. Daraus ergibt sich zwar noch eine Position in der Gruppe der Zweitplatzierten, räumt ihr aber nicht dasselbe Gewicht ein wie in der Literatur, wo von „institutions of fundamental research“ (Leydesdorff 1995: 2) die Rede ist. Dies lässt sich in erster Linie durch die Zusammensetzung der interviewten Personen erklären, die durch die Grenzen dieser Arbeit keine repräsentative Größenordnung annehmen konnte. Es wird im Weiteren daher davon ausgegangen, dass die universitäre Forschung durchaus Relevanz für die Betrachtung wirkmächtiger Akteure besitzt, da Literatur und die dort dargestellten empirischen Befunde dafürsprechen.

4.2.6 Zusammenfassende Bewertung der Interviews

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Fragestellungen dieser Arbeit und die Aussagen der theoretischen Kapitel 2 und 3 von den Interviews untermauert werden konnten: Gegenstand der Praxiserfahrung der interviewten Personen war sowohl ein differenziertes Vorgehen nach Entwicklungsstadium als auch ein akteurszentrierter Bewertungsansatz. Tabelle 3-1 fasst diese und weitere Erkenntnisse abschließend zusammen. Allerdings ist an dieser Stelle anzumerken, dass das Panel der interviewten Personen aufgrund der gegebenen Grenzen dieser Arbeit kein ganzheitliches, repräsentatives Spektrum der Technologievorausschau abbilden konnte. Trotzdem wurde die Zielsetzung des Abgleichs der theoretischen Erkenntnisse mit der Praxis erreicht. Es fällt auf, dass einige der interviewten Personen zwar nach wissenschaftlichen Erkenntnissen handeln, von den jeweiligen Theorien und Konzepten selbst aber oft keine Kenntnis hatten (Interview4, P:31; Interview5, P:3; Interview6, P:34/35). Dies spricht für eine signifikante Praxisrelevanz der in Kapitel 3 ausgeführten Theorien und methodischen Ansätze, die in weiten Teilen mit den aus der Praxis stammenden Heuristiken der interviewten Personen übereinstimmen.

Tabelle 4-8: Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Interviews. (Quelle: eigene Darstellung)

<p>Breite, interdisziplinäre Systemsicht</p>	<p>In Kapitel 4.2.1 wurde bei allen interviewten Personen eine breite, interdisziplinäre Systemsicht bei der Technologievorausschau festgestellt. Diese ergab sich sowohl aus der systemischen Natur der Innovationsentstehung als auch aus der Bewertung von Technologie über deren gesellschaftliches oder wirtschaftliches Problemlösungspotential, was auch in Kapitel 4.2.4 als zentrales Bewertungs- und Erfolgskriterium genannt wurde. Dies stützt die Thesen der Science and Technology Studies aus Kapitel 2.4, in dem die Prozesse der Technologieentwicklung als gesellschaftlicher Prozess angesehen werden. Es handelt sich also um einen Prozess der Ausbildung komplexer Systeme und Technologiepfaden (Kapitel 2.5), die von Akteuren wie dem System Builder vorangetrieben werden.</p>
<p>Nach Entwicklungsstadium differenziertes Vorgehen</p>	<p>In Kapitel 4.2.2 wurde dargestellt, dass die interviewten Personen die Notwendigkeit sehen, in der Vorausschau spezielle, an frühe Entwicklungsstadium angepasste Methoden einzusetzen. Es wurden also die in der Einleitung in Kapitel 1.2 vorgestellte Zielsetzung dieser Arbeit und die einleitend zu Kapitel 4 gestellte Frage, ob ein solch differenzierter Ansatz für nötig befunden oder gar im Einsatz wäre, durch die Interviews bejaht.</p>

<p>Qualitative und intuitive Bewertung von Technologie in frühen Entwicklungsstadien</p>	<p>In Kapitel 4.2.3 wurde festgestellt, dass frühe Entwicklungsstadien selten bewertet werden, wenn aber, dann am häufigsten auf Basis der agierenden Akteure. Eine weitere interessante Feststellung bei der Betrachtung des Vorgehens in frühen Entwicklungsstadien ist, dass dort eher qualitative Vorgehensweisen, bis hin zu subjektiv intuitiven Expertenmeinungen, dem Educated Guessing, zum Einsatz kommen. Hier drückt sich einmal mehr der Fokus auf den Akteursbezug in der Bewertung früher Entwicklungsstadien aus. Dies deckt sich insbesondere mit der einleitend in Kapitel 3 beschriebenen Entscheidung unter Unsicherheit und den damit verbundenen intuitiven oder gar irrationalen Entscheidungen. Weiterhin bestätigt dies die Annahme des subjektiv wahrgenommen Nutzens bei der Technologiebewertung aus dem Technology Acceptance Model in Kapitel 3.2.1.</p>
<p>Erfolgskriterien Problemlösungspotential sowie Konvergenz Anwendungspotential und Akteure</p>	<p>In Kapitel 4.2.4 wurde das Problemlösungspotential neuer Technologien als zentraler Bewertungs- und Erfolgsfaktor der Technologievorausschau genannt, zusammen mit der Konvergenz Anwendungspotential und Akteure. Auch hier ist also wieder ein klarer Akteursbezug erkennbar, da durch Aufeinandertreffen von Anwendungspotential und den richtigen Akteuren konkrete Probleme gelöst werden. Dies entspricht dem Aufeinandertreffen des Technologie-Pushs und dem durch frühe Akteure vorgezogenen Markt-Pull, wie in Kapitel 3.3 beschrieben wurde.</p>
<p>Große Vielfalt an unterschiedlichen Akteuren und Akteursnetzen</p>	<p>In Kapitel 4.2.5 wurde festgestellt, dass die handelnden Akteure, die in den Interviews genannt wurden, sehr vielfältig sind und eine breite Streuung aufweisen. Dies verweist auf die Wichtigkeit der Betrachtung unterschiedlicher Akteursgruppen sowie auf die Notwendigkeit der Bildung von Akteursnetzen bei der Entwicklung von Technologie.</p>
<p>Politik und Wirtschaft, sowie deren beratende Experten als zentrale Akteure</p>	<p>Die wichtigsten der in Kapitel 4.2.5 identifizierten Akteure sind in Politik und Wirtschaft verortet. Sie greifen auf Expertinnen und Experten zur Meinungsbildung zurück, die wiederum einen starken Einfluss auf die Akteure ausüben.</p>

4.3 Designelemente eines methodischen Vorgehens zur Technologievorausschau

Nach der vorangegangenen Vorstellung der Theorien und methodischen Ansätze aus der einschlägigen wissenschaftlichen Literatur (Kapitel 2 und 3) und der Auswertung der Interviews (Kapitel 4.2) stellt sich nun die Frage, wie die bislang gewonnen Erkenntnisse in die eigentliche Zielsetzung dieser Arbeit überführt werden können: Die Erstellung eines beispielhaften methodischen Vorgehens zur Technologievorausschau in frühen Entwicklungsstadien. Vor der eigentlichen Beschreibung des Vorgehens selbst werden ein grundlegendes Konzept (Kapitel 4.3.1) und drei Designelemente (Kapitel 4.3.2 bis 4.3.4) vorbereitend ausgeführt.

4.3.1 Der Möglichkeitsraum

Das in dieser Arbeit vorgestellte Vorgehen basiert auf einem zentralen Konzept der Zukunftsforschung, dem *Möglichkeitsraum*. Dieser definiert sich über die Summe aller möglichen Handlungsoptionen der für den Betrachtungsgegenstand relevanten Akteure (Tiberius 2012: 19). Voros (2017) hat diesem *Möglichkeitsraum* mit seinem Zukunftstrichter (Future Cone) eine bildliche Form gegeben (Abbildung 3-1). In dieser Arbeit wird angenommen, dass sowohl frühe Technologiestadien als auch der formulierte Anspruch der strategisch, langfristigen Vorausschau einen sehr großen *Möglichkeitsraum* aufspannen, was sich an zwei Aspekten manifestiert: Zum einen sind Anwendungs- und Problemlösungspotentiale bei einer frühen Betrachtung von Technologie noch nicht in Gänze erkundet und bewertet. Zum anderen handelt es sich nach der Begriffsdefinition für Technologie aus Kapitel 2.1 und nach Gerpott (2005: 17, 18) um „allgemeine wissenschaftlich fundierte Erkenntnisse“. Dieser breit gefasste Technologiebegriff erlaubt eine große Bandbreite unterschiedlicher Entscheidungs- und Entwicklungspfade, die erst eingegrenzt werden müssen, um das Entwicklungspotential bewerten und somit Vorausschau betreiben zu können.

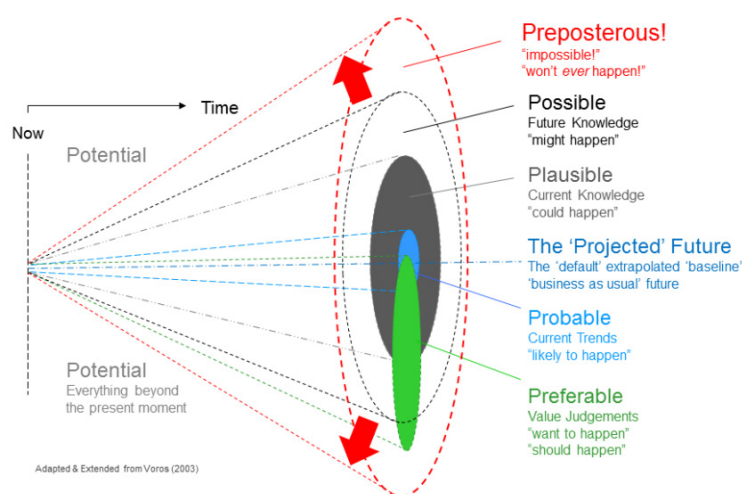


Abbildung 4-1: Der Möglichkeitsraum. (Quelle: Voros 2017)

Wie einleitend zu Kapitel 3 beschrieben, ist es Ziel der Methoden der Vorausschau, die Komplexität einzugrenzen (Steinmüller 2017: 32). In einer akteurszentrierten Methodik stellt sich damit die Frage, wie besagte Akteure diese Eingrenzung der Zukunftsoptionen vornehmen. In der Entscheidungspsychologie wird davon ausgegangen, dass dies durch die Zielsetzung der Entscheider in Veränderungsprozessen geschieht: Indem konkrete Ziele gesetzt werden, wird die grundsätzlich unendliche Menge der Möglichkeiten auf eine kleinere, aus Sicht der Entscheider relevante Anzahl an Entwicklungspfaden reduziert (Pfister, Jungermann & Fischer 2017: 20). Unter der Annahme, dass diese Ziele innerhalb der normativen Zukünfte in Abbildung 4-1 liegen (dort als „Preferable“ beschrieben), findet die Eingrenzung des Möglichkeitsraums in zwei Schritten statt: Das erste Mal in der Festlegung der normativen Zukunftserwartung und ein weiteres Mal in Form einer konkreten Zielsetzung, an der die Akteure ihr Handeln ausrichten.

Wie schon in Kapitel 4.2.5 dargestellt ist bei der Entwicklung neuer Technologien stets eine Vielzahl unterschiedlicher Akteure am Werk. So stellt sich die Frage nach der Überlagerung von in die Zukunft gerichteten normativen Zielbildern, also solchen, die in verschiedenen Akteursgruppen anzutreffen sind und sich zum *Leitbild* aufsummieren (Dierkes et al. 1992: 17). Das *Leitbild*, wie es in dieser Arbeit verstanden wird, ist ein gemeinsames normatives Zielbild, das das Handeln größerer Akteursgruppen beeinflusst und gestaltend auf die Technologieentwicklung einwirkt (Dierkes et al. 1992: 27). In dem akteurszentrierten Vorgehen zur Technologievorausschau dieser Arbeit sind es daher die *Leitbilder* der zentralen Akteure, an denen sich zukünftiges Handeln ableiten lässt und so Technologie im Rahmen der Vorausschau bewertbar machen.

Darüber hinaus wurde in dieser Arbeit auf die Notwendigkeit der Betrachtung des Problemlösungspotentials von Technologie verwiesen (Kapitel 4.2.4). Neben der rein akteursbezogenen Betrachtung ergibt sich zusätzlich die Notwendigkeit der Konvergenz von Zielen und Leitbildern einerseits und dem Anwendungs- und Problemlösungspotential andererseits (Gerpott 2005: 17). Daraus lassen sich drei grundlegende Designelemente ableiten, die in den folgenden drei Kapiteln näher erläutert werden sollen:

1. Dem *Lead Research*, der die Technologie ursprünglich hervorgebracht hat,
2. der *Lead Innovation* als Prozess, in dem Technologie in frühen Entwicklungsstadien aufgegriffen und zur Produktreife gebracht wird
3. und dem *Lead Use Case*, der ein Zusammentreffen von Anwendungs- und Problemlösungspotential mit den relevanten Akteuren darstellt und so die zyklischen Aushandlungsprozesse hin zu einem finalen Innovationsdesign in Gang setzt.

4.3.2 Lead Research

Neue Technologien entstehen aus Prozessen der Forschung, die sich nach Grupp (1997: 12) in zwei Arten unterscheiden:

4. Die *Grundlagenforschung*, die sich „auf die Gewinnung neuer Erkenntnisse über den zugrundeliegenden Ursprung von Phänomenen und beobachtbaren Tatsachen“ kon-

zentriert (Grupp 1997: 12). Sie kann daher als Quelle von Technologie in frühen Entwicklungsstadien verstanden werden. Dies gilt insbesondere für die in dieser Arbeit genutzte Definition von Technologie als Wissensbestand für mögliche Problemlösungsszenarien (Kapitel 2.1). Dabei wird die Grundlagenforschung per Definition noch keine konkrete Problemlösung verfolgen. Sie kann aber sehr wohl zielgerichtet auf ein bestimmtes Forschungsinteresse ausgerichtet werden (Grupp 1997: 12).

5. Die *angewandte Forschung* sowie die Aktivitäten der *Forschung und Entwicklung (FuE)*. Grupp sieht in beiden Begriffen die Entwicklung neuer Produkte, Prozesse, Systeme oder Dienstleistungen, und damit den eigentlichen Innovationsprozess. Sie unterscheiden sich nicht in ihrer inhaltlichen Ausprägung, sondern durch eine institutionelle Abgrenzung: *FuE* findet in Unternehmen statt, während die *angewandte Forschung* in Einrichtungen außerhalb eines Unternehmens betrieben wird (Grupp 1997: 12).

Ist von Technologievorausschau in frühen Entwicklungsstadien die Rede, impliziert dies, dass bereits eine Technologie vorhanden ist, die sich bewerten lässt. Um die vorliegende Arbeit in den nötigen Grenzen zu halten und um den Fokus auf die Vorausschau von Technologie in frühen Entwicklungsstadien zu wahren, wird auf die Entstehungsprozesse der Ergebnisse der Forschung nicht näher eingegangen. Interessanter für den *Lead Research* ist vielmehr das *Scanning und Monitoring*, wie im Kapitel 3.1.3 zur Technologiefrüherkennung beschrieben. Mit dessen Fokus auf Wissensgewinnung und Beobachtung behalten die handelnden Akteure die Ergebnisse aus der Forschung im Auge, um zum einen keine wichtigen Entwicklungen und somit Chancen zu verpassen (siehe auch die entsprechenden Aussagen aus den Interviews in den Kapiteln 4.2.1 und 4.2.3) und zum anderen künftige Potentiale zur Problemlösung und Substitution vorhandener Technologien einschätzen zu können (Schmitz 2017: 32). Weiterhin werden im Rahmen des *Scanning und Monitoring* die Entwicklung abhängiger Komponenten betrachtet, sofern für die betrachtete Technologie starke Abhängigkeiten bestehen. Vor diesem Hintergrund kann Folgendes festgestellt werden: Während die Grundlagenforschung als Quelle neuer Technologie in frühen Entwicklungsstadien dient, ist die angewandte Forschung für die Betrachtung abhängiger Technologiekomponenten von Bedeutung, sobald sich eine neue Technologie auszubilden beginnt.

Neben der technologiezentrierten Forschung gibt es einen weiteren Aspekt des *Lead Research*, der für das hier vorgestellte methodische Vorgehen von Bedeutung ist: Gesellschaftliche und wirtschaftliche Trends. Trends, die Pillkahn (2007: 125) als „Veränderungen des Werte- und Verhaltensgefüges der Gesellschaft“ definiert, wurden bereits in Kapitel 3.2.3 im Rahmen des *Lead User* Konzepts vorgestellt und waren auch in den Interviews von großer Bedeutung (Kapitel 4.2.1). Unter der Annahme einer anhaltenden Wirksamkeit bestimmter Trends auf die betrachtete Technologie können Veränderungen projiziert und so zur Vorausschau genutzt werden (Pillkahn 2007: 130). Der in dieser Arbeit gesetzte Fokus auf *gesellschaftliche* und *wirtschaftliche* Trends ist dem Umstand geschuldet, dass sich in diesen beiden Disziplinen die Trendforschung als eigener Wissenschaftsbereich etabliert hat (Pillkahn 2007: 125), deren Ergebnisse sich im Rahmen des *Lead Research* zur Vorausschau nutzen lassen.

4.3.3 Lead Innovation

Bezüglich der Eigenschaften und Wirkung zentraler Akteure im Innovationsprozess werden in dieser Arbeit zwei Theorien herangezogen, die bereits mehrfach erwähnt wurden: Die *System Builder* und die *Lead User*.

Die *System Builder* (Kapitel 2.4) sind Akteure, die Innovationsysteme verändern oder schaffen. Hierfür setzen sie auf folgende zentrale Eigenschaften:

- Sie schaffen sowohl technologische Artefakte als auch die dafür nötigen Organisationen (Hughes 2012: 46).
- Sie schaffen aus einer Vielzahl von Zukunftsbildern und -erwartungen Leitbilder (Hughes 2012: 45).
- Sie steuern den zyklischen Aushandlungsprozess zwischen Innovationsdesign und Leitbild (Kapitel 2.2), in dem sie als korrigierendes Element kontinuierlich eingreifen (Hughes 2012: 48).

Wichtig für diese Arbeit ist demnach die systembildende Rolle der *System Builder*, die neben dem Aufgreifen früher Technologien auch das geeignete Umfeld, also das Innovationssystem schaffen und so zur Ausbildung des finalen Innovationsdesigns beitragen. Interessant ist dabei, dass sich die *System Builder* keinesfalls nur aus Akteuren der Wirtschaft rekrutieren. Wie schon eingangs und in Kapitel 4.2.5 erwähnt ist auch die Politik als zentraler Akteur systembildend aktiv, insbesondere in Form der Forschungsförderung und Wirtschaftspolitik (siehe hierzu Cuhls 2008; Martin & Irvine 1989). Dies spiegelt sich auch in den Interviews in Kapitel 4 wider, in denen Politik und Wirtschaft als die beiden wichtigsten Quellen zentraler Akteure im Innovationsprozess genannt wurden (Kapitel 4.2.5).

Den Eigenschaften der *Lead User* aus Kapitel 3.2.3 hingegen kommt in dieser Arbeit eine andere Rolle zu. Wie bereits festgestellt handelt es sich um Personen, die in der Lage sind, Bedarfe größerer Gruppen zu antizipieren. Sie ziehen also den Pull-Mechanismus im Prozess nach vorne und greifen Problemlösungsansätze auf, bevor eine breite Masse dafür Bedarfe erkennen lässt (Kapitel 3.2.3 und 3.3). *Lead User* sind dabei keine reinen Konsumenten. Sie greifen selbst Technologie auf und schaffen daraus Produkte, die ihren Zielen genügen (Kapitel 3.2.3). Damit sorgen sie selbst für die in den Interviews beschriebene Konvergenz von Anwendungspotential und Akteuren (Kapitel 4.2.4). Ein weiterer wichtiger Aspekt für das Verständnis der Rolle der *Lead User* im Innovationsprozess ist die Nachahmung. Durch Nachahmung entstehen neue, verbesserte Innovationsdesigns, die den Innovationsprozess vorantreiben (Grupp 1992: 9; Knie 1994: 45). Wie die Interviews gezeigt haben, wird gerade für die Vorausschau in frühen Technologiestadien das Handeln früher Akteure betrachtet (Kapitel 4.2.3). Die *Lead User* mit ihrer Fähigkeit, zukünftige Bedarfe zu antizipieren, nehmen durch ihr Zukunftswissen eine Vorreiter- und somit Vorbildrolle im Innovationsnetzwerk ein (Jeppesen & Laursen 2009). Es wird daher für das methodische Vorgehen dieser Arbeit davon ausgegangen, dass diese Rolle zur Nachahmung animiert und die Entstehung neuer Innovationsdesigns fördert.

Wenn in diesem Kapitel von zentralen Akteuren der *Lead Innovation* die Rede ist, müssen der Vollständigkeit halber auch Entrepreneur (Fueglistaller, Müller, Müller & Volery 2016; Schumpeter 1997), Champions (Schon 1963) und Promotoren (Hauschildt & Gemünden 2013; Witte 1973) genannt werden. Für die Auswahl der *System Builder* und *Lead User* sprach, dass es sich bei diesen beiden Konzepten um Rollen handelt, die in komplexen Innovationsnetzen aktiv und dabei nicht allein auf den Kontext einer Unternehmung ausgerichtet sind (von Hippel 2005: 96; Hughes 2012: 45). Diese systembildenden, interdisziplinären Rollen versprechen daher für die vorliegende Arbeit den größeren Erkenntnisgewinn als die der Entrepreneur, Champions und Promotoren. Abschließend stellt sich die Frage, wie diese zentralen Akteure Teil eines Vorgehens der Technologievorausschau werden können. Wie schon in Kapitel 4.3.1 dargestellt, kann dies über die Betrachtung von Zielen und Leitbildern gelingen, die sich im Bindeglied zwischen dem *Lead Research* und der *Lead Innovation* manifestieren, dem *Lead Use Case*.

4.3.4 Lead Use Case

Auch wenn in dieser Arbeit von Technologie als soziales Konstrukt ausgegangen wird, so wurde in Kapitel 2.3 die Notwendigkeit der Betrachtung sowohl sozialdeterministischer als auch technikdeterministischer Aspekte hervorgehoben. Für das vorgestellte methodische Vorgehen ergibt sich daher die Notwendigkeit neben den Akteuren auch die Eigenschaften der betrachteten Technologie in die Bewertung einzubeziehen. Weiterhin ist, wie im vorherigen Kapitel beschrieben, der Effekt der Nachahmung ein wichtiger Faktor, der immer auch das Risiko eines Hypes mit sich bringt. Wenn das reine „Dabei-sein-wollen“ (siehe hierzu Interview 6, P: 33) der einzige Grund für Entscheidungen ist, kann sich am Ende herausstellen, dass sich kein Problemlösungsszenario für die neue Technologie finden lässt oder dass man mit vorhandener Technologie dieselben Ziele hätte erreichen können. Der *Lead Use Case* hat somit die Rolle eines Realitätsfilters. Er repräsentiert Anwendungsfälle, die mit bereits vorhandener Technologie gar nicht oder nur unzureichend realisiert werden können (Schmitz 2017: 39). Bei Vorhandensein geeigneter Problemlösungspotentiale ist damit sichergestellt, dass neue Anwendungen und Produkte ermöglicht werden, die es ohne die neue Technologie nicht gegeben hätte.

Weiterhin ist der *Lead Use Case* die Manifestation der Ziele und Leitbilder der zentralen Akteure, die durch die Eigenschaften der betrachteten Technologie bedient werden können. Hier zeigt sich erneut die Konvergenz des Anwendungspotentials und der Akteure (Kapitel 4.2.4), genauer gesagt deren Ziele und Leitbilder.

Ein weiterer Ansatz für die Beschreibung dieser Konvergenz ist das Aufeinandertreffen von Technologie-Push, vertreten durch das Problemlösungspotential der Technologie und dem Markt-Pull, vertreten durch frühe Akteure wie den zuvor beschriebenen *System Buildern* oder *Lead Usern* (Kapitel 3.3). Dieses Aufeinandertreffen von Push und Pull ist für die hier vorliegende Arbeit von besonderer Bedeutung, da push-getriebene, frühe Technologiestadien vermehrt radikale Innovationen entstehen lassen (Schmitz 2017: 42/43). Allerdings reicht der Technologie-Push alleine nicht aus, da ohne den Pull-Effekt des Marktes und zentraler Akteure keine Innovation entstehen kann (Hauschildt et al. 2016: 262).

Diese Konvergenz, manifestiert im *Lead Use Case*, ist zentraler Bestandteil des methodischen Vorgehens und in Abbildung 4-2 zusammenfassend dargestellt.

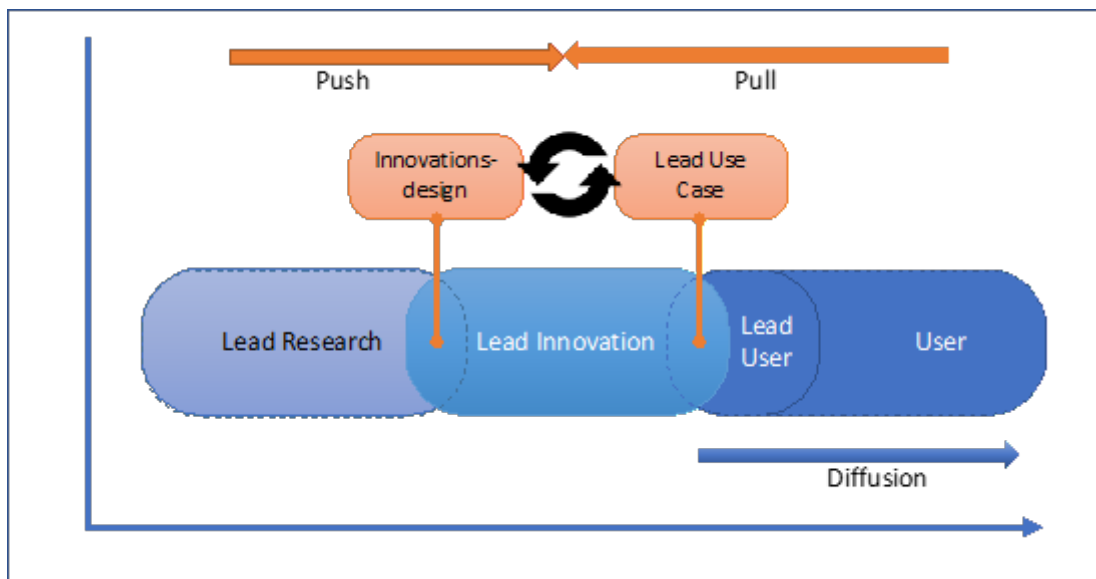


Abbildung 4-2: Der Lead Use Case. (Quelle: eigene Darstellung)

Die Fragestellung, ob nun im Rahmen des *Lead Use Cases* wirklich Anwendungspotentiale auf die richtigen Akteure treffen, lässt sich mit Hilfe erster Pilot- oder Nischenanwendungen beantworten. Diese sind vergleichbar mit dem *Minimal Viable Product* aus dem Lean-Startup Konzept (Ries 2014) und beschreiben erste konkret nutzbare Anwendungen, die den zyklischen Aushandlungsprozess der Innovationsdesigns einleiten.

Signifikanten Einfluss auf diese Aushandlungsprozesse hat das *Momentum* (Kapitel 2.5), das die Entwicklung zum finalen Innovationsdesign sowohl aufschaukeln als auch zum Erliegen bringen kann. Ein dabei wichtiger Aspekt ist die Interaktion der Technologie mit dem technologischen Regime. Dieses wirkt dem Aushandlungsprozess in Form von Trägheit entgegen, bis sich technologische Pfade ausbilden, die zu einem dominanten Innovationsdesign führen (Grupp 1997: 102). Somit ergibt sich der Bezug zu einem weiteren wichtigen Element für das methodische Vorgehen: Das Potential der Substitution etablierter Technologien aus dem Regime, was laut Grupp (1992: 4) eine zentrale Voraussetzung für wirtschaftliches Wachstum darstellt. Wenn neue Technologien schwer zu bewerten sind, so können Produkte und deren Technologien, die potenziell vom *Lead Use Case* ersetzt werden, Anknüpfungspunkte zur Bewertung liefern. Sie erlauben damit eine Einschätzung der Auswirkung von Pfadbildung (als förderndes Element) und der Trägheit (als hemmendes Element) auf die neue Technologie und dessen *Momentum*.

Um der zentralen Rolle der *Lead Use Cases* für diese Arbeit Rechnung zu tragen und das komplexe Konzept nochmals zusammenfassend darzustellen, sind nachfolgend alle Eigenschaften des *Lead Use Cases* abschließend aufgeführt:

- Der *Lead Use Case* repräsentiert das Zusammentreffen von Anwendungspotentialen mit den Zielen und Leitbildern der Akteure.
- Der *Lead Use Case* agiert als Realitätsfilter gegenüber dem Hype, indem er konkrete Problemlösungspotentiale repräsentiert, die mit vorhandener Technologie so nicht möglich gewesen wären.
- Der *Lead Use Case* manifestiert sich teilweise in ersten Pilot- oder Nischenanwendungen, anhand derer sich die zyklischen Anpassungsprozesse hin zum finalen Innovationsdesign beobachten lassen.
- Das Potential möglicher *Lead Use Cases* zeigt sich am vorhandenen *Momentum*, das sowohl als Summe aller Zukunftserwartung und dem Zukunftswissen der Akteure im Technologiediskurs verstanden werden kann, als auch Investitionen, Wissen, wirtschaftliche Interessen und vorhandene Ressourcen mit einbezieht (Hughes 2012: 70).

4.4 Ein beispielhaftes methodisches Vorgehen zur Technologievorausschau in frühen Entwicklungsstadien

In diesem Kapitel werden die zuvor besprochenen Designelemente und Konzepte zu einem beispielhaften methodischen Vorgehen zusammengesetzt. Die Einschränkung „beispielhaft“ soll dabei den vorgegebenen Grenzen dieser Arbeit Rechnung tragen. Trotzdem sollen in diesem Kapitel sowohl die Erkenntnisse aus der Literatur (Kapitel 2 und 3) mit denen der Interviews (Kapitel 4) zusammenfließen, sodass sich ein erster konkreter Nutzen ergibt: Das so entstandene methodische Vorgehen soll zeigen, dass es sich zur Bewertung der beiden Beispieltechnologien in Kapitel 5 eignet.

Wie dargestellt sind es die drei Designelemente des methodischen Vorgehens *Lead Research*, *Lead Innovation* und *Lead Use Cases*, die allein schon über die hier gewählte Reihenfolge der Aufzählung einen einfachen Prozess ergeben. Aus dem *Lead Research* entstehen neue Technologien, die von der *Lead Innovation* und ihren Akteuren aufgegriffen und über *Lead Use Cases* zur Innovation geführt werden.

Diese Abfolge ähnelt dem Prozessablauf des *Lead User Konzepts* (siehe erste Spalte in Tabelle 49). Von Hippel (1986) sieht hier vier Schritte vor, deren grundlegende Prinzipien in angepasster Form auch in frühen Entwicklungsstadien von Technologie Anwendung finden können. Voraussetzung hierfür ist die bereits mehrfach diskutierte Ausweitung und Verallgemeinerung des *Lead User* Begriffs auf Akteure, die (1) zukünftige Bedarfe antizipieren und (2) selbst Innovationen hervorbringen können. Punkt (2) wird in dem hier vorgestellten Modell um die zuvor beschriebenen Eigenschaften des *System Builders* ergänzt. Neben dem Antizipieren zukünftiger Bedarfe und dem Erschaffen neuer Innovationsdesigns tragen die zentralen Akteure des *Lead Innovation* dazu bei, Systeme auszubilden, in denen Innovation entstehen kann.

Die eigentliche Bewertung und Dokumentation der Problemlösungspotentiale von Technologie in frühen Entwicklungsstadien geschieht über das *Momentum*, und zwar über die folgenden zwei Bewertungsdimensionen:

- *Bewertung der Wirkintensität zentraler Akteure* durch den Grad der Vernetzung in Form von Foren, Communities und Institutionen. In diesen Netzen sind die zentralen Akteure der *Lead Innovation* zu identifizieren und deren Wirkung auf den zyklischen Aushandlungsprozess der Innovationsdesigns zu bewerten, z. B. durch Nachahmungsverhalten und Substitution. Um aus der so entstandenen Momentaufnahme eine Vorausschau zu erzeugen, werden Ziele und Leitbilder mit einbezogen. Diese ermöglichen zukünftiges Handeln der Akteure und somit zukünftige Technologieentwicklungen zu antizipieren.
- *Bewertung der Technologiepfade* durch Investitionen, Patente, Wissen sowie Innovationssysteme, die für die neue Technologie wichtig sind. Es werden quantitative Daten herangezogen und ausgewertet. Zur Vorausschau wird diese Momentaufnahme durch das Einbeziehen von Trends aus den qualitativ erhobenen Daten, den Zielen und Leitbildern der Akteure und dem daran abgeleiteten antizipierten Handeln.

Der Ablauf des methodischen Vorgehens, ist in der zweiten Spalte der Tabelle 4-9 dargestellt. Es handelt sich dabei um eine Synthese aus der Zusammenfassung der Theorien und methodischen Ansätzen aus Kapitel 3 sowie Tabelle 3-1 und den Ergebnissen aus den Interviews in Kapitel 4, insbesondere der zusammenfassenden Bewertung in Kapitel 4.2.6 und Tabelle 48.

Tabelle 4-9: Vorgehen in vier Schritten (Quelle: eigene Darstellung und von Hippel 1986)

	Lead User Concept (von Hippel 1986)	Beispielhaftes methodisches Vorgehen für Technologie in frühen Entwicklungsstadien (eigene Darstellung)
1.	“Identify an important market or technical trend”	Lead Research Scanning und Monitoring abhängiger Technologien und Technologiesysteme, im Umfeld des Betrachtungsgegenstands der Vorausschau Bestimmen von übergeordneten gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Trends
2.	“Identify lead users who lead that trend in terms of (a) experience and (b) intensity of need”	Lead Innovation Bestimmen der Märkte und bereits vorhandener Technologien, die von der neuen Technologie ersetzt oder verändert werden könnten Bestimmen von Akteuren, Akteursnetzen und Institutionen, die von der neuen Technologie betroffen oder bereits in deren Entwicklung aktiv sind Bestimmen von Akteuren, die Innovation fördern, indem sie zukünftige Bedarfe antizipieren und realisieren sowie Innovationsysteme ausbilden Bestimmen von Verhinderern, also Akteuren des aktuellen sozio-technischen Regimes, von denen Trägheit und Pfadabhängigkeiten zu erwarten sind
3.	“Analyze lead user need data”	Lead Use Bestimmen der Ziele und Leitbilder der Akteure und Ableitung des antizipierten Handelns Bestimmen der Konvergenz von Anwendungspotentialen und zentralen Akteuren Identifikation erster Pilot- oder Nischenanwendungen, anhand derer sich der zyklische Anpassungsprozess zum finalen Innovationsdesign beobachten lässt Realisierung der Problemlösungspotentiale, die mit vorhandener Technologie so nicht möglich gewesen wären
4.	“Project lead user data onto the general market of interest”	Momentum Bewertung der Wirkintensität zentraler Akteure durch den Grad der Vernetzung in Form von Foren, Communities und Institutionen. In diesen Netzen sind die zentralen Akteure der Lead Innovation zu identifizieren und deren Wirkung auf den zyklischen Aushandlungsprozess der Innovationsdesigns zu bewerten, z. B. durch Nachahmungsverhalten und Substitution. Um aus der so entstandenen Momentaufnahme eine Vorausschau zu erzeugen, werden Ziele und Leitbilder mit einbezogen. Diese ermöglichen zukünftiges Handeln der Akteure und somit zukünftige Technologieentwicklungen zu antizipieren. Bewertung der Technologiepfade durch Investitionen, Patente, Wissen sowie Innovationssysteme, die für die neue Technologie wichtig sind. Es werden quantitative Daten herangezogen und ausgewertet. Zur Vorausschau wird diese Momentaufnahme durch das Einbeziehen von Trends aus den qualitativ erhobenen Daten, den Zielen und Leitbildern der Akteure und dem daran abgeleiteten antizipierten Handeln.

Der in Tabelle 4-9 mehrfach erwähnte Begriff „Bewertung“ bedarf zum Verständnis des hier beschriebenen Vorgehens der Erläuterung. Wenn etwas bewertet wird, so kann dies, wie in wissenschaftlichen Methoden üblich, sowohl qualitativ als auch quantitativ geschehen. Allerdings ist die Informationsverfügbarkeit bei Technologien in frühen Entwicklungsstadien sehr begrenzt, so dass eine quantitative Bewertung nur selten möglich ist (Cuhls 2008: 4). Die meisten Bewertungen basieren daher auf subjektiv-intuitiven Methoden (Kapitel 4.2.3). Über Fragebogen- oder Delphibefragungen können zwar auch diese in quantitativer Form dargestellt werden (Cuhls 1998: 30ff). Diese sind jedoch sehr aufwendig (Cuhls 1998: 41) und würden den Rahmen der hier vorliegenden Arbeit sprengen. Aus diesem Grund wird für das hier formulierte Vorgehen bei der Überprüfung in Kapitel 5 der Fokus auf die Machbarkeit gesetzt. Auf ein zahlenbasiertes Bewertungssystem wird also verzichtet. Trotzdem werden die Möglichkeiten quantitativer Bewertungsansätze anhand Abbildung 4-3 zumindest gedanklich durchgespielt. Unter der Annahme einer quantitativen Erfassung der beiden Dimensionen des Momentums lassen sich diese in ein Schaubild abtragen und so verbildlichen. Das Konzept des Momentums kennt weiterhin die Idee kritischer Massen, die die zyklischen Aushandlungsprozesse zum finalen Innovationsdesign antreiben oder zum Erliegen bringen (Hughes 2012: 70). Diese Schwellenwerte ermöglichen eine Einordnung in die in Abbildung 43 dargestellten vier Kategorien, von denen sich Handlungsoptionen ableiten lassen. Aber weder die quantitative Bewertung des Momentums noch die Bestimmung dieser Schwellenwerte zwischen den vier Kategorien sind Gegenstand dieser Arbeit. Es bleibt jedoch als Gedankenmodell Teil der Bewertung der beiden Beispieltechnologien in Kapitel 5.

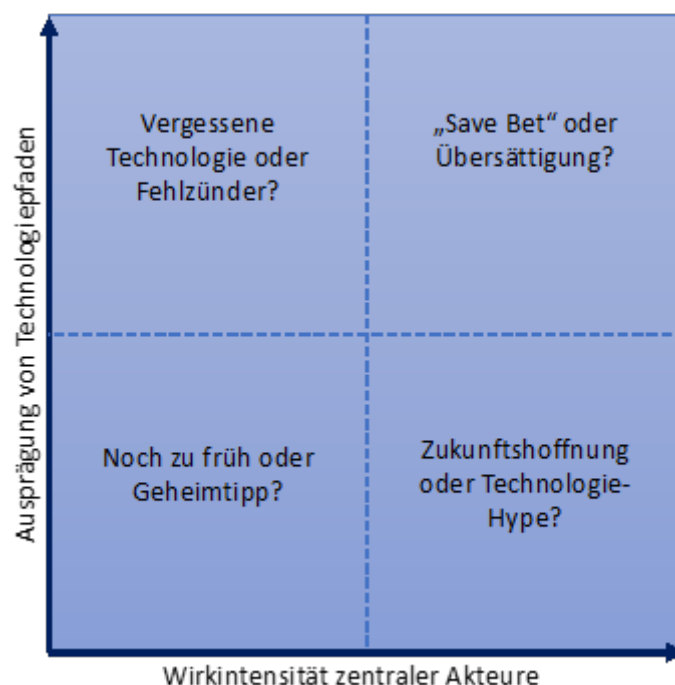


Abbildung 4-3: Darstellung des technologischen Momentums. (Quelle: eigene Darstellung)

Die in Abbildung 4-3 dargestellten vier Felder und ihre dialektische Beschreibung zeigen auf, dass auch das Momentum, wie jede Art der strategischen Vorausschau, keine eingleisigen Bewertungen

zulässt. Obwohl hier das zuvor beschriebene Ziel der Einschränkung des Handlungsraums und somit der Komplexitätsreduktion verfolgt wird, sind es am Ende immer noch multiple Zukünfte, die es zu bewerten und betrachten gilt.

Unter der Annahme, dass Zukunftswissen immer zugleich auch Handlungswissen sein soll (De Jouvenel 1964: 13–17), muss sich auch das hier vorgestellte methodische Vorgehen dieser Prämisse stellen. Wenn es sich nicht in Gänze anwenden lässt, so kann wenigstens die zuvor erwähnte Machbarkeit daran gemessen werden, ob sich aus dem methodischen Vorgehen und den so gewonnen Erkenntnissen Handlungsoptionen ableiten lassen. Dies wird im folgenden Kapitel 5 an den beiden Beispieltechnologien genauer untersucht.

5. Aktuelle Beispiele von Technologien in frühen Entwicklungsstadien

Für die beispielhafte Anwendung des vorgeschlagenen methodischen Vorgehens in den vier Schritten *Lead Research*, *Lead Innovation*, *Lead Use* und *Momentum* fiel die Wahl auf *Blockchain* und *Quantum Computing*, da diese repräsentativ für die in dieser Arbeit formulierten Fragestellung stehen. Wie in den folgenden Kapiteln 5.1 und 5.2 noch gezeigt werden wird, gilt für beide Technologien:

- Sie sind noch in frühen Entwicklungsstadien.
- Es gibt erste Nischen-Produkte und Anwendungsfälle, der große Durchbruch steht aber noch aus.
- Die Technologie ist sehr komplex und es ist deshalb schwer, Einsatzfelder und Potentiale abzuschätzen.
- Beide Technologien umgibt ein Hype, der eine objektive Einschätzung erschwert.
- Beide Themen ergänzen sich gut. Während *Quantum Computing* noch in einer sehr frühen Phase steckt und kommerzielle Aktivitäten nur eingeschränkt zu verzeichnen sind, ist *Blockchain* bereits mit einer Reihe von Produkten vertreten. Das ermöglicht Vergleiche, wie sich die Bewertung von Technologie in bestimmten Phasen unterscheidet.

5.1 Blockchain

Die Geschichte der *Blockchain* begann im November 2008 mit der Veröffentlichung eines Whitepapers mit dem Titel „Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System“ (Nakamoto 2008). Bereits kurze Zeit später, am 3. Januar 2009, wurde der erste Block in der Bitcoin *Blockchain* signiert, der sogenannte Genesis Block, an den alle weiteren Blöcke anknüpfen (Gayvoronskaya & Meinel 2021: 5).

Es begann also alles mit einer digitalen Währung auf Blockchainbasis, einer sogenannten *Kryptowährung*, häufig synonym verwendet und mit der *Blockchain* gleichgesetzt (Gay-

voronskaya & Meinel 2021: 4). Zwar geht das Anwendungsspektrum von *Blockchaintechnologie* weit über digitale Währungen und deren Zahlungstransaktionen hinaus (Gayvoronskaya & Meinel 2021: 79ff). Da aber Bitcoin die erste aller *Blockchains* war, wird an diesem Beispiel auch die Funktionsweise erklärt. Wenn im Folgenden von Blocks die Rede ist, ist damit eine Sammlung von Finanztransaktionen gemeint, z. B. eine Überweisung nach dem Modell „Person A überweist Betrag X an Person B“.

Die Erläuterung der technischen Umsetzung in allen Details würde nicht nur den Rahmen dieser Arbeit sprengen, sondern ist auch zum Verständnis und für die Bewertung von Zukunftspotentialen dieser Technologie nicht nötig. Daher wird im Folgenden nur auf die wichtigsten Aspekte eingegangen.

Für die Ablage von Transaktionen in der *Blockchain* werden sichere kryptografische Signaturverfahren verwendet. Eine zentrale Rolle spielt dabei der *Hashwert* eines Datenobjektes. Der *Hashwert* ist eine mathematische Formel, die aus einer theoretisch unbegrenzt großen Datenmenge eine kurze Zeichenkette erstellt, die den Inhalt des zu Grunde liegenden Datenobjektes, z. B. einer Datei oder eines Blocks in der *Blockchain*, eindeutig repräsentiert. Die mathematische Formel ist dabei so gestaltet, dass jede noch so kleine Veränderung des Datenobjektes zu einer gänzlich anderen Zeichenkette führt. Auch mit der heute verfügbaren Rechenleistung von Großrechneranlagen lässt sich keine Manipulation des ursprünglichen Datenobjektes vorausberechnen, die denselben Hashwert erzeugen würde. So entsteht ein eindeutiger Fingerabdruck eines Datenobjektes, der eine Überprüfung der Echtheit und Integrität ermöglicht. Hierzu muss die mathematische Formel erneut auf das Datenobjekt angewandt werden, wenn das Ergebnis mit dem mitgelieferten Hashwert übereinstimmt, ist auch die Echtheit und Integrität bestätigt (Gayvoronskaya & Meinel 2021: 16).

Jedes Mal, wenn nun ein neuer Block mit Transaktionen einer *Blockchain* hinzugefügt werden soll, wird der Hashwert des letzten Blocks in den neuen Block übernommen (Gayvoronskaya & Meinel 2021: 30). Durch diese Verkettung der Blocks über die Hashwerte ihrer Vorgänger und Nachfolger ergeben sich zwei zentrale Eigenschaften der *Blockchain*:

1. Die Kette ist nicht manipulierbar. Sollte ein älterer Block geändert werden, ändert sich auch dessen Hashwert. Und da Letzterer ja auch Teil des darauffolgenden Blocks ist, ändert sich auch dessen Hashwert und somit auch wieder der des darauffolgenden Blocks, und so weiter. Obwohl die *Blockchain* von jeder Person einsehbar und so auch theoretisch manipulierbar wäre, bleibt die Echtheit und Integrität aller Einträge vom ersten bis zum letzten Block überprüfbar (Gayvoronskaya & Meinel 2021: 4).
2. Auch ohne zentrale Instanz, der alle Akteure vertrauen, können Transaktionen anonym getätigt werden. Personen, die an einem Blockchainnetzwerk teilnehmen, treten nur in Form ihres öffentlichen Signaturschlüssels und dessen Hashwertes auf. Diese Daten sind rein zufällig generierte Zeichenketten. Die Namen oder sonstige persönliche Daten der agierenden Personen selbst treten nicht in Erscheinung (Gayvoronskaya & Meinel 2021: 18).

Die *Blockchaintechnologie* ist also rein softwarebasiert und besteht aus

- einem IT-Protokoll, das Formate, Abläufe und Formeln regelt,
- der *Blockchain* selbst und
- einer Datenbank verketteter Transaktionen, die in Blocks zusammengefasst werden und die für jeden frei einsehbar ist.

Personen, die in einer *Blockchain* Transaktionen tätigen oder validieren möchten, können sich hierzu frei verfügbarer Software bedienen, um so mit einer eigenen, anonymen Identität auf die *Blockchain* zugreifen zu können. Die Nutzung geschieht dabei dezentral. Es wird keine zentrale (z. B. Server-) Instanz und somit auch keine zentrale Institution benötigt, der alle Teilnehmer im Netz vertrauen müssen.

5.1.1 Lead Research

Unter *Lead Research* wurden die folgenden Aktivitäten zusammengefasst:

- Scanning und Monitoring abhängiger Technologien und Technologiesysteme, im Umfeld des Betrachtungsgegenstands der Vorausschau
- Bestimmen von übergeordneten gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Trends

Blockchain besitzt als reine Softwarelösung keine besonderen Abhängigkeiten zu anderen Technologien, da sie durchweg auf bereits vorhandene Technologiekomponenten setzt, wie globale Netze und deren Protokolle oder bereits bekannte kryptografische Verfahren. Das *Scanning und Monitoring* abhängiger Technologien im Innovationssystem ist daher von nachrangiger Bedeutung. Bezüglich der Bestimmung übergeordneter gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Trends stellt sich die Situation anders dar. Wie sich im Rahmen der durchgeführten Recherche zeigte, gibt es eine Reihe solcher Trends, die einerseits Einfluss auf die *Blockchain* haben und andererseits durch *Blockchain* beeinflusst werden:

- *Finanzielle Interessen:* Alle großen Kryptowährungen haben in den letzten Jahren signifikante Wertzuwächse erlebt. Allein Bitcoin hat seinen Wert innerhalb eines Jahres versechsfacht (Blockchain.com 2021) und ist damit als Investitionsgut, gerade in Zeiten niedriger Leitzinsen, von Interesse für Investoren aller Art.
- *Finanzierung von Start-ups und Crowdfunding:* Eine interessante Ausprägung des zuvor genannten Trends sind die sogenannten *Initial Coin Offerings* oder *ICOs* (Hahn & Wons 2018). Wie bereits beschrieben sind Protokolle und Software für *Blockchainlösungen* frei verfügbar. Das Schaffen und Verbreiten einer neuen Kryptowährung ist also ohne große Einstiegshürden möglich. So werden *ICOs* genutzt, um im Rahmen der Finanzierung von Start-ups oder Crowdfunding-Projekten Anteile am Vorhaben in Form von selbstgeschaffenen Kryptowährungen zu verkaufen und zu handeln.

- *Datenschutz:* Das Vorhalten und Verarbeiten personenbezogener Daten im Rahmen von Transaktionen regulärer Geschäftstätigkeit muss laut der Datenschutz-Grundverordnung immer mit einer Datensparsamkeit verbunden sein (DSGVO Artikel 5c). Realistischerweise müssen allerdings zumindest so viele Information ausgetauscht werden, dass eine gültige Transaktion, z. B. ein Kaufvertrag, zustande kommen kann. Eine nutzerbasierte Auswertung ist somit bei Onlinetransaktion immer möglich, weil spätestens bei Zahlung und Versand die Akteure namentlich in Aktion treten. Mit Kryptowährungen lässt sich dies teilweise vermeiden. Es können z. B. bestimmte Onlinetransaktionen gänzlich anonym bleiben, wenn per Kryptowährung anonym bezahlt wird und nichts versandt werden muss, weil z. B. das Produkt per Download angeboten wird oder es sich um eine reine Dienstleistung handelt (Gayvoronskaya & Meinel 2021: 27).
- *Rechtssichere digitale Beweisführung:* Wer heute online bestellt, bekommt gewöhnlich eine ganze Reihe von Nachweisen des Kaufs, meist in elektronischer Form. Diese sind in der Regel weder verschlüsselt noch signiert und daher generell manipulierbar. Über *Blockchain*technologie und deren Eigenschaft der Nicht-Manipulierbarkeit lassen sich Transaktionen abschließen, die Vertragsgegenstand und Bezahlung gleichermaßen unveränderlich festschreiben. Ein Nachweis einer solchen Transaktion wird in der Rechtsprechung vor Gericht als Beweis anerkannt und nicht nur als Indiz wie die zuvor erwähnten unsignierten elektronischen Dokumente. Wenn es bei einer Transaktion zum Streit kommt, ist der Nachweis der in der *Blockchain* vorgehaltenen Information schnell erbracht, ohne dass hierzu zentrale Intermediäre nötig sind, wie z. B. Kreditkartenunternehmen, Banken (für die Bezahlung) oder Rechtsanwälte und Notare (für die Beweisführung der Verträge) (Rutz 2020: 34).
- *Klimaschutz:* Aus Sicht des Klimaschutzes schlägt der *Blockchain*technologie Kritik entgegen, da die dafür nötige Rechenkapazität viel Energie verschlingt (CCAF 2021; Jiang et al. 2021). Das liegt an der Art und Weise, wie neue Blocks in der *Blockchain* validiert werden. Wenn die *Blockchain* selbst nicht manipulierbar ist, stellt sich die Frage, wie sichergestellt werden kann, dass neue Blocks nicht manipuliert werden, bevor diese in die *Blockchain* aufgenommen werden. Hierzu kommt häufig ein System namens *Proof of Work* zur Anwendung. Alle Teilnehmer, die zur Validierung neuer Blocks im Netzwerk beitragen wollen, versuchen mit der von ihnen selbst bereitgestellten Rechenkapazität ein aufwendiges mathematisches Rätsel zu lösen. Wer dieses Rätsel als Erster löst, darf den nächsten Block validieren und bekommt dafür ein Entgelt in Form der Kryptowährung als Belohnung (Gayvoronskaya & Meinel 2021: 29). Dieses sogenannte *Mining* sorgt durch das Zufallsprinzip für Sicherheit, da niemand weiß, wer den nächsten Block validieren wird. Das *Mining* ist dabei besonders in Ländern mit niedrigen Stromkosten interessant, da vom gewonnenen Entgelt die Stromrechnung zur Berechnung des mathematischen Rätsels abgezogen werden muss, um am Ende einen Profit zu generieren. Dies führt z. B. dazu, dass in China, dem Land mit den meisten Kryptominern, schon 5 % der CO₂-Emissionen

aus dem *Blockchain*-Mining stammen (Jiang et al. 2021). Allein Bitcoin verbraucht so viel Energie wie das Land Schweden (CCAF 2021).

Die Liste der hier aufgeführten Trends stellt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, zeigt aber, dass *Blockchaintechnologie* einige der großen gesellschaftlichen Trends bedient, die wiederum die Akteure und deren Handeln beeinflussen, worauf im nächsten Kapitel näher eingegangen wird.

5.1.2 Lead Innovation

Unter *Lead Innovation* wurden die folgenden Aktivitäten zusammengefasst:

- Bestimmen der Märkte und bereits vorhandener Technologien, die von der neuen Technologie ersetzt oder verändert werden könnte
- Bestimmen von Akteuren, Akteursnetzen und Institutionen, die von der neuen Technologie betroffen oder bereits in deren Entwicklung aktiv sind
- Bestimmen von Akteuren, die Innovation fördern, indem sie zukünftige Bedarfe antizipieren und realisieren sowie Innovationssysteme ausbilden
- Bestimmen von Verhinderern, also Akteuren des aktuellen soziotechnischen Regimes, von denen Trägheit und Pfadabhängigkeiten zu erwarten sind

Als vernetzte Softwarelösung ist *Blockchain* nicht an bestimmte geografische Märkte gebunden. Die Bestimmung der betroffenen Märkte und möglichen Akteure ergibt sich daher aus einer sektoralen Betrachtung. Wie bereits dargestellt wird diese Technologie vornehmlich mit Kryptowährungen gleichgesetzt. Das lässt den Schluss zu, dass der Finanzsektor einer der maßgeblich betroffenen Märkte darstellt. Eine Art des methodischen Vorgehens zur Identifikation der betroffenen Akteure ist also die Betrachtung der zuvor definierten Trends, aus denen sich der Bezug zu bestimmten Märkten herleiten lässt.

Eine andere Methode zur Definition der zentralen Akteure ist die Auswertung von Nachrichten und Publikationen. Eine sehr einfache Möglichkeit hierfür können akademische Suchmaschinen und Newscrawler sein, die eine große Anzahl unterschiedlicher Quellen auswerten und quantitativ zusammenfassen. Hierbei ist methodisch zu beachten, dass es sich um kommerzielle Produkte großer Unternehmen handelt, deren Such- und Auswertungsalgorithmen als Geschäftsgeheimnis zählen und demnach für einen wissenschaftlichen Anspruch nicht transparent genug sind. Weiterhin sind Nachrichten aus der Presse nicht mit wissenschaftlichen Quellen gleichzusetzen und müssen bezüglich ihrer wissenschaftlichen Aussagekraft im Rahmen wissenschaftlicher Vorschauprozesse entsprechend validiert werden. Trotzdem können Newscrawler und akademische Suchmaschinen als Einstieg für die weitere Recherche genutzt werden. Dies wird nachfolgend am Beispiel von Microsoft Academic (Microsoft 2021c) und AYLIEN (AYLIEN 2021b) kurz dargestellt. Der Suchbegriff „blockchain“ bei Microsoft Academics generiert über 34.000 Treffer (Abruf am 16.04.2021). Eine solche Masse an Dokumenten wäre manuell sehr aufwendig auszuwerten. In-

teressant ist deshalb, dass dieses Ergebnis schon auf der ersten Seite in eine Reihe von Kategorien eingeteilt wird. Einige dieser Kategorien sind insbesondere für die Identifikation zentraler Akteure von besonderem Wert, wie die nachfolgende Abbildung 5-1 zusammenfassend zeigt. Die Kategorien sind zugleich auch Filteroptionen, die einen schnellen Einstieg ermöglichen, indem nacheinander die Top Ergebnisse selektiert und die dazugehörigen Dokumente ausgewertet werden.

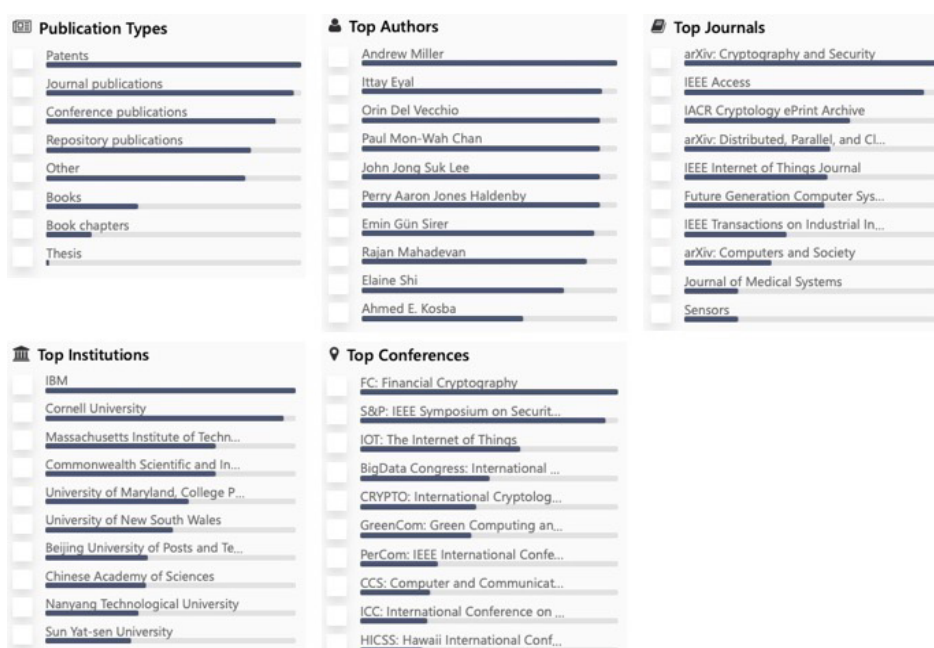


Abbildung 5-1: Microsoft Academic Suchergebnis „blockchain“. (Quelle: Microsoft Academic, Suchbegriff „Blockchain“, Abruf am 16.04.2021)

Die Auswertung der Nachrichten über Newscrawler ist im Vergleich dazu schwieriger, da kostenfreie Alternativen wie Google News oder Bing News eine automatische Kategorisierung nicht liefern. Hinzu kommt, dass bei Nachrichtenartikeln dieser kostenfreien Angebote die Akteure nicht in den Metadaten stehen, sondern sich nur über den Inhalt der eigentlichen Nachricht erschließen. Hierfür gibt es kommerzielle Angebote wie das des Anbieters AYLIEN, der *Natural Language Processing (NLP)* nutzt, also maschinelles Lernen, um den Kontext von Nachrichtentexten zu analysieren und Zusammenhänge wie z. B. die handelnden Akteure zu erkennen (AYLIEN 2021a). Auch hier gilt, dass die Algorithmen, die zur Bewertung der Nachrichten herangezogen werden, nur sehr oberflächlich dokumentiert sind. Um dem gegebenen wissenschaftlichen Anspruch zu genügen, sind weiterführende Untersuchungen und Validierungen nötig. Trotzdem bietet auch die Auswertung von Nachrichten die Möglichkeit zum einfachen Einstieg in die eigene Recherche. So können durch Datenschnittstellen zu AYLIEN und Standardtools aus der Data Science wie Python Zeitreihen abgefragt und analysiert werden. Spitzen mit besonders vielen Nachrichten zu einem bestimmten Suchbegriff können dann gezielt betrachtet und ausgewertet werden (AYLIEN 2021a).

Die Analyse von Veröffentlichungen und Nachrichten kann also zur Bestimmung von Akteuren, Akteursnetzen und Institutionen dienen, die von der neuen Technologie betroffen oder bereits in dessen Entwicklung aktiv sind. Für eine Einschätzung, ob diese durch ihr Handeln die Ausbildung von Innovationssystemen fördern oder behindern, bedarf es der Betrachtung des konkreten Handelns und einer genauen Analyse der Veröffentlichungen und Nachrichten. Dies wird nachfolgend kurz am Beispiel einiger aktueller Entwicklungen zum Zeitpunkt der Entstehung dieser Arbeit dargestellt:

- *Wirtschaft:* In den Nachrichten zeigt sich ein verstärkter Fokus auf Kryptowährungen. Während sich deren Kurse und Kapitalisierung die letzten Monate geradezu überschlugen (tagesschau.de 2021), sind Angebote für breitere Anwendungspotentiale außerhalb der Kryptowährungen wie das der Firma IBM oder auch das der Firma Microsoft im Abbau begriffen (Golem 2021; Microsoft 2021a). An den Kryptowährungen zeigt sich zudem ein interessantes Beispiel der in dieser Arbeit mehrfach zitierten selbsterfüllenden Prophezeiung. Ein Tweet von Elon Musk in Bitcoin zu investieren und das Einräumen der Möglichkeit, Autos von Tesla mit Bitcoin bezahlen zu können, sorgen schon allein für eine Kursrallye der Kryptowährung (ZEIT ONLINE 2021c). Weiterhin entwickelt sich das Bezahlen per Kryptowährung immer mehr vom Insiderwissen zur Option für die breite Masse. Neben Tesla und anderen großen Unternehmen will nun auch der Bezahlendienst Paypal in den USA Zahlungen in Kryptowährungen zulassen (ZEIT ONLINE 2021a).
- *Politik:* Die Politik zeigt sich in ihrer Haltung zum Thema *Blockchain* zwiespalten. Einerseits wird die Forschung staatlich gefördert (Szostek 2019: 11), andererseits werden gerade der hohe Stromverbrauch und der CO₂-Fußabdruck immer kritischer gesehen (Golem 2019). Auch der noch Großteils unregulierte Finanzmarkt der Kryptowährungen steht unter Beobachtung (ZEIT ONLINE 2021b). Der Drang nach Regulierung wird also immer lauter, was eine der zentralen Eigenschaften der *Blockchain* infrage stellt, und zwar die Abwesenheit zentraler regulierender Instanzen. Die neue Technologie trifft hier auf das vorhandene Regime, das seine gewohnten Regularien anwenden möchte und so der Entwicklung entgegenwirkt.

Auch für die hier dokumentierten Akteure und Akteursnetze gilt, dass es sich nicht um eine repräsentative oder abschließende Bewertung handelt, sondern beispielhaft das in dieser Arbeit vorgestellte methodische Vorgehen darstellt. Trotzdem wird ersichtlich, dass Akteure am Werk sind, die Innovationssysteme ausbilden, während andere Aktivitäten hemmend auf die Entwicklung wirken.

Abschließend soll noch auf einige der wichtigsten Akteure eingegangen werden, den Urhebern der *Blockchain* Technologie. Das einleitend zu Kapitel 5.1 erwähnte Whitepaper zur Bitcoin *Blockchain* wurde unter dem Namen Satoshi Nakamoto (2008) veröffentlicht, ein Pseudonym, dessen wahre Identität bislang nicht geklärt werden konnte. Es existiert die Theorie, dass es sich um ein Akteursnetz handeln könnte, also eine Gruppe, die unter diesem Namen auftritt, sicher ist

dies jedoch nicht (Gayvoronskaya & Meinel 2021: 5). Die Ziele und Leitbilder der Urheber der *Blockchaintechnologie* bleiben somit im Verborgenen. Für die Akteure der *Lead Innovation*, die in diesem Kapitel identifiziert wurden, sollen nun genau diese Aspekte im nächsten Kapitel näher betrachtet werden.

5.1.3 Lead Use Case

Unter *Lead Use Case* wurden die folgenden Aktivitäten zusammengefasst:

- Bestimmen der Ziele und Leitbilder der Akteure und Ableitung des antizipierten Handelns
- Bestimmen der Konvergenz von Anwendungspotentialen und zentralen Akteuren
- Identifikation erster Pilot- oder Nischenanwendungen, anhand derer sich der zyklische Anpassungsprozess zum finalen Innovationsdesign beobachten lässt
- Realisierung der Problemlösungspotentiale, die mit vorhandener Technologie so nicht möglich gewesen wären

Wie bereits beschrieben bedient *Blockchaintechnologie* eine ganze Reihe globaler Trends. Unter der Annahme, dass finanzielle Interessen, Datenschutz, rechtssichere digitale Beweisführung und Klimaschutz sich als langfristige Trends halten werden, kann auch davon ausgegangen werden, dass diese Faktoren langfristig als treibende bzw. hemmende Faktoren auf die Entwicklung von *Blockchaintechnologie* wirken.

Ein für das Wachstum einschränkender Faktor ist das Regulierungsinteresse der Politik, was besonders gut am Beispiel China zu sehen ist. So wird einerseits 50 % der Rechenleistung für das Mining in China bereitgestellt (Jiang et al. 2021). Andererseits ist es aber gerade auch China, das unregulierte Netze besonders kritisch ansieht und sich zusätzlich strikte Klimaschutzziele gesetzt hat (ZEIT ONLINE 2021b). Es ist daher plausibel, dass es in China und anderen Ländern zu einer starken Regulierung bis zum Verbot der Kryptowährungen kommen kann. Und da Kryptowährungen das Zugpferd dieser Technologie, also den zentralen *Lead Use Case* der *Blockchain-technologie*, darstellen, würde sich dies auch auf die Technologie als Ganzes auswirken.

So stellt sich die Frage, was an die Stelle der Kryptowährungen treten könnte, sollten diese als *Lead Use Case* ausfallen. Es gibt zwar eine ganze Reihe anderer Anwendungspotentiale, nur sind diese eher kleinteiliger Natur und haben keine so große Verbreitung wie die Kryptowährungen (kes 2020).

Weiterhin kommt bei Betrachtung der Anwendungspotentiale ein Aspekt der *Lead Use Cases* zum Tragen, der schon in Kapitel 4.3.4 diskutiert wurde: *Lead Use Cases* sollen Problemlösungspotentiale realisieren, die mit vorhandener Technologie so nicht möglich gewesen wären. Da die *Blockchain* einerseits eine Transaktionsdatenbank darstellt und es andererseits eine sehr große Anzahl transaktionsbasierter Applikationen gibt, ist das Anwendungspotential riesig. Allerdings hat die *Blockchaintechnologie* auch starke Konkurrenz in Form der vorhandenen revisionssicheren Datenbanken von Finanzdienstleistern, Onlinehändlern, ERP-Systemen und anderen transakti-

onsbasierten Anwendungsfeldern. Auch wenn die *Blockchain* z. B. eine höhere Sicherheit in Sachen Manipulierbarkeit der Daten vorweisen kann, so werfen die zahlreichen gut funktionierenden Anwendungen auf Basis herkömmlicher Technologien die Frage auf, welche sonstigen *Lead Use Cases* überhaupt denkbar wären, bei denen *Blockchain* wirkliche Verbesserungen bringt und konkrete Probleme löst, die es ohne diese neue Technologie nicht gegeben hätte.

5.1.4 Momentum und Handlungsoptionen

Unter *Momentum* wurden die folgenden Aspekte zusammengefasst:

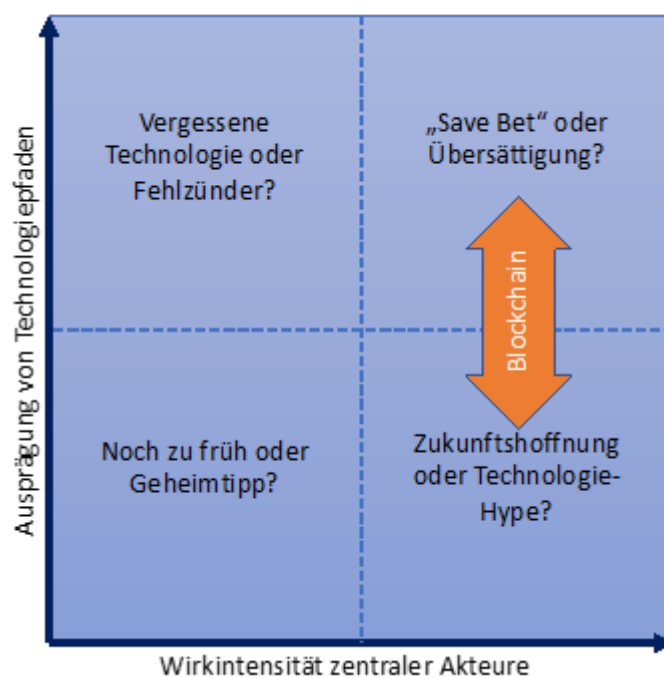
- Bewertung der Wirkintensität zentraler Akteure durch den Grad der Vernetzung in Form von Foren, Communities und Institutionen. In diesen Netzen sind die zentralen Akteure der Lead Innovation zu identifizieren und deren Wirkung auf den zyklischen Aushandlungsprozess der Innovationsdesigns zu bewerten, z. B. durch Nachahmungsverhalten und Substitution. Um aus der so entstandenen Momentaufnahme eine Vorausschau zu erzeugen, werden Ziele und Leitbilder mit einbezogen. Diese ermöglichen zukünftiges Handeln der Akteure und somit zukünftige Technologieentwicklungen zu antizipieren.
- Bewertung der Technologiepfade durch Investitionen, Patente, Wissen sowie Innovationssysteme, die für die neue Technologie wichtig sind. Es werden quantitative Daten herangezogen und ausgewertet. Zur Vorausschau wird diese Momentaufnahme durch das Einbeziehen von Trends aus den qualitativ erhobenen Daten, den Zielen und Leitbildern der Akteure und dem daran abgeleiteten antizipierten Handeln.

Im letzten Kapitel wurden einige zentrale, wirkintensive Akteure vorgestellt, bei denen, analog zum Momentum in der Physik, die Wirkrichtung mit betrachtet werden muss. Den Akteuren des Finanzmarktes, der Wirtschaft mit klar erkennbarem Nachahmungsverhalten und der Entstehung neuer Innovationsdesigns, wie z. B. den *ICOs*, steht die Politik mit ihrer Möglichkeit der Regulierung bis zum Verbot gegenüber.

Dabei ist die Abhängigkeit zu anderen Technologien sehr gering. Die Technologiepfade beruhen daher auf dem Vorhandensein von Patenten, Wissen und Innovationssystemen. Auch wenn die Technologie erst 13 Jahre alt ist, ist durch staatliche Förderung und insbesondere durch den vereinfachten Einsatz von Kryptowährungen als Zahlungsmittel die *Blockchaintechnologie* in der breiten Masse angekommen (Kapitel 5.1.2).

Was die Einordnung der Entwicklungsmöglichkeiten angeht, so ist angesichts der beispielhaften Analyse aus den letzten Kapiteln eine Positionierung des Momentums zwischen den beiden Feldern „Save Bet oder Übersättigung“ und „Zukunftshoffnung oder Technologie-Hype“ plausibel, wie Abbildung 5-2 zeigt. Allerdings beruht diese Einschätzung auf der hier vorgestellten, beispielhaften Analyse. Eine ausführlichere Bewertung kann daher zu anderen Ergebnissen kom-

men. Basierend auf den hier getroffenen Annahmen und Beispielen lassen sich jedoch folgende Handlungsoption ableiten: Für eine langfristige, strategische Vorausschau ist eine Betrachtung und Bewertung der Anwendungspotentiale außerhalb der Kryptowährungen im Rahmen des *Scanning und Monitoring* (Kapitel 3.1.3) von Interesse, weil Kryptowährungen durch Regulierung ausfallen und so die gesamte Technologie zurückwerfen könnten. Für die Anwendungspotentiale außerhalb der Kryptowährungen müsste dann besonderes Augenmerk auf konkrete Problemlösungspotentiale gelegt werden, die mit vorhandener Technologie nicht realisierbar gewesen wären.



A

Abbildung 5-2: Momentum der Blockchaintechnologie (Quelle: eigene Darstellung)

5.2 Quantum Computing

Die erste Erwähnung eines Einsatzfeldes von *Quantum Computing* ist auf Richard Feynman (1982) zurückzuführen, der auf einem Workshop zum Thema *Physics and Computation* die These aufstellte, dass Effekte der Quantenphysik nur mit einem Quantencomputer effizient berechnet werden könnten (Grumbling & Horowitz 2019: 1). Das leuchtet zunächst einmal ein, da Quantencomputer die Gesetze der Quantenmechanik nutzen, also Theorien zum Verhalten sehr kleiner Teilchen wie Elektronen, Photonen oder Moleküle, um Berechnungen durchzuführen (Nielsen & Chuang 2010: 2). Nun stellt sich aber die Frage wie die dem Quantencomputer zugrunde liegende Technologie, das *Quantum Computing*, diese Gesetze nutzbar macht. Wenn schon einleitend zu *Blockchain* in Kapitel 5.1 festgestellt werden musste, dass eine genaue Beschreibung aller Funktionsweisen dieser Technologie im Rahmen dieser Arbeit nicht geleistet werden kann, so gilt dies noch einmal mehr für das Thema *Quantum Computing*. Obwohl hier von Computern die Rede ist,

die analog zu ihren klassischen Pendanten Berechnungen auf Basis vorherbestimmter Algorithmen durchführen, ist die Art und Weise, wie dies geschieht, grundverschieden und setzt Kenntnisse der Mathematik voraus, die nicht selbstverständlich sind (Nielsen & Chuang 2010: 2).

Eine zentrale Annahme der Quantenmechanik ist, dass Quantenzustände nicht auf dieselbe Weise eindeutig sind wie beim klassischen Computer, der die beiden eindeutigen binären Zustände 0 und 1 kennt. In der Quantenmechanik können die möglichen Zustände kleiner Teilchen gleichzeitig existieren, zumindest so lange, bis diese überprüft und gemessen werden, wobei im Moment der Messung alle parallelen Zustände in einen einzigen zusammenfallen. Das gleichzeitige Vorhandensein mehrerer gegensätzlicher Zustände wirkt befremdlich, da diese in der makroskopischen Welterfahrung nicht vorkommen. Um dies darzustellen, hat der Physiker Erwin Schrödinger (1935: 812) seine Katze in einem Gedankenexperiment ins Feld geführt. Die Katze befindet sich in einer Kiste, in der auch eine verschlossene Flasche Gift enthalten ist. Diese Flasche ist mit einem Geigerzähler verbunden, der bei Zerfall eines bestimmten Atoms in der Box ausschlägt und die Gifflasche zerstört. Über das Atom ist bekannt, dass es mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit innerhalb eines Zeitraums zerfällt. Es lässt sich also die Überlebenschance der Katze innerhalb eines bestimmten Zeitraums errechnen. Es ergibt sich aber das Paradoxon, dass solange der Zustand des Gesamtsystems nicht gemessen wird, also niemand in die Kiste mit der Katze schaut, die Katze lebendig und tot zugleich sein muss (mit der zuvor berechneten Wahrscheinlichkeit). Dies erschließt sich aufgrund des Zustandes des Atoms, von dem das Leben der Katze abhängt, das ja ebenfalls beide möglichen Zustände (intakt und zerfallen) zugleich einnimmt, solange sein Zustand nicht gemessen wird. Derselben Logik folgend sind auch die Bits des *Quantum Computing*, genannt Qubits, gleichzeitig 0 und 1, allerdings mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit in jeweils einen oder anderen Zustand. Dieser Parallelzustand, genannt *Superposition*, bleibt so lange erhalten bis er nachgemessen, also z. B. das Ergebnis einer Berechnung ausgelesen wird (Nielsen & Chuang 2010: 13).

Das Paradoxon in dem Beispiel Schrödingers Katze und der gleichzeitige Zustand von 0 und 1 der Qubits zeigen anschaulich, was bei *Quantum Computing* den gedanklichen Zugang und somit die Bewertung erschwert. Die Frage, wie aus den Gesetzen der Quantenmechanik Algorithmen entstehen, ist noch etwas komplizierter. Der Einfachheit halber wird daher nur das grundlegende Prinzip erläutert.

Eine sehr einfache Analogie zum Qubit ist das Atom in der Kiste mit Schrödingers Katze, das mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit entweder noch intakt ist, also im Zustand 0, oder zerfallen und im Zustand 1. Wie in einem Computer, der nur ein einziges Bit vorhält, lässt sich damit noch nichts berechnen. Interessant wird es erst, wenn weitere (Qu-)Bits ins Spiel kommen und diese auf intelligente Art vernetzt werden, sodass komplexe Algorithmen entstehen können. Hierzu wird der quantenmechanische Effekt der *Verschränkung* genutzt. Indem die Quantenzustände von Teilchen miteinander verschränkt werden, können sie sich gegenseitig beeinflussen (Grumbling & Horowitz 2019: 2). Diese *Verschränkung* kann so hergestellt werden, dass daraus logische Gatter entstehen, analog zu UND, ODER, NICHT usw., die aus der klassischen Informationstechnik bekannt sind. Die Gatter in der Welt des *Quantum Computing* verhalten sich wieder nicht identisch wie ihre Pendanten aus der klassischen Informatik. Um auf die genauen Unterschiede nicht einzu-

gehen zu müssen wird im Folgenden einfach von der Annahme ausgegangen, dass diese Gatter ebenfalls zu logischen Einheiten aneinandergereiht werden können, sodass komplexe Algorithmen entstehen (Grumbling & Horowitz 2019: 4, 31–36).

Für die Vorausschau ist interessant, dass diese *Verschränkung* technisch sehr unterschiedlich realisiert werden kann und einiges an Ingenieurleistung erfordert, was im folgenden Kapitel näher ausgeführt wird.

5.2.1 Lead Research

Unter *Lead Research* wurden die folgenden Aktivitäten zusammengefasst:

- Scanning und Monitoring abhängiger Technologien und Technologiesysteme, im Umfeld des Betrachtungsgegenstands der Vorausschau
- Bestimmen von übergeordneten gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Trends

Während beim Technologiebeispiel *Blockchain* die abhängigen Technologien eine nachgelagerte Rolle spielen und dafür die gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Trends in den Vordergrund rücken, verhält es sich bei *Quantum Computing* genau andersherum. Bei der Recherche der aktuell diskutierten Anwendungspotentiale für *Quantum Computing* fiel auf, dass globale, gesellschaftliche oder wirtschaftliche Trends geringen Einfluss auf die Technologieentwicklung haben, da selbst zukünftige, potentielle Einsatzfelder sehr speziell und auf die Nutzung durch Experten abzielen und auf die breite Masse nur indirekt Auswirkung haben (siehe hierzu die *Lead Use Cases* in Kapitel 5.2.3).

Beim *Quantum Computing* sind es die abhängigen Technologien, die komplex und zugleich erfolgskritisch sind (Kagermann, Süssenguth, Körner & Liepold 2020: 40). Das liegt in erster Linie an der zuvor beschriebenen Verschränkung der Quantenzustände, mit der die Programmlogik abgebildet wird. Hierfür ist, je nach Art der Realisierung, z. B. eine Betriebstemperatur nahe dem absoluten Nullpunkt nötig (Kagermann et al. 2020: 41). Weiterhin sind die Quantenzustände sehr fragil, sodass auch kleinste externe Einflüsse das Ergebnis verfälschen können und aufwendige Fehlerkorrekturmechanismen notwendig machen (Grumbling & Horowitz 2019: 71ff). All dies erfordert eine Ingenieurleistung an der Grenze des heute Machbaren, sodass jede Verbesserung, z. B. in der Kühlung oder der Fehlerkorrektur, auch die Technologie *Quantum Computing* ein Stück weiterbringt.

Daher befindet sich die *Quantum Computing* Technologie trotz langjähriger Forschung noch im Versuchs- und Nischenstadium, wie im nächsten Kapitel näher ausgeführt wird.

5.2.2 Lead Innovation

Unter *Lead Innovation* wurden die folgenden Aktivitäten zusammengefasst:

- Bestimmen der Märkte und bereits vorhandener Technologien, die von der neuen Technologie ersetzt oder verändert werden könnte
- Bestimmen von Akteuren, Akteursnetzen und Institutionen, die von der neuen Technologie betroffen oder bereits in deren Entwicklung aktiv sind
- Bestimmen von Akteuren, die Innovation fördern, indem sie zukünftige Bedarfe antizipieren und realisieren sowie Innovationssysteme ausbilden
- Bestimmen von Verhinderern, also Akteuren des aktuellen soziotechnischen Regimes von denen Trägheit und Pfadabhängigkeiten zu erwarten sind

Am Beispiel *Blockchain* wurde gezeigt, dass sich globale Trends zur Identifikation betroffener Märkte nutzen lassen. Für *Quantum Computing* entfällt diese Option, da Trends hier nicht dieselbe Rolle spielen. So orientiert sich die Suche nach den Akteuren und Akteursnetzen an den verfügbaren wissenschaftlichen Veröffentlichungen und Presseartikeln.

Analog zum vorherigen Beispiel *Blockchain* wurde auch im Zusammenhang mit *Quantum Computing* ein Blick auf die Ergebnisse von Microsoft Academic geworfen. Der Suchbegriff „(quantum computing)“ (gemäß der Syntax von Microsoft Academic entspricht dies der Suche nach dem genauen Term) ergab über 39.000 Ergebnisse (Abruf am 23.04.2021). Wieder sind angesichts der großen Menge an Dokumenten die nachfolgend dargestellten, automatisch generierten Kategorien hilfreich (Abbildung 5-3).

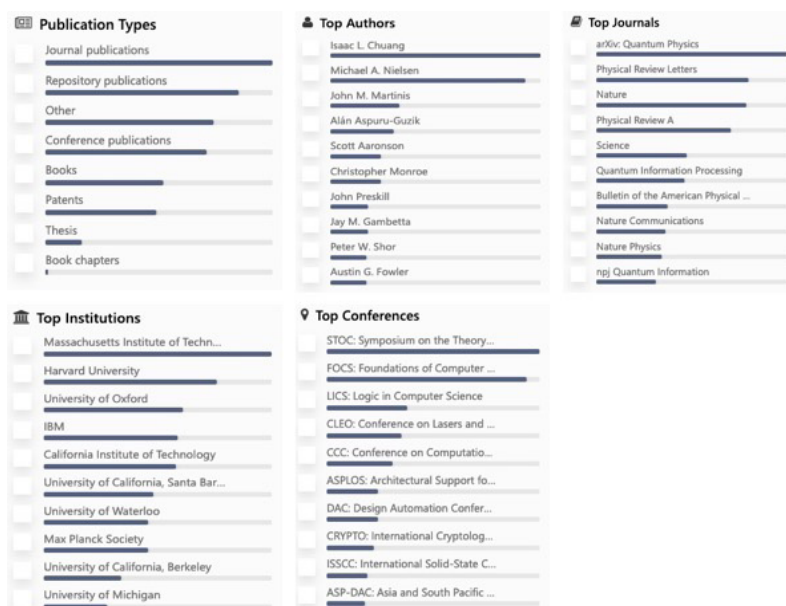


Abbildung 5-3: Microsoft Academic Suchergebnis „(quantum computing)“ (Quelle: Microsoft Academic, Suchbegriff „(quantum computing)“, Abruf am 23.04.2021)

Dabei fällt auf, dass die *Top Institutions* dieses Mal sehr von der universitären Forschung geprägt sind (siehe hierzu auch VDI-TZ 2021). Das einzige Unternehmen in der Top-10 der Institutionen ist auch hier wieder das Unternehmen IBM, welches über seinen Clouddienst bereits Quantencomputer zur Verfügung stellt und so erste Quantenalgorithmien getestet werden können (IBM 2020). Die Verbreitung als Clouddienst bedeutet, wie schon beim Beispiel *Blockchain*, dass die betroffenen Märkte weniger geografisch begrenzt sind und stehen zudem für einen niederschweligen Zugang zu dieser Technologie.

Weiterhin fällt bei Betrachtung der *Top Institutions* auf, dass diese fast alle in Nordamerika beheimatet sind. Aus deutscher Sicht liegt die Max-Planck-Gesellschaft immerhin noch auf Platz acht. Europa hat hier also Nachholbedarf, was sich auch in der Förderpolitik der kürzeren Vergangenheit widerspiegelt.

Wie zuvor für das Beispiel *Blockchain* soll auch hier wieder eine kurze und beispielhafte Zusammenfassung der Akteure und deren Handeln zum Zeitpunkt des Entstehens dieser Arbeit dargestellt werden:

- *Wirtschaft:* Einer der größten wirtschaftlichen Akteure ist das Unternehmen IBM, das auf Basis eigener Soft- und Hardwareentwicklung eine dedizierte Roadmap veröffentlicht hat und den jeweils aktuellen Stand als Cloudlösung anbietet (IBM 2020). Ein weiterer Akteur, der ebenfalls cloudbasiertes *Quantum Computing* anbietet, ist die Firma Microsoft, die für ihr Angebot auf die Partnerschaft und Produkte der Firmen Honeywell, Toshiba, IONQ und Quantum Circuits setzt (Microsoft 2021b). Das Unternehmen Google hat bereits 2019 in einer kontrovers diskutierten Veröffentlichung (Arute et al. 2019) corresponding to a computational state-space of dimension 2^{53} (about 10^{16} und auf Basis selbst entwickelter Hardware den ersten Nachweis die sogenannte *Quantum Supremacy* für sich beansprucht (Grumbling & Horowitz 2019: 85). Damit ist der wissenschaftliche Nachweis gemeint, dass es machbare Umsetzungen von *Quantum Computing* gibt, die Probleme lösen können, die mit herkömmlicher Informationstechnik nicht zu lösen gewesen wären (Grumbling & Horowitz 2019: 83). Zuletzt ist die Firma D-Wave zu nennen, die von einer Tochterfirma der CIA finanziert wird und als erste einen funktionierenden Quantencomputer auf den Markt brachte (ZEIT ONLINE 2014).
- *Politik:* Dem schon beschriebenen Nachholbedarf aus europäischer und somit auch deutscher Sicht wird aktuell mit staatlicher Förderung begegnet. Auf europäischer Ebene ist hier die *Quantum Flagship Initiative* zu nennen (EU 2021), aus der heraus Projekte in Höhe von einer Milliarde Euro über zehn Jahre gefördert werden sollen. Aus deutscher Sicht ist die Roadmap Quantencomputing anzuführen. Ein von der Bundesregierung eingesetzter Expertenrat hat hierfür einen Plan vorgestellt, der Deutschland bis 2030 an die Spitze des Wettbewerbs befördern soll (VDI-TZ 2021). Kurz nach Veröffentlichung dieser Roadmap wurde eine Förderung von 2 Milliarden Euro bis 2025 bekannt gegeben (BMBF 2021; BMWi 2021). Im internationalen Umfeld ist neben den schon erwähnten USA noch China zu nennen, das in erheblichen

Umfang investiert, Personal anwirbt und damit bereits erste Erfolge verzeichnet (Forbes 2021; Grumbling & Horowitz 2019: 229).

Durch die zuvor beschriebene *Quantum Supremacy*, also die Möglichkeit, Berechnungen durchführen zu können, die mit herkömmlichen Rechnern nicht machbar wären, sind in der hier dargestellten beispielhaften Analyse weder Substitution noch Widerstände des soziotechnischen Regimes auszumachen. Diese besondere Eigenschaft des *Quantum Computing* erschwert die Bewertung und unterscheidet sich in diesem Aspekt grundsätzlich von der zuvor beschriebenen *Blockchaintechnologie*.

Es bleibt abschließend festzuhalten, dass auch in diesem Kapitel auf Nachrichten aus der namhaften Presse zurückgegriffen wurde, deren Aussagen im Laufe einer wissenschaftlichen Bewertung noch weiterer Überprüfung und Validierung bedarf. Für die angestrebte beispielhafte Darstellung des methodischen Vorgehens wird der beschrittene Weg jedoch als ausreichend erachtet, um eine grobe Akteurslandschaft abzubilden, deren Ziele und Leitbilder im folgenden Kapitel weiter untersucht werden.

5.2.3 Lead Use Case

Unter *Lead Use Case* wurden die folgenden Aktivitäten zusammengefasst:

- Bestimmen der Ziele und Leitbilder der Akteure und Ableitung des antizipierten Handelns
- Bestimmen der Konvergenz von Anwendungspotentialen und zentralen Akteuren
- Identifikation erster Pilot- oder Nischenanwendungen, anhand derer sich der zyklische Anpassungsprozess zum finalen Innovationsdesign beobachten lässt
- Realisierung der Problemlösungspotentiale, die mit vorhandener Technologie so nicht möglich gewesen wären

Für eine beispielhafte Darstellung eines besonders relevanten Leitbildes des *Quantum Computing* ist die Betrachtung zweier staatlicher Akteure von besonderem Interesse:

- Die Bundesregierung hat bereits im Jahr 2018 entschieden, 650 Millionen Euro bis 2022 zu investieren, und nannte dabei unter anderem das Ziel, mit Hilfe von *Quantum Computing* klassische Verschlüsselungsverfahren zu brechen (Deutscher Bundestag 2021).
- Beim bereits zuvor genannten Engagement der CIA bei der Firma D-Wave ist zwar keine solch konkrete Absichtsäußerung bekannt, die Annahme, dass hier Sicherheitsinteressen der USA im Spiel sind, ist aber plausibel.

Beide Beispiele verweisen auf einen der zentralen *Lead Use Cases* der *Quantum Computing* Technologie, der auf dem *Shor Algorithmus* beruht (Shor 1997). Verschlüsselungstechnologien basieren auf dem Prinzip, dass es mathematische Formeln gibt, deren Ergebnis auszurechnen mit geringem Aufwand möglich ist, die Umkehrung der Funktion jedoch so kompliziert ist, dass selbst alle heute verfügbaren Großrechneranlagen dies nicht innerhalb akzeptabler Zeit schaffen können. Ein Beispiel hierfür ist der bereits in Kapitel 5.1 aufgeführte Hashwert, der sich auch für große Datenobjekte einfach und schnell berechnen lässt. Eine Umkehrung, also eine gezielte Manipulation des Datenobjektes bei gleichem Hashwert, wäre jedoch mit der heute verfügbaren Rechenleistung nicht machbar. Der *Shor Algorithmus* könnte diese Berechnung mit einem ausreichend performanten Quantencomputer in kürzester Zeit durchführen und dem Besitzer eines solchen Quantencomputers das Mitlesen und Manipulieren verschlüsselter Daten erlauben (Grumbling & Horowitz 2019: 97). Hier zeigt sich eine Verbindung zur zuvor besprochenen *Blockchain* Technologie. Die mit kryptografischen Methoden verbundenen Blocks in der *Blockchain* würden bei Ausfall der kryptografischen Sicherheitsmechanismen ihre zentrale Eigenschaft der Nicht-Manipulierbarkeit verlieren.

Angesichts der politischen Debatte um die Ausweitung der digitalen Möglichkeiten der Strafverfolgung und Nachrichtendienste (Pohlmann & Riedel 2018) kann von einer gemeinsamen, norma-

tiven Zielsetzung einer Akteursgruppe ausgegangen werden und somit von einem Leitbild gemäß der in Kapitel 4.3.1 ausgeführten Definition.

Wie schon bei der Betrachtung der *Blockchaintechnologie* ist auch hier die Unterscheidung in Anwendungs- und Problemlösungspotential interessant. Zum Zeitpunkt der Entstehung dieser Arbeit ist bei keinem der aktuell diskutierten Anwendungspotentiale klar, ob sie konkret vorhandene Probleme lösen werden (Grumbling & Horowitz 2019: 86). Somit steht die Frage im Raum, ob die Technologie jemals kommerziell erfolgreiche Produkte hervorbringen wird. Selbst für die zuvor beschriebenen Sicherheitsinteressen und die betroffenen Verschlüsselungsverfahren gilt, dass bereits intensiv an neuen Verschlüsselungsalgorithmen geforscht wird, die durch den *Shor Algorithmus* und anderen Möglichkeiten des *Quantum Computing* nicht mehr angreifbar sind (Grumbling & Horowitz 2019: 105).

So bleibt festzuhalten, dass davon ausgegangen werden kann, dass Quantencomputer die klassische Informationstechnik zwar ergänzen, aber nicht ersetzen werden (Grumbling & Horowitz 2019: 58). Dafür sind alle Anwendungspotentiale, die derzeit diskutiert werden, allesamt Beispiele der zuvor genannten *Quantum Supremacy*, können also mit vorhandener Technologie gar nicht oder nur eingeschränkt realisiert werden (Kagermann et al. 2020: 64):

- *Materialwissenschaften*: Einsatz komplexer Simulationen, um die Eigenschaften von Materialien vorhersagen zu können
- *Verkehr und Logistik*: Optimierungen von Wegstrecken und Vermeiden von Staus
- *Medizin*: Diagnose und Vorhersage von Wechselwirkungen von Krankheiten
- *Künstliche Intelligenz und Machine Learning*: Verbesserte Algorithmen, die komplexere Systeme erlauben
- *Finanzmärkte*: Optimierung von Finanzportfolios und Minimierung von Investitionsrisiken

Bei der Betrachtung möglicher *Lead Use Cases* ist also der Faktor *Quantum Supremacy* von besonderem Interesse, da sich durch sie die am Beispiel *Blockchain* dargestellte Problematik der starken Konkurrenz durch vorhandene Technologie nicht im selben Maße einstellt.

Da bislang keines der potentiellen Einsatzfelder aktiv genutzt wird, zielen aktuelle Investitionen verstärkt auf den Aufbau von Know-how und die Entwicklung abhängiger Technologien (VDI-TZ 2021), zwei zentrale Aspekte des Momentums, die im folgenden Kapitel näher betrachtet werden.

5.2.4 Momentum und Handlungsoptionen

Unter *Momentum* wurden die folgenden Aspekte zusammengefasst:

- Bewertung der Wirkintensität zentraler Akteure durch den Grad der Vernetzung in Form von Foren, Communities und Institutionen. In diesen Netzen sind die zentralen Akteure der Lead Innovation zu identifizieren und deren Wirkung auf den zyklischen Aushandlungsprozess der Innovationsdesigns zu bewerten, z. B. durch Nachahmungsverhalten und Substitution. Um aus der so entstandenen Momentaufnahme eine Vorausschau zu erzeugen, werden Ziele und Leitbilder mit einbezogen. Diese ermöglichen zukünftiges Handeln der Akteure und somit zukünftige Technologieentwicklungen zu antizipieren.
- Bewertung der Technologiepfade durch Investitionen, Patente, Wissen sowie Innovationssysteme, die für die neue Technologie wichtig sind. Es werden quantitative Daten herangezogen und ausgewertet. Zur Vorausschau wird diese Momentaufnahme durch das Einbeziehen von Trends aus den qualitativ erhobenen Daten, den Zielen und Leitbildern der Akteure und dem daran abgeleiteten antizipierten Handeln.

An den zuvor beschriebenen Investitionen und Initiativen lassen sich eine hohe Wirkintensität der agierenden Akteure ableiten, zumindest zum Zeitpunkt der Entstehung dieser Arbeit. Wie schon beim Beispiel *Blockchain* stellt sich die Frage, ob sich an den Zielen und Leitbildern eine langfristige Einschätzung der Entwicklungspotentiale vornehmen lässt, zumal bislang nur eine Momentaufnahme vorliegt. Unter der Annahme, dass die Interessen der Strafverfolgung und Nachrichtendienste auch langfristig dazu führen werden, dass in Möglichkeiten des Entschlüsselns kryptografischer Verfahren investiert wird, kann von einem langfristigen, strategischen Einfluss dieses Leitbildes auf die *Quantum Computing* Technologie ausgegangen werden. Allerdings wird dies nur so lange der Fall sein, wie *Quantum Computing* hierfür auch Lösungen verspricht. Und da, wie zuvor beschrieben, bereits kryptografische Konzepte und Verfahren vorliegen, die auch von Quantencomputern nicht mehr angreifbar sind, ist es durchaus möglich, dass dieser Aspekt des Momentums ausfällt.

Im letzten Kapitel wurden weitere Anwendungspotentiale beschrieben, aus denen sich ggf. relevante Ziele und Leitbilder erkennen ließen. Eine tiefergehende Untersuchung würde den Umfang dieser Arbeit jedoch überschreiten. Auf Basis der hier vorliegenden Recherche ist jedoch die Aussage plausibel, dass diese weiteren, sehr speziellen Anwendungspotentiale nicht im selben Umfang von Leitbildern getrieben sind, wie der zuvor dargestellte *Lead Use Case* der Strafverfolgung und Nachrichtendienste.

Weiterhin gilt festzustellen, dass *Quantum Computing* vorhandene Technologie nicht ersetzt, sondern nur ergänzt. Eine Einschätzung der durch Substitution betroffenen Märkte und Akteure ist daher nicht im selben Maße möglich, wie das beim Beispiel *Blockchain* der Fall war. Bezüglich der

Entstehung von Technologiepfaden liegt somit der Schwerpunkt auf der Entwicklung abhängiger Technologien und dem Aufbau von zukunftsrelevantem Wissen (VDI-TZ 2021).

Insgesamt betrachtet ist folgende Handlungsempfehlung plausibel: Mit dem Fokus auf abhängige Technologiekomponenten sollten die technologischen Innovationssysteme beschrieben werden, um darauf basierend eine zielgerichtete Ausrichtung der Aktivitäten des *Scanning und Monitoring* (Kapitel 3.1.3) voranzutreiben. Da sowohl der Aufbau von Wissen als auch die technischen Innovationssysteme in der universitären Forschung entstehen, wären diese Akteure im Zentrum der Betrachtung.

Was die Einordnung des Momentums angeht, ergibt sich basierend auf dem Stand der in diesem Kapitel vorgestellten Analyse eine Einordnung zwischen den beiden Feldern „Noch zu früh oder Geheimtipp?“ und „Zukunftshoffnung oder Technologie-Hype“, wie die folgende Abbildung 5-4 zeigt. Auch hier gilt, dass diese Einschätzung auf der beispielhaften Bewertung der vorigen Kapitel beruht. Für eine genauere, belastbarere Einordnung wäre eine weitergehende Untersuchung nötig. Dabei kann auf das hier vorgestellte methodische Vorgehen und seine Designelemente zurückgegriffen werden, wie die beispielhafte Bewertung der beiden Technologien *Blockchain* und *Quantum Computing* gezeigt hat.

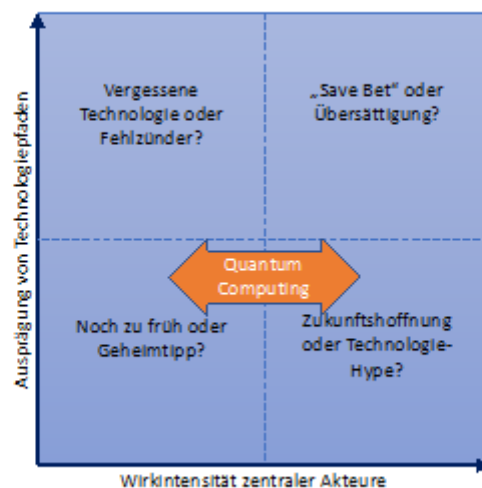


Abbildung 5-4: Momentum der Technologie Quantum Computing (Quelle: eigene Darstellung)

6. Fazit und Ausblick

Zum Abschluss dieser Arbeit wird zuerst einmal der gewonnene Erkenntnisstand mit den einleitend formulierten Fragestellungen überprüft und abgeglichen:

1. Könnte ein nach Entwicklungsstadium differenzierter Ansatz helfen, speziell Technologie in frühen Entwicklungsstadien zu bewerten?
2. Wäre es hierfür sinnvoll, anstatt einer Betrachtung der Eigenschaften von Technologie und deren Einfluss auf die Umwelt, die wirkenden Akteure in den Fokus der Vorausschau zu rücken?

Frage (1) wurde bereits in der abschließenden Betrachtung der Interviewauswertung bejaht (Kapitel 4.2.6 bzw. Tabelle 4-8). Zusätzlich waren, abgesehen von der Technologiefrüherkennung, alle der betrachteten Theorien und methodischen Ansätze aus Kapitel 3 auf eine Vorausschau in späteren Technologiestadien ausgelegt, was die Sinnhaftigkeit der hier vorliegenden Untersuchung unterstreicht. So bleibt noch Frage (2) zu beantworten und zu prüfen, ob das in dieser Arbeit vorgestellte akteursbezogene methodische Vorgehen Beiträge zur Technologievorausschau in frühen Entwicklungsstadien leisten konnte. Um dieser Frage nachzugehen, werden zunächst die Kritikpunkte aufgeführt, die insbesondere bei der beispielhaften Anwendung in den Kapiteln 5.1 und 5.2 zum Vorschein kamen:

- Ein zentraler Kritikpunkt eines akteurszentrierten Bewertungsansatzes ist die Reichweite der Vorausschau. Auch wenn Akteure langfristigen Einfluss auf Technologie ausüben können, wurde in den Kapiteln 1.2 und 4.2.5 dargestellt, dass die wirkenden Akteure im Verlauf der Technologieentwicklung vielfältig und immer wieder andere sind. Daher muss davon ausgegangen werden, dass der Einfluss einzelner Akteure womöglich frühzeitig endet und eine Vorausschau auf Basis einzelner handelnder Personen daher nur begrenzte Reichweite hat.
- Diese Problemstellung der begrenzten Reichweite wurde im vorgestellten methodischen Vorgehen durch die beiden langlebigen Aspekte Trends und Leitbilder adressiert. Diese sollten aus der Momentaufnahme eine langfristige, strategische Vorausschau erzeugen. Allerdings zeigte sich, dass diese beiden Aspekte schwer zu bewerten sind und in manchen Fällen, wie z. B. bei Quantum Computing, Trends als wirkmächtiger Bewertungsfaktor ausfallen können.
- Eine Vorausschau durch Betrachtung zentraler Akteure geht von einer sehr deterministischen Annahme aus, in der das sozio-technologische Regime an die neue Technologie angepasst werden kann. Dem entgegnet Geels (2004: 903) jedoch, dass diese Akteure ebenfalls den Regeln des Regimes gehorchen und demnach nicht frei entscheiden. So stellt sich die Frage nach der Gültigkeit des Postulats in Kapitel 2.3, in dem gesagt wurde, dass in dieser Arbeit von einer gestaltbaren Technologieentwicklung ausgegangen wird und die technikdeterministische Sicht der Technikentstehung und -entwicklung nur zum Teil zum Tragen kommt. Dieser Kritik wurde durch das

Einbeziehen der *Lead Use Cases* begegnet, indem diese die Wirkung der Technologie auf die Akteure ins Spiel bringen und anstatt einer rein sozialdeterministischen Sicht auch technikdeterministische Aspekte mit betrachtet werden.

- Und zuletzt muss konstatiert werden, dass im Rahmen der hier vorliegenden Arbeit nicht festgestellt werden konnte, ob das vorgestellte methodische Vorgehen bessere Ergebnisse liefern konnte, als das mit den etablierten Theorien und methodischen Ansätze möglich gewesen wäre. So konnte das Beispiel Blockchain in großen Teilen durch die Akteure des sozio-technischen Regimes nach Geels (2004) bewertet werden. Für das Beispiel Quantum Computing gilt dies allerdings nicht, weil hier das Regime selbst eine untergeordnete Rolle spielt und dafür technologische Abhängigkeiten und Pfadentwicklungen (Sydow, Windeler, Schubert & Möllering 2012) in den Vordergrund traten. Somit ist die Annahme plausibel, dass sich durch das Zusammenspiel aller betrachteten Theorien und methodischen Ansätze, die in dem hier vorgestellten methodischen Vorgehen Anwendung fanden, Vorteile für eine Bewertung früher Entwicklungsstadien ergeben, da sich frühe Entwicklungsstadien durch sehr unterschiedliche Einflussfaktoren auszeichnen, wie an den beiden Beispieltechnologien gezeigt werden konnte. Der abschließende Nachweis hierüber müsste jedoch im Rahmen einer weiterführenden Untersuchung erbracht werden.

Es zeigte sich also an den beiden Technologiebeispielen und der beispielhaften Anwendung des vorgestellten methodischen Vorgehens, dass sich ein akteurszentrierter Ansatz durchaus zur strategischen, langfristigen Vorausschau eignet, solange dieser um die beiden folgenden Aspekte ergänzt wird:

1. Langlebige Trends und Leitbilder mit starkem Einfluss auf das Handeln der Akteure und Akteursgruppen
2. Das Vorhandensein von *Lead Use Cases*, also nicht nur Anwendungs- sondern Problemlösungspotential, das sich mit vorhandener Technologie nicht eingestellt hätte

Gerade die unter (2) genannte Abgrenzung von Anwendungs- und Problemlösungspotential ist eine der zentralen Erkenntnisse dieser Arbeit. Schon in den Interviews als zentrales Bewertungskriterium in den Vordergrund getreten (Kapitel 4.2.4), zeigte sich dieser Aspekt insbesondere am Beispiel *Blockchain* als einer der zentralen Einflussfaktoren der Technologievorausschau. Was nutzt ein breites, potenzielles Einsatzspektrum (Anwendungspotential), wenn keine der Anwendungen wirklich neue Einsatzfelder repräsentiert oder diese mit vorhandener Technologie zufriedenstellend oder sogar besser bedient werden können (Problemlösungspotentiale)?

Bleibt an dieser Stelle noch der Ausblick auf weiterführende Betrachtungen der Technologievorausschau in frühen Entwicklungsstadien, die durch die gegebenen Grenzen dieser Arbeit nicht weiter betrachtet werden konnten:

- Die sehr unterschiedlichen Faktoren, die das Momentum charakterisieren, machen die Vorausschau über das hier vorgestellte Vorgehensmodell sehr aufwendig. Wenn sich Quellen und Vorgehen der Bewertung standardisieren ließen, könnte dies teilweise automatisiert werden. Dies gilt insbesondere mit dem Ziel im Fokus, das Momentum quantitativ abzubilden und zu erfassen, um Schwellwerte zu definieren, Zeitreihen abzubilden und Veränderungen im Momentum bewerten zu können. Wichtig wäre hierfür ein standardisierter Methodenbaukasten, der einerseits intuitiv-subjektive Quellen wie Expertenmeinungen, als auch quantitative Datenquellen, umfasst.
- Wie in Kapitel 3.1.3 zur Technologiefrüherkennung bereits beschrieben, ist die Konvergenz von Anwendungspotential und zentralen Akteuren von schwachen Signalen begleitet. Das macht die Bewertung dieses Schlüsselfaktors einerseits schwierig, aber zugleich auch der weiteren Betrachtung wert, zumal schwache Signale selbst Gegenstand weiterführender Forschung sind und somit geeignete Literatur existiert (Ansoff 1975; Day & Schoemaker 2005; Hiltunen 2008, 2010).
- Das Handeln zentraler Akteure in der Technologieentwicklung hinterlässt in Zeiten digitaler Medien eine große Menge an Information, die für eine akteurszentrierte Vorausschau Fluch und Segen zugleich sind. Einerseits ist online verfügbare Information einfach zu beschaffen und kann in großen Mengen ausgewertet werden. Andererseits stellt die große Masse und die in Teilen unstrukturierte Information aus Onlinequellen eine Herausforderung dar. Wie an den Beispielen *Blockchain* und *Quantum Computing* gezeigt wurde, muss eine massenweise automatisierte Auswertung stets nachvollziehbar genug sein, damit die Ergebnisse einer kritischen wissenschaftlichen Überprüfung unterzogen werden können. Hier liegen also Gefahren und Chancen gleichermaßen vor. Eine weiterführende Betrachtung in Richtung einer automatisierten Auswertung über Machine Learning und Natural Language Processing (NLP) als Ergänzung des hier vorgestellten methodischen Vorgehens hätte daher trotz der gebotenen Vorsicht Potential der Verbesserung. Dies gilt insbesondere in Anbetracht des bereits erwähnten Vorschlags, das Momentum über Zeitreihen und einem standardisierten, wiederholbaren Vorgehen abzubilden. Bezüglich der Methodenkonstruktion aus sozialwissenschaftlicher Sicht könnte auf die bestehenden Erkenntnisse der Diskursanalyse und des Vision Assessments aufgebaut werden (Kapitel 3.1.2).

Abschließend bleibt festzuhalten, dass Akteure und Akteursnetze, ergänzt um Aspekte wie Trends und Leitbilder sowie der Betrachtung der *Lead Use Cases*, wichtige Gegenwartsartefakte der Vorausschau darstellen. Durch ihre normativ motivierten Leitbilder und Ziele schränken sie den

zu betrachtenden Möglichkeitsraum der Technologie ein und sorgen für eine Komplexitätsreduktion, ohne die eine Vorausschau komplexer Betrachtungsgegenstände nicht möglich wäre. Analog zur bereits für Quantum Computing beschriebenen Quantenmechanik fällt auch der zukünftige Möglichkeitsraum eines Betrachtungsgegenstandes der Vorausschau dann in sich zusammen, wenn sich die Position eines zukünftigen Technologiestadiums final verorten lässt. Das ist erst dann final möglich, wenn die Zukunft eingetroffen und zur Gegenwart geworden ist. Allerdings wurde bereits in Kapitel 4.3.1 als grundlegende Annahme des hier vorgestellten methodischen Vorgehens die Position vertreten, dass dies in der Vorausschau nicht auf einmal passiert, sondern in Schritten. Mit jeder normativen Bewertung und jeder darauf basierenden Zielsetzung der Akteure im Umfeld des Betrachtungsgegenstandes, reduziert sich der Zukunftsraum um die nicht gewählten Handlungsoptionen. Er fällt also nicht einmalig in sich zusammen, wie ein Quantenzustand, der gemessen wird, sondern in Schritten des zielgerichteten Handelns. Und genau dieses zielgerichtete Handeln ist es, was die Akteure für die Vorausschau so interessant macht.

Literaturverzeichnis

- Ansoff, Harry Igor (1975): Managing Strategic Surprise by Response to Weak Signals, in: California Management Review, Los Angeles, CA Jg. 18, Nr. 2, S. 21–33.
- Arnold, Christian; Klee, Christoph (2015): Akzeptanz von Produktinnovationen: Eine Einführung, Wiesbaden: Springer.
- Arute, Frank; Arya, Kunal; Babbush, Ryan; et al. (2019): Quantum supremacy using a programmable superconducting processor, in: Nature, Jg. 574, S. 505.
- AYLIEN (2021a): News API Overview, [online] <https://aylien.com/product/news-api> [18.04.2021].
- AYLIEN (2021b): The News Intelligence Platform, [online] <https://aylien.com/> [18.04.2021].
- Beise, Marian (2006): Die Lead-Markt-Strategie: Das Geheimnis weltweit erfolgreicher Innovationen, Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Bijker, Wiebe E.; Hughes, Thomas P.; Pinch, Trevor (2012): The social construction of technological systems: New directions in the sociology and history of technology, London: MIT Press.
- Blockchain.com (2021): Bitcoin (BTC) Price, Live Chart & Analysis, [online] <https://www.blockchain.com/prices/BTC?timeSpan=365&scale=0&style=line> [16.04.2021].
- BMBF (2021): Karliczek: Mit großen Schritten zum Quantencomputer „Made in Germany“ - BMBF, [online] <https://www.bmbf.de/de/karliczek-mit-grossen-schritten-zum-quantencomputer-made-in-germany-14436.html> [15.05.2021].
- BMW i (2021): BMW i - BMW i fördert Quantentechnologien mit 878 Millionen Euro, [online] <https://www.bmw.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2021/05/20210511-BMWi-foerdert-Quantentechnologien-mit-878-Millionen-Euro.html> [15.05.2021].
- Bogner, Alexander; Littig, Beate; Menz, Wolfgang (2014): Interviews mit Experten, Wiesbaden: Springer.
- Bösch, S.; Dewald, U. (2018): Theorie der Technikfolgenabschätzung reloaded. Ten years after, in: Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis, Jg. 1, Nr. 27, S. 11–13.
- CCAF (2021): Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index (CBECI), [online] <https://cbeci.org/> [16.05.2021].
- Cuhls, Kerstin (2008): Methoden der Technikvorausschau - eine internationale Übersicht, Karlsruhe, Stuttgart: IRB Verlag.
- Cuhls, Kerstin (1998): Technikvorausschau in Japan, Berlin, Heidelberg: Springer.
- Cuhls, Kerstin (2020): Time and Futures. Zeit und Zukünfte in der Vorausschau – Konzepte in den Zukunftswissenschaften, in: Elisabeth Schilling und Maggie O’Neill (Hrsg.), Frontiers in Time Research – Einführung in die interdisziplinäre Zeitforschung, Wiesbaden: Springer S. 335–354.
- Cuhls, Kerstin (2012): Zu den Unterschieden zwischen Delphi-Befragungen und „einfachen“ Zukunftsbefragungen, in: Reinhold Popp (Hrsg.), Zukunfts und Wissenschaft - Wege und Irrwege der Zukunftsforschung, Berlin, Heidelberg: Springer S. 139–158.
- Davis, Fred D. (1985): A technology acceptance model for empirically testing new end-user information systems: Theory and results, MIT.
- Day, Georges S.; Schoemaker, Paul (2005): Scanning the periphery, in: Harvard Business Review, Jg. 83, Nr. 11, S. 135.
- Dedehayir, Ozgur; Steinert, Martin (2016): The Hype Cycle model: A review and future directions, in: Technological Forecasting and Social Change, Nr. 108, S. 28–41.
- Deutscher Bundestag (2021): Drucksache 19/26340 - Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Dr. Konstantin von Notz, Tabea Rößner, Dr. Irene Mihalic, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN, Berlin.
- Dierkes, Meinolf (1997): Technikgenese: Befunde aus einem Forschungsprogramm, Berlin: Eddition Sigma.
- Dierkes, Meinolf; Hoffmann, Ute; Marz, Lutz (1992): Leitbild und Technik - Zur Entstehung und Steuerung technischer Innovation, Berlin: Eddition Sigma.

- Dusseldrop, Marc (2013): Technikfolgenabschätzung, in: Armin Grunwald (Hrsg.), Handbuch Technikethik, Stuttgart, Weimar: J.B. Metzler S. 406–409.
- EU (2021): Quantum Flagship - The future is Quantum, [online] <https://qt.eu/> [23.04.2021].
- Europäische Kommission (2013): Horizon 2020 - Working Programme 2014-2015, [online] https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014_2015/annexes/h2020-wp1415-annex-g-trl_en.pdf [30.12.2019].
- Feynman, Richard P (1982): Simulating physics with computers, in: International journal of theoretical physics, Jg. 21, Nr. 6–7, S. 467–488.
- Firat, Ayse Kaya; Woon, Wei Lee; Madnick, Stuart (2008): Technological Forecasting – A Review, in: Working Paper CISL, Nr. 15, S. 20.
- Flick, Uwe (2019): Qualitative Sozialforschung, 9. Auflage. Hamburg: Rowohlt.
- Forbes (2021): China: The Quantum Competition We Can't Ignore, [online] <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2021/01/21/china-the-quantum-competition-we-cant-ignore/?sh=7fa813a95d19> [23.04.2021].
- Fueglistaller, Urs; Müller, Christoph; Müller, Susan; et al. (2016): Entrepreneurship : Modelle – Umsetzung – Perspektiven Mit Fallbeispielen aus Deutschland, Österreich und der Schweiz, 4. Auflage. Wiesbaden: Springer.
- Gayvoronskaya, Tatiana; Meinel, Christoph (2021): Blockchain - Hype or Innovation, Cham: Springer Nature Switzerland.
- Geels, Frank W. (2004): From sectoral systems of innovation to socio-technical systems, in: Research Policy, Nr. 33, S. 897–920.
- Gerpott, Torsten J (2005): Strategisches Technologie- und Innovationsmanagement, Strategisches Technologiemanagement und Innovationsmanagement, 2. Auflage. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Golem (2021): IBM spart: „Die meisten Blockchain-Leute bei IBM sind gegangen“ - Golem.de, [online] <https://www.golem.de/news/ibm-spart-die-meisten-blockchain-leute-bei-ibm-sind-gegangen-2102-153836.html> [18.04.2021].
- Golem (2019): Kryptomining: Wie Bitcoin die Klimakrise anheizt, [online] <https://www.golem.de/news/kryptomining-wie-bitcoin-die-klimakrise-anheizt-1909-143911.html> [18.04.2021].
- Grumbling, Emily; Horowitz, Mark (2019): Quantum computing: progress and prospects, Washington DC: National Academies Press.
- Grunwald, Armin (2013a): Grundbegriffe, in: Armin Grunwald (Hrsg.), Handbuch Technikethik, Stuttgart, Weimar: Springer S. 13–17.
- Grunwald, Armin; Armin Grunwald (Hrsg.) (2013b): Handbuch Technikethik, Stuttgart, Weimar: Springer.
- Grunwald, Armin (2012): Technikzukünfte als Medium von Zukunftsdebatten und Technikgestaltung, Karlsruhe: KIT Scientific Publishing.
- Grunwald, Armin (2018): Technology Assessment in Practice and Theory, London und New York: Routledge.
- Grunwald, Armin (2009): Wovon ist die Zukunftsforschung eine Wissenschaft?, in: Reinhold Popp und Elmar Schüll (Hrsg.), Zukunftsforschung und Zukunftsgestaltung, Berlin, Heidelberg: Springer S. 25–36.
- Grunwald, Armin; Kornwachs, Klaus (2012): Technikzukünfte - Vorausdenken–Erstellen–Bewerten, acatech IM. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Grupp, Hariolf (1992): Dynamics of science-based innovation, Berlin: Springer.
- Grupp, Hariolf (1997): Messung und Erklärung des technischen Wandels: Grundzüge einer empirischen Innovationsökonomik, Berlin, Heidelberg: Springer.
- Haag, Christoph; Schuh, Günther; Jennifer, Kreysa; et al. (2011): Technologiebewertung, in: Günther Schuh und Sascha Klappert (Hrsg.), Technologiemanagement, Berlin, Heidelberg: Springer S. 309–366.
- Hahn, Christopher; Wons, Adrian (2018): Initial Coin Offering (ICO): Unternehmensfinanzierung auf Basis der Blockchain-Technologie, Wiesbaden: Springer.

- Hauschildt, Jürgen; Gemünden, Hans Georg (2013): Promotoren: Champions der Innovation, Wiesbaden: Springer.
- Hauschildt, Jürgen; Salomo, Sören; Schultz, Carsten D; et al. (2016): Innovationsmanagement, 6. Auflage. München: Verlag Franz Vahlen.
- Hiltunen, Elina (2008): Good Sources of Weak Signals: A Global Study of Where Futurists Look For Weak Signals, in: Journal of Futures Studies, Jg. 12, Nr. 4, S. 21–44.
- Hiltunen, Elina (2010): Weak signals in organizational futures learning, Helsinki: Helsinki School of Economics.
- von Hippel, Eric (2005): Democratizing innovation, Cambridge, Mass.
- von Hippel, Eric (1986): Lead Users: A Source of novel product concepts, in: Management Science, Jg. 32, Nr. 7, S. 791–805.
- von Hippel, Eric (1995): The sources of innovation, New York: Oxford University Press.
- Holtmannspötter, Dirk; Heimeshoff, Ulrich; Haucap, Justus; et al. (2021): Soziale Marktwirtschaft in der digitalen Zukunft, Düsseldorf.
- Hughes, Thomas P. (1979): The Electrification of America: The System Builders, in: Technology and Culture, Jg. 20, Nr. 1, S. 124–161.
- Hughes, Thomas P. (2012): The Evolution of Large Technological Systems, in: Wiebe E. Bijker, Thomas P. Hughes, und Trevor J. Pinch (Hrsg.), The Social Construction of Technological Systems, Cambridge (Mass.), London: MIT Press S. 45–121.
- IBM (2020): IBM's Roadmap For Scaling Quantum Technology, [online] <https://www.ibm.com/blogs/research/2020/09/ibm-quantum-roadmap/> [23.04.2021].
- Jeppesen, Lars Bo; Laursen, Keld (2009): The role of lead users in knowledge sharing, in: Research Policy, Jg. 38, Nr. 10, S. 1582–1589.
- Jiang, Shangrong; Li, Yuze; Lu, Quanying; et al. (2021): Policy assessments for the carbon emission flows and sustainability of Bitcoin blockchain operation in China, in: Nature Communications, Nature Publishing Group Jg. 12, Nr. 1, S. 1–10.
- De Jouvenel, Bertrand (1964): L'Art de la Conjecture, Monaco: du Rocher.
- Kagermann, Henning; Süssenguth, Florian; Körner, Jorg; et al. (2020): Innovationspotentiale der Quantentechnologien der zweiten Generation, acatech Impuls, acatec.
- kes (2020): Blockchain nach dem Hype, in: kes - Zeitschrift für Informations-Sicherheit, Jg. 2–2020, S. 61–64.
- Knie, Andreas (1994): Gemachte Technik, in: Werner Rammert und Gotthard Bechmann (Hrsg.), Technik und Gesellschaft, Frankfurt am Main: Campus Verlag S. 44–66.
- Krystek, U.; Müller-Stewens, G. (2006): Strategische Frühaufklärung, in: Dietger Hahn und Bernard Taylor (Hrsg.), Strategische Unternehmensplanung - Strategische Unternehmensführung, 9. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer S. 175–194.
- Leydesdorff, Loet (1995): The Triple Helix--University-industry-government relations: A laboratory for knowledge based economic development, in: EASST review, Jg. 14, Nr. 1, S. 14–19.
- Lösch, Andreas; Grunwald, Armin; Meister, Martin; et al. (2019): Introduction: Socio-Technical Futures Shaping the Present, in: Socio-Technical Futures Shaping the Present, Wiesbaden: Springer S. 1–16.
- Martin, Ben R; Irvine, John (1989): Research foresight : priority-setting in science, London, New York: Pinter Publishers.
- Mayring, Philipp (2015): Qualitative Inhaltsanalyse - Grundlagen und Techniken, Weinheim, Basel: Beltz Verlag.
- Merton, Robert K (1948): The self-fulfilling prophecy, in: The antioch review, Jg. 8, Nr. 2, S. 193–210.
- Microsoft (2021a): Azure Blockchain Service retirement notification and guidance, [online] <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/blockchain/service/migration-guide> [15.05.2021].

- Microsoft (2021b): Azure Quantum jetzt als Public Preview verfügbar, [online] <https://news.microsoft.com/de-de/azure-quantum-jetzt-als-public-preview-verfuegbar/> [15.05.2021].
- Microsoft (2021c): Microsoft Academic, [online] <https://academic.microsoft.com/home> [18.04.2021].
- Mieke, Christian (2006): *Technologiefrühaufklärung in Netzwerken: Entscheidungsmodelle, Organisation, Methodik*, Wiesbaden: Gabler.
- Möhrle, Martin G.; Isenmann, Ralf (2017): *Technologie-Roadmapping : Zukunftsstrategien für Technologieunternehmen*, 4. Auflage. Berlin: Springer.
- Nakamoto, Satoshi (2008): Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System, [online] <https://www.mail-archive.com/cryptography@metzdowd.com/msg09959.html> [11.04.2021].
- Nielsen, Michael A; Chuang, Isaac L (2010): *Quantum Computation and Quantum Information: 10th Anniversary Edition*, Cambridge: Cambridge University Press.
- OECD (2018): *OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2018: Adapting to Technological and Societal Disruption*, Paris: OECD Publishing.
- Pfister, Hans-Rüdiger; Jungermann, Helmut; Fischer, Katrin (2017): *Die Psychologie der Entscheidung*, Berlin, Heidelberg: Springer.
- Pillkahn, Ulf (2007): *Trends und Szenarien als Werkzeuge zur Strategieentwicklung : wie Sie die unternehmerische und gesellschaftliche Zukunft planen und gestalten*, Erlangen: Publicis Corporate Publishing.
- Pinch, Trevor J.; Bijker, Wiebe E. (2012): The Social Construction of Facts and Artifacts: Or How the Sociology of Science and the Sociology of Technology Might Benefit Each Other, in: Wiebe E. Bijker, Thomas P. Hughes, und Trevor Pinch (Hrsg.), *The Social Construction of Technological Systems*, Cambridge (Mass.), London: MIT Press S. 11–44.
- Pohlmann, Norbert; Riedel, Rene (2018): Strafverfolgung darf die IT-Sicherheit im Internet nicht schwächen, in: *Datenschutz und Datensicherheit*, Springer Jg. 42, Nr. 1, S. 37–44.
- Porter, Alan L.; Ashton, W. Bradford; Clar, Guenter; et al. (2004): Technology futures analysis: Toward integration of the field and new methods, in: *Technological Forecasting and Social Change*, Jg. 71, S. 287–303.
- Rädiker, Stefan; Kuckartz, Udo (2019): *Analyse qualitativer Daten mit MAXQDA : Text, Audio und Video / Stefan Rädiker, Udo Kuckartz.*, Wiesbaden: Springer.
- Ries, Eric (2014): *Lean Startup: Schnell, risikolos und erfolgreich Unternehmen gründen*, München: Redline Wirtschaft.
- Rogers, Everett (2003): *Diffusion of innovations*, New York: Free Press.
- Rosa, Hartmut (1999): Rasender Stillstand? Individuum und Gesellschaft im Zeitalter der Beschleunigung, in: Jürgen Manemann (Hrsg.), *Jahrbuch politische Theologie - Band 3: Befristete Zeit*, Münster: Lit Verlag S. 151–176.
- Rutz, Victor (2020): *Blockchain quo vadis*, Wiesbaden: Springer.
- Schmitz, Michael (2017): *Ein Verfahren zur Formulierung von Suchstrategien für die Identifikation neuer Technologien*, Stuttgart: Fraunhofer Verlag.
- Schon, Donald (1963): Champions for Radical New Inventions, in: *Harvard Business Review*, Jg. 41, S. 77–86.
- Schrödinger, Erwin (1935): Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik, in: *Naturwissenschaften*, Jg. 23, Nr. 48, S. 807–812.
- Schubert, Cornelius; Sydow, Jörg; Windeler, Arnold (2013): The means of managing momentum: Bridging technological paths and organisational fields, in: *Research Policy*, Nr. 42, S. 1389–1405.
- Schumpeter, Joseph (1997): *Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung : eine Untersuchung über Unternehmergewinn, kapital, Kredit, Zins und den Konjunkturzyklus*, Neunte Auf. Berlin: Duncker & Humblot.
- Shor, Peter W (1997): Polynomial-Time Algorithms for Prime Factorization and Discrete Logarithms on a Quantum Computer, in: *SIAM journal on computing*, Philadelphia Jg. 26, Nr. 5, S. 1484–1509.

- Steinmüller, Karlheinz (1997): Grundlagen und Methoden der Zukunftsforschung, Gelsenkirchen: Sekretariat für Zukunftsforschung.
- Steinmüller, Karlheinz (2017): Methoden der Zukunftsforschung - Langfristorientierung als Ausgangspunkt für das Technologie-Roadmapping, in: Martin G. Möhrle und Ralf Isenmann (Hrsg.), Technologie-Roadmapping - Zukunftsstrategien für Technologieunternehmen, 4. Auflage. Berlin: Springer S. 29–46.
- Sydow, Jörg; Schreyögg, Georg; Koch, Jochen (2009): Organizational path dependence: Opening the black box, in: Academy of Management Review, Jg. 34, Nr. 4, S. 689–709.
- Sydow, Jörg; Windeler, Arnold; Schubert, Cornelius; et al. (2012): Organizing R&D Consortia for Path Creation and Extension: The Case of Semiconductor Manufacturing Technologies, in: Organization Studies, doi: 10.1177/0170840612448029.
- Szostek, Dariusz (2019): Blockchain and the Law, Baden-Baden: Nomos.
- tagesschau.de (2021): Klima-Kosten der Kryptowährung: Stromfresser Bitcoin, [online] <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/technologie/stromfresser-bitcoin-mining-101.html#> [23.04.2021].
- Tiberius, Victor (2012): Theorien des Wandels – Theorien der Zukunftsgenese?, in: Victor Tiberius (Hrsg.), Zukunftsgenese - Theorien des zukünftigen Wandels, Wiesbaden: Springer S. 11–56.
- VDI-TZ (2021): Roadmap Quantencomputing, Düsseldorf.
- VDI (2000): VDI 3780 - Technikbewertung Begriffe und Grundlagen, (Nr.VDI 3780) Düsseldorf.
- Venkatesh, Viswanath (2000): Determinants of perceived ease of use: Integrating control, intrinsic motivation, and emotion into the technology acceptance model, in: Information Systems Research, Jg. 11, Nr. 4, S. 342–365.
- Venkatesh, Viswanath; Davis, Fred D. (2000): A Theoretical Extension of the Technology Acceptance Model: Four Longitudinal Field Studies, in: Management Science, Jg. 46, Nr. 2, S. 186–204.
- VERBI (2020): MAXQDA - Software für qualitative Datenanalyse, Berlin: 1989 – 2021 VERBI Software. Consult. Sozialforschung GmbH.
- Voros, Joseph (2017): The Futures Cone, use and history, The Voroscope, [online] <https://thevoroscope.com/2017/02/24/the-futures-cone-use-and-history/> [12.03.2021].
- Warnke, Philine; Cuhls, Kerstin; Schmoch, U; et al. (2019): 100 Radical Innovation Breakthroughs for the future, in: European Commission, Jg. 18.
- Wellensiek, Markus; Schuh, Günther; Hacker, Patrick A.; et al. (2011): Technologiefrüherkennung, in: Günther Schuh und Sascha Klappert (Hrsg.), Technologiemanagement, Berlin, Heidelberg: Springer S. 89–170.
- Witte, Eberhard (1973): Organisation für Innovationsentscheidungen: Das Promotoren-Modell, Kommission für Wirtschaftlichen und Sozialen Wandel, Göttingen: Schwartz.
- ZEIT ONLINE (2021a): Bezahldienst: PayPal lässt Bitcoin und andere Kryptowährungen zu, [online] <https://www.zeit.de/wirtschaft/2021-03/paypal-bitcoin-bezahldienst-cyberdevisen-geld-usa-haendler> [18.04.2021].
- ZEIT ONLINE (2021b): Kryptowährung: Bitcoin verbieten?, [online] <https://www.zeit.de/2021/14/kryptowahrung-bitcoin-verbot-klimaschutz-innovation-pro-contra> [18.04.2021].
- ZEIT ONLINE (2021c): Kryptowährung: Tesla investiert 1,5 Milliarden US-Dollar in Bitcoin, [online] <https://www.zeit.de/wirtschaft/unternehmen/2021-02/kryptowahrung-tesla-bitcoin-investition-elon-musk-rekordhoch-kurs> [18.04.2021].
- ZEIT ONLINE (2014): Quantencomputer: Der Wundercomputer, der wohl keiner ist, [online] <https://www.zeit.de/wissen/2014-03/d-wave-quantencomputer-nur-normal> [23.04.2021].
- Zweck, Axel (2000): Technologiefrüherkennung als Teil integrierten Technologiemanagements, in: Karlheinz Steinmüller, Rolf Kreibich, und Christoph Zöpel (Hrsg.), Zukunftsforschung in Europa - Ergebnisse und Perspektiven, Baden-Baden: Nomos S. 135–144.
- Zweck, Axel; Holtmannspötter, Dirk; Braun, Matthias; et al. (2015): Forschungs- und Technologieperspektiven 2030, Ergebnisband 2 zur Suchphase von BMBF Foresight Zyklus II, Düsseldorf.

Bibliographische Informationen der Deutschen Bibliothek

Die deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

iF-Schriftenreihe Sozialwissenschaftliche Zukunftsforschung 06/21

ISBN: 978-3-98633-000-2

DOI: <http://dx.doi.org/10.17169/refubium-32739>

© 2021 by Institut Futur

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Die [Online-Publikationen der iF-Schriftenreihe Sozialwissenschaftliche Zukunftsforschung](#) sind auf dem [Dokumentenserver der Freien Universität](#) veröffentlicht.

[DOI: 0.17169/FUDOCS_series_00000000250](https://doi.org/10.17169/FUDOCS_series_00000000250)

Alle Einzelausgaben können kostenfrei als PDF heruntergeladen werden.