



## > Technikzukünfte

Vorausdenken – Erstellen – Bewerten

acatech (Hrsg.)

# acatech IMPULS

November 2012

**Herausgeber:**

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2012

Geschäftsstelle  
Residenz München  
Hofgartenstrasse 2  
80539 München

Hauptstadtbüro  
Unter den Linden 14  
10117 Berlin

Brüssel-Büro  
Rue du Commerce/Handelsstraat 31  
1000 Brüssel

T +49 (0)89/5203090  
F +49 (0)89/5203099

T +49 (0)30/206309610  
F +49 (0)30/206309611

T +32 (0)25046060  
F +32 (0)25046069

E-mail: [info@acatech.de](mailto:info@acatech.de)  
Internet: [www.acatech.de](http://www.acatech.de)

**Empfohlene Zitierweise:**

acatech (Hrsg.): *Technikzukünfte. Vorausdenken – Erstellen – Bewerten* (acatech IMPULS), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2012.

ISSN: 2195-1829 / ISBN: 978-3-642-34606-4 / e-ISBN: 978-3-642-34607-1  
DOI: 10.1007/978-3-642-34607-1

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Koordination: Christian Dieckhoff, Dr. Ulrich Glotzbach, Samia Salem

Redaktion: Linda Tönskötter

Layout-Konzeption: acatech

Konvertierung und Satz: *work.at:book* / Martin Eberhardt, Berlin

Gedruckt auf säurefreiem Papier

Springer Vieweg ist eine Marke von Springer DE.

Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media

[www.springer-vieweg.de](http://www.springer-vieweg.de)

# > INHALT

VORWORT	5
KURZFASSUNG	6
PROJEKT	7
<b>1 EINFÜHRUNG UND ZIELSETZUNG</b>	<b>9</b>
1.1 Problemstellung und Auftrag	9
1.2 Ausgangspunkt und Zielsetzung	9
1.3 Überblick	10
<b>2 BESTIMMUNG DES GEGENSTANDS</b>	<b>11</b>
2.1 Zukunft	11
2.2 Zukünfte	11
2.3 Technikzukünfte	13
<b>3 TECHNISCHE ENTWICKLUNG</b>	<b>15</b>
3.1 Technik zwischen Tradition und Innovation	15
3.2 Technische Entwicklung heute: Revolution oder Evolution?	17
3.3 Sozialkonstruktivismus und Technikdeterminismus	17
<b>4 ERSTELLUNG VON TECHNIKZUKÜNFTEN</b>	<b>19</b>
4.1 Technikzukünfte als Aussagen über die Zukunft	19
4.1.1 Struktur von Zukunftsaussagen	19
4.1.2 Typen von Zukunftsaussagen	20
4.1.3 Zwecke von Zukunftsaussagen	21
4.1.4 Modellbildung	22
4.2 Übersicht über Methoden	23

4.3 Diskussion ausgewählter Methoden	24
4.3.1 Statistische Trendanalyse	24
4.3.2 Simulation	25
4.3.3 Szenario-Technik	25
4.3.4 Delphi-Methode	27
4.3.5 Roadmapping	28
4.4 Leistungen und Grenzen der Vorausschau	29
<b>5 BEWERTUNG</b>	<b>31</b>
5.1 Werte in der Technik	31
5.2 Wertentscheidungen bei der Erstellung von Technikzukunft	33
5.3 Bewertung der Technikzukunft	34
<b>6 TECHNIKZUKÜNFTEN IN GESELLSCHAFTLICHEN TEILBEREICHEN</b>	<b>38</b>
6.1 Institutionen und Akteure	38
6.2 Wirtschaft	39
6.3 Politik	41
6.4 Öffentlichkeit und Medien	44
<b>7 FORSCHUNGSBEDARF</b>	<b>48</b>
<b>8 THESEN UND LEITLINIEN</b>	<b>49</b>
<b>LITERATUR</b>	<b>51</b>

# VORWORT

Technikzukünften kommt in gesellschaftlichen Technikdebatten und Entscheidungsprozessen eine zentrale Rolle zu. Sie prägen technologische Entwicklungen, legitimieren öffentliche Fördermittel und entscheiden darüber, inwiefern die Menschen Techniken als wünschenswert erachten. Trotz der Notwendigkeit von Zukunftsvorausschau und ihrer besonderen Bedeutung für die gesamtgesellschaftlichen Technikdiskussionen zeigen die Erfahrungen eine besondere Schwierigkeit: Das Vorausdenken von Technikzukünften bedeutet Denken in Möglichkeiten und damit ein Vorausdenken verschiedener Entwicklungen von Technik und Gesellschaft.

Die Möglichkeiten und Grenzen technikbezogener Zukunftsschau, ihre verfügbaren Methoden und die ihnen zugrunde gelegten Wertentscheidungen müssen transparent gestaltet werden. Daher sind besondere Anforderungen an die Erstellung und Bewertung von Technikzukünften zu stellen, deren Rahmenbedingungen für uns als Deutsche Akademie der Technikwissenschaften von zentraler Bedeutung sind. acatech berät Gesellschaft und Politik unabhängig in technikwissenschaftlichen und technologiepolitischen Zukunftsfragen. Um dies leisten zu können, müssen wir permanent zukünftige wissenschaftlich-technische Entwicklungen und deren Folgen vorausdenken.

Vor diesem Hintergrund hat acatech eine Projektgruppe *Technikzukünfte: Vorausdenken – Erstellen – Bewerten* eingesetzt, die zwischen September 2010 und Juni 2012 den vorliegenden Leitfaden erarbeitet hat. Sie liefert Thesen und Leitlinien zur Interpretation, Bewertung und Erstellung von sowie zum Umgang mit Technikzukünften und trägt damit maßgeblich dazu bei, die für die Politik- und Gesellschaftsberatung erforderliche Transparenz sicherzustellen.

Dieser Leitfaden erscheint als erster Band unserer neuen Publikationsreihe „acatech IMPULS“. Die Publikationen dieser Reihe enthalten Analysen und Denkanstöße zu Grundfragen der Technikwissenschaften sowie zur wissenschaftsbasierten Politik- und Gesellschaftsberatung. Sie richten sich an alle, die in den Technikwissenschaften oder der Politikberatung tätig sind oder sich mit der Reflexion über die Technikwissenschaften und ihre Rolle in der Gesellschaft beschäftigen. Neben der Reihe „acatech POSITION“, in der konkrete technologiepolitische Handlungsempfehlungen erscheinen, enthält auch die jüngste Schriftenreihe offizielle Stellungnahmen der Akademie. Sie werden von acatech Mitgliedern und weiteren Experten erarbeitet und vom acatech Präsidium autorisiert und herausgegeben.

acatech dankt der Projektgruppe hinter dem ersten acatech IMPULS für ihr ausgesprochen großes Engagement sowie allen Mitwirkenden für die Diskussion und Mitarbeit.



Prof. Dr. Dr. h.c. Reinhard Hüttl  
acatech Präsident



Prof. Dr. Henning Kagermann  
acatech Präsident

## KURZFASSUNG

Zukunftsvorstellungen spielen eine entscheidende Rolle in gesellschaftlichen Technikdebatten. Sie werden in unterschiedlichen Formen, etwa als Vorhersagen, Szenarien oder Visionen, zum Ausdruck gebracht. Teils werden sie von Wissenschaftlern entworfen, etwa als modellbasierte Szenarien, teils handelt es sich um künstlerische Entwürfe, wie literarische oder filmische Produkte der Science-Fiction, teils sind es Erwartungen oder Befürchtungen, die über Massenmedien Teil der öffentlichen Kommunikation werden.

**Insbesondere bringen Vorstellungen über die zukünftige Entwicklung von Technik und Gesellschaft – kurz Technikzukünfte – Ansichten darüber zum Ausdruck, welche zukünftige gesellschaftliche und technologische Realität für möglich, mehr oder weniger wahrscheinlich, gewünscht oder unerwünscht gehalten wird. Solche Technikzukünfte vereinen unterschiedliche Formen von Wissen, beinhalten Annahmen und normative Setzungen. Dabei haben sich die Erwartungen an Zukunftsvorausschau in den letzten Jahrzehnten grundlegend verändert. Heute ist das Denken in Alternativen, in Optionen mit Entscheidungspunkten und Verzweigungen vorherrschend. Der Plural „Technikzukünfte“ ist daher Programm.**

Viele Technikzukünfte sind gesellschaftlich umstritten und spielen gleichzeitig eine zentrale Rolle in unterschiedlichen gesellschaftlichen Bereichen und Entscheidungsprozessen. Sie prägen das konkrete Entwicklungshandeln der Ingenieure und bestimmen so die Ausgestaltung zukünftiger technischer Systeme und deren Nutzungsbedingungen. Überdies erfüllen Technikzukünfte in der Forschungspolitik die Funktion der Legitimation öffentlicher Förderprogramme und haben so maßgeblichen Anteil an der Gestaltung der Agenda in Forschung und technischer Entwicklung. **Vor allem aber sind Technikzukünfte Gegenstand der gesamtgesellschaftlichen Diskussionen über die Frage, mit welcher Technik wir als Gesellschaft zukünftig leben wollen.**

Die zukünftige Technik und die Formen ihrer gesellschaftlichen Einbettung sind das Resultat komplexer gesellschaftlicher Interaktionen. Technologien stellen einerseits Randbedingungen für die Entwicklungsmöglichkeiten der Gesellschaft dar. Andererseits sind Technologien das Produkt eben dieser Gesellschaft. Dieser komplexe Zusammenhang entzieht sich in weiten Teilen einer genauen Vorhersage. **In Technikzukünften können daher in der Regel lediglich Aussagen darüber getroffen werden, welche Entwicklungen von Technik und Gesellschaft möglich sind.** Sie bringen damit Vorstellungen über die Zukunft zum Ausdruck, die immer auch anders gedacht werden können. In gesellschaftlichen Diskursen werden deshalb immer mehrere Technikzukünfte verhandelt.

Technikzukünfte haben unterschiedliche Funktionen in der Gesellschaft. Sie sind zum Beispiel Teil der Strategieentwicklung von Unternehmen oder werden zur Legitimation politischer Entscheidungen herangezogen. **Mit den unterschiedlichen Funktionen stellen sich unterschiedliche Anforderungen an Technikzukünfte und den Prozess ihrer Erstellung – die jedoch bisher nicht immer erfüllt werden.**

Technikzukünfte werden unter anderem in Gestalt wissenschaftlicher Expertisen kommuniziert und erheben somit einen besonderen Geltungsanspruch. Als solche erfahren sie darüber hinaus oft eine privilegierte Rezeption seitens politischer Entscheidungsträger. **Gerade in der wissenschaftlichen Politikberatung stehen die Autoren von Technikzukünften damit in der Verantwortung, die Prämissen und Wertentscheidungen offenzulegen, die Grundlage dieser Technikzukünfte sind.** Um eine offene Verständigung über die zukünftigen Lebensbedingungen in der Gesellschaft zu ermöglichen, müssen Technikzukünfte transparent gestaltet werden. **Ihre Erstellung und Bewertung müssen als öffentliche Aufgabe aufgefasst werden.**

# PROJEKT

## PROJEKTLEITUNG

- Prof. Dr. Armin Grunwald, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

## PROJEKTGRUPPE

- Christian Dieckhoff, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
- Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier, Universität Paderborn, acatech Präsidium
- Anne-Christin Grote, Universität Paderborn
- Prof. Dr. Wolfgang König, Technische Universität Berlin
- Prof. Dr. Klaus Kornwachs, Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Sprecher des acatech Themennetzwerks „Grundfragen der Technikwissenschaften“
- Prof. Dr. Peter Weingart, Universität Bielefeld

## REVIEWER

- Prof. Dr. Dr. h. c. Ortwin Renn, Universität Stuttgart, acatech Präsidium (Leitung des Reviews)
- Prof. Dr. Rolf Kreibich, IZT – Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung
- Prof. Dr. Marion Weissenberger-Eibl, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
- Prof. Dr. Ulrich Wengenroth, Technische Universität München

acatech dankt allen externen Fachgutachtern. Die Inhalte des vorliegenden Leitfadens liegen in der alleinigen Verantwortung der Autoren.

## WEITERE BETEILIGTE

- Prof. Dr. Dr. h. c. Walther Zimmerli, Brandenburgische Technische Universität Cottbus

Auf einem internationalen Workshop wurde ein Entwurf dieses Leitfadens mit fünf Experten kritisch diskutiert.

- Prof. Dr. Daniel Barben, RWTH Aachen
- Jun.-Prof. Dr. habil. Gregor Betz, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
- Prof. Dr. Lars Klüver, Danish Board of Technology, Dänemark
- Prof. Dr. Arie Rip, Universität Twente, Niederlande
- Dr. Heinrich Stuckenschneider, Siemens AG

Die folgenden Personen haben mit Kommentaren zum Text beigetragen:

- Prof. Dr. Dr. h. c. Klaus Brockhoff, WHU Otto Beisheim Hochschule
- Prof. Dr. Dr. h. c. Manfred Broy, Technische Universität München
- Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. e. h. Heinz Duddeck, Technische Universität Braunschweig
- Prof. Dr. Prof. e. h. Dres. h. c. Peter Fulde, Max-Planck-Institut für Physik komplexer Systeme
- Prof. Dr. Ursula Gather, Technische Universität Dortmund
- Prof. Dr. Manfred Hennecke, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
- Dr.-Ing. Ulrich Wilhelm Jaroni, ThyssenKrupp Steel AG
- Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. e. h. Fritz Klocke, RWTH Aachen
- Prof. Dr. Dr. h. c. mult. Dr.-Ing. E. h. Jürgen Mittelstraß, Universität Konstanz
- Prof. Dr. Michael Röper, BASF SE
- Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. e. h. mult. Dr. h. c. Hans Kurt Tönshoff
- Dr. Marc-Denis Weitze, acatech Geschäftsstelle
- Prof. Dr. Andreas Tünnermann, Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF
- Prof. Dr. rer. nat. Dr. h. c. mult. Jörn Thiede, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung
- Prof. Dr. Claus Weyrich

acatech dankt allen Mitwirkenden für die Diskussion und die Mitarbeit an diesem Papier.

#### PROJEKTKOORDINATION

- Christian Dieckhoff, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
- Dr. Ulrich Glotzbach, acatech Geschäftsstelle
- Samia Salem, acatech Geschäftsstelle

#### PROJEKTVERLAUF

Projektlaufzeit: 09/2010–06/2012

Dieser acatech Impuls wurde im September 2012 durch das acatech Präsidium syndiziert.

#### FINANZIERUNG

acatech dankt dem acatech Förderverein für seine Unterstützung.

# 1 EINFÜHRUNG UND ZIELSETZUNG

Alle Erfahrung mit Zukunftsvorausschau zeigt einerseits die Schwierigkeit des Unterfangens, Technikzukünfte vorausdenken, vielleicht gar dessen prinzipielle Unmöglichkeit. Andererseits jedoch sind wir – nicht nur in der Technik – auf Zukunftsvorausschau angewiesen und betreiben diese, vor allem mit wissenschaftlichen Mitteln, in erheblichem Ausmaß. In dieser Spannung steht der vorliegende Leitfaden. Er lotet die Möglichkeiten und Grenzen der Zukunftsvorausschau und -bewertung im Bereich der Technik aus und gibt Hinweise zu einem reflektierten Verständnis.

## 1.1 PROBLEMSTELLUNG UND AUFTRAG

Zukunftserwartungen in Form von zum Beispiel Vorhersagen, Szenarien oder Visionen spielen eine entscheidende Rolle in gesellschaftlichen Technikdebatten. Teils entwerfen sie Wissenschaftler, etwa als modellbasierte Szenarien (vgl. Kap. 4), teils handelt es sich um künstlerische Entwürfe, wie literarische oder filmische Produkte der Science-Fiction, teils sind es Erwartungen oder Befürchtungen, die über Massenmedien verbreitet werden. acatech – die Deutsche Akademie der Technikwissenschaften – leistet unabhängige wissenschaftliche Beratung von Politik und Gesellschaft zu technikwissenschaftlichen und technologiepolitischen Zukunftsfragen. Diese Beratung ist notwendigerweise auf die Vorausschau zukünftiger wissenschaftlich-technischer Entwicklungen und ihrer Folgen angewiesen, etwa im Hinblick auf die damit verbundenen Chancen und Risiken. Dies muss auf Grundlage hoher wissenschaftlicher Standards, unter Berücksichtigung des aktuellen Stands der Forschung und mit dem Ziel größtmöglicher Transparenz sowie in wissenschaftlicher Unabhängigkeit erfolgen – zumal Zukunftsbilder auch Werte enthalten und möglicherweise partikularen Interessen dienen.

Vordiesem Hintergrund hat acatech infolge eines Vorschlags aus dem Themennetzwerk „Grundfragen der Technikwissenschaften“ das Projekt „Technikzukünfte: Vorausdenken – Er-

stellen – Bewerten“ initiiert. Der vorliegende Leitfaden stellt das Ergebnis dieses Projekts dar. Sie soll eine Orientierung für alle sein, die sich in Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft mit Technikzukünften befassen oder diese nutzen und diskutieren. Da insbesondere auch acatech vielfach mit Technikzukünften und ihrer Bewertung befasst ist, vor allem in Bezug auf Politik- und Gesellschaftsberatung, zählen auch acatech Arbeitsgruppen, Projekte und Themen-netzwerke zu den Adressaten dieses Leitfadens.

## 1.2 AUSGANGSPUNKT UND ZIELSETZUNG

Das Verhältnis zur Zukunft hat sich in den letzten Jahrzehnten allmählich verändert. In den 1960er und 70er Jahren erwartete man immer bessere Prognosen technischer wie auch gesellschaftlicher Entwicklungen. Heute ist das Denken in Alternativen, in Optionen mit Entscheidungspunkten und Verzweigungen vorherrschend, während Möglichkeit und Sinn von Prognosen – je nach betrachtetem Feld – als mehr oder weniger begrenzt angesehen werden. Die (wissenschaftliche) Beratung von Politik, Wirtschaft und Gesellschaft hat auf diese Entwicklung mit neuen Ansätzen und Methoden reagiert, deren Spektrum von modellbasierten Simulationen über Szenarien bis zu narrativen Formen reicht (Kap. 4).

Ein weiterer Ausgangspunkt ist, dass Wissenschaft und Technik grundsätzlich in gesellschaftlichen Kontexten stehen und nicht als komplett autonome Teilbereiche der Gesellschaft gedacht werden dürfen.<sup>1</sup> Besonders bei Zukunftsaussagen ist dies entscheidend, da hier Annahmen und Erwartungen zum technischen Fortschritt mit gemeinsamen Einschätzungen gesellschaftlicher Prozesse bedacht werden müssen.

Ziel des vorliegenden Leitfadens ist es, Möglichkeiten und Grenzen technikbezogener Zukunftsschau und der verfügbaren Methoden auszuloten und Orientierung für einen

<sup>1</sup> Vgl. Siune et al. 2009.

rationalen Umgang mit ihnen zu erarbeiten. Insbesondere wollen wir dazu beitragen, die für Politik- und Gesellschaftsberatung erforderliche Transparenz<sup>2</sup> zu erreichen, sowohl in der Vorausschau selbst als auch in der Bewertung der Zukunftsvorstellungen. Wir wollen die Relationen zwischen Technik und Gesellschaft in der Vorausschau adäquat berücksichtigen helfen und den Umgang mit Technikzukunftfe unter Aspekten der Qualitätssicherung und der Verantwortung betrachten.

Mit dem vorliegenden Leitfadefaden möchten wir zu einer größeren Reflektiertheit der Vorausschau und Bewertung von Technikzukunftfe in folgender Hinsicht beitragen: Erstens soll eine Hilfestellung für die *Interpretation* von Technikzukunftfe gegeben werden, da häufig auf den ersten Blick gar nicht klar ist, um welche Art von Äußerungen es sich hierbei handelt und wie sie begründet werden können. Eng damit verbunden ist das zweite Anliegen, Politik und Gesellschaft in der *Bewertung* konkreter Zukunftfe zu unterstützen. Drittens wird eine Hilfestellung hinsichtlich der *Erstellung* von Technikzukunftfe gegeben, indem ein Überblick über wichtige Methoden gegeben wird – ohne jedoch den Anspruch eines Methodenhandbuchs zu erheben, der bereits durch die umfangreiche vorhandene Literatur hierzu erfüllt wird. Viertens soll schließlich der Leser für kritische Aspekte im *Umgang* mit Technikzukunftfe insbesondere in der Beratung sensibilisiert werden. Eine Anleitung für die Erstellung „richtiger“ Technikzukunftfe können und wollen wir nicht vorlegen; vielmehr geht es darum besser zu verstehen, was das Wort „richtig“ hier überhaupt bedeuten kann. Zur Illustration werden im Text Beispiele angeführt, die den Autoren aufgrund ihrer Aktualität und gesellschaftlichen

Relevanz als besonders geeignet erscheinen. Bei der Auswahl handelt es sich aber keinesfalls um eine vollständige oder auch nur repräsentative Erfassung von Bereichen, in denen Technikzukunftfe eine zentrale Rolle spielen. Auch decken die Beispiele bei weitem nicht die Bandbreite der von acatech bearbeiteten Technikthemen ab. Weitere Bereiche lassen sich beispielsweise anhand der vielen Anwendungsfelder identifizieren, mit denen acatech sich befasst.

### 1.3 ÜBERBLICK

In Kapitel 2 nehmen wir zentrale begriffliche Klärungen vor, insbesondere zum Verständnis von „Zukunft“, von „Zukunftfe“ und schließlich von „Technikzukunftfe“. Das Kapitel 3 diskutiert den Forschungsstand zum Verhältnis von Technik und Gesellschaft, oder präziser: in Bezug auf Technik *in der* Gesellschaft. Im Kapitel 4 werden unterschiedliche Formen von Technikzukunftfe charakterisiert, typische Methoden ihrer Herstellung vergleichend beschrieben und Aussagen zu Möglichkeiten und Grenzen der Vorausschau gemacht. Das Kapitel 5 widmet sich der Bewertung von Technikzukunftfe nach ethischen, politischen, ökonomischen oder weiteren Kriterien in Bezug auf Wünschbarkeit oder Zumutbarkeit. Im Kapitel 6 gehen wir auf typische Anwendungsfelder von Technikzukunftfe ein und fragen nach ihrer Verwendungweise in Wirtschaft, Politik und in den Massenmedien. Während sich also die Kapitel 3 bis 6 jeweils spezifischen und besonders relevanten Aspekten von Technikzukunftfe widmen, werden die Ergebnisse dieser Diskussionen in Kapitel 7 als Forschungsbedarf und in Kapitel 8 als Leitlinien in kondensierter Form zusammengeführt.

<sup>2</sup> Im Sinne von Weingart/Lentsch 2008.

## 2 BESTIMMUNG DES GEGENSTANDS

Die Befassung mit der Zukunft gehört zu den Kennzeichen menschlichen Denkens und Handelns überhaupt.<sup>3</sup> Ausdruck dieser Beschäftigung ist vor allem die Fähigkeit, im Medium der Sprache (Futur) zukünftige Entwicklungen zu vergegenwärtigen, mögliche Zukünfte gegeneinander abzuwägen oder in Form von Plänen normativ zu setzen. Anthropologisch gilt die Fähigkeit des Menschen, zukünftige Entwicklungen zu antizipieren, als Element seiner „Sonderstellung“.<sup>4</sup> Analytisch sind zwei Zugänge zur Zukunft zu unterscheiden, auch wenn diese in der Praxis oft ineinander laufen: das *Planen* als Ansatz zur normativen Gestaltung von Zukunft und das *Vorausschauen* als Ansatz zum antizipierenden Erkennen von Ereignissen, Abläufen und Entwicklungen.

### 2.1 ZUKUNFT

Der Begriff der Zukunft gehört zu den scheinbaren Selbstverständlichkeiten, sowohl im Alltag als auch in den Wissenschaften. Zumeist reden wir über Zukunft im Singular in dem Sinne der *zukünftigen Gegenwart*,<sup>5</sup> das heißt, wie über einen Zustand, der dem Erleben der Gegenwart entspricht, jedoch mit einem anderen Zeitindex versehen ist. In dieser Redeweise versetzen wir uns wie in einem Gedankenexperiment in die Perspektive eines Zeitgenossen jener „zukünftigen Gegenwart“ und beschreiben dann zukünftige Sachverhalte. Wenn wir über Urlaubspläne, den Wetterbericht, die Prognosen für das Wirtschaftswachstum oder den demografischen Wandel reden, denken wir dabei jeweils zumeist an eine derartige zukünftige Gegenwart, von der es zu einem gegebenen Zeitpunkt immer nur eine geben kann – daher der Singular „Zukunft“.

Zukunft in diesem Sinne ist jedoch für uns nicht direkt zugänglich. Wir können sie nicht ansehen oder in sie hi-

neinblicken, wir können auch keine Messungen über ihren Zustand anstellen – die Zukunft als zukünftige Gegenwart bleibt uns prinzipiell verschlossen. Wir verbleiben in der „Immanenz der Gegenwart“ auch dann, wenn wir über Zukünftiges nachdenken – die Perspektive, aus der wir uns Gedanken über die Zukunft machen, bleibt grundsätzlich unsere je gegenwärtige Perspektive.<sup>6</sup>

Was wir jedoch können – und in vielen (alltäglichen) Situationen auch sehr erfolgreich tun –, ist, uns diese zukünftigen Gegenwarten vorzustellen. Diese Vorstellungen bleiben teils schemenhaft und vage, etwa wenn wir uns unsere Lebenssituation in 20 Jahren vorstellen. Teils werden sie sehr konkret und präzise, etwa wenn mithilfe von Computermodellen quantitative Abschätzungen der wirtschaftlichen Entwicklung bestimmt werden. Dennoch: Wir treffen auch diese Aussagen in einer jeweiligen Gegenwart und bringen dabei lediglich zum Ausdruck, wie wir uns die zukünftige Gegenwart vorstellen. Wenn wir beispielweise über den Energiemix im Jahre 2050 reden, reden wir nicht darüber, wie dieser Energiemix dann „wirklich“ sein wird, sondern nur darüber, wie wir ihn uns *heute* vorstellen. Oder wenn wir über die zukünftigen Wertschöpfungspotenziale der Synthetischen Biologie sprechen, dann artikulieren wir unsere *heutigen* Erwartungen an die Zukunft.

### 2.2 ZUKÜNFTIGE

Es gibt viele und sehr unterschiedliche Bilder und Vorstellungen über Zukunft, und so erklärt sich die Wahl des Plurals im Titel dieses Projekts – der Plural ist Programm! Mit dem Begriff *Zukünfte* bezeichnen wir hier ganz allgemein Beschreibungen zukünftiger Sachverhalte oder Entwicklungen. Diese erfolgen sprachlich, teils konkretisiert durch Zahlen oder Grafiken, können in Filmen, Texten, Reden oder anderen Medien der Kommunikation vermittelt werden.

<sup>3</sup> Vgl. Zimmerli 1998.

<sup>4</sup> Vgl. Kamlah 1973.

<sup>5</sup> Zur Unterscheidung zukünftiger Gegenwarten und gegenwärtiger Zukünfte vgl. Picht 1971.

<sup>6</sup> Vgl. Grunwald 2009a. Die Schwierigkeiten werden deutlich, wenn man versucht, unsere Rede über Zukunft logisch zu formalisieren (vgl. Kornwachs 2001).

Sie können diffus und implizit auftreten oder auch als konkrete und explizite Aussagen formuliert werden – wobei es gerade die impliziten Zukünfte zu sein scheinen, die eine besondere Wirkmächtigkeit besitzen. Selbst explizite Zukünfte können ausgesprochen komplexe Gebilde sein, in denen statt einfacher Vorhersagen der Art „morgen wird es regnen“ Aussagen getroffen werden, die von anderen Aussagen abhängen, die nicht nur eine, sondern mehrere mögliche Entwicklungen beschreiben und die sich auf unterschiedliche Formen von Wissen stützen. Aber auch Wünsche, Hoffnungen, Erwartungen und Befürchtungen, normative Setzungen und Interessen, Werte oder schlichte Annahmen können Teile von Zukünften sein.

Zukünfte sind aufgrund ihrer Vielgestaltigkeit und Allgegenwart ein analytisch schwer fassbarer Gegenstand. Gerade bei impliziten Zukünften ist es zunächst nötig, eine bestimmte sprachliche Äußerung als eine solche Zukunft zu identifizieren und über analytische Festlegungen zugänglich zu machen. Der vorliegende Leitfaden versucht deshalb einerseits, die Unschärfe des Gegenstandes im Bewusstsein zu halten. Um andererseits Hinweise zur Struktur von Zukünften geben zu können, wird parallel, insbesondere in Kapitel 4.1, eine mögliche analytische Herangehensweise eingeschlagen, indem dort Zukünfte als explizierte Aussagen verstanden werden.

Diese „Zukünfte“ werden nicht entdeckt, sondern „gemacht“: Wissenschaftler erstellen Prognosen oder Szenarien, Wissenschaftsautoren bringen Visionen in die Debatte ein, Literaten erfinden Geschichten über die Zukunft, Filmemacher drehen Science-Fiction-Filme. In der wissenschaftlichen Beratung von Politik, Wirtschaft und Gesellschaft ist in den letzten Jahrzehnten ein weiterwachsender Markt entstanden. Wirtschaftswissenschaftliche Institute produzieren Prognosen über die wirtschaftliche Entwicklung und den Arbeitsmarkt, Systemanalyseinstitute erstellen Szenarien zur zukünftigen Energieversorgung, die Szenarien des Welt-

klimarats (IPCC) dominieren die klimapolitische Diskussion, der demografische Wandel wird wissenschaftlich erforscht und auch die großen Fragen einer nachhaltigen Entwicklung der Menschheit werden mit wissenschaftlichen Mitteln untersucht.

Diese Zukünfte sind *soziale Konstrukte*, entstanden im Kopf einzelner Personen, beim Brainstorming in Gruppen oder methodenorientiert in komplexen Verfahren der Modellierung und Simulation. Alle diese Verfahren finden jeweils „heute“ statt – eben in der bereits genannten „Immanenz der Gegenwart“. Dies heißt, dass auch jeweils vorherrschende Meinungen und Modeströmungen bis hin zum Zeitgeist die Wahrnehmungen der jeweiligen Zukünfte mitprägen. Es kommt zu Konjunkturen bestimmter Perspektiven auf Zukunft, die besonders gut dann zu erkennen sind, wenn Zukünfte „altern“ oder „veralten“.

Zukünfte können mehr oder weniger gut begründet oder auch unbegründet sein. Gerade von wissenschaftlichen Zukünften erwarten wir die Angabe wissenschaftlicher und methodisch nachvollziehbarer Zustände gekommener Begründungen (Kap. 4). Zukünfte enthalten grundsätzlich auch bewertende und ethisch relevante Anteile (Kap. 5). Transparenz ist ein wesentlicher Anspruch an Zukünfte, die in die Politik- und Gesellschaftsberatung Eingang finden.

Die Kommunikation von Zukünften stellt eine Intervention dar: Sie kann einer Debatte eine Wendung geben und Entscheidungen beeinflussen, möglicherweise unabhängig davon, wie konsistent, plausibel oder wissenschaftlich gut begründet die entsprechenden Zukünfte sind. Auch Vorstellungen über die Zukunft, die nicht einmal den Anspruch erheben, wissenschaftlich gut begründet zu sein, können die gesellschaftliche Debatte und Wahrnehmung wesentlich beeinflussen. Die Rezeption von George Orwells Roman „1984“<sup>7</sup> oder die Folgen des Berichts des Club of Rome über die Grenzen des Wachstums 1972<sup>8</sup> sind Beispiele

<sup>7</sup> Orwell 1949.

<sup>8</sup> Meadows 1972.

hierfür. Der Interventionscharakter von Aussagen über die Zukunft weist auf die besondere Verantwortung hin, die mit Zukunftsaussagen verbunden ist.

### 2.3 TECHNIKZUKÜNFTEN

Der Begriff *Technikzukünfte* bezeichnet Zukünfte, bei denen die Entwicklung von Wissenschaft und Technik<sup>9</sup> im gesellschaftlichen Kontext im Zentrum steht. Wissenschaftliche, das heißt mit wissenschaftlichen Mitteln erzeugte und begründete, Technikzukünfte müssen auf dem verfügbaren theoretischen, empirischen und praktischen Wissen über die komplexen Wechselwirkungen von Technik, Mensch und Gesellschaft aufbauen (Kap. 3). Technikzukünfte beschreiben also nicht Technik oder Techniken für sich, sondern *Technik in der Gesellschaft*. Technikzukünfte müssen gesellschaftliche Fragen berücksichtigen, wie zur Verteilung von Entscheidungsbefugnis und Macht (Governance), zu politischen Rahmenbedingungen oder zum Konsumentenverhalten. Da deterministische Prognosen in diesem Feld weder möglich noch sinnvoll sind, stellen Technikzukünfte in der Regel Möglichkeitsaussagen dar, etwa in Form von Szenarien.

Zu unterscheiden sind Technikzukünfte nach ihrer thematischen und zeitlichen Ausdehnung. Über die Zukunft der weltweiten Energieversorgung im Jahre 2050 zu reden, ist offenbar eine ganz anders gelagerte Herausforderung als über den Verkehrswegeplan des Bundes für das Jahr 2015. Je nach thematischer Breite und zeitlicher Reichweite unterscheiden sich die Herausforderungen an die Methodik ganz erheblich, aber auch die Belastbarkeit der Aussagen und die notwendig involvierten Unsicherheiten.

Technikzukünfte prägen das konkrete Entwicklungshandeln sowohl in den Technikwissenschaften wie im Ingenieurwesen. Hier wird Technik nicht für *heutige*, sondern für

*zukünftige* Nutzer und Märkte entwickelt. Die Entwickler benötigen ein Bild der zukünftigen Welt, für die sie Technik entwickeln. Gesellschaftlich diskutierte „Technikzukünfte“, wie die Erwartungen an eine Effizienzrevolution in der Energieversorgung, haben Einfluss auf die Technikgestaltung und bestimmen über Werte im Ingenieurshandeln (Kap. 5) die Ausgestaltung zukünftiger technischer Systeme und Nutzungsbedingungen mit. Auch fließen Vorstellungen über Technikzukünfte in strategische Entscheidungen über die Agenda der Technikwissenschaften und die Ausgestaltung öffentlicher Förderprogramme ein. Technikzukünfte sind darüber hinaus wesentlicher Bestandteil der gesamtgesellschaftlichen Diskussion über die Frage, wie – genauer: mit welcher Technik – wir als Gesellschaft zukünftig leben wollen. So prägen sie beispielsweise in Form von Visionen der Nanotechnologie oder als Szenarien der Energieversorgung die öffentliche Wahrnehmung von Technik und ihre Akzeptanz mit. Sie strukturieren und rahmen die Kommunikation über Chancen und Risiken, dienen der gesellschaftlichen Bewertung von Technik und finden nicht zuletzt Eingang in das politische Entscheiden – sind also selbst Teil gesellschaftlicher Aushandlungsprozesse. Daraus resultiert eine besondere Sorgfaltspflicht und Verantwortung für diejenigen, die Technikzukünfte erstellen, kommunizieren oder verwenden.

Eine besondere Funktion von Technikzukünften besteht darin, Wissen über mögliche Folgen der Entwicklung und Nutzung neuer Technologien bereitzustellen. Beispielsweise werden in der Technikfolgenabschätzung Szenarien entwickelt, in denen zukünftige Technik in einen gesellschaftlichen Zusammenhang gestellt wird, um frühzeitig zu überlegen, ob es hier zu unerwünschten und nicht intendierten Folgen kommen kann, und was im Falle des Falles ebenso frühzeitig getan werden kann, um diese zu verhindern oder zu minimieren. Dies ist ein Mechanismus, mit dem über die Erzeugung, Reflexion und Bewertung von Technikzukünften das Prinzip von Versuch und Irrtum überwunden werden soll:

<sup>9</sup> Die Begriffe Technik und Technologie werden im vorliegenden Text synonym verwendet.

Es ist in der Moderne zunehmend ethisch problematisch, politisch unverantwortbar und ökonomisch abträglich, sich mit den Folgen erst dann zu befassen, wenn sie auftreten. Das, was aktuell als „Responsible Research and Development“ bezeichnet wird, ist auf die Betrachtung von Technikzukünften angewiesen.<sup>10</sup>

Im Feld der wissenschaftlich gestützten Technikzukünfte haben sich in den letzten Jahrzehnten unterschiedliche „Kulturen“ der Erzeugung herausgebildet. In den 1950er und 60er Jahren entstanden vor allem in den USA Think Tanks, die versuchten mit systematischen und wissenschaftlich unterstützten Mitteln – zunächst zu militärisch-strategischen Fragen – Zukünfte „berechenbar“ zu machen oder auch direkt zu berechnen. Zu den bekanntesten Protagonisten gehört die RAND Corporation, bei der eine ganze Reihe heute etablierter Methoden der Vorausschau entwickelt wurden. Die Technikfolgenabschätzung entstand Ende der

1960er Jahre als Politikberatung am US-amerikanischen Kongress. Ihr Ziel ist, Technikfolgen prospektiv zu erforschen, soweit dies möglich ist, bevor diese eintreten, und das dabei gewonnene Wissen in Beratungsleistung für Entscheidungsträger zu übersetzen.<sup>11</sup> Ein weiteres techniknahes Feld der Zukunftsschau stellt die Energiesystemanalyse dar, deren Institutionen Energieszenarien in großer Zahl und Vielfalt erstellen. Diese finden in Politik- und Gesellschaftsberatung Verwendung und werden zur Begründung energiepolitischer und unternehmerischer Entscheidungen herangezogen.<sup>12</sup> Darüber hinaus hat sich heute ein breites und heterogenes Feld von Einrichtungen herausgebildet, die Technikvorausschau betreiben. Über die beiden exemplarisch genannten Teilbereiche hinaus finden sich unter Stichworten wie „Foresight“ oder „Zukunftsforschung“ auch in Unternehmen oder Nichtregierungsorganisationen einschlägige Einrichtungen.<sup>13</sup>

---

<sup>10</sup> Vgl. Siune et al. 2009; Robinson 2009.

<sup>11</sup> Vgl. Bimber 1996; Grunwald 2009b; Grunwald 2010a.

<sup>12</sup> Vgl. Dieckhoff et al. 2011.

<sup>13</sup> Einen Überblick für Europa geben Steinmüller et al. 2000.

## 3 TECHNISCHE ENTWICKLUNG

Dem Nachdenken über Technikzukünfte liegen – zumindest implizit – allgemeine Vorstellungen über die *bisherige* technische Entwicklung und ihre Mechanismen zugrunde.<sup>14</sup> Diese resultieren aus individuellen und kollektiven Erfahrungen, verdichtet zu Modellen der technischen Entwicklung, wie sie die Technikforschung und Technikgeschichte erarbeitet haben.

Technik ist ein zentrales Element der Entwicklung der Menschheit. Die Herausbildung der Gattung Mensch war mit der Aneignung und Schaffung von Technik verbunden – zunächst mit der Nutzung vorgefundener natürlicher Dinge, dann mit der Herstellung künstlicher Gegenstände und Werkzeuge. Im Laufe der Geschichte hat die Menschheit ihre Technik in riesigem Umfang vermehrt und ihre technischen Möglichkeiten enorm erweitert. Technik prägt heutzutage die lokale Lebenswelt jedes Einzelnen und die globale Biosphäre der Menschheit.

Technik war und ist ein soziokulturelles Phänomen. Technik erwächst aus Kultur und Gesellschaft, aber sie formt und prägt diese auch. Die vielfach vorgenommene Trennung zwischen Technik auf der einen Seite sowie Kultur und Gesellschaft auf der anderen hat daher nur analytischen Wert. Real ist Technik ein zentraler soziokultureller Tatbestand, dessen Herauslösung aus diesem Zusammenhang zu perspektivischen Verzerrungen führt. Diese enge Verknüpfung hat zur Konsequenz, dass ein Vorausdenken und Bewerten von Technikzukünften immer auch ein Vorausdenken und Bewerten von Kultur und Gesellschaft bedeutet oder zumindest impliziert.

### 3.1 TECHNIK ZWISCHEN TRADITION UND INNOVATION

Vergangene technische Entwicklung lässt sich historisch untersuchen. Gegenwärtige technische Entwicklung ist eine Gestaltungsaufgabe nicht zuletzt der Ingenieure. Und zukünftige technische Entwicklung beeinflusst in großem Umfang die Lebensbedingungen und Handlungsmöglichkeiten der heutigen und der kommenden Generationen. Insofern liegt es nahe, dass man sich über die technische Zukunft Gedanken macht, sie skizziert, plant und zu gestalten sucht. Alle diese Bemühungen um die Zukunft sind an Wissens- und Wertsysteme gebunden, die in der Vergangenheit entstanden und in der Gegenwart präsent sind. Die Zukunft kann und wird allerdings prinzipiell Unerwartetes bereithalten, das mit keiner Methodik der Zukunftsschau einzuholen ist.

Technische Entwicklungen und ihre Folgen überschreiten räumliche Grenzen und reichen weit in die Zukunft hinein. Sie besitzen immer eine soziokulturelle Dimension. Die technische Entwicklung der jeweiligen Vergangenheit prägt in mehr oder weniger großem Umfang die technische und gesellschaftliche Gegenwart und Zukunft. Einmal geschaffene technische Strukturen können ein beträchtliches Beharrungsvermögen besitzen, zumindest aber die weitere Entwicklung wesentlich beeinflussen. Besonders gilt dies für große technische Systeme und Infrastrukturen; man denke an die national unterschiedlichen Spurweiten und Stromsysteme der Eisenbahnen.<sup>15</sup> Dies gilt aber auch für scheinbar nachrangige Details wie die Anordnung der Buchstaben auf Tastaturen.<sup>16</sup> Allein der Umfang der in existierende Technik getätigten Investitionen verhindert vielfach einen grundlegenden Umbau. Dazu kommt, dass ein solches technisches System spezifische soziale Erfahrungen, Organisationsformen, Interessen usw. generiert, welche es zusätzlich stabilisieren. Diese historische Wirkmächtigkeit

<sup>14</sup> Erläuterungen und weiterführende Literaturangaben zu den in Kapitel 3 benutzten Fachbegriffen finden sich in König 2009.

<sup>15</sup> Vgl. Mayntz/Hughes 1988.

<sup>16</sup> Vgl. David 1985.

von *Traditionen* in der Technik indiziert die Wissenschaft mit Begriffen wie „Pfadabhängigkeit“, „Trajectories“, „Leitbilder“<sup>17</sup> und „Momentum“ im Sinne von Beharrungskraft.<sup>18</sup> Letzten Endes setzen alle Methoden der Trendanalyse an solchen Modellen an, die die Wirkmächtigkeit der Traditionen betonen.

Technische Strukturen und Traditionen entstehen auf historisch kontingente Weise. Ihre tatsächliche Ausprägung in der Gesellschaft ist also keine notwendige Konsequenz aus universalgesetzlich determinierten Bedingungen. Vielmehr wirken vielfältige Ursachen technischer Entwicklung zusammen: die Bedürfnisse der Menschen, die Nachfrage der Kunden, die Marktmacht von Unternehmen, politische Entscheidungen, besondere Zeitumstände wie Kriege, das vorhandene Wissen und Können, technische Entwicklungslogiken und anderes mehr. Die entstandenen technischen Systeme stellen also keine technisch-wirtschaftlichen Optima dar. Auch ist die Funktionalität und Wirtschaftlichkeit der Systeme sozial-kulturell und raumzeitlich variant. So ist die Zweckmäßigkeit von Solarkochern in vielen heißen Klimaten stark eingeschränkt, weil in der Zeit ihrer größten Leistungsfähigkeit ohnehin keine warmen Mahlzeiten eingenommen werden. Und die Wirtschaftlichkeit alternativer Methoden der Treibstoffherzeugung hängt entscheidend vom Niveau des Ölpreises und staatlicher Anreiz- und Steuersysteme ab. Was „gute Technik“ ist, ist keine rein technische Frage, sondern hängt von natürlichen wie kulturell-gesellschaftlichen Kontextbedingungen ab.

Neben dem Phänomen der Tradition gibt es in der Technikentwicklung natürlich auch das der *Innovation*, mit dem eine eigene Perspektive in der Betrachtung technischer Entwicklung verbunden ist.<sup>19</sup> Geht es bei der Untersuchung von Traditionen um die Erklärung von Kontinuitäten, so richtet sich der Blick hier nun gerade auf die Neuerungen

technisch-sozialer Systeme. Der Begriff der Innovation lässt sich dabei auf den gesamten Lebenszyklus von Produkten, Prozessen und Systemen beziehen, vom ersten Erfindungsgedanken über die Verbreitung am Markt bis zum Recycling und zur Entsorgung, eingeschlossen der an die Technik anknüpfenden oder sie erst ermöglichenden sozialen und organisatorischen Neuerungen.

Entscheidend ist, dass beim Nachdenken über die Zukunft technische Innovationen nicht aus ihrem soziokulturellen Zusammenhang gerissen werden dürfen. Welchen Stellenwert die verschiedenen Energieträger in Zukunft einnehmen, wird wesentlich von der jeweiligen gesellschaftlichen Akzeptanz, den ökonomischen Verhältnissen und der globalen politischen Lage abhängen. Neuerdings wird mit Begriffen wie „Innovationssystemen“ und „Innovationskulturen“ verstärkt nach diesen größeren soziokulturellen Zusammenhängen gefragt.<sup>20</sup>

In der technischen Entwicklung wirken also Tradition und Innovation zusammen. Dabei ist es im Laufe der Geschichte zu einer Beschleunigung des technischen Wandels gekommen. Viele Wissenschaftler interpretieren die im späten 18. Jahrhundert beginnende industrielle Revolution in Großbritannien als Übergang von einer mehr traditionellen zu einer durch Dynamik geprägten modernen Gesellschaft. Eine solche – teilweise dramatische – Beschleunigung lässt sich in bestimmten Bereichen bis in die Gegenwart empirisch nachweisen und entspricht den Erfahrungen vieler Zeitgenossen. Allerdings gibt es für viele Beschleunigungsprozesse auch naturale und soziale Grenzen. Gerade hinsichtlich der weiteren Entwicklung dieser zeitlichen Dimension bestehen große Unsicherheiten. Bei der Zukunftsbetrachtung darf eine weitere Beschleunigung des technischen Wandels nicht als unhinterfragtes Gesetz angenommen werden.

<sup>17</sup> Vgl. Dierkes et al. 1992.

<sup>18</sup> Vgl. Hughes 1994.

<sup>19</sup> Vgl. Fagerberg et al. 2005; Bauer 2006.

<sup>20</sup> Vgl. Lundvall 1992; Wengenroth 2001.

Technische Entwicklung vollzieht sich nicht nur in der Zeit, sondern auch im Raum – genauer: in soziokulturellen Räumen. Vielfach fanden Innovationen in einer Region statt und verbreiteten sich dann in Form des (horizontalen) Technologietransfers in andere Regionen. Häufig wurden die transferierten Technologien dabei mehr oder weniger modifiziert und den naturalen und soziokulturellen Bedingungen der neuen Umgebung angepasst. Es ist eine offene Frage, ob sich die Technik in den jeweiligen Kulturen im Prozess der Globalisierung immer mehr vereinheitlicht. Jedenfalls bedarf eine Zukunftsschau nicht nur einer Reflexion der zeitlichen, sondern auch der räumlichen Dimension.

### 3.2 TECHNISCHE ENTWICKLUNG HEUTE: REVOLUTION ODER EVOLUTION?

Die historische Entwicklung der Technik ist geprägt durch Kontinuitäten und Diskontinuitäten. Zeiten langsamer Veränderungen werden häufig mit dem Begriff der *Evolution* belegt, Zeiten tief greifender Umbrüche mit dem der *Revolution*. Dabei ist zu beachten, dass im Allgemeinen der Begriff der Revolution für große soziokulturelle Umbrüche reserviert ist. Die Verwendung für rein technisch-wissenschaftliche Entwicklungen, wie sie in der Mikroelektronik, der Biotechnologie oder der Nanotechnologie häufig beobachtbar ist, ignoriert jedoch meist gerade die Wechselbeziehungen zwischen Technik und Gesellschaft.

Die meisten Historiker und Geschichtsphilosophen betonen den menscheitsgeschichtlichen Stellenwert zweier großer Umbrüche: den der neolithischen und jenen der industriellen Revolution. Dabei werden für die neolithische Revolution die Sesshaftwerdung des Menschen und der Übergang zur produktiven Wirtschaftsform der Landwirtschaft hervorgehoben, für die industrielle Revolution unter anderem die maschinelle Produktion in Fabriken. Die Beschreibung dieser großen Umbruchzeiten der Menschheitsgeschichte be-

schränkt sich nicht auf die Technik, aber die Technik spielt eine wichtige Rolle.

Vermutungen gehen dahin, dass wir uns gegenwärtig wieder in einer tief greifenden Umbruchphase befinden. Allerdings fällt es uns – wie auch den Zeitgenossen in der Vergangenheit – schwer, diese in ihren zentralen Erscheinungen zu erfassen. Die Unsicherheit drückt sich in der Inflation von Begriffen zur Kennzeichnung unserer Gegenwart aus, wie „Dienstleistungsgesellschaft“, „Informationsgesellschaft“, „Wissensgesellschaft“, „Netzwerkgesellschaft“, „Konsumgesellschaft“, „Überflusgesellschaft“, „Freizeitgesellschaft“, „Erlebnisgesellschaft“, „Risikogesellschaft“, „Postmoderne“, „Zweite Moderne“ und anderes mehr. In solchen (revolutionären) Umbruchzeiten fallen Blicke in die Zukunft besonders schwer. Den in den unterschiedlichen Begrifflichkeiten zum Ausdruck kommenden Differenzen hinsichtlich der Interpretation der Gegenwart entsprechen Differenzen hinsichtlich der gewünschten oder befürchteten Zukunft.

### 3.3 SOZIALKONSTRUKTIVISMUS UND TECHNIKDETERMINISMUS

Von entscheidender Bedeutung für das Vorausdenken und Bewerten von Technikzukünften sind Vorstellungen über das Verhältnis zwischen Technik sowie Kultur und Gesellschaft. Hierfür existieren zwei polare Großtheorien der technischen Entwicklung: (1) der Technikdeterminismus, welcher besagt, dass die Technik die Gesellschaft bestimmt, und (2) der Sozialkonstruktivismus, welcher umgekehrt annimmt, dass die Gesellschaft die Technik bestimmt.<sup>21</sup>

Dem *Technikdeterminismus*<sup>22</sup> liegt die Vorstellung einer gesellschaftlichen Wirkmächtigkeit der Technik zugrunde. Demnach folgt die technische Entwicklung – unabhängig von soziokulturellen Einflüssen – zumindest teilweise einem eigendynamischen Programm, in welchem die Zukunft der

<sup>21</sup> Vgl. Grunwald 2007.

<sup>22</sup> Vgl. Teusch 1993.

Technik wie die der Gesellschaft bereits festgelegt ist. Technikzukunft werden im Technikdeterminismus vielfach als deskriptive *Vorhersagen* zukünftiger Entwicklungen und ihrer Folgen verstanden. Prognosen und Trendextrapolationen spielen dabei eine wesentliche Rolle, insbesondere, wenn die innertechnische Entwicklung den Kern des Trends bildet.

Der *Sozialkonstruktivismus* behandelt die Technik als Produkt sozialer Aushandlungsprozesse und spricht ihr eine determinierende Wirkung weitgehend ab.<sup>23</sup> Damit ignoriert der radikale Sozialkonstruktivismus, dass neue Technik immer auch aus alter erwächst. In Bezug auf Technikzukunft legt der Sozialkonstruktivismus eher normative Vorstellungen zugrunde, wie sie beispielsweise in manchen Szenarien, beim Roadmapping oder in partizipativen Methoden, in denen es letztlich um die *Gestaltung* – und weniger um die Antizipation – zukünftiger Technik nach gesellschaftlichen Vorstellungen geht.

Heute sind die beiden radikalen Positionen gegenüber Vermittlungsmodellen auf dem Rückzug. Sozialkonstruktivisten beziehen die Technik als eine Determinante unter anderen in ihre Modelle ein und Technikdeterministen behandeln die Technik als notwendige, aber nicht hinreichende Bedingung soziokultureller Entwicklung. Man spricht zum Beispiel von „Ko-Evolution“ von Technik und Gesellschaft. Technik verändert sich über die Zeit, sie variiert von Ort zu Ort und sie unterliegt einer Vielzahl von Einflussgrößen, die auf vielfältige Weise miteinander interagieren. Sowohl wirkt die Technik auf die Gesellschaft ein als auch die Gesellschaft auf die Technik.

Die technische Entwicklung erwächst zwar einerseits aus menschlichen *Handlungen und Entscheidungen*. Dennoch erscheint sie andererseits – zumindest in ihrer Gesamtheit – als anonymes, unberechenbares und nicht zu steuerndes

Geschehen. Der erste Aspekt ist Gegenstand von Handlungstheorien, der zweite von Strukturtheorien. Handlungstheoretische Ansätze beschreiben und erklären die technische Entwicklung durch die Interaktion von Menschen, Gruppen und Institutionen, strukturtheoretische durch das Zusammenwirken struktureller Größen, wie die existierende Technik selbst, Politik, Wirtschaft und Wertssysteme. Struktur-Akteurs-Theorien der technischen Entwicklung suchen diese beiden Ansätze zusammenzuführen.<sup>24</sup> Die Akteure handeln innerhalb der gegebenen *Strukturen*; die Strukturen ermöglichen technische Handlungen. Gleichzeitig grenzen die Strukturen (zum Beispiel rechtliche Regelungen) jedoch auch das technische Handeln ein. Insofern dies von den Handelnden als Einschränkung empfunden wird, können sie danach trachten, die Strukturen zu verändern. Auf lange Sicht werden – auch unabhängig von solchen Konfliktkonstellationen – Handlungen zu Strukturänderungen führen. Mithilfe eines solchen Modells lässt sich beschreiben, wie neue Technik in neuen soziokulturellen Zusammenhängen entsteht.

Hieraus ergeben sich für die Zukunftsschau grundsätzliche theoretische und methodische Schwierigkeiten, da es streng genommen keine unabhängigen Variablen gibt. Bei normativen Methoden der Zukunftsschau ist zu prüfen, welche Strukturen den gewünschten Zukünften entgegenstehen und welche monetären und gesellschaftlichen Kosten es verursacht, die Strukturen zu verändern. Bei den mehr extrapolierenden Methoden der Zukunftsschau stellt sich die Frage, ob die Akteure ihre Handlungsimperative der Vergangenheit und Gegenwart beibehalten oder sie verändern. Vor dem Hintergrund der vorherigen Überlegungen zur Ko-Evolution zwischen Technik und Gesellschaft ist davon auszugehen, dass eine Zukunftsschau weder rein explorativ noch rein normativ erfolgen darf, ohne dass es zu Verzerrungen kommt.

<sup>23</sup> Vgl. Bijker 1995.

<sup>24</sup> Vgl. Schneider/Mayntz 1995; König 1993.

## 4 ERSTELLUNG VON TECHNIKZUKÜNFTEN

Die Forschung auf dem Gebiet der systematischen Vorausschau möglicher Technikzukünfte ist noch relativ jung.<sup>25</sup> Ein Beispiel für eine neuzeitliche systematische Beschäftigung stellt das Werk des Pioniers des Technology Assessment William F. Ogburn (1886-1959) über „Technological Trends and National Policy“ dar.<sup>26</sup> Es verknüpft die Hypothese, dass technologische Entwicklung und Politik eng miteinander wechselwirken, mit der Überzeugung, dass man aus der Vorausschau technologischer Entwicklungen Hinweise für die Gestaltung von Politik, Wirtschaft und Gesellschaft erhalten kann.

Wie mit diesem historischen Beispiel illustriert wird, werden bei jeder Vorausschau bestimmte Annahmen gemacht, die sich schlussendlich in den Aussagen über die Zukunft niederschlagen. Im Folgenden wird zunächst in Abschnitt 4.1 dieser Zusammenhang geklärt und deutlich gemacht, welche Typen von Aussagen getroffen werden können. Außerdem werden mit den Zwecken der Vorausschau und der Modellbildung zwei weitere wesentliche Determinanten behandelt. Darauf aufbauend werden in 4.2 und 4.3 unterschiedliche Methoden exemplarisch diskutiert, bevor in 4.4 prinzipielle Möglichkeiten und Grenzen der Vorausschau thematisiert werden.

### 4.1 TECHNIKZUKÜNFT ALS AUSSAGEN ÜBER DIE ZUKUNFT

#### 4.1.1 STRUKTUR VON ZUKUNFTSAUSSAGEN

Zukünfte bilden unsere Vorstellungen über die Möglichkeiten ab, die in „der Zukunft“ erreichbar sind – in der räumlichen Metapher stellen Zukünfte „Möglichkeitsräume“ dar. Hinsichtlich der Struktur von Aussagen über die

Zukunft sind grundsätzlich zwei Typen zu unterscheiden.<sup>27</sup> Einerseits werden – gerade im Alltag – häufig *kategorische Zukunftsaussagen* getroffen, also Aussagen, die als uneingeschränkt gültig angesehen werden. Die Grundform ist dabei „B wird zu einem bestimmten Zeitpunkt der Fall sein“, wie beispielsweise in der Behauptung „Morgen wird es regnen“ erkennbar ist. Hiervon zu unterscheiden sind *konditionale Zukunftsaussagen*, bei denen der Eintritt des Ereignisses B (ausgedrückt im Nachsatz) vom Eintritt einer Voraussetzung A (ausgedrückt im Vordersatz) abhängig gemacht wird. Die Grundform ist in diesem Fall „B wird dann der Fall sein, wenn vorher A der Fall ist“. Statt dieser einfachen Grundform konditionaler Zukunftsaussagen finden sich in der Praxis jedoch meist kompliziertere Formen, etwa wenn der Eintritt eines Ereignisses C von mehreren Bedingungen abhängt: „Wenn A und B dann C“. Sehr häufig werden diese Bedingungen auch als *Annahmen* bezeichnet, wobei diese Ausdrucksweise vor allem dann verwendet wird, wenn betont werden soll, dass die Bedingungen nicht weiter begründet oder plausibel gemacht werden können. *Wissenschaftliche* Zukunftsaussagen müssen jedoch begründet sein, das heißt, es müssen sich sowohl für die Annahmen und Voraussetzungen als auch für die angenommenen Wirkungs- und Entwicklungsmechanismen Gründe angeben lassen – auch wenn dies in der Praxis häufig nicht explizit getan wird.

Eine konditionale Zukunftsaussage könnte lauten: „Wenn das Energiespeicherproblem bei Autobatterien nicht gelöst wird, wird die Substitution der fossilen Energieträger nicht schnell genug erreicht, um das Klimaschutzziel zu erreichen.“ Eine Begründung müsste dann zeigen, dass das Erreichen eines zum Beispiel von der Regierung festgelegten Klimaschutzzieles nur bei entsprechend schneller Substitution

<sup>25</sup> Gleichwohl hat es schon immer Zukunftsentwürfe gegeben, die auf der fantasievollen Antizipation der technologischen Entwicklung beruhen und nicht nur Größenordnungen extrapolieren. So sagte schon Roger Bacon (1214-1294) „Schiffsfahrzeuge ohne Ruderer“ voraus; er dachte an Wagen „die ohne Zugtier mit unglaublichem Schwung dahinrollen werden“; er hielt Flugmaschinen für möglich, „in deren Mitte der Mensch sitzt und eine sinnreiche Vorrichtung handhabt, durch die künstliche Flügel die Luft gleich einem fliegenden Vogel schlagen“. Weiterhin sah er Tauchbote oder gewaltige Hebemaschinen voraus. Vgl. Bacon 1859, S. 523, nach einem Hinweis in Poplow 1998, S. 23.

<sup>26</sup> United States/ Resources Committee 1937.

<sup>27</sup> Vgl. Rescher 1998.

fossiler Energieträger ohne Berücksichtigung anderer Energiequellen möglich wäre und das Autobatterieproblem wesentlich und überwiegend zur Substitution fossiler Energieträger beitragen könnte. Man sieht an diesem Beispiel schon, wie potenziell anfechtbar solche Begründungen sein können, da sie ihrerseits wieder eine Reihe hypothetischer Annahmen machen müssen.

Eine transparente, nachvollziehbare und damit wissenschaftliche Vorgehensweise zeichnet sich dadurch aus, dass dieser Einforderung von Begründungen bereits bei der Formulierung der Aussage möglichst „zuvorgekommen“ wird. Auch die angeführte Begründung ließe sich nämlich bereits als Bestandteil der konditionalen Zukunftsaussage formulieren: „WENN auch morgen noch der gesetzmäßige Zusammenhang zwischen Einsatz geeigneter Autobatterien zur Elektromobilität und der wesentlichen Substitution der fossilen Energieträger gilt, UND das Klimaschutzziel nicht anders erreicht werden kann, UND die Entwicklung solcher Batterien auf sich warten lässt, DANN wird es nicht möglich sein, das Klimaschutzziel zu erreichen.“

Daraus lässt sich ersehen, dass sich eine wissenschaftliche Vorgehensweise, wie sie auch im vorliegenden Leitfaden angeregt wird, dadurch kennzeichnen lässt, dass Aussagen möglichst so formuliert werden, dass ihre konditionale Struktur deutlich erkennbar und einfach nachvollziehbar ist.

#### 4.1.2 TYPEN VON ZUKUNFTSAUSSAGEN

Zukunftsaussagen lassen sich unterscheiden nach deskriptiven Aussagen über für die Zukunft angenommene Abläufe, Entwicklungen und Ereignisse einerseits und nach normativen Aussagen über gewünschte oder unerwünschte, erhoffte oder befürchtete Entwicklungen. Da es in diesem

Kapitel um die methodische Basis der Generierung von Technikzukünften geht, stehen im Folgenden die deskriptiven Aussagen im Vordergrund. Der Bewertungsfrage ist das Kapitel 5 gewidmet.

Im Wesentlichen lassen sich Aussagen über die Zukunft anhand der unterschiedlichen Grade der Gewissheit und den damit verbundenen unterschiedlichen Arten der Begründung unterteilen.<sup>28</sup> Dabei erhält man drei zentrale Typen von Zukunftsaussagen:<sup>29</sup>

In einer *deterministischen Zukunftsaussage* wird ein zukünftiger Sachverhalt mit Gewissheit vorhergesagt, etwa „morgen wird die Sonne um xy Uhr aufgehen“. Man geht – und das besagt der Zusatz „deterministisch“ – davon aus, dass der vorhergesagte Sachverhalt notwendigerweise aus den heutigen Bedingungen und bekannten Gesetzmäßigkeiten, zum Beispiel Naturgesetzen, folgt. Bezogen auf Technik und Gesellschaft lassen sich nur in Ausnahmefällen derlei Gesetzmäßigkeiten zugrunde legen (vgl. Kap. 3). Falls man Regularitäten benennen kann, beziehen sie sich auf institutionelle, das heißt auf Tatsachen, die durch Übereinkunft zustande gekommenen sind. Allerdings werden in der Praxis viele Zusammenhänge dadurch, dass sie unbegründet unterstellt werden, faktisch so behandelt, als wären sie Gesetzmäßigkeiten naturwissenschaftlicher Art. So galten etwa über lange Zeit die Kopplung von Bruttoinlandsprodukt und Energieverbrauch oder die Behauptung, dass Nationalökonomien oder Teilökonomien ohne Wachstum nicht funktionieren könnten, als unumstößliche Gesetze.

Unter einer *probabilistischen Zukunftsaussage*, also einer Wahrscheinlichkeitsaussage über die Zukunft, wird eine Aussage über einen Sachverhalt verstanden, für dessen Eintreffen man zwar Anhaltspunkte sieht, sich aber nicht sicher ist. Diesem Umstand wird Ausdruck verliehen, indem

<sup>28</sup> Man beachte dabei die folgende begriffliche Trennung: Die Angabe eines Grades der Gewissheit, etwa in „Es ist möglich, dass es morgen regnet (obwohl es heute noch schneit)“ ist etwas, das einer Prognose noch hinzugefügt wird. Anders gesagt: Es handelt sich dabei nicht selbst um eine Prognose, sondern um eine Aussage über eine Prognose (vgl. Rescher 1998, S. 42).

<sup>29</sup> Vgl. Betz 2010, aufbauend auf Knight 1921.

dem vorhergesagten Sachverhalt eine quantitative Wahrscheinlichkeit zugewiesen wird. Es existieren allerdings zwei sehr verschiedene Sichtweisen darauf, was diese Wahrscheinlichkeiten tatsächlich aussagen und in der Folge, wie sie zu begründen sind:<sup>30</sup> Man nimmt einmal an, dass der vorhergesagte Sachverhalt zwar zufällig eintritt, die Wahrscheinlichkeitsverteilung des Eintretens der Ereignisse aber gesetzmäßig bestimmbar ist (objektive Wahrscheinlichkeit). Bei der zweiten Variante wird die Wahrscheinlichkeit des Eintreffens bestimmter Ereignisse aufgrund gewisser Plausibilitäten eingeschätzt, auch wenn hierfür keine Gründe angegeben werden können (subjektive Wahrscheinlichkeit).

*Possibilistische Zukunftsaussagen* sind reine Möglichkeitsaussagen über die Zukunft. Sie drücken aus, dass man nicht mehr weiß, als dass ein bestimmtes Ereignis zukünftig eintreten könnte.

Für die Vorausschau von Technikzukünften im Kontext der Beratung ist die possibilistische Variante die mit Abstand wichtigste und gleichzeitig problematischste. In vielen Fällen zukünftiger Entwicklung von Gesellschaft und Technik können nämlich keine anderen Aussagen getroffen werden. Bei den Beispielen „Es ist möglich, dass Deutschland sich zu hundert Prozent mit erneuerbarer Energie versorgt“ oder „Es ist möglich, dass ein Virus weltweit das gesamte World Wide Web lahmlegt“ sind keine Gesetzmäßigkeiten involviert. Gleichwohl werden auf Aussagen dieses Typs vielfach weitreichende Entscheidungen aufgebaut bzw. es werden solche gefordert, zum Beispiel im Rahmen des Vorsorgeprinzips (vgl. Kap. 5.3). Wird nun ein extrem großes Spektrum an Technikzukünften als möglich behauptet, kann in der Folge eine gewisse Beliebigkeit die Diskussion beherrschen. Dies könnte wiederum den Nutzen der Technikzukünfte als Orientierung für die gesellschaftliche Debatte und Entscheidungsfindung grundsätzlich infrage stellen. Allerdings bleibt die possibilistische Variante in vielen Fällen die einzig mögliche Form.

Ein Beispiel bilden Energieszenarien, die bekanntermaßen eine hohe Variabilität aufweisen.<sup>31</sup> Wenn diese extrem weit in ihren Aussagen auseinanderliegen und wenn es keine Möglichkeit gäbe zu bewerten, welche von ihnen aus welchen Gründen „besser“ sind als andere, dann könnte man aus diesen Szenarien keine belastbaren Schlussfolgerungen für das Handeln heute ziehen. Aus Beliebigem folgt nur Beliebiges. Es muss also darum gehen, Energieszenarien, allgemeiner Technikzukünfte, auf Qualität und „Geltung“ hin beurteilen zu können, um sie trotz der unterschiedlichen Aussagen nicht als gleichwertig im Sinne von „beliebig“ anerkennen zu müssen. Wir benötigen Unterscheidungskriterien und -verfahren, um „bessere“ von „schlechteren“ Szenarien unterscheiden zu können, wobei allerdings bereits die Frage nach der Bedeutung von „besser“ und „schlechter“ nicht leicht zu beantworten ist.

#### 4.1.3 ZWECKE VON ZUKUNFTSAUSSAGEN

Zukunftsvorausschau zu Entwicklungen oder Ereignissen im Kontext von Technik und Gesellschaft sind kein Selbstzweck. So werden sie meist für einen Auftraggeber erstellt und dienen damit jeweils bestimmten Zwecken. Diese Zwecke sind vielfältig und wirken sich auf die Wahl und Ausgestaltung der Methoden wie auf die Gestaltung der Modelle, mit denen vorhergesagt werden soll, aus. Drei Gruppen von Zwecken lassen sich beim Erstellen von Technikzukünften leicht identifizieren:<sup>32</sup>

Die erste Gruppe umfasst *deskriptive* Zwecke, also die Absicht der Beschreibung von Prozessen und deren kausaler Erklärung, wie etwa in der Klimasimulation. Man will die entwicklungsverursachenden Faktoren verstehen, indem die vergangenen und gegenwärtigen Prozesse beschrieben und kausal analysiert werden und dann deren weiterer Verlauf vorhergesagt und später mit der Beobachtung

<sup>30</sup> Für eine genauere Ausdifferenzierung des Wahrscheinlichkeitsbegriffs vgl. auch Hájek 2010.

<sup>31</sup> Vgl. Grunwald 2011.

<sup>32</sup> Dies gilt auch für die Liste der Zwecke, die sich bei Cuhls 2008, S. 9 findet.

verglichen wird. Bei diesen Zwecken spielt die deterministische Zukunftsaussage die überwiegende Rolle.<sup>33</sup>

Die zweite Gruppe von Zwecken ist *proaktiv*: Ein Blick auf die zukünftige Entwicklung einer Techniklinie erlaubt es durchaus, neue Möglichkeiten von Produkten, technischen Funktionen und Organisationsformen zu imaginieren (Früherkennung von Chancen), aber auch mögliche Risiken und Nebenfolgen vorzustellen (Frühwarnung). Sie bieten auch eine, wenngleich vorsichtig zu handhabende Entscheidungshilfe bei Problemen der Planung, Förderung, Steuerung und Kontrolle von Entwicklungsprozessen. Sie helfen zu bewerten, welche Entwicklung gewünscht oder unerwünscht ist und tragen damit zur Explikation der Präferenzen sowie zum Öffnen und Schließen von Möglichkeitsräumen bei. So wurden in einem aktuellen Projekt etwa die Entwicklungsmöglichkeiten einer neuen Gruppe von Fertigungstechnologien – sogenannter Additive Manufacturing Technologies – mithilfe der Szenario-Methode untersucht.<sup>34</sup> Bei einer solchen Interessenlage wird man eher auf Methoden der konditionalen und possibilistischen Zukunftsaussagen zurückgreifen.

Die dritte Gruppe von Zwecken bezieht sich auf das, was als zukünftige Entwicklung *gewünscht* wird. Dazu gehören auch politische wie gesellschaftliche Gestaltungsinteressen. Voraussagen werden nicht nur für den eigenen Erkenntniszuwachs und als Handlungsanleitung benutzt, sondern auch, um in der Kommunikation anderen gegenüber bestimmte Einstellungs- oder Handlungsänderungen hervorzurufen. So kann eine Zukunftsaussage benutzt werden, um ein Versprechen über eine künftige Entwicklung zu untermauern, zu einer Entscheidung zu ermuntern, für bestimmte Chancen oder auch Risiken zu sensibilisieren oder auch vor abseh-

baren, aber unerwünschten Folgen bestimmter Entwicklungen frühzeitig zu warnen. Ein klassisches Beispiel ist hier die Studie „Grenzen des Wachstums“ von 1972, in der die Endlichkeit von Ressourcen und ihre Konsequenzen für die Entwicklungsmöglichkeiten der Menschheit mit breiter Öffentlichkeitswirkung thematisiert wurden.<sup>35</sup> Diese konditionalen Zukunftsaussagen sind dann eher possibilistischer Natur.

#### 4.1.4 MODELLBILDUNG

Jede methodenorientierte Begründung einer konditionalen Zukunftsaussage setzt ein Modell voraus. Unter Modell wollen wir an dieser Stelle eine grundsätzlich mitteilbare und kritisierbare Vorstellung über einen Prozess oder einen Gegenstandsbereich (Realsystem) verstehen, welche aufgrund von Beobachtungen, Daten, Informationen und Wissen beschrieben werden kann und aufgrund eines gewissen Formalisierungsgrades nachvollziehbare Schlussfolgerungen erlaubt. Modelle über Technikzukunft sind solche, die erlauben, Schlussfolgerungen auch über *zukünftige* Entwicklungen im Gegenstandsbereich zu ermitteln.

Modellbildung zum Zwecke der Systemanalyse und Simulation ist erst seit den 1970er Jahren Gegenstand systemtheoretischer, mathematischer, erkenntnistheoretischer und wissenschaftstheoretischer Überlegungen.<sup>36</sup> Einerseits erfordert die Nutzung von Computern für Simulationen den Einsatz mathematisch formulierter Modelle, andererseits bieten moderne Simulationssprachen sowie rechnerunterstützte Modellbildungsverfahren<sup>37</sup> Anreize. Die Auswahl der Tools bestimmt nicht nur die Sprache, die Struktur und die Beschreibungsebene eines Modells mit, sondern auch die methodische Qualität von Zukunftsaussagen.<sup>38</sup>

<sup>33</sup> Neben dem Verstehen ist das Anregungspotenzial solcher Modelle und ihrer Diskussion nicht zu unterschätzen.

<sup>34</sup> Gausemeier et al. 2011.

<sup>35</sup> Meadows 1972.

<sup>36</sup> Vgl. zum Beispiel Stachowiak 1973; Zeigler 1978; Zeigler et al. 2000. Eine frühe Übersicht gibt Kornwachs 1985.

<sup>37</sup> Vgl. Anfänge bei Klir 1985, sowie Pichler/Moreno-Diaz 1987.

<sup>38</sup> Vgl. Zeigler 1990, einen Überblick über die Problematik gibt Kornwachs et. al. 1992.

## 4.2 ÜBERSICHT ÜBER METHODEN

Heute existiert eine Reihe von Methoden und Vorgehensweisen zur Vorausschau strategisch bedeutsamer Entwicklungen, sodass es dem Anwender nicht einfach gemacht wird, die richtige Methode zu finden. Je nach verfolgtem Zweck bieten sich verschiedene Methoden zur Identifizierung von Technikentwicklungen und zur Erstellung von Technikzukünften an.<sup>39</sup> Der folgende Abschnitt will einen Methodenüberblick hierfür liefern und dabei die Anwendungsfelder einiger Methoden skizzieren. Da bereits eine Reihe umfassender Methodenhandbücher existiert<sup>40</sup>, geht es uns vor allem darum, die Möglichkeiten und Grenzen einiger prominenter Methoden zu beleuchten. Denn gerade die Beschränktheit der Methoden wirkt sich auf die Validität der gewonnenen Aussagen aus. Ein umfassender und systematischer Überblick über das Methodenspektrum wird nicht angestrebt und konnte im Rahmen dieses Leitfadens auch nicht geleistet werden.

Zumindest zwei Methoden sind weitgehend unbrauchbar: Die eine geht von der Annahme aus, dass sich die Dinge einfach so weiterentwickeln werden, wie wir es gewohnt sind. Diese Stetigkeitshypothese („*natura non facit saltus*“<sup>41</sup>) trifft bei technischen und gesellschaftlichen Prozessen jedoch in der Regel nicht zu. Die andere Methode verlässt sich, wie das Orakel zu Delphi, auf Prophezeiungen und Vorausahnungen. Auch hier scheitert man in der Regel.

Worauf es ankommt, ist das Vorausdenken zukünftiger Ereignisse und Entwicklungen aufgrund des Wissens aus Vergangenheit und Gegenwart. Dies gilt auch für den Versuch, sich künftige Technikentwicklungen vorzustellen. Diese Vorstellungen sind immer befangen in dem, was man über die gegenwärtige Technik und ihre Möglichkeiten,

zum Beispiel Steigerung von Effizienz und Erweiterungen des Funktionspektrums, weiß. Wenn man sich also über Technikzukünfte im Klaren werden möchte, muss man sich diese Grenzen immer vor Augen halten.

Methoden und Vorgehensweisen zur Erstellung von Technikzukünften werden meist in einem Methodenmix verwendet, dessen Zusammensetzung sich im Wesentlichen nach der Fragestellung, aber auch nach weiteren Rahmenbedingungen wie den finanziellen Möglichkeiten richtet.

Die Methoden lassen sich in quantitative respektive formalisierte Methoden (wie statistische Methoden, Simulation) und in qualitative, also wenig bis nichtformalisierte Methoden (wie Visionen, Science-Fiction-Erzählungen, qualitative Szenarien usw.) einteilen. Dabei soll auch deutlich werden, in welchen Fällen und unter welchen Voraussetzungen der Einsatz quantitativer Methoden wirklich zielführend ist. Die einfachste Form der Erstellung von Technikzukünften auf quantitativer Basis ist die analytische Fortschreibung einer bekannten Entwicklung, die *Trendanalyse*. *Simulation* setzt schon eine explizite mathematische Modellbildung des Gegenstandsbereichs voraus, zum Beispiel über Gleichungen. Zu den eher qualitativen Methoden zählt die *Szenario-Technik*. Auch zu den qualitativen Methoden gehört die sogenannte *Delphi-Befragung* von Experten. Weniger als ein Instrument zur Vorhersage, sondern eher der Willensbildung ist das sogenannte *Roadmapping* anzusehen. Diese Methoden werden im folgenden Kapitel näher behandelt.

Nicht zu vernachlässigen sind jedoch die *intuitiven Verfahren*.<sup>42</sup> Mit ihnen können qualitative Szenarien erstellt werden, sei es durch Theaterimprovisation, Erzählungen, Fantasie, durch Kreativitätstechniken wie Synektik, Brainstorming morphologischer Kasten und ähnliches sowie

<sup>39</sup> Vgl. Kornwachs 1994.

<sup>40</sup> Eine Übersicht liefern etwa Georgiou et al. 2008.

<sup>41</sup> Die Aussage „Die Natur macht keine Sprünge“ wird zwar Isaac Newton zugeschrieben, findet sich aber explizit (*La nature ne fait jamais des sauts*) bei Leibniz 1765, S. 127. Die Stetigkeitshypothese ist auch bei natürlichen Prozessen nur in genau definierten Spezialfällen wirklich anwendbar.

<sup>42</sup> Vgl. Liebl 1996; allgemeiner Steinmüller et al. 2003.

technologische Visionen in Literatur, Prospekten und Medien. Man kann dieses Vorgehen auch partizipativ arrangieren;<sup>43</sup> sie sind für Überraschungen offen, explorativ und können auch langfristige Entwicklungen zum Gegenstand haben. Man muss allerdings davon ausgehen, dass diese Methoden im Rahmen der Beratungspraxis eine eher begleitende Rolle spielen, wenngleich ihre innovative Potenz nicht unterschätzt werden darf.

### 4.3 DISKUSSION AUSGEWÄHLTER METHODEN

#### 4.3.1 STATISTISCHE TRENDANALYSE

Trendanalysen werden bevorzugt zur Messung und Fortschreibung technischer und ökonomischer Indikatoren benutzt, für Benchmarking, zur Vorausschau der technischen Performance, aber auch für wirtschaftliche Größen wie Preise, Materialkosten, Förderquoten, Materialeigenschaften etc.<sup>44</sup>

Die Grundidee der statistischen Trendanalyse besteht darin, aus Daten, die als Zeitreihen die vergangene Entwicklung bestimmter Größen beschreiben, auf die zukünftige Entwicklung eben dieser Größen zu schließen. Dazu gehören Extrapolation, exponentielle Glättung, Least Square Fit oder auch Zyklusanalyse.

Als eine der einfachsten Methoden der Trendextrapolation kann man die Methode der kleinsten Fehlerquadrate ansehen, die ursprünglich zur Interpolation entwickelt wurde. Man legt eine geeignete mathematische Funktion<sup>45</sup> (im einfachsten Fall ein Polynom niedrigen Grades) durch die gemessenen Werte einer solchen Zeitreihe und bestimmt die Koeffizienten des Polynoms durch die Bedingung, dass die Summe der quadratischen Abweichungen zwischen

gemessenen Werten und angenommener Kurve ein Minimum werden soll – man passt also die zu berechnende Kurve an die historischen Daten möglichst gut an. Die so erhaltene „theoretische Kurve“ wird benutzt, um über den beobachteten Zeitraum hinaus neue Werte zu berechnen – sprich zu extrapolieren.<sup>46</sup> Die auf diese Weise bestimmte „theoretische Kurve“ stellt allerdings keinerlei Erklärung der Ursachen der Entwicklung dar. Die mit ihr berechneten Werte für zukünftige Zeitpunkte sind umso unsicherer, je weiter man über die bekannten Daten hinaus extrapoliert. Angepasste Kurven lassen sich nur dann als wissenschaftliche Vorhersage interpretieren, wenn Erklärungen für den Verlauf der Entwicklung gefunden werden können – etwa in Form mathematisch ausdrückbarer Gesetzmäßigkeiten – und wenn zusätzlich davon ausgegangen werden kann, dass diese Erklärungen auch in Zukunft gültig sind.

Rein statistische Methoden beziehen sich auf die Vorhersage von Prozessen, bei denen nur die Häufigkeitsverteilungen durch Beobachtung bekannt sind. Auf Einzelereignisse sind sie nicht anwendbar. Man passt dann eine Wahrscheinlichkeitsverteilung nach demselben Muster an die beobachteten Häufigkeiten an, um so zukünftige Wahrscheinlichkeitsaussagen extrapolieren zu können (sogenannte Monte Carlo-Methode).<sup>47</sup>

Je länger man den Prozess beobachtet und je geeigneter man die mathematische Kurve wählt, umso geringer ist der Fehler in den Koeffizienten und damit in der Vorhersage – vorausgesetzt dass es keine „Überraschungen“ gibt. Der Anwendungsbereich liegt eher bei überraschungsfreien, stetig verlaufenden, langfristigen Prozessen (zum Beispiel Entwicklung von Materialeigenschaften). Je weiter man in die Zukunft geht, umso größer werden die potenziellen Abweichungen.

<sup>43</sup> Vgl. z.B. Weisbord/Janoff 2001; Jungk/Müller 1989; Gloede 1994.

<sup>44</sup> Schon früh Grupp et al. 1987. Als Beispiel in der Kommunikationstechnologie siehe Gilder 2000 und Starner 2002.

<sup>45</sup> Diese können sehr frei gewählt werden, je nach der vermuteten Charakteristik. Geeignet sind immer vollständige Funktionensysteme.

<sup>46</sup> Vgl. Wolberg 2005. Das Verfahren ist prinzipiell auch für mehrdimensionale Zeitreihen möglich.

<sup>47</sup> Vgl. Armstrong 2001; Robert/Casella 2004.

### 4.3.2 SIMULATION

Zur Erstellung von Technikzukünften ist die Methode der Simulation nur für kurze bis mittelfristige Zeiträume geeignet. Die Simulation kann in Kombination mit der Szenario-Technik eingesetzt werden. Die Ergebnisse einer Simulation können immer nur bei Kenntnis des Modells sinnvoll interpretiert werden.

Ansatzpunkt für die Simulation ist die Nachbildung eines interessierenden Wirklichkeitsausschnittes – eines Realsystems – durch ein mathematisches Modell, das die wesentlichen Größen und ihre wechselseitige dynamische Abhängigkeit repräsentiert. Die Größen werden in der Regel aus Theorien abgeleitet oder empirisch (zum Beispiel durch Trendanalysen) bestimmt und als mathematische Funktionen formuliert – etwa als ein nicht-lineares Differentialgleichungssystem oder diskrete Zustandsübergangsfunktionen. Das mathematische Modell dient bei komplexen Prozessen, wie etwa der Klimasimulation, zur Berechnung von Prognosen mithilfe von Computerprogrammen. Die Lösung repräsentiert dann die Entwicklung des modellierten Systems im Simulationszeitraum.<sup>48</sup>

Zu unterscheiden sind im Modell solche Systemgrößen, die durch die Modellgleichungen bestimmt werden (endogene Größen), und solche, die nicht durch das Modell selbst erklärt werden, sondern diesem gerade „von außen“ als Rahmenannahmen vorgegeben werden müssen (exogene Größen, auch Randbedingungen genannt). In vielen Fällen, etwa beim Ölpreis im Bereich der Energiesystemmodellierung, ist über diese Annahmen lediglich bekannt, dass ihr Eintreffen möglich ist – ohne etwa eine Aussage über die Wahrscheinlichkeit ihres Eintreffens machen zu können. In diesem Fall können auch die simulierten Entwicklungen nur als possibilistische Zukunftsaussagen angesehen werden. Simulation empfiehlt sich für Fragestellungen und Gegen-

standsbereiche, bei denen quantitative Zusammenhänge bekannt sind, die trotz einer vergleichsweise einfachen Struktur durch Iteration und Hierarchisierung eine komplexe Modellbildung erlauben und bei denen ein Experiment oder Test aus Kosten-, Zeit- oder Gefahrengründen nicht möglich ist. Während konkrete Technikentwicklungen (zum Beispiel Innovationsprozesse wie die Konvergenz von Analog- und Digitaltechnik) schlecht simulierbar sind, liegen bei Klimaprozessen oder makroökonomischen Vorgängen, aber auch beim Ersatz aufwändiger technologischer Tests, Simulationsverfahren nahe.

### 4.3.3 SZENARIO-TECHNIK

Die Szenario-Technik wurde in den 1950er Jahren im Kontext strategisch-militärischer Planungen entwickelt. Die von Herman Kahn und Anthony J. Wiener bei der RAND-Corporation entwickelten Szenarien waren militärische, hypothetische Abfolgen von Ereignissen und deren Konsequenzen, durch die zukünftige Entwicklungsmöglichkeiten sichtbar wurden.<sup>49</sup> In den späten 1960er und frühen 70er Jahren begannen die ersten Unternehmen, Szenarien in der strategischen Planung zu berücksichtigen. Die Energieszenarien der Royal Dutch Shell sind wohl die bekanntesten Beispiele. Durch die vorausschauende Planung mit Szenarien konnte Shell die Ölpreiskrise besser überwinden als alle anderen Unternehmen in der Branche. Heute wird die Szenario-Technik in den unterschiedlichsten Kontexten eingesetzt. Wichtige Anwendungsfelder sind die strategische Planung in Unternehmen, Stadt- und Raumplanung, Politikberatung sowie die Technikvorausschau.

Ein Szenario<sup>50</sup> ist eine allgemeinverständliche und nachvollziehbare Beschreibung einer möglichen Situation in der Zukunft, die auf einem komplexen Netz von Ausprägungen von Einflussfaktoren (Projektionen) beruht. Der Blick in

<sup>48</sup> Für eine detailliertere Betrachtung siehe Frigg/Hartmann 2009.

<sup>49</sup> Vgl. Kahn/Wiener 1967 und Pias 2009.

<sup>50</sup> Vgl. Fahey/Randall 1998; Wilms 2006; Godet 1987; Ringland 1998.

die Zukunft führt zu mehreren Szenarien, weil mehrere Entwicklungsmöglichkeiten je Einflussfaktor ins Kalkül gezogen werden.

Es existiert eine Reihe von Methoden zur Szenario-Erstellung. Diese lassen sich in rein quantitative modellorientierte Methoden, Mischformen aus quantitativen und qualitativen Methoden sowie rein qualitative Methoden unterteilen. Zu den Mischformen gehören intuitive nicht-formalisierte Vorgehensweisen wie auch intuitive formalisierte Vorgehensweisen. Im Folgenden wird beispielhaft die intuitive formalisierte Vorgehensweise nach Gausemeier et al. in drei Hauptschritten beschrieben.<sup>51</sup>

- In der *Szenariofeld-Analyse* wird das Szenariofeld, also der Bereich, der durch die Szenarien beschrieben werden soll, durch Einflussfaktoren beschrieben. Die Vernetzung und die Relevanz der Einflussfaktoren werden hinsichtlich ihrer Wirkung auf das Gestaltungsfeld analysiert. Daraus ergeben sich die wesentlichen Einflussfaktoren, die sogenannten Schlüsselfaktoren. Dies entspricht der Modellbildung im Sinne des Abschnitts 4.1.4.
- In der *Projektionsentwicklung* werden nach dem Prinzip der multiplen Zukunft alternative Entwicklungsmöglichkeiten (Projektionen) der zuvor festgelegten Schlüsselfaktoren erarbeitet. Dabei sollten auch ungewöhnliche oder als unwahrscheinlich betrachtete Entwicklungen und Ereignisse in Betracht gezogen werden.<sup>52</sup> Die Erfahrung zeigt, dass oftmals nicht das vermeintlich Wahrscheinliche, sondern die für unwahrscheinlich gehaltenen Entwicklungen Realität geworden sind. Ein bekanntes Beispiel ist der Siegeszug des Personal Computers, ein anderes die überraschend hohe Akzeptanz der Kurzmitteilungen im mobilen Telefon (SMS).
- In der *Szenario-Bildung* werden aus den Zukunftsprojektionen der Schlüsselfaktoren Szenarien generiert.

Grundlage sind die Bewertung der Konsistenz von Zukunftsprojektionen in einer Konsistenzmatrix und die anschließende Analyse der Konsistenz. Diese liefert konsistente Projektionsbündel (Kombinationen von Projektionen, und zwar genau eine je Schlüsselfaktor), die aufgrund ihrer Ähnlichkeit mithilfe einer Clusteranalyse teilweise zusammengefasst werden können. Am Ende führt die Clusteranalyse in der Regel zu drei bis fünf Clustern. Da für jedes Cluster bekannt ist, welche Projektionen in ihm vorkommen und die Projektionen in der vorangegangenen Phase beschrieben worden sind, ergibt sich der Prosatext für jedes Szenario.

In einer Untersuchung wurden 19 Szenario-Projekte daraufhin untersucht, ob die ursprünglich entworfenen Szenarien tatsächlich eingetreten sind – unter anderem, um Erkenntnisse über die ursprünglichen Annahmen zu gewinnen und methodische Fehler zu identifizieren. Bei zwölf der untersuchten Szenario-Projekte ist das seinerzeit entworfene und als sehr wahrscheinlich bewertete Zukunftsbild auch Realität geworden. In vier Szenario-Projekten ist nicht das als sehr wahrscheinlich eingestufte Zukunftsbild eingetreten, sondern ein anderes Szenario. Auf den ersten Blick erscheint das negativ, aber es unterstreicht die Stärke der Szenario-Technik. Der Anspruch ist ja nicht, die Zukunft vorauszusagen, sondern alternative Zukünfte vorauszusagen.<sup>53</sup> Neben den aus damaliger Sicht wahrscheinlichen Szenarien sind weitere ebenfalls in sich schlüssige Szenarien entwickelt worden, obwohl seinerzeit kaum etwas darauf hindeutete, dass ein derartiges Szenario Wirklichkeit wird. Lediglich in drei der untersuchten Szenario-Projekte ist keines der erstellten Szenarien eingetreten. Ursache waren Mängel bei der Szenario-Erstellung: So fehlte es an Fantasie bei der Entwicklung von Zukunftsprojektionen; die Beteiligten haben erlebte Entwicklungen kontinuierlich fortgeschrieben statt die Grenzen des gewohnten Denkens

<sup>51</sup> Vgl. Gausemeier et al. 2009. Einen Überblick über verschiedene Varianten der Szenario-Technik geben Kosow/Gaßner 2008.

<sup>52</sup> Vgl. Petersen 1997; Steinmüller/Steinmüller 2003.

<sup>53</sup> Vgl. Sontheimer 1970.

bewusst zu überwinden. Des Weiteren war die Bewertung der Konsistenz von Zukunftsprojektionen fehlerhaft; die Zukunftsprojektionen waren unklar formuliert und somit interpretierbar.<sup>54</sup>

Ein wesentlicher Vorteil der Szenario-Technik ist, dass je Einflussfaktor mehrere denkbare Entwicklungen ins Kalkül gezogen werden können; dies führt in der Folge zu mehreren Szenarien. Darüber hinaus hat sie den Vorteil, dass ein Kollektiv potenzieller Entscheider unterstützt wird, sich systematisch, umfassend und nachvollziehbar mit zukünftigen Chancen und Risiken zu befassen. Ein Nachteil der Szenario-Technik ist allerdings der relativ große Aufwand.

#### 4.3.4 DELPHI-METHODE

Bekannt wurde die Delphi-Methode oder Delphi-Befragung 1964 durch die RAND-Corporation. In dem „Report on a long range forecasting study“ wurde versucht, die zukünftige Entwicklung der Bereiche Wissenschaft, Bevölkerung, Automation, Raumfahrt und Waffensysteme vorauszusagen und Kriege zu verhindern.<sup>55</sup> Seitdem hat sich der Kreis der Anwender stark erweitert. Neben dem Militär setzen auch Industrie, Verwaltung und Universitäten die Delphi-Methode als Analyse- und Prognosewerkzeug ein, um Experten nach ihren Einschätzungen und Erwartungen künftiger Entwicklungen in Technologie, Gesellschaft und Wirtschaft zu befragen.<sup>56</sup> Das Ziel ist es, einen möglichst breiten Konsens innerhalb einer Expertengruppe über einen zu untersuchenden Sachverhalt wie zum Beispiel zukünftige Einsatzmöglichkeiten einer Technologie zu ermitteln.<sup>57</sup> Die Methode ist wegen der gestellten Fragen fachlich sektoral, das heißt,

man kann keine Überraschungen erwarten, und deckt tendenziell einen kurz- bis mittelfristigen Zeithorizont ab.

Bei der Delphi-Methode wird ein mit Fragen oder Thesen versehener Fragebogen an Experten versandt. Anschließend erfolgt eine Auswertung der eingegangenen Bögen. In einer zweiten Runde werden die Experten mit der Meinung des Expertenkollektivs konfrontiert und gebeten, im Lichte dieser Meinung ihre Bewertung zu erneuern. Gegebenenfalls wird dieser Prozess wiederholt.<sup>58</sup> In der Praxis bleibt es in der Regel bei der zweiten Runde. Typische Fragestellungen, die mit der Delphi-Methode analysiert werden, sind beispielsweise: „Welche Bedeutung haben die Einsatzbereiche xy für die Fertigungstechnologie Lasersintern im Jahr 2020?“ oder „Wann wird es Pumpen geben, die für Fluide mit Temperaturen höher als 800°C einsetzbar sind?“

Die Delphi-Methode ist eine sehr geeignete Methode, um die Meinung einer größeren Anzahl von Experten relativ kostengünstig und schnell zu ermitteln und zu konsolidieren. Entscheidend für den Erfolg ist die Qualität der Fragen und Thesen. Eine wichtige Rolle spielt ferner die Bereitschaft der Befragten, den Fragebogen zu beantworten, die von vielen institutionellen wie menschlichen Faktoren abhängen kann. Für die Gestaltung der Fragen und der möglichen Antworten stehen unterschiedliche Varianten, mit denen qualitative Antworten erhoben werden können, zur Verfügung, von einfacher Bestätigung oder Ablehnung einer These bis hin zu offenen Fragen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass durch die Formulierung der Thesen und Fragen das Spektrum möglicher Ergebnisse stark eingeschränkt werden kann.<sup>59</sup>

<sup>54</sup> Vgl. Gausemeier 2011.

<sup>55</sup> Vgl. Gordon/Helmer 1964.

<sup>56</sup> Vgl. Bell 1997; Loo 2002.

<sup>57</sup> Während in einem klassischen Delphi-Verfahren die Erhebung anonym erfolgt, versucht die Variante des Gruppendelphis die damit verbundenen Schwächen der Methode zu überwinden, indem die Teilnehmer in einem Workshop in direkten Austausch treten können (vgl. Schulz/Renn 2009).

<sup>58</sup> Vgl. Linstone/Turoff 1975.

<sup>59</sup> Vgl. Häder 2009; Gausemeier et al. 2009.

### 4.3.5 ROADMAPPING

Roadmapping benutzt vorausschauende Elemente, die mit anderen Methoden gewonnen werden, um die Plausibilität von Planungszielen zu prüfen. Das Verfahren<sup>60</sup> liefert einen Mix strategischer wie prognostischer Aussagen, ist daher nicht rein deskriptiv, sondern normativ.<sup>61</sup> Es ist eher für kurz- bis mittelfristige Horizonte ausgelegt (Branchen- und Firmenziele) und meist auf wenige Technologielinien beschränkt.

Bekannt wurde das Konzept der Roadmaps Mitte der 1980er Jahre. Zu dieser Zeit wurden erstmals beim US-amerikanischen Unternehmen Motorola Roadmaps zur integrierten Technologie- und Produktplanung eingesetzt. Anfang der 1990er Jahre folgten weitere Unternehmen wie General Motors und Phillips, die Roadmaps als strategisches Planungsinstrument verwendeten.

Im Allgemeinen werden Roadmaps eingesetzt, um mögliche Wege in die Zukunft aufzuzeigen. Das Ergebnis ist eine Art Straßenkarte (Roadmap) für die zukünftige Entwicklung. Dabei kann die Entwicklung in Form einer endpunktgesteuerten Roadmap einen oder mehrere Wege in *einen* definierten Zustand in der Zukunft aufzeigen oder in Form einer offenen, startpunktgesteuerten Roadmap mehrere Wege zu *verschiedenen* Endpunkten.

Typische Anwendungsformen sind Forschungs- und Entwicklungs-Roadmaps, Industrie- bzw. Branchen-Roadmaps, Produkt-Technologie-Roadmaps sowie Produkt(Portfolio-management)-Roadmaps.<sup>62</sup> Je nach Anwendungsform unterscheiden sich die Roadmapping-Verfahren. In der Regel

werden allerdings die im Folgenden beschriebenen vier Phasen durchlaufen.<sup>63</sup>

- Bei der *Ermittlung der Betrachtungsobjekte* werden der Zeithorizont sowie der gewünschte Detaillierungsgrad der Objekte festgelegt. Mögliche Betrachtungsobjekte sind beispielsweise Technologien, Produkte oder Verfahren.
- Die *Vorausschau* dient dem Vorausdenken der Zukunft der einzelnen Betrachtungsobjekte. Dies kann durch eine Fortschreibung der aktuellen Entwicklung geschehen. Häufig werden hierzu aber auch Szenarien eingesetzt, aus denen die Entwicklung der Betrachtungsobjekte abgeleitet werden kann.
- Bei der *Roadmap-Generierung* erfolgt die Visualisierung der Entwicklung der Betrachtungsobjekte. Diese geschieht in der Regel zweidimensional. Auf der x-Achse wird der Zeithorizont aufgetragen. Die Beschriftung der y-Achse ist abhängig vom Anwendungsfall. Eine Möglichkeit ist, verschiedene Untergruppen des Betrachtungsbereichs auf der y-Achse einzutragen.
- Bei der *Bewertung und Fortschreibung* werden in der Regel Handlungsoptionen abgeleitet, sofern die Roadmap keine direkten Maßnahmen oder Projekte enthält. Eine Fortschreibung der Roadmap über den Zeithorizont hinaus ist jederzeit möglich.

Die formale Erstellung einer Roadmap gestaltet sich relativ einfach. Die Herausforderung liegt in der Regel darin, die Elemente im richtigen Detaillierungsgrad und an der richtigen Stelle mit der richtigen Beziehung zu positionieren, um daraus Schlüsse für konkrete Handlungsoptionen im letzten Schritt zu ziehen.

<sup>60</sup> Vgl. Laube/Abele 2006; Farrukh et al. 2003; Möhrle/Isenmann 2007.

<sup>61</sup> Vgl. Liebl 1996.

<sup>62</sup> Vgl. Kappel 2001.

<sup>63</sup> Vgl. Fink/Siebe 2006.

#### 4.4 LEISTUNGEN UND GRENZEN DER VORAUSSCHAU

Die Erfüllung der Leistungen, die mit der Vorausschau von Technikzukünften erbracht werden sollen, ist in unterschiedlicher Weise möglich, ist an Voraussetzungen gebunden und stößt in unterschiedlicher Weise an Grenzen. Sowohl die spezifische Leistung einer bestimmten Methode als auch ihre Begrenzung sind eng mit den Zwecken verbunden, die dabei jeweils verfolgt werden. Ausgehend von der Einteilung nach deskriptiven, pro-aktiven und normativen Zwecken (Kap. 4.1.3) wird deshalb im Folgenden der Frage nachgegangen, wo die Möglichkeiten und Grenzen dieser Typen der Vorausschau liegen. Dabei ist zu beachten, dass die Zuordnung bestimmter Grenzen und Leistungen zu diesen Typen lediglich Schwerpunkte markieren soll. Denn zum einen gelten die genannten Grenzen im Prinzip für alle Arten der Vorausschau und zum anderen werden die unterschiedlichen Zwecke in der Regel in Kombination miteinander verfolgt.

*Deskriptive* Zwecke der Vorausschau zielen auf die Beschreibung von Prozessen und deren kausale Erklärung. Eine wesentliche Leistung von deskriptiven Technikzukünften besteht darin, dass das verfügbare Wissen über den Gegenstand in einer Art und Weise dargestellt werden kann, die unmittelbar Orientierung in Entscheidungssituationen oder gesellschaftlichen Aushandlungen bieten kann. Dies geschieht gerade dadurch, dass in ihnen abstraktes Wissen über die Kausalzusammenhänge des Gegenstands in anschauliche Zukunftsaussagen übersetzt wird. Dabei besteht die wesentliche Herausforderung in der transparenten und verständlichen Kommunikation der Unsicherheiten.

Grenzen in der Realisierung deskriptiver Zwecke liegen vor allem in der Qualität des verfügbaren Wissens. Diese ist in vielen Fällen durch verschiedene epistemische Unsicherheiten eingeschränkt: Gerade wenn eine Methode wie die

statistische Trendanalyse (Kap. 4.3.1) verwendet wird, in der die Analyse (historischer) Daten das Fundament des Verfahrens darstellt, hängt die Aussagekraft der Ergebnisse stark von der Belastbarkeit der Messung und Aufzeichnung der Daten ab. Werden hieraus Aussagen über zukünftige Entwicklungen abgeleitet, gehen diese Unsicherheiten hier ein. Eine zweite wichtige Quelle epistemischer Unsicherheiten betrifft das Verständnis und die Modellierung des betrachteten Systems. Erstens liegt gerade bei der Betrachtung komplexer Gegenstandsbereiche, wie es bei der Analyse der Entwicklung von Technik und Gesellschaft der Fall ist (Kap. 3), häufig unvollständiges Wissen über wesentliche Determinanten und Mechanismen des Systems vor, sodass schon das Verständnis des Gegenstandes nur eine ungenaue Modellbildung zulässt. Zum Zweiten bestehen jedoch auch seitens der Modellierung selbst Einschränkungen, da komplexe Systeme in der Regel nur eine vereinfachte Repräsentation im Modell erlauben und diese Repräsentation – im Falle mathematischer Modellierung – die Anforderungen mathematischer Lösbarkeit erfüllen muss. Die Wahl von Variablen, die Definition von funktionalen Zusammenhängen, die Kalibrierung von Parametern und die programmiertechnische Umsetzung sind damit in der Regel mit Vereinfachungen und Annäherungen verbunden, die ebenfalls den Geltungsbereich der Ergebnisse einschränken können. Dabei ist mit der Angabe numerischer Werte die Gefahr verbunden, dass eine Genauigkeit suggeriert wird, die tatsächlich nicht gegeben ist. Schließlich besteht drittens eine prinzipielle epistemische Unsicherheit darin, dass bei der Erstellung von Technikzukünften immer auch Annahmen über die zukünftige Entwicklung von Randbedingungen des betrachteten Systems getroffen werden müssen und vorausgesetzt werden muss, dass die unterstellten Systemzusammenhänge auch in Zukunft Bestand haben. Gerade bei der Betrachtung komplexer Systeme und bei der Vorausschau menschlichen Verhaltens – beides ist in der Vorausschau von Technikzukünften der Fall – können hierfür vielfach nur possibilistische Aussagen getroffen werden

(Kap. 4.1.2), sodass diese Technikzukünfte als Szenarien formuliert werden müssen.

Die Leistungen pro-aktiver Vorausschau bestehen vor allem in der Frühwarnung vor Risiken und Nebenfolgen auf der einen Seite und der Früherkennung von Chancen, die sich aus technologischer Entwicklung ergeben, auf der anderen Seite. Für die Nutzung dieser Möglichkeiten ist eine adäquate, insbesondere adressatengerechte, Kommunikation unabdingbar. Dabei tritt im Falle pro-aktiver Zwecke neben die zuvor beschriebene Notwendigkeit der Kommunikation von Unsicherheiten die Herausforderung, in den Grenzen dieser Unsicherheiten Handlungsoptionen aufzuzeigen. Um die Akzeptabilität dieser Handlungsoptionen sicherzustellen, muss der Erstellungsprozess der Technikzukünfte nicht nur eine solide Begründung der Empfehlungen gewährleisten, sondern muss auch als Prozess spezifischen Anforderungen genügen. Sollen diese Technikzukünfte beispielsweise in demokratische Entscheidungsprozesse Eingang finden, so müssen Legitimität und Transparenz dieses Prozesses gewährleistet sein. Eine wichtige Herausforderung dieses Typs der Vorausschau besteht damit in der Wahl der Methoden und der Gestaltung des Prozesses, in dem diese eingesetzt werden. Dabei wird die Möglichkeit, diese Art der Vorausschau zu nutzen, um pro-aktiv eine *bestimmte* Wirkung zu erzielen, durch eine Rückwirkung eingeschränkt: da schon die Kommunikation von Zukünften potenziell eine *Intervention* darstellt, indem sie Handeln und Entscheiden verändern kann und damit die Annahmen der ursprünglichen Zukunftsvorausschau entweder zunichtemacht (self-destroying) oder geradezu erst herbeiführt (self-fulfilling). Dieser Mechanismus hängt eng mit den Zwecken der Frühwarnung und der Früherkennung von Chancen durch Technikzukünfte zusammen, wird aber im Falle mangelnder Transparenz auch zu einem möglichen Einfallstor für Ideologie.

Schließlich werden Technikzukünfte auch dazu verwendet, *gewünschte oder unerwünschte* Entwicklungen zu beschreiben und zu kommunizieren. Dabei gilt es, die Bewertung von Technikzukünften (Kap. 5.3) als einen zentralen Aspekt in die Gestaltung des Erstellungsprozesses aufzunehmen. Die besondere Herausforderung besteht zum einen darin, die zugrunde liegenden Werte und Beurteilungskriterien im Prozess zu identifizieren und einen diskursiven Austausch über sie unter den an der Erstellung Beteiligten zu gewährleisten. Zum anderen gilt es anschließend, diese Werte und ihre Rolle in der Bewertung nach außen zu kommunizieren. Nur so kann eine möglicherweise versteckte Partikularität der transportierten moralischen Überzeugungen aufgedeckt und überwunden werden. Dass mit Technikzukünften, die als gewünscht oder unerwünscht bewertet wurden, notwendigerweise moralische Überzeugungen transportiert werden, stellt dabei keinen Nachteil, sondern – unter der Voraussetzung der Transparenz dieser Überzeugungen – gerade die zentrale Leistung dieser Art der Vorausschau dar. Gerade hierdurch werden sie zu einem wichtigen Mittel des gesellschaftlichen Austauschs über die Frage, mit welcher Technik wir als Gesellschaft zukünftig leben wollen. Die hier vorgenommene Unterscheidung nach verschiedenen Zwecken der Vorausschau ist analytisch hilfreich. In der Praxis kommt es jedoch zu Mischformen, wenn zum Beispiel pro-aktive Zwecke und Aussagen zur Wünschbarkeit integriert werden oder wenn Modelle, die ursprünglich für deskriptive Zwecke entwickelt wurden, auch für andere Zwecke genutzt werden. Auf diese Weise werden kombinierte Leistungen durch Technikvorausschau erreichbar, jedoch um den Preis, dass dann Wissen, Werte und möglicherweise auch Interessen in einer noch komplexeren Weise miteinander verbunden werden. Der Transparenzforderung kommt dann ein umso höheres Gewicht zu.

## 5 BEWERTUNG

Da Technik in einem ganz grundsätzlichen Sinne Technik *in der Gesellschaft* ist (Kap. 3), weisen Technikzukünfte ebenso grundsätzlich gesellschaftliche Aspekte in zwei Richtungen auf. Einerseits werden bereits bei der *Erstellung* von Technikzukünften (Kap. 4) Entscheidungen getroffen, die gesellschaftliche Fragen und Werte betreffen (Kap. 5.1). Andererseits gehen die Technikzukünfte als vorgestellte gesellschaftliche Zukünfte in die entsprechenden Debatten und Entscheidungsprozesse in Politik, Wirtschaft und Öffentlichkeit ein – sie haben dort Folgen, indem sie *bewertet* werden, zum Beispiel im Hinblick auf Wünschbarkeit, Zumutbarkeit oder Vorzugswürdigkeit gegenüber konkurrierenden Technikzukünften (5.4). Da für beide Bewertungsvorgänge eine Transparenzverpflichtung gilt, insofern es sich hier um gesellschaftlich relevante und daher demokratisch zu beratende Angelegenheiten handelt<sup>64</sup>, müssen die zugrunde liegenden Werte offengelegt werden. Hierfür stellen die Kapitel 5.1 und 5.2 die grundlegenden Begriffe bereit.

### 5.1 WERTE IN DER TECHNIK

Kollektive und individuelle Werte liegen sowohl dem technischen Handeln wie dem Vorausdenken von Technikzukünften implizit oder explizit zugrunde. Es gehört zur Transparenz von Technikzukünften, dass die zugrunde liegenden Werte und Wertsysteme expliziert werden. Im Handeln und Urteilen zum Ausdruck kommende Werte genießen häufig allgemeine Anerkennung, werden aber in unterschiedlicher Weise zu Wertsystemen zusammengefasst und gewichtet. Gesellschaftlicher Wertewandel findet häufig in Form von Verschiebungen in der Präferen-

zordnung des Wertsystems bzw. in Form einer Neuinterpretation der Werte statt.

Die Aufgabe der Ethik ist, die Geltung moralischer Sätze aufgrund von Prinzipien und Werten zu begründen. Ethische Prinzipien dienen als oberste Prämissen der Rechtfertigung beziehungsweise der Kritik untergeordneter normativer Sätze, als letzter direkter oder indirekter Beurteilungsmaßstab moralischer Urteile und damit als notwendige Bedingung ihrer Gültigkeit. Als Beispiel mag der Grundsatz des klassischen Utilitarismus dienen: „Gewährleistung des größten Glücks aller“ oder die bekannte goldene Regel: „Was Du nicht willst, was man Dir tu, das füg´ auch keinem anderen zu“.<sup>65</sup> Ethiken unterscheiden sich sowohl durch ihren Gegenstand der moralischen Beurteilung (zum Beispiel ob die Folgen einer Handlung oder die sie auslösende Absicht bewertet werden) als auch durch die zugrunde gelegten obersten Prinzipien (zum Beispiel kategorischer Imperativ oder Nutzenmaximierung).

Werte können aus Bedürfnissen hervorgehen; aus ihnen kann man Ziele, Kriterien und Normen konkretisieren. Werte sind schließlich Ergebnisse verschiedenster individueller, gesellschaftlicher, kultureller und historischer Entwicklungsprozesse.<sup>66</sup> Aus den Prinzipien, einem Wertsystem und ethisch gerechtfertigten Prioritätsregeln im Fall von Wertkonflikten lassen sich normative Sätze formulieren, das heißt solche, die Ge- und Verbote enthalten, woraus sich schließlich Handlungsregeln (beispielsweise Gesetze, Vorschriften etc.) ableiten lassen. Kriterien sind Schlüsselgrößen für die Konkretisierung von Werten. Die Prüfung bzw. Umsetzung von Werten durch Kriterien kann zum Beispiel in kommunikativen Prozessen geschehen, in denen nicht

<sup>64</sup> Vgl. Weingart/Lentsch 2008.

<sup>65</sup> Die goldene Regel kommt in allen Kulturen vor. Vgl. Glasenapp 1991; Küng 1990; Küng/Kuschel 1998. Weitere solche Prinzipien wären die Kant'schen Imperative (Kant 1785, BA 66 – GMS 1991 –, S. 60 sowie BA 52 – GMS 1991 –, S. 51) oder das Prinzip der Bedingungserhaltung: Handle immer so, dass alle Betroffenen ebenfalls noch verantwortlich handeln können (vgl. Kornwachs 2000).

<sup>66</sup> Die klassischen Quellen der Entstehung von Wertevorstellungen sind unter anderem: Erfahrung von Bedürfnissen, oftmals aus religiös im Laufe der Geschichte offenbarten Vorstellungen, Bestimmungen einer philosophischen Anthropologie, Theorien über Evolution und Gesellschaft, Geschichte und Politik sowie Einsichten, die sich in Diskursen oder auch öffentlichen Diskussionen als zustimmungsfähig erweisen.

nur die Visionäre oder Hersteller von Technologien, sondern auch prospektive Benutzer, Kunden und Betroffene mitwirken können.<sup>67</sup> Dies führt auf wertorientierte Technikgestaltung, zum Beispiel im Sinne der VDI-Richtlinie 3780 „Technikbewertung“ oder des Value Sensitive Design.

Da die Technik ein integraler Bestandteil des menschlichen Lebens und der menschlichen Gesellschaft ist (Kap. 3), wird sie einerseits durch zahlreiche Werte und Wertsysteme beeinflusst und kann andererseits diese aktualisieren oder modifizieren. Dabei gibt es Werte, die ganz selbstverständlich mit der Technik verbunden werden, und andere, welchen eine mehr mittelbare Beziehung zur Technik zugeschrieben wird. So sind gerade für Ingenieure Forderungen nach Effektivität und Effizienz selbstverständlich. Technik sollte also funktionieren, das heißt die ihr zugeordneten technischen Zwecke erfüllen. Und die Funktionserfüllung sollte auf möglichst sparsame und damit wirtschaftliche Weise erreicht werden. Wirtschaftlichkeit in diesem Sinne bezieht sich auf Ressourceneffizienz, also den Einsatz von Arbeit, Kapital, Energie und Stoffen. Wirtschaftlichkeit kann aber auch im Sinne von Rentabilität verstanden werden – mit dem Ziel, das Gedeihen des Unternehmens zu sichern und die Renditeerwartungen der Investoren zu befriedigen.

Ebenso selbstverständlich ist in der Technik die Forderung nach Sicherheit für die Benutzer und andere Betroffene. Allerdings muss man hierbei relativieren, dass absolute Sicherheit weder in der Technik möglich ist noch im menschlichen Leben überhaupt. Die Forderung nach Sicherheit setzt also die Festsetzung von Sicherheitsgrößen voraus, was auf unterschiedlichen gesellschaftlichen Ebenen erfolgen kann.

In der Technik geht es jedoch nicht nur um sicheres Funktionieren und Gewinnerzielung. Die Technik dient der Er-

füllung vielfältiger individueller Lebensziele und der Einlösung kollektiver Zukunftsentwürfe, hinter denen wiederum Werte und Wertsysteme stehen. In der VDI-Richtlinie 3780 „Technikbewertung. Begriffe und Grundlagen“ werden als solche zentralen Werte – neben den bereits erwähnten Werten Funktionsfähigkeit, Wirtschaftlichkeit und Sicherheit – Wohlstand, Gesundheit, Umweltqualität, Persönlichkeitsentfaltung und Gesellschaftsqualität genannt.

Dabei bedürfen alle diese Werte der Interpretation, welche zu Konflikten und der Notwendigkeit von Prioritätensetzungen führen kann. So kann Wohlstand als materielle Versorgung der Bevölkerung mit Gütern und Dienstleistungen verstanden werden, aber auch als ein qualitativer Wert im Sinne von Lebensqualität, in welchen zahlreiche Größen einfließen und der damit einer näheren Bestimmung bedarf. Die Forderung nach Umweltqualität erfordert die Bestimmung der darunter zu subsumierenden natürlichen oder auch kulturellen Welt. Je nachdem, ob man der Natur ein Eigenrecht oder nur einen Nutzen für den Menschen zubilligt, wird man zu unterschiedlichen Folgerungen für Natur- und Umweltschutz gelangen. Technik kann die Interaktion und Kommunikation innerhalb einer Gesellschaft erleichtern. Umgekehrt können technische Möglichkeiten Kreativität einschränken, so zum Beispiel bei unprofessioneller Gestaltung von Arbeitsplätzen.

Beim Entwerfen von Technikzukunftten muss notwendigerweise eine Auswahl unter den tangierten Werten getroffen werden. Darüber hinaus stehen die Werte in einem systemischen, komplexen Zusammenhang. Innerhalb eines Wertesystems können sie unterschiedlich gewichtet werden. Sie verstärken und ergänzen sich teilweise, können aber auch miteinander konkurrieren.

<sup>67</sup> Voraussetzung für eine Bewertung im Sinne der Frage, inwieweit ein Kriterium für einen Wert erfüllt ist oder nicht, stellt ein Indikatorensystem dar, das die Messung der Qualität der Erfüllung gestattet. Dies hat sich als, wenn man so möchte, operationalisierbare Moral in vielen Anwendungen als praktikabel erwiesen. Zu Wertebäumen und vergleichbaren Verfahren Keeney et al. 1984; Kornwachs 1996.

## 5.2 WERTENTSCHEIDUNGEN BEI DER ERSTELLUNG VON TECHNIKZUKÜNFTEN

Technikzukünfte entstehen nicht von selbst, sondern werden gemacht und konstruiert (Kap. 2.1). Damit sind sie mit den Rationalitäten, Werten, Einschätzungen und Interessen ihrer Ersteller verbunden. Im Entstehungsprozess – und hierin unterscheiden sich modellbasierte Prognosen und literarische Science-Fiction nicht prinzipiell – müssen die jeweiligen Autoren Entscheidungen treffen: Entscheidungen über die Grenzen des betrachteten Systems, über Rahmenbedingungen, über Systemwechselwirkungen, über Kontinuitäten bestehender Verhältnisse und vieles mehr. Diese Entscheidungen basieren zu einem Teil auf Wissen, zu einem anderen aber auf normativen Entscheidungsgrundlagen wie Relevanzkriterien, Prioritätensetzungen oder Wertentscheidungen. Auf diese Weise gehören normative Anteile wie zum Beispiel Werte notwendigerweise zu den konstituierenden Elementen von Technikzukünften. Nicht erst durch die Bewertung der Technikzukünfte als beispielsweise gewünscht, verantwortbar oder unzumutbar (Kap. 5.3) kommen ethische und andere Bewertungskriterien ins Spiel, sondern bereits bei ihrer Erstellung. Technikzukünfte sind auch dann nicht wertneutral, wenn sie auf mathematischen Modellen beruhen.

Dies sei am Beispiel modellbasierter Energieszenarien erläutert. Bei der Erstellung von Energieszenarien<sup>68</sup> muss eine Reihe von Entscheidungen getroffen werden, die im Detail natürlich von der jeweiligen Aufgabenstellung und vom zu betrachtenden System abhängen. Typische Entscheidungen hierbei sind:

- Wahl des Modelltyps (ökonomische Gleichgewichtsmodelle, evolutionäre Modelle, Optimierungsmodelle etc.)
- Festlegung der Systemgrenzen in räumlicher, zeitlicher und inhaltlicher Hinsicht einschließlich der dabei erforderlichen Relevanzentscheidungen: Was wird als rele-

vant zur Lösung der betreffenden Aufgabe angesehen und was darf aus einer Irrelevanzvermutung heraus vernachlässigt werden?

- Festlegung der systeminternen Parameter und Wechselwirkungen, die in die Modellierung aufgenommen werden, und der Import/Export-Verhältnisse zur Systemumgebung – Relevanzentscheidungen spielen eine zentrale Rolle.
- Annahmen für unsichere Randbedingungen des Systems für den betrachteten Zeitraum, wie demografische Entwicklung, Beständigkeit politischer Rahmenbedingungen, Annahmen über die Reichweite bestimmter Rohstoffe wie fossiler Energieträger, Brennstoffpreise, technische Verfügbarkeit und Kosten neuer Technologien, geopolitische Entwicklungen, Weltmarktentwicklung etc.
- Annahmen über den ökonomischen Sinn neuer Technologien (zum Beispiel über Lernkurven zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit bei neuen Effizienztechnologien)

In allen diesen Entscheidungen spielen Relevanzkriterien und Wertungen eine zentrale Rolle. Neben dem verfügbaren positiven Wissen entscheiden diese normativen „Ingredienzien“ maßgeblich über das Ergebnis der Konstruktion von Energieszenarien, das heißt darüber, was über die zukünftigen Entwicklungen im Energiebereich ausgesagt wird. Diese Diagnose hat weitreichende Folgen in zweierlei Hinsicht:

(1) Relevanzentscheidungen: Das Wissen, auf das sich die Relevanzbeurteilung erstreckt, ist unvollständig oder unsicher; es wird oft eher eine Einschätzung „aus dem Bauch“ getroffen als auf der Grundlage belastbaren Wissens. Ob sich etwas in der Zukunft als relevant erweisen wird oder nicht, kann nur mit den üblichen Unsicherheiten antizipiert werden. Wenn sich eine Irrelevanzvermutung als falsch herausstellt, kann dies erhebliche Auswirkungen auf die Vorausschau haben. Dies gilt auch für die mathematische

<sup>68</sup> Vgl. Dieckhoff et al. 2011.

modellbasierte Vorausschau und zeigt, dass hier Aufmerksamkeit geboten ist: Die vermeintliche Objektivität und Wertneutralität einer solchen Vorausschau ist eben nur eine vermeintliche, geschuldet dem formalen Schema und dem mathematischen Formelapparat – tatsächlich aber könnte dies eine bloße Scheinobjektivität sein.

(2) Risiken der Glaubwürdigkeit: Da in Technikzukünfte zwangsläufig normative Anteile durch die oben skizzierten Festlegungen und die Gestaltung des Entstehungsprozesses eingehen, stehen Technikzukünfte immer auch in dem Verdacht politische oder wirtschaftliche Interessen zu repräsentieren. Selbst wenn eine Technikzukunft argumentativ plausibel ist, kann sie deshalb als unglaubwürdig angesehen werden, wenn die normativen Anteile nicht ausreichend kenntlich gemacht werden. Damit sind die Gestaltung des Prozesses, etwa wer unter welchen Bedingungen daran beteiligt wird und welche Vorgaben von welcher Seite gemacht werden, und seine anschließende Dokumentation von größter Bedeutung, um einem Generalverdacht der Beliebigkeit, der Ideologie und Interessengetriebenheit entgegenzuwirken.<sup>69</sup>

Unter einer Bewertung von Technikzukünften darf also nicht nur verstanden werden, die jeweils gemachten substanziellen Aussagen über die Zukunft unter ethischen, rechtlichen oder ähnlichen Kriterien zu bewerten (dazu Kap. 5.3). Vielmehr müssen auch die normativen Bestandteile der Zukünfte selbst rekonstruiert und kritisch bewertet werden, um dem Gebot der Transparenz zu entsprechen.

### 5.3 BEWERTUNG DER TECHNIKZUKÜNFTEN

Bewertungen stehen vielfach unter dem Verdacht der bloßen Subjektivität, der Beliebigkeit oder der Ideologie. Wenn hingegen, wie es auch dem Anspruch der acatech entspricht, *wissenschaftlich begründete* Einschätzungen

und Bewertungen von Technikzukünften als Orientierung für Politik und Gesellschaft gegeben werden sollen, dann müssen folgende Anforderungen erfüllt werden:

- *Verallgemeinerbarkeit*: Bewertungen von Technikzukünften dürfen nicht auf rein partikulären Grundlagen und Kriterien beruhen, sondern es ist in Bezug auf die Bewertungskriterien und ihre Anwendung ein Allgemeingültigkeitsanspruch zu stellen und einzulösen.
- *Berücksichtigung des Stands des Wissens*: Für die Bewertung müssen alle relevanten Wissensbestände hinzugezogen werden. Wertungen müssen die Problematik unsicheren und unvollständigen Wissens berücksichtigen.
- *Konsistenz*: Die Bewertungen müssen so erfolgen, dass Inkonsistenzen im Bewertungsrahmen vermieden werden.
- *Wertewandel*: Wertungen sind abhängig von Veränderungen in den gesellschaftlich anerkannten Werten und Einstellungen. Die Bewertung von Technikfolgen kann sich ändern, wenn sich die Kriterien ändern.
- *Transparenz*: Die zugrunde gelegten Bewertungskriterien müssen offengelegt werden.

Vor diesem Hintergrund können Bewertungen nicht im strengen Sinne „objektiv“ sein. Aufgrund der Transparenzforderung ist es jedoch geboten, die Struktur von Bewertungen sowie die Prämissen und Setzungen offenzulegen. Zu diesem Zweck ist es sinnvoll, wissenschaftliche Bewertungen als Wenn/Dann-Formulierungen des Typs zu verstehen: „Wenn bestimmte normative Prinzipien und Kriterien verwendet werden, ist eine bestimmte Technikzukunft folgendermaßen zu bewerten: ...“. Durch diese *konditional-normative* Struktur von Bewertungen wird keineswegs eine politische oder gesellschaftliche Bewertung ersetzt; es bleibt die Aufgabe politischer oder anderer gesellschaftlicher Akteure, über die Inkraftsetzung der Wenn-Anteile zu entscheiden.

<sup>69</sup> Vgl. Brown et al. 2000.

Das Transparenzgebot steht im Zentrum einer „guten Praxis“ der Bewertung von Technikzukünften in zweierlei Hinsicht: im Hinblick auf die involvierten Bewertungskriterien und mit Blick auf die Unsicherheiten des Wissens in den zu bewertenden Technikzukünften selbst (Kap. 4). Die *Bewertungskriterien* können ganz unterschiedlichen Bereichen entstammen und ebenso unterschiedliche Ursprünge haben. In Bezug auf Technikzukünfte kommen häufig folgende Typen von Bewertungskriterien zur Anwendung:

- *Ethische Kriterien:* Die ethische Reflexion von Technikzukünften kann nach Maßgabe der bekannten ethischen Schulen durchgeführt werden (vgl. Kap. 5.1).<sup>70</sup>
- *Rechtliche Kriterien:* Auf der rechtlichen Ebene sind zu beachten: allgemeine Menschenrechte, Bürgerrechte, Rechte, die nicht-menschlichen Lebewesen zugeschrieben werden (Tierschutz), und Eigentumsrechte.<sup>71</sup>
- *Politische Kriterien:* Spezifisch politische Bewertungskriterien sind beispielsweise geopolitische oder sicherheitspolitische Kriterien. Hier sind besonders Technikzukünfte mit einer strategischen Bedeutung betroffen, wie etwa Sicherheit in der Energieversorgung oder die Vermeidung von Abhängigkeiten in Rohstofffragen.
- *Akzeptanzkriterien:* Vielfach werden Technikzukünfte in Bezug auf die Akzeptanz bei bestimmten Bevölkerungsgruppen bewertet. Die vermutete zukünftige Akzeptanz ist in allen marktnahen Technikzukünften entscheidend, da der Erfolg innovativer Produkte von der Akzeptanz am Markt, also beispielsweise von Nützlichkeitsersparungen der Käufer und vom Preis abhängt. Aber auch zum Beispiel die Transformation von Infrastrukturen (etwa im Hinblick auf Elektromobilität) ist von der Akzeptanz der Nutzer abhängig.
- *Strategische Kriterien:* Akteure wie Firmen oder politische Parteien verbinden teils ihre Strategie (Unternehmensphilosophie, Parteiprogramm) mit Technikzukünften. Technikzukünfte können daraufhin bewertet werden, inwieweit sie zur Unternehmensphilosophie oder zum Parteiprogramm passen bzw. in deren Kontext als strategisch nützlich erscheinen (Kap. 6.1).

Diese Bewertungskriterien sind im Fall der Technikzukünfte häufig in Form übergreifender Debatten in Wissenschaft, Politik und Gesellschaft aggregiert. Hierzu gehören insbesondere (1) das Bewertungssystem der Nachhaltigkeit, (2) das Vorsorgeprinzip und (3) die Ambivalenzen der Technik.

(1) *Nachhaltigkeit:* Der Begriff der nachhaltigen Entwicklung ist zentral für die Befassung mit den großen Zukunftsfragen der Menschheit geworden,<sup>72</sup> zu denen wesentlich Technikzukünfte gehören. Verfügbarkeit und Einsatz von Technik beeinflussen maßgeblich die Entscheidung über gesellschaftliche Produktionsweisen, Mobilität, Lebensstile, Wohlstand und Fragen von Gesundheit und Krankheit. Technik setzt Stoffströme in Bewegung, bedarf des Energieeinsatzes, setzt Rohstoffe in Abfälle und Emissionen um und verändert durch die dadurch möglichen Nutzeneffekte die menschliche Gesellschaft. Damit stellt Technik einen entscheidenden, gleichwohl ambivalenten Faktor für die Nachhaltigkeit der menschlichen Wirtschaftsweise dar. Ihre Bedeutung wird zukünftig noch zunehmen, vor allem angesichts der weiter ansteigenden Weltbevölkerung, der Klimaproblematik und des nachholenden Wirtschaftswachstums in den Entwicklungs- und Schwellenländern. Die Nutzung und Gestaltung des technischen Fortschritts im Sinne der nachhaltigen Entwicklung wird zur dringlichen Aufgabe.

<sup>70</sup> Unter Verzicht auf Vollständigkeit wären hier zu nennen: 1. Verantwortungsethik, das heißt, die moralische Bewertung bezieht sich auf die Folgen von Handlungen, wobei es intangible Werte gibt; 2. Deontische oder Pflichtenethik: Die moralische Bewertung bezieht sich auf die gebotene Handlung; 3. Intentionalistische oder Gesinnungsethik: Die moralische Bewertung bezieht sich auf die Absichten und die Gesinnung, die einer Handlung zugrunde liegen. Alle drei Grundrichtungen kommen in der ethischen Debatte gemischt vor. Eine gute Übersicht gibt Kutschera 1982.

<sup>71</sup> Nach Nida-Rümelin 1996, S. 878 ff.

<sup>72</sup> Vgl. Grunwald/Kopfmüller 2006.

Es geht darum, Technikzukunft nicht nur im Hinblick auf Nachhaltigkeit zu bewerten, sondern sie geradezu im Hinblick auf dieses Leitbild zu gestalten.

(2) *Vorsorgeprinzip*: Viele Folgen der Nutzung von Technik sind einerseits „schleichend“ und daher teils schwer zu erkennen, andererseits possibilistischer Natur (Kap. 4.1.2), sodass sich nicht sagen lässt, ob, wann und in welchem Umfang sie reale Auswirkungen haben werden. Hierzu gehören zum Beispiel schleichende Bedrohungen der natürlichen Ressourcen wie die Anreicherung von Chemikalien in Böden, in den Ozeanen und im Grundwasser, die Erschöpfung fossiler Energievorräte oder der Klimawandel. Zukunftsverantwortung bedeutet die Notwendigkeit von Vorsorge. Neben ethischen Erwägungen der Vermeidung möglicherweise irreversibler Schäden für die natürliche Umwelt und katastrophaler Risiken für den Menschen spielen häufig auch ökonomische Argumente eine Rolle. Denn eine Reparatur eingetretener Schäden ist eventuell gar nicht oder nur mit großem Aufwand möglich. Das Vorsorgeprinzip betrifft Fragen, in denen es denkmögliche Risiken mit erheblichem Schadenspotenzial gibt, das gesicherte Wissen gleichwohl gering ist oder durch wissenschaftliche Kontroversen geprägt.<sup>73</sup> Der Vorsorgepflichtung steht das *Übermaßverbot* entgegen: Nicht jeglicher bloße Verdacht auf Risiken rechtfertigt beliebig dramatische Reaktionen. Die Anwendung des Vorsorgeprinzips im Spannungsfeld zwischen berechtigter Vorsorge und übertriebener Sorge stellt eine Herausforderung an Bewertungen von Technikzukunft dar.

(3) *Ambivalenzen der Technik*: Wissenschaftlich-technischer Fortschritt führt zu einer *Erweiterung* der menschlichen Handlungsmöglichkeiten, einer Vergrößerung der menschlichen Autonomie. Der atemberaubende wissenschaftlich-technische Fortschritt in den letzten 200 Jahren hat dazu geführt, dass die Erwartungen an die Problemlösefähigkeit der Technik immer höher geschraubt und teils

überzogen wurden (und werden). Fortschrittsideologie und Technikgläubigkeit sind Begriffe, die in diesem Kontext immer wieder genannt werden. Einseitige Positionierungen pro und contra stehen einem unvoreingenommenen und nüchternen Blick auf Technikzukunft jedoch entgegen. Wir dürfen nicht die Augen vor der „anderen Seite“ des Fortschritts verschließen. Auf der Kehrseite kann der technische Fortschritt bisherige Optionen verschließen oder ihre Zugänglichkeit erschweren. So kann zum Beispiel in einer technisch perfektionierten Welt das Leben als behinderte Person an Anerkennung verlieren. Auch kann es zu Anpassungserzwingung durch technische Systeme kommen, die die Wahlfreiheiten und damit die Autonomie des Individuums einschränkt. Ressourcenverbrauch und Umweltverschmutzung stehen auf der negativen Seite genauso wie Techniknutzung für problematische Zwecke. Die informationelle Selbstbestimmung als Teil der Autonomie des Individuums kann durch Technik eingeschränkt werden; externe Kontrolle über Menschen kann mit technischen Mitteln realisiert werden. Speziell der Begriff der Technisierung wird häufig mit einer Unterordnung des Menschen unter Technik, einem Kontrollverlust und zunehmender, Unbehagen verbreitender Abhängigkeit des Menschen von der Technik in Verbindung gebracht. Andererseits wird durchaus gesehen, dass neue technische Möglichkeiten auch neue Möglichkeiten der persönlichen Entfaltung mit sich bringen können. Menschliche Autonomie und technischer Fortschritt stehen in einem ambivalenten Verhältnis, das es in der Bewertung von Technikzukunft zu berücksichtigen und zu bewerten gilt.

Bewertungen von Technikzukunft finden vor dem Hintergrund eines kontinuierlich ablaufenden *Wertewandels* statt (Kap. 5.1). Die dadurch entstehende Problematik, Technikzukunft nur mit heutigen Wertmaßstäben, nicht aber mit jenen der zukünftigen Zeit, für die sie gemacht wurden, bewerten zu können, wird noch dadurch verschärft, dass der wissenschaftlich-technische Fortschritt selbst mit zum

<sup>73</sup> Vgl. Schomberg 2005.

Wertewandel beiträgt (Kap. 3). Das Aufkommen neuer Möglichkeiten insbesondere im biomedizinischen Bereich kann Wahrnehmungen, Einstellungen, Werte und Handlungsmuster in großen Bevölkerungsteilen verändern. Der technische Fortschritt beeinflusst die normativen Grundlagen mit, von denen aus Technik zu bewerten wäre. Die normativen Anteile der Entscheidungsgrundlagen wie rechtliche Bestimmungen, ethische Grundsätze, nicht kodifizierte Verhaltensstandards, Moralvorstellungen etc. sind also nicht einfach feste Randbedingungen für die Technikentwicklung, sondern werden durch neue Technik herausgefordert und infrage gestellt. Dies hat zur Folge, dass Bewertungen von Technikzukünften nicht „ein für alle Mal“ erfolgen, sondern selbst als Prozess verstanden werden müssen, in dem einmal erfolgte Bewertungen, auch wenn sie die Grundlage für Entscheidungen bilden, den Charakter des Vorläufigen und Veränderbaren behalten.

Dies steigert noch die Anforderungen an den *Prozess* der Bewertung von Technikzukünften. Es ist Transparenz zu gewährleisten, es sind Ziel- und Wertkonflikte aufzudecken, es

sind die Wertsysteme der jeweils Betroffenen zu berücksichtigen etc. In der modernen ausdifferenzierten Gesellschaft herrscht ein Wertepluralismus, der nicht nur faktisch vorhanden, sondern auch legitim ist. In diesem Pluralismus friedliche Verständigungsprozesse und Bewertungsverfahren zu ermöglichen, gehört zu den ständigen Herausforderungen in einer sich wandelnden Demokratie. Die jahrzehntelangen Auseinandersetzungen um die Zukunft der Kernenergie in Deutschland, um den Einsatz des Transrapid und in den letzten Jahren um das Bahnprojekt Stuttgart 21 sind Beispiele dafür, wie schwierig es sein kann, in Bezug auf Technikzukünfte zu einer Einigung zu kommen, die dann auch – wenigstens eine Weile – Bestand hat. Diese Beispiele zeigen vor allem auch, dass offene und transparente Dialoge möglichst frühzeitig eingeleitet werden sollten und dass in ihnen auch alternative Technikzukünfte zur Diskussion gestellt werden sollten. Die Mühsal im Austragen derartiger Wert- und teils auch Interessenkonflikte ist nicht expertokratisch ersetzbar – jedenfalls nicht in einem demokratischen System.

## 6 TECHNIKZUKÜNFTEN IN GESELLSCHAFTLICHEN TEILBEREICHEN

Technikzukünfte haben in der Regel reale Folgen. Sie strukturieren massenmedial geführte Debatten über Chancen und Risiken neuer Technologien, sie leiten politische Entscheidungen an, sie orientieren Investitionsentscheidungen in der Wirtschaft, sie beeinflussen die Agenda der Technikwissenschaften selbst, sie können große Programme der Forschungsförderung motivieren oder auch erbitterten gesellschaftlichen Widerstand mobilisieren. In diesem Kapitel gehen wir nach einer Darstellung von Institutionen und Akteuren (6.1) auf drei Bereiche ein, in denen Technikzukünfte unzweifelhaft eine besonders große Rolle spielen. Dies sind die Wirtschaft (6.2), die Politik (6.3) und die Massenmedien (6.4). Mit der Reihenfolge ist keine Wertung oder Hierarchisierung verbunden.

Es muss jedoch betont werden, dass die Fragen, wie Technikzukünfte – und Zukünfte im Allgemeinen – in den unterschiedlichen Teilbereichen genau rezipiert und verwendet werden und welche Wirkung sie daraufhin in der öffentlichen Meinungsbildung, in politischen Entscheidungen oder auch in der unternehmerischen Strategiebildung im Detail haben, auf Grundlage der verfügbaren Untersuchungen weitgehend unbeantwortet bleiben müssen. Vielmehr handelt es sich hierbei um eine zentrale Forschungslücke, deren systematische Bearbeitung dringend angeraten wird. Demzufolge können die folgenden Erläuterungen keine systematische Analyse präsentieren, sondern haben eher kursorischen Charakter.

### 6.1 INSTITUTIONEN UND AKTEURE

Im Feld der Technikzukünfte spielen unterschiedliche Akteursgruppen eine Rolle. Zunächst kann man Anbieter und Nachfrager bzw. Hersteller und Nutzer unterscheiden. Technikzukünfte werden „gemacht“, von einzelnen Menschen oder von Teams, zu verschiedenen Zwecken und unter Verwendung höchst unterschiedlicher Bestandteile wie Wissen

und Werte. Angebot und Nachfrage stehen in einem mehr oder weniger engen Verhältnis, und auch im Bereich der Politikberatung kann man bereits von einem „Markt“ sprechen<sup>74</sup>, auf dem konkurrierende Anbieter um Marktanteile kämpfen.

Eine weitere Unterscheidungsmöglichkeit besteht in der gesellschaftlichen Reichweite. Auf der Mikroebene kann es sich um Szenarien für die Entwicklung hoch spezialisierter Technologien oder um einzelne technische Projekte handeln, die in Bezug auf ihre zukünftigen Folgen untersucht und bewertet werden. Auf der Mesoebene von Institutionen im lokalen oder regionalen Rahmen kann zum Beispiel über die zukünftige Infrastruktur der Energieversorgung in Regionen befunden werden, etwa im Wechselspiel zwischen Stadtwerken, lokalen Anbietern, Stakeholdern und kommunalen Behörden. Auf der Makroebene schließlich geht es zum Beispiel um übergreifende, die gesamte Gesellschaft betreffende Infrastrukturfragen oder um Querschnittstechnologien, die eine umfassende Durchdringung erzielen werden und die zukünftigen Bedingungen beispielsweise des Arbeitens und Lebens beeinflussen.

Entscheidend ist, dass die Anbieter der Technikzukünfte das Vertrauen der Nachfrager, Nutzer und Betroffenen gewinnen. Angesichts der beschriebenen Gefahr der Beliebigkeit von Szenarien oder anderen Zukünften (Kap. 4.1.2) ist Vertrauen eine entscheidende Ressource. In wissenschaftlich erzeugten Technikzukünften ist es üblicherweise die Wissenschaftlichkeit selbst, die als Legitimationsbasis dient.<sup>75</sup> Diese wiederum wird dadurch nachgewiesen, dass etwa in Begutachtungen von externer Seite die wissenschaftliche Qualität der Teams oder der Institute bestätigt wird. Die wissenschaftliche Qualität freilich hilft dann nicht weiter, wenn, und dies kommt vor, divergierende Technikzukünfte von Instituten präsentiert werden, die beide als exzellent eingestuft werden.

<sup>74</sup> Vgl. Nullmeier 2007.

<sup>75</sup> Vgl. auch Selin 2006.

Dies macht deutlich, dass Wissenschaftlichkeit hier nur von relativer Legitimationsleistung ist. Die Wissenschaftlichkeit von Technikzukünften bemisst sich nicht daran, dass sie zutreffen. Komplette unterschiedliche Zukünfte können gleichermaßen wissenschaftlich begründet sein, wenn sie unterschiedliche Annahmen treffen, Wissensbestände unterschiedlich in die Zukunft extrapolieren, unterschiedliche Entwicklungen für relevant oder irrelevant halten oder wenn sie von unterschiedlichen normativen Setzungen ausgehen. Dahinter steht die Tatsache, dass Technikzukünfte nicht bloß Wissen, sondern auch Werte bzw. normative Prämissen beinhalten, und die können sich zwischen Teams und zwischen Instituten unterscheiden. Die Wissenschaftlichkeit der Technikzukünfte äußert sich damit nicht in den Zukünften als Ergebnis von Entstehungsprozessen, sondern in der methodischen Qualität dieser Entstehungsprozesse und der Qualität der dabei verwendeten Annahmen und Wissensbestände.

An dieser Stelle kommt es daher darauf an, die enthaltenen Werte und Annahmen offenzulegen (Transparenz). Dies ist üblicherweise in politikberatenden Institutionen sogar formal verpflichtend (so etwa für das Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag). Diese Transparenz erlaubt dem Nutzer, die betreffende Technikzukunft besser zu verstehen und einzuordnen. Legitimation heißt also, dem Nutzer nicht nur Technikzukünfte anzubieten, sondern dazu gleichsam einen Beipackzettel, eine Meta-Information über die Zukünfte.

Ein weiterer Mechanismus der Legitimationssteigerung wird vielfach in der Nutzung partizipativer Verfahren gesehen. Dadurch können zusätzliche Perspektiven eingeholt und weiteres Wissen und andere Einschätzungen berücksichtigt werden, die das Risiko der Betriebsblindheit oder anderer „blinder Flecken“ reduzieren. Technikzukünfte können auf diese Weise „robuster“ gemacht werden.

Wie Legitimation im Einzelnen von Akteuren und Institutionen erzeugt wird, liegt natürlich am Einzelfall, genauso wie die Nutzungsformen und Folgen der Nutzung von Technikzukünften sich stark nach Sektoren unterscheiden. Im Folgenden werden wir unter diesem Blickwinkel die Nutzung von Technikzukünften in Unternehmen, in der Politikberatung und in den Medien näher betrachten.

## 6.2 WIRTSCHAFT

„Every action decision implies some assumption about the future“ (W. Harmann).<sup>76</sup> Dies gilt auch und insbesondere für ökonomische Entscheidungssituationen. Hier wird entschieden, in welche Richtung sich ein Unternehmen zukünftig entwickeln soll. Unternehmen, in denen Technologien die Marktleistung oder das Geschäft prägen, sollten daher Technikzukünfte in ökonomischen Entscheidungssituationen berücksichtigen. Für die Führungsmannschaft eines technologieorientierten Unternehmens ist es von hoher Bedeutung, sich regelmäßig mit möglichen technologischen Entwicklungen zu befassen und eine gemeinsame Vorstellung von der Zukunft zu entwickeln.

Im Unternehmen erfüllen Technikzukünfte drei zentrale Aufgaben: Sie dienen der Vorbereitung strategischer Entscheidungen, der langfristigen Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit sowie der dauerhaften Stärkung der Lern- und Innovationsfähigkeit von Unternehmen.<sup>77</sup> Damit müssen sie vor allem den Anforderungen des Unternehmens genügen – die Forderung nach öffentlicher Transparenz gilt hier nur eingeschränkt. Angewendet werden Technikzukünfte schwerpunktmäßig in der Strategie- und Geschäftsmodellentwicklung, in der Produkt- und Technologieplanung sowie der Marketingstrategie.<sup>78</sup> Im Folgenden werden die beiden Anwendungsbereiche mit den entsprechenden Aufgaben von Technikzukünften beschrieben:

<sup>76</sup> Vgl. Harmann 1976.

<sup>77</sup> Vgl. Burmeister et al. 2004.

<sup>78</sup> Vgl. Burmeister 2010.

In der *Strategie- und Geschäftsmodellentwicklung* stellen Technikzukünfte eine wesentliche Grundlage für die Entwicklung von Geschäfts-, Produkt- oder Technologiestrategien dar. Durch das systematische Ausleuchten des Zukunftsraums werden künftige Chancen (Erfolgs- bzw. Nutzenpotenziale) aufgespürt und auch Bedrohungen für das etablierte Geschäft von heute erkannt. Basierend auf diesen Erkenntnissen beschreibt die Strategie ausgehend von der heutigen Situation den Weg zu einer gedachten Situation in der Zukunft („unternehmerische Vision“), in der die zukünftigen Erfolgspotenziale erschlossen werden und den sich abzeichnenden Bedrohungen aus dem Weg gegangen wird.

Die unternehmerische Vision setzt sich zusammen aus einem Leitbild, strategischen Erfolgspositionen sowie Produkt-Markt-Kombinationen. Im Rahmen der Strategieentwicklung gilt es, ausgehend von den heutigen Stärken und Schwächen des Unternehmens, strategische Erfolgspositionen sowie Produkte und Märkte so zu wählen, dass sie den nachhaltigen Erfolg der Unternehmung sichern. Hierfür ist eine Zukunftsbetrachtung unerlässlich.

Bei mehreren entwickelten Zukünften stellt sich die Frage, welche der möglichen Zukünfte tatsächlich eintreten wird. Da diese Frage per se nicht beantwortet werden kann, existieren verschiedene Wege zur Strategieentwicklung: Zunächst kann eine Strategie so entwickelt werden, dass sie möglichst allen bzw. einem Großteil der Zukunftsvorstellungen gerecht wird; das ist eine sogenannte zukunftsrobuste Strategie. Zum anderen kann eine Strategie fokussiert auf nur eine Zukunftsvorstellung gewählt werden. In der Regel erfolgt eine fokussierte Strategieentwicklung, da eine zukunftsrobuste Entwicklung eher mit einer Vergeudung von Ressourcen für das Unternehmen verbunden ist. Bei der fokussierten Strategieentwicklung ist es allerdings wichtig, dass ein regelmäßiges Prämissen-Controlling stattfindet. Das bedeutet, dass die getroffenen Annahmen überprüft

und die Zukunftsvorstellung sowie die entwickelte Strategie gegebenenfalls angepasst werden.

In der *strategischen Produkt- und Technologieplanung* werden Technikzukünfte zur Potenzialfindung eingesetzt. Ziel ist es, die Erfolgspotenziale von morgen frühzeitig zu identifizieren. Es geht also darum, die Chancen aus der technologischen Entwicklung (Technology Push) und der Entwicklung von Märkten (Market Pull) zu erkennen. Diese gilt es zeitgerecht durch neue Produkte, Dienstleistungen und Leistungserstellungsprozesse zu erschließen. Da sich der Erfolg eines heute entwickelten Erzeugnisses in der Zukunft entscheidet, wesentliche Eigenschaften eines Produkts jedoch bereits sehr früh im Entwicklungsprozess festgelegt werden, versuchen Unternehmen Produkte, Produktionssysteme und Wertschöpfungsnetze zukunftsrobust zu gestalten. Dabei geht es um die möglichst weitgehende Sicherung eines angemessenen Return-on-Investment einer Investition in Forschung und Entwicklung (F&E) unter Beachtung des Leitbilds der nachhaltigen Entwicklung sowie um die langfristige Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit. Hierfür ist eine Zukunftsbetrachtung notwendig.<sup>79</sup>

Eine Möglichkeit, technologische Erfolgspotenziale zu identifizieren, bietet beispielsweise die strategische Frühaufklärung. Mittels Technologie-Scanning werden neu entstehende Technologien erkannt und durch das Technologie-Monitoring kontinuierlich beobachtet, bewertet und analysiert. So können frühzeitig Erfolg versprechende Technologien in die F&E-Aktivitäten des Unternehmens aufgenommen werden. Ein Beispiel hierfür liefert das Unternehmen General Electric Plastics (GEP). Aufgrund der ständig wachsenden Anforderungen an den Leichtbau von Komponenten und an Systeme des Automobils wurde der Einsatz von Leichtmetallen und Kunststoffen in den 1980er Jahren zunehmend wichtiger. GEP hat frühzeitig die schwachen Signale des aufkommenden Trends erkannt und diesen konsequent als Chance genutzt; mit dem Ergebnis, dass GEP

<sup>79</sup> Vgl. Gausemeier et al. 2001, 2009.

doppelt so schnell wie vergleichbare Unternehmen in der Chemieindustrie wuchs.<sup>80</sup>

Neben der unternehmensinternen Verwendung werden Technikzukünfte auch zur externen Innovationskommunikation genutzt. Ein prominentes Beispiel hierfür ist die Zeitschrift „Pictures of the Future“ der Siemens AG. Die Zeitschrift skizziert künftige Lebenswelten mit Blick auf Aspekte wie nachhaltige Mobilität, grüne Städte oder die Zukunft der Fabriken und stellt den möglichen Beitrag von Technologien zu diesen Visionen vor. Zielgruppe der Zeitung sind primär aktuelle und potenzielle F&E-Partner aber auch Multiplikatoren der öffentlichen Meinungsbildung.<sup>81</sup> Durch die Zeitung kann Siemens ein gemeinsames Verständnis über die Zukunft innerhalb des Unternehmens entwickeln und über das Unternehmen hinaus kommunizieren.

Technikzukünfte haben so nicht nur Auswirkungen auf einzelne Unternehmen, sondern sie beeinflussen oftmals das Geschehen einer ganzen Branche. Ein eindrucksvolles Beispiel hierfür ist das Moore'sche Gesetz. Gordon Moore, Mitbegründer des Unternehmens Intel, prognostizierte im Jahr 1975, dass sich die Integrationsdichte von Halbleitern alle 18 Monate verdoppeln wird. Die Unternehmen folgten dieser Prognose, um weiterhin wettbewerbsfähig zu sein. So wurde das Moore'sche Gesetz zu einer selbsterfüllenden Prophezeiung.

„Die Zukunft wird uns immer überraschen – aber sie sollte uns nicht überrumpeln.“<sup>82</sup> Für Unternehmen ist es daher wichtig, die Grenzen des gewohnten Denkens zu überwinden. Weil Menschen dazu neigen, ihre Erfahrungen auf die Zukunft zu projizieren, unterbleibt die mentale Vorbereitung auf mögliche tief greifende Veränderungen. Findet eine solche Vorbereitung jedoch statt, sorgt dies im Veränderungsfall für kurze geistige Rüstzeiten und adäquate Reaktionen. Unternehmen sind daher gut beraten,

Technikzukünfte in ihre ökonomischen Entscheidungssituationen einzubeziehen; wenngleich jede Entscheidung, die auf Technikzukünften beruht, mit einem gewissen Maß an Unsicherheit verbunden ist. Technikzukünfte können daher in ökonomischen Entscheidungssituationen immer nur eine Unterstützungsfunktion einnehmen.

### 6.3 POLITIK

Gängigen Deutungen zufolge sind es in den modernen Gesellschaften vorwiegend Zukunftsüberlegungen, die politisches Handeln anleiten – im Gegensatz zu traditionellen Gesellschaften, die Orientierung stark aus Vergangenheit und Tradition bezogen. In vielen Feldern erfordern politische Entscheidungen dabei eine prospektive wissenschaftliche Befassung mit Wissenschaft und Technik. Einige einschlägige Bereiche sind die Wirtschafts- und Konjunkturpolitik, die Gesundheitspolitik, die Energie- und Klimapolitik oder die Umweltpolitik. Dienen einerseits Technikzukünfte dazu, in diesen Feldern Orientierung für anstehende Entscheidungen zu geben, werden sie andererseits auch in umgekehrter Weise verwendet: als nachträgliche Legitimierung bereits getroffener Entscheidungen. Transparenzerwartungen einer demokratischen Öffentlichkeit stoßen hier immer wieder an Grenzen.

Die zunehmende Bedeutung von Wissenschaft und Technik lastet gerade politischen Entscheidungen eine erhebliche Tragweite auf. Entscheidungen über den Einstieg in oder den Ausstieg aus Technikinien, über Regulierungen und Förderprogramme, über neue Entwicklungsvorhaben oder den Abbruch von Entwicklungslinien werden in aller Regel erhebliche Folgen für die weitere Entwicklung haben. Sie werden die Wettbewerbsfähigkeit von Volkswirtschaften oder Unternehmen beeinflussen, Rohstoff- und Abfallströme in Gang setzen oder verändern, sie werden möglicherweise

<sup>80</sup> Vgl. Beresheim et al. 1999; GE Plastic 1988.

<sup>81</sup> Vgl. Eberl 2009.

<sup>82</sup> R.B. Fuller, zitiert nach Henzler 1988, S. 837.

Akzeptanzprobleme schaffen oder Technikkonflikte schüren, sie werden Wertsysteme infrage stellen und können neue gesellschaftliche „Befindlichkeiten“ schaffen. Wissenschaftliche Beratung, die häufig zur Unterstützung politischer Entscheidungen herangezogen wird, hat erheblichen Einfluss. Umso wichtiger wird es, ein reflektiertes Bild von Technikzukünften zu schaffen und transparente Regeln für den Umgang mit ihnen aufzustellen.

Einen Eindruck von der Bedeutung, aber auch der Problematik der Nutzung wissenschaftlicher Technikzukünfte für politische Entscheidungen gibt die Geschichte des Energiekonzepts der Bundesregierung vom Herbst 2010. Geradezu wie im Handbuch eines durch Zukunftsüberlegungen gestützten politischen Handelns wurde von der Bundesregierung an ein energiewirtschaftliches Konsortium der Auftrag vergeben, Energieszenarien zu erstellen, in deren Rahmen sodann das Energiekonzept platziert wurde, das deutliche Laufzeitverlängerungen für deutsche Kernkraftwerke enthielt. Ein erstes Problem war, dass rasch in den Medien der Verdacht geäußert wurde, dass eines der Ergebnisse – nämlich dass die Laufzeitverlängerung nicht den Ausbau der erneuerbaren Energien behindere – bereits vorher festgestanden habe. Dies lässt sich genauso wenig nachweisen wie das Gegenteil. Die Diskussion machte aber auf die Problematik der Ideologiefälligkeit von Technikzukünften aufmerksam, genauso wie auf das Problem, einen solchen Verdacht zu entkräften (Kap. 5.1). Als zweites Problem zeigte sich nach Fukushima, dass solche Energiezukünfte unter Umständen rasch veralteteten, womit sowohl die starke Gegenwartsbezogenheit von Zukünften generell als auch die Tatsache deutlich wird, dass ihre Rolle im politischen Entscheiden von sehr vielen und auch unvorhersehbaren Ereignissen abhängen kann.

Die Indienstnahme von Technikzukünften für politische Zwecke ist vielfältig. So hatte die Ankündigung John F. Kennedys aus dem Jahre 1960, bis zum Ende des Jahrzehnts Menschen zum Mond und zurückzubringen, vor allem eine

Funktion im Kalten Krieg, während die wissenschaftlichen Ziele zweitrangig waren. Ronald Reagans „Star Wars“-Initiative (SDI) in den 1980er Jahren kann man ebenfalls als primär ideologisch motiviert ansehen. Vielfach ist das Setzen auf bestimmte Technikzukünfte Ausdruck einer politisch-gesellschaftlichen Konstellation. So war der deutsche Einstieg in die Kernenergie in den 1950er Jahren auch dadurch motiviert, dass nach dem militärisch und moralisch katastrophal verlorenen Zweiten Weltkrieg dieses Technikfeld eine Chance bot, sich positiv zu profilieren.

Technikzukünfte haben für politisches Handeln in bestimmten Handlungsfeldern besondere Bedeutung.<sup>83</sup> Dies betrifft insbesondere

- den Staat als Technikauftraggeber: zum Beispiel durch Steuerung und Finanzierung bestimmter Raumfahrtprojekte, Infrastrukturprojekte, nukleare End- oder Zwischenlager sowie Sicherheits- und Militärtechnik,
- den Staat als Technikförderer: zum Beispiel durch Förderprogramme zur Fusionsforschung oder Nanotechnologie,
- den Staat als Regulierer: zum Beispiel durch Setzung von Grenzwerten, von Sicherheits- oder Umweltstandards oder die Bemessung technikrelevanter Steuersätze
- sowie den Staat als Techniknutzer: zum Beispiel im Rahmen einer nachfrageorientierten Innovationspolitik oder als Nutzer von Mess-, Kontroll-, Überwachungs-, Polizei- und Militärtechniken.

Dabei haben wirtschaftliche Argumente seit etwa den 1990er Jahren an Bedeutung zugenommen. Vor allem im Zuge der ökonomischen Globalisierung verbunden mit der Notwendigkeit, sich in dem dadurch verschärften Wettbewerb zu behaupten, hat die Politik stärker die Rolle des Technikförderers angenommen, um für Innovation förderliche Rahmenbedingungen zu schaffen, bis hin zum Bildungssystem und zur Forschungsförderung.

<sup>83</sup> In dieser Form nach Grunwald 2010b, zurückgehend letztlich auf Mayntz 1987.

In den genannten Handlungsfeldern werden unterschiedliche Typen von Technikzukünften eingesetzt und auch unterschiedlich genutzt. Frühwarnungen, etwa vor technischen Risiken, spielen eine große Rolle in öffentlichen Debatten und können, vermittelt über Massenmedien, einen erheblichen Einfluss auf politische Entscheidungen haben. Die Früherkennung technischer Potenziale bietet politischen Entscheidern die Chance, als Gestalter oder Ermöglicher positiver Entwicklungen aufzutreten (etwa durch die Einführung fördernder Faktoren und den Abbau von Hemmnissen) statt bloß negative zu verhindern. Die involvierten Unsicherheiten freilich sind in beiden Ausprägungen gleich: Aussagen über apokalyptische Bedrohlagen und Versprechungen paradiesischer Zustände sind gleichermaßen spekulativ.

Einen ganz anderen Typ von für die Politik relevanten Technikzukünften stellen Zielformulierungen und Pläne dar, für deren Erreichung in bestimmten Fällen Technologien eine entscheidende Rolle spielen. Zu nennen sind hier als Beispiele die deutschen und europäischen Klimaziele, die ganz erheblich auf den Einsatz energieeffizienter und CO<sub>2</sub>-armer Technologien angewiesen sind, oder das DESERTEC-Programm. Methodisch interessant sind diese Beispiele, weil durch Ziele und Pläne einerseits Technikzukünfte „festgelegt“ werden. Beispielsweise werden in Entscheidungen über Infrastrukturen oder Kraftwerksbauten bestimmte Optionen gesetzt und andere geschlossen und damit Fakten geschaffen. Andererseits ist die Sinnhaftigkeit von Zielen und Plänen selbst davon abhängig, dass bestimmte zukünftige Randbedingungen erfüllt werden und erwartete Entwicklungen eintreten. So werden zum Beispiel Kraftwerke relativ zu Annahmen über den zukünftigen Energiebedarf geplant und gebaut – wenn diese Annahmen nicht eintreffen, sind die Kraftwerke zwar „Realität“ geworden, aber möglicherweise ökonomisch nicht sinnvoll. Genau diese Dualität verhindert die Realisierbarkeit eines Planungsoptimismus.

In den letzten zehn Jahren ist der Typus der weit ausgreifenden Visionen im Kontext von Wissenschaft und Technik auch in politische Debatten eingewandert. Der Titel der ersten amerikanischen Förderinitiative zur Nanotechnologie „Shaping the World Atom by Atom“, noch von Bill Clinton und Al Gore umgesetzt, atmet diesen Geist. Hier werden Technikzukünfte in den Rahmen der „grand narratives“ gestellt.<sup>84</sup> Gleichwohl handelt es sich nicht bloß um politische Lyrik oder Rhetorik, sondern auch dieser Typ von Zukunftskommunikation kann reale Folgen für Politikprogramme haben.<sup>85</sup>

Mit allen diesen Verwendungsweisen von Technikzukünften in politischen Entscheidungen und der Politikberatung ist ein Grundsatzproblem verbunden. Da Technikzukünfte stets uneliminierbare Anteile des Nichtwissens enthalten und es deswegen zu divergierenden und teils unvereinbaren Einschätzungen kommt, ist jeweils zu entscheiden, auf welche dieser Technikzukünfte konkrete Entscheidungen abgestützt werden sollen. Im Bereich der Energieszenarien: Welche der für das Jahr 2050 teils dramatisch divergierenden Szenarien soll Politik als Entscheidungsgrundlage verwenden?<sup>86</sup> Für politische Entscheidungen muss zunächst festgestellt werden, welche Technikzukünfte im jeweiligen Fall relevant, adäquat und zuverlässig erscheinen. Der Entscheidungsmodus ist also zweistufig: Es müssen erst die Technikzukünfte identifiziert werden, denen man „traut“, und dann kann auf dieser Basis die anstehende Entscheidung getroffen werden. Im Hinblick auf die Kriterien, um zu entscheiden, welche Zukünfte „am besten geeignet“ sind, anstehende Entscheidungen zu orientieren, besteht hohe Unsicherheit. Immer noch wird von einer „guten“ Technikzukunft oft genug erwartet, dass dies eine ist, die auch eintritt – das ist jedoch nach allem in diesem Leitfadens Gesagten eine irreführende Erwartung. „Gute“ Technikzukünfte im politischen Handeln können genauso gut solche sein, die das politische System motivieren, negative Entwicklungen zu unterbinden und

<sup>84</sup> Vgl. DEEPEN 2009.

<sup>85</sup> Vgl. Coenen 2008.

<sup>86</sup> Vgl. Grunwald 2011.

damit gerade das Eintreffen der Technikzukunft verhindern. Oder „gute“ Technikzukünfte können auch darin bestehen, dass sie zu allererst einmal zum Nachdenken anregen, neue Fragen in die Welt setzen und neue Perspektiven eröffnen – völlig unabhängig davon, ob diese Technikzukünfte einmal eintreten oder nicht. Vielleicht ist die Abkopplung der „Qualität“ von Technikzukünften von ihrem tatsächlichen Eintreten nirgends so deutlich wie in ihrer politischen Nutzung.

#### 6.4 ÖFFENTLICHKEIT UND MEDIEN

Solange es um Visionen über die Entwicklung neuer Produkte mit einem geringen gesellschaftlichen ‚impact‘ geht, liegt das Risiko, ob die Vision Realität wird oder nicht, in erster Linie bei den Entwicklern und Produzenten. Es gilt Kunden zu gewinnen, und dafür soll die Werbung sorgen. Die ‚großen‘ Techniken mit weitreichenden gesellschaftlichen Implikationen, sei es in der Form von Folgen für soziale Beziehungen, sei es in Form von (tatsächlichen oder wahrgenommenen) Risiken für Gesundheit und Leben der Menschen oder die Erhaltung der Natur, stellen ein andersartiges Problem: Sie erfordern die Partizipation und Zustimmung der Öffentlichkeit. Debatten und Entscheidungen über Technik müssen sich – zumindest in demokratisch verfassten Gesellschaften – dieser Herausforderung stellen. Ein großer Teil dieser Debatten läuft über Technikzukünfte, mithilfe derer Erwartungen über Chancen und Befürchtungen hinsichtlich neuer und unbekannter Risiken kommuniziert werden.

Seit den Konflikten um die Kernenergie in den 1970er Jahren ist die teils kritische Haltung der Öffentlichkeit gegenüber bestimmten Techniken zum Gegenstand politischer Diskussionen geworden.<sup>87</sup> Nicht nur in Deutschland, sondern – mit unterschiedlichen Akzenten – in allen hoch

entwickelten Industrieländern mündete dies immer wieder in eine Polarisierung zwischen Technikbefürwortern und Technikgegnern. Dabei wird den Medien eine besonders kritische Rolle, nämlich die der Sensationalisierung und Dramatisierung des Widerstands gegen Technik und damit auch dessen Verstärkung zugeschrieben. Nun ist zwar unbestreitbar, dass den Medien eine zentrale Funktion in der Information der Öffentlichkeit und der Willensbildung wie generell in der Gestaltung öffentlicher Diskurse zu wissenschaftlichen und technischen Entwicklungen zukommt. Aber weder sind die Medien in ihrer Berichterstattung einheitlich, noch haben sie eine eindimensionale Wirkung auf die Meinungsbildung. Untersuchungen haben vielmehr gezeigt, dass die Berichterstattung der Medien zu bestimmten Technologien keineswegs so negativ war, wie seitens der Politik und der Befürworter unterstellt wird.<sup>88</sup> Außerdem ist gezeigt worden, dass sich die Muster der Diskurse und damit der ‚Einbettung‘ neuer Technologien in die Gesellschaft von Technologie zu Technologie unterscheiden, abhängig unter anderem von der Einschätzung der Motive der Wissenschaftler, den betroffenen Werten, den vermuteten Risiken und dem wahrgenommenen Nutzen, also wiederum abhängig von den Erwartungen oder Befürchtungen in Bezug auf Technikzukünfte.<sup>89</sup>

Die öffentlichen Diskussionen über umstrittene Technologien haben überdies gezeigt, dass eine weitere verbreitete Annahme nicht richtig ist, nämlich die Haltung der Öffentlichkeit gegenüber der Technik sei irrational und beruhe auf Unwissen. Ebenso wenig lässt sich die daraus abgeleitete Folgerung von Wissenschafts- und Wirtschaftspolitikern bestätigen, dass sich eine breitere Akzeptanz durch Informations- und Bildungskampagnen (Public Understanding of Science and Technology) erreichen lasse.<sup>90</sup> Diverse Umfragen (vor allem auf EU-Ebene) belegen, dass eine gut informierte Öffentlichkeit nicht automatisch zu einer größeren

<sup>87</sup> Vgl. den jüngst erschienenen Beitrag zur Debatte um Technikakzeptanz acatech 2011.

<sup>88</sup> Siehe zum Beispiel zu Gentechnik Hampel/Renn 1999; generell zu Technikakzeptanz in Deutschland Hennen 2002.

<sup>89</sup> Weingart et al. 2008.

<sup>90</sup> Eine kritische Aufarbeitung dieser Grundannahme findet sich in Dierkes/Grote 2000.

Akzeptanz führt. Vielmehr zeigt sich, dass die stark differenzierten Einstellungen zu verschiedenen Technologien (unter anderem Kernenergie, Biotechnologie, Gentechnologie, Nanotechnologie) von Werthaltungen, von Risikoeinschätzungen, vom wirtschaftlichen Entwicklungsstand des jeweiligen Landes (Lebensstandard) und vom Informations- und Bildungsniveau abhängen.

Im Hinblick auf die Kommunikation von Technikzukünften ergeben sich daraus einige Schlussfolgerungen:

- Die Medien spielen bei der Vermittlung von Technikzukünften eine zentrale, aber differenzierte Rolle, die im Hinblick auf die Rezeption in der Öffentlichkeit sowie die Wirkung auf Einstellungen und Meinungsbildung noch näher untersucht werden sollte. Außerdem muss noch weiter erforscht werden, wie die Medien die Technikzukünfte verarbeiten, die seitens der Wissenschafts- und Technikakteure bereitgestellt werden.
- Die Forschungen zu Einstellungen gegenüber speziellen Techniken müssen einerseits verfeinert werden, um den Einfluss der unterschiedlichen Faktoren genauer bestimmen zu können. Andererseits, und wichtiger noch, muss das Paradigma der Akzeptanzbeschaffung infrage gestellt werden. Stattdessen ist zu fragen, welche institutionellen Mechanismen entwickelt werden können, die geeignet sind, Technikvisionen einem aufgeklärten Meinungsbildungsprozess auszusetzen, um deren demokratische Gestaltung zu gewährleisten.

Im Folgenden werden kurz drei Beispiele mit je spezifischen Eigenschaften vorgestellt: Nanotechnologie, Gentechnologien und die Energiedebatte. Jedes dieser Felder verdient eine eigenständige systematische Untersuchung; an dieser Stelle kann es jedoch nur darum gehen zu illustrieren, wie unterschiedliche Technikzukünfte medial verarbeitet wurden.

### Fallbeispiel Nanotechnologie

Die Wahrnehmung der Nanotechnologie in den Massenmedien bietet Anschauungsunterricht über den Umgang mit und die Rolle von – insbesondere weit in die Zukunft reichenden – Technikzukünften. Nanotechnologie galt bis etwa zur Jahrhundertwende als „ideale“ Technologie, als klein, sauber und smart und damit sozusagen als das mediale Gegenbild zu stinkenden großtechnischen Anlagen. Gegenstand der Berichterstattung waren zunächst hauptsächlich die fast utopisch anmutenden neuen Möglichkeiten, die auf Eric Drexlers einflussreiches Buch (1986) zurückgingen. Es zeigte sich jedoch rasch, dass diese positiven visionären Erzählungen<sup>91</sup> über Technikzukünfte der Nanotechnologie nicht durchhaltbar waren, weder wissenschaftlich noch medial. Denn Visionen als Mittel der Kommunikation von Technikzukünften sind hochgradig ambivalent. In futuristischen Visionen wird das ganz Neue in den Vordergrund gestellt, denn nur damit lässt sich Faszination und positive Aufmerksamkeit in der öffentlichen Wahrnehmung realisieren. Das Revolutionäre und das „wirklich“ Neue sind jedoch keineswegs nur faszinierend, sondern erwecken auch Angst, Sorgen und Ablehnung: Der Versuch, durch positive Utopien zu faszinieren und zu motivieren, kann gerade zu Ablehnung und Widerspruch führen. Visionäres Pathos in Technikzukünften ist extrem anfällig gegenüber der einfachen Frage, ob nicht auch alles ganz anders sein könnte – und es ist so gut wie sicher, dass diese Frage in einer pluralistischen Gesellschaft auch gestellt wird. In der Nanotechnologie wurde diese Frage von einem Ingenieur aufgebracht<sup>92</sup> und durch die Massenmedien verbreitet, in Deutschland durch die FAZ. Resultat war das Aufkommen einer – zunächst auch futuristisch geprägten – Risiko- und Bedrohungsdebatte, dass Nanoroboter vielleicht außer Kontrolle geraten könnten, sich unkontrolliert vermehren würden, die Erde innerhalb weniger Tage verwüsten oder den Menschen das Heft aus der Hand nehmen könnten. Diese Erzählung, die sich rasch weltweit verbreitete, ist nichts weiter als die Negativfolie der davor als positiv kommunizierten Technikzukünfte.

<sup>91</sup> Drexler 1986.

<sup>92</sup> Vgl. Joy 2000.

Interessant dann auch der weitere Verlauf der massenmedialen Berichterstattung, die man mit den Worten einer „Erdung“ bezeichnen könnte.<sup>93</sup> Ab etwa 2003 gerieten die visionären Anteile der Nanotechnologie in den Hintergrund bzw. trat eine gewisse Ermüdung in der Berichterstattung ein. Währenddessen fanden und finden bis heute die konkreteren Herausforderungen, vor allem der Umgang mit Nanopartikeln und die Rolle des Vorsorgeprinzips, in den Medien immer wieder Aufmerksamkeit, angeheizt zum Beispiel durch Studien über Nanopartikel in Lebensmitteln.<sup>94</sup> Zu lernen ist aus der Geschichte des Umgangs der Massenmedien mit der Nanotechnologie, dass erstens Technikzukunft tatsächlich entscheidend für die mediale Berichterstattung sind, dass zweitens im Umgang mit visionären Technikzukunft Vorsicht geboten ist und dass es drittens, entgegen mancherlei Vorurteilen, in der nach-futuristischen Phase zu einer in Bezug auf Chancen und Risiken der Nanotechnologie ausgewogenen Berichterstattung gekommen ist.<sup>95</sup>

### Fallbeispiel Gentechnologie

Kaum eine Technologie ist in der Öffentlichkeit so stark umstritten, wie die Gentechnologie. Ähnlich intensive Auseinandersetzungen waren und sind nur im Zusammenhang mit den Diskussionen über die Kernenergie festzustellen.<sup>96</sup> Prognosen über zukünftige, vielfältige Anwendungsmöglichkeiten entzogen sich der nicht-wissenschaftlichen Laienöffentlichkeit lange Zeit jeder sinnlichen Wahrnehmung, sowohl im Bereich der Roten (Anwendungsbereiche in der Medizin) als auch der Grünen Gentechnologie (Anwendungsbereiche in der Landwirtschaft). Frühe Prognosen zukünftiger Anwendungsmöglichkeiten der Gentechnologie konzentrierten sich insbesondere auf den Bereich der Medizin und versprachen die Korrektur genetischer Defekte. Neben der Heilung schwerster Erkrankungen, die auf den Defekt nur eines Gens zurückzuführen waren, sollte durch

gezielte Eingriffe in das Erbgut schon bald auch die Heilung großer, multifaktorieller Volkskrankheiten wie Krebs möglich werden. Die - nach dem Sprachgebrauch der Wissenschaftler - „gezielten Eingriffe“ in das Erbgut des Menschen wurden von Öffentlichkeit und Medien sehr schnell in „gezielte Manipulationen“ umbenannt. Während der siebziger Jahre wurde die noch junge Gentechnologie häufig mit weltuntergangsähnlichen Visionen belegt, die sich in Schlagzeilen, wie „Tausendmal schlimmer als Hitler“<sup>97</sup> wiederfanden. Aus der wissenschaftlichen Vergangenheit wurden Rückschlüsse auf eine Zukunft der Gentechnik getroffen: Neben das wissenschaftlich begründete Ziel der Heilung schwerster Krankheiten trat die Gefahr des Missbrauchs der neuen Technologie in Form von Menschenzüchtung. In den späten 1990er Jahren änderte sich das Klima, jedenfalls in Bezug auf die Rote Gentechnik. Das Potenzial des Heilens von Krankheiten geriet in den Vordergrund und führte zu einem Abebben der Kritik an der Roten Gentechnik. Die häufig vorgeworfene Beeinflussung der öffentlichen Meinung durch die Medien in Richtung einer pauschal ablehnenden Bewertung der Gentechnologie ist somit nicht zu belegen. Eine zunehmende Unterscheidung einzelner Anwendungsbereiche führte zu dem differenzierteren Bild, in dem heute vor allem transgene Lebensmittel auf Ablehnung stoßen, während die medizinischen Anwendungsbereiche inzwischen weitgehenden Zuspruch finden. Die Debatte hat sich angesichts der vielfach vertretenen These derart verändert, dass das wirtschaftliche Potenzial der Biotechnologie nur genutzt werden könne, wenn die Chancen dieser Technik erkannt werden und zugleich ein Vertrauen in deren Anwendung aufgebaut werden kann. Heute stehen vielfach nicht Anwendungen der Gentechnik im Mittelpunkt, sondern die Frage, ob durch Kontrolle und Überwachung hinreichend Vertrauen erzeugt werden kann. Vertrauen ist ein ganz wesentliches Moment, wenn nicht das wichtigste überhaupt, das über die Beurteilung

<sup>93</sup> Vgl. auch Lösch 2010, der in diesem Zusammenhang von einer „De-Futurisierung“ spricht.

<sup>94</sup> Zum Beispiel BUND 2008.

<sup>95</sup> Vgl. Marcinkowski et al. 2008.

<sup>96</sup> Eine Aufarbeitung dieser Debatte findet sich in acatech 2012.

<sup>97</sup> Vgl. Der Spiegel 1978, S. 212.

von Technikzukünften seitens der Öffentlichkeit entscheidet.

### Fallbeispiel Energiedebatte

Das Feld der Energie bietet reiches Anschauungsmaterial über den Wechsel der medialen Wiedergabe von Technikzukünften im Laufe der Zeit. In den 1950er Jahren standen die „Atomzukünfte“ im Mittelpunkt vieler Berichte, weitreichende Hoffnungen auf eine unerschöpfliche und billige Energiequelle. Atomautos und Atomflugzeuge, auch Atomheizungen wurden ins Gespräch gebracht und auch massenmedial verbreitet. Das dann dominierende Erdölzeitalter mit den (vermeintlichen) Zukünften der Unerschöpflichkeit des Erdöls (und anderer fossiler Energieträger) drängte das Energiethema für eine Weile in den Hintergrund. Der Bericht des Club of Rome über die Grenzen des Wachstums 1972, aber wohl wirkmächtiger die politisch erzeugten Ölkrisen der 1970er Jahre, stellten diese Sicherheit infrage und führten zu einem (vorübergehenden) Aufflackern anderer Zukunftsvorstellungen, stärker geprägt von Effizienz und Einsparung. Nachdem die Ölkrisen weitgehend vergessen und das Erdöl billig war, gerieten auch diese Zukünfte aus dem Blick und werden erst seit einigen Jahren wieder intensiv kommuniziert, zum einen wegen des fortschreitenden Klimawandels, zum anderen wegen des steigenden Ölpreises und des stark wachsenden Energiehungers der Welt. Speziell in Deutschland und einigen anderen Ländern hat die Nuklearkatastrophe von Fukushima ein erhebliches Medienecho erzeugt. Zunächst wurde medial stark auf

Studien und Energiezukünfte Bezug genommen, die die (bloße) Möglichkeit des Kernenergieausstiegs belegen sollten. Es kam geradezu zu einem Überbietungswettbewerb, wie schnell der Ausstieg aus der Kernenergie und damit der Einstieg in eine andere, von Effizienz und dem Einsatz erneuerbarer Energien geprägte Energiewelt zu bewerkstelligen sei. Während der Ausstieg aus der Kernenergie rasch zu einem weitgehenden Konsens wurde, begannen jedoch auch die Medien, sich mit den Implikationen zu befassen: Würde das Maß an Versorgungssicherheit, an das wir uns gewöhnt haben, verringert, würden Blackouts häufiger und würde der Strompreis womöglich stark ansteigen? Aus dieser Geschichte ist die Wechselhaftigkeit massenmedialer Berichterstattung zu ersehen. Sicher machen Massenmedien Zeitgeist, aber sie sind auch von ihm abhängig. Einfache Kausalverhältnisse, wie mit Technikzukünften in den Medien umgegangen wird und wie sie mit Akzeptanzfragen verbunden werden, scheinen nicht adäquat.

Diese Beispiele zeigen, dass massenmediale Berichterstattung eng mit Technikzukünften verbunden ist. Diese werden von den Medien nicht selbst erzeugt, sondern von Wissenschaftlern, Managern, aber auch zivilgesellschaftlichen Autoren übernommen und in unterschiedliche Diskurse eingebracht. Die Macht der Medien in diesem Feld liegt in der Selektion: Welche Technikzukünfte werden überhaupt rezipiert, in welche Kontexte werden sie gestellt, wie werden sie weitergegeben und wie werden sie bewertet? Dies ist ein weites Feld, in dem der Wissensbestand klein ist.

## 7 FORSCHUNGSBEDARF

Es besteht zu unterschiedlichen Aspekten der Vorausschau, Erstellung und Bewertung von Technikzukünften Forschungsbedarf, wie sich dies an mehreren Stellen in dem vorliegenden Leitfaden gezeigt hat:

Erstens ist es nötig, den Gegenstand von Technikzukünften, also die komplexe Wechselwirkung zwischen technischer und gesellschaftlicher Entwicklung, weiter zu erforschen. Hierbei handelt es sich um einen bereits etablierten Gegenstand in unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen, der hier vor allem Erwähnung findet, um den weiterhin großen Bedarf an seiner Erforschung zu unterstreichen. Insbesondere sollte die interdisziplinäre Forschung von Gesellschaft- und Technikwissenschaften zu dieser Fragestellung ausgebaut werden.

Zweitens besteht, trotz des breiten Spektrums bereits verfügbarer Methoden der Vorausschau, der Bedarf der Weiterentwicklung hinsichtlich spezifischer methodischer Heraus-

forderungen. Dies sind unter anderem (i) die Integration quantitativer und qualitativer Elemente in den Erstellungsprozess und in die Formulierung von Technikzukünften, (ii) die Entwicklung von Verfahren zur Bewertung von Technikzukünften einschließlich der Kommunikation normativer Setzungen und schließlich (iii) die Weiterentwicklung von Konzepten für die exakte und verständliche Kommunikation epistemischer Unsicherheiten.

Drittens besteht dringender Bedarf an der Erforschung der Rezeption und Wirkung von Technikzukünften in unterschiedlichen gesellschaftlichen Teilbereichen und Entscheidungsprozessen. Besonders dringlich erscheint die Beantwortung der Frage, auf welche Weise Technikzukünfte einerseits in demokratische Entscheidungsprozesse Eingang finden und wie sie andererseits in den Massenmedien und in der öffentlichen Debatte rezipiert werden und dabei Wirkung entfalten.

## 8 THESEN UND LEITLINIEN

### THESEN

1. Das Vorausdenken, Erstellen und Bewerten von Technikzukünften ist ein notwendiges Element gesellschaftlicher Orientierung und der Selbstverständigung in den Technikwissenschaften.
2. Technik und Gesellschaft stehen in einem untrennbaren Zusammenhang. Deshalb implizieren technische Zukünfte auch gesellschaftliche Zukünfte und umgekehrt.
3. Über die zukünftige Entwicklung von Technik und Gesellschaft können in der Regel nur Möglichkeitsaussagen bzw. Szenarien formuliert werden. Daher treten Technikzukünfte in der Regel im Plural auf.
4. Die Formulierung von Technikzukünften ist zweck- und wertgebunden. Es gibt keine wertneutralen Technikzukünfte.
5. Technikzukünfte können eher deskriptiv-antizipierend und eher normativ-gestaltend sein. Sie heben zwangsläufig bestimmte Aspekte hervor und klammern andere aus. Dementsprechend werden durch die Setzung von Prämissen und die Wahl von Methoden Vorentscheidungen getroffen.
6. In der Regel handelt es sich bei Technikzukünften um Wenn-Dann-Aussagen. Sich wandelnde Rahmenbedingungen erfordern eine permanente Anpassung der Technikzukünfte.
7. Die Abstufung divergierender Technikzukünfte nach dem Grad ihrer Wissenschaftlichkeit oder nach anderen Qualitäts- oder Legitimitätskriterien ist notwendig, aber schwierig. Weder anerkannte Kriteriensätze noch klare Verfahren liegen vor.
8. Technikzukünfte haben Folgen. Sie können Risikodebatten auslösen, Akzeptanzverhalten beeinflussen, Forschungsförderung in Gang setzen oder den Ruf nach Regulierung nach sich ziehen. Wegen dieses Interventionscharakters ist mit der Erstellung und Kommunikation von Technikzukünften besondere Verantwortung verbunden.
9. Technikzukünfte sind in demokratischen Gesellschaften immer Gegenstand öffentlicher Debatten. Zumeist setzt die breite Reflexion jedoch erst ein, wenn es schon zu spät ist. Angesichts möglicher sozialer Kosten ist es vernünftig, Vorausdenken, Erstellen und Bewerten von Technikzukünften zunehmend als öffentliche Aufgabe zu begreifen. Der gesellschaftliche Verständigungsprozess muss zwar durch Expertise informiert sein, darf aber nicht hierauf beschränkt bleiben.

## LEITLINIEN

1. Bei der Formulierung von Technikzukünften sollten die gesellschaftlichen Bedingungen und ihre möglichen Änderungen während des betrachteten Zeitraums stets mitgedacht werden.
2. Projektteams zur Erstellung von Technikzukünften sollten interdisziplinär angelegt werden. In der Auswahl von Methoden ist auf eine adäquate Vielfalt zu achten.
3. Der Plural „Technikzukünfte“ sollte ernst genommen werden. Insbesondere ist eine Verengung der Technikzukünfte auf eine eindimensionale Prognose zukünftiger Realitäten zu vermeiden.
4. Die Unterschiedlichkeit von Einschätzungen zukünftiger Entwicklungen sollte nicht als Unmöglichkeit von Prognosen bedauert, sondern als Ausdruck eines wenigstens teilweise gestaltungsoffenen Raumes und damit als Chance begriffen werden.
5. Die hinter der Formulierung von Technikzukünften stehenden Werte, Zwecke und Interessen sollten offen gelegt werden, insofern es um öffentliche Belange und demokratische Debatten geht. Der Entstehungsprozess sollte transparent gemacht werden.
6. Technikzukünfte, die einen größeren Zeitraum umfassen, müssen nachgeführt und an neue Einschätzungen und neues Wissen angepasst werden.
7. Technikzukünfte in Beratungskontexten müssen – unter Beachtung der anderen hier benannten Leitlinien – auf die spezifischen Belange und Interessen der Auftraggeber eingehen.
8. Die Reflexion über Technikzukünfte, ihre Erstellung und ihre Bewertung sollten Teil der Ingenieurausbildung sein.
9. Technik- und Naturwissenschaftler sollten ihre Arbeit an Technikzukünften und die Kommunikation darüber als Informierung und Teilhabe an einer übergreifenden gesellschaftlichen Debatte über Zukunftsgestaltung verstehen.

# LITERATUR

## acatech 2011

acatech (Hrsg.): *Akzeptanz von Technik und Infrastrukturen. Anmerkungen zu einem aktuellen gesellschaftlichen Problem* (acatech BEZIEHT POSITION, Nr. 9), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2011.

## acatech 2012

acatech (Hrsg.): *Perspektiven der Biotechnologie-Kommunikation. Kontroversen – Randbedingungen – Formate* (acatech POSITION), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2012.

## Armstrong 2001

Armstrong, J. S.: *Principles of forecasting. A handbook for researchers and practitioners*, Boston, Mass.: Kluwer Academic 2001.

## Bacon 1859

Bacon, R.: „Epistola de secretis operibus, artis et naturae et de nullitate magiae“. In: Fr. Rogeri Bacon Opera quaedam hactenus inedita (ed. J. S. Brewer), Bd. I, London 1859, p. 523 ff. English in: Bacon, R.: „Letter to William of Paris on the Secrete Works of Art and Nature and the Nullity of Magic“. In: Morra, Joanne/Smith, Marquard (eds.): *Visual Culture – Critical concepts in Media and Cultural Studies*, New York: Routledge 2006, pp. 40–41.

## Bauer 2006

Bauer, R.: *Gescheiterte Innovationen. Fehlschläge und technologischer Wandel*, Frankfurt u.a.: Campus-Verlag 2006.

## Bell 1997

Bell, W.: *Foundations of Futures Studies* (Vol. 1), New Brunswick u.a.: Transaction Publishers 1997.

## Beresheim et al. 1999

Beresheim, G./Mitschang, P./Neitzel, M.: „Neueste Entwicklung beim Einsatz faserverstärkter Kunststoffe im Automobilbau“. In: *Tagungsband „Vision Kunststoffautomobil 2010“*, Bad Nauheim 1999.

## Betz 2010

Betz, G.: „What’s the Worst Case. The Methodology of Possibilistic Predictions“. In: *Analyse & Kritik*, Volume 32, Issue 1, 2010, S. 87-106.

## Bijker 1995

Bijker, W. E.: *Of Bicycles, Bakelites, and Bulbs. Toward a Theory of Sociotechnical Change*, Cambridge, Mass.: MIT Press 1995.

## Bimber 1996

Bimber, B. A.: *The politics of expertise in Congress. The rise and fall of the Office of Technology Assessment*, Albany, NY: State Univ. of New York Press 1996.

## Brown et al. 2000

Brown, N./Rappert, B./Webster, A.: *Contested futures. a sociology of prospective techno-science*, Aldershot u.a.: Ashgate 2000.

## BUND 2008

BUND – Bund für Umwelt und Naturschutz in Deutschland: *Aus dem Labor auf den Teller. Die Nutzung der Nanotechnologie im Lebensmittelsektor*, 2008. URL: [http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/publikationen/nanotechnologie/20080311\\_nanotechnologie\\_lebensmittel\\_studie.pdf](http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/publikationen/nanotechnologie/20080311_nanotechnologie_lebensmittel_studie.pdf) [Stand: 12.12.2011].

**Burmeister 2010**

Burmeister, K.: *Trendforum 2010 – Umfrage: "Corporate Foresight – Stand der Zukunftsforschung in Unternehmen"*, Z\_punkt 2010.

**Burmeister et al. 2004**

Burmeister, K./Neef, A./Beyers, B.: *Corporate Foresight – Unternehmen gestalten Zukunft*, Hamburg: Murmann Verlag 2004.

**Coenen 2008**

Coenen, C.: *Konvergierende Technologien und Wissenschaften. Der Stand der Debatte und politischen Aktivitäten zu „Converging Technologies“*, Berlin: TAB 2008.

**Cuhls 2008**

Cuhls, K.: *Methoden der Technikvorausschau – eine internationale Übersicht*, 2008. URL: <http://www.isi.fraunhofer.de/isi-de/v/download/Methodenvorausschau.pdf> [Stand: 12.12.2011].

**David 1985**

David, P. A.: "Clio and the Economics of Qwerty". In: *American Economic Review* 75, 1985, S. 332–37.

**DEEPEN 2009**

DEEPEN: *Reconfiguring Responsibility. Deepening Debate on Nanotechnology*, 2009. URL: [www.geography.dur.ac.uk/projects/deepen](http://www.geography.dur.ac.uk/projects/deepen) [Stand: 12.12.2011].

**Der Spiegel 1978**

Der Spiegel, 1978/12, S. 212.

**Dieckhoff et al. 2011**

Dieckhoff, C./Fichtner, W./Grunwald, A./Meyer, S./Nast, M./Nierling, L./Renn, O./Voß, A./Wietschel, M. (Hrsg.):

*Energieszenarien. Konstruktion, Bewertung und Wirkung – ‚Anbieter‘ und ‚Nachfrager‘ im Dialog*, Karlsruhe: KIT Scientific Publishing 2011.

**Dierkes/Grote 2000**

Dierkes, M./Grote, C. von (Hrsg.): *Between Understanding and Trust. The Public, Science and Technology*, Amsterdam: Harwood Academic 2000.

**Dierkes et al. 1992**

Dierkes, M./Hoffmann, U./Marz, L.: *Leitbild und Technik. Zur Entstehung und Steuerung technischer Innovationen*, Berlin: Ed. Sigma 1992.

**Drexler 1986**

Drexler, K. E.: *Engines of Creation – The Coming Era of Nanotechnology*, Oxford: Oxford University Press 1986.

**Eberl 2009**

Eberl, U.: „Integrierte Innovationskommunikation – Erfolgsrezept der Siemens AG“. In: Zerfaß, A./Möslein, K. (Hrsg.): *Kommunikation als Erfolgsfaktor im Innovationsmanagement – Strategien im Zeitalter der Open Innovation*, Wiesbaden: Gabler Verlag 2009.

**Fagerberg et al. 2005**

Fagerberg, J./Mowery, D. C./Nelson, R. R. (Hrsg.): *The Oxford Handbook of Innovation*, Oxford u.a.: Oxford Univ. Press 2005.

**Fahey/Randall 1998**

Fahey, L./Randall, R. M.: *Learning from the future: competitive foresight scenarios*, New York u.a.: John Wiley & Sons 1998.

**Farrukh et al. 2003**

Farrukh, C./Phaal, R./Probert, D.: Technology roadmapping. Linking technology resources into business planning. In: *International Journal of Technology Management*, Volume 26, Issue 1, 2003, S. 2-19.

**Fink/Siebe 2006**

Fink, A./Siebe, A.: *Handbuch Zukunftsmanagement*, Frankfurt/Main: Campus Verlag 2006.

**Frigg/Hartmann 2009**

Frigg, R./Hartmann, S.: "Models in Science". In: Zalta, E. N. (Hrsg.): *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Summer 2009 Edition), 2009. URL: <http://plato.stanford.edu/archives/sum2009/entries/models-science/>.

**Gausemeier 2011**

Gausemeier, J.: „Zukunftsszenarien in der Retrospektive – was bringt die Szenario-Technik tatsächlich?“. In: *Konstruktion*, Ausgabe 5-2011, S. 75-82.

**Gausemeier et al. 2001**

Gausemeier, J./Ebbesmeyer, P./Kallmeyer, F.: *Produktinnovation – Strategische Planung und Entwicklung der Produkte von morgen*, München, Wien: Carl Hanser Verlag 2001.

**Gausemeier et al. 2009**

Gausemeier, J./Plass, C./Wenzelmann, C.: *Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung – Strategien, Geschäftsprozesse und IT-Systeme für die Produktion von morgen*, München, Wien: Carl Hanser Verlag 2009.

**Gausemeier et al. 2011**

Gausemeier, J./Echterhoff, N./Kokoschka, M./Wall, M.: Thinking ahead the Future of Additive Manufacturing –

Analysis of Promising Industries, Study for the Direct Manufacturing Research Center, Paderborn, 2011.

**GE Plastic 1988**

GE Plastic: „Der Stoff der Zukunft. Für Autos ist Plastik als wichtigster Werkstoff längst auf dem Weg nach vorn“. In: *Manager Magazin*, 1. Oktober 1988.

**Georgiou et al. 2008**

Georgiou, L./Harper, J.C./Keenan, M./Miles, I./Popper, R. (Hrsg.): *The Handbook of Technology Foresight – Concepts and Practice*, Cteltenham: Edward Elgar Publishing Limited 2008.

**Gilder 2000**

Gilder, G.: *Telecosm: How Infinite Bandwidth Will Revolutionize Our World*, New York u.a.: Free Press 2000.

**Glaserapp 1991**

Glaserapp, H. v.: *Die fünf Weltreligionen*, München: Diederichs 1991.

**Gloede 1994**

Gloede, F.: „Technikpolitik, Technikfolgenabschätzung und Partizipation“. In: Bechmann, G./Petermann, T. (Hrsg.): *Interdisziplinäre Technikforschung: Genese, Folgen, Diskurs*. Frankfurt a.M: Campus-Verlag 1994, S. 147-182.

**Godet 1987**

Godet, M.: *Scenarios and Strategic Management*, London, Boston: Butterworths 1987.

**Gordon/Helmer 1964**

Gordon, T./Helmer, O.: *Report on a Long Range Forecasting Study*, The RAND Corp. 1964, P. 2982.

**Grunwald 2007**

Grunwald, A.: Technikdeterminismus oder Sozialdeterminismus. Zeitbezüge und Kausalverhältnisse aus der Sicht des Technology Assessment. In: Dolata, U./Werle, R. (Hrsg.): *Gesellschaft und die Macht der Technik. Sozioökonomischer und institutioneller Wandel durch Technisierung*, Frankfurt am Main/New York: Campus-Verlag 2007, S. 63–82.

**Grunwald 2009a**

Grunwald, A.: „Wovon ist die Zukunftsforschung eine Wissenschaft?“. In: R. Popp/E. Schüll (Hrsg.): *Zukunftsforschung und Zukunftsgestaltung. Beiträge aus Wissenschaft und Praxis*, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 2009a, S. 25–35.

**Grunwald 2009b**

Grunwald, A.: "Technology Assessment: Concepts and Methods." In: Meijers, A. (Hrsg.): *Philosophy of Technology and Engineering Sciences*, Volume 9, Amsterdam 2009b, S. 1103–1146.

**Grunwald 2010a**

Grunwald, A.: *Technikfolgenabschätzung. Eine Einführung* (2. Auflage), Berlin: Edition Sigma 2010a.

**Grunwald 2010b**

Grunwald, A.: "From Speculative Nanoethics to Explorative Philosophy of Nanotechnology". In: *NanoEthics*, Volume 4, Issue 2, 2010b, S. 91–101.

**Grunwald 2011**

Grunwald, A.: "Energy Futures: Diversity and Need of Comparison". In: *Futures* 43, 2011, S. 820–830.

**Grunwald/Kopfmüller 2006**

Grunwald, A./Kopfmüller, J.: *Nachhaltigkeit*, Frankfurt, New York: Campus-Verlag 2006.

**Grunwald/Langenbach 1999**

Grunwald, A./Langenbach, C.: „Die Prognose von Technikfolgen. Methodische Grundlagen und Verfahren“. In: Grunwald, A. (Hrsg.): *Rationale Technikfolgenbeurteilung – Konzeption und methodische Grundlagen*, Berlin u.a.: Springer 1999, S. 93–131.

**Grupp et al. 1987**

Grupp, H./Hohmeyer, O./Kollert, R./Legler, H.: *Technometrie – Die Bemessung des technisch-wirtschaftlichen Leistungsstandes*, Köln: Verlag TÜV Rheinland 1987.

**Häder 2009**

Häder, M.: *Delphi-Befragungen – Ein Arbeitsbuch*, Wiesbaden: VS Verlag 2009.

**Hájek 2010**

Hájek, A.: "Interpretations of Probability". In: Zalta, E. N. (Hrsg.): *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2010 Edition). URL: <http://plato.stanford.edu/archives/spr2010/entries/probability-interpret/>.

**Hampel/Renn 1999**

Hampel, J./Renn, O. (Hrsg.): *Gentechnik in der Öffentlichkeit. Wahrnehmung und Bewertung einer umstrittenen Technologie*, Frankfurt am Main u.a.: Campus-Verlag 1999.

**Harman 1976**

Harman, W.: *An Incomplete Guide to the Future*, San Francisco: San Francisco Book Company 1976.

**Hennen 2002**

Hennen, L.: *Positive Veränderung des Meinungsklimas – konstante Einstellungsmuster. Dritter Sachstandsbericht* (TAB-Arbeitsbericht Nr. 83), Berlin: TAB 2002.

**Henzler 1988**

Henzler, H. (Hrsg.): *Handbuch strategische Führung*, Wiesbaden: Gabler Verlag 1988.

**Hughes 1994**

Hughes, T. P.: "Technological Momentum". In: Smith, M. R./Marx, L. (Hrsg.): *Does Technology Drive History? The Dilemma of Technological Determinism*, Cambridge, Mass., London: MIT Press 1994, S. 101-114.

**Joy 2000**

Joy, B.: "Why the Future Does not Need Us". In: *Wired Magazine*, 2000, S. 238-263.

**Jungk/Müller 1989**

Jungk, R./Müller, N. R.: *Zukunftswerkstätten. Mit Phantasie gegen Routine und Resignation*, München: Heyne 1989.

**Kahn/Wiener 1967**

Kahn, H./Wiener, A.: *The Year 2000 – A Framework for Speculation on the Next Thirtythree Years*, New York: Mac-Milan 1967. Deutsch: *Ihr werdet es erleben*, Wien: Molden 1968.

**Kamlah 1973**

Kamlah, W.: *Philosophische Anthropologie. Sprachkritische Grundlegung und Ethik*, Mannheim: Bibliogr. Inst. 1973.

**Kant 1785**

Kant, I.: *GMS = Grundlegung zur Metaphysik der Sitten*, Akademieausgabe, Band IV, 1785. auch Meiner, Hamburg

1965 und Werkausgabe, hrsg. von W. Weischedel, Bd. VII Suhrkamp, Frankfurt a. M. 1991.

**Kappel 2001**

Kappel, T.A.: "Perspectives on Roadmaps: How organisations talk about the future". In: *Journal of Product Innovation Management*, Volume 18, No. 1, 2001.

**Keeney et al. 1984**

Keeney, R./Renn, O./Winterfeld, D. von/Kotte, U.: *Die Wertbaumanalyse – Entscheidungshilfe für die Politik*, München: HTU Edition Technik und Sozialer Wandel 1984.

**Klir 1985**

Klir, G.: *Architecture of System Problem Solving*, New York, London: Plenum Press 1985.

**Knight 1921**

Knight, F.: *Risk, Uncertainty and Profit*, Boston, New York: Mifflin 1921.

**König 1993**

König, W.: „Technik, Macht und Markt. Eine Kritik der sozialwissenschaftlichen Technikgeneseforschung“. In: *Technikgeschichte* 60, 1993, S. 243-66.

**König 2009**

König, W.: *Technikgeschichte. Eine Einführung in ihre Konzepte und Forschungsergebnisse*, Stuttgart: Steiner 2009.

**Kornwachs 1985**

Kornwachs, K.: „Modellbildung“. In: *FhG Berichte* 3/4 85, 1985, S. 9-16.

**Kornwachs 1994**

Kornwachs, K.: „Identifikation, Analyse und Bewertung technologischer Entwicklungen“. In: Zahn, E. (Hrsg.): *Handbuch des Technologiemanagements*, Stuttgart: Schäfer-Poeschl 1994, S. 219-242.

**Kornwachs 1996**

Kornwachs, K.: „Operationalisierbare Indikatoren anhand ausgewählter Beispiele des Gesamtwertbaumes ‚Energie und Ethik‘. Studie für die Akademie für Technikfolgenabschätzung Stuttgart“. In: *Ethische Probleme der Energieversorgung. Zwei Studien* (Bericht Nr. PT-03/1996), Cottbus: BTU Cottbus, Fakultät 1 1996.

**Kornwachs 2000**

Kornwachs, K.: *Das Prinzip der Bedingungserhaltung* (Reihe Technikphilosophie), Münster, London: Lit Verlag 2000.

**Kornwachs 2001**

Kornwachs, K.: *Logik der Zeit, Zeit der Logik*, Münster, London: Lit Verlag 2001.

**Kornwachs et al. 1992**

Kornwachs, K./Betzl, K./Berndes, S./Niemeier, J./Praeger, M./Wasserlos, G./Wetzels, W./Weisbecker, A.: *Auswirkung der Softwaregestaltung – Vorstudie zur Technikfolgenabschätzung* (FhG-IAO Stuttgart für das BMFT), Bonn 1992.

**Kosow/Gaßner 2008**

Kosow, H./Gaßner, R.: *Methoden der Zukunfts- und Szenarioanalyse – Überblick, Bewertung und Auswahlkriterien* (IZT-Werkstattbericht Nr. 103), Berlin 2008.

**Küng/Kuschel 1998**

Küng, H./Kuschel, K.-J. (Hrsg.): *Wissenschaft und Weltethos*, München: Piper 1998.

**Küng 1990**

Küng, H.: *Projekt Weltethos*, München: Piper 1990.

**Kutschera 1982**

Kutschera, F. von: *Grundlagen der Ethik*, Berlin, New York: de Gruyter 1982.

**Laube/Abele 2006**

Laube, T./Abele, T.: *Technologie-Roadmap: Strategisches und taktisches Technologiemanagement. Ein Leitfaden*, Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verlag 2008.

**Leibniz 1765**

Leibniz, G. W.: „Neue Studien über den menschlichen Verstand (Nouveaux essais sur l’entendement humain), Vorrede“, 1765. In: Leibniz, G.W./Krüger, G. (Hrsg.): *Hauptwerke*, Stuttgart: Kröner 1958, S. 116-129.

**Liebl 1996**

Liebl, F.: *Strategische Frühaufklärung: Trends – Issues – Stakeholders*, München u.a.: Oldenbourg 1996.

**Linstone/Turoff 1975**

Linstone, H. A./Turoff, M.: *The Delphi Method – Techniques and Applications*, Reading, Mass. u.a.: Addison-Wesley 1975.

**Loo 2002**

Loo, R.: „The delphi method: a powerful tool for strategic management“. In: *Policing*, 25 (2002/4), 2002, S. 762-769.

**Lösch 2010**

Lösch, A.: "The Defuturization of the Media: Dynamics in the visual Constitution of Nanotechnology". In: Kaiser, M./Kurath, M./Maasen, S./Rehmann-Sutter, C. (Hrsg.): *Governing future technologies. Nanotechnology and the rise of an assessment regime*, Dordrecht et al.: Springer 2010.

**Lundvall 1992**

Lundvall, B.-A. (Hrsg.): *National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*, London, New York: Pinter 1992.

**Marcinkowski et al. 2008**

Marcinkowski, F./Kohring, M./Friedemann, A./Donk, A.: *Risikowahrnehmung beim Thema Nanotechnologie: Analyse der Medienberichterstattung für den Analysezeitraum 1/2006-6/2007*, Berlin: BfR 2008.

**Mayntz/Hughes 1988**

Mayntz, R./Hughes, T. P. (Hrsg.): *The Development of Large Technical Systems*, Frankfurt am Main: Campus-Verlag 1988.

**Mayntz 1987**

Mayntz, R.: „Politische Steuerung und gesellschaftliche Steuerungsprobleme". In: *Jahrbuch zur Staats- und Verwaltungswissenschaft 1*, Baden-Baden: Nomos-Verlagsgesellschaft 1987, S. 89-104.

**Meadows 1972**

Meadows, D. L.: *Die Grenzen des Wachstums. Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit*, Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt 1972.

**Möhrle/Isenmann 2007**

Möhrle, M. G./Isenmann, R.: *Technologie-Roadmapping: Zukunftsstrategien für Technologieunternehmen* (3. Auflage), Berlin: Springer 2007.

**Nida-Rümelin 1996**

Nida-Rümelin, J.: „Risikoethik". In: Nida-Rümelin, J. (Hrsg.): *Angewandte Ethik. Die Bereichsethiken und ihre theoretische Fundierung*, Stuttgart: Kröner, 1996, S. 863-887.

**Nullmeier 2007**

Nullmeier, C.: „Neue Konkurrenzen: Wissenschaft, Politikberatung und Medienöffentlichkeit". In: Leggewie, C. (Hrsg.): *Von der Politik zur Gesellschaftsberatung*, Frankfurt/New York: Campus-Verlag 2007, S. 171-180.

**Orwell 1949**

Orwell, G.: *1984*, New York: Harcourt, Brace 1949.

**Petersen 1997**

Petersen, J. L.: *Out of the blue: wild cards and other big surprises*, Arlington Institute 1997.

**Pias 2009**

Pias, C.: "One-Man Think Tank. Herman Kahn, oder wie man das Undenkbare denkt". In: *Zeitschrift für Ideengeschichte*, (3), 2009, S. 5-16.

**Pichler/Moreno-Diaz 1987**

Pichler, F./Moreno-Diaz, R. (Hrsg.): *Computer Aided System Theory. Lecture Notes in Computer Science*, New York u.a.: Springer 1987.

**Picht 1971**

Picht, G.: *Prognose Utopie Planung*, Stuttgart: Klett 1971.

**Popplow 1998**

Popplow, M.: *Neu, nützlich und erfindungsreich. Die Idealisierung der frühen Technik in der Neuzeit* (Cottbuser Studien zur Geschichte von Technik, Arbeit und Umwelt), Berlin: Waxmann 1998.

**Rescher 1998**

Rescher, N.: *Predicting the future. An introduction to the theory of forecasting*, Albany, NY: State University of New York Press 1998.

**Ringland 1998**

Ringland, G.: *Scenario Planning: Managing for the Future*, Chichester: Wiley 1998.

**Robert/Casella 2004**

Robert, C. P./Casella, G.: *Monte Carlo Statistical Methods*, New York: Springer 2004.

**Robinson 2009**

Robinson, D. K. R.: „Co-evolutionary scenarios: An application to prospecting futures of the responsible development of nanotechnology“. In: *Technology Forecasting and Social Change*, 76(9), 2009, S. 1222-1239.

**Schneider/Mayntz 1995**

Schneider, V./Mayntz, R.: „Akteurszentrierter Institutionalismus in der Technikforschung. Fragestellungen und Erklärungsansätze“. In: *Technik und Gesellschaft. Jahrbuch 8*, 1995, S. 107-30.

**Schomberg 2005**

Schomberg, R. von: „The Precautionary Principle and its normative challenges“. In: Fisher, E./Jones, J./Schomberg, R. von (Hrsg.): *The precautionary principle and public policy decision making*, Cheltenham: Elgar Press, 2005, S. 161-175.

**Schulz/Renn 2009**

Schulz, M./Renn, O. (Hrsg.): *Das Gruppendelphi – Konzept und Fragebogenkonstruktion*, Wiesbaden: VS Verlag 2009.

**Selin 2006**

Selin, C.: „Trust and illusive force of scenarios“. In: *Futures*, 38(1), 2006, S. 1-14.

**Siune et al. 2009**

Siune, K./Markus, E./Calloni, M./Felt, U./Gorski, A./Grunwald, A./Rip, A./de Semir, V./Wyatt, S.: *Challenging Futures of Science in Society. Report of the MASIS Expert Group*, Brüssel: European Commission 2009.

**Sontheimer 1970**

Sontheimer, K.: „Voraussage als Ziel und Problem moderner Sozialwissenschaft“. In: Klages, H. (Hrsg.): *Möglichkeiten und Grenzen der Zukunftsforschung*, Wien, Freiburg: Herder 1970.

**Stachowiak 1973**

Stachowiak, H.: *Allgemeine Modelltheorie*, Wien, New York: Springer 1973.

**Starner 2002**

Starner, T.: *Technology Trends Favor Thick Clients for User-Carried Wireless Devices*, Georgia Institute of Technology 2002.

**Steinmüller et al. 2000**

Steinmüller, K./Kreibich, R./Zöpel, C.: *Zukunftsforschung in Europa. Ergebnisse und Perspektiven*, Baden-Baden: Nomos-Verlagsgesellschaft 2000.

**Steinmüller/Steinmüller 2003**

Steinmüller, A./Steinmüller, K.: *Ungezähmte Zukunft: Wild Cards und die Grenzen der Berechenbarkeit*, München: Gerling Akademie 2003.

**Steinmüller et al. 2003**

Steinmüller, K./Burmeister, K./Schulz-Montag, B.: *Methoden der Zukunftsforschung – Überblick und Praxis*, Essen: Z\_Punkt 2003.

**Teusch 1993**

Teusch, U.: *Freiheit und Sachzwang. Untersuchungen zum Verhältnis von Technik, Gesellschaft und Politik*, Baden-Baden: Nomos-Verlagsgesellschaft 1993.

**United States/ Resources Committee 1937**

United States/ Resources Committee: Technological trends and national policy. Including the social implications of new inventions. Report of the Subcommittee on Technology to the National Resources Committee, Washington: U. S. Government Print. Office 1937.

**Weingart/ Lentsch 2008**

Weingart, P./Lentsch J.: *Wissen Beraten Entscheiden. Form und Funktion wissenschaftlicher Politikberatung in Deutschland*, Weilerswist: Velbrück 2008.

**Weingart et al. 2008**

Weingart, P./Salzmann, C./Wörmann, S.: "The social embedding of bio-medicine: an analysis of German media debates 1995–2004". In: *Public Understanding of Science*, 17(3), 2008, S. 381–396.

**Weisbord/ Janoff 2001**

Weisbord, M./Janoff, S.: *Future Search – Die Zukunftskonferenz: Wie Organisationen zu Zielsetzungen und gemeinsamen Handeln finden*, Stuttgart: Klett-Cotta 2001.

**Wengenroth 2001**

Wengenroth, U.: „Vom Innovationssystem zur Innovationskultur“. In: Abele, J. (Hrsg.): *Innovationskulturen und Fortschrittserwartungen im geteilten Deutschland*, Köln: Böhlau 2001, S. 23–32.

**Wilms 2006**

Wilms, F. E. P.: *Szenariotechnik*, Bern: Haupt 2006.

**Wolberg 2005**

Wolberg, J.: *Data Analysis Using the Method of Least Squares. Extracting the Most Information from Experiments*, New York: Springer 2005.

**Zeigler 1978**

Zeigler, B. P.: *Theory of Modelling and Simulation*, San Francisco: Addison-Wesley 1978.

**Zeigler 1990**

Zeigler, B. P.: *Object-oriented Simulation with Hierarchical, Modular Models – Intelligent Agents and Endomorphic Systems*, San Diego: Academic Press 1990.

**Zeigler et al. 2000**

Zeigler, B. P./Praehofer H./Kim, T. G.: *Theory of modeling and simulation: Integrating discrete event and continuous complex dynamic systems – second edition*, San Diego: Academic Press 2000.

**Zimmerli 1998**

Zimmerli, W.: „Zeit als Zukunft. Die menschliche Konstruktion der Zeit. Rhythmen und Uhren, Cyber-Medienfiktion und Technikfolgenabschätzung. Vom Handeln im Mensch-Maschine-Tandem“. In: Weis, K. (Hrsg.): *Was treibt die Zeit? Entwicklung und Herrschaft der Zeit in Wissenschaft, Technik und Religion*, München: Deutscher Taschenbuch Verlag 1998, S. 263–290.

### > **acatech – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN**

acatech vertritt die deutschen Technikwissenschaften im In- und Ausland in selbstbestimmter, unabhängiger und gemeinwohlorientierter Weise. Als Arbeitsakademie berät acatech Politik und Gesellschaft in technikwissenschaftlichen und technologiepolitischen Zukunftsfragen. Darüber hinaus hat es sich acatech zum Ziel gesetzt, den Wissenstransfer zwischen Wissenschaft und Wirtschaft zu unterstützen und den technikwissenschaftlichen Nachwuchs zu fördern. Zu den Mitgliedern der Akademie zählen herausragende Wissenschaftler aus Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Unternehmen. acatech finanziert sich durch eine institutionelle Förderung von Bund und Ländern sowie durch Spenden und projektbezogene Drittmittel. Um den Diskurs über technischen Fortschritt in Deutschland zu fördern und das Potenzial zukunftsweisender Technologien für Wirtschaft und Gesellschaft darzustellen, veranstaltet acatech Symposien, Foren, Podiumsdiskussionen und Workshops. Mit Studien, Empfehlungen und Stellungnahmen wendet sich acatech an die Öffentlichkeit. acatech besteht aus drei Organen: Die Mitglieder der Akademie sind in der Mitgliederversammlung organisiert; das Präsidium, das von den Mitgliedern und Senatoren der Akademie bestimmt wird, lenkt die Arbeit; ein Senat mit namhaften Persönlichkeiten vor allem aus der Industrie, aus der Wissenschaft und aus der Politik berät acatech in Fragen der strategischen Ausrichtung und sorgt für den Austausch mit der Wirtschaft und anderen Wissenschaftsorganisationen in Deutschland. Die Geschäftsstelle von acatech befindet sich in München; zudem ist acatech mit einem Hauptstadtbüro in Berlin und einem Büro in Brüssel vertreten.

Weitere Informationen unter [www.acatech.de](http://www.acatech.de)

### > **Die Reihe acatech IMPULS**

In dieser acatech Reihe erscheinen Analysen und Denkanstöße zu Grundfragen der Technikwissenschaften sowie der wissenschaftsbasierten Politik- und Gesellschaftsberatung. Die Impulse werden von acatech Mitgliedern und weiteren Experten erarbeitet und vom acatech Präsidium autorisiert und herausgegeben.