

Grundlagen der Systemtheorie zur Anwendung transdisziplinärer Verfahren der Technikfolgenabschätzung

Prof. Dr. Harald F.O. von Korflesch

Mathias Linden

Michaela Kowalczyk

WORKING PAPER 18-004

GRUNDLAGEN DER SYSTEMTHEORIE ZUR ANWENDUNG TRANSDISZIPLINÄRER VERFAHREN DER TECHNIKFOLGENABSCHÄTZUNG

Die Arbeitsberichte aus dem Competence Center for the Assessment of Railway Diagnostic and Monitoring Technologies (CCRDMT) dienen der Darstellung vorläufiger Ergebnisse, die in der Regel noch für spätere Veröffentlichungen überarbeitet werden. Die Autoren sind deshalb für kritische Hinweise dankbar. Alle Rechte sind vorbehalten, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdruckes, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen – auch bei nur auszugsweiser Verwertung.

The Working Papers of the Competence Center for the Assessment of Railway Diagnostic and Monitoring Technologies (CCRDMT) are in draft form and will usually be revised for subsequent publication. Critical comments are appreciated by the authors. All rights reserved. No part of this report may be reproduced by any means or translated.

Arbeitsberichte des Competence Center for the Assessment of Railway Diagnostic and Monitoring Technologies (CCRDMT) - CCRDMT Working Paper Series 18 Volume 4

ISSN 2700-6506

Kontaktdaten der Verfasser

Michaela Kowalczyk
Mathias Linden
Prof. Dr. Harald F.O. von Korflesch

CCRDMT
am Zentralen Institut für Scientific Entrepreneurship & International Transfer (ZIFET)
Universität Koblenz-Landau
Universitätsstraße 1
D-56070 Koblenz
E-Mail: ccrdmt@uni-koblenz.de

April 2018

Abstract

Der technische Fortschritt ist in besonderem Maß dafür verantwortlich wie Menschen den Alltag bestreiten. Durch technische Innovationen ergeben sich Gestaltungsmöglichkeiten in allen Lebensbereichen, wodurch Menschen einem kontinuierlichen Anpassungsprozess an neue Produkte, Verfahren und Rahmenbedingungen unterliegen. Dieser Umstand wird im heutigen Zeitalter der zunehmenden Umstellung analoger Verfahren auf digitale Prozesse besonders deutlich. Dabei ist nicht zuverlässig vorhersehbar, ob die technischen Neuerungen nur Chancen aufzeigen oder auch Risiken mit sich bringen. Im Forschungsbereich der Technikfolgenabschätzung wird untersucht, welchen Einfluss technische Neuerungen auf die Gesellschaft haben. Erwünschte und unerwünschte Folgen der Technik sollen zuverlässig prognostiziert werden, sodass eine frühzeitige Reaktion ermöglicht wird. Im Kern dieser Arbeit wird die projektbasierte Vorgehensweise nach MITRE für die Technikfolgenabschätzung erörtert. Gleichzeitig wird untersucht, ob und wie die Ansätze der Systemtheorie für eine Verbesserung der Prognosen in der Technikfolgenabschätzung eingesetzt werden können. Damit wird der Frage nachgegangen, wie sicher Prognosen in diesem Kontext sein können und ob durch den adäquaten Einsatz systemtheoretischer Denkweisen ein Mehrwert in Form zuverlässigerer Prognosen geschaffen werden kann.

Als methodische Vorgehensweise wurde eine Literaturanalyse durchgeführt. Zusätzlich wurde ein Experte in einem Interview und weitere per E-Mail befragt, sodass ein Einblick in die praktische Arbeitsweise erlangt werden konnte. Aufbauend auf der erarbeiteten Projektstruktur wurde in den Projektteilen überprüft, ob durch den bewussten Einsatz systemtheoretischer Grundgedanken signifikante Erkenntnisse erlangt werden können.

Durch die Analysen in dieser Arbeit hat sich gezeigt, dass die Ergebnisse einer Technikfolgenabschätzung einen höheren Sicherheitsgehalt aufweisen können als eine Untersuchung ohne Berücksichtigung systemtheoretischer Denkweisen. Insbesondere das Erlangen eines Systemverständnisses in der Konzeptionsphase kann maßgeblich für eine erfolgreiche Technikfolgenabschätzung sein. Diese Masterarbeit stellt die theoretische Bearbeitung des Themenkomplexes einer Kombination aus Technikfolgenabschätzung und Systemtheorie dar. Eine Anwendungsprüfung der Resultate in der praktischen Arbeit der Technikfolgenabschätzung wird empfohlen.

The technological progress is highly responsible for how people live their everyday life. Technical innovations provide new opportunities to re-design all areas of life and because of that the society has to adjust to these changes permanently. These days, due to the fact that there is a changeover from analog into digital processes, this circumstance is highly relevant. However, it is not always clear whether a technological innovation just entails chances or involves risks, too. The research field of technology assessment pursues the goal to examine the influence of technological innovations on the society. For this purpose, unpredictable consequences of a technology need to be anticipated in advance to provide the opportunity of earlier reactions. The core of this thesis is a discussion about a project based approach of technology assessment. Additionally, it is being investigated whether and how systems theory approaches can be used to improve predictions in the research area of technology assessment. Therefore, the question of how reliable forecasts are in this kind of context will be answered. Moreover, there is an investigation if an added-value can be created through performing system thinking.

As a methodical approach a literature review has been performed. Furthermore, experts were questioned in an interview and by e-mail to gain an insight in the practical work of technology assessment. Based on the elaborated project structure, for each part of the project was examined if significant results can be maintained through the sophisticated use of principles of the systems theory.

The analysis of this paper has shown that the results of a technology assessment may have more reliable forecast value in comparison to an investigation without proper consideration of system thinking. Especially, the understanding of a system during the phase of conception of a project can be crucial for the positive outcome for the results of technology assessment. This master thesis represents the theoretical point of view regarding topics technology assessment and systems theory. An application test for the validation of the results in the practical work of technology assessment is recommended.

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in dieser Masterarbeit auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen bei personenbezogenen Substantiven und Pronomen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen sind geschlechtsunabhängig zu verstehen.

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	1
2 Relevanz der Technikfolgenabschätzung	5
3 Systemtheorie und Allgemeine Systemtheorie – ein geschichtlicher Überblick	11
4 Begriffsbestimmungen der Systemtheorie	17
4.1 Das Wort „System“	19
4.2 Das Beispiel „Büro“	19
4.3 Emergenz	20
4.4 Umgebung.....	22
4.5 Funktion, Struktur und Hierarchie	23
4.5.1 Das funktionale Konzept	24
4.5.2 Das strukturelle Konzept	26
4.5.3 Das hierarchische Konzept	28
4.6 Komplexität und nichtlineare Systeme	30
4.7 Leitfaden zur Erlangung von Systemverständnis und Definition von Systemen	32
5 Technikfolgenabschätzung	36
5.1 Technology Assessment und Technikfolgenabschätzung – Begriffsbestimmung ..	37
5.2 Entwicklung und Institute der Technikfolgenabschätzung.....	38
6 Allgemeine Vorgehensweise, Konzepte und Designs in Projekten der Technikfolgenabschätzung	43
7 Herausforderungen der Technikfolgenabschätzung	57
7.1 Allgemeine Herausforderungen	57
7.2 Methodische Herausforderungen.....	59
7.3 Prognosen mit Unsicherheit.....	61
8 Systemanalytische Methoden der Technikfolgenabschätzung	64
8.1 Lebenszyklusanalyse	65

8.2 Ökobilanzierung	69
8.3 Input-Output-Analyse	72
8.4 Erkenntnisse zu Methoden der Technikfolgenabschätzung	73
9 Zusammenfassung und Ausblick.....	75
Literaturverzeichnis.....	81
Quellenverzeichnis	89
Anhang	92
A1: Telefoninterview mit Dr. Ralf Lindner am 21.02.2018.....	92
A2: E-Mail-Korrespondenz mit Prof. Dr. Armin Grunwald.....	101
A3: E-Mail-Korrespondenz mit Dr. Ludwig Leible.....	102

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Relevante Literatur der Systemtheorie (eigene Darstellung)	15
Tabelle 2: Leitfragen zur Erlangung von Systemverständnis (eigene Darstellung)	33
Tabelle 3: Leitfragen zur Planung in der Konzeptionsphase (eigene Darstellung)	46

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht zur Unterscheidung zwischen Allgemeiner Systemtheorie und den Systemtheorien verschiedener Wissenschaftsdisziplinen (eigene Darstellung).....	13
Abbildung 2: Funktionales Konzept nach Ropohl (eigene Darstellung in Anlehnung an Ropohl 2012).....	25
Abbildung 3: Strukturales Konzept nach Ropohl (eigene Darstellung in Anlehnung an Ropohl 2012).....	27
Abbildung 4: Hierarchisches Konzept nach Ropohl (eigene Darstellung in Anlehnung an Ropohl 2012).....	29
Abbildung 5: Standorte der Netzwerk Technikfolgenabschätzung Institutionen (KIT und ITAS aus TATuP 2017, S. 6; basierend auf openTA.net).....	41
Abbildung 6: Attribute der Projekte einer Technikfolgenabschätzung (eigene Darstellung in inhaltlicher Anlehnung an Grunwald 2010, Paschen und Petermann 1992).....	51
Abbildung 7: Projektphasen des Idealmodells nach MITRE unter Aufarbeitung von Kornwachs (eigene Darstellung mit inhaltlicher Anlehnung an Grunwald 2010).....	54
Abbildung 8: Vereinfachter Lebenszyklus eines Produktes mit der Stärke des Einflusses in Abhängigkeit der Phase des Lebenszyklus gemäß den Ausführungen von Rebitzer et al. 2004 (eigene Darstellung in Anlehnung an thematische und grafische Ausführungen von Rebitzer et al. 2004).....	67
Abbildung 9: Vorgehensweise bei der Ökobilanzierung gemäß ISO Norm 14040 (eigene Darstellung in Anlehnung an ISO 14040 2006).....	71

Abkürzungsverzeichnis

BVT	Bundesverband Technik des Einzelhandels e.V.
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
EPTA	European Parliamentary Technology Assessment
FF.....	Forschungsfrage
I/O-Analyse	Input-Output-Analyse
ISI	Institut für System- und Innovationsforschung
ITAS	Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse
KBA.....	Kraftfahrt-Bundesamt
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
LCA	Life Cycle Assessment, dt.: Lebenszyklusanalyse
NTA	Netzwerk Technology Assessment
OTA	Office of Technology Assessment
TA.....	Technology Assessment
TAB	Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag
TaTuP	Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis
VDI.....	Verein Deutscher Ingenieure

1 Einführung

Technischer Fortschritt war viele Jahre gleichbedeutend mit einer gesellschaftlich fortschrittlichen Entwicklung (Saretzki 2014). Mit der Technisierung der Gesellschaft beginnt sich das Bewusstsein zu verbreiten, dass eine Technik neben den vielen positiven, ebenfalls negative Folgen haben kann (Saretzki 2014). Der Einfluss der Technik auf das Sozialleben, die Umwelt und den Alltag der Bevölkerung wächst gegenwärtig (Renn 2014). Durch die Komplexität der Technik versteht der Mensch die eigens geschaffene Technik nicht vollständig (Ropohl 2009). Darin ist der Bedarf nach einer Methode begründet, mit welcher sowohl Chancen als auch Risiken der Technik prognostiziert werden können. Dabei müssen die Auswirkungen der technischen Innovationen auf reale Systeme einer Gesellschaft untersucht werden. Um ein Verständnis der komplexen Realität zu erhalten, sollten holistische Erklärungsansätze angewandt werden.

In dieser Masterarbeit wird der Forschungsbereich der „Technikfolgenabschätzung“ in einer Kombination mit den Denkweisen und Ansätzen der „Systemtheorie“ erörtert.

Ziel der Ausarbeitung und Forschungsfragen

Bei der Technikfolgenabschätzung wird eine Untersuchung und Analyse von neuer Technik, technischen Innovationen und Prozessen oder Produkten durchgeführt. Es sollen mögliche negative Folgen einer Technik identifiziert sowie der Einfluss einer Technik auf verschiedene Systeme, wie beispielsweise Ökonomie, Ökologie oder soziale Systeme, extrapoliert werden (Grunwald 2010). In dem Forschungsgebiet der Technikfolgenabschätzung sollen Fragestellungen zum Untersuchungsgegenstand realer Systeme beantwortet werden. Die Realität zeichnet sich durch eine heterogene Menge an Elementen aus, deren Verhalten nicht vorhersehbar ist (Mainzer 1999). Entscheidungen eines Individuums sind abhängig von den Rahmenbedingungen, in denen es sich befindet. Da die Technikfolgenabschätzung Prognosen über zukünftige Entwicklungen zu stellen versucht, ist ein Verständnis von der Realität notwendig (Renn 1999). Eine Möglichkeit, die hohe Anzahl von Elementen und Systemen in der Realität zu vereinfachen, ist die Modellbildung von Systemen auf der Grundlage der Systemtheorie (Ropohl 2012). Mithilfe eines Systemdenkens sollen die Zusammenhänge in Systemen und eine Abgrenzung von der

Umgebung ermöglicht werden (Ropohl 1997). Außerdem können die Wechselwirkungen zwischen einzelnen Elementen verstanden und Muster erkannt werden (Renn 1982). Diese Eigenschaften der Systemtheorie stellen den Grund dafür dar, die beiden Themenkomplexe – Technikfolgenabschätzung und Systemtheorie – zu verknüpfen, sodass Fragestellungen einer komplexen Realität beantwortet werden können.

Das Ziel dieser Ausarbeitung ist herauszufinden, ob durch die Nutzung systemtheoretischer Denkweisen ein Mehrwert und eine höhere Prognosekraft in der Technikfolgenabschätzung generiert werden können. Zum Erreichen dieses Ziels sollen die folgenden Forschungsfragen (FF) beantwortet werden:

- FF1: Welche Schritte sind notwendig, um ein Verständnis von Systemen zu erhalten?
- FF2: Welche systemtheoretischen Methoden zur Technikfolgenabschätzung existieren?
- FF3: Wie können systemtheoretische Grundgedanken in der Technikfolgenabschätzung genutzt werden?

Die Vorgehensweisen in der Technikfolgenabschätzung zeichnen sich durch eine hohe Diversität aus, da die Fragestellungen eine Anpassung der Methode an den Kontext der Untersuchung erfordern (Grunwald 2018). Die bestehende Literatur der Technikfolgenabschätzung präsentiert keine theoretischen Erklärungen zu einer Vorgehensweise als Grundgerüst der Untersuchung. Ebenso ist in der Systemtheorie keine vereinfachte Anleitung zur Erlangung von Systemverständnis vorhanden. Daher werden in dieser Ausarbeitung sowohl die Grundlagen beider Themen aufgearbeitet als auch Vorgehensweisen sowie Leitfäden als Ergebnisse präsentiert. Insbesondere wird ein Konzept erarbeitet, wie eine Untersuchung in der Technikfolgenabschätzung auf Projektbasis durchgeführt werden kann. Die einzelnen Teile des Projektes und der darin befindlichen Inhalte werden darauf untersucht, ob eine Verbesserung der Ergebnisse und Prognosekraft durch Einbeziehung systemtheoretischer Grundlagen erreicht werden kann.

Herangehensweise an die Problemstellung

Als methodische Vorgehensweise erfolgt zunächst eine Literaturanalyse von Werken der Systemtheorie, wobei der Fokus auf die Allgemeine Systemtheorie gerichtet wurde. Die

Inhalte der Technikfolgenabschätzung wurden ebenfalls anhand einer Literaturanalyse recherchiert. Wegen des Praxisbezugs dieser Wissenschaft werden die Inhalte von Zeitschriftenartikeln und den Internetseiten der Institute der Technikfolgenabschätzung miteinbezogen. Im weiteren Verlauf der Analyse wurde ein Interview mit einem Experten der Technikfolgenabschätzung geführt. Weitere offene Fragen konnten durch die E-Mail-Korrespondenz mit weiteren Experten auf dem Gebiet der Technikfolgenabschätzung beantwortet werden.

Während dieser Ausarbeitung ist es notwendig, Begriffsbestimmungen zu definieren und zwischen mehreren Bezeichnungsalternativen zu entscheiden. Der Begriff „Technik“ wird in dieser Ausarbeitung als ein Synonym der Übersetzung des englischen Wortes „Technology“ benutzt. Das bedeutet, dass unter dem Begriff „Technik“ sowohl „Technik“ als auch „Technologie“ zu verstehen ist, was sowohl die Betrachtung von Software (Saretzki 2014) als auch Hardware (Saretzki 2014) und technischen Verfahren (Grunwald 2002) umfasst. Der Grund dafür ist, dass in der Technikfolgenabschätzung nicht nur Produkte, sondern beispielsweise ebenfalls Unternehmen und Prozesse untersucht werden.

Da die beiden Themenkomplexe Technikfolgenabschätzung und Systemtheorie auf eine kombinierte Anwendbarkeit geprüft werden, wird es im Verlauf der Arbeit zu Rückverweisungen kommen. Diese können dem Leser teilweise redundant vorkommen, sind aber für den Gesamtkontext der Ausarbeitung von Bedeutung.

Aufbau dieser Arbeit

Als Einführung in das Thema der Technikfolgenabschätzung wird im folgenden Kapitel die Relevanz für das Thema präsentiert. Dem Leser soll ein Eindruck vermittelt werden, warum das Thema Technikfolgenabschätzung bedeutsam ist und welche Gründe für die Ausführung der Untersuchungen vorhanden sind. Damit für die weitere Analyse der Arbeit ein Verständnis von den Denkweisen der Allgemeinen Systemtheorie vorhanden ist, werden die systemtheoretischen Grundlagen in den Folgekapiteln präsentiert. Die Inhalte dieses Kapitels sollen mithilfe eines Beispiels vermittelt werden, sodass der Leser verstehen kann, was unter systemtheoretischen Grundlagen, Systemanalyse und Systemdenken zu verstehen

ist. Als Ergebnis des Kapitels wird einen Leitfaden vorgestellt, mit welchem die Erlangung von Systemverständnis vereinfacht werden soll.

Im weiteren Verlauf der Arbeit werden die Grundlagen und Vorgehensweisen der Technikfolgenabschätzung thematisiert. Auf diese Weise soll gezeigt werden, in welchen Teilen eines Projektes ein Systemverständnis von Wichtigkeit ist und ob somit eine Verbesserung der Ergebnisse erreicht werden kann.

Die als allgemein und methodisch bezeichneten Herausforderungen der Technikfolgenabschätzung werden in Kapitel 7 erläutert. Um einen Einblick in systemanalytische Methoden zu geben und zu zeigen, dass ein Methodenmix sinnvoll sein kann, werden in dem Folgekapitel die Methoden Lebenszyklusanalyse, Ökobilanzierung und Input-Output-Analyse vorgestellt. Durch die spezifischen Anwendungsbereiche der Methoden wird die Kontextabhängigkeit in der Vorgehensweise der Technikfolgenabschätzung verdeutlicht.

In allen Kapiteln der Ausarbeitung werden die Inhalte einer Untersuchung der Technikfolgenabschätzung auf eine Nutzung systemtheoretischer Grundlagen überprüft. Die Ausarbeitung endet mit einer Zusammenfassung, in welcher die Inhalte und Ergebnisse präsentiert und die Forschungsfragen beantwortet werden.

2 Relevanz der Technikfolgenabschätzung

In diesem Abschnitt wird ein erster Einblick in das Thema der Technikfolgenabschätzung gegeben. Insbesondere werden die Gründe für die Durchführung einer Untersuchung von Technikfolgen in den Fokus genommen. Dem Leser soll dadurch die weitere Vorgehensweise und die Relevanz des Themas Technikfolgenabschätzung vermittelt werden.

Durch die Industrialisierung herrschte vor den 1960er Jahren in der Bevölkerung ein „Fortschrittsoptimismus“ (Grunwald 2010). Mithilfe technischer Innovationen konnte eine Erleichterung im Lebens- und Arbeitsalltag erreicht werden, die zu einer Verbesserung des Lebensstandards führte (Grunwald 2010). Als Folge des Fortschrittsoptimismus wurden technische Innovationen implementiert ohne mögliche negative Effekte zu hinterfragen. Im Zeitverlauf wurde ein Bewusstsein dafür entwickelt, dass technischer und wissenschaftlicher Fortschritt nicht nur Vorteile, sondern auch Nachteile haben kann (Grunwald 2013). Die Vorteile zeigen sich beispielsweise in einem verbesserten Lebensstandard und die Nachteile sind unter anderem Risiken und negative Technikfolgen, welche aus einer neuen Technik entstehen.

Zeitlich passend zu der „Debatte über die ökologische Krise“ (Ropohl 2009) ist der Beginn der Technikfolgenabschätzung in den 1960er Jahren in den USA als ein Instrument zur Politikberatung bei technischen Fragestellungen zu datieren (z. B. Tran und Daim 2008, Gethmann und Grunwald 1998). Dem Beispiel der USA folgend, kam es zu der Gründung von Instituten der Technikfolgenabschätzung in Europa und somit zu einer Verbreitung dieses Forschungsgebietes (Grunwald 2010). Auf die Inhalte der geschichtlichen Entwicklung sowie der Institutionalisierung wird im späteren Verlauf der Arbeit detaillierter eingegangen (siehe Kapitel 5.2).

Der Technikanteil in den Bereichen des täglichen Lebens wächst stetig und aus den Nachteilen einer Technik können sich Risiken entwickeln (Renn 2014). Der Einfluss der Technik beschränkt sich gegenwärtig nicht mehr auf Großmaschinen in der Produktion, sodass nicht nur Unternehmen, sondern auch private Konsumenten von technischen Innovationen und deren Folgen betroffen sind (Bhatnagar und Jancy 2003). Gemäß einer Umfrage des *Bundesverband Technik des Einzelhandels e.V.* (BVT) aus dem Jahr 2016 gaben Privatperson in Deutschland durchschnittlich 783,59 Euro jährlich für neue Technik

aus (BVT n.d.). Diese Summe zeigt, dass eine Akzeptanz vorhanden ist, Technik im Alltag zu benutzen. Eine exemplarische Entwicklung von einer gesteigerten Anzahl an Technik im Alltag, zeigt die Zunahme gemeldeter Pkw in Deutschland. Das Fahren eines Pkw ist in Deutschland alltäglich, sodass die Anzahl an gemeldeten Pkw im Januar 2018 bei 46,5 Millionen lag (KBA n.d.). Im Vergleich dazu lag die Anzahl der gemeldeten Pkw im Jahr 1960 bei 4,5 und im Jahr 1990 bei 30,7 Millionen (KBA n.d.). Durch diese Statistiken soll gezeigt werden, dass der Anteil an Technik einerseits dadurch steigt, dass der Alltag beispielsweise am Arbeitsplatz, im Straßenverkehr oder beim Einkaufen durch Technik geprägt wird, worauf eine Privatperson keinen Einfluss hat. Gleichzeitig ist eine Bereitschaft vorhanden, weitere Technik durch den Privatkonsum im Alltag zu integrieren.

Bei der Entwicklung und Einführung neuer Technik sollen alle Akteure und Systeme miteinbezogen werden, welche von der Technik betroffen sind und mit sowohl positiven als auch negativen Auswirkungen umzugehen haben (Grunwald 2013). Daraus folgt, dass bei einer Bewertung der Folgen nicht ausschließlich die neue Technik separat betrachtet werden darf. Vielmehr müssen alle Elemente eines Systems sowie die einzelnen Systemteile in Verbindung miteinander betrachtet werden, sodass Wechselwirkungen und Interdependenzen erkennbar werden (Bhatnagar und Jancy 2003). In der Vergangenheit kam es zu Entwicklungen, durch welche sich eine Gesellschaft an die Technik anpassen musste (Grunwald 2013). Dieser Umstand wird sich nicht ändern lassen, da eine konträre Entwicklung, in der sich die Technik der Gesellschaft anpasst, nicht möglich ist. Der Grund dafür ist, dass eine Gesellschaft nicht statisch ist und sich an Änderungen der Rahmenbedingungen in ihrem Lebensumfeld anpasst (Grunwald 2013).

Durch die Implementierung einer neuen Technik benötigen die betroffenen Bevölkerungsteile Zeit, sich an die Gegebenheiten anzupassen (Grunwald 2013). Eine zeitlich frühere Anpassung ist möglich, wenn das Bewusstsein und Wissen über die veränderten Bedingungen gegeben ist. Dies ermöglicht einer Gesellschaft, sich auf positive oder negative Entwicklungen der eingesetzten Technik vorzubereiten. Eine verlängerte Zeitperiode zwischen der Kenntnis und dem Eintritt einer veränderten Umwelt kann zur adäquaten Reaktion auf die Änderungen der Umwelt genutzt werden. Durch die Technikfolgenabschätzung erhält die Gesellschaft folglich eine höhere Reaktionszeit als ohne eine Analyse der Technik (Grunwald 2013).

Aufgrund einer verlängerten Reaktionszeit ergeben sich zwei Möglichkeiten, auf eine neue Technik zu reagieren. Die erste Variante ist eine frühzeitige Anpassung einer Gesellschaft an die neuen Gegebenheiten. Als weitere Möglichkeit bietet sich eine adäquate Zeitperiode zur Intervention durch die Politik und Wissenschaft an, sodass unerwünschten Folgen entgegengewirkt werden kann. Falls diese Intervention erfolgreich ist, wäre eine Anpassung der Gesellschaft nicht oder nur teilweise notwendig (Grunwald 2013). Die Technikfolgenabschätzung wird daher als „Frühwarnsystem“ bezeichnet (Paschen und Petermann 1992). Das Frühwarnsystem durch die Möglichkeit der Intervention funktioniert, bezogen auf politische Entscheidungen, nach dem „Vorsorgeprinzip“ (Grunwald 2010). Politische Entscheidungen zur Vermeidung von Risiken oder negativen Auswirkungen einer Technik können nach diesem Prinzip bereits bei Verdachtsfällen getroffen werden (Grunwald 2010). Einige Beispiele aus der Ökologie zeigen, wie wichtig eine langfristige Technikfolgenabschätzung ist. Die besorgniserregende Entwicklung des Umweltsystems, welches aufgrund der Technik des Menschen beansprucht wird und diese Belastung z. B. durch den Klimawandel zeigt, ist nur eine von vielen Auswirkungen (Simonis 2013). Eine langfristig geplante Technikfolgenabschätzung mit hoher Prognosekraft kann hilfreich sein, negativen Einflüssen entgegenzuwirken (Renn 1999). Durch eine Technikfolgenabschätzung als Frühwarnsystem kann interveniert werden, um Folgen bei erfolgreicher Intervention zu verhindern oder abzumildern.

Während bisher die Entwicklungen nach der Einführung einer Technik thematisiert wurden, ist die Phase vor der Einführung gleichsam wichtig und benötigt eine fundierte Wissensbasis. Bei der Durchführung einer umfassenden Analyse und Forschung zu den Bedingungen und den Systemen, in welche die Technik eingeführt wird, ist die Wahrscheinlichkeit von unerwarteten negativen Folgen geringer (Bhatnagar und Jancy 2003). Um eine Akzeptanz bei der Gesellschaft zu schaffen ist es notwendig, die Menschen in diesen Prozess miteinzubinden (Grunwald 2010). Sonst kann es dazu kommen, dass die Öffentlichkeit sich gegen die Einführung einer Technik wehrt, da der Nutzen nicht erkannt wird und die Nachteile in den Vordergrund rücken (August 2016). Damit ist die Akzeptanz durch die Öffentlichkeit ein wesentlicher Erfolgsfaktor für die Umsetzung von entscheidungspolitischen Maßnahmen (Grunwald 2010). Der dritte Grund für die Durch-

führung einer Technikfolgenabschätzung ist die Schaffung einer Informationsbasis zur Vermeidung negativer Folgen und Akzeptanz in der Bevölkerung.

Neben der Politik bedient sich die Wirtschaft einer Beratung mithilfe der Technikfolgenabschätzung. Der durch den Prozess geschaffene Wissensgewinn ist aus Unternehmensicht attraktiv (Bhatnagar und Jancy 2003). Durch die Forschung, welche nicht ausschließlich die Technik, sondern gesellschaftliche Systeme wie beispielsweise Politik und Umwelt miteinbezieht, können mehr Potenziale nach einer Techniknachfrage aufgedeckt werden (Bhatnagar und Jancy 2003). Gleichzeitig werden, durch eine Analyse möglicher Risiken, die Grenzen einer Technik aufgezeigt. Als Ergebnis kann erkannt werden, bei welcher Technik eine Akzeptanz durch Gesellschaft und Politik schwer zu erreichen sein wird (Bhatnagar und Jancy 2003). Der vierte Grund für eine Technikfolgenabschätzung sind demnach Wettbewerbsvorteile, welche Unternehmen wegen eines Wissensvorteils gegenüber ihren Konkurrenten erhalten können.

Die Gründe für die Durchführung einer Technikfolgenabschätzung sind wie folgt zusammengefasst:

- (1) Eine höhere Reaktionszeit zur Anpassung an eine neue Technik für die Gesellschaft
- (2) Technikfolgenabschätzung als Frühwarnsystem zur Intervention vor möglichen negativen Folgen
- (3) Schaffung einer Informationsbasis vor der Implementierung einer neuen Technik und die Einbeziehung der Öffentlichkeit zur Erlangung von Akzeptanz
- (4) Wettbewerbsvorteile aus Unternehmensicht

Gleichzeitig wird deutlich, dass der Adressat einer Technikfolgenabschätzung nicht mehr ausschließlich die Politik als parlamentarische Beratung ist. In den Anfängen wurde die Technikfolgenabschätzung ausschließlich zur Politikberatung genutzt. Inzwischen wird sie ebenfalls von der Wirtschaft beansprucht (Grunwald 2010, Tran und Daim 2008). Außerdem ist die Öffentlichkeit wegen der von ihr benötigten Akzeptanz und der Wechselwirkungen von Technik mit sozialen Systemen miteinzubeziehen (Grunwald 2010).

Durch die Ausarbeitungen dieses Kapitels wird gezeigt, dass die Technikfolgenabschätzung ein breites Forschungsfeld ist, welches nicht auf eine isolierte Branche, einen festgelegten

Zeitraum oder ein einzelnes Themengebiet beschränkt werden kann (Banta 2009). Die Einführung einer neuen Technik kann zu negativen Folgen für die Umwelt, das Sozialsystem, die Bevölkerung und weiteren Systemen führen. Ebenso kann die Entscheidung, welche auf den Analysen einer Technikfolgenabschätzung basiert, weitreichende Konsequenzen haben. Durch falsche Prognosen können die eintretenden negativen Folgen nicht erkannt und eine fehlerhafte Handlungsweise durchgeführt werden. Diese Ausführungen werden im Kapitel zu den Herausforderungen einer Technikfolgenabschätzung näher behandelt (siehe Kapitel 7). An dieser Stelle wird vorweggenommen, dass eine der Hauptschwierigkeiten in der Technikfolgenabschätzung die Subjektivität bei der Systemabgrenzung und der Bewertung der Analyse ist (Grunwald 2010, Grunwald 2002, Gethmann und Grunwald 1998). Da Analysten durch eigene Wertvorstellungen und Denkweisen subjektiv handeln, sind die Ergebnisse möglicherweise nicht konsistent (Grunwald 2010). Deshalb stellt sich die Frage, ob durch eine Durchsetzung der Anwendung der grundlegenden Denkweisen einer Systemtheorie – damit alle eine gemeinsame Basis haben – dieses Problem der subjektiven Bewertung eines Analysten behoben werden kann.

Zur Beantwortung dieser Frage wurde eine Literaturanalyse von Grundlagenwerken der Technikfolgenabschätzung durchgeführt. Gleichzeitig erfolgte eine Recherche auf Webseiten der Institute der Technikfolgenabschätzung, welche die Autorin zur Sichtung von Fachzeitschriften führte. Dabei hat sich herausgestellt, dass eine theoretische Basis kaum vorhanden ist, wenn Fragen über die Vorgehensweise und Methoden der Technikfolgenabschätzung sowie den Gründen der Methodenwahl beantwortet werden sollen. Die Erklärungen, weshalb in den Projekten der Technikfolgenabschätzung neue Methoden entwickelt werden, anstatt bestehende Methoden zu benutzen, sind in der Literatur nicht aufzufinden. Wegen eines benötigten Systemverständnisses gab es bei der Autorin die Überlegung, dass das Durchführen von systemtheoretischen Methoden erfolgversprechend sein kann. Allerdings sind Nachweise oder Erklärungen für diese Vermutung ebenfalls seltener präsentiert, als von der Autorin erwartet. Es erscheint, als würden die Denkweisen der Allgemeinen Systemtheorie genutzt werden. Diese Vermutung besteht, da in den recherchierten Werken und Publikationen das systemtheoretische Fachvokabular (beispielsweise „Wechselwirkung“, „Emergenz“; siehe Kapitel 4) genutzt wird, ohne dass auf die Systemtheorie als methodische Basis verwiesen wird. Insgesamt wird die

theoretische Grundlage in der Literatur selten erörtert, was darauf zurückzuführen ist, dass sich die Technikfolgenabschätzung als praxisorientierte Wissenschaft entwickelt hat (Grunwald 2010). Dieser Umstand erschwert die Recherchearbeit auf Basis der bestehenden Literatur. Mithilfe der Durchführung eines Experteninterviews¹ und von Korrespondenzen per E-Mail mit weiteren Experten² auf dem Gebiet der Technikfolgenabschätzung, konnten ergänzende Ergebnisse erarbeitet werden. Die Nutzung von systemtheoretischen Methoden ist in der Technikfolgenabschätzung wenig verbreitet (Lindner 2018). Vielmehr geht es um ein „System Thinking“, also das Denken in Systemen und somit das dazugehörige Verständnis dieser Systeme (Grunwald 2018).

Aufgrund dieser Erkenntnisse in Verbindung mit den Herausforderungen und dem Problem der Subjektivität bei der Bewertung, wurde die Systemtheorie mit ihren Grundlagen als mögliches Mittel zur Lösung dieser Problematik gewählt. Da es infolge eines nicht ausreichenden Systemverständnisses zu Fehlern in der Analyse kommen kann, wird in den folgenden Kapiteln 3 und 4 der Fokus auf die Grundlagen der Allgemeinen Systemtheorie gelegt. Die Autorin möchte dem Leser ein Verständnis von Systemen geben, sodass die spätere Thematisierung der Schwierigkeiten einer Bewertung und Systemabgrenzung umfassend verstanden werden. Es folgt vorab ein geschichtlicher Überblick zu der Entwicklung der Systemtheorie und der Allgemeinen Systemtheorie. Daraufhin wird das Fachvokabular der Systemtheorie unter Einbeziehung eines Beispiels erklärt. Nachdem die Grundlagen der Systemtheorie abschließend behandelt wurden, wird der Fokus in den darauf folgenden Kapiteln auf die Technikfolgenabschätzung gesetzt.

¹ Telefoninterview am 21.02.2018 mit Dr. Ralf Lindner vom Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (isi.fraunhofer.de). Die inhaltlich relevanten Teile des Interviews sind dem Anhang (A1) zu entnehmen.

² E-Mail-Korrespondenz mit Prof. Dr. Armin Grunwald (Institutsleiter des Instituts für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) und des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) (itas.kit.edu)). Die inhaltlich relevanten Teile der E-Mails sind dem Anhang (A2) zu entnehmen.

3 Systemtheorie und Allgemeine Systemtheorie – ein geschichtlicher Überblick

„Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile“³ – dieses holistische Gesetz der Systemtheorie ist auf die Überlegungen des Philosophen Aristoteles zurückzuführen (Ropohl 2012). Die Anfänge der systemtheoretischen Denkweise werden von philosophischen Grundideen hergeleitet. Daher wird das eingangs dargelegte Zitat Aristoteles in diversen wissenschaftlichen Publikationen vorgestellt (z. B. Ropohl 2012, Ropohl 2009, Müller 1996). Es definiert Systeme, welche in Teile und Elemente zerlegt werden können, sich aber nicht ausschließlich durch eine Summation der Bestandteile charakterisieren. Mit diesem Grundgedanken beginnend definierten verschiedene Forscher weitere Theorien über Systeme. Die verschiedenen Theorien und deren Entwicklungsgeschichte werden im folgenden Abschnitt erläutert.

Seit 1940 entwickelte sich die Systemtheorie als Wissenschaft (Müller 1996). In den diversen Wissenschaftsdisziplinen haben sich unterschiedliche Theorien und Ansätze ausgeprägt und etabliert. Daher wird in diesem Zusammenhang von verschiedenen Systemtheorien gesprochen (Ropohl 2009). Während es auf der einen Seite zu einer Entwicklung einzelner Systemtheorien kam, welche, ganz oder in Teilen, ausschließlich in einer Wissenschaftsdisziplin zur Anwendung kommen, hat sich ebenfalls eine fächerübergreifende Systemtheorie etabliert: die „Allgemeine Systemtheorie“ (z. B. Ropohl 2009, Müller 1996). Diese ist von der „Systemtheorie“ klar zu unterscheiden. Die Allgemeine Systemtheorie wurde durch den Biologen Ludwig von Bertalanffy in den 1950er Jahren entwickelt. Der Unterschied zwischen Systemtheorie und Allgemeiner Systemtheorie ist wie folgt zu erklären: Während eine Systemtheorie jeweils nur in einer Wissenschaftsdisziplin genutzt werden kann, wird die Allgemeine Systemtheorie als fächerübergreifende Metatheorie bezeichnet (z. B. Ropohl 2012, Egner und Ratter 2008). Das bedeutet, die Allgemeine Systemtheorie bezieht sich universell auf die Systeme, sodass diese Ansätze auf die Systeme aller Wissenschaftsdisziplinen anwendbar sind.

³ Dieses Zitat ist eine Übersetzung des Originaltextes aus Aristoteles Metaphysik (1041, S.11f). Der Übersetzer ist Adolf Lasson (1907). Die ursprüngliche Textpassage und dazugehörige Erklärung sind nachzulesen in „Allgemeine Systemtheorie – Einführung in transdisziplinäres Denken“ (Ropohl 2012, S.25)

Die fächerübergreifende Anwendbarkeit erklärt, weshalb die Allgemeine Systemtheorie als transdisziplinäre Wissenschaft bezeichnet wird (Ropohl 2012, Ropohl 2009). Transdisziplinarität bedeutet, dass erklärte Phänomene und Gegebenheiten nicht nur innerhalb einer Disziplin gelten, sondern für alle Disziplinen Gültigkeit haben (Decker 2009). Es handelt sich damit um eine Wissenschaft, welche die Grenzen einer Disziplin überschreitet und fächerübergreifende Regeln definiert. Die Allgemeine Systemtheorie ist daher als eine transdisziplinäre Sprache zu verstehen (Montuori 2011).

In Abbildung 1 wird der Unterschied zwischen Systemtheorie und Allgemeiner Systemtheorie dargestellt. Im oberen Teil der Grafik steht Bertalanffys Allgemeine Systemtheorie als Metatheorie über den anderen Disziplinen und findet allgemeingültige Anwendung. Auf einer fachspezifischen Ebene unter der Allgemeinen Systemtheorie sind die Systemtheorien weiterer Wissenschaftsdisziplinen abgebildet. Den jeweiligen Fachbereichen zugeordnet sind Forscher, welche anerkannte Systemtheorien in ihrem Fachgebiet entwickelt haben. Auf das Zusammenfassen von Wissenschaftsdisziplinen in Oberkategorien, wie beispielsweise Biologie und Physik unter Naturwissenschaften zu vereinigen, wird verzichtet. Der Grund dafür ist, dass die Abbildung sich nicht auf inhaltliche Teile der einzelnen Systemtheorien bezieht. Die Grafik soll verdeutlichen, dass die entwickelten Systemtheorien der Forscher einzelner Disziplinen auf einer Ebene zu sehen und häufig nicht aufeinander anwendbar sind (Ropohl 2009). Die Allgemeine Systemtheorie bezieht sich hingegen auf Systeme im Allgemeinen und beinhaltet Erklärungen zu den Funktionen, Strukturen und Hierarchien von Systemen, worauf im späteren Verlauf der Arbeit (siehe Kapitel 4.5) detaillierter eingegangen wird. Das Konzept der Autopoiesis von Varela und Maturana (1980) zeigt, dass es Teile von Systemtheorien eines Fachbereiches geben kann, welche in anderen Wissenschaftsdisziplinen Anwendung finden. Die Autopoiesis beschreibt die Selbstorganisation sowie Selbsterhaltung eines Systems und wurde durch die Biologen Varela und Maturana (1980) bei der Untersuchung biologischer Organismen definiert. Dieses Konzept wurde beispielsweise von Niklas Luhmann in seiner Systemtheorie der Soziologie genutzt (Luhmann 1984).

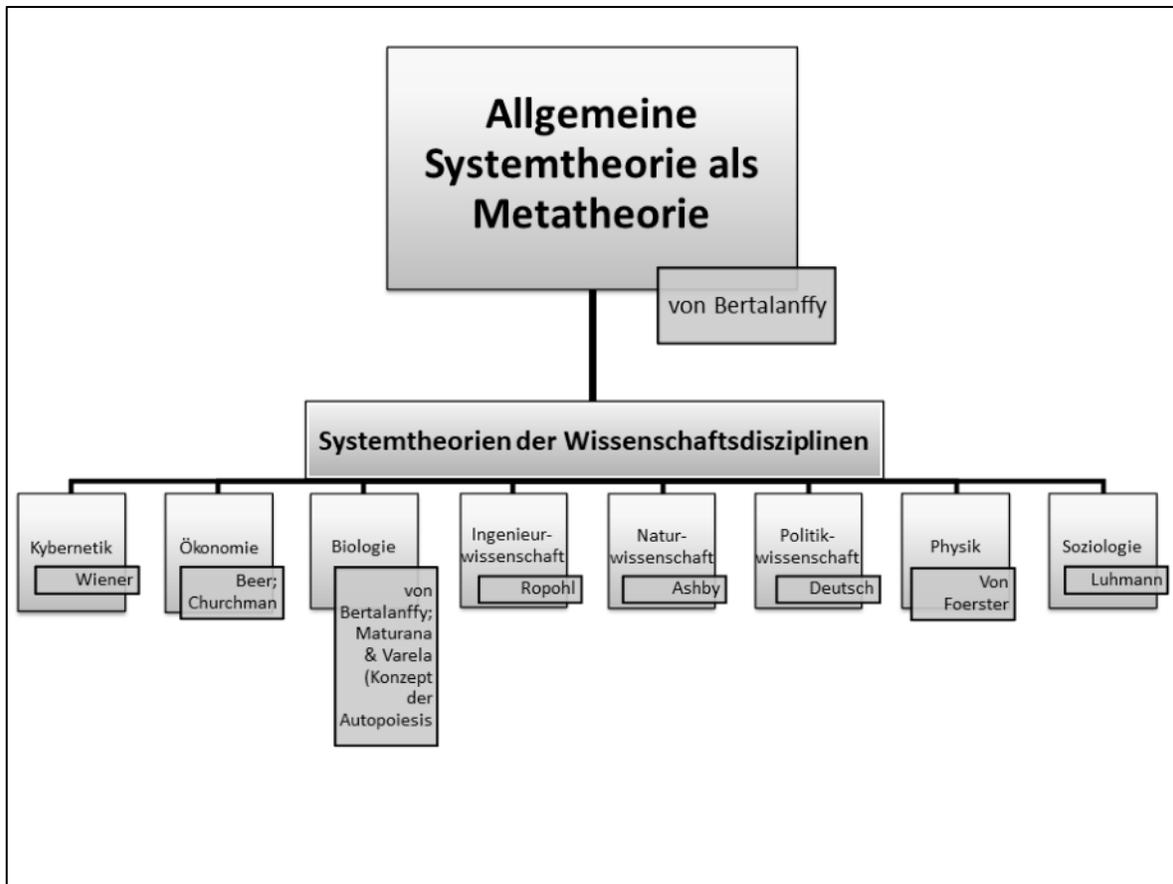


Abbildung 1: Übersicht zur Unterscheidung zwischen Allgemeiner Systemtheorie und den Systemtheorien verschiedener Wissenschaftsdisziplinen (eigene Darstellung)

In seinem 1968 erschienenen Werk „*General System Theory*“ verdeutlicht Ludwig von Bertalanffy die Diversität in den Publikationen zur Systemtheorie und hebt die Wichtigkeit einer fächerübergreifenden Systemtheorie hervor (Bertalanffy 1968). Durch die Analyse biologischer Fragestellungen sind in Bertalanffys Vorstellungen von Systemen nicht nur die einzelnen Elemente eines Systems von Wichtigkeit, sondern vielmehr das Zusammenwirken dieser Elemente und die daraus entstehenden neuen Fähigkeiten des Systems (Ropohl 2009). Unter Betrachtung von Aristoteles Satz „Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile“, ist das „mehr“ die Summe aus Wechselwirkungen und Beziehungen der Elemente eines Systems zueinander (Ropohl 2009). Durch dieses Charakteristikum, dass die Elemente innerhalb eines Systems und mit ihrer Umgebung interagieren, bilden sich neue Eigenschaften aus. Diese und weitere Verhaltensweisen von Systemen werden in Kapitel 4 erläutert. Durch Anwendung der Denkweisen der Allgemeinen Systemtheorie auf

die Realität, deren Natur eine wachsende Komplexität aufweist, kann diese vereinfacht dargestellt werden (Montuori 2011).

Die Allgemeine Systemtheorie Bertalanffys kann auf Untersuchungen von Systemen aller Fachbereiche angewendet werden. Für spezifische Fragestellungen der einzelnen Forschungsgebiete haben sich eigene Systemtheorien etabliert. Die Entwicklung der einzelnen Theorien geschah unabhängig und zeitlich versetzt. Um diese Entwicklungen der Systemtheorien zu verdeutlichen, folgt die Vorstellung weiterer Publikationen der verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen.

Die Kybernetik (Steuerungslehre) ist bei der Auflistung weiterer Systemtheorien hervorzuheben. Norbert Wiener publizierte im Jahr 1948 mit „*Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine*“ seine Untersuchungen zu einer Systemtheorie der Kybernetik. In der Kybernetik wird die Relevanz der einzelnen Elemente sowie der Wechselwirkungen zwischen den Elementen verdeutlicht (Egner und Ratter 2008, Wiener 1948). Die methodischen Ansätze der Kybernetik, in Bezug auf die Regelung und Steuerung von Vorgängen, können in ihrer allgemeinen Struktur auf Regelkreise und Prozesse diverser Wissenschaftsdisziplinen angewendet werden (Egner und Ratter 2008). In der Grundstruktur sind Teile der Kybernetik, ähnlich der Allgemeinen Systemtheorie, ebenfalls fächerübergreifend.

Basierend auf den Ansätzen von Bertalanffy und Wiener bildeten sich zwischen 1950 und 1970 verschiedene neue Systemtheorien in diversen Wissenschaftsdisziplinen aus (Egner und Ratter 2008). Ohne an dieser Stelle auf den Inhalt der Publikationen einzugehen, ist zur Verdeutlichung der Vielfalt der Publikationen die folgende Tabelle 1 zu beachten. In der Tabelle sind die Autoren, welche in den Werken der Systemtheorie als Schlüsselwerke (Baecker 2005) oder für die Entwicklung der Systemtheorie als prägende Einflussfaktoren erwähnt werden (z. B. Ropohl 2012, Ratter und Treiling 2008, Müller 1996), dargestellt. Die Reihenfolge der Werke wird alphabetisch gemäß den Nachnamen der Autoren vorgenommen.

Autor	Jahr	Disziplin	Titel
Ashby, W. Ross	1956	Naturwissenschaften	An Introduction into Cybernetics
Beer, Stafford	1959	Ökonomie	Cybernetics and Management
Churchman, Charles West	1971	Ökonomie	The Design of Inquiring Systems
Deutsch, Karl W.	1963	Politikwissenschaft	The Nerves of Government: Models of Political Communication and Control
Luhmann, Niklas	1984	Soziologie	Soziale Systeme: Grundriß einer allgemeinen Theorie
Maturana, Humberto und Varela, Francisco J.	1980	Biologie – Autopoiesis	Autopoiesis and Cognition: The Realization of the Living
Parson, Talcott	1951	Soziologie	The Social System
Ropohl, Günter	1975	Ingenieur- wissenschaft	Systemtechnik: Grundlagen und Anwendung.
Von Bertalanffy, Ludwig	1968	Biologie	A General System Theory
Von Foerster, Heinz	1981	Physik	Observing Systems
Wiener, Norbert	1948	Kybernetik	Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine

Tabelle 1: Relevante Literatur der Systemtheorie (eigene Darstellung)

Die dargelegten Veröffentlichungen stellen eine Auswahl prägender Werke der Systemtheorie dar. Darüber hinaus existieren weitere Publikationen, Artikel in Fachzeitschriften oder Sammelbänden, welche die Theorien verdeutlichen, erweitern, anwenden oder kritisch hinterfragen (z. B. Baecker 2005, Müller 1996). Dies zeigt die Schwierigkeiten, welche die Entwicklung der Systemtheorie als Wissenschaft prägen. Die Wissenschaftler der einzelnen Disziplinen nutzten die Denkweisen einer Systemtheorie und entwickelten Modelle, welche sie als das eine richtige oder universell gültige Modell darstellten (Ropohl 2012). Bei

diesen Ausführungen wurde nicht beachtet, dass die entwickelte Theorie vorrangig für die eigene Wissenschaftsdisziplin des Forschers entwickelt wurde. Wie groß der Unterschied zwischen den Ansichten der Wissenschaftsdisziplinen sein kann, manifestiert sich bei einem Vergleich zwischen den deutschen Forschern Günter Ropohl (Ingenieurwissenschaftler) und Niklas Luhmann (Soziologe und Gesellschaftstheoretiker). Gerade die in Deutschland angesehene Systemtheorie der Soziologie nach Luhmann stellt in den Sichtweisen und Definitionen einen Unterschied zu anderen Disziplinen dar. Während die Abgrenzung eines Systems in einigen Definitionen in einer Abgrenzung von Teilen eines solchen Ganzen und dem Verhältnis der Teile zum Ganzen liegt, verfolgt Luhmann einen anderen Ansatz (Ropohl 2012). Er nutzt die Systemabgrenzung anhand einer Differenztheorie – den Unterschied zwischen einem System zu seiner Umgebung (Luhmann 2004). Ropohl (2012) hat diesem Unterschied in seinem Werk *„Allgemeine Systemtheorie – Einführung in transdisziplinäres Denken“* ein ganzes Kapitel gewidmet.

Über die diversen Disziplinen und Entwicklungen hinweg haben sich systemtheoretische Denkweisen in einigen Forscherkreisen bis heute bewährt und unterliegen gleichzeitig Kritik. Während Müller anmerkt, dass die „[...] computergestützten intellektuellen Technologien der Systemanalyse und Kybernetik [...]“ (Müller 1996, S. 1)⁴ maßgeblich die Entwicklung der Gesellschaft beeinflussen können, betonte Baecker (2005), dass die Systemtheorie beschränkte wissenschaftliche Relevanz habe. Für das in dieser Arbeit behandelte Thema der Technikfolgenabschätzung sind vor allem die transdisziplinären Herangehensweisen der Allgemeinen Systemtheorie von Bedeutung. Diese werden in folgendem Kapitel behandelt.

⁴ Müller nutzte für diese Erklärung ebenfalls die Formulierung Bells von „intellektuellen Technologien“ (Bell 1973)

4 Begriffsbestimmungen der Systemtheorie

Um die grundlegenden systemtheoretischen Denk- und Forschungsansätze zu verdeutlichen, werden die Definitionen und Erklärungen systemtheoretischer Grundbegriffe erörtert. In den folgenden Unterkapiteln werden die Begriffe „System“, „Umgebung“, „Wechselwirkung“, „Emergenz“ und „Komplexität“ erläutert und miteinander in einen Zusammenhang gebracht.

Als Grundlage für die folgenden Inhalte wurde eine Literaturanalyse durchgeführt. Es hat sich gezeigt, dass die Definitionen einzelner Begriffe und Zusammenhänge in Abhängigkeit vom Autor und Forschungsgebiet verschiedenartig sein können (z. B. Ropohl 2009 im Vergleich zu von Elverfeldt und Keiler 2008). Die Differenzen werden umso markanter, je unterschiedlicher die Wissenschaftsdisziplinen sind. Dieser Umstand ist auf die Erklärungen der Entwicklungsgeschichte der Systemtheorie, welche in Kapitel 3 erläutert wurden, zurückzuführen. Auf Grundlage dieser Analyseergebnisse wurde für die Erarbeitung der Begriffsbestimmungen die folgende Vorgehensweise genutzt:

- (1) Aufgrund der Unterschiede in der einschlägigen Literatur der Systemtheorie musste die Autorin sich bei diversen Begriffen zwischen verschiedenen Definitionen entscheiden. An den Stellen mit definitorischen Entscheidungen wird im Text eine Fußnote Auskunft über die Alternativen geben, welche nicht ausgewählt wurden.
- (2) Bezugnehmend auf den thematischen Rahmen der Technikfolgenabschätzung wurde für den systemtheoretischen Teil dieser Arbeit zum einen Literatur genutzt, welche einen Überblick über Systemtheorie gibt (z. B. Egner et al. 2008, Baecker 2005, Müller 1996). Zum anderen wurden die Werke des Ingenieurwissenschaftlers und Philosophen Günter Ropohl verwendet. In seinem 2012 erschienenen Buch *„Allgemeine Systemtheorie: Einführung in transdisziplinäres Denken“* werden die Grundlagen der Allgemeinen Systemtheorie erörtert. Das Fehlen einer Basisliteratur zur Allgemeinen Systemtheorie wird von Ropohl als Grund für das Verfassen seines Werkes genannt. Die Auswahl an systemtheoretischer Literatur beinhaltet entweder kybernetische oder soziologische Systemtheorien (Ropohl 2012). Dieser Eindruck wurde der Autorin während ihrer Recherche bestätigt, weshalb Ropohls Werk eine Basisliteratur dieser Arbeit darstellt. Für seine Erklärungen der Allgemeinen Systemtheorie nutzt Ropohl neben

verbalen Formulierungen eine mathematische Ausdrucksweise. Das Buch wurde nachträglich als Grundlagenliteratur zu seinem 2009 erschienenen Werk veröffentlicht. Die Publikation *„Allgemeine Technologie: Eine Systemtheorie der Technik“* (2009) gibt einen Überblick über die Allgemeine Systemtheorie als Wissenschaftsansatz der Technikforschung. Gleichzeitig wird die Verbindung zwischen der Allgemeinen Systemtheorie, soziotechnischen Systemen und Praxisbeispielen gezogen. Wegen des Zusammenhangs zwischen der Allgemeinen Systemtheorie und Technik sind die erläuterten Ansätze Ropohls geeignet für den Fokus auf die Technikfolgenabschätzung in dieser Arbeit.

- (3) In den Erklärungen wird häufig der Begriff des „Beobachters“ genutzt. Die Figur des Beobachters wird in der vorhandenen Literatur teils mit abstrakten Erklärungen definiert und als ein „Komplement“, das die Komplexität eines Systems erklärt (Baecker 2005). Im Gegensatz dazu definiert die Autorin dieser Arbeit den Beobachter als die Person, welche das System analysieren möchte, es abgrenzt und modelliert. Dieser Ansatz ist ebenfalls auf Ropohls (2009) Ausarbeitungen zurückzuführen.

Nachdem das folgende Kapitel 4.1 die Wortbedeutung des Begriffs „System“ erörtert, wird in Kapitel 4.2 zur Veranschaulichung ein Beispiel entwickelt, anhand dessen die Denkweisen der Systemtheorie erläutert werden. Anschließend werden die verschiedenen Arten von Systemen und die dazugehörige mögliche Interaktion mit der Umgebung vorgestellt. Um die Verhaltensweisen von Systemen analysieren zu können, werden in den Unterkapiteln von Kapitel 4.5 die Struktur, Hierarchie und Funktionen von Systemen nach den Konzepten Ropohls erläutert. In Kapitel 4.6 wird der Unterschied zwischen linearen und nichtlinearen Systemen und der damit einhergehenden Komplexität und Dynamik von Systemen erklärt. Abschließend wird ein Leitfaden präsentiert, welcher als Ergebnis dieses Kapitels eine Vorgehensweise aufzeigen soll, mit welcher der Beobachter ein Verständnis von Systemen erhalten kann.

4.1 Das Wort „System“

In einer Gesellschaft tritt der Begriff „System“ in diversen Zusammenhängen auf. Häufig wird er genutzt, wenn von einem gesellschaftlichen, politischen oder ökonomischen System gesprochen wird (Cortés et al. 1974). Rein definatorisch bedarf das System einer detaillierteren Betrachtung, wie die folgenden Ausführungen zeigen werden. Der Begriff „System“ ist abgeleitet von dem griechischen Wort „sýstēma“ und bedeutet wörtlich übersetzt „aus mehreren Teilen zusammengesetztes und gegliedertes Ganzes“ (duden.de). Unter Einbeziehung von Aristoteles „Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile“ (Ropohl 2012) wird gezeigt, dass es mehr geben muss als die Elemente⁵ und das zusammengesetzte Ganze.

Zum besseren Verständnis hat die Autorin das Anwendungsbeispiel eines Büros entwickelt, um anhand der anschaulichen Strukturen die komplexen Zusammenhänge von Systemen zu erläutern.

4.2 Das Beispiel „Büro“

Zum besseren Verständnis wird das Beispiel eines Büros mit den dazugehörigen Arbeitnehmern ausgearbeitet, auf welches die Definitionen im weiteren Verlauf angewendet werden. An dieser Stelle hätte ein technisches und komplexes Beispiel gewählt werden können. Darauf wurde verzichtet, da das gewählte Beispiel durch Nachvollziehbarkeit und Einfachheit helfen soll, die komplexen Zusammenhänge der Allgemeinen Systemtheorie verständlich darzustellen. Innerhalb des dargestellten Büroraums werden die Elemente beschrieben, welche zur Erklärung der Verhaltensweise von Systemen benötigt werden. Auf eine größere Anzahl anderer Beschreibungen, Elemente oder Inputs sowie Outputs wird bewusst verzichtet. Diese Entscheidung ist erneut beabsichtigt zur Vereinfachung getroffen worden. Das Beispiel wird einleitend erläutert und im weiteren Verlauf des Kapitels 4 zur Verdeutlichung der Erklärungen genutzt. Um eine bessere Lesbarkeit zu

⁵ In der Literatur wird bei verschiedenen Autoren an dieser Stelle entweder von den Elementen (z. B. Egner et al. 2008) oder Teilen (z. B. Ropohl 2009) eines Systems gesprochen. Um eine Eindeutigkeit zu gewähren und die Verwechslung mit Teilen eines Systems zu verhindern, wird für die Einzelteile der Begriff „Element“ genutzt. Die „Teile“ eines Systems bezeichnen die Systemteile, welche durch eine Teilung des Systems entstehen und aus mehreren Elementen bestehen können.

gewährleisten und die optische Vermischung mit den theoretischen Grundlagen zu verhindern, werden die Textpassagen des Beispiels farblich unterlegt.

In dem Büro befinden sich drei Mitarbeiter, welche auf gleicher Hierarchieebene innerhalb des Unternehmens stehen. All diese Mitarbeiter haben besondere Fähigkeiten, weshalb sie in der Summe eine Idealbesetzung für die anstehenden Aufgaben darstellen. Die Mitarbeiter stehen durch ihre Aufgaben und auf persönlicher Ebene in Beziehung zueinander. Diese Beziehungen können sich entweder durch ein friedliches Miteinander oder durch Konflikte auszeichnen. Da der einzelne Arbeitnehmer jeweils autonome Entscheidungen trifft, auf welche die anderen beiden reagieren, ist der Ausgang eines jeden Tages, jeder Konversation und jedes Arbeitsschrittes unsicher. Einer der wenigen bekannten Fakten ist der Grund, weshalb die Mitarbeiter in diesem Büro sind: Sie verfolgen den Zweck, die ihnen aufgetragenen Arbeiten zu erledigen. Die drei Arbeitnehmer unterstehen demselben Vorgesetzten, welcher ihnen weisungsbefugt ist, mehrmals täglich neue Aufgaben erteilt und gleichzeitig die erledigten Arbeiten beurteilt.

4.3 Emergenz

Was ist ein System? Wie verhält sich ein solches System? Ein Beobachter ist zunächst mit der Realität konfrontiert. Diese kann aus heterogenen und homogenen Elementen bestehen und es ist die Aufgabe des Beobachters aus der Realität ein System zu entwerfen (Ropohl 2012). Ein System ist folglich ein Modell, welches durch einen Beobachter von der Realität erstellt wird (Ropohl 2012). Das bedeutet, dass nicht alle Facetten der Realität in einem Modell enthalten sind. Die Realität ist durch die Anzahl an Elementen und durch ihre Komplexität nicht exakt abbildbar (Ropohl 2012). Außerdem gibt es nicht das eine wahre oder richtig gewählte System (Ropohl 2009). Die Abgrenzung und Entscheidung, was zu dem System gehört, wird von dem Beobachter der Szene getroffen. Es gibt das System und alles, was nicht zu dem System gehört und dieser Teil, welcher nicht zum System gehört, wird als Umgebung bezeichnet (Ropohl 2012). Auf die Umgebung und die Grenzen eines Systems wird in einem späteren Teil der Arbeit eingegangen (siehe Kapitel 4.4).

Im Inneren des Systems befinden sich die einzelnen Elemente. Jedes Element hat individuelle Eigenschaften, welche Einfluss auf die übrigen Elemente haben. Zwischen

allen Elementen eines Systems bestehen Beziehungen und Wechselwirkungen (Mainzer 1999). In komplexen Systemen der Realität sind keine Verhaltensweisen durch ein Ursache-Wirkungs-Prinzip vorhanden (Mainzer 1999). Es bestehen keine linearen Beziehungen, sondern Relationen, Interdependenzen und Rückkopplungen (Mainzer 1999). Dieses Verhalten nichtlinearer Systeme wird in Kapitel 4.6 detaillierter erläutert. In der Allgemeinen Systemtheorie wird der Faktor der Nichtlinearität in die Vorgehensweise mit einbezogen und die Interaktion zwischen den Elementen eines Systems analysiert.

Durch die beschriebenen Wechselwirkungen entstehen innerhalb des Systems neue Eigenschaften, welche ohne die spezifische Konstellation der Elemente nicht entstanden wären (Egner 2008). Außerdem können sich neue Eigenschaften durch die Interaktion mit den anderen Elementen des Systems ausbilden. Dieses spezielle Phänomen innerhalb eines Systems wird als „Emergenz“ bezeichnet (Ropohl 2012). Das System (das Ganze) hat folglich sowohl die einzelnen Eigenschaften der Elemente und zusätzlich neue Eigenschaften durch die Wechselwirkungen der Elemente untereinander. Diese Wechselwirkungen bezeichnen das „mehr“ in Aristoteles Gesetz (Ropohl 2009), welches in Kapitel 3 vorgestellt wurde.

Die Mitarbeiter des Büros zeichnen sich, als Elemente des Systems, durch ihre individuellen Fähigkeiten aus. Ebenfalls haben sie Beziehungen zueinander und reagieren wechselseitig aufeinander, was zu einer gegenseitigen Beeinflussung führt. Telefoniert Mitarbeiter A laut, stört dies die anderen beiden und sie bringen wegen einer gestörten Konzentration schlechtere Resultate hervor. Dies stellt eine negative Beeinflussung dar. Arbeiten die drei Mitarbeiter gemeinsam an einem Großprojekt, für welches Programmierkenntnisse, detaillierte Planungsfähigkeiten und Kreativität gefordert sind, können sie sich gegenseitig unterstützen. Jeder Mitarbeiter deckt eine der genannten Fähigkeiten (Softwareentwicklung, Kreativität, Planungsfähigkeit) ab. Zwar könnte der Softwareentwickler die benötigten Codes schreiben, allerdings fehlen ihm die grundlegenden Ideen zur Gestaltung des Projektes. Diese erhält er durch eine Besprechung mit seinen beiden Kollegen. Der Planer innerhalb dieser Gruppe verwaltet die Ressourcen des Projektes und beantragt rechtzeitig weitere Gelder für die Entwicklung. Ohne dieses spezielle Beispiel des Großprojektes weiter zu verfolgen, soll verdeutlicht werden, dass der einzelne Arbeitnehmer die Aufgaben nicht hätte alleine erledigen können. Durch die Interdependenz ist zur Lösung der

Aufgaben eine Zusammenarbeit notwendig. Jeder Mitarbeiter bringt seine Fähigkeiten ein und somit entwickeln sich neue Möglichkeiten und Lösungen. Dieses Herausbilden der neuen Möglichkeiten, womit die Eigenschaften des Systems gemeint sind, ist die Emergenz.

4.4 Umgebung

Um ein System wie in Kapitel 4.3 analysieren zu können, muss dieses zunächst von der Umgebung⁶ abgegrenzt werden. Es stellt sich die Frage: Was ist die Umgebung? Die Umgebung ist all das, was nicht zu dem System gehört (Ropohl 2012). Da das System ein Modell eines Ganzen ist, muss der Beobachter die Systemgrenze ziehen. Diese Entscheidung zu treffen, kann möglicherweise schwierig sein, da die Elemente und Beziehungen innerhalb des Systems komplex, heterogen und von großer Anzahl sein können (von Elverfeld und Keiler 2008). Diese subjektiv getroffene Entscheidung stellt in der Technikfolgenabschätzung eine Herausforderung dar, auf welche im späteren Verlauf weiter eingegangen wird (Gethmann und Grunwald 1998) (siehe Kapitel 7.2).

Da es nicht das eine richtige System gibt, kann die Systemgrenze nach den Bedürfnissen und Untersuchungsgegenständen des Beobachters gezogen werden (Ropohl 2009). Es ist nicht möglich die ganze Umgebung oder die ganze Welt zu untersuchen, weshalb eine Eingrenzung notwendig ist. Der Beobachter muss sich die Frage stellen, welche Elemente der Umgebung einen Einfluss auf das System haben können. Bei der zu untersuchenden Umgebung muss erneut eine Grenze gezogen werden, welche die Umgebung von den Teilen der übrigen Welt trennt, die keinen Einfluss auf die Untersuchung haben (Ropohl 2009).

Es muss weiterhin untersucht werden, ob es einen Einfluss der Umgebung auf ein System gibt und wie sich eben dieser Einfluss darstellt. Dieser Zusammenhang wird in drei Kategorien aufgeteilt, welche jeweils auf den Grad an Austausch mit der Umgebung zurückzuführen sind (Ropohl 2009, Ratter und Treiling 2008, Mainzer 1999):

⁶ Die Autorin entscheidet sich den Begriff Umgebung zu nutzen. Andere Publikationen, z. B. Egner et al. (2008) nutzen Umwelt als Synonym für den Begriff Umgebung.

- Offene Systeme: Die Systemgrenze zeichnet sich durch eine Durchlässigkeit aus. Der Austausch von Energie, Materie und Informationen ist möglich.
- Geschlossene Systeme: Die Durchlässigkeit ist in diesen Systemen begrenzt auf den Energieaustausch. Ein Austausch von Materie ist in geschlossenen Systemen nicht möglich.
- Isolierte Systeme: Jeglicher Austausch mit der Umgebung ist nicht möglich.

Offene Systeme werden am stärksten von ihrer Umgebung beeinflusst. In diesen Systemen darf die Umgebung bei der Analyse eines Systems nicht ignoriert werden, zumal eine Umgebung gleichzeitig Teil eines größeren Supersystems sein kann, wie in Kapitel 4.5 erläutert wird (Ropohl 2009). Im Vergleich zu den offenen und geschlossenen Systemen bestehen isolierte Systeme ohne einen Einfluss durch ihre Umgebung. In diesen isolierten Systemen wird gemäß des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik durch die Elemente ein Gleichgewichtszustand angestrebt, was bei den beiden anderen Systemtypen nicht möglich ist (Mainzer 1999).

In dem Beispiel des Büros stellt der Büroraum der drei Mitarbeiter das System dar. Die Grenze kann dort gezogen werden, da diese Arbeitnehmer sich auf gleicher Hierarchieebene befinden und gemeinsam an einem Projekt arbeiten. Außerdem sind ihre Arbeitsplätze im selben Büroraum. Alles, was sich außerhalb dieses Raums befindet, ist somit die Umgebung. Es handelt sich um ein offenes System, denn sobald der Vorgesetzte herein kommt um weitere Arbeitsaufträge zu erteilen, ist dies ein Austausch von Materie. Ankommende Anrufe, die Informationen übermitteln, sind ebenfalls als ein Austausch zu werten. In diesem System gibt es außerdem weitere Inputfaktoren, wie die zugefügte Energie durch die Heizlüfter oder den Strom für die Computer und weitere Hardware.

4.5 Funktion, Struktur und Hierarchie

Mit der Erklärung der Emergenz und Umgebung sind wichtige Teile der Definition eines Systems dargelegt worden. Die bisherigen Erörterungen decken noch nicht alle Facetten eines Systems ab. In diesem Teil wird durch Nutzung der Konzepte Ropohls (2009) eine umfassende Definition erarbeitet. Ropohl (2009) verdeutlicht, dass der Grund für seine

umfangreiche Erklärung des Systems darin liegt, dass in der einschlägigen Literatur verschiedene Auffassungen zu der Systembedeutung vertreten sind. Er nutzt die diversen Ansätze um sie zu einer mehrere Konzepte verbindenden Erklärung zusammenzufassen (Ropohl 2009).

Bei der Untersuchung eines Systems ist es wichtig, ein Systemverständnis zu erhalten (Ratter und Treiling 2008). Nach Ropohls Konzept können im Hinblick auf Systemverständnis drei Faktoren analysiert werden: Funktion, Struktur und Hierarchie. Die einzelnen Konzepte werden in den folgenden Unterkapiteln vorgestellt.

4.5.1 Das funktionale Konzept

Die Funktionen des Systems beschreiben die grundlegenden Verhaltensweisen, welche das System mit der Umgebung zeigt. Ropohl nutzt in diesem Teil der Analyse den Begriff der „Black Box“ (Ropohl 2012, S. 56). Aus Sicht der Umgebung ist nicht erkennbar, welche Eigenschaften, Verhaltensweisen und Zustände das System im Inneren aufweist. Im Fokus der funktionalen Betrachtung ist der Austausch mit der Umgebung: die Inputs und Outputs (Ropohl 2012, Ropohl 2009). Durch die Inputs aus der Umgebung verändern sich die Zustände innerhalb des Systems. Ebenso können die Outputs, welche von dem System an die Umgebung abgegeben werden, zu Veränderungen der Umgebung führen (Ropohl 2012).

Das funktionale Konzept wird in Abbildung 2 visuell dargestellt. Das mittlere Feld ist das System, welches von der Umgebung eingeschlossen wird. In dem System gibt es verschiedene Zustände. Wenn dem System Inputs zugefügt werden, ändern sich die Zustände innerhalb des Systems. Ebenso wie die Inputs dem System zugefügt werden, gibt es Outputs an die Umgebung ab. Diese abgegebenen Outputs können das umliegende System verändern.

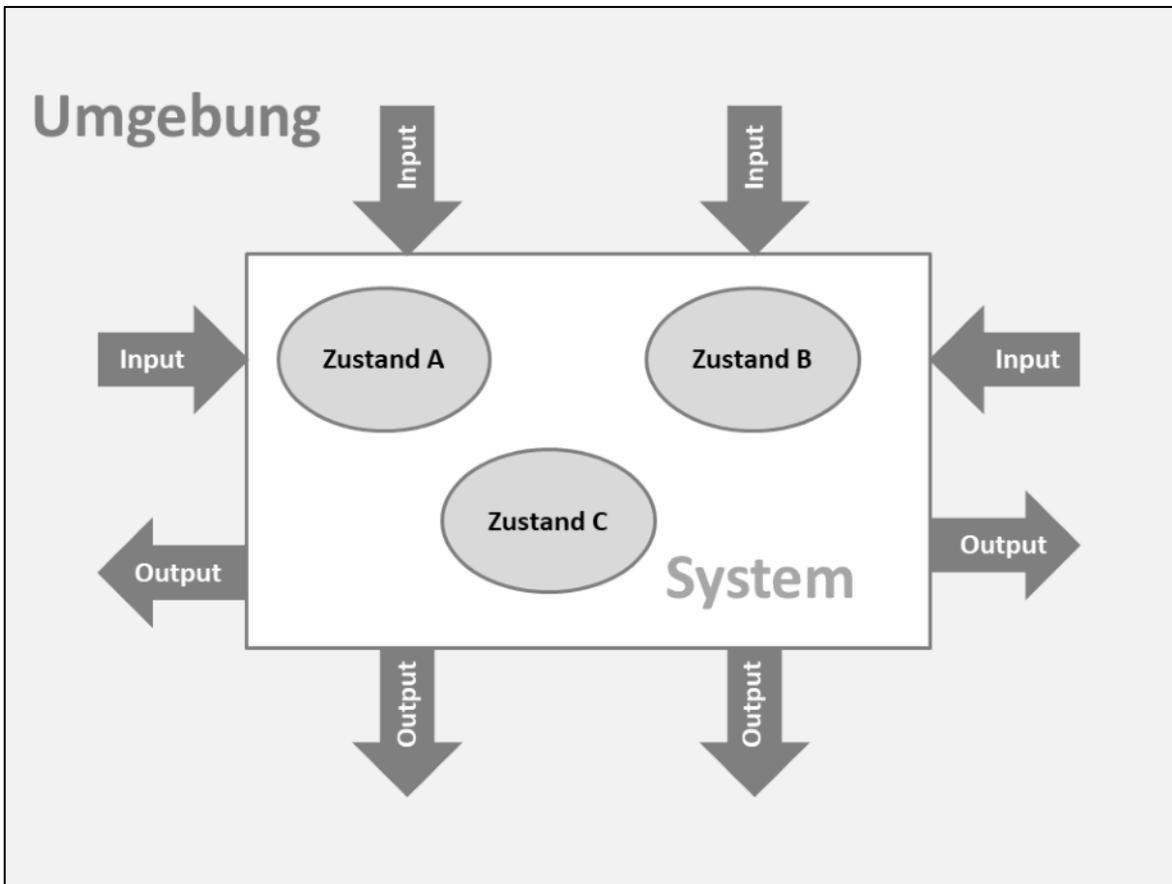


Abbildung 2: Funktionales Konzept nach Ropohl (eigene Darstellung in Anlehnung an Ropohl 2012)

Der Vorgesetzte der drei Arbeitnehmer weiß, dass seine Mitarbeiter sich in dem Büro befinden und dort Arbeitsaufträge erledigen, welche ihren Qualifikationen entsprechen. Er hat keinen Einblick in das Büro, weshalb dieser Raum für ihn eine „Black Box“ darstellt. Sobald er in das Büro eintritt und weitere Arbeitsaufträge erteilt, verändert sich der Zustand in dem Büro: Von einer ruhigen Arbeitsatmosphäre kann es zu einem schnelleren, stressigeren Arbeiten kommen, da mehr Arbeiten in der Zeit zu erledigen sind, als zuvor. Der Input von Energie führt ebenfalls zu einer Zustandsänderung. Wenn dem Büroraum Heizungswärme zugeführt wird, steigt die Raumtemperatur. Gleichzeitig verlassen Outputs das System. Die Mitarbeiter schreiben Abschlussberichte und E-Mails an ihren Vorgesetzten. Außerdem werden Briefe verschickt oder Telefonate geführt, das Fenster wird geöffnet und es tritt Raumluft und –wärme aus. All diese Tätigkeiten haben einen Einfluss auf die Umgebung.

4.5.2 Das strukturelle Konzept

Mit der Struktur des Systems werden die Elemente im Inneren des Systems und die Beziehungen, Wechselwirkungen und das damit einhergehende Phänomen der Emergenz analysiert. Es wird untersucht, welche Relationen es gibt und welche Eigenschaften sich durch die Wechselwirkungen entwickeln können (Ropohl 2012). Die Menge an bestehenden Relationen kann durch eine allgemeine Formel berechnet werden, welche die Anzahl der Elemente zur Ergebnisfindung beinhaltet. Sei n die Anzahl an Elementen in dem System, so ist die Anzahl an Relationen, ausgedrückt mit der Variable R , berechenbar durch die Formel: $R = n * (n - 1)$. Bei einer großen Anzahl an Elementen ($n \rightarrow \infty$), wie es in einem komplexen System der Realität charakteristisch ist, kann approximativ die Formel $R_{max} = n^2$ genutzt werden (Ropohl 2012, S. 72). Außerdem werden die Interdependenzen zwischen den Elementen geprüft. Vor allem in der strukturalen Sichtweise gilt, dass die Elemente nicht getrennt von den jeweils anderen Elementen betrachtet werden können (Ropohl 2012).

Das strukturelle Konzept wird in Abbildung 3 dargestellt. Im Fokus liegt erneut das System, wobei im Inneren nicht mehr die Zustände, sondern die Elemente des Systems betrachtet werden. Zwischen den Elementen eins bis drei bestehen Verbindungen. Diese gehen jeweils von jedem Element zu beiden anderen Elementen in beide Richtungen. Somit bestätigt sich die dargelegte Formel zur Berechnung der Menge an Beziehungen: Durch die Berechnung sind bei drei Elementen sechs Beziehungen zu erwarten. Dies wird durch Zählung der Beziehungslinien zwischen den Elementen bestätigt, was in der vereinfachten Darstellung eines Systems mit drei Elementen möglich, in der Realität aber unmöglich ist. Wenn die Anzahl an heterogenen Elementen groß wird und das System an Komplexität zunimmt, ist es nicht möglich, dass alle Elemente zum selben Zeitpunkt miteinander verbunden sind (Egner 2008). Die Anzahl an Beziehungen kann bei hoher Komplexität aufgrund von heterogenen Elementen, anhand der dargestellten Formel approximativ geschätzt werden.

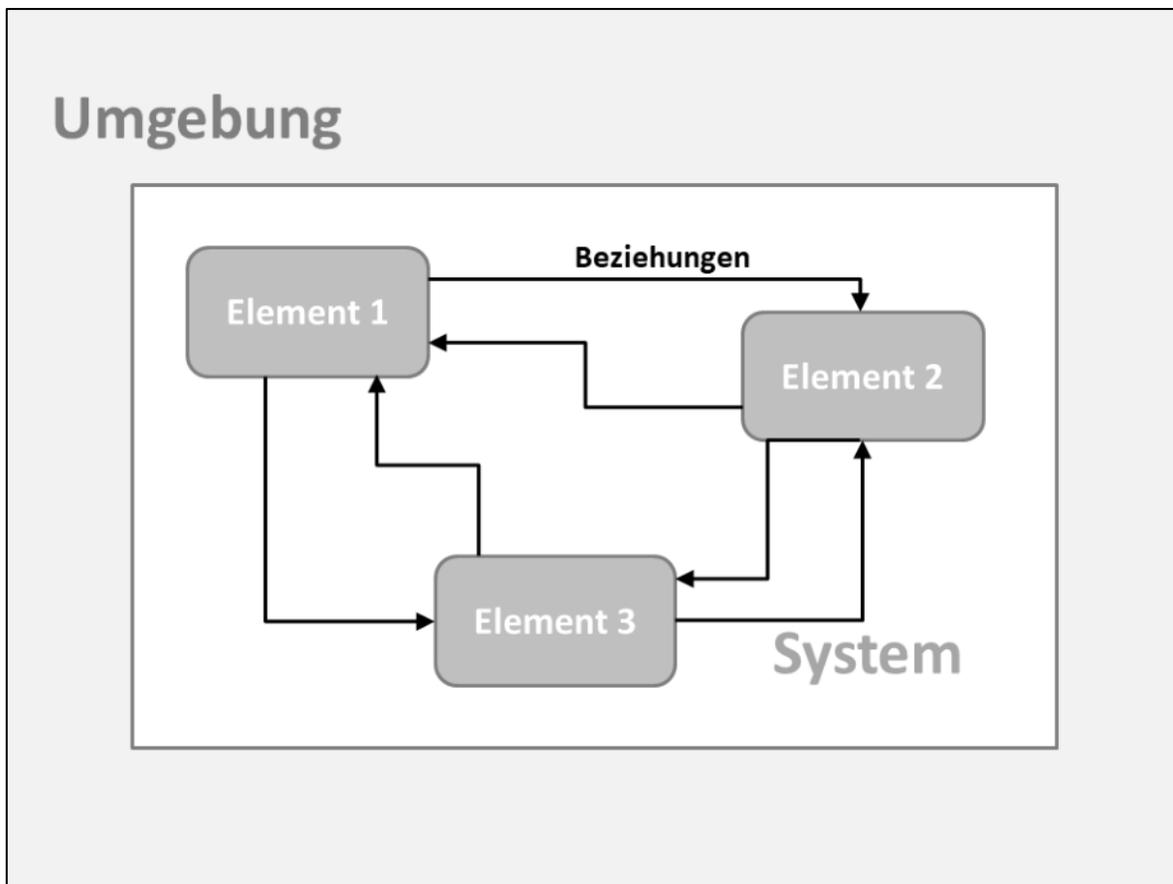


Abbildung 3: Strukturales Konzept nach Ropohl (eigene Darstellung in Anlehnung an Ropohl 2012)

Eine detailliertere Beschreibung zu der Unterscheidung verschiedener Arten von Komplexität innerhalb eines Systems wird in Kapitel 4.6 gegeben.

Wie in Teil 4.3 verdeutlicht wurde, haben die drei Arbeitnehmer individuelle Eigenschaften, welche sie von den anderen beiden abheben. Jeder Arbeitnehmer einzeln könnte die aufgetragenen Aufgaben nicht alleine erledigen. Gemeinsam bilden sich neue Eigenschaften des Teams heraus, sodass eine Interdependenz entsteht, durch welche die erteilten Aufträge erfüllt werden können.

Außerdem kann festgestellt werden, ob sich die drei Mitarbeiter auf persönlicher Ebene mögen oder nicht. Im besten Fall mögen sich alle drei, sodass es $3 \times 2 = 6$ positive Beziehungen gibt. Sollte einer, oder möglicherweise alle drei, die jeweils anderen nicht mögen, verringern sich die Anzahl der auf Sympathie basierenden Beziehungen.

4.5.3 Das hierarchische Konzept

Die hierarchische Betrachtung des Systems umfasst den Detailgrad einer Analyse des Systems. Das bedeutet, dass der Beobachter durch die Auswahl der Hierarchieebene wählen kann, wie umfassend oder detailliert seine Analyse ist (Ropohl 2012). Jedes System hat seine Systemgrenzen, welche durch den Analysten definiert werden müssen. Innerhalb des Systems müssen die Elemente in das Modell einbezogen werden, welche für die Forschungsergebnisse maßgeblich sind (Egner und Ratter 2008). Alles, was nicht zu dem definierten System gehört, stellt die Umgebung dar (Ropohl 2012).

Jedes System kann in mehrere kleinere Systeme aufgeteilt werden. Diese kleineren Systemteile werden als Subsysteme bezeichnet (Ropohl 2012). Je öfter die Systeme geteilt und je mehr Subsysteme gebildet werden, umso detaillierter ist die Analyse der Verhaltensweisen innerhalb des Systems. Bei einer Analyse, bei der Zusammenhänge zwischen mehreren Systemen deutlich werden sollen, empfiehlt sich die Analyse einer höheren Hierarchieebene (Ropohl 2012). Das betrachtete System ist, gemeinsam mit der Umgebung und weiteren Systemen auf derselben Hierarchieebene, Teil eines Supersystems. Das Supersystem ist erneut von seiner Umgebung abzugrenzen.

In Abbildung 4 sind die Hierarchieebenen von Systemen dargestellt. Neben dem System, welches bisher im Fokus lag, sind zwei weitere Systeme auf gleicher Hierarchieebene abgebildet. Jedes dieser Systeme besteht aus Subsystemen. Die Umgebung, welche in Abbildung 2 und Abbildung 3 dargestellt ist, wird in diesem Schaubild zum Teil des Supersystems. Somit hat jedes System Subsysteme und ist gleichzeitig das Subsystem eines größeren Supersystems (Ropohl 2012). Die Auswahl des Beobachters, welches System auf welcher Hierarchieebene analysiert wird, ermöglicht dem Beobachter den Detailgrad der Analyse zu variieren.

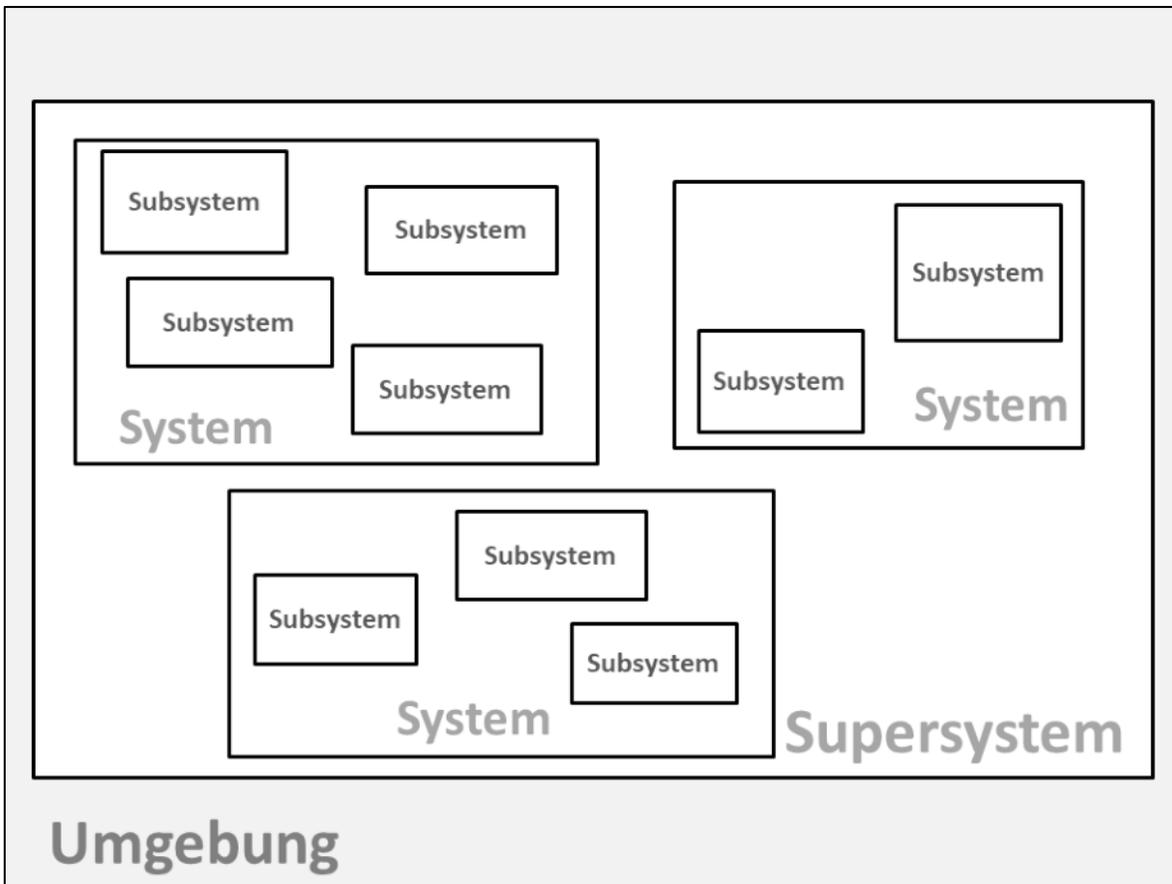


Abbildung 4: Hierarchisches Konzept nach Ropohl (eigene Darstellung in Anlehnung an Ropohl 2012)

Da das Büro das System darstellt, welches analysiert wird, ist alles außerhalb des Büros die Umgebung. Bei einer umfassenden Betrachtung der Zusammenhänge mehrerer Systeme und der Einflussfaktoren muss das Supersystem analysiert werden. Diese Grenze muss erneut gesetzt werden. Ist der Untersuchungsgegenstand die Menge an Aufträgen der drei Arbeitnehmer, könnte das Supersystem das gesamte Unternehmen darstellen. Aufgrund der Marktposition und der volkswirtschaftlichen Gesamtlage des Landes kann die Auftragslage des Unternehmens analysiert werden. Die Umgebung ist in diesem Fall der gesamte Markt, welcher die Konkurrenten des Unternehmens miteinbezieht. Bei einer detaillierteren Betrachtung sind die Systeme auf der gleichen Hierarchieebene die benachbarten Büros. Die Subsysteme in den Büros sind beispielsweise die Arbeitnehmer, welche einzeln als System betrachtet werden können, oder das Netzwerk zwischen Computer, Drucker und Telefonanlage. Je nach Fragestellung ist der Detailgrad der Analyse zu wählen.

Diese drei Herangehensweisen an die Analyse eines Systems durch Untersuchung der Funktionen, Hierarchie und Struktur schließen sich gegenseitig nicht aus. Vielmehr sollen sie eine Möglichkeit geben, das System auf verschiedenen Ebenen zu untersuchen, um ein Verständnis des Systems zu erhalten (Ropohl 2012).

Auf diesen Überlegungen aufbauend wird in Kapitel 4.7 ein Leitfaden als Vorgehensweise zur Erlangung von Systemverständnis erarbeitet. Vorab wird im folgenden Abschnitt die Komplexität von Systemen sowie nichtlineare Systeme thematisiert. Anhand dieser Erklärung soll dem Leser ein Verständnis von den Schwierigkeiten bei der Vorhersagbarkeit möglicher Ereignisse gegeben werden.

4.6 Komplexität und nichtlineare Systeme

In den vergangenen Kapiteln wurde das System defintitorisch und nach Struktur, Funktionen und Hierarchie aufgeteilt und analysiert. Während dieser Erklärungen ist der Begriff der „Komplexität“ des Öfteren genutzt worden. Dieser soll im folgenden Teil mit dem Ziel erörtert werden, die Wichtigkeit systemtheoretischer Denkweisen darzulegen. Um dieses Ziel zu erreichen, wird vorab der Unterschied zwischen linearen und nichtlinearen Systemen erarbeitet.

Lineare Systeme sind zunächst aus der Mathematik bekannt (Ropohl 2012). Diese unterscheiden sich von nichtlinearen Systemen, weil sie beispielweise weder Logarithmen, noch Potenzen beinhalten (Sydsaeter und Hammond 2009). Lineare Systeme sind leichter zu lösen und das Verhalten dieser mathematischen Funktionen ist analysierbar. Ähnlich ist der Unterschied in der Analysierbarkeit zwischen linearen und nichtlinearen Systemen in anderen Wissenschaftsdisziplinen. Lineare Systeme funktionieren nach einem Ursache-Wirkungs-Prinzip (Mainzer 1999). Somit sind Kausalitätsanalysen möglich, sodass das Verhalten des Systems vorhergesagt werden kann (Mainzer 1999). Der Grund für die Änderung eines Zustands ist dann im vergangenen Systemverhalten zu suchen. Das bedeutet: Was in der Vergangenheit einmal die Ursache für eine Wirkung war, wird in der Zukunft erneut die Ursache sein (Ratter und Treiling 2008).

Im Gegensatz dazu bestehen innerhalb von nichtlinearen Systemen Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Elementen des Systems. Dadurch ist die Analyse nach dem Ursache-Wirkungs-Prinzip nicht möglich (Mainzer 1999). Nichtlineare Systeme zeichnen sich durch Komplexität, Dynamik und Unsicherheiten aus (Egner und Ratter 2008). Der Begriff der „Komplexität“ ist an dieser Stelle von der „Kompliziertheit“ zu unterscheiden (Ratter und Treiling 2008). Zu diesem Unterschied ist eine Ausarbeitung in dem Werk *„Umwelt als System – System als Umwelt“* (Egner et al. 2008) publiziert.

Komplexität ist in Verhaltens- und Strukturkomplexität zu unterscheiden (Egner und Ratter 2008). Die Strukturkomplexität ist ein quantitativer Ansatz und bezieht sich auf die Anzahl der Elemente innerhalb des Systems, welche Wechselwirkungen miteinander haben. Wenn das System durch die Anzahl der heterogenen Elemente eine Komplexität aufweist, kann diese durch eine Reduktion der Elemente verringert werden. Ein Beobachter kann sich in diesem Fall auf die einflussreichsten Elemente konzentrieren und somit eine Analyse vereinfachen (Egner und Ratter 2008). Bei der Verhaltenskomplexität (qualitativer Ansatz) ist eine Komplexitätsreduktion nicht möglich. Die Systeme können aus wenigen Elementen bestehen und eine Komplexität aufweisen, welche durch vielfältige Wechselwirkungen und Dynamik entsteht. Somit wird die Komplexität durch eine Reduzierung der Variablen nicht verringert (Egner und Ratter 2008).

In Systemen mit Komplexität kommt es durch Wechselwirkungen und Emergenz zu Rückkopplungen (Mainzer 1999). Die auf eine Ursache zurückzuführende Wirkung wird in diesem Moment zur Ursache einer weiteren Wirkung. Eine Linearität ist folglich nicht mehr nachweisbar, wodurch sich die Analyse erschwert (Mainzer 1999). Was sich an dieser Stelle chaotisch anhört, ist gemäß Mainzer (1999) auf den Schmetterlingseffekt der Chaostheorie zurückzuführen. Der Schmetterlingseffekt bezeichnet das Phänomen, das kleinste Abweichungen vom Anfangszustand zu einer Änderung in den Resultaten führen können (Mainzer 1999). Gleichzeitig weisen sich komplexe und chaotische Systeme durch eine Selbstorganisation aus (Mainzer 1999), die funktioniert, wenn, oder gerade obwohl, der Mensch die Systeme aufgrund der Komplexität nicht versteht (Ropohl 2009). Als ein bekanntes Beispiel für ein selbstorganisiertes, komplexes System sei die Theorie von Adam Smith (1776) über die Steuerung des Wirtschaftssystems durch eine „unsichtbare Hand“ genannt. Diese Theorie besagt, dass das komplexe Wirtschaftssystem durch eine

Selbststeuerung der Preise reagiert, indem es auf die Nachfrage und das Angebot der Konsumenten und Produzenten selbst organisierte Anpassungen vornimmt. Dieses ist nur eines von wenigen Beispielen, wie chaotische Systeme mit Selbstorganisation in der Realität vorkommen (Mainzer 1999). Wegen des unvorhersehbaren Verhaltens von nichtlinearen Systemen der Realität sollte sich ein Beobachter, welcher das System zu analysieren versucht, über Chaos und Selbstorganisation bewusst sein. Gleichzeitig ist ein Verständnis des vorliegenden Systems gemäß systemtheoretischer Grundlagen notwendig, um ein Systemdenken⁷, „[...] das Denken in komplexen, ganzheitlichen Zusammenhängen“, durchführen zu können (Ropohl 1997, S. 177). Um sich ein solches Verständnis aneignen zu können, soll im folgenden Abschnitt ein dazu geeigneter Leitfaden präsentiert werden. Mithilfe der Fragen des Leitfadens kann der Beobachter durch ein Systemdenken die einzelnen Elemente und Wechselwirkungen sowie die Komplexität des Systems verstehen und folglich dieses Verständnis für seine Analyse nutzen.

4.7 Leitfaden zur Erlangung von Systemverständnis und Definition von Systemen

In Anlehnung an Ropohls Erklärungen in den Werken von 2009 und 2012 sowie den vorangegangenen Erläuterungen dieser Arbeit wurde der, im folgenden Abschnitt beschriebene, Denkansatz erarbeitet. Dieser ist als Handlungsempfehlung zur Herangehensweise an Fragestellungen im Design eines Leitfadens herausgearbeitet worden. Das Ziel des Leitfadens ist es ein Verständnis von Systemen zu erhalten, sodass eine Abgrenzung von der Systemumgebung sowie die Auswahl geeigneter Methoden zur Durchführung weiterer Analysen folgen können.

Bei der Untersuchung einer Forschungsfrage muss zunächst das System abgegrenzt werden (von Elverfeldt und Keiler 2008). Der Fokus liegt darauf, welche Elemente Teile des Systems sind und welche zur Umgebung gehören sollen. Bei der Betrachtung der beiden Teile, System und Umgebung, ist zu filtern, welche Elemente einen Mehrwert in der Analyse bringen und welche ausgeklammert werden können. Durch die Anzahl an

⁷ Grunwald liefert in der E-Mail-Korrespondenz mit der Autorin die Erklärung, dass Systemdenken – engl. System Thinking – in der Technikfolgenabschätzung genutzt wird (siehe Anhang A2).

heterogenen Elementen der Realität ist eine komplette Analyse der gesamten Welt nicht möglich. Mit der Entscheidung nicht alle Elemente in die Analyse miteinzubeziehen, kann die Komplexität vereinfacht werden. Nach der Abgrenzung von System und Umgebung können die Konzepte zur Funktion, Struktur und Hierarchie herausgearbeitet werden. Der Beobachter kann somit ein Verständnis des Systems erlangen, indem er sich die Fragen stellt, welche in Tabelle 2 aufgeführt werden. Es wurde ein Fragenkatalog auf Grundlage der thematischen Inhalte zu den Grundlagen und Konzepten der Systemtheorie entwickelt (siehe Kapitel 4.3, 4.4, 4.5). Während die erste Spalte die Leitfragen auflistet, gibt die zweite Spalte den Analyseteil der Leitfrage an. Die Analyseteile sind kategorisiert in Systemabgrenzung⁸ sowie funktionale, strukturelle und hierarchische Analyse.

Leitfragen	Analyseteil
Was gehört zum System?	Systemabgrenzung
Was gehört nicht zum System?	Systemabgrenzung
Welche Elemente des Systems sind für die Analyse maßgeblich?	Systemabgrenzung
Was gehört zur Umgebung?	Systemabgrenzung
Welche Elemente der Umgebung haben einen Einfluss auf das System?	Systemabgrenzung
Wie groß ist der Einfluss der Umgebung auf das System?	Systemabgrenzung
Handelt es sich um ein offenes, geschlossenes oder isoliertes System?	Systemabgrenzung
Welche Funktionen hat das System?	Funktionale Analyse
Welche Inputs und Outputs gibt es?	Funktionale Analyse
Wie verändern sich die Zustände durch die In- und Outputs?	Funktionale Analyse
Wie viele Relationen gibt es innerhalb des Systems?	Strukturelle Analyse
Welche Sub- und Supersysteme gibt es?	Hierarchische Analyse
Welchen Detailgrad soll die Analyse haben?	Hierarchische Analyse

Tabelle 2: Leitfragen zur Erlangung von Systemverständnis (eigene Darstellung)

⁸ Die Systemabgrenzung beinhaltet in dieser Tabelle das Abgrenzen zwischen System und Umwelt sowie das Verständnis von den Elementen beider Teile.

Anhand dieser Fragen kann ein Modell der Realität gebildet werden, sodass die Analyse von Wechselwirkungen, Rückkopplungen und der Emergenz im betrachteten System ermöglicht wird. Mit diesem Wissen versteht ein Beobachter das System und kann entscheiden, welche Methoden, z. B. bei der Technikfolgenabschätzung, zu einer weiteren Analyse genutzt werden können.

Auf Grundlage der erarbeiteten Erklärungen zu Systemen kann an dieser Stelle die Definition nach Ropohl präsentiert werden. „Ein System ist das Modell einer Ganzheit“ (Ropohl 2009, S. 77) mit Eigenschaften, Inputs, Outputs und Zuständen, welche miteinander in Beziehung stehen, aus Subsystemen besteht und Teil einer Umgebung sowie eines Supersystems ist (Ropohl 2012, Ropohl 2009).

Eine Definition von Systemen zu Beginn dieses Kapitels ist für verfrüht erachtet worden, da das Verständnis, was hinter den Ausführungen steht, nicht als gegeben angenommen werden kann.

Ein Beobachter kann das System mithilfe von systemtheoretischen Grundlagen definitiv verstehen und aufgrund dieser von seiner Umgebung abgrenzen und analysieren. Das systemtheoretische Verständnis hat nicht nur in der Theorie, sondern auch in der Realität Relevanz.

Wie bereits erörtert, sind das vorgestellte Verständnis und die Vorgehensweise notwendig um nichtlineare Systeme und die darin herrschende Komplexität nachvollziehen zu können. Dadurch wird eine adäquate Methodenauswahl zur Beantwortung von realen Fragestellungen wie beispielsweise in der Technikfolgenabschätzung ermöglicht. Durch die Wahl der richtigen Methode bei der Technikfolgenabschätzung können mögliche Negativeffekte vorab aufgezeigt werden, sodass die Gesellschaft eine Reaktionsmöglichkeit erhält (Grunwald 2012, Paschen und Petermann 1992). Wenn das Verständnis von Systemen und Prognosen als Folge der Technikfolgenabschätzung eine höhere Genauigkeit hätte, wären womöglich manche gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Krisen verhindert worden. Wie Mainzer (1999) in seiner Publikation „*Komplexe Systeme und Nichtlineare Dynamik in Natur und Gesellschaft*“ herausarbeitete, hat es in der Vergangenheit diverse Beispiele einer Selbstorganisation von technischen Innovationen gegeben, welche zu einem wirtschaftlichen Wachstum führten. Während der industriellen Revolution war dieses

Phänomen mehrfach zu beobachten (Mainzer 1999). Gleichzeitig kam es, zurückführend auf die Selbstorganisation der Systeme, zu nicht kontrollierbaren, chaotischen Verhaltensweisen (Mainzer 1999). Diese führten unter anderem zu steigender Arbeitslosigkeit oder Kurseinbrüchen an den Aktienmärkten (Mainzer 1999).

Diese Beispiele zeigen, wie wichtig es ist, ein Verständnis von komplexen Systemen zu entwickeln und dieses Wissen zu nutzen, um vor möglichen Risiken frühzeitig gewarnt zu werden (Mainzer 1999). Eine Möglichkeit zur Früherkennung von Risiken stellt eine umfassende Technikfolgenabschätzung dar (Grunwald 2010, Paschen und Petermann 1992). Da die Technikfolgenabschätzung keine „klassische Wissenschaftsdisziplin“ ist, sind theoretische Grundlagen zur Verständniserlangung wenig thematisiert und publiziert worden (Grunwald 2002).

In dem folgenden Kapitel 5.1 wird eine definatorische Abgrenzung des Begriffes „Technikfolgenabschätzung“ vorgenommen. Außerdem werden die Institute der Technikfolgenabschätzungsgemeinde vorgestellt (siehe Kapitel 5.2). In dem darauffolgenden Kapitel 6 wird eine projektbasierte Vorgehensweise zur Beantwortung von Fragestellungen der Technikfolgenabschätzung erarbeitet. Für jede Projektphase wird geprüft, ob durch den Einsatz der systemtheoretischen Denkweise eine Verbesserung in der Vorgehensweise erbracht werden kann.

5 Technikfolgenabschätzung

In diesem Abschnitt werden die Grundlagen und Entwicklung der Technikfolgenabschätzung behandelt. Durch eine höhere Komplexität in technischen Innovationen, welche zu Teilen der Gesellschaft werden, wurde und wird die Nachfrage nach Technikwissen in der Politik größer (Grunwald et al. 2014). Gleichzeitig sind Unternehmen an einer breiten Informationsbasis zu technischen Innovationen interessiert (Wächter 2014). Der Fokus der Technikfolgenabschätzung liegt gegenwärtig größtenteils auf der Politikberatung (Lindner 2018). Denn die politischen Verantwortlichen müssen Entscheidungen, welche wegen des Zukunftsaspektes von Unsicherheit geprägt sind, treffen (Grunwald 2013). Wie bereits in Kapitel 2 erläutert wurde, handelt es sich bei der Technikfolgenabschätzung um ein Frühwarnsystem, welches es Politik und Wirtschaft ermöglichen soll, früh auf mögliche eintretende negative Folgen einer Technik zu reagieren (Paschen und Petermann 1992). Dabei wird sich nicht nur auf technische Gegenstände fokussiert. Es sind ebenso Entwicklungen und Verfahren sowie die Nutzung und zuletzt die Entsorgung von Technik zu betrachten (Grunwald 2002). Dabei ist zu erwähnen, dass es nicht den Anspruch geben darf, dass die Ergebnisse aus einer Technikfolgenabschätzung vollständige Vorhersagen zu einer möglichen Zukunft und den dort eintreffenden Ereignissen geben können. Es handelt sich um eine Beratung, welche nicht die vollständige Lösung zu einem Problem darstellt, sondern bei der Problemlösungsfindung unterstützend wirkt (Grunwald 2002).

In dem folgenden Unterkapitel 5.1 wird der Begriff der „Technikfolgenabschätzung“ und die daran ausgeführte Kritik näher betrachtet. Anschließend wird die Entwicklung der Technikfolgenabschätzung mit den Anfängen in den USA vorgestellt, um dann die Institutionalisierung der Technikfolgenabschätzungsgemeinde zu erläutern. Das darauffolgende Kapitel 6 beinhaltet schließlich die Methodik in der Durchführung einer Technikfolgenabschätzung, welche sich an der Struktur von Projekten orientiert.

5.1 Technology Assessment und Technikfolgenabschätzung – Begriffsbestimmung

Die Konzepte der Technikfolgenabschätzung haben ihren Beginn in den USA (siehe Kapitel 5.2). Folglich ist der Begriff der „Technikfolgenabschätzung“ zunächst durch „Technology Assessment“ in den Gesetzestexten des US-Kongresses 1967 zu finden (Saretzki 2014). Die Definitionen von „Technology Assessment“ sind vielfältig vorhanden, wobei sich eine Begriffsbestimmung in der Literatur herauskristallisiert hat (Grunwald 2010, Decker 2009):

„Technology Assessment (TA) is a scientific, interactive and communicative process which aims to contribute to the formation of public and political opinion on societal aspects of science and technology“ (Bütschi et al. 2004, S. 14).

In dieser Definition wird darauf eingegangen, dass es sich bei dem Prozess des Technology Assessment um einen Beitrag zur Problemlösung handelt. Dieser Prozess beinhaltet sowohl die politische als auch gesellschaftliche Meinungsbildung in Bezug auf Themen der Technikwissenschaft. Weiterhin ist hervorzuheben, dass es sich nicht um die Lösung, sondern nur um den Beitrag zu einer solchen handelt.

Im deutschen Sprachraum gibt es unterschiedliche Übersetzungen zu „Technology Assessment“, wie „Technikfolgenforschung“ oder „Technikfolgenbewertung“ (Renn 2014, Gethmann und Grunwald 1998). Obwohl es Kritik an dem Begriff gibt, hat sich letztlich „Technikfolgenabschätzung“ etabliert (Saretzki 2014). Es stellt sich die Frage, wieso sich diese Benennung durchsetzen konnte. Die englische Bezeichnung „Technology Assessment“ besteht aus zwei Wörtern. Bereits bei dem Versuch „Technology“ zu übersetzen, ist unklar, ob die deutsche Übersetzung „Technologie“ oder „Technik“ genutzt werden kann (Saretzki 2014). Die Autorin verwendet die Definition nach Saretzki (2014), nach der unter „Technologie“ die Software und unter „Technik“ die Hardware zu verstehen ist. Der Begriff erklärt weiterhin nicht, ob unter „Technik“ auch technische Verfahren und Methoden miteinbezogen werden (Grunwald 2002). Während im englischen das Wort „Technology“ genutzt wird, ist dies im Deutschen mit „Technikfolgen“ übersetzt worden. Es wird kritisiert, dass „Folgen“ zu wenige Aspekte der Technik miteinbezieht, denn es

sollte der gesamte Prozess, von der Entstehung über die Implementierung bis zu den Folgen, betrachtet werden (Grunwald 2002).

Zuletzt wird der Ausdruck „Assessment“ betrachtet, was im Deutschen unter anderem als „Beurteilung“, „Bewertung“, „Einschätzung“ und „Abschätzung“ übersetzt werden kann (dict.cc). Etabliert hat sich „Abschätzung“ was in der einschlägigen Literatur kritisch betrachtet wird (Grunwald 2002). Während beispielsweise „Bewertung“ nach einer neutralen Methode zum Herausfinden von Chancen und Risiken klingt, hat die Bezeichnung „Abschätzung“ etwas Vages an sich (Grunwald 2002). Dieser Eindruck der Subjektivität stellt gleichzeitig eine Herausforderung der Technikfolgenabschätzung dar (siehe Kapitel 7.2). Wieso sich letztlich der Ausdruck „Technikfolgenabschätzung“ in der deutschen Wissenschaft etabliert hat, bleibt in der Literatur oftmals unbeantwortet. Grunwald (2002) argumentiert in seinem Werk *„Technikfolgenabschätzung - eine Einführung“*, dass die Übersetzung „Technikfolgenabschätzung“ gewählt wurde, damit die international anerkannte Abkürzung „TA“ für „Technology Assessment“ auch im deutschen Sprachgebrauch genutzt werden kann.

5.2 Entwicklung und Institute der Technikfolgenabschätzung

Die Anfänge der Technikfolgenabschätzung sind in den USA zu lokalisieren (z. B. Schevitz 2009, Tran und Daim 2008). Vor den 1960er Jahren wurde durch technische Innovationen die Verbesserung der Lebensbedingungen und -qualität erreicht, wodurch neue Technik mit einer positiven Entwicklung in der Gesellschaft gleichgesetzt wurde (Saretzki 2014). Es herrschte ein „Fortschrittsoptimismus“, welcher nach 1960 abklang (Grunwald 2002). Wegen der Erkenntnis möglicher Langzeitfolgen technischer Innovationen entstand die Nachfrage nach einer Forschung der Folgen (Saretzki 2014, Gethmann und Grunwald 1998). In den USA kam es bei Technikfragen zu einer asymmetrischen Informationsverteilung zwischen der Exekutive und der Legislative, sodass als Lösung das Office of Technology Assessment (OTA) im Jahre 1972 gegründet wurde (Grunwald 2010). Das OTA ist der Vorreiter in der Technikfolgenabschätzung und die erste gegründete Institution mit dem Zweck, Politikberatungen in Fragestellung der wissenschaftlich-technischen Entwicklungen durchzuführen (Banta 2009). Eine Übersicht über die Aufgaben und weitere

Entwicklung des OTA kann den Werken „*Technikfolgenabschätzung – eine Einführung*“ von Armin Grunwald (2010) sowie „*Einige Aspekte der Geschichte und der Arbeit des United States Office of Technology Assessment (OTA)*“ von Jeffrey Schevitz (2009) entnommen werden. Im Jahr 1995 wurde das OTA wegen des Bestrebens der neuen Regierung, den Einfluss staatlicher Einrichtungen zu verringern, aufgelöst (Grunwald 2010). Das Konzept der Technikfolgenabschätzung verbreitete sich dennoch ab den 1980er Jahren in europäischen Ländern, wobei der Aufbau und Einfluss der Institutionen je nach Staat verschiedenartig sein kann (Grunwald 2010). Wegen der hohen Anzahl an Institutionen zur parlamentarischen Beratung in Europa, wird in dieser Arbeit lediglich auf einen Teil der Einrichtungen in Deutschland eingegangen. Durch die Auflistung der vorgestellten Institutionen und Zusammenschlüsse von Einrichtungen der Technikfolgenabschätzung in dieser Ausarbeitung wird kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben. Es soll lediglich ein Eindruck vermittelt werden, wie sich die Struktur dieses Forschungsgebietes entwickelt hat.

Zur Gründung des *Büros für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB)*, einer Einrichtung zur parlamentarischen Beratung, kam es im Jahre 1990 auf Grundlage der Ergebnisse der Enquête-Kommission „*Gestaltung der technischen Entwicklung; Technikfolgen-Abschätzung und –Bewertung*“ (Bundestag 1987). Das TAB wird seit seinen Anfängen vom *Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS)* geführt, welches Teil des *Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)* ist (tab-beim-bundestag.de). Die Entscheidung, welche Projekte und Forschungsfragen bearbeitet werden, wird durch den *Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung* getroffen (tab-beim-bundestag.de). Aufträge des TAB werden nicht ausschließlich durch das ITAS abgewickelt, denn es herrscht eine Kooperation von mehreren Instituten zur Bearbeitung der Themen. Seit dem Jahr 2003 gibt es eine Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) (Grunwald 2010). Außerdem besteht eine Kooperation zwischen dem KIT und dem *Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung*, sodass Fragestellungen institutsübergreifend beantwortet werden können (tab-beim-bundestag.de). Die Institute sind vielfältig und verfolgen oftmals unterschiedliche Schwerpunkte. Während das ITAS sich auf die Wechselwirkungen und Zusammenhänge zwischen den Systemen spezialisiert hat (itas.kit.edu), liegt ein Schwerpunkt der Helmholtz-Gemeinschaft bei nicht-technischen Fragestellungen in Bezug auf die Technikfolgenabschätzung (Grunwald 2010).

Somit rücken beispielsweise gesellschaftliche Fragen und Folgen in den Fokus der Untersuchungen. Ein weiteres Institut, welches in Deutschland wesentliche Beratungsarbeiten in wissenschaftlich-technischen Fragestellungen für die Politik durchführt, ist die *EA European Academy of Technology and Innovation Assessment GmbH* in Bad Neuenahr-Ahrweiler (ea-aw.de). Das Unternehmen wurde im Jahr 1996 mit dem Land Rheinland-Pfalz und dem *Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)* gegründet und führt in dieser Kooperation ebenfalls institutsübergreifende Technikfolgenabschätzungen durch (ea-aw.de). Die genannten Institute stellen diejenigen dar, welche durch die Autorin in der Literaturrecherche herausgearbeitet wurden. Die Anzahl der vorhandenen Institute und weiterer Mitglieder der Technikfolgenabschätzungsgemeinde ist dabei größer, wie die Beschreibung des Zusammenschlusses über Netzwerke zeigen wird.

Sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene kam es zu einem Zusammenschluss der Forscher in Netzwerken (Grunwald 2010). Es gibt beispielsweise das *Europäische Netzwerk parlamentarischer TA-Einrichtungen (EPTA Network)* (eptanetwork.org) sowie einen deutschsprachigen Zusammenschluss im *Netzwerk TA (NTA)*, in welchem die Länder Deutschland, Österreich und die Schweiz vertreten sind (openta.net/mitglieder). Das Netzwerk TA wurde 2004 gegründet und besteht zum heutigen Stand aus 40 institutionellen und 250 persönlichen Mitgliedern (openta.net/netzwerk-ta). Abbildung 5 zeigt die Standorte der NTA-Institutionen. In Wien und Berlin (rote Markierung) sind über fünf NTA-Institutionen vertreten und in Darmstadt, Karlsruhe, Stuttgart und München (gelbe Markierung) jeweils zwei bis fünf NTA-Institutionen. An allen weiteren Standorten (blaue Markierung) ist eine NTA-Institution vorhanden (KIT und ITAS aus TATuP 2017). Diese Grafik zeigt, wie das Netzwerk im deutschsprachigen Raum ausgebaut ist.



Abbildung 5: Standorte der Netzwerk Technikfolgenabschätzung Institutionen (KIT und ITAS aus TATuP 2017, S. 6; basierend auf openTA.net)

Weiterhin erfolgt ein Austausch zwischen den Mitgliedern des Netzwerks über die Plattform *openTA* (openta.net/netzwerk-ta). Dieses Fachportal wird mit dem Ziel betrieben, die Kommunikation und den Wissensaustausch zwischen den Institutionen im deutschsprachigen Raum zu fördern und zu vereinfachen (openta.net/projekt-openta).

Durch dieses Unterkapitel wird gezeigt, dass sich die Technikfolgenabschätzung aus einem praktischen Ansatz heraus entwickelt hat. Es bestand die Nachfrage nach gezielt gesuchten Antworten zu wissenschaftlich-technischen Fragestellungen. Mit dem Ziel einer Lösungsfindung zu den Fragestellungen wurde das Konzept der Technikfolgenabschätzung in den USA entwickelt. Diesem Beispiel folgend entwickelten sich in Europa Einrichtungen zur parlamentarischen Beratung. Die Verteilung auf einzelne Institutionen hat dazu geführt, dass eine einheitliche Wissensbasis nicht als gegeben angenommen werden konnte. In dem Experteninterview mit Dr. Lindner vom Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) wurde der Autorin erläutert, dass die Fragestellungen in der Praxis nicht immer durch eine Forschung der Ergebnisse beantwortet werden. Es kommt vor, dass die gesuchten Antworten bereits von einem anderen Institut, beispielsweise in den Niederlanden, gegeben wurden (Lindner 2018). Den politischen Entscheidern fehlt es lediglich an der Kenntnis über diese Ergebnisse. Dies zeigt die Wichtigkeit einer Wissensbasis und Informationssammlung, sodass Forscher an den erarbeiteten Ergebnissen anderer Institute antizipieren können. Das Teilen von Wissen, und möglicherweise eine Weiterentwicklung der Ergebnisse und der Methode, können zu einer Verbesserung der Resultate und damit der Vorhersagen führen. Allerdings ist zu beachten, dass die Fragestellungen in der Technikfolgenabschätzung häufig spezifisch sind, sodass es kaum möglich ist, die Methode einer vorangegangenen Analyse zu verwenden (Grunwald 2018, Grunwald 2010). Erschwerend kommt hinzu, dass, wie in Kapitel 2 erwähnt, wegen des praktischen Ansatzes der Technikfolgenabschätzung selten eine theoretisch fundierte Erklärung einer Vorgehensweise geliefert wird. Somit sind das Nachvollziehen und die Weiterbearbeitung einer Studie möglicherweise aufwendiger, als die Durchführung einer eigenen Studie.

Auf der Literaturrecherche basierend wird im nächsten Kapitel 6 erläutert, wie eine Technikfolgenabschätzung durchgeführt wird. Dabei wird zunächst die Struktur des Projektes nach MITRE zur Technikfolgenabschätzung erklärt. Zusätzlich wird verdeutlicht, welche Herausforderungen Forscher der Technikfolgenabschätzung zu bewältigen haben. In diesem Teil soll erneut der Bezug zur Systemtheorie präsentiert werden. Im späteren Verlauf der Arbeit wird schließlich auf systemanalytische Methoden eingegangen.

6 Allgemeine Vorgehensweise, Konzepte und Designs in Projekten der Technikfolgenabschätzung

Die Fragestellungen in der Technikfolgenabschätzung sind in der Regel spezifisch und kontextabhängig, sodass die genutzten Methoden diesem Anspruch ebenfalls entsprechen müssen (Grunwald 2018, Wächter 2014, Grunwald 2010, Grunwald 2002). Es gibt keine standardisierten Methoden, welche sich als repetitiv einsetzbar für einen Großteil der Fragestellungen bewährt haben (Lindner 2018). Strukturierte Vorgehensweise oder Checklisten können aber einen methodischen Plan vorgeben (Grunwald 2010, Grunwald 2002, Paschen und Petermann 1992). Paschen und Petermann (1992) bezeichnen die Ausarbeitung eines methodischen Plans als „strategisches Rahmenkonzept“, welches im späteren Teil dieses Unterkapitels erläutert wird.

Grunwald (2010, 2002) erklärt in seiner Grundlagenlektüre zur Technikfolgenabschätzung, dass die Vorgehensweise in der Technikfolgenabschätzung wie ein Projekt aufgebaut ist. Um dies zu untersuchen, werden zunächst die Merkmale eines Projektes vorgestellt. Diese werden durch die Ausführungen Grunwalds ergänzt. Für jedes Attribut wird geprüft, ob die Definitionen gemäß des Projektmanagements ebenfalls auf die Merkmale einer Untersuchung der Technikfolgenabschätzung passend sind. Als Ergebnis wird ein weiterer Leitfaden in einem späteren Teil dieses Kapitels präsentiert, durch welchen die Planungen in der Konzeptionsphase erleichtert werden sollen.

Gemäß der Definition aus dem Projektmanagement sind die Merkmale eines Projektes die folgenden sechs Attribute (Patzak und Rattay 2009, S. 20):

- „neuartig“
- „zielorientiert“
- „abgegrenzt“
- „komplex, dynamisch“
- „interdisziplinär, fachübergreifend“
- „bedeutend“

„**Neuartig**“ bedeutet, dass die Fragestellung des Projektes sich durch Individualität auszeichnet (Patzak und Rattay 2009). Patzak und Rattay (2009) erwähnen unter „Neuartigkeit“ Entscheidungen, welche unter Unsicherheit getroffen werden als Charakteristik. Den

Unsicherheitsfaktor erfüllt die Technikfolgenforschung durch die Prognosen, welche für die Zukunft getroffen werden müssen (siehe Kapitel 7.3).

„**Zielorientiert**“ sind die Projekte, wenn vorab ein explizites Ziel definiert wurde, welches unter den gegebenen Rahmenbedingungen erfüllt werden muss (Patzak und Rattay 2009). Grunwald betont in diesem Zusammenhang ebenfalls, dass eine „klare Zielsetzung“ vorhanden sein muss, bevor das Projekt durchgeführt werden kann (Grunwald 2010, S. 122). Dies ist bei der Technikfolgenabschätzung dadurch gegeben, dass der Adressat, beispielsweise die Politik, die Aufträge vergibt, welche eine konkrete Fragestellung beantworten sollen (Lindner 2018).

„**Abgegrenzt**“ definiert in Projekten, dass diese sowohl einen zeitlichen Rahmen als auch eine Abgrenzung in den verfügbaren Mitteln haben (Patzak und Rattay 2009). Die Projekte der Technikfolgenabschätzung haben einen definierten Start- und Endzeitpunkt. Zusätzlich ist die Erarbeitung mithilfe der zur Verfügung stehenden Mittel zu erreichen (Grunwald 2010).

„**Komplex und dynamisch**“ bezieht sich auf die Wechselwirkungen, welche zwischen dem untersuchten Umfeld und seiner Umgebung bestehen (Patzak und Rattay 2009). Systeme, welche dynamisch und komplex sind, zeichnen sich durch Unübersichtlichkeit aus (Patzak und Rattay 2009). Die Untersuchungen der Technikfolgenabschätzung beziehen sich auf Fragestellungen der Realität (Grunwald 2010). Diese weist durch die Vielzahl an Elementen eine hohe Komplexität und durch die Nichtlinearität eine entsprechende Dynamik auf (siehe Kapitel 4.6). Somit sind die Adjektivattribute „komplex und dynamisch“ auch für die Technikfolgenabschätzung passend.

„**Interdisziplinär und fachübergreifend**“ definiert, dass im Projektmanagement ein Projektergebnis durch die Zusammenarbeit unterschiedlicher Einheiten mit einer Diversifikation in den Kompetenzen erreicht werden kann (Patzak und Rattay 2009). Die Institutionalisierung in der Technikfolgenabschätzung, mit einem Zusammenschluss der Institute in Netzwerken und Kooperationen, zeigt, dass dieser Ansatz auch in der Technikfolgenabschätzung verfolgt wird (siehe Kapitel 5.2).

„**Bedeutend**“ definiert in Projekten die Relevanz, welche die Ergebnisse haben müssen, da sie sich durch eine Eignung für die Wirtschaft oder durch eine bestehende Akzeptanz auszeichnen (Patzak und Rattay 2009). Dieses Charakteristikum ist den Fragestellungen der Technikfolgenabschätzung ebenfalls zuzusprechen. Durch die Untersuchung von Folgen, welche sowohl für Wirtschaft, Politik als auch die Bevölkerung positive und negative Einflüsse bedeuten können, ist eine Relevanz gegeben (Grunwald 2010). Die Untersuchung von Technikfolgen unterliegt Kritik und wird teilweise als „Technology Arrestment“ bezeichnet. Der Grund dafür ist die Befürchtung, dass technische Entwicklungen durch die Analysen verhindert werden könnten (Grunwald 2010). Jedoch kann die bestehende Anzahl an Institutionen der Technikfolgenabschätzung und die Vergabe von Aufträgen durch die Politik als Indikator bewertet werden, dass diese Forschung zunehmend an Akzeptanz gewinnt.

Die Merkmale eines klassischen Projektes sind folglich stimmig zu den Gegebenheiten einer Technikfolgenabschätzung, sodass eine allgemeine, projektbasierte Vorgehensweise gegeben ist, welche an die kontextabhängigen Fragestellungen angepasst werden kann. Grunwald ergänzt die präsentierten Charakteristika des Projektes durch die Punkte „Adressat“ und „spezifische Methoden“ (Grunwald 2010). Die Untersuchungen unterscheiden sich folglich, je nachdem ob sie für einen Auftraggeber der Wirtschaft, der Politik oder für die Öffentlichkeit bestimmt sind. Die Auswahl der Methoden muss kontextabhängig getroffen werden (z. B. Grunwald 2010). Dass der Punkt der Methodenwahl als nur einer von vielen im Projektplan genannt wird zeigt, wie viele Aspekte es bei der Vorgehensweise zu beachten gibt und die Methodenwahl lediglich einen kleinen Teil der Untersuchung darstellt (Grunwald 2010).

Da sich die Vorgehensweise anhand einer Projektstruktur als geeignet erwiesen hat, werden in Tabelle 3 Leitfragen vorgestellt, welche auf Grundlage der Projektmerkmale und der Ausführungen Grunwalds entwickelt wurden. Die Fragen zu den übrigen Projektmerkmalen dienen als Orientierungshilfe bei der Planung und den ersten Schritten einer Untersuchung.

Leitfragen in der Konzeptionsphase
Was ist der konkrete Untersuchungsgegenstand?
Wurde die untersuchte Fragestellung bereits in einem anderen Projekt (eventuell bei einer anderen Institution) erforscht?
Welches Ziel wird mit der durchgeführten Technikfolgenabschätzung verfolgt?
Wer ist der Adressat des Auftrags?
Wann ist der Start des Projektes? Wann ist das Ende des Projektes?
Wie sollen die einzelnen Schritte im Projektablauf gestaltet werden?
Welche Ressourcen stehen zur Verfügung?
Welche Methode ist unter Einbeziehung der Rahmenbedingungen geeignet?

Tabelle 3: Leitfragen zur Planung in der Konzeptionsphase (eigene Darstellung)

Für die Punkte „komplex, dynamisch“ und „interdisziplinär, fachübergreifend“ sind keine konkreten Fragestellungen formuliert. Diese Punkte können wegen der Charakteristik der Technikfolgenabschätzung bei der Durchführung einer solchen als gegeben angenommen werden.

Der Untersuchungsgegenstand wird in der Regel bereits durch den Auftrag gegeben (Lindner 2018). In der Praxis kann es vorkommen, dass die Vorstellungen in der untersuchten Fragestellung zwischen Forscher und Auftraggeber detaillierter abgestimmt werden müssen (Lindner 2018). Bei diesen Abstimmungen kann es zutreffen, dass eine Fragestellung bereits untersucht wurde und der Verweis auf vorhandene Forschungsergebnisse gegeben wird (Lindner 2018). Das Ziel der Untersuchung, die Wahl der Methode und der Adressat beeinflussen die Planung des Projektes. Ist der Auftraggeber beispielsweise ein Unternehmen der Wirtschaft, lässt es die Untersuchung durchführen, um einen Wettbewerbsvorteil gegenüber der Konkurrenz zu haben (Bhatnagar und Jancy 2003). Weitere Adressaten können die Politik sowie Öffentlichkeit sein (Grunwald 2010). Die Dauer der Projekte unterscheidet sich je nach Fragestellung und liegt in der Regel in einer Dauer zwischen sechs Monaten und drei Jahren (Lindner 2018). Langzeitstudien werden ebenso durchgeführt wie beispielsweise eine Studie des ITAS, welche circa 50 Jahre andauerte

(Leible 2018)⁹. Bei der Durchführung müssen die Ressourcen des Projektes bedacht werden, welche sowohl den zeitlichen Rahmen sowie Budget und organisatorische Aspekte beinhalten, z. B. die Anzahl der Mitarbeiter (Patzak und Rattay 2009). Schließlich stellt sich die Frage nach der Entscheidung der Methodenwahl, welche in der Technikfolgenabschätzung oftmals mit einem praktischen Ansatz getroffen wird (Leible 2018). Weiterhin werden vorwiegend qualitative Methoden gewählt, da die Datengrundlage für quantitative Methoden zu gering ist (Lindner 2018, Grunwald 2010, Grunwald 2002, Gethmann und Grunwald 1998). Falls eine quantitative Forschung gewünscht ist, kann zur Datengewinnung vor Beginn des Projektes eine Vorstudie durchgeführt werden (Grunwald 2010, Grunwald 2002).

Neben der strukturellen Planung der Technikfolgenabschätzung anhand eines Projektplans sind die Qualität und die Erfüllung von Eigenschaften zu beachten. In der Entwicklungsgeschichte der Technikfolgenabschätzung wurden Konzepte entwickelt, welche einige Eigenschaften aufzeigen, die im Projekt gegeben sein sollten. Maßgeblich ist das „klassische Konzept“ des OTA, welches zwar als Konzept in der Praxis nicht angewandt wird, dessen Attribute jedoch in der Durchführung bedacht werden sollten (Grunwald 2010). Gemäß der überarbeiteten Fassung Grunwalds verlangt das klassische Konzept, dass die durchgeführte Technikfolgenabschätzung „wertfrei, staatsorientiert, systemisch, expertenbezogen, wissenschaftlich und technikdeterministisch“ ist (Grunwald 2010, S. 89).

„**Wertfrei**“ unterstreicht die Beratungstätigkeit, in welcher die Ergebnisse der Untersuchung genutzt werden (Grunwald 2010). Es soll keine Lösung gegeben, sondern lediglich Lösungsmöglichkeiten und Prognosen erörtert werden (Grunwald 2002). Dabei werden keine Handlungsempfehlungen ausgesprochen, sondern Möglichkeiten aufgezeigt, ohne dem Adressaten die Entscheidung vorwegzunehmen (Gibbons 1991). Dieses Attribut steht in einigen Werken der Literatur unter Kritik. Williamson beanstandet beispielsweise „that OTA never takes a stand“ (Williamson 1994, S. 212). Diese Kritik hat sich nicht durchgesetzt, sodass Analysten bei einer Technikfolgenabschätzung weiterhin unvoreingenommene

⁹ E-Mail-Korrespondenz mit Dr. Ludwig Leible (Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) im Bereich Energie, Ressourcen, Technologie und Systeme (itas.kit.edu)). Die inhaltlich relevanten Teile der E-Mails sowie die im Text erwähnte Langzeitstudie (per Hyperlink) sind dem Anhang (A3) zu entnehmen.

Ergebnisse präsentieren, welche durch den Adressaten beurteilt werden (Grunwald 2010). Dass es bei der Durchführung der Technikfolgenabschätzung dennoch zu subjektiven Entscheidungen kommt und eine vollkommene Wertfreiheit daher kaum möglich ist, wird in Kapitel 7.2 erörtert.

„**Staatsorientiert**“ bezieht sich auf den Aspekt, dass die Technikfolgenabschätzung zur Gründungszeit des OTA ausschließlich als Beratungsinstrument des Staates gegründet wurde (z. B. Grunwald 2010). Gegenwärtig wird der Großteil der Aufträge weiterhin zur parlamentarischen Beratung genutzt (Lindner 2018), allerdings sind weitere Adressaten sowohl Wirtschaft als auch Öffentlichkeit. Auf dieser Überlegung basierend, wird das Attribut „**staatsorientiert**“ von der Autorin durch „**adressatenorientiert**“ ersetzt.

„**Systemisch**“ definiert im klassischen Konzept des OTA die Wichtigkeit eines Systemverständnisses (Grunwald 2010). In der Technikfolgenabschätzung werden verschiedene Systeme betrachtet, welche miteinander in Wechselwirkungen stehen (Grunwald 2010). Nicht zuletzt handelt es sich hierbei um die Wechselwirkungen zwischen Technik und Gesellschaft (Ropohl 2009). Wegen der vorhandenen Dynamik und Rückkopplungen in nicht-linearen Systemen der Realität (siehe Kapitel 4.6) ist ein Systemverständnis in der Vorgehensweise von Relevanz (Grunwald 2010).

„**Expertenbezogen**“ ist die Technikfolgenabschätzung dadurch, dass sie von Experten durchgeführt wird (Grunwald 2010). Kritisiert wird dieses Attribut durch ein mögliches Fehlen von Demokratie in den Beratungen durch die Analysten (Grunwald 2010). Um dem entgegenzuwirken, gibt es das Konzept der partizipativen Technikfolgenabschätzung (Grunwald 2010). Während der Recherche wurde bei der Autorin der Anschein erweckt, dass partizipative Technikfolgenabschätzung weniger in der Praxis genutzt wird als in der Literatur beschrieben. Dieser Eindruck wurde durch die Aussagen von Dr. Lindner im Telefoninterview bestätigt (Lindner 2018). Zwar wird in der Literatur zur Technikfolgenabschätzung eine partizipative Durchführung der Projekte thematisiert, allerdings kommt sie in der Praxis nicht regelmäßig zur Anwendung (Lindner 2018). Die Einbeziehung der Öffentlichkeit ist förderlich für eine Akzeptanz der Untersuchungsergebnisse und die darauffolgenden Entscheidungen. Sie sorgt bei den Forschern für ein besseres Verständnis in

Bezug auf die betroffenen Bürger (Grunwald 2010). Auf eine Durchführung der abschließenden Analyse durch Experten kann dennoch nicht verzichtet werden (Grunwald 2010).

„**Szientistisch**“ bedeutet, dass die Technikfolgenabschätzung in ihren Anfängen mit dem Anspruch durchgeführt wurde, die Prognosen der Zukunft mit Sicherheit treffen zu können (Grunwald 2010). Die Auftraggeber sind mit einem „Vollständigkeitsanspruch“ an die Institutionen herangetreten, der wegen der Unsicherheiten einer Prognosearbeit nicht erfüllbar ist (Grunwald 2010). Auf die Schwierigkeiten bei Prognosen mit Unsicherheit wird in Kapitel 7.3 eingegangen. In der Vergangenheit hat sich gezeigt, dass eine Vorhersagbarkeit im Sinne einer mathematisch genauen Berechnung bei Prognosen nicht möglich ist (Grunwald 2010). Die Auftraggeber der Technikfolgenabschätzung sollten sich eines solchen Risikos bewusst sein. Die Autorin wird, dem gegenwärtigen Anspruch und der Literaturrecherche entsprechend, das Wort „**szientistisch**“ durch „**aufklärend**“ ersetzen. Damit soll ausgedrückt werden, dass die Forscher in der Technikfolgenabschätzung sinngemäß Aufklärungsarbeit leisten müssen, sodass ihren Auftraggebern die Unsicherheit der Ergebnisse bewusst wird.

„**Technikdeterministisch**“ ist gemäß des klassischen Konzepts vorhanden, sodass eine Steuerung der Technik durch den Staat nicht möglich ist (Grunwald 2010). Die Entwicklung der vergangenen Jahrzehnte in der Sozialwissenschaft hat gezeigt, dass diese Annahme falsch ist (Grunwald 2010). Aus diesem Grund wird auf diesen Punkt in den weiteren Ausführungen nicht eingegangen.

Neben dem klassischen Konzept wurden weitere Konzepte erarbeitet, durch welche die Kritikpunkte erörtert oder neue Attribute erarbeitet werden (Grunwald 2010). Eines der weiteren Konzepte ist das „strategische Rahmenkonzept“ nach Paschen und Petermann (1992). In ihrem „Idealkonzept“ werden fünf Ansprüche an eine Technikfolgenabschätzung erarbeitet, welche im Folgenden beschrieben werden.

Die Technikfolgenabschätzung soll als Frühwarnsystem dienen und durch Analysen negative Folgen von Technik verhindern oder diese rechtzeitig aufdecken, sodass eine Reaktionszeit vergrößert wird (Paschen und Petermann 1992). Diese Eigenschaft wird durch die Autorin unter dem Attribut „**warnend**“ gefasst.

Weiterhin soll die Untersuchung „**umfassend**“ sein (Paschen und Petermann 1992). Dies bezieht sich sowohl auf eine systemische Betrachtung der Fragestellung als auch auf Spätfolgen einer Technik. Gleichzeitig fordern Paschen und Petermann (1992) die Technikalternativen, zur betrachteten Technik in der Untersuchung, zu berücksichtigen, da durch die Implementierung oder Abschaffung einer Technik erhebliche Änderungen für die Alternativen eintreten können.

Die Beratungen der untersuchenden Forscher müssen „**entscheidungsorientiert**“ sein (Paschen und Petermann 1992). Das bedeutet, dass die Beratung nicht mit der Beantwortung der konkreten Fragestellung endet. Vielmehr geht es um eine ganzheitliche Beratung. In diesem Fall können die Forscher Hinweise bezüglich weiterer Fragestellungen geben, welche noch nicht im Fokus des Adressaten liegen (Paschen und Petermann 1992). Der Forscher hat durch seine Analyse ein Verständnis für die Dringlichkeit vorliegender, aber möglicherweise nicht im öffentlichen Interesse stehender, Fragestellungen (Paschen und Petermann 1992).

Wie im klassischen Modell, wird auch im strategischen Rahmenkonzept eine „**partizipatorische**“ Technikfolgenabschätzung gefordert (Paschen und Petermann 1992). Dies wird dadurch begründet, dass das Wissen von Betroffenen die Forschung verbessert. Weiterhin soll somit eine Manipulation oder die Entscheidung zugunsten einer Interessensvereinigung verhindert werden (Paschen und Petermann 1992).

Als letzten Punkt wird von Paschen und Petermann (1992) auf die benötigte Unvoreingenommenheit in der Analyse der Forscher eingegangen, was bereits im oberen Teil unter „**wertfrei**“ detaillierter erörtert wurde.

Die Vorstellung der beiden Konzeptionen und der darin geforderten Attribute der Analyse einer Technikfolgenabschätzung zeigt, wie komplex eine solche Untersuchung sein kann. Dies ist damit zu begründen, dass die Entscheidungen, insbesondere politischer Entscheider, weitreichenden Einfluss auf die Systeme der Gesellschaft haben. Die folgende Grafik (Abbildung 6) zeigt eine Zusammenfassung der Attribute, welche in einem Projekt und bei der Analyse bedacht werden sollen. Diese Grafik beinhaltet neun Attribute, welche sowohl auf dem klassischen Konzept des OTA als auch auf dem strategischen Rahmenkonzept von Paschen und Petermann (1992) basieren. Aufgrund der durchgeführten Analyse im

vorangegangenen Teil dieses Kapitels wurden Attribute entweder umbenannt oder wegen fehlender Relevanz gestrichen. Andere Attribute sind zwischen den beiden Konzepten zusammengefasst worden.

Die vorgestellten Attribute sind in der Durchführung eines Technikfolgenabschätzungsprojektes zu beachten und stellen für die Autorin ein Qualitätskriterium einer Analyse dar.

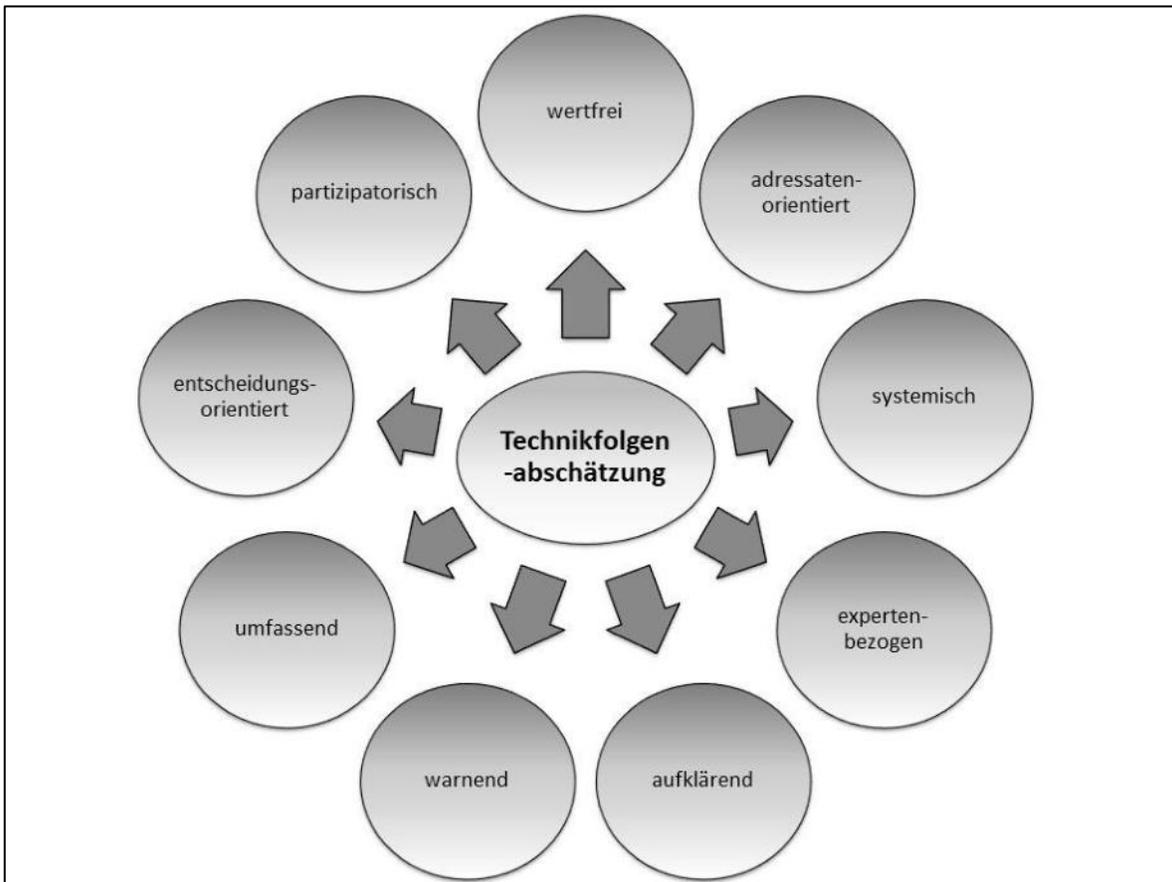


Abbildung 6: Attribute der Projekte einer Technikfolgenabschätzung (eigene Darstellung in inhaltlicher Anlehnung an Grunwald 2010, Paschen und Petermann 1992)

Durch die vorangegangene Erörterung ist verdeutlicht worden, welche Leitfragen sich ein Forscher stellen kann, bevor das Projekt einer Technikfolgenabschätzung durchgeführt wird. Außerdem wurden Attribute erarbeitet, welche als Qualitätskriterium erachtet werden können. Als nächster Schritt wird das Projektdesign erarbeitet, sodass die einzelnen Schritte des Projektes verdeutlicht werden. Die Literatur bietet eine Vielzahl von Konzepten zu einem Projektdesign, was auf die Kontextabhängigkeit bei der Beantwortung der

Fragestellungen zurückzuführen ist (Grunwald 2010). Eine gemeinsame Basis ist dabei kaum noch zu finden. Dies ist auf die fehlende Theorie der Technikfolgenabschätzung zurückzuführen (Grunwald 2010). Die Unterschiede sind beispielsweise durch die Anzahl der Projektphasen auszumachen. Während der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) vier Phasen definiert (VDI 1991), nutzen Skorupinski und Ott (2000) zwölf Module, was den Unterschied im Detailgehalt dieser Konzepte aufzeigt (Grunwald 2010). Das Projektdesign, welches in den Ursprüngen von der Organisation MITRE entworfen (Schuchardt und Wolf 1990) und von Kornwachs weiterentwickelt wurde (Kornwachs 1991), umfasst sechs Projektphasen, welche im Folgenden nach den Inhalten der Literatur vorgestellt werden (Grunwald 2010, Steinmüller 1999). Dieses Projektdesign wurde für die Analyse dieser Ausarbeitung gewählt, da es in der Literatur durch wiederholte Nennung Relevanz aufweist (z. B. Grunwald 2010, Steinmüller 1999, Schuchardt und Wolf 1990). Die grafische Darstellung des Projektablaufes anhand der Phasen des Projektdesigns nach Kornwachs ist in Abbildung 7 dargestellt. Die sechs Phasen in diesem Projektablauf sind gemäß Grunwald (2010, S. 122):

- „Konzeptionsphase“
- „Systemdefinition“
- „Potenzialabschätzung“
- „Szenariobildung“
- „Folgenabschätzung“
- „Bewertung“

Die einzelnen Phasen zeichnen sich durch spezifische Aufgabenteile aus, welche in Abbildung 7 als Kurzzusammenfassung dargestellt sind. Im Folgenden werden die einzelnen Inhalte der Projektphasen erläutert. Die Beschreibungen der Phasen sind inhaltlich auf die Ausführungen aus Grunwalds „*Technikfolgenabschätzung – eine Einführung*“ (2010) bezogen und werden durch die vorangegangenen Erarbeitungen der Autorin ergänzt.

Konzeptionsphase: Diese Phase ist inhaltlich die Planungsphase des Projektes. Das Projektteam legt die konkrete Zielsetzung fest und plant die weiteren Arbeitsschritte (Grunwald 2010). Außerdem werden die organisatorischen Rahmenbedingungen und

Ressourcen geplant (Grunwald 2010). Die Leitfragen zur Projektplanung aus dem früheren Teil dieses Kapitels können bei der Planung hilfreich sein.

Systemdefinition: Für die Systemdefinition ist ein tiefgehendes Systemverständnis von Wichtigkeit. Das Projektteam muss eine Kenntnis über die Elemente und Teile des Systems erlangen und die Wechselwirkungen und Interdependenzen verstehen (Grunwald 2010). Aus der Realität muss ein Modell gebildet werden, welches die für die Untersuchung relevanten Systemelemente enthält (Grunwald 2010). Ein Systemverständnis mit einem Basiswissen über die grundlegenden Denkweisen der Systemtheorie ist für eine adäquate Modellbildung hilfreich. Aufbauend auf den Ausarbeitungen zur Systemtheorie in dieser Arbeit wurde ein Leitfaden entworfen (Tabelle 2), welcher den Beobachter bei der Erlangung von Systemverständnis unterstützen soll.

Potenzialabschätzung: Die im Fokus der Technikfolgenabschätzung stehende Technik wird zum aktuellen Stand betrachtet und analysiert (Grunwald 2010). Dabei werden die möglichen Entwicklungspotenziale einer betrachteten Technik sowie die Akzeptanz dieser im Markt untersucht (Grunwald 2010). Zusätzlich ist im Zuge dieser Analyse herauszufinden, welche Alternativen es zu einer Technik gibt. Die Alternativen müssen in die Analyse miteinbezogen und deren Marktanteile geprüft werden (Grunwald 2010).

Szenariobildung: In dieser Projektphase wird ein Szenario aus dem Modell gebildet (Grunwald 2010). Dadurch wird ermöglicht, eine bzw. mehrere Prognose/n über die zukünftige Entwicklung der betrachteten Technik zu formulieren. Diese werden anschließend in Bezug auf positive und negative Folgen untersucht, sodass dazugehörige Lösungen erarbeitet werden können (Grunwald 2010). Die Prognosen charakterisieren sich wegen des Zukunftsbezugs durch Unsicherheit. Eine detaillierte Beschreibung der Problematik bei der Erstellung von Prognosen wird in Kapitel 7.3 gegeben.

Folgenabschätzung: Nachdem mehrere mögliche Entwicklungen in der Szenariobildung ausgearbeitet wurden, folgt in der Phase der Folgenabschätzung eine Analyse, welche Prognosen am wahrscheinlichsten eintreten (Grunwald 2010). Die relevanten Folgen werden herausgearbeitet und näher betrachtet. In einem weiteren Schritt werden die erarbeiteten Folgen auf Wechselwirkungen geprüft, sodass eine Analyse der Auswirkungen auf weitere Systeme ermöglicht wird (Grunwald 2010). Dies dient ebenfalls dazu, möglichen

Akzeptanzproblemen aus der Gesellschaft entgegenzuwirken (Grunwald 2010). Dieser Schritt zeigt erneut, dass ein Verständnis davon, welche Systeme in Wechselbeziehungen zueinanderstehen und welche Rückkopplungen es gibt, die Qualität der Folgenabschätzung erhöht.

Bewertung: Die Kriterien, nach denen die Bewertung durchgeführt wird, werden festgelegt und anschließend eine Beurteilung der vorangegangenen Ergebnisse durchgeführt (Grunwald 2010). Nachdem die Konsequenzen aus möglicherweise eintretenden Folgen erkennbar sind, können dem Auftraggeber weitere Vorgehensweisen und Alternativen vorgestellt werden (Grunwald 2010). Wie im vorangegangenen Teil dieses Kapitels erläutert, sollte diese Bewertung unvoreingenommen durch den Analytisten durchgeführt werden. Es werden keine Handlungsempfehlungen ausgesprochen, sondern lediglich Möglichkeiten aufgezeigt.

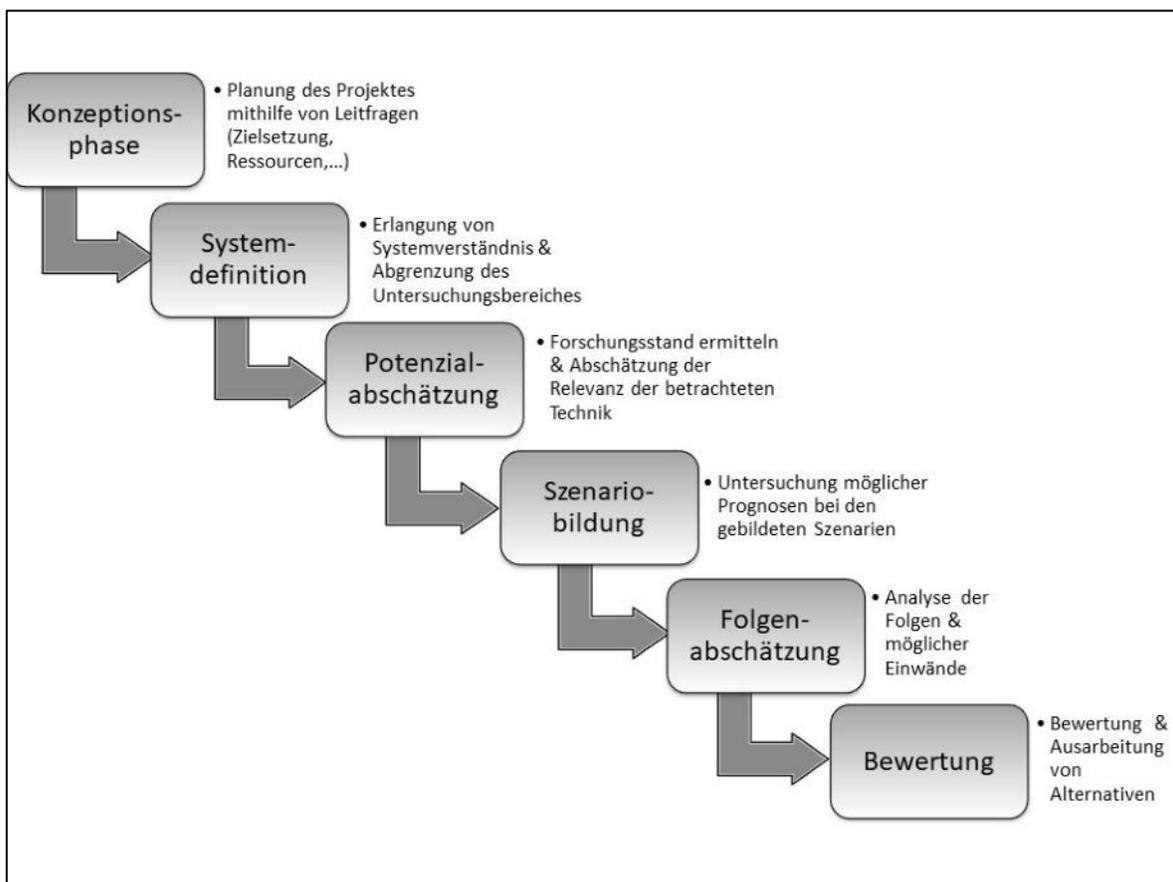


Abbildung 7: Projektphasen des Idealmodells nach MITRE unter Aufarbeitung von Kornwachs (eigene Darstellung mit inhaltlicher Anlehnung an Grunwald 2010)

Eine Strukturierung am Beispiel des vorgestellten Phasenmodells ist eine Möglichkeit, eine Technikfolgenabschätzung durchzuführen. Die konkrete Aufteilung und die Inhalte der Phasen sind in der Praxis kontextabhängig und müssen unter Einbeziehung der Rahmenbedingungen erarbeitet werden (Lindner 2018, Grunwald 2010). Die Erarbeitungen in diesem Kapitel sollen zeigen, dass es sich bei der Technikfolgenabschätzung nicht um eine einzelne Methode handelt, welche auf bereits vorhandene Daten angewendet werden kann. Vielmehr handelt es sich um einen Projektablauf, welcher einen höheren Planungsaufwand verlangt als die Anwendung einer einzelnen Methode. Die Qualität der Ergebnisse einer Technikfolgenabschätzung ist maßgeblich von der Planung und der Erarbeitung der Fragestellung abhängig (Grunwald 2010). Darauf aufbauend können die weiteren Schritte geplant werden. Eine Systemdefinition bzw. -abgrenzung und die Erlangung eines Systemverständnisses ist für eine Analyse, welche nicht nur die Folgen für eine isolierte Branche, sondern für alle Teile einer Gesellschaft zeigt, notwendig (Grunwald 2010). Dabei gilt es, nicht ausschließlich die Implementierung der Technik und deren Folgen zu erfassen. Es müssen die Entwicklung, die Beschaffung der Ressourcen, die Nutzung des Produktes und die Entsorgung der Technik sowie der Zwischen- und Abfallprodukte miteinbezogen werden (Grunwald 2010). Außerdem ist die Analyse der Technikalternativen und der Folgen für diese Alternativen sowie die Akzeptanz der Bevölkerung und potenzielle Konfliktfelder zu untersuchen (Grunwald 2010, Paschen und Petermann 1992). Gerade weil die in der Analyse betrachtete Realität sich durch Nichtlinearität, Dynamik und Rückkopplungen auszeichnet, bietet sich die Anwendung von systemtheoretischen Denkweisen und systemanalytischen Methoden an (Montuori 2011). Grunwald betont dabei, dass es sich in der Praxis weniger um die Anwendung von Systemtheorie handelt, sondern um ein Denken in Systemen (Grunwald 2018). Das schließt ein systemtheoretisches Verständnis von Systemen ein, da dies als Basis für ein Systemdenken zu verstehen ist. Weiterhin gibt es systemanalytische Methoden, welche teilweise zur Anwendung kommen können (siehe Kapitel 8). Die Nutzung von Methoden ist allerdings nur als ein Teil der Technikfolgenabschätzung zu sehen. Der gesamte Rahmen mit Planungsphase, Systemverständnis und abschließender Bewertung ist dabei umfassender als nur die Methodenauswahl.

Neben der Komplexität eines Projektes zur Technikfolgenabschätzung sind weitere Herausforderungen vorhanden, welche in dem Prozess bewältigt werden müssen. In der voran-

gegangenen Erarbeitung ist bereits das Problem eines Vollständigkeitsanspruchs als auch die Schwierigkeiten in der Wertfreiheit einer Bewertung erläutert worden. In dem folgenden Kapitel 7 werden weitere Herausforderungen vorgestellt und die Erklärungen zu den bereits erwähnten Schwierigkeiten vertieft.

7 Herausforderungen der Technikfolgenabschätzung

Wie bereits im Verlauf dieser Arbeit geschildert wurde, wird durch die Technikfolgenabschätzung versucht, unter anderem den negativen Folgen einer Technik, welche in der Zukunft vorkommen könnte, entgegenzuwirken (Paschen und Petermann 1992). Vor allem die Prognosen für die Entwicklung einer neuen Technik stellen eine Herausforderung dar, da weder die Akzeptanz und Marktdurchdringung bekannt noch Erfahrungswerte vorhanden sind (Fleischer et al. 2004). Die Ergebnisse der Analyse gleichen einem Frühwarnsystem, sodass Maßnahmen gegen mögliche unerwünschte Folgen eingeleitet werden können (Paschen und Petermann 1992).

Durch die Frühwarnungen kommt es in der Technikfolgenabschätzung zu einem Paradoxon (Bechmann 1994). Wenn eine spätere Folge der eingeführten Technik bereits als Frühwarnung aufgedeckt wurde, gibt es zwei Möglichkeiten: Intervenieren oder nicht intervenieren (Bechmann 1994). Bei einer erfolgreichen Intervention tritt die unerwünschte Folge niemals auf. Als Konsequenz kann nicht geprüft werden, ob die Folge überhaupt jemals eingetreten wäre. Wird hingegen nicht interveniert und tritt die negative Folge auf, so war die Frühwarnung vergebens (Bechmann 1994). Wegen dieses Paradoxons und weiteren Punkten, auf welche im Folgenden näher eingegangen wird, kann es zu fehlender Akzeptanz für die Technikfolgenabschätzung kommen.

Diese und andere allgemeine Herausforderungen der Technikfolgenabschätzung werden in Unterkapitel 7.1 thematisiert. Außerdem sind methodische Herausforderungen zu beachten, welche in Kapitel 7.2 präsentiert werden. Da die Fragestellungen der Technikfolgenabschätzung aus der Realität stammen, zeichnen sich diese durch Komplexität und Dynamik aus. Demnach folgt anschließend ein Kapitel zur Unsicherheit bei Prognosen, was eine besondere Herausforderung der Technikfolgenabschätzung darstellt (siehe Kapitel 7.3). In besagtem Kapitel wird erneut der Bezug zu einer systemtheoretischen Betrachtung hergestellt.

7.1 Allgemeine Herausforderungen

Die Autorin sieht in der Technikfolgenabschätzung zwei Herausforderungen, welche in diesem Teil unter der Kategorie „Allgemeine Herausforderungen“ aufgezeigt werden.

(1) Aufklärung und Verständnis des Auftraggebers für die Komplexität

Die erste Herausforderung ist in Verbindung mit dem Qualitätskriterium „aufklärend“ aus Kapitel 6 zu nennen. Ein Auftraggeber vergibt einen Forschungsauftrag mit dem Ziel die Folgen, den Einfluss und die Entwicklung einer Technik vorherzusagen. Die vergangene Entwicklung in der Technikfolgenabschätzung hat gezeigt, dass die Genauigkeit der Prognosen nicht vergleichbar mit den Ergebnissen einer mathematischen Berechnung sein kann (Grunwald 2010). Dennoch besteht eine Diskrepanz zwischen den Vorstellungen der Auftraggeber und den Möglichkeiten der Forscher in Bezug auf die Prognosekraft der Ergebnisse (Grunwald 2010). Die Fragestellungen müssen vorab detailliert abgesprochen werden, sodass eine Aufklärung über eine realistische Einschätzung ermöglicht wird (Lindner 2018). Das bedeutet nicht, dass die Ergebnisse einer subjektiven Einschätzung des Analysten entsprechen. Wichtig ist, dass sie nachvollziehbar sind und sich durch die methodischen Verfahren nachprüfen lassen (Grunwald 2010). Die Ergebnisse müssen dem Auftraggeber in der Form präsentiert werden, dass er diese verstehen kann, ohne eine methodische Expertise zu benötigen (Grunwald 2010).

(2) Akzeptanz der Öffentlichkeit

Die zweite Herausforderung ist in der Akzeptanz für die Technikfolgenabschätzung zu sehen. Zu Beginn war die Technikfolgenabschätzung ein reines Instrument der parlamentarischen Beratung und unterlag somit den Steuerungsmechanismen des Staates (Grunwald 2010). Inzwischen sind die Adressaten zusätzlich nicht-staatliche Unternehmen, die Bürger und die Öffentlichkeit (Grunwald 2010). Die partizipative Durchführung der Technikfolgenabschätzung wird thematisiert, obwohl dieses Konzept beispielsweise in Deutschland nicht regelmäßig genutzt wird und folglich nicht genügend Anerkennung in Forscherkreisen erhält (Lindner 2018).

Obwohl die Untersuchungen von Experten durchgeführt werden, unterliegt die Technikfolgenabschätzung bis heute der Kritik, dass sie nicht objektiv und mehr ein „Technology Arrestment“ als ein „Technology Assessment“ sei (Gethmann und Grunwald 1998). Kritiker sprechen von einer Verhinderung von technischem Fortschritt, da die Einführung einer neuen Technik sofort unterbunden werden könnte (Paschen und Petermann 1992). Auf der anderen Seite gibt es aber die Kritik, die Ergebnisse würden so ausgelegt werden, wie es für

die Durchsetzung einer neuen Technik benötigt wird (Paschen und Petermann 1992). In diesem Fall würden unerwünschte Folgen absichtlich ignoriert werden, um die Einführung der Technik nicht zu gefährden (Paschen und Petermann 1992). Weiterhin wird kritisiert, die Technikfolgenabschätzung werde von der Politik durchgeführt, um eine retrospektive Rechtfertigung für getroffene Entscheidungen zu liefern (Gethmann und Grunwald 1998). Diese Kritikpunkte zeigen die Wichtigkeit einer transparenten Technikfolgenabschätzung, welche mit Verantwortungsbewusstsein für die Tragkraft der Entscheidungen durchgeführt wird. Denn die Ergebnisse können dazu genutzt werden, einzelne Techniken voranzutreiben und unpopuläre Entscheidungen zu rechtfertigen (Grunwald 2007). Eine Transparenz des Prozesses und der Ergebnisse hilft, die Akzeptanz durch die Öffentlichkeit zu gewährleisten (Grunwald 2010). Es muss verdeutlicht werden, dass die Forschungen in der Technikfolgenabschätzung sich durch „wissenschaftliche Unabhängigkeit“ und „Unvoreingenommenheit“ auszeichnen (Grunwald 2010, S. 138).

7.2 Methodische Herausforderungen

Neben den allgemeinen Herausforderungen sehen sich die Forscher der Technikfolgenabschätzung methodischen Schwierigkeiten gegenübergestellt. Die methodische Sorgfalt ist von Wichtigkeit, um die Qualität der Ergebnisse sicherstellen zu können.

(1) Kontextabhängigkeit bei der Methodenauswahl

Im Verlauf dieser Ausarbeitung ist mehrfach erwähnt worden, dass die Methodenauswahl davon abhängt, wie die konkrete Fragestellung formuliert ist. Es ist wichtig, darauf zu achten, dass der Kontext, die Rahmenbedingungen und der Adressat miteinbezogen werden (Grunwald 2010). Es gibt keine Methoden, welche als universell einsetzbar präsentiert und als klassisch bezeichnet werden können (Paschen und Petermann 1992). Bei der Recherche nach den Methoden wird deutlich, dass es in der Praxis gängig ist, keine bestehenden Verfahrensweisen anzuwenden, sondern diese auf die Gegebenheiten der zu untersuchenden Fragestellung anzugleichen, abzuändern oder neu zu entwerfen (Grunwald 2018, Lindner 2018). Die Auswahl einer Methode stellt in der Technikfolgenabschätzung somit einen kreativen Prozess dar, welcher eine Anpassung der Vorlagen an die Fragestellungen verlangt (Coates 1974).

(2) *Subjektivität*

Ein Qualitätskriterium für die Ergebnisse ist, dass die Analysen wertfrei durchgeführt werden müssen (z. B. Grunwald 2010, Gethmann und Grunwald 1998, Paschen und Petermann 1992). Eine Unvoreingenommenheit kann in mehreren Phasen eines Projektes nicht gewährleistet werden (Grunwald 2010). Bereits in der Phase der Systemdefinition ist die Abgrenzung des Systems mit der Beurteilung, welche Elemente relevant für die Untersuchung sind, von der Expertise des Analytikers abhängig (Grunwald 2010). Die Autorin hat daher in mehreren Teilen dieser Ausarbeitung auf die Wichtigkeit eines Systemverständnisses hingewiesen (siehe Kapitel 2, Kapitel 4, Kapitel 6). Weiterhin beinhaltet das Projekt eine Bewertungsphase, in welcher der Analytiker die Folgen interpretieren muss (Grunwald 2010). Die Bewertung der Technikfolgen kann durch eine Subjektivität des Analytikers beeinflusst werden (Gethmann und Grunwald 1998). Es ist kaum möglich, eine Bewertung ohne Einbeziehung der individuellen Wertvorstellungen einer Person durchzuführen (Grunwald 2010). Es stellt sich daher die Frage, ob die Ergebnisse einer Expertenanalyse die Voraussetzungen für eine allgemeine Gültigkeit erfüllen (Grunwald 2010). In diesem Zusammenhang erwähnt Grunwald (2010), dass es bei von Experten durchgeführten Gutachten und Gegengutachten zu unterschiedlichen Resultaten kommen kann.

(3) *Komplexität der Forschungsumgebung*

Wegen der Komplexität der Systeme aus der Realität, welche miteinander in Wechselwirkungen stehen, und des Schwierigkeitsgrades der Fragestellungen wird die Analyse in der Technikfolgenabschätzung erschwert (Paschen und Petermann 1992). Daher empfiehlt sich die Durchführung von systemtheoretischen Analysen zur Gewinnung eines Systemverständnisses (Grunwald 2010). Dieser Zusammenhang wird in Unterkapitel 7.3 verdeutlicht.

Des Weiteren wird durch die Forscher der Versuch unternommen, mit einem Projekt eine Vielzahl an Fragestellungen zu erforschen (Paschen und Petermann 1992). Das kann wegen der zur Verfügung stehenden Rahmenbedingungen eines Projektes nicht gewährleistet werden, sodass eine Wiederholung des Projektes notwendig wird, um alle Fragen beantworten zu können (Paschen und Petermann 1992). Dieser Fakt ist teilweise mit den unterschiedlichen Vorstellungen zwischen Auftraggeber und Forscher zu erklären. Ein vorab durchgeführtes Gespräch zur Klärung der Rahmenbedingungen kann den differierenden Erwartungen entgegenwirken (Lindner 2018).

Die methodischen Herausforderungen können durch eine gründliche Vorbereitung des Projektes und eine Umsetzung durch Analysten mit Expertenwissen gemeistert werden (Decker 2009). Eine Subjektivität und komplette Trennung von den eigenen Wertvorstellungen ist allerdings kaum möglich (Grunwald 2010). Daher ist es wichtig, dass die Analysen und die Vorhersagen nachvollziehbar sind (Grunwald 2010). Allerdings ist das Formulieren von Prognosen durch einen Analysten von Unsicherheit gekennzeichnet, was im Folgenden detaillierter betrachtet wird.

7.3 Prognosen mit Unsicherheit

Die Vorhersagen, wie sich eine Technik in der Zukunft entwickeln wird und welche Auswirkungen das auf die Systeme der Gesellschaft haben kann, ist durch Unsicherheit charakterisiert (Paschen und Petermann 1992). Vor allem bei neuen Technologien, zu denen keine Erfahrungen vorliegen, ist dieses Phänomen vorhanden (Fleischer et al. 2004). Der Zustand, dass auch das Verhalten der nicht statischen Gesellschaft nicht vorauszusehen ist, stellt eine weitere Schwierigkeit dar (Grunwald 2013). Eine Summe von Menschen besteht aus einer Menge heterogener Charaktere, welche unvorhersehbare, autonome Entscheidungen treffen (Weyer und Roos 2017).

In den Anfängen der Technikfolgenabschätzung herrschte die Auffassung, dass es sich bei der Analyse um lineare Systeme handelt (Renn 1999). In linearen Systemen gibt es die Annahme, dass Analysen anhand des Ursache-Wirkungs-Prinzips durchgeführt werden können (Renn 1999). Daher wurde der methodische Ansatz verfolgt, die Vergangenheit zu analysieren und die Ursachen und Wirkungen auf die Zukunft zu projizieren (Renn 1999). Prognosen wurden damit auf Grundlage dessen formuliert, was in der Vergangenheit geschah, ohne ein verändertes Systemverhalten miteinzubeziehen (Renn 1999).

Die Menge an heterogenen Elementen, Systemen und Wechselwirkungen sowie die Komplexität der Realität und unabsehbaren Entwicklungen sind aber ein Kennzeichen nichtlinearer Systeme (siehe Kapitel 4.6). Es kommt in diesen Systemen zu nicht vorhersehbaren Rückkopplungen, was die Analyse weiter erschwert. Das Phänomen des Schmetterlingseffekts unterstreicht die Schwierigkeit in den Prognosen der Analysen (Renn 1999). Wie in Kapitel 4.6 bereits beschrieben, kann es selbst bei minimalen Änderungen in den Anfangs-

zuständen zu einer erheblichen Änderung der Ergebnisse und somit einer unkalkulierbaren Entwicklung in einem System kommen (Mainzer 1999). Dies zeigt, dass eine Analyse auf Basis vergangenen Systemverhaltens keine geeignete Methode darstellt. Außerdem verdeutlicht der Schmetterlingseffekt, dass in den getroffenen Prognosen eine Unsicherheit vorherrscht (Renn 1999). Der Grund dafür ist, dass in einem komplexen System mit heterogenen Variablen nicht alle Einflussfaktoren berücksichtigt werden können. Weiterhin erklärt das, warum eine Kontextabhängigkeit in der Vorgehensweise und Methodenwahl, bei Fragestellungen der Technikfolgenabschätzung, herrscht. Die Dynamik in den Entwicklungen eines Systems sorgt dafür, dass jede Fragestellung individuell analysiert werden muss. Die Prognosen, welche als Antwort für eine spezifische Fragestellung in einem System getroffen wurden, können nicht auf ein weiteres System angewendet werden (Renn 1999).

Renn (1999) erläutert daher, dass in chaotischen Systemen die Anwendung systemanalytischer Methoden sinnvoll ist. Durch ein bestehendes Systemverständnis können die Wechselwirkungen und neue Verhaltensweisen innerhalb des Systems und in der Interaktion mit der Umgebung erkannt werden (Renn 1999).

Die beschriebene Komplexität und Unsicherheit bei den Entscheidungen zeigt, dass das Eintreffen der Vorhersagen nicht garantiert werden kann. Eine Überprüfbarkeit der Resultate zu dem Zeitpunkt der Prognoseformulierung ist nicht möglich, da es sich um Ergebnisse in der Zukunft handelt (Decker 2009). Dass die Prognosen einen „hypothetischen Charakter“ haben, ist daher ein weiterer Kritikpunkt in der Technikfolgenabschätzung (Paschen und Petermann 1992). Um möglichst präzise Ergebnisse zu erreichen, herrscht die Forderung nach Transdisziplinarität in der Technikfolgenabschätzung, sodass ein tiefgehendes Expertenwissen vorhanden ist (Decker 2009). Die Unsicherheit wird jedoch nicht so weit reduziert werden können, dass eine Garantie für den Eintritt der Prognose möglich ist (Renn 2014). Eine Analyse mit einer Abschätzung der Folgen einer Technik ist dennoch eine bessere Alternative als gar keine Forschung durchzuführen und keine Folgen zu kennen (Decker 2009).

Entscheidungen, welche unter Unsicherheit getroffen werden, müssen daher umso detaillierter vorbereitet und analysiert werden. Zwar können keine Garantien gegeben werden,

jedoch sollte jeder Analyst den Anspruch haben, dass seine Vorhersagen zumindest mit einer hohen Wahrscheinlichkeit eintreten werden. Das zeigt, von welcher Wichtigkeit das Systemverständnis für die Durchführung der Technikfolgenabschätzung ist. Unabhängig davon, welche Methoden und Bewertungskriterien gewählt werden, ist die Forschungs-umgebung die reale Welt, welche ein nichtlineares System darstellt (Renn 1999). Um ein Verständnis eines dynamischen Systems zu erlangen, ist die Anwendung des Systemdenkens ein gängiger Ansatz (Grunwald 2018). Als Einstieg in die Analyse können die Leitfragen zur Erlangung von Systemverständnis aus Kapitel 4.7 genutzt werden.

Es gibt Methoden, durch deren Anwendung das Ziel verfolgt wird, Systeme zu analysieren und damit ein besseres Verständnis von Systemen zu erlangen (Grunwald 2010). Diese kommen vor allem dann zum Einsatz, wenn es sich um Fragestellungen handelt, durch welche die Wechselwirkungen zwischen mehreren Systemen analysiert werden sollen (Grunwald 2010). Dabei ist zu betonen, dass für ein Projekt in der Technikfolgenabschätzung nicht nur eine Methode genutzt wird, sondern mehrere Methoden für die einzelne Analyseschritte benötigt werden (Grunwald 2010). Im folgenden Kapitel werden drei Methoden vorgestellt, welche sich der Systemanalyse zuordnen lassen (Grunwald 2010). Diese dienen der Kenntniserlangung der komplexen Systemzusammenhänge und stellen eine Möglichkeit dar, ein Systemverständnis zu erlangen.

8 Systemanalytische Methoden der Technikfolgenabschätzung

Die Auswahl der passenden Methode stellt wegen der spezifischen Fragestellungen der Technikfolgenabschätzung eine relevante Entscheidung dar. In der Praxis wird nicht nur eine Methode, sondern ein Methodenmix gewählt, welcher die einzelnen Phasen des Projektes abdeckt (Grunwald 2010). Für das Erlangen von Systemverständnis gibt es systemanalytische Methoden (Grunwald 2010). Diese zeichnen sich dadurch aus, dass einerseits Wechselwirkungen zwischen den Elementen verdeutlicht werden und andererseits eine Abgrenzung von der Umgebung erfolgt (Grunwald 1999). Grunwald erklärt, dass es in der Technikfolgenabschätzung weniger um die Systemtheorie als um ein Denken in Systemen geht (Grunwald 2018). Diese Aussage wird durch Ropohl (1997) gestützt, welcher bei der Vielfalt der Methoden der Technikfolgenabschätzung die gemeinsame Basis im Systemdenken sieht. Die Methoden, welche zum Verständnis und zur Mustererkennung der Systemumgebung genutzt werden, charakterisieren sich ebenfalls durch komplexe Vorgehensweisen (Steinmüller 1999). Im folgenden Unterkapitel 8.1 wird die Methode der Lebenszyklusanalyse (LCA) vorgestellt, welche in engem Zusammenhang zur Ökobilanzierung (siehe Kapitel 8.2) zu betrachten ist. Anschließend wird die Input-Output-Analyse (I/O-Analyse) vorgestellt, welche vor allem zur Mustererkennung von Inputs, Outputs und Rückkopplungen genutzt wird (siehe Kapitel 8.3). In Kapitel 8.4 werden die Methoden in den Gesamtkontext der Arbeit eingeordnet und ein Hinweis zu weiteren Methoden der Technikfolgenabschätzung gegeben.

Aus der Menge an Methoden der Technikfolgenabschätzung wurde der Fokus aufgrund der Fragestellung zu Möglichkeiten einer systemtheoretischen Betrachtung auf Systemanalysen gelegt. Die Entscheidung diese drei Methoden genauer zu betrachten ist darauf zurückzuführen, dass sie wegen der hohen Anzahl an Fragestellungen aus dem Umweltsektor in der Praxis häufig durchgeführt werden (z. B. Grunwald 2010). Außerdem greifen die drei Methoden Lebenszyklusanalyse, Ökobilanzierung und Input-Output-Analyse ineinander und sind in einem Kontext zu betrachten.

8.1 Lebenszyklusanalyse

Die Lebenszyklusanalyse (engl. Life Cycle Assessment; LCA) wird durchgeführt um die Einflüsse, welche ein Produkt auf die Umwelt hat, zu analysieren (Rebitzer et al. 2004). Die Motivation, eine solche Methode durchzuführen, ist in der Politikberatung zu finden (Bauer und Poganietz 2007). Aufgrund des Vorsorgeprinzips sind politische Entscheider auf eine Wissensbasis angewiesen, die ihnen zeigt, welche potenziellen Einflussfaktoren einer neuen Technik oder eines Produktes sich auf die Umwelt auswirken können (Bauer und Poganietz 2007). Die Lebenszyklusanalyse ist vor allem in der Energiewirtschaft etabliert, wird aber wegen der Komplexität und des Aufwands weniger in der Wirtschaft, sondern in der Forschung angewendet (Krewitt 2007). Gleichzeitig sind die Fragestellungen, welche mithilfe einer Lebenszyklusanalyse beantwortet werden können, selten von Interesse für die Wirtschaft, sondern fallen in den Interessensbereich der Politik und Wissenschaft (Krewitt 2007).

Mithilfe der Durchführung einer Lebenszyklusanalyse ist es möglich, mehrere Produkte und alternative Technik zu vergleichen (Bauer und Poganietz 2007). Es werden keine globalen Untersuchungen durchgeführt, sondern ein Vergleich von Alternativen und ähnlicher Technik unter komparablen Rahmenbedingungen (Krewitt 2007). Konkret bedeutet dies, dass beispielsweise politische Entscheider, die vor der Wahl stehen, welche Technik zukünftig subventioniert werden soll, eine Analyse und Handlungsmöglichkeiten erhalten können (Krewitt 2007). Die Entscheidungen im Energiesektor sind wegen des Innovationszyklus mit einer Länge von 30 bis 50 Jahre von Relevanz (Krewitt 2007). Somit haben die Entscheidungen langfristige Auswirkungen auf verschiedene Teile des Systems.

In der Lebenszyklusanalyse liegt der Fokus nicht ausschließlich auf der Konsumphase eines Produktes, sondern in einer ganzheitlichen Analyse aller Phasen innerhalb des Produktlebenszyklus (z. B. Grunwald 2010, Bauer und Poganietz 2007, Rebitzer et a. 2004). Dabei ist es wichtig, dass auch die Umwelt und alle Akteure innerhalb der Phasen miteinbezogen werden, was die Komplexität der Analyse erhöht (Grunwald 2010).

In Abbildung 8 wird der Lebenszyklus eines Produktes gezeigt. Dieser ist auf Grundlage der Erklärungen zu den Phasen nach Rebitzer et al. (2004) vereinfacht dargestellt. Der Lebenszyklus des Produktes beginnt mit der Entwicklung und dem Design eines Produktes.

Als nächste Phase folgt die Rohstoffgewinnung der Materialien, welche für die Produktion benötigt werden. Nach der Produktion beginnt die Konsumphase und abschließend die Entsorgung oder das Recycling des Produktes. In der Realität gibt es zusätzlich Zwischen- und Abfallprodukte, Transportwege, gegebenenfalls mehrere Produktionsstätten und weitere Schritte, auf welche an dieser Stelle nicht weiter eingegangen wird.

Mithilfe der Abbildung 8 soll verdeutlicht werden, dass es in mehreren Phasen des Lebenszyklus zu Interaktionen mit der Umgebung und zu Einflussfaktoren auf die Umgebung kommt. Dabei ist nicht ausschließlich eine Umgebung im Sinne von Umwelt und Natur gemeint, sondern auch die Menschen, welche in der Produktion oder Rohstoffgewinnung arbeiten (Wächter 2014). Durch die Methode sollen nicht nur die ökologischen, sondern auch soziale und ökonomische Einflussfaktoren auf die Umgebung und wechselwirkende Systeme gefunden werden (Wächter 2014).

In der Grafik des vereinfachten Lebenszyklus (Abbildung 8) sind diese Elemente in der Mitte des Kreislaufs abgebildet, welche in der Analyse miteinzubeziehen sind. Die abgebildeten Elemente Mensch, Natur, Umwelt und Volkswirtschaft stellen beispielhafte Systeme dar, auf welche das neue Produkt Einfluss nehmen kann. Es ist zu beachten, dass die Elemente je nach Fragestellung differieren können, was auf die Kontextabhängigkeit der Technikfolgenabschätzung zurückzuführen ist (siehe Kapitel 6). Die Menge an Wahlmöglichkeiten zu betrachtender Elemente ist in der Abbildung 8 durch den Baustein mit den drei Punkten dargestellt.

Rebitzer et al. (2004) verdeutlichen, dass die Durchführung einer Lebenszyklusanalyse insbesondere in den Anfängen, der Entwicklungsphase, von Wichtigkeit ist. In den frühen Phasen des Kreislaufs können mehr mögliche Umwelteinflüsse erfasst werden als gegen Ende des Zyklus. Den zu Beginn des Lebenszyklus entdeckten Umwelteinflüssen kann gegebenenfalls zeitnah entgegengewirkt werden (Rebitzer et al. 2004). Je später die Phase des Lebenszyklus umso weniger Umwelteinflüsse werden durch die Analyse ermittelt. Die einzelnen Phasen sind im Zyklus der Abbildung farblich unterlegt. Die grüne Farbe zeigt die Ermittlung von Umwelteinflüssen durch die Lebenszyklusanalyse, welche in der jeweiligen Phase durchgeführt wird. Der rote Farbverlauf kennzeichnet die Erzeugung von Umwelteinflüssen in den Phasen des Produktlebenszyklus. Gemäß den Ausführungen von

Rebitzer et al. (2004) werden umso mehr Wirkungen auf die Umgebung vorgenommen, je später die Phase im Lebenszyklus ist. Daher sind die Umwelteinwirkungen in der letzten Phase des Zyklus am stärksten. Der farbliche Verlauf in der Grafik ist zur Anschauung gewählt und bezieht sich auf die Zahlen von Rebitzer et al. (2004). Die Phase der Rohstoffgewinnung wurde in der Analyse von Rebitzer et al. (2004) ausgelassen, wurde aber von der Autorin wegen der Untersuchungsergebnisse als ein linearer Verlauf zwischen Entwicklung und Produktion interpretiert.

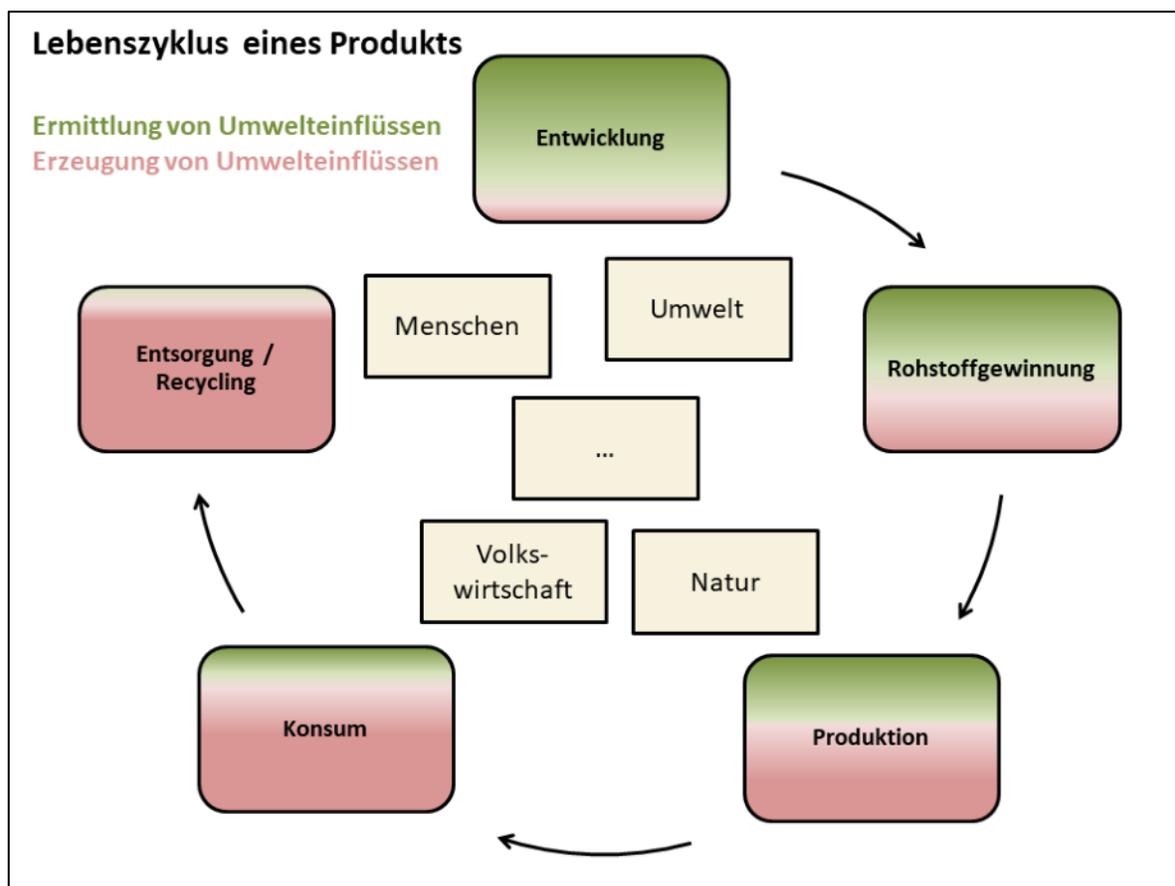


Abbildung 8: Vereinfachter Lebenszyklus eines Produktes mit der Stärke des Einflusses in Abhängigkeit der Phase des Lebenszyklus gemäß den Ausführungen von Rebitzer et al. 2004 (eigene Darstellung in Anlehnung an thematische und grafische Ausführungen von Rebitzer et al. 2004)

Als methodische Vorgehensweise wird von dem Lebenszyklus und allen Phasen des Produktes ein „Prozesskettenmodell“ gebildet (Bauer und Poganietz 2007). Dieses Modell wird mit dem Fokus auf die Einflussfaktoren der einzelnen Phasen untersucht (Bauer und Poganietz 2007). Als Ergebnis soll sich herausstellen, welche Stoffe in das System fließen

und welche das System in die Umgebung verlassen (Bauer und Poganietz 2007). Dargestellt werden die Ein- und Abgänge beispielsweise in Bilanzform (Bauer und Poganietz 2007). Als ein Teil der Lebenszyklusanalyse kann sich der Methode „Ökobilanzierung“ bedient werden, welche im folgenden Kapitel 8.2 dargestellt wird. Ein wesentlicher Faktor bei dieser Vorgehensweise ist die Abgrenzung des Systems, sodass nur die Elemente, welche für die Analyse von Belang sind, miteinbezogen werden (Bauer und Poganietz 2007).

Die Lebenszyklusanalyse kann sowohl prospektiv als auch retrospektiv durchgeführt werden (Bauer und Poganietz 2007). Dabei haben die vergangenheitsbasierten Analysen in der Regel eine höhere Aussagekraft, da über vorangegangene Ereignisse Daten vorhanden sind. Auf die Zukunft gerichtete Analysen sind wegen des Prognosecharakters unsicherer (Krewitt 2007) (siehe Kapitel 7.3). Einer der Gründe dafür ist, dass sich durch den längeren Zeitraum ebenso die Anzahl der Wechselwirkungen erhöht (Krewitt 2007). Grundsätzlich ist festzuhalten: Je weiter die Prognose in der Zukunft liegt, umso unsicherer sind die Ergebnisse der Analyse (Krewitt 2007).

Zwar gibt es den Anspruch möglichst viele Ursachen und Einflussfaktoren zu finden, aber wegen der Komplexität ist es nicht möglich, alle Faktoren aufzuklären. Um mehr Sicherheit zu erhalten, wird sich innerhalb der Lebenszyklusanalyse der Szenariotechnik bedient (Bauer und Poganietz 2007). Anhand dieser werden diverse Szenarien als Modelle gebildet und untersucht, welche Prognosen am wahrscheinlichsten eintreten und welche Wechselwirkungen zwischen den Elementen auftreten können. Zum Verstehen der Wechselwirkungen wird innerhalb der Lebenszyklusanalyse eine Input-Output-Analyse durchgeführt (siehe Kapitel 8.3) (Bauer und Poganietz 2007). Die Bewertung der möglichst unvoreingenommenen Ergebnisse unterliegt dabei der Beurteilung der Analysten (Grunwald 2010).

Die Lebenszyklusanalyse dient dem Finden von Einflüssen eines neuen Produktes auf die verschiedenen Systeme. Dabei handelt es sich nicht nur um ökologische, sondern ebenfalls um soziale oder ökonomische Untersuchungen (Wächter 2014). Die Grenzen der Lebenszyklusanalyse liegen aber in sozialen Fragen, denn ob ein Produkt von der Bevölkerung akzeptiert wird, kann durch die Analyse nicht beantwortet werden (Krewitt 2007). Die Frage, ob beispielsweise die Maßnahmen der Energiewende, welche unter anderem wegen Windkraftanlagen mit der Veränderung der Landschaft einhergeht, akzeptiert werden, kann

nicht miteinbezogen werden (Krewitt 2007). Eine weitere Schwäche in der Methode liegt darin, dass in der Analyse nicht bedacht wird, dass politische Entscheidungen oder die Implementierung einer neuen Technik in einer Änderung der Volkswirtschaft resultieren können (Bauer und Poganietz 2007). Dadurch, dass diese veränderten Zustände des Systems nicht miteinbezogen werden, kann es langfristig zu falschen Ergebnissen kommen. Insbesondere bei einer Systemumgebung, welche sich durch eine hohe Innovationskraft auszeichnet, ist die Aktualität der Ergebnisse zu beachten (Wächter 2014).

Die Lebenszyklusanalyse kann entweder als alleinige Methode oder gemeinsam mit anderen Methoden durchgeführt werden (Grunwald 2010). Im folgenden Unterkapitel wird die Ökobilanzierung vorgestellt, welche im Speziellen für ökologische Fragestellungen geeignet ist.

8.2 Ökobilanzierung

Als ein Teil der Lebenszyklusanalyse kann die Ökobilanzierung durchgeführt werden (Bauer und Poganietz 2007). Der Fokus liegt bei dieser Methode in der Untersuchung, wie die Verträglichkeit eines Produktes mit der Umwelt ist, wobei die Umwelt eine rein ökologische Analyse beinhaltet (Grunwald 2010). Im Gegensatz zur Lebenszyklusanalyse wird folglich keine Untersuchung von ökonomischen oder sozialen Faktoren durchgeführt (Rubik 1999).

Der Betrachtungszeitraum beinhaltet auch bei der Ökobilanzierung den kompletten Lebenszyklus des Produktes, sodass in allen Phasen die Kenntnis von Umweltbelastungen erlangt werden kann (Grunwald 2010, Rubik 1999). Das Ergebnis dient wie bei der Lebenszyklusanalyse einem Vergleich von Alternativen unter ähnlichen Rahmenbedingungen (Grunwald 2010). In der Ökobilanz können neben Produkten aber auch Prozesse oder die Umweltverträglichkeit ganzer Unternehmen untersucht werden (Frischknecht und Jungbluth 2006).

Die Vorgehensweise in der Methode Ökobilanzierung ist nach der ISO DIN-Norm 14040 standardisiert (2006). Die vier Schritte innerhalb dieser Analyse sind in Abbildung 9 dargestellt. Der Inhalt der Schritte wird in der folgenden Aufzählung wiedergegeben, wobei die

Erklärungen eine inhaltliche Anlehnung an die Ausarbeitungen Grunwalds (2010) und Rubiks (1999) repräsentieren:

(1) Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens

Als ein erster Schritt der Ökobilanzierung werden die Rahmenbedingungen der Analyse definiert. Das beinhaltet, die Ressourcen und zeitlichen Beschränkungen zu planen. Außerdem werden die zu erreichenden Ziele herausgearbeitet und weitere Abgrenzungen der Analyse getroffen. Zu der Abgrenzung gehört ebenfalls die Trennung zwischen System und Umgebung. Dieser Schritt ist vergleichbar mit der ersten Phase eines Projektes in der Technikfolgenabschätzung (siehe Kapitel 6).

(2) Sachbilanz

Entlang des Lebenszyklus eines Produktes oder Prozesses wird untersucht, welcher Austausch von Energie und Stoffen stattfindet. Diese Inputs und Outputs des Systems werden in einer Bilanzform gelistet. Eine weitere Analyse der In- und Outputs findet in dieser Phase nicht statt.

(3) Wirkungsabschätzung

In dieser Phase werden die gefundenen In- und Outputs aus der Sachbilanz kategorisiert. Die Kategorien beschreiben, welchen Einfluss die Stoff- oder Energieströme auf die Umwelt haben können. Die Kategorien könnten beispielsweise Treibhauseffekt, Humantoxizität oder Versauerung sein, wobei die Auswahl von der Fragestellung und dem betrachteten System abhängt.

(4) Auswertung

Im letzten Schritt der Ökobilanzierung werden die vorangegangenen Untersuchungen aus der Sachbilanz und Wirkungsabschätzung analysiert. Als Ergebnisse sollen die Einflussfaktoren des Untersuchungsgegenstandes auf die Umwelt erkannt werden. Darauf aufbauend können Lösungsmöglichkeiten entwickelt und für die weiteren Analyseschritte des Projektes genutzt werden.

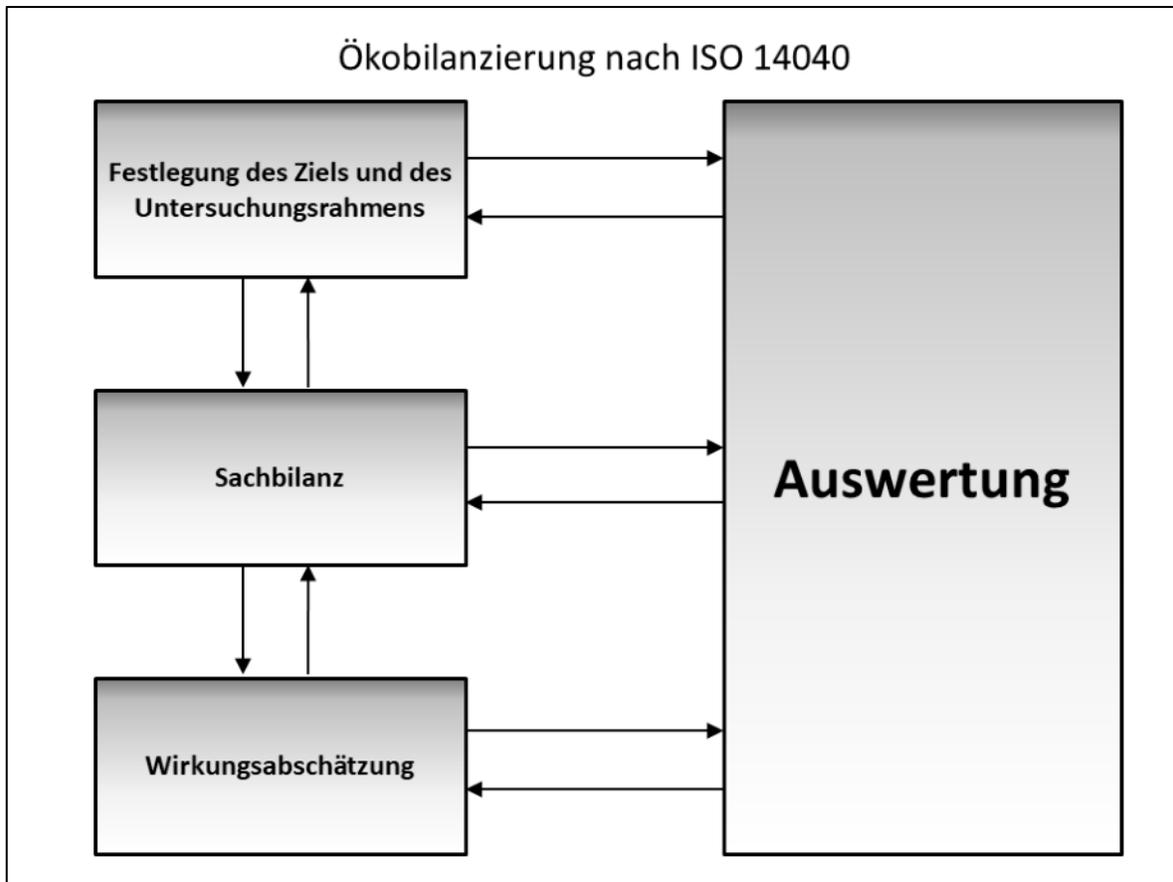


Abbildung 9: Vorgehensweise bei der Ökobilanzierung gemäß ISO Norm 14040 (eigene Darstellung in Anlehnung an ISO 14040 2006)

Als Ergebnis der Ökobilanz kann eine Empfehlung über das weitere Vorgehen ausgesprochen werden (Grunwald 2010). Die Analyse hat ihre Grenzen, da die Untersuchung global durchgeführt wird (Rubik 1999). Es werden folglich keine Aussagen über spezifische Auswirkungen auf eine lokal oder zeitlich begrenzte Umwelt getroffen (Grunwald 2010). Außerdem können in der Ökobilanzierung ausschließlich ökologische Fragestellungen analysiert werden. Als eine Erweiterungsmöglichkeit der Ökobilanzierung um ökonomische und soziale Aspekte kann eine Produktlinienanalyse durchgeführt werden (Becker 1999).

Weiterhin ist zu erwähnen, dass die Ergebnisse nur dann eine hohe Sicherheit haben, wenn sie in einer retrospektiven Analyse durchgeführt wurden (von Gleich 2013). Bei Analysen mit einem prospektiven Charakter sind die Ergebnisse, wie in allen Prognosen über zukünftige Szenarien, von Unsicherheit geprägt (von Gleich 2013).

Durch die Ökobilanzierung werden die detaillierten Einflussfaktoren einer Technik oder eines Produktes auf die Umwelt im Hinblick auf ökologische Fragestellungen untersucht. Für die Analyse eines größeren Untersuchungsgegenstandes, wie beispielsweise einer ganzen Volkswirtschaft, ist die Ökobilanzierung zu detailliert (Grunwald 2010). Im folgenden Unterkapitel wird die Input-Output-Analyse präsentiert, welche eine Analyse des Austauschs von Stoffen zwischen Systemen und Umgebung im Gesamtzusammenhang ermöglicht.

8.3 Input-Output-Analyse

Die Input-Output-Analyse wurde in ihrer Grundform durch den Wirtschaftswissenschaftler Wassily Leontief (1936) entwickelt und wird daher als Leontief-Modell bezeichnet (z. B. Miller und Blair 2009, Rebitzer et al. 2004). Als Teil der Ökobilanzierung und Lebenszyklusanalyse wird in der Input-Output-Analyse der Austausch von Energie und Stoffen mit der Umwelt während des gesamten Lebenszyklus untersucht (Grunwald 2010, Rebitzer et al. 2004). Das Ziel ist es, die Wechselwirkungen innerhalb der Systeme zu verstehen und Muster zu erkennen (Grunwald 2010).

Als Methodik werden Input-Output-Tabellen angelegt, welche die Ströme abbilden (z. B. Miller und Blair 2009, Rebitzer et al. 2004). Innerhalb dieser Tabellen werden die Inputs durch Zustandsänderungen zu Outputs. Die neuen Outputs werden durch Rückkopplungen wieder zu Inputs des Systems (Renn 1982). Die Tabellen werden gegliedert nach Inputs und deren Herkunft sowie nach Outputs und deren Verwendung (Grunwald 2010, Miller und Blair 2009). Ein Beispiel für die regelmäßige Anwendung der Input-Output-Analyse liefert das statistische Bundesamt (destatis.de). Die Methodik wird zur Darstellung der Ströme (z. B. Güterströme) in der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung genutzt (destatis.de).

Die Verwendung der Input-Output-Analyse zur Darstellung von volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen zeigt, dass die Methode vor allem für Untersuchungen geeignet ist, welche eine Analyse von Gesamtzusammenhängen benötigen (Grunwald 2010). Weiterhin werden nicht nur Ökologie, sondern auch soziale Systeme, Technik und Volkswirtschaft in der Input-Output-Analyse betrachtet (Grunwald 2010). Da die volkswirtschaftlichen

Gesamtrechnungen in Deutschland seit den 1960er Jahren amtlich durchgeführt werden, ist eine Analyse der Entwicklung über den Zeitverlauf möglich (Kuhn 2010).

Es ist zu erwähnen, dass von den Umwelteinflüssen nur die größten Einflüsse in die Analyse einbezogen werden (Rebitzer et al. 2004). Die Schwächen der Input-Output-Analyse sind daher in dem Detailgrad der Analyse zu sehen (Rebitzer et al. 2004). Außerdem ist die Analyse aufwendig und benötigt einen höheren Zeitrahmen als andere Methoden, sodass die Input-Output-Tabellen die Ergebnisse vergangener Perioden beinhalten können (Wächter 2014). Dies ist bei der Analyse in Branchen mit einer hohen Innovationskraft und kurzen Lebenszyklen nachteilig (Wächter 2014).

8.4 Erkenntnisse zu Methoden der Technikfolgenabschätzung

Die drei vorgestellten Methoden können, aber müssen nicht aufeinander zugreifen. Es soll verdeutlicht werden, dass in vielen Analysen ein Methodenmix sinnvoll sein kann (Grunwald 2010). Jede Methode hat ihre Stärken und Schwächen und ist auf spezifische Teile einer Fragestellung anwendbar. Bei der Untersuchung von ökologischen Fragestellungen und der Umweltverträglichkeit von Produkten, Prozessen oder Unternehmen ist eine Ökobilanzierung sinnvoll (Frischknecht und Jungbluth 2006). Wenn hingegen ein Produkt auf nicht nur ökologische, sondern auch auf ökonomische und soziale Auswirkungen untersucht werden soll, ist die Lebenszyklusanalyse zu bevorzugen (Bauer und Poganietz 2007). Die Ökobilanzierung kann als ein Teil der Lebenszyklusanalyse durchgeführt werden. Zum generellen Verständnis von Wechselwirkungen und dem Erkennen von Mustern, sodass auch Rückkopplungen an Komplexität verlieren, eignet sich die Input-Output-Analyse (Renn 1982). Die Aufstellung von Input-Output-Tabellen als Teil der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung zeigt, dass die Methode für globale Fragestellungen geeignet ist. Alle drei Methoden dienen der Verständniserlangung über die Verhaltensweisen und Funktionen des betrachteten Systems (Grunwald 2010).

In Kapitel 4 dieser Arbeit ist eine theoretische Erklärung der Allgemeinen Systemtheorie und des systemtheoretischen Fachvokabulars erfolgt. Diese theoretische Basis soll durch die Erklärungen zu systemanalytischen Verfahren, wie sie in der Forschung vorkommen, einen Praxisbezug erhalten. Die drei thematisierten Methoden Lebenszyklusanalyse,

Ökobilanzierung und Input-Output-Analyse dienen in der Forschung vor allem dem Verstehen von Systemzusammenhängen, Wechselwirkungen und Rückkopplungen (Grunwald 2010). Innerhalb einer Technikfolgenabschätzung anhand einer Projektstruktur (siehe Kapitel 6) bildet das Erlangen von Systemverständnis in der Konzeptionsphase die Basis für die weitere Analyse der Technikalternativen und Szenarien (Grunwald 2010). Die gebildeten Szenarien sind Modelle der Realität, welche die einflussnehmenden Elemente beinhalten und durch Vereinfachungen der Realität erst eine Analyse ermöglichen (Ropohl 2012). Wenn die Grundlagen für die Szenariobildung fehlerhaft aus der Realität gefiltert werden, sind die darauf aufbauenden Analysen ebenfalls fehleranfällig. Die Kenntnis über ein theoretisches Systemverständnis und die Analyse mithilfe systemanalytischer Methoden in einer frühen Phase des Projektes, kann somit maßgeblich für die Richtigkeit der Prognosen sein.

Neben den Methoden der Systemanalyse liefert die Literatur eine Vielzahl weiterer Verfahrensarten, welche andere Analyseschwerpunkte haben als die Verständniserlangung. Es können beispielsweise „Technologisch orientierte Verfahren“ (Renn 1982, S. 63) durchgeführt werden, mit welchen durch eine Risikoabschätzung versucht wird, die Risiken einer Industrieanlage möglichst exakt vorherzusagen (Renn 1982). Für ökonomische Fragestellungen können unter anderem Kostenanalysen durchgeführt werden (Renn 1982). Des Weiteren gibt es prospektive Verfahren, welche aufgrund der vorherrschenden Rahmenbedingungen mögliche Entwicklungen der Zukunft aufzeigen sollen (Grunwald 2010). Zu diesen Verfahren sind die modellbasierten Simulationen und Szenariotechniken zu zählen (Grunwald 2010). Die Recherche hat ergeben, dass beispielsweise agentenbasierte Modellierung eine Methode ist, welche durch Simulation der heterogenen Elemente eines Systems in Modellen, Prognosen über die zukünftigen Entwicklungen geben soll (Weyer und Roos 2017).

9 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Kapitel folgt eine Zusammenfassung der Ergebnisse der vorliegenden Masterarbeit. Zunächst werden die Resultate präsentiert, welche sich aus der Recherchearbeit zum Themengebiet Technikfolgenabschätzung ergeben haben. Anschließend werden die Forschungsfragen beantwortet und geprüft, ob das Ziel der Arbeit erreicht werden konnte. Als letzter Schritt werden weitere Forschungsansätze präsentiert, welche sich im Verlauf der Arbeit herauskristallisiert haben.

Vorgehensweise in der Technikfolgenabschätzung

Die Motivation für die Umsetzung einer Technikfolgenabschätzung wird in vier Aspekte aufgeteilt.

- (1) Durch die Ergebnisse der Analyse kann eine frühzeitige Anpassung der Bevölkerung an negative Auswirkungen einer Technik oder eine Intervention erfolgen.
- (2) Potenzielle Risiken können vorausschauend erkannt werden. Damit wird der Gesellschaft die Option eingeräumt, mögliche Gegenmaßnahmen einzuleiten.
- (3) Durch die erhaltenen Resultate werden Informationsasymmetrien zwischen der Bevölkerung und den Vertretern einer Technik abgebaut. Dies verhilft vor der Einführung einer neuen Technik, die notwendige Akzeptanz in der Bevölkerung zu generieren. Diese ersten drei Gründe sind vor allem in der parlamentarischen Beratung von Relevanz.
- (4) In der Wirtschaft kann eine Technikfolgenabschätzung durchgeführt werden, um Wettbewerbsvorteile zu den Konkurrenten zu realisieren.

Es hat sich gezeigt, dass die Fragestellungen und Untersuchungen in der Technikfolgenabschätzung eine hohe Diversität aufweisen, da es sich um Fragestellungen in der Realität und damit um komplexe, nichtlineare Systeme handelt. Die daraus entstehende Kontextabhängigkeit in Verbindung mit dem Praxisbezug in der Gründung der Technikfolgenabschätzung führte zu einer fehlenden Theorie in der Arbeitsweise. Die Technikfolgendengemeinschaft zeichnet sich durch einzelne Institute aus, welche in einer transdisziplinären Zusammenarbeit Fragestellungen beantworten. Daher ist für die Beantwortung der Forschungsfragen dieser Ausarbeitung ebenfalls eine Befragung von Experten erfolgt. Als

Ergebnis der Kombination aus Literaturrecherche und Expertenbefragungen konnte eine Vorgehensweise für die Untersuchungen der Technikfolgenabschätzung herausgearbeitet werden.

Der Aufbau einer Technikfolgenabschätzung kann anhand einer Projektstruktur erfolgen (siehe Kapitel 6). Es ist zu beachten, dass die Inhalte der Projektphasen auf den individuellen Kontext der Fragestellung und die vorliegenden Rahmenbedingungen angepasst werden müssen. Außerdem wurden Attribute herausgearbeitet, welche bei der Durchführung der Projekte beachtet werden müssen, um eine hohe Qualität der Ergebnisse zu gewährleisten. Als Hilfestellung in der Planungsphase eines Projektes sind Leitfragen erarbeitet worden, welche vor der Durchführung des Projektes eine Strukturierung und Anpassung des Projektes an den vorliegenden Kontext ermöglichen (siehe Tabelle 3 in Kapitel 6).

Nachdem der Ablauf einer Technikfolgenabschätzung herausgearbeitet wurde, konnte für die einzelnen Teile geprüft werden, ob ein Bezug zur Allgemeinen Systemtheorie vorhanden ist. Als erster Schritt für diese Untersuchung ist ein Systemverständnis notwendig, welches sich in der Beantwortung der ersten Forschungsfrage zeigt:

FF1: Welche Schritte sind notwendig um ein Verständnis von Systemen zu erhalten?

Ein System zu verstehen bedeutet, zum einen eine Abgrenzung von seiner Umgebung durchführen zu können und zum anderen, die Wechselwirkungen zwischen Elementen und Systemteilen zu erkennen. Der Beobachter muss ein Modell eines Systems entwerfen können, welches die Komplexität des Systems vereinfacht und die Elemente beinhaltet, welche für die Analyse notwendig sind. Das Verhalten des Systems und der Elemente sowie die Wechselwirkungen und Eigenschaften können somit erkannt werden. Um dieses Verständnis zu erhalten, kann ein System auf drei Attribute geprüft werden: Funktion, Struktur und Hierarchie (siehe Kapitel 4.5).

Die Analyse der Funktionen des Systems beinhaltet die Inputs und Outputs zwischen System und Umgebung sowie die dadurch entstehenden Zustandsänderungen. Durch die strukturelle Analyse sollen die Wechselwirkungen des Systems, sowie mögliche Rück-

kopplungen, erkannt werden. Mithilfe der Hierarchieebenen kann der Analyst entscheiden, wie detailliert die Untersuchung sein wird. In Kapitel 4.7 ist ein Leitfaden herausgearbeitet, mit welchem der Beobachter eines Systems durch die Beantwortung von Leitfragen ein Systemverständnis erhalten soll. Wenn diese Fragen beantwortet werden können, wird es einem Analysten ermöglicht, das System zu verstehen.

Dieses Verständnis der komplexen Zusammenhänge dient als Grundlage für ein Systemdenken. Das „System Thinking“ ist ein Denkansatz, welcher in der Praxis der Technikfolgenabschätzung zur Anwendung kommt (Grunwald 2018). Dadurch ist die Wichtigkeit der Anwendung von Grundlagen der Allgemeinen Systemtheorie erklärt. Mit dem Verständnis eines Systems ist die Methodenauswahl in der Technikfolgenabschätzung verknüpft.

FF2: Welche systemtheoretischen Methoden zur Technikfolgenabschätzung existieren?

Durch die Literaturrecherche und Expertenbefragungen hat sich gezeigt, dass es keine Methoden gibt, welche als „klassische systemtheoretische Methoden“ bezeichnet werden können. Die Allgemeine Systemtheorie, als „Theorie“, wird als Basis für das Systemverständnis und -denken genutzt. Diese Basis ist an einigen Stellen in der Technikfolgenabschätzung notwendig, wie die Beantwortung der dritten Forschungsfrage zeigen wird.

In der Technikfolgenabschätzung gibt es lediglich Methoden, welche die Zusammenhänge, die in der Systemtheorie veranschaulicht werden, erkennbar machen. Daher wurde geprüft, welche Methoden in den Projekten angewendet werden können und welchen Zweck diese Methoden erfüllen. Es wurden drei methodische Beispiele vorgestellt, die jeweils im Rahmen der Systemtheorie ihren individuellen Zweck erfüllen.

Um reale Systeme zu analysieren, können systemanalytische Methoden eingesetzt werden. Die Wahl der Methode wird durch die Fragestellung bestimmt, wie durch die Anwendungsbereiche der drei vorgestellten Methoden gezeigt werden kann: In der Lebenszyklusanalyse werden ökologische, ökonomische und soziale Auswirkungen entlang des Produktlebenszyklus analysiert. Eine ausschließlich ökologische Untersuchung von Produkten, Prozessen und Unternehmen kann durch eine Ökobilanzierung erfolgen. Die

Wechselwirkungen und Rückkopplungen eines Systems können durch die Input-Output-Analyse aufgearbeitet werden, sodass Muster erkennbar werden.

Da diese drei Methoden systemtheoretische Charakteristika wie beispielsweise Rückkopplungen und Mustererkennung bei den Wechselwirkungen aufzeigen, sind sie für die Ergebnisse dieser Ausarbeitung prägnant.

FF3: Wie können systemtheoretische Grundgedanken in der Technikfolgenabschätzung genutzt werden?

Die Grundgedanken der Allgemeinen Systemtheorie bilden die Basis für ein Systemverständnis. In der Technikfolgenabschätzung müssen die komplexen Systeme der Realität verstanden werden, sodass Prognosen über die Entwicklungen einer Technik und den Einfluss dieser auf verschiedene Teile der realen Systeme getroffen werden können. Reale Problemstellungen sind im Gegensatz zu abstrakten Vorstellungen komplexe Systeme, weswegen sich an den systemtheoretischen Grundgedanken orientiert werden sollte. In der Technikfolgenabschätzung kann damit im besten Fall eine Reduzierung der Wahrscheinlichkeit einer Fehlprognose erreicht werden.

Die zweite Phase eines Projektes beschreibt die „Systemdefinition“ (Grunwald 2010). In diesem Schritt soll ein Modell aus der Realität gebildet werden. Das System ist in diesem Modell von seiner Umgebung abzugrenzen und beinhaltet ausschließlich die relevanten Systemelemente. Für die Folgenabschätzung in der fünften Phase des Projektes ist das Systemverständnis ebenfalls von Relevanz, da das Interpretieren von Rückkopplungen und Wechselwirkungen benötigt wird, um die betroffenen Teile möglicher Technikfolgen erkennen zu können. Die letzte Phase, die Bewertung der vorangegangenen Untersuchungen, benötigt einen Analytisten, welcher anhand spezieller Bewertungskriterien eine Prognose erarbeitet. Die Resultate sollen möglichst objektiv sein, was aufgrund der individuellen Wertvorstellungen eines Analytisten erschwert wird. Durch ein Systemverständnis, welches beispielsweise anhand von Leitfragen wie aus Kapitel 4.7 erlangt wird, kann eine wertfreie Herangehensweise unterstützt werden. Die Analyse hat gezeigt, dass eine vollständige Unvoreingenommenheit allerdings nicht realisierbar ist. Durch die einzelnen Teile eines

Projektes, in denen das Systemdenken notwendig ist, wird deutlich, weshalb eines der Attribute des klassischen Konzepts des OTA „systemisch“ ist (Grunwald 2010).

Ziel der Untersuchung: Kann durch die Nutzung systemtheoretischer Denkweisen die Prognosekraft erhöht werden?

Als Ergebnis einer Technikfolgenabschätzung werden Prognosen über die Entwicklung einer Technik formuliert. Diese haben aufgrund des Zukunftsaspektes eine Unsicherheit. Je weiter die Prognose in die Zukunft reicht, umso unsicherer sind die Ergebnisse der Analyse. Ob das Nutzen der Allgemeinen Systemtheorie und der darauf aufbauenden Denkweisen die Prognosekraft erhöht, kann nicht verallgemeinernd beantwortet werden.

Durch das Verständnis von Systemen können die Teile des Projektes, beispielsweise in einer Systemabgrenzung und anschließenden Methodenwahl, strukturierter durchgeführt werden als ohne ein Systemdenken. Die Muster in den Wechselwirkungen und Rückkopplungen können erkannt werden, sodass die Analyse, welche Folgen am wahrscheinlichsten eintreten, vereinfacht wird. Allerdings ist die Unsicherheit über zukünftige Entwicklungen nicht zu verhindern, sodass bei unvorhersehbaren Ereignissen auch durch das Systemverständnis keine höhere Prognosekraft erreicht werden kann.

Das Wissen, welche Teile einer Bevölkerung von einer Technik betroffen sein können, kann in einem partizipativen Prozess genutzt werden. Die Bürger können frühzeitig auf notwendige Anpassungen vorbereitet und abmildernde Interventionen durchgeführt werden.

Aufgrund des Unsicherheitsfaktors von Prognosen ist es notwendig, dass die Auftraggeber einer Technikfolgenabschätzung darüber aufgeklärt werden, dass kein Vollständigkeitsanspruch der Ergebnisse erfüllt werden kann.

Ausblick

Während der Untersuchungen dieser Masterarbeit haben sich drei fortführende Themenbereiche herauskristallisiert, welche aufgrund der zeitlichen Rahmenbedingungen und des gesetzten Themenfokus nicht weiter bearbeitet wurden. Diese Themenbereiche werden im Folgenden erläutert.

In Kapitel 3 wurde auf die Verschiedenartigkeit der Systemtheorien diverser Wissenschaftsdisziplinen eingegangen. Eine inhaltliche Aufarbeitung der einzelnen Theorien ist nicht durchgeführt worden. Durch einen inhaltlichen Vergleich der Systemtheorien könnten Verknüpfungen zwischen Wissenschaftsdisziplinen gefunden werden, sodass möglicherweise weitere Kenntnisse über das Verhalten von Systemen erarbeitet werden können.

Der zweite thematische Ausblick bezieht sich auf die Prognosen in der Technikfolgenabschätzung. Unter Einbeziehung der Formulierung einer „Unsicherheit“ in den Prognosen stellt sich die Frage, ob es sich um „Unsicherheit“ oder das „Risiko“ einer Entscheidung handelt. Eine Analyse anhand der Entscheidungstheorie in Verbindung mit der Technikfolgenabschätzung könnte aufschlussreiche Erkenntnisse bringen. Gemäß der Entscheidungstheorie ist die Wahl zwischen Alternativen, bei der eine Annahme von den Wahrscheinlichkeiten vorhanden ist, eine Entscheidung unter Risiko (Laux et al. 2014). Definitiv ist eine Entscheidung unter Unsicherheit nur dann vorhanden, wenn keine Informationen über die Eintrittswahrscheinlichkeit einer Alternative bestehen (Laux et al. 2014). Dies steht im Widerspruch zu den Ergebnissen, welche durch eine Technikfolgenabschätzung erlangt werden sollen.

Als letzter Schritt einer Untersuchung der Technikfolgenabschätzung werden die Ergebnisse einem Entscheider vorgelegt, wobei keine Handlungsempfehlung ausgesprochen wird. Ebenfalls basierend auf der Entscheidungstheorie kann eine Analyse durchgeführt werden, welche Faktoren den Beschluss des Entscheiders beeinflussen. Dabei kann beispielsweise die Risikoeinstellung des Entscheiders, politischer Druck, der Familienstand des Entscheiders oder der Einfluss durch Lobbyisten miteinbezogen werden.

Abschließend kann gesagt werden, dass die Forschungsfragen durch die Analysen in dieser Masterarbeit beantwortet werden konnten. Die beiden Themen der Technikfolgenabschätzung und Systemtheorie konnten aufeinander bezogen und auf eine gleichzeitige Anwendung geprüft werden. Diese Arbeit stellt eine theoretisch orientierte Ausarbeitung dar, welche sich lediglich in Teilen auf die Praxis bezieht. Eine Anwendbarkeit in der praktischen Arbeit der Technikfolgenabschätzung stellt einen nächsten Schritt dar, um weitere Erkenntnisse zu erhalten.

Literaturverzeichnis

- Aristoteles (ca. 330 v. Chr.). *Metaphysik*, verschiedene Ausgaben.
- Ashby, W. R. (1956). *An Introduction to Cybernetics*. London: Chapman & Hall.
- Baecker, D. (Hrsg.) (2005). *Schlüsselwerke der Systemtheorie*. 2. Auflage, Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Banta, D. (2009). *What is technology assessment?* International Journal of Technology Assessment in Health Care, 25: Supplement 1, 7-9.
- Bauer, C.; Poganietz, W.-R. (2007). *Prospektive Lebenszyklus-analyse oder die Zukunft in der Ökobilanz*. In: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis Nr. 3, 16. Jg., Dezember 2007, 17-23.
- Bechmann, G. (1994). *Frühwarnung – die Achillesferse der TA?* In: Grunwald, A.; Sax, H. (Hrsg.): Technikbeurteilung in der Raumfahrt. Anforderungen, Methoden, Wirkungen. Berlin: edition sigma, 88-100.
- Becker, T. (1999). *Produktlinienanalyse*. In: Bröchler, S.; Simonis, G.; Sundermann, K. (Hrsg.): Handbuch Technikfolgenabschätzung. Band 2, Berlin: edition sigma, 541-544.
- Beer, S. (1959). *Cybernetics and Management*. London: The English Universities Press LTD.
- Bell, D. (1973). *The coming of post-industrial society*. New York: Basic Books.
- Bhatnagar, D.; Jancy, A. (2003). *Technology assessment methodology*. The experience of India's TIFAC, TECH MONITOR, Special Feature: Technology Road-Mapping.
- Bundestag (1987). *Einschätzung und Bewertung von Technikfolgen, Gestaltung und Rahmenbedingungen der technischen Entwicklung*. Bonn: Bundestagsdrucksache 10/5844.
- Bütschi, D.; Carius, R.; Decker, M.; Grams, S.; Machleidt, P.; Steyaert, St.; van Est, R. (2004). *The Practice of TA; Science, Interaction and Communication*. In: Decker, M.; Ladikas, M. (Hrsg.): Bridges between Science, Society and Policy. Technology Assessment – Methods and Impacts. Berlin: Springer Verlag, 12-55.

- Churchman, C. W. (1971). *The design of inquiring systems basic concepts of systems and organization*. New York: Basic Books, Inc.; Publishers
- Coates, V. (1974). *Technology Assessment- New Demands for Information*. Chemical Engineering Progress, 70(11), 41-45.
- Cortés, F., Przeworski, A., Sprague, J. (1974). *Systems Analysis for Social Scientists*, New York.
- Decker, M. (2009). *Zukünftige Technologien umfassend bewerten. Technikfolgenabschätzung im Spiegel transdisziplinärer Forschungskonzepte*. In: Maring, M. (Hrsg.): Verantwortung in Technik und Ökonomie. Schriftenreihe des Zentrums für Technik- und Wirtschaftsethik an der Universität Karlsruhe (TH). Band 1, Karlsruhe: Universitätsverlag, 77-100.
- Deutsch, K. W. (1963). *The nerves of government. Models of political communication and control*. New York: Free Press.
- Egner, H. (2008). *Komplexität. Zwischen Emergenz und Reduktion*. In Egner, H.; Ratter, B. M.; Dikau, R: Umwelt als System – System als Umwelt. Systemtheorie auf dem Prüfstand. München: oekom Verlag, 39-54.
- Egner, H.; Ratter, B.M. (2008). *Umwelt als System-System als Umwelt. Einleitung: Wozu Systemtheorie(n)*. In Egner, H.; Ratter, B. M.; Dikau, R: Umwelt als System – System als Umwelt. Systemtheorie auf dem Prüfstand. München: oekom Verlag, 9-22.
- Egner, H.; Ratter, B. M.; Dikau, R. (2008). *Umwelt als System–System als Umwelt. Systemtheorien auf dem Prüfstand*. München: oekom Verlag.
- Fleischer, T.; Decker, M.; Fiedeler, U. (2004). *Assessing Emerging Technologies – Methodical Challenges and the Case of Nanotechnologies*. EU-US Seminar: New Technology Foresight, Forecasting & Assessment Methods – Seville 2004.
- Frischknecht, R.; Jungbluth, N. (2006). *Ökobilanzen: Methode der ökologischen Knappheit – Ökofaktoren 2006 Methode für die Wirkungsabschätzung in Ökobilanzen*. Zürich: Öbu SR 28/2008.

- Gethmann, C. F.; Grunwald, A.; Europäische Akademie zur Erforschung von Folgen wissenschaftlich-technischer Entwicklungen (Hrsg.) (1998). *Technikfolgenabschätzung: Konzeptionen im Überblick*. 2. Auflage.
- Gibbons, J. (1991). *Technikfolgenabschätzung am OTA: Die Entwicklungsgeschichte eines Experiments*. In: Kornwachs, K. (Hrsg.): Reichweite und Potential der Technikfolgenabschätzung. Stuttgart: Poeschel, 23-48.
- Grunwald, A. (Hrsg.) (1999). *Rationale Technikfolgenbeurteilung. Konzeption und methodische Grundlagen*. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Grunwald, A. (2002). *Technikfolgenabschätzung - eine Einführung*. 1. Auflage. Berlin: edition sigma.
- Grunwald, A. (2007). *Die Funktion der Wissenschaftstheorie in der Technikfolgenabschätzung*. In: Gethmann, C.F. (Hrsg.): Die interdisziplinäre Funktion der Philosophie. Berlin: Springer Verlag.
- Grunwald, A. (2010). *Technikfolgenabschätzung - eine Einführung*. 2. Auflage. Berlin: edition sigma.
- Grunwald, A. (2013). *Technikfolgenabschätzung als Schritt zu transformativer Wissenschaft*. *Ökologisches Wirtschaften-Fachzeitschrift*, 28(2), 21-23.
- Grunwald, A.; Hennen, L.; Sauter, A. (2014). *Entstehung und Status der Technikfolgenabschätzung*. In: Bundeszentrale für politische Bildung (Hrsg.): *Aus Politik und Zeitgeschichte. Technik, Folgen, Abschätzung*. 64. Jahrgang, 6-7/2014. 3. Februar 2014.
- ISO 14040 (2006). *Environmental Management. Life Cycle Assessment. Principles and Framework*.
- KIT und ITAS (Hrsg.) (Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) (Hrsg.) (2017). *TATuP-Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis* 26/3 (2017), *Technik-Folgen-Simuliert*, München: oekom Verlag GmbH, 6.

- Kornwachs, K. (1991). *Glanz und Elend der Technikfolgenabschätzung*. In: Kornwachs (Hrsg.): Reichweite und Potential der Technikfolgenabschätzung. Stuttgart: Poeschel, 1-22.
- Krewitt, W. (2007). *Energiesysteme im Wandel*. In: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis Nr. 3, 16. Jg., Dezember 2007, 54-60.
- Kuhn, A., Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2010). *Input-Output-Rechnung im Überblick*. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Laux, H.; Gillenkirch, R. M.; Schenk-Mathes, H.Y. (2014). *Entscheidungstheorie*. 9.Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Leontief, W. (1936). *Quantitative Input and Output Relations in the Economic System of the United States*. Review of Economics and Statistics, 18, 105–125.
- Luhmann, N. (1984). *Soziale Systeme: Grundriß einer allgemeinen Theorie*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Luhmann, N.; Baecker D. (2004). *Einführung in die Systemtheorie*. 2. Auflage, Heidelberg: Carl-Auer-Systeme Verlag.
- Mainzer, K. (1999). *Komplexe Systeme und Nichtlineare Dynamik in Natur und Gesellschaft*. In Mainzer, K. (Hrsg.): Komplexe Systeme und Nichtlineare Dynamik in Natur und Gesellschaft. Berlin: Springer, 3-29.
- Maturana, H. R.; Varela, F. J. (1980). *Autopoiesis and Cognition: The Realization of the Living*, Dordrecht: Reidel.
- Miller, R.E.; Blair, P.D. (2009). *Input-Output Analysis. Foundations and Extensions*. 2. Auflage. Cambridge University Press
- Montuori, A. (2011). *Systems Approach*. In: Runco MA and Pritzker SR (Hrsg.): Encyclopedia of Creativity, Second Edition, vol.2, pp.414-421 San Diego: Academic Press.

- Müller, K. (1996). *Allgemeine Systemtheorie: Geschichte, Methodologie und sozialwissenschaftliche Heuristik eines Wissenschaftsprogramms*. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Parsons, T. (1951). *The Social System*, New York: Free Press, 1951.
- Paschen, H.; Petermann, T. (1992). *Technikfolgen-Abschätzung. Ein strategisches Rahmenkonzept für die Analyse und Bewertung von Techniken*. In: Petermann, T. (Hrsg.): *Technikfolgen-Abschätzung als Technikforschung und Politikberatung*. Frankfurt u. a.: Campus 1992, S. 19-42 (Veröffentlichungen der Abteilung für Angewandte Systemanalyse (AFAS), Bd. 1).
- Patzak, G.; Rattay, G. (2009). *Projektmanagement: Leitfaden zum Management von Projekten, Projektportfolios, Programmen und projektorientierten Unternehmen*. 5. Auflage. Wien: Linde Verlag GmbH.
- Ratter, B. M.; Treiling, T. (2008). *Komplexität – oder was bedeuten diese Pfeile zwischen den Kästchen?* In Egner, H.; Ratter, B. M.; Dikau, R: *Umwelt als System – System als Umwelt. Systemtheorie auf dem Prüfstand*. München: oekom Verlag, , 23-38.
- Rebitzer, G.; Ekvall, T.; Frischknecht, R.; Hunkeler, D.; Norris, G.; Rydberg, T.; Schmidt, W.-P.; Suh, S.; Weidema, B. P.; Pennington, D.W. (2004). *Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications*. *Environment International* 30, issue 5, 701-720.
- Renn, O. (1982). *Methoden und Verfahren der Technikfolgenabschätzung und der Technologiebewertung*. In: Münch, E.; Renn, O.; Roser, T.: *Technik auf dem Prüfstand: Methoden und Maßstäbe der Technologiebewertung*. Gräfelfing: Energiewirtschaft und Technik Verlagsgesellschaft, 62-84.
- Renn, O. (1999). *Methodische Vorgehensweise in der Technikfolgenabschätzung*. In: Bröchler, S.; Simonis, G.; Sundermann, K. (Hrsg.): *Handbuch Technikfolgenabschätzung*. Band 2., Berlin: edition sigma, 609-615.

- Renn, O. (2014). *Mit Sicherheit ins Ungewisse*. In: Bundeszentrale für politische Bildung (Hrsg.): Aus Politik und Zeitgeschichte. Technik, Folgen, Abschätzung. 64. Jahrgang, 6-7/2014. 3. Februar 2014.
- Ropohl, G. (Hrsg.) (1975). *Systemtechnik*. München: Hanser Verlag.
- Ropohl, G. (1997). *Methoden der Technikbewertung*. In: Westphalen, R. Graf von (Hrsg.): Technikfolgenabschätzung als politische Aufgabe. 3. Auflage, München, Wien: R. Oldenbourg Verlag, 177-202.
- Ropohl, G. (2009). *Allgemeine Technologie: Eine Systemtheorie der Technik*, 3. Auflage. Karlsruhe: Universitätsverlag Karlsruhe.
- Ropohl, G. (2012). *Allgemeine Systemtheorie: Einführung in transdisziplinäres Denken*. Berlin: edition sigma.
- Rubik, F. (1999). *Ökobilanzen von Produkten*. In: Bröchler, S.; Simonis, G.; Sundermann, K. (Hrsg.): Handbuch Technikfolgen-Abschätzung. Band 2, 625-632.
- Saretzki, T. (2014). *Entstehung und Status der Technikfolgenabschätzung*. In: Bundeszentrale für politische Bildung (Hrsg.): Aus Politik und Zeitgeschichte. Technik, Folgen, Abschätzung. 64. Jahrgang, 6-7/2014. 3. Februar 2014.
- Schevitz, J. (1992). *Einige Aspekte der Geschichte und der Arbeit des United States Office of Technology Assessment (OTA)*. In: Petermann, T. (Hrsg.): Technikfolgen-Abschätzung als Technikforschung und Politikberatung. Frankfurt u. a.: Campus 1992, S. 225-252 (Veröffentlichungen der Abteilung für Angewandte Systemanalyse (AFAS), Bd. 1).
- Schuchardt, W.; Wolf, R. (1990). *Technikfolgenabschätzung und Technikbewertung: Möglichkeiten und Schwierigkeiten von Technikkontrolle und Technikregulierung*. In: Ropohl, G., Schuchardt, W.; Wolf, R. (Hrsg.): Schlüsseltexte der Technikbewertung, Düsseldorf, S. 174-192.
- Simonis, G. (Hrsg.) (2013). *Konzepte und Verfahren der Technikfolgenabschätzung*. Wiesbaden: Springer-Fachmedien.

- Skorupinski, B.; Ott, K. (2000). *Ethik und Technikfolgenabschätzung*. Zürich: Helbing Lichtenhahn Verlag.
- Smith, A. (1776). Reckenwald, H.C. (Hrsg.): *Der Wohlstand der Nationen*. andersseitig.de.
- Steinmüller, K. (1999). *Methoden der TA- ein Überblick*. In: Bröchler, S.; Simonis, G.; Sundermann, K. (Hrsg.): *Handbuch Technikfolgen-abschätzung*. Band 2., Berlin: edition sigma, 655-667.
- Sydsaeter, K.; Hammond, P. J. (2009). *Mathematik für Wirtschaftswissenschaftler. Basiswissen mit Praxisbezug*. 3. Auflage. München: Pearson Studium Verlag.
- Tran, T. A.; Daim, T. (2008). *A taxonomic review of methods and tools applied in technology assessment*. *Technological Forecasting and Social Change*, 75(9), 1396-1405.
- VDI – Verein Deutscher Ingenieure (1991). *Richtlinie 3780 Technikbewertung, Begriffe und Grundlagen*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- Von Bertalanffy, L. (1968). *General system theory*. New York, 41973(1968), 40.
- Von Elverfeldt, K.; Keiler, M. (2008). *Offene Systeme und ihre Umwelt. Systemperspektiven in der Geomorphologie*. In Egner, H.; Ratter, B. M.; Dikau, R.: *Umwelt als System – System als Umwelt. Systemtheorie auf dem Prüfstand*. München: oekom Verlag, 75-102.
- Von Foerster, H. (1981). *Observing Systems*, Seaside, CA: Intersystems Publications.
- Von Gleich, A. (2013). *Prospektive Technikbewertung und Technikgestaltung zur Umsetzung des Vorsorgeprinzips*. In: Simonis, G. (Hrsg.), *Konzepte und Verfahren der Technikfolgenabschätzung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 48-73
- Wächter, P. (2014). *Ökonomik in der Technikfolgenabschätzung – eine Bestandsaufnahme*. Institut für Technikfolgenabschätzung. Wien: Österreichische Akademie der Wissenschaften.
- Weyer, J.; Roos, M. (2017). *Agentenbasierte Modellierung und Simulation. Instrumente prospektiver Technikfolgenabschätzung*. TATuP 26/3 (2017), 11-16.

Wiener, N. (1948). *Cybernetics, or control and communication in the animal and the machine*. Wiley. Cambridge, Massachusetts: The M.I.T. Press.

Williamson, R. A. (1994). *Space Policy at the Office of Technology Assessment*. In: Grunwald, A.; Sax, H. (Hrsg.): *Technikbeurteilung in der Raumfahrt. Anforderungen, Methoden, Wirkungen*. Berlin: edition sigma, 211-225.

Quellenverzeichnis

- August, K. (2016). *Technologie. Faktor Mensch*. https://www.helmholtz.de/wissenschaft_und_gesellschaft/faktor-mensch/, letzter Zugriff: 17.04.2018.
- Bundesverband Technik des Einzelhandels e.V. (BVT) (n.d.). *Verbraucherausgaben für Technik pro Kopf in Deutschland nach Produktgruppen im Jahr 2016 (in Euro)*. Statista. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/264522/umfrage/verbraucher-ausgaben-fuer-technik-pro-kopf-in-deutschland-nach-produktgruppen/>, letzter Zugriff: 02.04.2018
- Destatis, Statistisches Bundesamt / Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Inlandsprodukt (2018). <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/VGR/VolkswirtschaftlicheGesamtrechnungen.html>, letzter Zugriff: 02.04.2018
- dict.cc (2018). *Suchbegriff: assessment*. <https://www.dict.cc/?s=assessment>, letzter Zugriff: 11.03.2018
- Duden (2018). *Suchbegriff: System, das*. https://www.duden.de/rechtschreibung/System_, letzter Zugriff: 13.02.2018.
- EA – European Academy of Technology and Innovation Assessment (2018). <https://www.ea-aw.de/>, letzter Zugriff: 12.03.2018
- EPTA - European Parliamentary Technology Assessment / Members (2018). <http://www.eptanetwork.org/members>, letzter Zugriff: 12.03.2018
- Fraunhofer ISI / Dr. Ralf Lindner (2018). <http://www.isi.fraunhofer.de/isi-de/t/mitarbeiterseiten/rl.php>, letzter Zugriff: 05.03.2018
- Grunwald (2018). E-Mail-Korrespondenz mit Prof. Dr. Armin Grunwald (Institutsleiter des Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) und des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) (itas.kit.edu)). Die inhaltlich relevanten Teile der E-Mails sind dem Anhang zu entnehmen.

Karlsruher Institut für Technologie (KIT) / Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) (2018). <https://www.itas.kit.edu/>, letzter Zugriff: 15.03.2018

Karlsruher Institut für Technologie (KIT) / Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) / Prof. Dr. Armin Grunwald (2018). http://www.itas.kit.edu/mitarbeiter_grunwald_armin.php, letzter Zugriff: 05.03.2018

Karlsruher Institut für Technologie (KIT) / Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) / Dr. Ludwig Leible (2018). http://www.itas.kit.edu/mitarbeiter_leible_ludwig.php, letzter Zugriff: 13.03.2018

Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) (n.d.) *Anzahl der gemeldeten Pkw in Deutschland in den Jahren 1960 bis 2018 (Bestand in 1.000)*. Statista. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/12131/umfrage/pkw-bestand-in-deutschland/>, letzter Zugriff: 02.04.2018

Leible (2018). E-Mail-Korrespondenz mit Dr. Ludwig Leible (Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) im Bereich Energie, Ressourcen, Technologie und Systeme (itas.kit.edu)). Die inhaltlich relevanten Teile der E-Mails sowie die, im Text erwähnte, Langzeitstudie (per Hyperlink), sind dem Anhang zu entnehmen.

Lindner (2018). Telefoninterview am 21.02.2018 mit Dr. Ralf Lindner vom Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (isi.fraunhofer.de) . Die inhaltlich relevanten Teile des Interviews sind dem Anhang zu entnehmen.

openTA / Projekt Open-TA (2018). <https://www.openta.net/projekt-openta>, letzter Zugriff: 12.03.2018

openTA / Netzwerk-TA (2018). <https://www.openta.net/netzwerk-ta>, letzter Zugriff: 12.03.2018

openTA / Mitglieder (2018). <https://www.openta.net/mitglieder>, letzter Zugriff: 12.03.2018

TAB – Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (2018).
<http://www.tab-beim-bundestag.de/de/ueber-uns/index.html>, letzter Zugriff:
12.03.2018