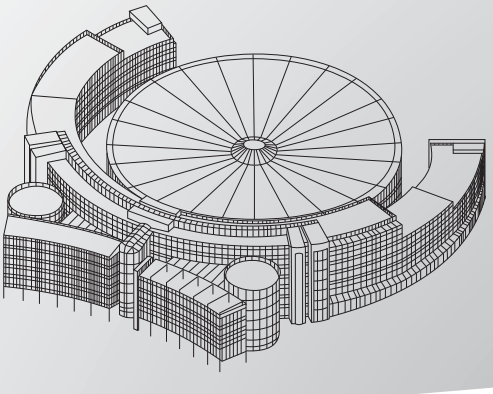
BERICHTE AUS DEM
PRODUKTIONSTECHNISCHEN
ZENTRUM BERLIN



Pia Gausemeier

Nachhaltige Technologiepfade für unterschiedliche Entwicklungsniveaus

Fraunhofer IPK
INSTITUT
PRODUKTIONSANLAGEN UND
KONSTRUKTIONSTECHNIK

INSTITUT
WERKZEUGMASCHINEN UND FABRIKBETRIEB
TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

BERICHTE AUS DEM
PRODUKTIONSTECHNISCHEN ZENTRUM BERLIN

Pia Gausemeier

Nachhaltige Technologiepfade für unterschiedliche Entwicklungsniveaus

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. G. Seliger
Prof. Dr.-Ing. R. Jochem
Prof. Dr.-Ing. J. Krüger
Prof. Dr.-Ing. K. Mertins
Prof. Dr.-Ing. M. Rethmeier
Prof. Dr. rer. nat. M. Schmidt
Prof. Dr.-Ing. R. Stark
Prof. Dr. h. c. Dr.-Ing. E. Uhlmann

Fraunhofer IPK
INSTITUT PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

INSTITUT WERKZEUGMASCHINEN UND FABRIKBETRIEB
TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

Kontaktadresse:
Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK
Pascalstraße 8-9
10587 Berlin
Telefon 030 39006-0
Fax 030 39110-37
E-Mail info@ipk.fraunhofer.de
URL www.ipk.fraunhofer.de

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.
ISBN (Print): 978-3-8396-0670-4

D 83

Zugl.: Berlin, TU, Diss., 2013

Druck: Mediendienstleistungen des
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB, Stuttgart

Für den Druck des Buches wurde chlor- und säurefreies Papier verwendet.

© by FRAUNHOFER VERLAG, 2014
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB
Postfach 800469, 70504 Stuttgart
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
Telefon 0711 970-2500
Fax 0711 970-2508
E-Mail verlag@fraunhofer.de
URL http://verlag.fraunhofer.de

Alle Rechte vorbehalten
Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.
Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften.
Soweit in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden ist, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen.

Nachhaltige Technologiepfade für unterschiedliche Entwicklungsniveaus

vorgelegt von
Dipl.-Wirt.-Ing. Pia Gausemeier
aus Erding

von der Fakultät V – Verkehrs- und Maschinensysteme –
der Technischen Universität Berlin
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Ingenieurwissenschaften
– Dr.-Ing. –

genehmigte Dissertation

Promotionsausschuss:

Vorsitzender:	Prof. Dr.-Ing. Jörg Krüger
Gutachter:	Prof. Dr.-Ing. Günther Seliger
Gutachter:	Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 20. September 2013

Berlin 2014

D 83

Sustainable MANUFACTURING

Abstract in Deutsch und Englisch

Die Weltbevölkerung umfasst sieben Milliarden Menschen, von denen weniger als eine Milliarde Menschen der sogenannten früh-industrialisierten Welt angehören. Nutzen die aufstrebenden Nationen zur Steigerung ihrer Lebensqualität gegenwärtige Technologien, übersteigt dies das verantwortbare Maß des Ressourcenverbrauchs bei Weitem. Es gilt, Lebensqualität und Ressourcenverbrauch durch den Einsatz nachhaltiger Technologien zu harmonisieren. Ziel der Arbeit ist deshalb eine Methode zur Identifikation und Entwicklung nachhaltiger Technologiesysteme im Sinne konzeptueller technischer Lösungsansätze für unterschiedliche Entwicklungsniveaus. Betrachtet werden die Lebensweltbereiche Mobilität, Energie und Produktion.

Die entwickelte Methode besteht im Wesentlichen aus vier Elementen. Diese integrieren, bezogen auf das zuvor beschriebene Ziel, positive Aspekte bestehender Methoden aus den Methodengebieten Zukunftsforschung, Produktentwicklung und Nachhaltigkeitsbewertung. Die vier Elemente der Methode sind der Technologiepool, die Umfeldszenarien, die Nachhaltigkeitsbewertung und die Systembildung, die in unterschiedlichen Pfaden mit unterschiedlichen Ausgangspunkten durchlaufen werden können. Die beiden technologie-induzierten Pfade ermöglichen es, ausgehend von einem System beziehungsweise einem Systemelement technische Potentiale in nützliche Anwendungen zu überführen. Der probleminduzierte Pfad ermöglicht es, ausgehend von den künftigen Rahmenbedingungen eines betrachteten Umfelds, Bedürfnisse von Menschen durch technische Potentiale nachhaltig zu befriedigen.

Die vier exemplarischen Anwendungen repräsentieren die unterschiedlichen Pfade, Lebensweltbereiche und Entwicklungsniveaus. Die ersten beiden Anwendungsbeispiele stellen die technologieinduzierten Pfade in hohem Entwicklungsniveau dar. Im ersten Anwendungsbeispiel aus dem Lebensweltbereich Mobilität wird das System „Wasserstoff-basierter Verkehr“ bezüglich seiner Nachhaltigkeit bewertet und verbessert. Im zweiten Anwendungsbeispiel wird das Systemelement „Modulares Werkzeugmaschinengestell“ aus dem Lebensweltbereich Produktion in den Kontext eines Systems zur Fertigung von Rotorblättern für Windkraftanlagen gesetzt. Die Anwendungsbeispiele „Autarke Energie-versorgung“ und „Kakaomassenherstellung“ zeigen beide den probleminduzierten Pfad für ein niedriges Entwicklungsniveau, betreffen aber die unterschiedlichen Lebensweltbereiche Energie und Produktion. In der Validierung wird gezeigt, dass die Methode heutige und künftige Rahmenbedingungen der unterschiedlichen Entwicklungsniveaus sowie die ökonomische, ökologische und soziale Nachhaltigkeitsdimension in der Identifikation und Entwicklung von technischen Systemen berücksichtigt. Weiterhin wird dargestellt, wie Systeme aus konventionellen und/oder neuen Technologien mit variablen Systemgrenzen gebildet werden können.

The current world population consists of over seven billion people. Less than one billion of them belong to the so called early industrialized world. If the emerging countries apply current, existing technologies to increase their quality of life, then the degree resource consumption will by far exceed every accountable limit. It is imperative to harmonize quality of life and resource consumption through the application of sustainable technologies. The goal of this work was therefore a method for identifying and developing sustainable technology systems in the sense of conceptual technological solutions for different levels of economical, ecological and social development. Observed areas of human living are hereby mobility, energy and production.

The developed method consists of four elements. Based on the previously described goals, they integrate positive aspects of existing methods from the areas future studies, product development and sustainability assessment. The four elements of the method are the technology pool, the surrounding field scenarios, the sustainability assessment and the system creation. They can be applied in various paths with different starting points. The two technology induced paths, emanating from either a system or system element, allow potentials to be transformed into useful applications. The problem induced path, emanating from future frame conditions of an observed field, allows human needs to be satisfied trough technological potentials.

The four exemplary applications represent the different paths, areas of human living and development levels. The first two application cases illustrate the technology induced path for a high level of development. In the first application case from the area of human living mobility, the system “hydrogen based transportation” is evaluated and improved in respect to its sustainability. In the second application case, the system element “modular machine tool base” from the area of human living production is introduced into a production system for wind turbine blades. The application cases “decentralized energy supply” and “cacao raw mixture production” both show the problem induced path for a low development level. They address, however, the different areas of human living energy and production respectively. The validation shows that both present and future frame conditions for different levels of development as well as the economic, environmental and social dimensions of sustainability are observed by the method in identifying and developing technological systems. Furthermore, the validation shows how systems can be built with variable system boundaries and from conventional and/or new technologies.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 1
1.1 Herausforderung 1
1.2 Zielsetzung 6
1.3 Vorgehensweise 7
2 Stand der Technik 9
2.1 Begriffsdefinitionen 9
2.2 Einordnung 17
2.2.1 BOP-Innovation 19
2.2.2 Zukunftsforschung 20
2.2.3 Produktentwicklung 21
2.2.4 Nachhaltigkeitsbewertung 22
2.3 Methoden der Zukunftsforschung 23
2.3.1 Delphi-Methode 23
2.3.2 Trendanalyse 24
2.3.3 Szenario-Technik 25
2.4 Methoden Produktentwicklung 28
2.4.1 VDI-Richtlinie 2221 28
2.4.2 TRIZ – Methode des erfinderischen Problemlösens 29
2.4.3 Morphologischer Kasten 29
2.4.4 Konstruktionsmethodik nach PAHL und BEITZ 30
2.5 Methoden der Nachhaltigkeitsbewertung 31
2.5.1 Ökobilanz/Life Cycle Assessment 32
2.5.2 Produktlinienanalyse 32
2.5.3 Product Carbon Footprint 33
2.5.4 Kosten-Nutzen-Analyse 33
2.5.5 Nutzwertanalyse 34
2.6 Schnittmengenmethoden 35
2.6.1 Technologieszenarien 35
2.6.2 Technologiefolgenabschätzung 37
2.6.3 Sustainable Product Development 38
3 Handlungsbedarf 39
3.1 Anforderungen 39
3.2 Bewertung 44
3.3 Fazit 52

4 Grundlagen der Methode 53
4.1 Elemente der Methode 55
4.1.1 Technologiepool 55
4.1.2 Umfeldszenarien 60
4.1.3 Bewertung 67
4.1.4 Systembildung 70
4.2 Pfade 73
4.2.1 Technologieinduzierter Pfad ausgehend vom System 73
4.2.2 Technologieinduzierter Pfad ausgehend vom Systemelement 74
4.2.3 Probleminduzierter Pfad 75
5 Vertiefung und Anwendung der Methode 77
5.1 Technologieinduzierter Pfad ausgehend vom System 79
5.1.1 Technologiepool 79
5.1.2 Umfeldszenarien 80
5.1.3 Bewertung 81
5.1.4 Systembildung 83
5.2 Technologieinduzierter Pfad ausgehend vom Systemelement 86
5.2.1 Technologiepool 87
5.2.2 Umfeldszenarien 88
5.2.3 Technologiepool 91
5.2.4 Bewertung 94
5.2.5 Systembildung 97
5.2.6 Kritische Würdigung des Systems 99
5.3 Probleminduzierter Pfad – dezentrale Energieversorgung 101
5.3.1 Umfeldzenarien 101
5.3.2 Technologiepool 116
5.3.3 Bewertung 116
5.3.4 Technologiepool 120
5.3.5 Bewertung 124
5.3.6 Systembildung 126
5.3.7 Kritische Würdigung des Systems 128

5.4 Probleminduzierter Pfad – Kakaomassenherstellung 129
5.4.1 Umfeldszenarien 129
5.4.2 Technologiepool 141
5.4.3 Bewertung 143
5.4.4 Systembildung 147
5.4.5 Kritische Würdigung des Systems 148
6 Resümee und Ausblick 150
6.1 Bewertung der entwickelten Methode 152
6.2 Grenzen und Potentiale der entwickelten Methode 156
7 Literaturverzeichnis 159
8 Anhang 175

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Steigerung der Lebensqualität unter Berücksichtigung des Ressourcenverbrauchs 5
Abbildung 1-2: Struktur der Arbeit..... 7
Abbildung 2-1: Einordnung der Methode nach Methodengebieten.....18
Abbildung 2-2: Überblick Methoden nach Methodengebieten und deren Schnittmengen....35
Abbildung 4-1: Methodenüberblick 53
Abbildung 4-2: Ebenenmodell (links) und Input- beziehungsweise Output-Modell (rechts) .55
Abbildung 4-3: Wichtige Tabellen der Datenbank 56
Abbildung 4-4: Einordnung der Szenario-Studien „Shell-PKW-Szenarien“ und „MOBIL 2030“ in den Lebensweltbereich Mobilität 61
Abbildung 4-5: Einordnung der Szenario-Studie „Zukunft der Mobilität“ des IFMO-Instituts in den Lebensweltbereich Mobilität 62
Abbildung 4-6: Übersicht relevanter Szenario-Studien für den Lebensweltbereich Mobilität 63
Abbildung 4-7: Übersicht relevanter Szenario-Studien für den Lebensweltbereich Energie 64
Abbildung 4-8: Übersicht relevanter Szenario-Studien für den Lebensweltbereich Produktion.....65
Abbildung 4-9: Phasen-Meilensteindiagramm der Umfeldszenario-Erstellung 66
Abbildung 4-10: Prinzip der Bildung spezifischer Kriterien für ein Szenario 69
Abbildung 4-11: Phasen-Meilensteindiagramm der Technologieszenario-Erstellung 71
Abbildung 4-12: Beispielhafte Konsistenzmatrix (links) und Tupel von Systemelementen (rechts) 72
Abbildung 4-13: Technologieinduzierter Pfad ausgehend vom System 74
Abbildung 4-14: Technologieinduzierter Pfad ausgehend vom Systemelement.....75
Abbildung 4-15: Probleminduzierter Pfad 76
Abbildung 5-1: Anwendungsbeispiele im Überblick.....77
Abbildung 5-2: System „Konventionelle wasserstoffbasierte Mobilität“ im Technologiepool 79
Abbildung 5-3: Systemelement-Steckbrief „Carbazol-Tank“.....83
Abbildung 5-4: System „Nachhaltige wasserstoffbasierte Mobilität“ im Technologiepool 85
Abbildung 5-5: Systemelement-Steckbrief „Modulares Werkzeugmaschinengestell“ 87
Abbildung 5-6: Einordnung der Szenario-Studie „Produktionsforschung 2020“ in den Lebensweltbereich Produktion 88
Abbildung 5-7: Auszug aus der Konsistenzmatrix.....97
Abbildung 5-8: Auszug aus der Einflussmatrix.....104
Abbildung 5-9: System-Grid.....105
Abbildung 5-10: Projektionsbildung des Schlüsselfaktors Stromnetz 106
Abbildung 5-11: Auszug aus der Konsistenzmatrix.....107
Abbildung 5-12: System „Dieselgenerator“ im Technologiepool.....116
Abbildung 5-13: Variable Anzahl der Wandlungsschritte des Systems 120
Abbildung 5-14: Auszug aus der Konsistenzmatrix.....126
Abbildung 5-15: Klassifizierung erneuerbarer Energieerzeugung bezogen auf Biomasse ..128
Abbildung 5-16: System „Kleinfabrik zur Kakaomassenherstellung in Sierra Leone“ im Technologiepool 141
Abbildung 5-17: Schnittansicht der Fabrik 143

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Länderklassifizierung nach HDI 16
Tabelle 2-2: Einordnung der idealtypischen Szenario-Techniken....26
Tabelle 3-1: Bewertung der Methoden nach Methodengebieten....45
Tabelle 4-1: Inputs und Outputs für den Lebensweltbereich Energie....60
Tabelle 4-2: Allgemeine Kriterien und ihre Gewichtungen 68
Tabelle 4-3: Beispielhaftes Ergebnis der Nachhaltigkeitsbewertung....72
Tabelle 5-1: Übersicht ausgewählter Schlüsselfaktoren und Projektionen 81
Tabelle 5-2: Bewertung des Systemelements „700-bar-CFK-Wasserstofftank“....82
Tabelle 5-3: Bewertung des Systemelements „Carbazol-Tank“ 84
Tabelle 5-4: Übersicht der Systemelemente....92
Tabelle 5-5: Spezifische Kriterien und ihre Gewichtung....94
Tabelle 5-6: Auszug aus der Bewertung der Systemelemente für das Positivszenario 96
Tabelle 5-7: Übersicht Technologieszenario „Flexibles Drucken vor Ort“....99
Tabelle 5-8: Ausprägungsliste Szenario 1 109
Tabelle 5-9: Ausprägungsliste Szenario 2 111
Tabelle 5-10: Ausprägungsliste Szenario 3 113
Tabelle 5-11: Übersicht der Anwendungsfälle je Szenario....115
Tabelle 5-12: Spezifische Kriterien und ihre Gewichtung....117
Tabelle 5-13: Bewertung der Systemelemente eines Dieselgenerators für Szenario 2 119
Tabelle 5-14: Übersicht der Systemelemente....121
Tabelle 5-15: Auszug der Bewertung der Systemelemente für Szenario 2 125
Tabelle 5-16: Übersicht Technologieszenario „(Bio-)masse statt Klasse“ 127
Tabelle 5-17: Ausprägungsliste Szenario 1 130
Tabelle 5-18: Ausprägungsliste Szenario 2 132
Tabelle 5-19: Ausprägungsliste Szenario 3 134
Tabelle 5-20: Übersicht der Anwendungsfälle je Szenario....140
Tabelle 5-21: Spezifische Kriterien und ihre Gewichtung....144
Tabelle 5-22: Auszug der Bewertung der Systemelemente für Szenario 3 146
Tabelle 5-23: Bewertung des Systemelements „Biomasse Stromerzeugung“ für Szenario 3 147

Abkürzungsverzeichnis

AG	Aktiengesellschaft
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BOP	Bottom of the Pyramid
CFK	Carbon-faserverstärkter Kunststoff
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EU	Europäische Union
EVI	Economic Vulnerability Index
F	Funktion
GNI	Gross National Income
HAI	Human Assets Index
HDI	Human Development Index
ID	Identifikationsnummer
IFMO	Institut für Mobilitätsforschung
ISO	International Organization for Standardization
LCA	Life Cycle Analysis
LDC	Less Developed Countries
LIC	Low Income Countries
LLDC	Least Developed Countries
MIC	Middle Income Countries
NB	Nachhaltigkeitsbewertung
OEM	Original Equipment Manufacturer
ÖV	Öffentlicher Verkehr
PE	Produktentwicklung
PET	Polyethylenterephthalat
PKW	Personenkraftwagen
S	System
SE	Systemelement
SODIS	Solar Water Disinfection
SQL	Structured Query Language
TCO	Total Cost of Ownership
UNDP	United Nations Development Programme
UN(O)	United Nations Organization
VBA	Virtual Basic for Applications
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VKM	Verbrennungskraftmaschine
W	Watt (Einheit für Leistung)
Wh	Wattstunde (Einheit für Arbeit)
ZAK	Zentrum für Alterskulturen
ZF	Zukunftsforschung

1 Einleitung

Globale Probleme wie Armut, Ungleichverteilung, übermäßige Beanspruchung der Biosphäre, Verlust von Biodiversität und Ressourcenknappheit sowie deren nicht an Ländergrenzen gebundenen Folgen wie Hunger, Gewaltkonflikte, Klimawandel und Naturkatastrophen machen deutlich, wie dringend nachhaltige Lösungsansätze erforderlich sind, um letztlich die Existenz der Menschheit langfristig zu sichern. Diese ***rational gebotene Nachhaltigkeit*** gilt es durch technische Innovation in marktwirtschaftlicher Dynamik in ökonomischer, ökologischer und sozialer Dimension zu befördern [Sel10, S. 35]. Die vorliegende Arbeit soll einen auf technische Innovation gerichteten Beitrag hierzu leisten.

In diesem Kapitel werden die globalen Herausforderungen exemplarisch dargestellt und es wird diskutiert, wie Wohlstand auch unter Berücksichtigung der Grenzen des Wachstums erreicht werden kann [Mea72]. Außerdem werden für die vorliegende Arbeit relevante, auf technische Innovation gerichtete Fragestellungen abgeleitet (Kapitel 1.1). In der Zielsetzung wird benannt, in welcher Form die vorliegenden Arbeit beitragen soll, sich den zuvor dargestellten Herausforderungen zu stellen (Kapitel 1.2). In Kapitel 1.3 wird die Vorgehensweise und die Struktur der Arbeit dargestellt.

1.1 Herausforderung

„*Die Menschheit nimmt heute mehr als die Größe Ihres Zuhauses in Anspruch. ... Wenn die Welt, in der sieben Milliarden Menschen leben, drei- oder 300-mal größer wäre ...“*, wäre nachhaltiges Verhalten vielleicht optional. „*Die Erde ist aber nun einmal so groß wie sie ist.“* [WHS10, S. 11] Nachhaltiges Handeln ist also nicht optional, sondern die einzige Möglichkeit, die Existenzgrundlage der Menschheit zu sichern. Diese rational gebotene Nachhaltigkeit wird in diesem Kapitel exemplarisch durch globale Probleme und sich daraus ergebenden Herausforderungen dargestellt und auf die Herausforderung begrenzter Ressourcen fokussiert. Darauf aufbauend wird der Zusammenhang von Wohlstand und Wachstum unter Berücksichtigung begrenzter Ressourcen diskutiert. Daraus werden Fragestellungen für diese Arbeit in Bezug auf ressourcenschonende Technologien abgeleitet, die zu Wohlstand und Wachstum beitragen können.

Die globale Herausforderung

Weniger als eine Milliarde von insgesamt sieben Milliarden Menschen leben in den Ländern, die nach dem Human Development Index (HDI) als sehr hoch entwickelt gelten [UN11-ol] und somit eine hohe Lebensqualität bieten. Vier Milliarden Menschen müssen mit weniger als zwei US-Dollar am Tag auskommen [Pra06, S. 22]. 2010 musste knapp eine Milliarde Menschen mit weniger als 1,25 US-Dollar pro Tag auskommen und lebte somit in extremer ***Armut*** [UN12, S. 7]. In den Jahren 2006 bis 2008 waren 850 Millionen Menschen unterernährt und die Anzahl von Slumbewohnern steigt immer weiter an [UN12, S. 5].

Ein Maß für die ***Ungleichverteilung*** stellt der Gini-Koeffizient dar. Er ist ein makroökonomisches Maß für die Ungleichverteilung des Einkommens innerhalb einer Volkswirtschaft und kann Werte zwischen 0,5 und 1 annehmen. Je mehr sich der Koeffizient dem Wert 1 annähert, desto größer ist die Ungleichverteilung (siehe Anhang S. A1). Bezieht man den Gini-Koeffizient auf die Welt, liegt dieser bei 0,89, was das enorme Maß der Ungleichheit zum Ausdruck bringt [UN04-ol].

Aus dieser Ungleichverteilung resultieren Unruhen und ***Gewaltkonflikte***. Lange waren diese Konflikte „Probleme der Armen“. Beispielsweise die terroristischen Anschläge vom 11. September 2001, die „*... als Menetekel für die neue Verwundbarkeit gelesen werden [Bec05, S. 14 f.]*“ können, machen deutlich, dass die aus Ungleichverteilung entstehenden Gewaltkonflikte heute ein globales Problem darstellen.

Ein weiteres Beispiel für ein globales Problem stellt die ***übermäßige Beanspruchung der Biosphäre*** dar. Ein Indikator, mit dem die Beanspruchung der Erde bezogen auf regenerierbare Ressourcen gemessen werden kann, ist der ökologische Fußabdruck. Unter dem ökologischen Fußabdruck wird die Fläche verstanden, die erforderlich ist, um den Lebensstil der Menschen dauerhaft zu ermöglichen. Dabei wird die weitere Nutzung heutiger Technologien und Produktionsverfahren unterstellt [WWF12, S. 36]. Gemessen wird der ökologische Fußabdruck in Hektar pro Person. In die Ermittlung der Biokapazität und der menschlichen Beanspruchung fließen ein: CO_2-Ausstoß, Viehhaltung, Waldfläche, landwirtschaftlich genutzte Fläche, Fanggründe und bebautes Land [WWF12, S. 39]. Eine detailliertere Beschreibung befindet sich im Anhang auf S. A1f.. Bezogen auf die Welt ergibt sich bei einer Gesamt-Biokapazität der Erde von 1,8 [gha/Person] und einer Beanspruchung von 2,7 [gha/Person] bereits in 2008 ein Defizit von 0,9 [gha/Person]. Vereinfacht dargestellt verbraucht die Menschheit bereits heute eine halbe Erde mehr als ihr zur Verfügung steht. Natürlich ist der ökologische Fußabdruck nicht gleichmäßig auf die Welt verteilt. Insbesondere die etablierten Industrienationen haben einen großen ökologischen Fußabdruck [WWF12, S. 42 f.].

Umweltverschmutzungen als eine Ausprägung der übermäßigen Beanspruchung der Biosphäre und deren Folgen, wie beispielsweise ***Naturkatastrophen,*** sind nicht an Ländergrenzen gebunden [Bec05, S. 14 ff.]. Die Ungerechtigkeit ist hier jedoch besonders groß. Häufig sind nicht die Hauptverursacher des ***Klimawandels*** die Leidtragenden, sondern diejenigen, die ohnehin unter Armut und Hunger leiden. Dürreperioden, Überschwemmungen oder andere Naturextreme führen zu Ernteausfällen und treffen besonders die mehr als zwei Milliarden Kleinbauern hart [IAA09, S. 54].

Die Folgen des zunehmenden ***Verlustes der Biodiversität*** sind nur schwer abschätzbar. Durch den Klimawandel, die Veränderung von Lebensräumen und Umweltverschmutzung vermindern sich Ökosystemdienstleistungen [DRZE10, S. 2 ff.]. Dieser Effekt betrifft wiederum unmittelbar den Menschen, da Nährstoff- und Wasserkreisläufe sowie Bodenbildung und -erhaltung direkt angegriffen werden [Grf13-ol].

Die ***Ressourcen*** der Erde sind ***begrenzt*** und der menschliche Bedarf an diesen nimmt stark zu. Innerhalb der letzten 30 Jahre ist die Materialförderung um 80 Prozent angestiegen [Dit12, S. 21]. Einige Experten gehen davon aus, dass der Peak-Oil bereits im Jahr 2005 eingetreten ist [Ass13-ol]. Optimistischere Studien prognostizieren den Peak für das Jahr 2020 beziehungsweise 2035 [IEA10a, S. 7]. Auch wenn der Zeitpunkt, an dem kein Erdöl mehr verfügbar ist, durch die Entdeckung neuer und Erschließung schwer zugänglicher Reserven immer wieder hinausgezögert werden kann, steht die Endlichkeit der Erdölförderung fest. Weitere Beispiele für knappe, ***nicht nachwachsende Ressourcen*** sind Gold oder seltene Erden. Während sich der Goldpreis seit 2005 knapp vervierfacht hat [Fin13-ol], waren bei den stark nachgefragten seltenen Erden noch stärkere Preisanstiege zu beobachten. Seit 2004 ist beispielsweise der Terbiumoxid-Preis um das 7-fache und der Dysprosiumoxid-Preis sogar um das 52-fache angestiegen [ISE13-ol]. Es ist also unerlässlich, nicht nachwachsende Rohstoffe konsequent im Kreislauf zu führen und wenn möglich, durch nachwachsende zu substituieren [Sel07, S. 2 f.]. Nachwachsende Rohstoffe sollten nur in dem Ausmaß verbraucht werden, in dem sie sich regenerieren können.

Wohlstand und Wachstum

Der Ansatz „***Wohlstand durch Wachstum***“ der industriellen Moderne wurde in den siebziger Jahren durch den Report „***Grenzen des Wachstums***“ des Club of Rome das erste Mal in seinen Grundfesten erschüttert [Mea72]. In drastischer Weise zeigten die Autoren auf, wie die bis dahin vorherrschende Ausbeutung natürlicher Ressourcen zu einem Kollaps des Wirtschaftssystems führen würde, wenn nicht tiefreichende technologische, kulturelle und institutionelle Veränderungen vorgenommen werden.

Ein später entwickelter Ansatz propagiert den ***„Wohlstand ohne Wachstum“***. Auslöser hierfür war ein in Deutschland steigendes Bruttoinlandsprodukt bei „*erodierender Kaufkraft*“ der Mehrheit der Bevölkerung [Füc13-ol]. Nur eine Minderheit konnte also von dem Wachstum profitieren [Füc13-ol]. Auch die Wirtschaftskrise trug zur Verunsicherung bei und *„... nur noch ein Drittel der Bürger glaubte daran, dass das Wachstum automatisch ihre private Lebensqualität steigern wird“* [Pin10-ol]. PENNEKAMP fasst die Wachstumskritik wie folgt zusammen [Pen11, S. 6 ff.]:

1) Ökologische Begründung: Befürchtung, ökonomisches Wachstum führe zu einer irreversiblen Schädigung der Natur
2) Fehlender Zusammenhang zwischen Wachstum und Lebenszufriedenheit
3) Ökonomische Bedenken: Wachstum als eine Gefahr für die Stabilität eines Wirtschaftssystems
4) Soziale Begründung: Materieller Reichtum entspricht nicht zwangsläufig dem Reichtum einer Gesellschaft (Theorie der positionalen Güter, die nicht von allen erlangt werden können)
5) Physikalische Begründung: Fehlende Einbeziehung von naturwissenschaftlichen Gesetzen in die Ökonomie (Hauptsätze der Thermodynamik)
6) Übererfüllung der Bedürfnisse

Basierend auf dieser Kritik, wurden Modelle entwickelt, die davon ausgehen, dass Wohlstand auch ohne ökonomisches Wachstum erreicht werden kann. PENNEKAMP nennt als wesentliche Modelle das „*maßvolle Wachstum*“ von VICTOR [Vic07, S. 492 ff.], das „*Nullwachstum: Nicht wachsen und nicht schrumpfen*“ von DALY [Dal04, S. 247 ff.] und *„Degrowth: Bewusst schrumpfen“* [Pen11, S. 22 ff.].

Der Ansatz „Wohlstand ohne Wachstum“ steht jedoch auch in der Kritik. Die Kritik bezieht sich darauf, dass Wachstum insbesondere für die Milliarden Menschen, die nicht der früh-industrialisierten Welt (Industrieländer) angehören, sehr wohl die Basis zur Verbesserung ihrer Lebensqualität darstellt und diese nicht aufhören werden, danach zu streben [Füc13-ol]. Neue Ansätze fordern deshalb Wachstum für alle Entwicklungsniveaus bei gleichzeitiger Beachtung der Grenzen des Wachstums in ökonomischer, ökologischer und sozialer Dimension, um sich den benannten globalen Herausforderungen zu stellen [Füc13-ol]; [Sel10]. Dieser Lösungsansatz wird in Abbildung 1-1 dargestellt und liegt der Arbeit zugrunde. Es gilt, *„... Lebensqualität und Ressourcenverbrauch zu harmonisieren“* [Sel10, S. 42].

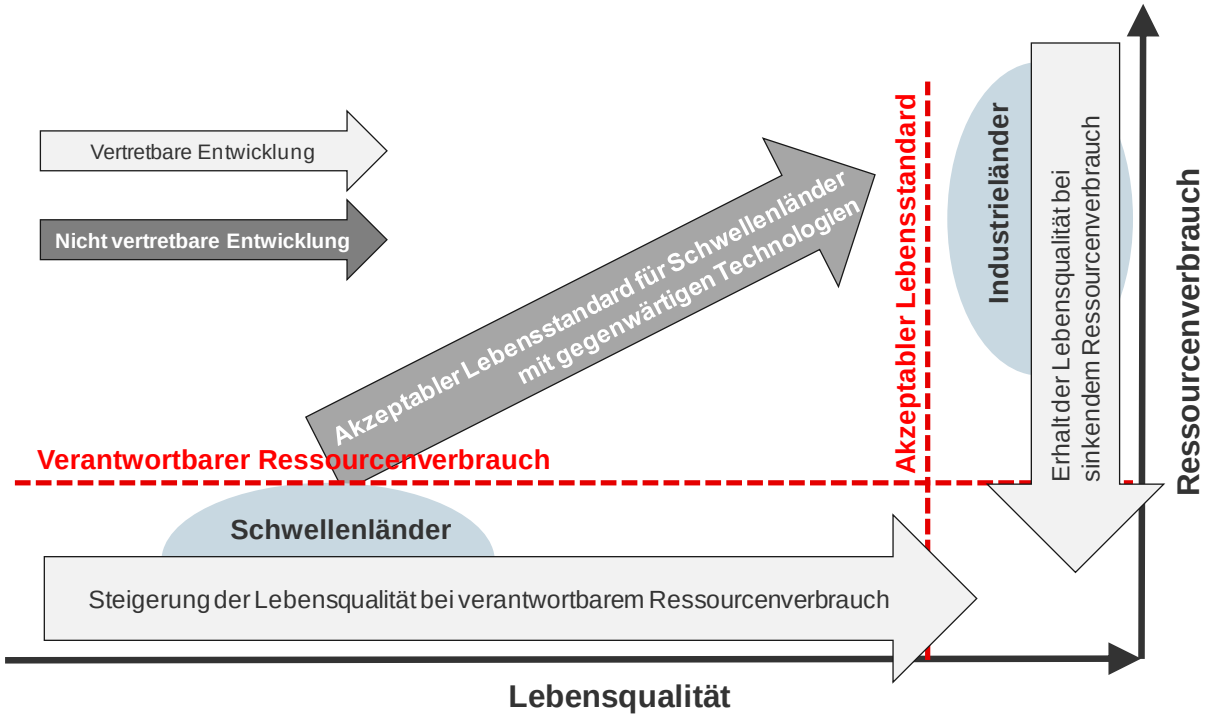


Abbildung 1-1: Steigerung der Lebensqualität unter Berücksichtigung des Ressourcenverbrauchs [Sel10, S. 42]

Nutzen die aufstrebenden Nationen zur Steigerung ihrer Lebensqualität die gegenwärtig eingesetzten Technologien, übersteigt dies das verantwortbare Maß des Ressourcenverbrauchs bei Weitem [Sel10, S. 42 f.]. Die etablierten Industrienationen überschreiten dieses Maß schon längst. Die einzig vertretbare Entwicklung ist eine Steigerung der Lebensqualität bei Beachtung des vertretbaren Ressourcenverbrauchs. Der Schlüssel hierfür liegt in Innovationen, geprägt durch ressourcenschonende Technologien, intelligente Produkte, neuartige Servicesysteme und deren Kombination mit Produkten, sowie der Steigerung der Vermittlungsproduktivität [Sel10, S. 42 ff.].

In dieser Arbeit werden die intelligenten Produkte und ressourcenschonenden Technologien adressiert. Die Fragestellungen die sich diesbezüglich ergeben sind:

- Welche Technologien eignen sich zur Steigerung der Lebensqualität unter Berücksichtigung der Grenzen des Wachstums?
- Welche Technologien eignen sich dazu, neben den Bedürfnissen der Menschen in hoch entwickelten Ländern, auch die Bedürfnisse von Menschen in niedriger entwickelten Ländern zu befriedigen?
- Wie können diese nachhaltigen Technologien identifiziert und in nützliche Anwendungen überführt werden?

1.2 Zielsetzung

Die vorliegende Arbeit soll einen Beitrag dazu leisten, die zuvor exemplarisch dargestellte rational gebotene Nachhaltigkeit über technische Innovationen zu befördern. Ziel der Arbeit ist eine Methode zur Identifikation und Entwicklung nachhaltiger Technologiesysteme im Sinne konzeptueller technischer Lösungsansätze in den Lebensweltbereichen Mobilität, Energie und Produktion für unterschiedliche Entwicklungsniveaus.

Die Methode soll dabei ermöglichen, sowohl nachhaltige technische Potentiale zu identifizieren und in nützliche Anwendungen zu überführen als auch Bedürfnisse von Menschen durch technische Potentiale nachhaltig zu befriedigen.

Um sicher zu stellen, dass technische Lösungen auf die Bedürfnisse der Menschen treffen, müssen zum einen die sehr unterschiedlichen Bedürfnisse berücksichtigt und zum anderen der technische Lösungsraum breit aufgespannt werden. Dazu sollen Entwicklungsniveau- und/oder Länder-spezifische Gegebenheiten als Rahmenbedingungen in die Betrachtung einfließen und aus einer großen Anzahl diejenigen Technologien interdisziplinär zu technischen Systemen verknüpft werden, die unter den jeweiligen Rahmenbedingungen eine nachhaltige Lösung darstellen.

Dem Prinzip der Nachhaltigkeit muss in ökonomischer, ökologischer und sozialer Dimension Rechnung getragen werden. Die Zukunftsfähigkeit wird dabei als elementarer Bestandteil der Nachhaltigkeit interpretiert. Die zu entwickelnde Methode darf sich also nicht nur mit heute vorherrschenden Rahmenbedingungen und Technologien auseinandersetzen, sondern muss antizipierte Rahmenbedingungen und neue Technologien berücksichtigen.

Die folgenden zwei Einschränkungen liegen der vorliegenden Arbeit zugrunde:
Das Suchfeld für Technologiesysteme beschränkt sich auf die Lebensweltbereiche Mobilität, Energie und Produktion, die auch nur exemplarisch durchdrungen werden können. Außerdem hat die Methode nicht zum Ziel, die insgesamt nachhaltigsten Technologiesysteme (globales Optimum) zu identifizieren und/oder zu entwickeln, sondern Ergebnis können auch diejenigen Systeme sein, die unter den antizipierten Gegebenheiten eine Verbesserung der Nachhaltigkeit darstellen (lokale Verbesserung).

1.3 Vorgehensweise

Die Vorgehensweise zur Erreichung der Zielsetzung und die damit verbundene Struktur der Arbeit sind in Abbildung 1-2 dargestellt.

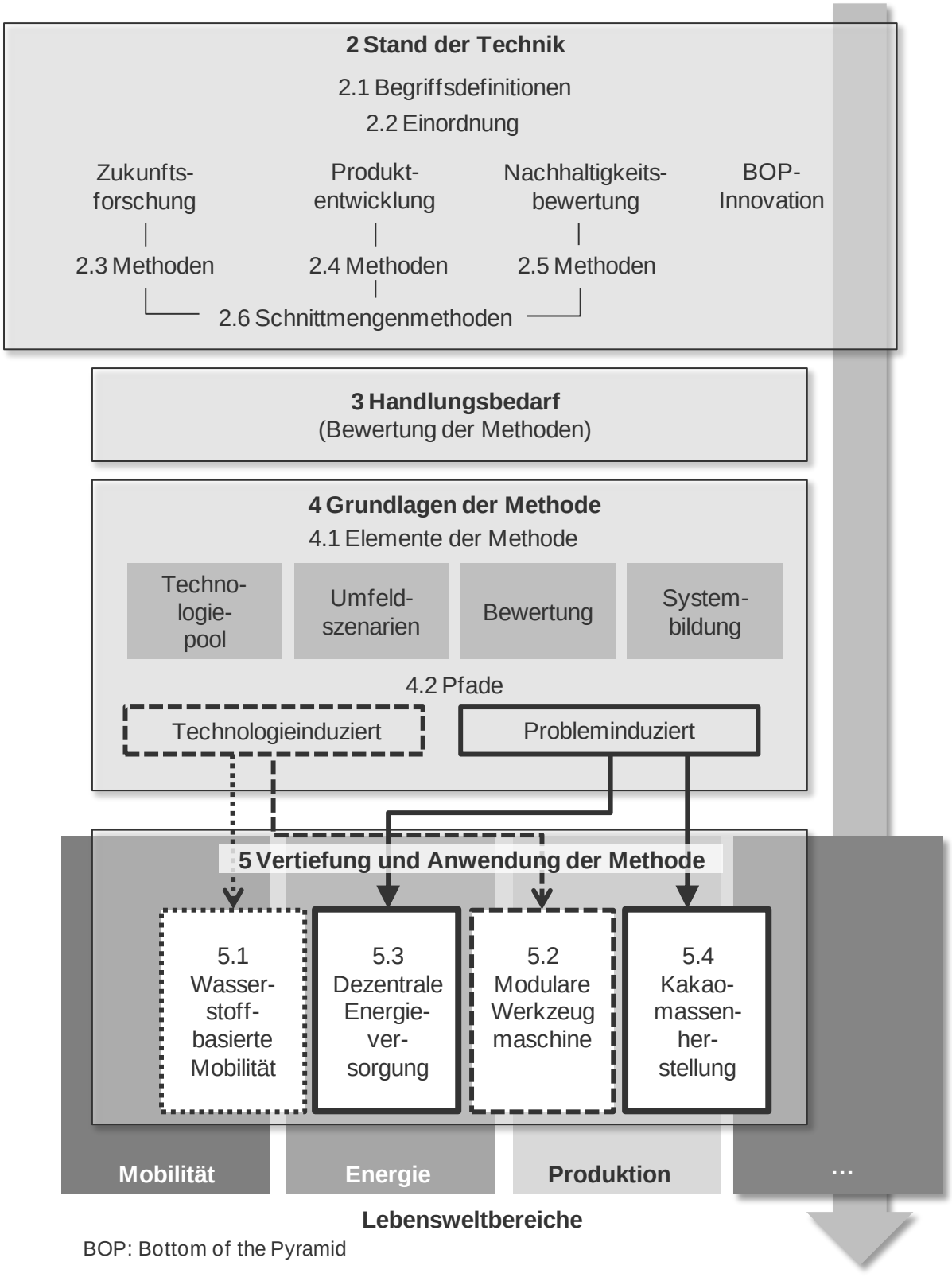


Abbildung 1-2: Struktur der Arbeit

Die zuvor definierten Ziele schränken das Suchfeld für den in ***Kapitel 2*** beschriebenen Stand der Technik ein. Zunächst werden die für das Verständnis des Sachverhaltes erforderlichen Begriffe definiert. Als Innovationsansatz für niedrige Entwicklungsniveaus wird die BOP-Innovation (Bottom of the Pyramid) vorgestellt. In den Kapiteln 2.3, 2.4 und 2.5 des Stands der Technik werden Methoden der Gebiete Zukunftsforschung, Produktentwicklung und Nachhaltigkeitsbewertung sowie in Kapitel 2.6 auf Methoden, die in deren Schnittmengen liegen, dargestellt.

In ***Kapitel 3*** wird gezeigt, dass durch die Nutzung vorhandener Methoden die zuvor definierten Ziele nicht oder nur teilweise erreicht werden können. Hierzu werden aus den Zielen zunächst allgemeine und für die Methodengebiete spezifische Anforderungen abgeleitet. Die Methoden werden dann anhand dieser Anforderungen bewertet. Das Ergebnis dieser Bewertung wird in einem Fazit zusammengefasst. Hier wird neben der begründeten Erkenntnis, dass eine neue Methode erforderlich ist, auch dargestellt, welche Bausteine einzelner Methoden übernommen werden können und welche Anforderungen nicht oder nur unzureichend von bestehenden Methoden erfüllt werden.

In ***Kapitel 4*** werden die Grundlagen der Methode vorgestellt, indem zunächst ein Überblick über die Methode gegeben wird. Anschließend werden die vier Elemente der Methode Umfeldszenarien, Technologiepool, Bewertung und Systembildung in ihrer grundsätzlichen Funktionsweise erläutert. Diese Elemente stellen die Grundbausteine der Methode dar. Außerdem werden die zwei technologieinduzierten Pfade und der probleminduzierte Pfad vorgestellt. Diese Pfade stellen Alternativen dar, wie die Elemente mit unterschiedlichen Ausgangspunkten durchlaufen werden können.

Auf die genaue Funktionsweise der Elemente der Methode wird in ***Kapitel 5*** direkt in der Anwendung eingegangen. Die vier Anwendungsbeispiele repräsentieren sowohl die in Kapitel 4 dargestellten drei möglichen Pfade als auch die drei Lebensweltbereiche Mobilität, Energie und Produktion und die unterschiedlichen Entwicklungsniveaus.

In ***Kapitel 6*** wird die entwickelte Methode und deren Anwendung anhand der Anforderungen bewertet, die in Kapitel 3 formuliert wurden. Abschließend werden die Grenzen und Entwicklungspotentiale der Methode diskutiert.

2 Stand der Technik

In Kapitel 2.1 werden aus der Zielsetzung der Arbeit die für das Verständnis der Arbeit erforderlichen Begriffe abgeleitet und definiert. Das Konzept für BOP-Innovationen wird als ein Innovationsansatz speziell für niedrige Entwicklungsniveaus vorgestellt und diskutiert. Die Methodengebiete Zukunftsforschung, Produktentwicklung und Nachhaltigkeitsbewertung haben einen direkten Bezug zu der zu entwickelnden Methode, der über die Zielstellung der Arbeit hergeleitet wird. Deshalb werden in den Kapiteln 2.3 bis 2.5 ausgewählte Methoden dieser drei Methodengebiete sowie die Methoden, die in der Schnittmenge von zwei Methodengebieten liegen (Kapitel 2.6), erläutert.

2.1 Begriffsdefinitionen

Im Folgenden werden die Begriffe Nachhaltigkeit, Technologie/Technik, System/Systemelement/Systemgrenze, Lebensweltbereich, Entwicklungsniveau, technologieinduzierter/probleminduzierter Lösungspfad und Szenario erläutert. Für jeden Begriff wird die Herkunft beschrieben und bei unterschiedlichem Gebrauch diejenige Definition hervorgehoben, die dieser Arbeit zugrundegelegt wird. Die Auswahl dieser Begriffe ergibt sich aus der Zielsetzung der Arbeit (Kapitel 1.2).

Ziel der Arbeit ist eine Methode zur Identifikation und Entwicklung ***nachhaltiger Technologiesysteme*** im Sinne konzeptueller technischer Lösungsansätze in den ***Lebensweltbereichen*** Mobilität, Energie und Produktion für unterschiedliche ***Entwicklungsniveaus***. Zunächst gilt es zu klären, was in diesem Kontext unter Nachhaltigkeit verstanden wird. Für das Verständnis der „Technologiesysteme im Sinne konzeptueller technischer Lösungsansätze“ werden zunächst die Begriffe Technologie und Technik voneinander abgegrenzt und dann der Begriff System mit den zugehörigen Begriffen Systemelement und Systemgrenze definiert. Der Begriff Lebensweltbereich wird über den aus der Phänomenologie stammenden Begriff Lebenswelt hergeleitet und definiert. Weiterhin werden unterschiedliche Klassifizierungen von Ländern im Sinne von Entwicklungsniveaus sowie einige Indikatoren zur Klassifizierung vorgestellt.

Des Weiteren soll die Methode es ermöglichen, sowohl nachhaltige ***technische Potentiale*** zu identifizieren und in nützliche Anwendungen zu überführen als auch ***Bedürfnisse von Menschen*** durch technische Potentiale nachhaltig zu befriedigen. Diese Zielstellung beschreibt unterschiedliche Ausgangspunkte und Lösungswege für die Identifikation und Entwicklung nachhaltiger Technologiesysteme die in Zusammenhang mit Technology Push und Market Pull als technologieinduzierter und probleminduzierter Lösungspfad definiert werden.

Die ***Zukunftsfähigkeit*** wird in der vorliegenden Arbeit als elementarer Bestandteil der Nachhaltigkeit interpretiert. Es sollen nicht nur vorherrschende, sondern auch ***antizipierte Rahmenbedingungen*** berücksichtigt werden. In diesem Zusammenhang wird häufig der Begriff Szenario verwendet, der aber in unterschiedlicher Weise interpretiert werden kann und deshalb im Folgenden definiert wird.

Nachhaltigkeit

Der Nachhaltigkeitsbegriff stammt ursprünglich aus der Forstwirtschaft. Er wurde schon 1713 von Hannß Carl von Carlowitz in dem Sinne geprägt, dass nur so viele Bäume gefällt werden dürfen, wie nachwachsen können [Car13, S. 105 f.]. Der Begriff Nachhaltigkeit wird heute häufig synonym zu den Begriffen „Zukunftsfähigkeit“ „Dauerhaftigkeit“, „nachhaltige Entwicklung“ oder „Sustainability“ und „Sustainable Development“ verwendet und kontrovers diskutiert [Gra10, S. 13]. Es existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Definitionen. Jedoch kann für nahezu alle im deutschsprachigen Raum kursierenden Definitionen ein „*Bedeutungskern ausgemacht werden*“, da sich alle im engeren oder weiteren Verständnis auf den Brundtland-Bericht beziehen [Gra10, S. 20]; [Tre03, S. 90]. In den 1980ern wurde der Begriff durch die von den Vereinten Nationen eingesetzte Weltkommission für Umwelt und Entwicklung (Brundtland-Kommission) wie folgt definiert: „*Development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs.*“ [Bru87, S. 24]

Von der Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages wurde der Begriff um die drei Säulen der Nachhaltigkeit erweitert [Enq98, S. 1 ff.; S. 16 ff.]:

Ökonomische Nachhaltigkeit bedeutet hierbei, dass eine Wirtschaft dauerhaft betrieben werden kann. Die Ziele der ökonomischen Nachhaltigkeit sind demnach, neben den wirtschaftspolitischen Zielen einzelner Volkswirtschaften, wie der Preisstabilität, einem hohen Beschäftigungsstand, einem außenwirtschaftlichen Gleichgewicht sowie stetigem und angemessenem Wirtschaftswachstum, auch Gewinn-, Umsatz- und Marktanteilsziele [Enq98, S. 18]. Ebenso setzt die Ökonomische Nachhaltigkeit auch die Sicherung der Wettbewerbs- und Marktfunktionen voraus [Enq98, S. 22].

Ökologische Nachhaltigkeit bedeutet hierbei, dass das Ökosystem nicht über die Regenerationsfähigkeit und Belastbarkeit hinaus beansprucht werden darf, die natürliche Lebensgrundlage erhalten und die Gesundheit des Menschen geschützt werden muss [Enq98, S. 25]. Die Ziele der ökologischen Nachhaltigkeit sind *„der Erhalt beziehungsweise die Wiederherstellung der vielfältigen Funktionen der Natur zum Nutzen der Menschheit“* [Enq98, S. 20].

Soziale Nachhaltigkeit bedeutet hierbei das Ermöglichen und den Erhalt von sozialer Gerechtigkeit und sozialer Sicherheit für menschenwürdige Lebensbedingungen [Enq98, S. 22 f.]. Ziele der sozialen Nachhaltigkeit sind daher die Einheitlichkeit der Lebensverhältnisse [Enq98, S. 18], und damit insbesondere „*die Herstellung sowie Sicherung von Gesundheit, Erwerbsfähigkeit und -möglichkeit, Bildungs- und Ausbildungschancen, Arbeitsbedingungen, Altersversorgung und um die Einkommens- und Vermögensverteilung als Anhaltspunkte für die Ermittlung sozialer Qualitätsziele*“ [Enq98, S. 23]. Die soziale Nachhaltigkeit bedeutet aber auch, dass diese Ziele den einzelnen Menschen nicht langfristig in seiner Gestaltungsfreiheit einschränken dürfen [Enq98, S. 23].

Das Drei-Säulenmodell als Verständnis von Nachhaltigkeit wird der Arbeit zugrunde gelegt. Der Begriff „Zukunftsfähigkeit“ wird im Sinne der Definition der Brundtland-Kommission als Bestandteil der Nachhaltigkeit interpretiert [Bru87]. Die Spezifikation der Nachhaltigkeit entsprechend der Enquete-Kommission beinhaltet die Zukunftsfähigkeit in ökonomischer, ökologischer und sozialer Dimensionen [Enq98].

Technologie, Technik

Eine ***Technologie*** ist Wissen oder ein Prinzip, auf dem technische Produkte basieren. Technologien stellen somit die Basis für Produkte und Innovationen dar, sind aber losgelöst vom Produkt und können selbst keinen Zweck erfüllen [SLS11, S. 19]. Im wissenschaftlichen deutschen Sprachgebrauch wird an dieser Stelle der Begriff Technologie vom Begriff ***Technik*** abgegrenzt [Sch11, S. 34], wobei Technik als *„… konkrete Anwendung einer oder mehrerer Technologien zur konkreten Problemlösung …“* [Sch11, S. 34]; [Bul94a, S. 32 f.] definiert ist. Im allgemeinen Sprachgebrauch werden diese Begriffe kaum unterschieden.

System, Systemelement, Systemgrenzen

PAHL/BEITZ untergliedern ein technisches Gebilde in Anlage, Apparat, Maschine, Gerät, Baugruppe, Maschinenelement und Einzelteil. Diese Hierarchisierung beschreibt grob die Betrachtungsstufe. Hierbei wird eingeräumt, dass die Verwendung der Begriffe je nach Perspektive unterschiedlich sein kann – ein technisches Gebilde kann also verschiedenen Betrachtungsstufen zugeordnet werden [PBFG07, S. 39]. Wegen der Schwierigkeit, dass technische Gebilde nicht eindeutig einer Betrachtungsstufe zugeordnet werden können, sondern die Zuordnung von der Perspektive der Betrachtung abhängt, wird auf den Ansatz von HUBKA verwiesen. Dieser Ansatz sieht es vor, technische Gebilde als Systeme aufzufassen, die durch Eingangsgrößen (Englisch: „Inputs“) und Ausgangsgrößen (Englisch: „Outputs“) miteinander in Verbindung stehen [PBFG07, S. 40]; [Hub84]. Ein ***System*** wird in Teilsysteme – die sogenannten ***Systemelemente*** – untergliedert. Ein Beispiel für ein Systemelement ist ein Motor, der Bestandteil des Systems „Auto“ ist. Welche

Systemelemente Bestandteil des Systems sind, wird durch die ***Systemgrenzen*** festgelegt. Eine bedarfsgerechte Festlegung der Systemgrenzen ermöglicht es, ein System zur gröberen Betrachtung als Systemelement oder ein Systemelement bei tieferer Betrachtung als System aufzufassen [PBFG07, S. 40].

Lebensweltbereich

Der Begriff ***Lebenswelt*** entstammt der Philosophie und wurde im Wesentlichen durch HUSSERLS [Hus12, S. 52 ff.] Phänomenologie geprägt und in der Soziologie weiterentwickelt. Die Phänomenologie beschäftigt sich, in Abgrenzung zu der theoretisch-wissenschaftlichen Weltansicht, mit der formalen Beschreibung gegebener Erscheinungen [Hus12, S. 4 ff.]. Die Lebenswelt beschreibt die vorwissenschaftliche Selbstverständlichkeit [Hus12, S. 4] und in ihrer soziologischen Interpretation die Welt, die wir individuell erleben [SL88]. In diesem Verständnis kann die Lebenswelt sogar die Basis für die Wissenschaft darstellen [SL88].

Die Lebenswelt wird in der vorliegenden Arbeit im Sinne des soziologischen Verständnisses des Begriffs als das individuelle Erleben unter Berücksichtigung des sozio-kulturellen Hintergrunds verstanden. Sie wird in ***Lebensweltbereiche*** unterteilt, die nicht überschneidungsfrei sind, aber unterschiedliche Perspektiven repräsentieren. Die vorliegende Arbeit ist auf die Lebensweltbereiche Mobilität, Energie und Produktion fokussiert und Systemelemente anderer Lebensweltbereiche werden nur dann berücksichtigt, wenn sie Teil eines Systems aus den drei hauptsächlich betrachteten Lebensweltbereichen sind. Mobilität und Energie werden sowohl als Voraussetzung für Produktion als auch als Ergebnis der Produktion im Sinne von Produkten interpretiert.

Entwicklungsniveau

Es existiert eine Vielzahl von Ansätzen zur Klassifizierung von Ländern bezüglich ihres Entwicklungsstandes/-niveaus, jedoch gibt es dabei keinen einheitlichen Standard. Die bestehenden Ansätze bedienen sich unterschiedlicher Indikatoren. Im Folgenden werden die meistverbreiteten Klassen von Ländern und die genutzten Indikatoren kurz dargestellt.

Der Begriff ***Industrieland*** (Englisch: „industrialized country“) geht auf die frühe Industrialisierung zurück und beschreibt die hohe industrielle Entwicklung eines Landes [Güi07, S 24f]. Es handelt sich um eine sozioökonomische Klassifizierung [Sie08, S. 110]. Irreführend an diesem Begriff ist, dass der Anteil der Dienstleistungen an der Wertschöpfung heutzutage in diesen Staaten teilweise höher liegt als ihr Industrieanteil. Es handelt sich daher eigentlich um wirtschaftsstarke Länder, die eine relativ lange Tradition der industriellen Produktion vorzuweisen haben [KS13-ol]. Diese werden auch als früh-industrialisierte Länder bezeichnet.

Schwellenländer (Englisch: „newly industrializing economies“ oder „take-off-countries“) sind Länder, die nicht mehr die typischen Merkmale von Entwicklungsländern aufweisen, aber auch noch nicht die Wirtschaftsstärke von Industrieländern erreicht haben [Güi07, S. 25 f.]. Merkmale sind hohe Wachstumsraten, Entwicklung von Breiten- und Tiefenstruktur der Industrie, hohe Arbeitsproduktivität, Exportorientierung und ein durchschnittliches Pro-Kopf-Einkommen von über 1025 US-Dollar pro Jahr [WB13a-ol]. Häufig werden wegen des meist grenzenlosen Übergangs Schwellenländer und Entwicklungsländer in einer Gruppe zusammengefasst [IMF10-ol].

Für die Bezeichnung ***Entwicklungsland*** (Englisch: „developing countries“) existieren in der Literatur unterschiedliche Maßstäbe zur Einordnung. Allgemein handelt es sich hierbei um Länder, die im politischen, sozialen und wirtschaftlichen Bereich ein geringes Entwicklungsniveau aufweisen. Gängige Kriterien sind weit herrschende Armut, eine mangelhafte Nahrungsmittel- und Gesundheitsversorgung, schlechte Bildungsmöglichkeiten sowie eine hohe Arbeitslosigkeit. Die Volkswirtschaft dieser Länder stützt sich überwiegend auf die Produktion landwirtschaftlicher Erzeugnisse, zumal für einen Wandel zu einem modernen Industriesektor das nötige Kapital und ein gutes außenwirtschaftliches Netzwerk fehlen [BMZ13-ol].

Die Einteilung des Entwicklungsstandes eines Landes in ***Erste, Zweite und Dritte Welt*** entstammt den Zeiten des kalten Krieges in den 1950er Jahren. Es handelt sich also um eine politische Klassifizierung [Sie08, S. 109]. Ein „Erste-Welt“-Land ist dabei per Definition dem heutzutage gängigeren Begriff „Industrienation“ gleichzusetzen. Als „Zweite Welt“ wurden hingegen alle realsozialistischen Länder bezeichnet, die auf das Prinzip einer zentralen Planwirtschaft setzten. Mit dem Niedergang des kommunistischen Systems ist diese Bezeichnung zunehmend aus dem heutigen Sprachgebrauch verschwunden. Der Begriff „Dritte Welt“ zielte im gleichen Kontext auf die blockfreien Staaten ab, die sich ideologisch und militärisch nicht am Kalten Krieg beteiligt haben. Die Bezeichnung ist auch heute stets im allgemeinen Sprachgebrauch vorhanden und wird in wirtschaftlicher, sozialer und politischer Hinsicht mit Entwicklungsländern gleichgesetzt [Sie08, S. 109 f.].

In der Literatur ist häufig auch der Begriff „**Nord-Süd-Staaten**“ vertreten [WA07, S. 155]. Hierbei wird angenommen, dass sich die Industrieländer überwiegend auf der Nordhalbkugel befinden, während die meisten Entwicklungsländer auf dem südlichen Teil der Erde aufzufinden sind. Zwischen den Nord- und den Südstaaten herrschen wirtschaftliche und politische Interessensgegensätze und ein starkes Gefälle der dort existierenden Lebensbedingungen [Kle13-ol]. Da dieses Konzept die Welt lediglich anhand der geographischen Lage segmentiert, ist diese Unterteilung zunehmend unter Kritik geraten. Zudem berücksichtigt diese Klassifizierung keine im Wandel befindlichen Länder, die sich in

einigen ökonomischen und sozialen Aspekten klar von Entwicklungsländern abgrenzen [ADE13-ol].

Entgegen der in Deutschland gängigen Einteilung von Ländern werden international durch die Klassifizierung der UNO nochmals zwei Gruppen von Entwicklungsländern unterschieden. Die Bezeichnung ***Less Developed Countries*** (auch developing countries oder ***LDC***) trifft auf „normale" Entwicklungsländer zu, auf welche die in Deutschland gebräuchlichen Kriterien zutreffen. Zu den ***Least Developed Countries*** (***LLDC***) zählen hingegen nur die am wenigsten entwickelten Länder dieser Erde. Für die UNO gilt eine Nation genau dann als ein besonders schwaches Entwicklungsland, wenn das Einkommen des Großteils der Bevölkerung gering ausfällt, das heißt das Bruttoinlandsprodukt pro Kopf unter 900 US-Dollar in 3 Jahren beträgt, und ungleich verteilt ist, geringe personelle und institutionelle Kapazitäten existieren und es an nationalen finanziellen Ressourcen mangelt. Zudem darf die maximale Einwohnerzahl des Landes 75 Millionen Menschen nicht überschreiten. Sofern alle diese Kriterien zutreffen, resultiert hieraus ein Teufelskreis aus geringer Produktivität und niedrigen Investitionen, wodurch sich die Volkswirtschaft dann vorwiegend auf den primären Sektor, die Landwirtschaft, stützt. Derzeit existieren 49 LLDCs von denen sich 34 in Afrika befinden [UNO13-ol].

Die Weltbank berücksichtigt zur Einstufung eines Landes bezüglich der Förderungswürdigkeit lediglich das ***Pro-Kopf-Einkommen*** (Englisch: „Gross national income per capita"). Hierbei wird die Summe der Wertschöpfung aller im Land ansässigen Produzenten, inklusive aller zusätzlichen Steuern abzüglich Subventionen, und der Nettoeinkünfte des Primäreinkommens aus dem Ausland gebildet, in US-Dollar umgewandelt und anschließend durch die Anzahl der Einwohner geteilt [WB13b-ol]. Dabei unterscheidet die Weltbank zwischen Ländern mit geringem Einkommen (Englisch: „Low-income countries") und Ländern mit mittlerem Einkommen (Englisch: „Middle-income countries").

Der Vorteil dieses Indikators liegt in der simplen Struktur und seiner einfachen Ermittlung. Allerdings ist der Aussagewert dieser Vorgehensweise bezüglich des Entwicklungsstandes eines Landes sehr begrenzt. Das Pro-Kopf-Einkommen berücksichtigt nicht, inwieweit das Einkommen im Land gleich beziehungsweise ungleich verteilt ist. Mit der Erfassung des Pro-Kopf-Einkommens ist eine relativ hohe Einstufung eines Landes möglich, obwohl ein Großteil dessen Bevölkerung in Armut lebt, wenn ein geringer Teil der Bevölkerung ein besonders hohes Einkommen aufweisen kann. Außerdem werden durch diesen Indikator lediglich monetär-bewertbare Größen betrachtet. Beispielsweise unentgeltliche Arbeit oder Einkünfte durch Schwarzarbeit bleiben hierbei unberücksichtigt [Don04, S. 81 ff.].

Zur Ermittlung der Least Developed Countries ziehen die Vereinten Nationen neben dem GNI noch den ***Economic Vulnerability Index*** (***EVI***) und den ***Human Assets Index*** (***HAI***) heran. Beim EVI handelt es sich um einen Indikator, der die „Verwundbarkeit“ von Gesellschaften beschreibt. Neben der Stabilität des Agrarsektors, sämtlicher Exporte und seinen Erlösen wird auch die Abhängigkeit des Landes von der Weltwirtschaft beziffert. Der HAI berücksichtigt zudem noch sozioökonomische Kriterien, um die Entwicklung des Humankapitals einzubeziehen. Er wird durch den Anteil der unterernährten Bevölkerung, der Kindersterblichkeitsrate, der Einschulungsrate und der Alphabetisierungsrate bestimmt [UND13-ol].

Als Gegenentwurf zum einseitigen, ausschließlich auf Pro-Kopf-Einkommen basierenden Konzept der Weltbank, wurde im Rahmen des United Nations Development Programme (UNDP) ein eigenständiger Index – der ***Human Development*** **Index** (***HDI***) entwickelt. Dieser Index bezieht neben der monetären Situation auch soziale Faktoren mit ein. Seit 1990 erscheint dieser jährlich im Human Development Report. In diesen fließen vier Indikatoren ein: Das Bruttonationaleinkommen-pro-Kopf, die Lebenserwartung bei der Geburt, die durchschnittliche Schulbesuchsdauer eines 25-jährigen Menschen sowie die voraussichtliche Schulbesuchsdauer eines Kindes im Schuleintrittsalter [UNDP11, S. 167 ff.]. Die Indikatoren werden jeweils über die Spanne zwischen einem definierten Minimal- und dem höchsten gemessenen Maximalwert zur weiteren Berechnung normiert. Die beiden Indikatoren zum Bildungsniveau werden daraufhin zunächst zur Bildung des „Bildungsindikators“ (Englisch: „education index“) geometrisch gemittelt und normiert. Dieser Wert wird mit den anderen beiden Indikatoren, dem Einkommensindikator (Englisch: „income index“) und dem Lebenserwartungsindikator (Englisch: „life expectancy index“) geometrisch gemittelt, so dass sich ein HDI zwischen 0 und 1 ergibt [UNDP11, S. 167 ff.]. Das ermittelte Ergebnis in einer einzigen Zahl ermöglicht den Vergleich zwischen Ländern. Der HDI wurde in den letzten Jahren verstärkt genutzt, da er durch seinen multikriteriellen Ansatz einen höheren Aussagewert bezüglich des Entwicklungsstandes einer Nation liefert als rein monetäre Indikatoren.

Im Rahmen des Human Development Reports teilt die UN alle Länder in vier verschiedene Kategorien auf. Dabei wird, in Abhängigkeit der ermittelten Höhe des HDIs, zwischen Ländern mit sehr hohem, hohem, mittlerem und niedrigem Entwicklungsstand unterschieden [UNDP11, S. 128 ff.]. Im Rahmen dieser Arbeit werden die Länder ebenfalls auf Basis dieser Unterteilung kategorisiert. Die Länder mit hohem und mittlerem Entwicklungsstand werden hierbei zu einem mittleren Entwicklungsniveau zusammengefasst (siehe Tabelle 2-1).

Tabelle 2-1: Länderklassifizierung nach HDI

Entwicklungs-niveau	hoch	Länder mit sehr hohem Entwicklungsstand	HDI
	mittel	Länder mit hohem Entwicklungsstand	
		Länder mit mittlerem Entwicklungsstand	
	niedrig	Länder mit niedrigem Entwicklungsstand	

Technologieinduzierter und probleminduzierter Lösungspfad

„*Bei der technikinduzierten Bewertung wird eine bereits vorhandene oder produktionsreife Technik bewertet.“* [VDI3780, S. 27] Es wird also von einem bekannten technischen System ausgegangen und durch eine Bewertung der Bezug zu einem konkurrierenden/ substituierenden System geschaffen [Ger05, S. 26]; [VDI3780, S. 27]. Dieses technologie-induzierte Vorgehen lässt sich von der Bewertung auch auf die Entwicklung eines Produkts oder Prozesses und auf die allgemeine Lösung eines Problems übertragen. Ausgangspunkt des ***technologie- oder technikinduzierten Lösungspfades*** ist eine bekannte Technologie oder Technik, die je nach Bewertung durch eine andere ersetzt werden kann.

Eine weitere Möglichkeit, die im technologie- oder technikinduzierten Lösungspfad entsteht, ist die Überführung einer bekannten, vielversprechenden Technologie/Technik in einen Anwendungskontext. Dieser zweite Fall des technologie- oder technikinduzierten Lösungspfades kommt nur dann zum Einsatz, wenn die nützliche Anwendung eines technischen Systems oder Systemelements noch nicht bekannt ist. Dieser wird in der Literatur häufig als „***Technology Push***“ bezeichnet und stellt „*... eine von einer Technologie vorangetriebene oder angebotene Neuerung ...*“ dar [Ger05, S. 41].

Die zu entwickelnde Methode soll sowohl technologieinduziertes (ausgehend vom Prinzip) als auch technikinduziertes (ausgehend vom Artefakt der Prinzipumsetzung) Vorgehen zulassen. Beide Begriffe werden im Folgenden – trotz der dadurch entstehenden Unschärfe – zur Vereinfachung auf den Begriff „technologieinduziert“ reduziert.

„Bei der probleminduzierten Technikbewertung geht es darum, für gesellschaftlich vorgegebene Aufgaben geeignete technische Lösungen zu ermitteln und diese hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile miteinander zu vergleichen. Die Art der in Betracht zu ziehenden Lösungen wird durch die Aufgabenstellung eingegrenzt. Diese Lösungen können auf neuen oder bereits bekannten Prinzipien beruhen.“ [VDI3780, S. 26] Überträgt man dies auf den allgemeinen Problemlösungsprozess, ist der Ausgangspunkt des ***probleminduzierten Lösungspfads*** also eine Aufgabe, die aus Bedürfnissen von Menschen entsteht, und durch die Anwendung vorhandener oder neuer technischer Systeme oder Systemelemente gelöst werden soll. Der probleminduzierte Lösungspfad wird in der Literatur häufig auch als „***Market Pull***“ bezeichnet [Ger05, S. 41].

Szenario

In der Literatur existieren zahlreiche Definitionen für den Szenario-Begriff. POORVASH fasst die Elemente dieser Definitionen wie folgt zusammen [Poo10, S. 26]:

- *„Ein Szenario beschreibt eine in sich konsistente Situation [MH91, S. 69],*
- *Unter einem Szenario versteht man die Beschreibung einer zukünftigen Situation [Rei91, S. 14]; [Göt91, S. 38],*
- *Ein Szenario wird eingesetzt im Rahmen der Vorausschau [MH91, S. 69], der Strategiesimulation sowie der Robustheits- und Sensitivitätsanalyse [MH91, S. 69]; [MW93, S. 2],*
- *Ein Szenario basiert auf den Entwicklungsmöglichkeiten einer systematisch und transparent entwickelten Menge von Faktoren [MH91, S. 69]; [Göt91, S. 38]".*

J. GAUSEMEIER vereint diese Elemente in einer Definition, die dieser Arbeit zugrunde gelegt wird:

„*Ein Szenario ist eine allgemeinverständliche Beschreibung einer möglichen Situation in der Zukunft, die auf einem komplexen Netz von Einflussfaktoren beruht, sowie die Darstellung einer Entwicklung, die aus der Gegenwart zu dieser Situation führen könnte."* [GPW09, S. 59]

Welche Arten und Idealtypen von Szenarien existieren, welche Reichweiten und Szenario-Felder betrachtet werden, wird in Kapitel 2.3.3 des Stands der Technik näher erläutert.

2.2 Einordnung

In dieser Arbeit soll durch eine Methode zur Identifikation und Entwicklung nachhaltiger Technologiesysteme ein Beitrag dazu geleistet werden, die rational gebotene Nachhaltigkeit über technische Innovation zu befördern (siehe Kapitel 1.2). Um sicher zu stellen, dass Technologien auf die unterschiedlichen Bedürfnisse der Menschen treffen, sind Entwicklungsniveau-spezifische Gegebenheiten als Rahmenbedingungen zu berücksichtigen. Als ein für niedrige Entwicklungsniveaus spezifischer Innovationsansatz wird deshalb in Kapitel 2.2.1 das Konzept BOP-Innovation diskutiert.

Die Zukunftsfähigkeit wird in dieser Arbeit als elementarer Bestandteil der Nachhaltigkeit interpretiert. Die zu entwickelnde Methode darf sich also nicht nur mit heute vorherrschenden Rahmenbedingungen und Technologien auseinandersetzen, sondern muss antizipierte Rahmenbedingungen und neue Technologien berücksichtigen (siehe Kapitel 1.2). Die Auseinandersetzung mit der Zukunft in dem zugehörigen Methodengebiet Zukunftsforschung wird deshalb in Kapitel 2.2.2 vorgenommen.

Ziel der Arbeit ist neben der Identifikation nachhaltiger Technologiesysteme auch deren Entwicklung im Sinne konzeptueller technischer Lösungsansätze. Die Entwicklung technischer Systeme wiederum ist Ziel der Produktentwicklung. Das Methodengebiet Produktentwicklung wird deshalb in Kapitel 2.2.3 dargestellt.

Um nachhaltige Technologiesysteme zu identifizieren und zu bilden, ist es unerlässlich, die Nachhaltigkeit eines Systems oder dessen enthaltene Systemelemente zu bewerten. Deshalb wird in Kapitel 2.2.4 das Methodengebiet Nachhaltigkeitsbewertung vorgestellt.

Die Methode nachhaltiger Technologiepfade ist, wie in der Abbildung 2-1 zu sehen ist, in der Schnittstelle zwischen den Methodengebieten Zukunftsforschung, Produktentwicklung und Nachhaltigkeitsbewertung verortet. Methoden dieser drei Methodengebiete werden in den Kapiteln 2.2.2 bis 2.2.4 benannt und in den Kapiteln 2.3 bis 2.5 beschrieben. Für die Schnittstellen der Methodengebiete wird in Kapitel 2.6 exemplarisch je eine Methode erläutert.

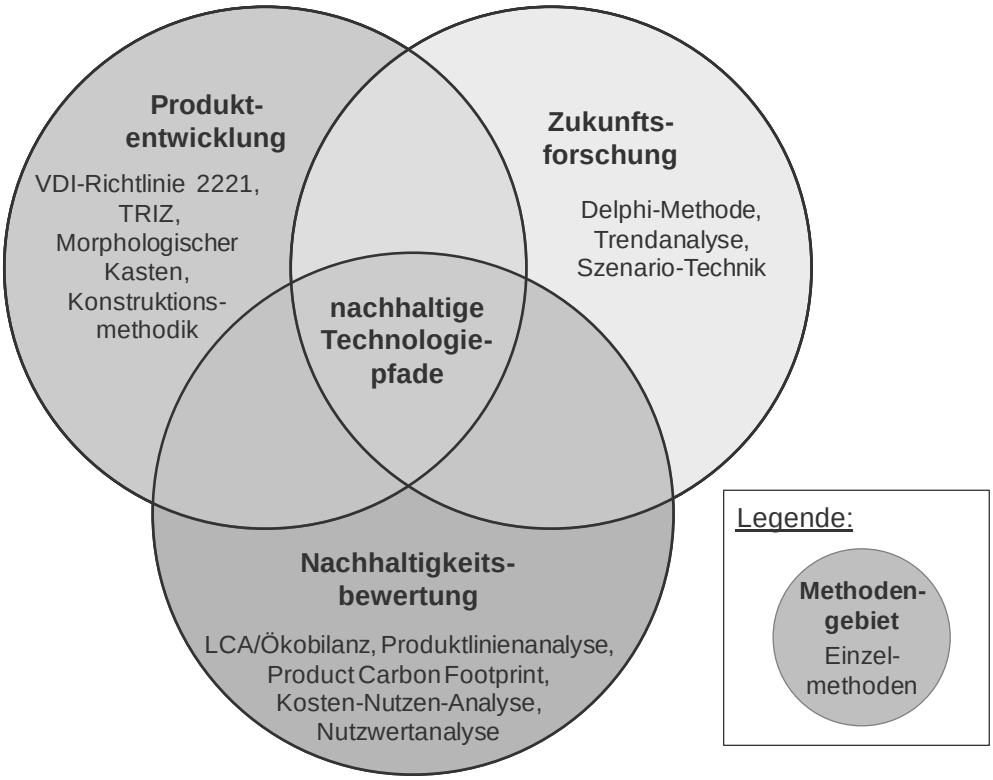


Abbildung 2-1: Einordnung der Methode nach Methodengebieten

2.2.1 BOP-Innovation

PRAHALAD stellt in seinem Innovationsansatz für niedrige Entwicklungsniveaus dar, wie die vier Milliarden in Armut lebenden Menschen (Bottom of the Pyramid) „*ein Motor für weltweiten Handel und Wohlstand sein können*“ [Pra06].

Laut PRAHALAD ist der klassische, durch die Entwicklungshilfe geprägte Ansatz, Konsum unter den Armen zu fördern, überholt. Er bestand im Wesentlichen darin, Produkte und Dienstleistungen kostenlos zur Verfügung zu stellen. Das ist zwar menschenfreundlich, stellt aber „*keine skalierbare und dauerhafte Lösung des Problems*“ dar [Pra06, S. 37]. Die ökonomische Pyramide zeigt, dass 4 Milliarden Menschen eine paritätische Kaufkraft von weniger als 1.500 US-Dollar pro Jahr besitzen. Paritätische Kaufkraft liegt dann vor, wenn Waren und Dienstleistungen eines Warenkorbs für gleichhohe Geldbeträge erworben werden können. Bei unterschiedlichen Währungsräumen werden die Geldbeträge durch Wechselkurse vergleichbar gemacht.

Bezogen auf die Anzahl der Menschen bedeutet dies ein enormes Marktpotential [Pra06, S. 22]. Dieser Markt wird als Bottom of the Pyramid (BOP) bezeichnet. Eine Zusammenarbeit zwischen den armen Menschen, Regierungen, privaten Organisationen und Unternehmen kann laut PRAHALAD „*die am schnellsten wachsenden Märkte überhaupt“* hervorbringen [Pra06, S. 22]. Der entscheidende Erfolgsfaktor hierfür ist das breite Unternehmertum, getrieben durch Innovationen in den Bereichen Technik, Dienstleistung und Geschäftsmodelle. PRAHALAD stellt zahlreiche erfolgreiche Beispiele in den Lebensweltbereichen Gesundheit sowie Bauen und Wohnen für diesen Ansatz vor [Pra06, S. 159 ff.], die zur Abschaffung der Armut beitragen. HAHN erweitert diesen Ansatz um die Integration der BOP in verschiedene Wertschöpfungsstufen sowie die betriebswirtschaftliche Nutzung der Ressourcen und löst die Fokussierung auf Absatzmärkte somit auf [Hahn09, S. 29 ff.].

PRAHALAD beschreibt 12 Leitlinien für Innovationen in BOP-Märkten [Pra06, S. 48 ff.]:

1) Konzentration auf ein gutes Preis-Leistungs-Verhältnis
2) Einsatz von Hybrid-Lösungen: Neue Technologien, die intelligent mit bestehender Infrastruktur zusammenarbeiten
3) Übertragbarkeit der Lösungen auf länderspezifische Gegebenheiten
4) Reduktion des Ressourcenverbrauchs bereits bei der Produktentwicklung
5) Anpassung der Funktionalität an Bedürfnisse des BOP-Marktes
6) Wichtigkeit von Prozessinnovationen
7) Vereinfachung bezogen auf Nutzung und Bedienung

8) Innovation des Informationsprozesses zur Ausbildung der Kunden
9) Entwicklungen für schwierige Umgebungen
10) Benutzergerechte Bedieneroberflächen
11) Innovation des Vertriebs, um Kunden zu erreichen
12) Einsatz von Plattformlösungen, um schnell neue Eigenschaften hinzufügen zu können

PRAHALADS Ansatz bezieht sich auf Innovationen für die BOP-Märkte und bezieht sich nur insofern auf hohe Entwicklungsniveaus, als dass die früh-industrialisierten Nationen ebenfalls von diesen Innovationen profitieren können. Unternehmen früh-industrialisierter Nationen können zum einen profitieren, indem sie ihre Produkte auf diesem riesigen Markt absetzen. Zum anderen können BOP-Innovationen von niedrigen auf hohe Entwicklungsniveaus übertragen werden [Pra06, S. 76 ff.]. Innovationen von und für früh-industrialisierte Nationen werden nicht betrachtet.

Die oben genannten Leitlinien beziehen sich auf die Anpassung von Innovationsprozessen an die spezifischen Rahmenbedingungen niedriger Entwicklungsniveaus. Einige dieser Leitlinien werden in die Anforderungen an die Methode (siehe Kapitel 3.1) aufgenommen. Ein methodischer Ansatz zur Bildung nachhaltiger Technologiesysteme, der über die Leitlinien hinausgeht, wird aber nicht dargestellt. PRAHALADS Ansatz wird daher im Folgenden nur im Sinne der Anforderungen an die Entwicklung der Methode integriert (siehe Kapitel 3.1), ansonsten aber nicht weiter betrachtet.

2.2.2 Zukunftsforschung

„Zukunftsforschung ist die wissenschaftliche Befassung mit möglichen, wünschbaren und wahrscheinlichen Zukunftsentwicklungen und Gestaltungsoptionen sowie deren Voraussetzungen in Vergangenheit und Gegenwart.“ [Kre06, S. 3] Schon 1972 hatte FLECHTHEIM Grundpostulate seiner Futurologie, einer *„kritischen und systematischen Beschäftigung mit der Zukunft“* [Fle72, S. 11], definiert. Sie beziehen sich auf die dynamische Änderung der Welt, die Erkennbarkeit von Grundstrukturen des Wandels sowie die Möglichkeit der groben Vorhersage von Richtung und Tempo der Änderungen. Weiterhin beschäftigen sich die Postulate mit dem Wert antithetischer Prognosen, Gestaltungsmöglichkeiten innerhalb eines bestimmten Rahmens sowie der Gestaltung der Zukunft durch Erkennen des Notwendigen, Möglichen und Gewollten [Fle72, S. 13 f.].

KREIBICH betont weiterhin, *„... dass die Zukunft prinzipiell nicht vollständig bestimmbar ist und dass verschiedene Zukunftsentwicklungen (Zukünfte) möglich und gestaltbar sind.“* [Kre06, S. 3] Die Definition von SPECHT und MÖHRLE kennt ebenfalls mehrere *„unterschiedliche*

Zukunftsstränge“ [SM13-ol], J. GAUSEMEIER ET AL. sprechen von der „*Multiplen Zukunft*“ [GPW09, S. 60], [Aca12, S. 11 f.]. Unter „*Vernetztes Denken*“ wird bei J. GAUSEMEIER ET AL. verstanden, dass Akteure, um der Komplexität der Umwelt gerecht zu werden, die Vernetzung zwischen vielen Einflussfaktoren berücksichtigen müssen [GPW09, S. 61].

KREIBICH identifiziert als Themen neben Wissenschaft und Technologie folgerichtig auch *„...ökonomische Prozesse, Instrumente und Formen der politisch-administrativen und sozialen Steuerung sowie der Entfaltung neuer Lebensformen und Lebensstile.“* [Kre06, S. 9] Methoden der Zukunftsforschung werden häufig auch in Innovationsprozesse integriert [EBB+03; S. 33]; [GHKS06, S.31].

Aus der in Kapitel 1.2 beschriebenen Zielsetzung ergibt sich, dass die Zukunftsfähigkeit in dieser Arbeit als elementarer Bestandteil der Nachhaltigkeit interpretiert wird. Die zu entwickelnde Methode muss verschiedene mögliche Zukünfte sowie die sich daraus ergebenden antizipierten Rahmenbedingungen einbeziehen. Außerdem müssen bei der Entwicklung von Systemen neben etablierten Technologien auch neue Technologien berücksichtigt werden können. Bezogen auf die antizipierten Rahmenbedingungen ergibt sich, dass der Einsatz von Methoden der Zukunftsforschung auch unabhängig von technologischen Betrachtungen erforderlich ist. Die Zukunftsforschung wird über ihre Methoden in Kapitel 2.3 folglich im Sinne eines eigenständigen Methodengebiets beschrieben.

Die Systematik in der Zukunftsforschung wird durch festgelegte „*Methoden, Modelle und Szenarien*“ hergestellt [SM13-ol]. Auch KREIBICH konstatiert, die Zukunftsforschung könne heute „*auf einen spezifischen Methodenkanon verweisen.“* [Kre06, S. 3] Die Szenario-Technik, die Delphi-Methode und die Trendanalyse, die in Kapitel 2.3 exemplarisch als Methoden der Zukunftsforschung erläutert werden, ergeben sich aus der Häufigkeit der Nennungen in der Literatur.

2.2.3 Produktentwicklung

Auf den ersten Blick wirkt der Begriff Produktentwicklung selbsterklärend. Die Aktivitäten der Produktentwicklung reichen „*... ausgehend vom Anforderungsmanagement über die methodische Konstruktion bis hin zur Ergebnisanalyse.*“ [Sch12, S. 11] Die genaue Ausgestaltung dieses Produktentwicklungsprozesses hängt immer vom zu entwickelnden Produkt ab.

Um den vom Markt geforderten kürzeren Produktlebenszyklen gerecht zu werden, muss auch die Prozessentwicklung mit der Produktentwicklung verbunden werden [Sch12, S. 9, S. 236 ff.]. In diesem Sinne wird die Methode des Simultaneous Engineering, „*... die*

Parallelisierung und Verzahnung der Produktentwicklung mit der Entwicklung der zugehörigen Produktionsprozesse ...“ [Sch12, S. 11], eingesetzt.

In der Literatur existieren zahlreiche allgemeine Methoden zur Produktentwicklung. Folgende Methoden wurden anhand der Anzahl der Nennungen in der Literatur ausgewählt und werden in Kapitel 2.4 beispielhaft erläutert:

- VDI-Richtlinie 2221
- TRIZ
- Morphologischer Kasten
- Konstruktionsmethodik nach PAHL und BEITZ

2.2.4 Nachhaltigkeitsbewertung

Nachhaltiges Handeln setzt voraus, dass bekannt ist, welche Handlungsalternative nachhaltiger als eine andere ist. Somit ist es notwendig, Produkte, Prozesse, Technologien, Innovationen oder Handlungsalternativen allgemein bezüglich ihrer Nachhaltigkeit zu bewerten.

Die Relevanz der ökonomischen Nachhaltigkeit ist Unternehmen schon länger bekannt, denn das wichtigste und originäre Ziel einer Unternehmung ist es, wirtschaftlich erfolgreich zu sein [Gut29]. Das Ziel der ökonomischen Nachhaltigkeit in betriebswirtschaftlicher Sichtweise ist der Erhalt des Kapitalstocks [BLW04, S.23]. Bewertungen dieser Dimension der Nachhaltigkeit finden in Unternehmen also ständig statt. Daher gibt es zahlreiche ökonomische Methoden und Kennzahlen, die auf einer sehr guten Informationslage aufbauen und die ökonomische Nachhaltigkeit bewerten können.

Für die Bewertung der ökologischen und der sozialen Dimension gibt es zwei Wege: Der erste ist die Monetarisierung negativer externer Effekte, wie Umweltverschmutzung, durch zum Beispiel CO_2-Zertifikate oder Ökosteuern [HP08, S. 253]; [Rog09, S. 77 ff., S. 124 f.]. Auf diese Weise werden deren Auswirkungen auch in einer ökonomischen Bewertung erkennbar. Der zweite Weg ist die Nutzung von Bewertungsmethoden, mit denen die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit allein, paarweise oder gemeinsam bewertet werden können. Diese Sichtweise entspricht eher der ökologischen Ökonomie. Diese geht, entgegen dem, was der Name vermuten lässt, davon aus, dass nachhaltiges Handeln in allen drei Dimensionen angestrebt wird beziehungsweise eine Monetarisierung negativer externer Effekte nicht möglich ist [Rog09, S. 37 ff., S. 77 ff., S. 133 ff. und S. 198].

In Kapitel 2.5 des Stands der Technik werden folgende verschiedenen Methoden der Nachhaltigkeitsbewertung aufgrund ihres Bekanntheitsgrades und häufigen Anwendung vorgestellt:

- Life Cycle Assessment/Ökobilanz
- Produktlinienanalyse
- Product Carbon Footprint
- Kosten-Nutzen-Analyse
- Nutzwertanalyse

2.3 Methoden der Zukunftsforschung

Die Auswahl der Methoden basiert auf den Werken der Autoren J. GAUSEMEIER ET AL. [GPW09], KREIBICH [Kre09], und GORDON [Gor94]. Es werden die drei Methoden Delphi, Trendanalyse und Szenario-Technik vorgestellt.

2.3.1 Delphi-Methode

Die Delphi-Methode wurde Anfang der 1960er Jahre von der US-amerikanischen „RAND Corporation“, einer das US-Militär beratenden Denkfabrik, entwickelt [Gor94, S. 1]. Bei der Delphi-Methode handelt es sich um ein mehrstufiges Verfahren, das es ermöglicht, von einer sorgsam ausgewählten Expertenrunde ein fundiertes Urteil zu einer bestimmten Fragestellung, meist zukünftige Entwicklungen betreffend, zu erhalten. Es ist somit ein Instrument zur *„... verbesserten Erfassung von Gruppenmeinungen beziehungsweise Steuerung der Gruppenkommunikation.“* [Häd98, S. 4] Es wird auf eine offene Diskussion oder ein Brainstorming verzichtet, die Meinungsbeiträge der Experten erfolgen anonym. So soll verhindert werden, dass sich einzelne Meinungen durch diskussionsstarke Teilnehmer durchsetzen und in der Expertenrunde ein Konformitätsdruck entsteht, der unkonventionelle oder extreme Vorschläge unterbindet [Gor94, S. 3 ff.].

In einer ersten Verfahrensstufe stellt ein Gremium einen formalisierten Fragebogen auf, mit dem erste Größenordnungen der Expertenschätzungen und mögliche Konfliktlinien gefunden werden sollen. Dieser wird den Experten mit Bitte um Beantwortung übermittelt. Besagtes Gremium wertet nun die Ergebnisse aus und bereitet sie auf. Es folgt die erste Feedbackrunde, in denen die Experten nach Anschauung von aufgetretenen Trends und der Begründungen von Gegentrends um eine Neueinschätzung gebeten werden. Feedbackrunden werden so lang durchgeführt, bis ein nach Ansicht des Gremiums befriedigendes Ergebnis eingetreten ist. Dies kann der Fall sein, wenn sich die Positionen der Experten angenähert oder wenn sich mehrere „Lager“ mit unterschiedlichen Meinungen herausgebildet haben. Ergebnisse von Delphi-Befragungen stellen eine Synthese der

Meinungen der beteiligten Experten dar. Auch Argumente für extreme Positionen können dem Erkenntnisgewinn zuträglich sein [Gor94, S. 6 ff.].

Die Delphi-Methode wird oft zur Unterstützung der Szenario-Technik verwendet [WM13-ol]. Anwendung findet die Methode vor allem in Bildungs- und Gesundheitswesen, Politik, Tourismus und betriebswirtschaftlichen Problemstellungen [Häd98, S. 7 f.].

Bei sachgerechter Vorbereitung und Durchführung ist eine Delphi-Befragung ein geeignetes Werkzeug, um eine Gruppenmeinung zu einer Fragestellung zu erhalten. Eine Delphi-Studie ist jedoch oftmals kosten- und zeitaufwändig [Häd98, S. 27]. Weitere Designaspekte, die Fehlerquellen darstellen und für die es teilweise noch keine festen Standards gibt, sind die Zahl der Runden, die Gewährleistung der Anonymität, die Expertenauswahl, der Umfang der Expertengruppe, ein kompetentes Feedback- und Monitoring-Team, die Implementierung von Computerunterstützung und das „Panelmortalität“ genannte Problem „abspringender“ Experten [Häd98, S. 19 ff.]. Aus der vielfältigen Ausgestaltung der Designaspekte folgt ein „*Variantenreichtum*“, der „*als Nachteil und Vorteil zugleich*“ angesehen wird [Häd98, S. 11].

2.3.2 Trendanalyse

„*Die Trendforschung befasst sich mit der Beobachtung und Vorhersage von Trends.“* [TQM12-ol] Nach HORX ist ein Trend eine *„... wichtige und nachhaltige Evolution in unserer Gesellschaft.“* [Hor95, S. 8] Der Ausdruck „nachhaltig“ wird hier in seiner Bedeutung „*sich auf längere Zeit stark auswirkend*“ [DUD13-ol] verwendet und nicht in der auf drei Säulen beruhenden Definition der Nachhaltigkeit, die heute meist und auch in dieser Arbeit verwendet wird (siehe Kapitel 2.1). HORX unterscheidet zwischen Megatrends, Konsumententrends und Branchentrends [Hor95, S. 13 f.]. Während die viel zitierten Megatrends einen soziographischen oder technologischen Ursprung haben und eine Halbwertszeit von mehr als zehn Jahren aufweisen, beeinflussen Konsumententrends das Kaufverhalten der Menschen und damit Marketing- und Produktkonzeptionen. Branchentrends leiten aus Unternehmenssicht Implikationen aus Mega- und Konsumententrends ab [Aca12, S. 24].

Eine Trendanalyse nach J. GAUSEMEIER ET AL. erfolgt in folgenden Schritten. Sie beginnt mit einer Beschreibung des Trends, der aufgenommen und prägnant beschrieben wird. HORX konstatiert, dass die hier zu betreibende Trendforschung vor allem Prognostik ist, nicht bloßes Messen des Ist-Zustandes [Hor95, S. 6, S. 13]. Sind Trends erfasst, schließt sich ein Ranking der Trends nach Stärke und Eintrittswahrscheinlichkeit an. Dabei wird eingeschätzt, wie wahrscheinlich eine bestimmte Einheit, zum Beispiel eines Unternehmens oder einer Organisation, von einem Trend erfasst wird und wie groß die Auswirkungen auf die Einheit durch den Trend sind. Es erfolgt nun die Ermittlung von Chancen und Risiken, die vom Trend

für die Einheit ausgehen und eine anschließende Ermittlung von Handlungsoptionen, um auf die Chancen und Risiken zu reagieren [Aca12, S. 24].

Trendanalyse *„... bietet die Möglichkeit, aufkommende Entwicklungen frühzeitig zu erkennen.“* [GPW09, S. 116] Dies ist vor allem für Unternehmen in unsteten Geschäftsfeldern interessant, die sich von diesen Entwicklungen nicht überraschen lassen wollen.

Die größte Schwierigkeit bei der Trendanalyse liegt in der „*... zuverlässigen Erkennung von geschäftsbestimmenden Trends*“. Die weiteren Schritte der Trendanalyse, werden als „*pragmatisches und leicht zu handhabendes Instrument für die Vorausschau*“ angesehen. Die Trendanalyse gilt aber als „*... bei weitem nicht so mächtig wie die Szenario-Technik*.“ [GPW09, S. 116]

2.3.3 Szenario-Technik

Es existieren neben verschiedenen Definitionen von Szenarien (siehe Kapitel 2.1) auch unterschiedliche Arten von Szenarien. Im Folgenden werden Kriterien zur Einordnung von Szenarien benannt. Eine Einordnung nach diesen Kriterien entspräche Idealtypen, in der Praxis kommen jedoch meistens Mischformen dieser zum Einsatz.

Szenario-Techniken werden, wie auch Methoden der Zukunftsforschung allgemein [GG04, S. 106], in der Literatur häufig in die Paare explorative versus normative und qualitative versus quantitative Verfahren unterteilt [Alc01, S. 10 f.]; [KG08, S. 23 ff.]. KOSOW und GASSNER unterscheiden weiterhin drei weitere idealtypische Szenario-Techniken [KG08, S. 32]: Szenarien auf Basis von Trendextrapolation, systematisch-analytische und kreativ-narrative Szenario-Techniken. Weitere beschreibende Eigenschaften sind die Reichweite, die Art der Integration, die besonders bei großen Reichweiten erforderlich wird, sowie das betrachtete Szenariofeld.

Explorative versus normative Ansätze

Explorative Verfahren gehen von „Was-wäre-wenn-Fragen“ aus und beschreiben Kombinationen möglicher Ereignisse ungeachtet ihrer Wünschbarkeit [Gre00, S. 8]. Die Wissensfunktion steht dabei im Vordergrund [KG08, S. 24]. Bei normativen Szenarien hingegen werden Fragen wie „*Wie wünschen wir uns die Zukunft?*“ oder „*Wo wollen wir hin?“* und „*Wie kommen wir dort hin?“* gestellt. Sie nehmen also Werte und Interessen auf und haben eine Zielbildungsfunktion [KG08, S. 24].

Qualitative versus quantitative Ansätze

Ob quantitative oder qualitative Verfahren zur Identifikation und Analyse von Schlüsselfaktoren zum Einsatz kommen, hängt von den untersuchten Themenfeldern und somit davon ab, ob quantitative Daten sinnvoll und verfügbar sind [Alc01, S. 10]; [KG08,

S. 25]. In Themengebieten wie zum Beispiel Demographie und Wirtschaftsentwicklung kommen quantitative und in Themengebieten wie Kultur und Politik qualitative Verfahren zum Einsatz [VRM+03, S. 429].

Idealtypische Szenario-Techniken nach KOSOW und GASSNER [KG08, S. 32 f.]

Szenarien ***auf Basis von Trendextrapolation*** stützen sich ausschließlich auf bestehende und vergangene Trends und verlängern diese in die Zukunft. ***Systematisch-formalisierte*** Szenario-Techniken sind dadurch gekennzeichnet, dass Einflussfaktoren klar definiert werden, ihre Wechselwirkungen strukturiert untersucht werden und ein Trichter bezüglich ihrer Entwicklungsmöglichkeiten in der Zukunft aufgespannt wird. Durch eine paarweise Konsistenzanalyse werden Kombinationen der Entwicklungsmöglichkeiten von Faktoren gebildet. ***Kreativ-narrative Szenario-Techniken*** sind weniger formalisiert. Hier steht der Einsatz von Kreativitätstechniken und implizitem Wissen im Vordergrund.

Diese idealtypischen Szenario-Techniken besitzen, bezogen auf die zuvor vorgestellten Eigenschaftspaare, die in Tabelle 2-2 dargestellten Ausprägungen.

Tabelle 2-2: Einordnung der idealtypischen Szenario-Techniken

● zutreffend ○ zum Teil zutreffend		Verfahren			
		explorativ	normativ	qualitativ	quantitativ
Idealtypische Szenario-Techniken	auf Basis von Trendextrapolation	-	●	-	●
	systematisch-analytisch	●	-	●	●
	kreativ-narrativ	○	●	●	○

Da Szenarien auf Basis von Trendextrapolation lediglich bestehende Trends in die Zukunft verlängern, wird das „wahrscheinlichste“ Szenario als Referenz-Szenario ermittelt. Es handelt sich somit um ein normatives Verfahren, in dem quantitative Faktoren zum Einsatz kommen. Bei systematisch-analytischen Szenario-Techniken handelt es sich in der Regel um explorative Verfahren, in denen sowohl qualitative als auch quantitative Faktoren aufgenommen werden können [KG10, S. 38]. Kreativ-narrative Szenarien werden meist zur Entwicklung wünschbarer, also normativer Szenarien eingesetzt. Dabei werden hauptsächlich qualitative Faktoren verwendet.

Reichweiten

Bei der Szenario-Erstellung können folgende Reichweiten unterschieden und festgelegt werden [KG08, S. 26]:

- Zeitliche,
- geographische und
- thematische Reichweite.

Je höher die zeitliche, geographische und thematische Reichweite, desto höher ist der Abstraktionsgrad und desto unspezifischer sind die Szenarien. Diesem Problem sollen verschiedene Formen der ***Integration*** entgegenwirken**,** die hier am Beispiel der geographischen Reichweite beschrieben werden [VRM+03, S. 431]:

- Die drei Ebenen global, national und regional werden parallel betrachtet.
- In einem Top-down-Ansatz werden, beginnend mit den Globalszenarien, immer spezifischere Szenarien entwickelt.
- In einem Bottom-up-Ansatz werden, ausgehend von Regionalszenarien, bis hin zu Globalszenarien, immer allgemeingültigere Szenarien entwickelt.

Eine weitere Möglichkeit der Integration spezifischer Inhalte in ein allgemeingültiges Modell bieten Subszenarien. Hierbei wird bereits das Szenariofeld in Subsysteme untergliedert. Es werden anschließend sowohl Subszenarien als auch Gesamtszenarien gebildet und zusammengeführt [Sto09].

Szenario-Felder

J. GAUSEMEIER unterscheidet drei Szenariotypen, die durch die Betrachtungsbereiche, die sogenannten Szenariofelder, definiert werden [GPW09, S. 62]. Werden im Szenariofeld ausschließlich externe, also nicht beeinflussbare, Faktoren betrachtet, handelt es sich um ***Umfeldszenarien***. Szenariofelder, die ausschließlich interne Lenkungsgrößen wie zum Beispiel Produktmerkmale enthalten, werden genutzt, um ***Gestaltungsfeld-Szenarien*** zu erstellen. Technologieszenarien fallen demzufolge in diese Kategorie. Enthält ein Szenariofeld sowohl externe Faktoren als auch interne Lenkungsgrößen, handelt es sich um ***System-Szenarien*** [GPW09, S. 62].

2.4 Methoden Produktentwicklung

Im Folgenden werden verschiedene gängige Methoden der Produktentwicklung vorgestellt. Jede Produktentwicklung ist abhängig von zahlreichen teilweise spezifischen Faktoren und unterscheidet sich entsprechend. Dennoch gibt es in der Literatur Methoden, die allgemeine Vorgehensweisen beschreiben.

Die Auswahl der Methoden basiert auf den Werken der Autoren PAHL/BEITZ [PBFG07], SCHUH [Sch11]; [Sch12], SPATH, LINDNER, SEIDENSTRICKER [SLS11] und OPHEY [Oph05]. Es werden die Methoden vorgestellt, die bei mindestens drei dieser Autoren beschrieben werden. Dies sind die Methoden VDI 2221 (Kapitel 2.4.1), TRIZ (Kapitel 2.4.2) und der Morphologische Kasten (Kapitel 2.4.3). Die Konstruktionsmethodik nach PAHL/BEITZ (Kapitel 2.4.4) wird ebenfalls erläutert, da sie eine strukturierte Sammlung vieler methodischer Ansätze darstellt, die zu einer Gesamtmethode weiterentwickelt wurden.

2.4.1 VDI-Richtlinie 2221

Die VDI-Richtlinie 2221 beschreibt eine Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte [VDI2221, S. 2]; [Sch12, S. 164]. Dabei umfasst die VDI 2221 *„... allgemeingültige, branchenunabhängige Grundlagen methodischen Entwickelns und Konstruierens ...“* [VDI2221, S. 2]. Die Methodik basiert dabei auf einem allgemeinen, systematischen Problemlösungsprozess, der von der Problemanalyse, über die Problemformulierung, Systemsynthese, Systemanalyse und Beurteilung bis zur Entscheidung reicht [VDI2221, S. 3]. Die Betrachtung eines Problems wird nach der Richtlinie immer vom abstrakten Gesamten hin zum konkreten Teilproblem durchgeführt [VDI2221, S. 5].

Die eigentliche Methodik gliedert sich in sieben Arbeitsschritte: Klärung und Präzisierung der Aufgabenstellung, Ermittlung von Funktionen und deren Strukturen, Suche nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen, Gliederung in realisierbare Module, Gestaltung der maßgebenden Module, Gestalten des gesamten Produktes, Ausarbeitung der Ausführungs- und Nutzungsangaben [VDI2221, S. 9]; [Sch12, S. 164].

Die VDI 2221 findet ihre Grundlagen im Maschinenbau und der Feinwerktechnik, ist jedoch als branchenunabhängiges Instrument konzipiert und kann damit zum Beispiel auch in der Verfahrenstechnik oder Softwareentwicklung Anwendung finden [VDI2221, S. 2 f.].

Die Herausgabe der Methodik als VDI-Richtlinie *„... unter Beteiligung von Konstruktions-wissenschaftlern verschiedener Ausrichtungen und Mitarbeitern aus der Industriepraxis ...“* [VDI2221, S. 2] spricht für deren hohen Reifegrad und vorhandenen Praxisbezug. Allerdings ist die Methode spezifisch auf den Konstruktionsprozess ausgerichtet und *„... geht kaum auf*

die Problematik der Beteiligung verschiedener Fachdisziplinen am Konstruktionsprozess ein.“ [Sch12, S. 164]

2.4.2 TRIZ – Methode des erfinderischen Problemlösens

Die TRIZ-Methode beruht auf der Annahme, dass einer großen Anzahl an Erfindungen eine vergleichsweise kleine Anzahl an Lösungsprinzipien zugrunde liegt [Oph05, S. 103 f.]. Daraus wird abgeleitet, dass die meisten Kernbestandteile eines Problems schon einmal gelöst wurden, wenn auch für eine andere Anwendung [Oph05, S. 104]. Jede Innovation ist durch einen technischen Widerspruch gekennzeichnet, den die Innovation überwindet (Widerspruchsprinzip) [SLS11, S. 190]; [Oph05, S. 104]. Die TRIZ-Methode löst konkrete Probleme, in dem diese abstrahiert und auf abstrakter Ebene gelöst werden. Diese abstrakte Lösung wird dann wieder konkretisiert [SLS11, S. 190 f.]; [Oph05, S. 105].

Die Anwendung der TRIZ-Methode gliedert sich nach SPATH [SLS11, S. 190 f.] in vier Schritte:

1. Erfassung des konkreten Problems
2. Abstraktion des Problems und Erstellung der Widerspruchsmatrix
3. Ableitung der Lösung aus der Widerspruchsmatrix und
4. Überführung des gefundenen Lösungsprinzips in eine konkrete Lösung.

Die TRIZ-Methode deckt nicht den gesamten Produktentwicklungsprozess, sondern nur die konzeptionelle Problemlösung, ab. Sie findet bisher hauptsächlich im Ingenieurbereich Anwendung, wird zunehmend jedoch auch darüber hinaus, in nicht-technischen Bereichen, verwendet [SLS11, S. 192].

Die TRIZ-Methode benötigt ein hohes Maß an Schulung und Erfahrung, um mit den abstrakten Formulierungen der Widersprüche arbeiten zu können [SLS11, S. 192]; [Oph05, S. 104]. Ist dies gegeben, eignet sich die Methode jedoch für revolutionäre Innovationen und Neuentwicklungen [SLS11, S. 192]. Die TRIZ-Methode systematisiert den Erfindungsprozess und löst die Fokussierung auf spezielle Branchen sowie die Begrenzung des Wissensschatzes durch intelligente Recherchemethoden [SLS11, S. 190 f.].

2.4.3 Morphologischer Kasten

Ein Verfahren zur systematischen Kombination von verschiedenen Lösungsprinzipien für einzelne Teilfunktionen ist der Morphologische Kasten. Nach ihrem Erfinder Fritz ZWICKY [Zwi66, S. 114 ff.] wird diese Methode auch als „Zwicky Box“ oder „Ordnungsschema nach ZWICKY“ bezeichnet [PBFG07, S. 259]. Der Morphologische Kasten wird dabei den Kreativitätstechniken zugeordnet [SB09, S. 132]. In der Konstruktionsmethodik nach

PAHL/BEITZ wird dem Morphologischen Kasten außerdem eine wichtige Rolle bei der Auswahl der geeigneten Wirkprinzipien zugesprochen [PBFG07, S. 259].

Das Produkt wird im ersten Schritt in mehrere Teilfunktionen, *„... seine elementaren Bestandteile ...“* [SB09, S. 132], zerlegt. Im zweiten Schritt werden für jede Teilfunktion mögliche Teillösungen oder auch verschiedene Wirkprinzipien gesammelt oder erarbeitet. Die vertikal angeordneten Teilfunktionen, mit einer Vielzahl daran horizontal angeschlossener Teillösungsoptionen, bilden eine Matrix [PBFG07, S. 259]; [Zwi66, S. 117]. Im letzten Schritt wird aus der Matrix je eine Teillösung pro Teilfunktion zu einer Gesamtlösung verknüpft [PBFG07, S. 259 f.]; [Zwi66, S. 117]. Es kann eine Vielzahl von Kombinationen gebildet werden, die für die weitere Produktentwicklung im Detail weiter untersucht werden müssen.

Die Methode kann zur Lösungsfindung in allen Bereichen eingesetzt werden, in denen ein Hauptproblem in Teilfunktionen zerlegt werden kann [SB09, S. 132]. Dies ist zum Beispiel im Maschinenbau, aber auch in vielen anderen Bereichen wie der Software- oder Prozessentwicklung der Fall.

Als schwierig gestaltet sich oft das Erkennen der physikalischen Verträglichkeit einzelner Teillösungen, was jedoch über eine Verträglichkeitsmatrix gelöst werden kann [PBFG07, S. 260]. Eine weitere Schwierigkeit ist die Wahl der optimalen Lösung aus dem aufgespannten Lösungsraum. Dies kann zwar teilweise durch mathematische Methoden unterstützt werden, wofür allerdings die einzelnen Elemente mit quantitativen Kenngrößen beschrieben werden müssen [PBFG07, S. 260]. Die Methode bietet den Vorteil, dass der Lösungsraum zu Beginn sehr weit aufgespannt wird und dadurch mögliche, innovative Lösungen nicht versehentlich ausgeschlossen werden. Außerdem ermöglicht das Zerlegen des Problems in Teilfunktionen ein sehr systematisches Vorgehen [SB09, S. 132]; [PBFG07, S. 259 ff.].

2.4.4 Konstruktionsmethodik nach PAHL und BEITZ

Die Konstruktionsmethodik beschreibt einen Ablauf der Entwicklung und Konstruktion [Sch12, S. 185]. Daraus ergibt sich, dass es verschiedene Ansätze und Schwerpunktsetzungen bei der Konstruktionsmethodik gibt [Sch12, S. 186]. Das Ziel ist dabei immer, *„... Konstruktionslösungen besser und schneller zu erarbeiten.“* [Sch12, S. 186] Auch bestehen zahlreiche Übereinstimmungen, was durch von vielen Autoren verfasste VDI-Richtlinien deutlich wird [Sch12, S. 186]. Im Folgenden wird die Variante nach PAHL und BEITZ erläutert.

Nach PAHL und BEITZ [PBFG07, S. 194] gliedert sich die Konstruktionsmethodik in vier Hauptphasen:

1. Planen und Klären der Aufgabe (informative Festlegung)
2. Konzipieren (prinzipielle Festlegung)
3. Entwerfen (gestalterische Festlegung)
4. Ausarbeiten (herstellungstechnische Festlegung)

Zu beachten ist hierbei, dass eine exakte Trennung des Ablaufes in die Phasen nicht immer möglich ist [PBFG07, S. 194]; [Sch12, S. 186 f.].

Die Konstruktionsmethodik kann in allen Bereichen eingesetzt werden, in denen technische Produkte entwickelt werden [PBFG07, S. 193]; [Sch12, S. 186]. Dabei können und müssen jedoch stets unternehmens-, branchen- und produktspezifische Besonderheiten beachtet werden [Sch12, S. 186].

Vorteilhaft ist natürlich diese allgemeine Anwendbarkeit der Konstruktionsmethodik. Es ist gelungen, einen Konstruktionsprozess so zu abstrahieren, dass er für alle technischen Produkte anwendbar ist und eine systematische Produktentwicklung ermöglicht. Die Einzelmethoden die sich dahinter verbergen, haben *„... zu einem großen Teil inzwischen Normcharakter erreicht.“* [Sch12, S. 186] Jedoch beschreibt die Konstruktionsmethodik nur die Hauptphasen, die in der Anwendung nicht strikt getrennt werden können und hauptsächlich der Orientierung dienen [Sch12, S. 186]. Die genaue Ausgestaltung hängt dann von zahlreichen Faktoren ab.

2.5 Methoden der Nachhaltigkeitsbewertung

Im Folgenden werden verschiedene Methoden der Nachhaltigkeitsbewertung kurz vorgestellt. Die Methoden bewerten dabei die gesamte Nachhaltigkeit eines Produkts oder nur einzelne Dimensionen.

Zunächst wird die bekannteste, und mit der Nachhaltigkeitsbewertung eng verknüpfte, Methode der Ökobilanz vorgestellt. Darauf aufbauend folgen zwei Abwandlungen dieser Methode, wobei die Produktlinienanalyse alle drei Nachhaltigkeitsdimensionen umfasst und der Product Carbon Footprint speziell ökologische Aspekte bewertet. Des Weiteren folgen die aus ökonomischer Sicht weit verbreiteten Methoden Kosten-Nutzen-Analyse sowie Nutzwertanalyse.

2.5.1 Ökobilanz/Life Cycle Assessment

Die Methode der Ökobilanzierung trägt der steigenden Beachtung von Umwelteinflüssen von Produkten Rechnung [ISO14040]; [ISO14044]. Es werden alle über den gesamten Lebenszyklus eines Produkts auftretenden Einflüsse auf die Umwelt analysiert und bewertet [Klö97, S. 223], so dass die ökologische Nachhaltigkeit bewertet werden kann. Daher wird die Methode im englischen Sprachraum auch *Life Cycle Assessment* (Lebenszyklusbewertung) genannt [Klö97, S. 223]. Wie aus dem Namen ersichtlich wird, wird eine Bilanz erstellt, die die negativen, aber auch die positiven Einflüsse enthält [JK06, S. 11]. Des Weiteren soll durch die Ökobilanz ermöglicht werden, verschiedenste Produkte miteinander zu vergleichen [JK06, S. 12].

Die Ökobilanz umfasst laut der ISO-Norm 14040 vier Phasen [ISO14040, S. 15]:

1. Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens
2. Erstellung der Sachbilanz
3. Wirkungsabschätzung und
4. Auswertung.

Die Methode kann sowohl für Produkte aller Bereiche als auch für die Strategieplanung und das Marketing eingesetzt werden [Klö97, S. 225], umfasst aber nur den ökologischen Aspekt der Nachhaltigkeit eines Produktes [ISO14040, S. 14]; [JK06, S. 19]. Des Weiteren werden Unsicherheiten, die in den verwendeten Daten stecken, durch die Methode erfasst [JK06, S. 20].

2.5.2 Produktlinienanalyse

Die Methode der Produktlinienanalyse stellt eine Zusammenfassung und Bewertung aller ökonomischen, ökologischen und sozialen Auswirkungen eines Produktes dar. Es werden hierfür die In- und Outputs von Energien und Stoffen über den gesamten Lebenszyklus eines Produkts betrachtet [JK06, S. 20]. Auf diese Weise werden sämtliche Auswirkungen erfasst und können bewertet werden, damit jeweils die nachhaltigste Alternative gewählt werden kann.

Die Vorgehensweise ist ähnlich derer der Ökobilanz und läuft ebenso in vier Schritten ab [JK06, S. 21 f.]:

1. Scoping (vor allem Festlegung des Planungsziels und des Bilanzraums)
2. Erstellung der Sachbilanz
3. Erstellung der Wirkungsbilanz und
4. Bewertung.

Die Produktlinienanalyse bietet sich für alle Produkte an, ob in der Planung oder bereits in der Anwendung. Es lässt sich immer die nachhaltigere Alternative bestimmen.

Die Ähnlichkeit zur Ökobilanz (siehe Kapitel 2.5.1), die sich durch die gesamte Methode zieht, ist nicht zufällig. Die Produktlinienanalyse ist eine Weiterentwicklung der Ökobilanz, die den Nachteil der Eindimensionalität in Bezug auf die Nachhaltigkeit nicht weiter aufweist. Daraus ergeben sich jedoch auch ein bedeutend höherer Aufwand bei der Durchführung sowie eine weiter erhöhte Unsicherheit auf Grund der hinzukommenden Folgenabschätzungen [JK06, S. 21 f.].

2.5.3 Product Carbon Footprint

Die Methode des Product Carbon Footprint dient zur Erfassung der Treibhausgasemissionen eines Produktes über dessen gesamten Lebenszyklus. Dabei baut die Methode auf der in Kapitel 2.5.1 erläuterten Ökobilanz und deren Vorgehen auf, wobei der Aspekt der Treibhausgasemission hervorgehoben wird [ISO14067, S. 9]. Dies geschieht dadurch, dass basierend auf einer Ökobilanz die *„Summe der Treibhausgasemissionen und des Treibhausgasentzugs ...“* [ISO14067, S. 9] eines Produkts als CO_2-Äquivalent erfasst wird.

Laut ISO-Norm 24067 [ISO14067, S. 23] umfasst die Methode des Product Carbon Footprint dieselben vier Phasen wie die Ökobilanz:

1. Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens
2. Erstellung der Sachbilanz
3. Wirkungsabschätzung und
4. Auswertung.

Die Methode des Product Carbon Footprint kann auf jedes Produkt angewandt werden [ISO14067, S. 9 ff.], ist aber in seiner Aussagekraft auf die Emission von Treibhausgasen reduziert. Dies ermöglicht lediglich eine Teilbetrachtung der ökologischen Nachhaltigkeit. Da diese Methode auf einer Ökobilanz basiert, kann auch hier die ökonomische Nachhaltigkeitsdimension nur über die Kombination mit einer anderen Methode und die soziale Nachhaltigkeitsdimension kaum betrachtet werden. Auch das Problem der Datenunsicherheit besteht bei dieser Methode ebenso wie bei der Ökobilanz.

2.5.4 Kosten-Nutzen-Analyse

Für die Kosten-Nutzen-Analyse werden zukünftige Kosten und Nutzen alternativer Handlungsweisen gegeneinander aufgerechnet [GMR13-ol]. Auf diese Weise werden *„... alle Aufwendungen und Erträge eines Projekts über die gesamte Nutzungsdauer ... durch Umrechnung in Geldeinheiten sowie Abzinsung auf einen bestimmten Stichtag vergleichbar ...“* [Krö07, S. 43] gemacht. Die Alternative mit der größten positiven Differenz zwischen

Nutzen und Kosten wird dabei präferiert. Diese Methode ist etabliert und bildet eine Grundlage für viele Methoden zur Bewertung ökonomischer Nachhaltigkeit. Durch die Einberechnung externer Effekte [GMR13-ol], wie zum Beispiel die Kosten der Umweltverschmutzung durch die zu bewertende Handlungsalternative, können jedoch auch die ökologische und soziale Nachhaltigkeit mit einbezogen und bewertet werden. Aus der freien Wahl des betrachteten Zeitraums, der betrachteten externen Effekte und anderer zu betrachtender Faktoren ergibt sich jedoch eine gewisse Manipulationsanfälligkeit [GMR13-ol].

2.5.5 Nutzwertanalyse

Die *„Nutzwertanalyse ist die Analyse einer Menge komplexer Handlungsalternativen mit dem Zweck, die Elemente dieser Menge entsprechend den Präferenzen des Entscheidungsträgers bezüglich eines multidimensionalen Zielsystems zu ordnen. Die Abbildung dieser Ordnung erfolgt durch die Angabe der Nutzwerte (Gesamtwerte) der Alternativen.“* [Zan76, S. 45] Diese Methode stellt eine Weiterentwicklung der Kosten-Nutzen-Analyse dar. Von dieser unterscheidet sie sich vor allem durch die Nutzung relativer und nicht monetärer Werte, was auch die Einbeziehung von zum Beispiel sozialen Kriterien in die Bewertung ermöglicht [JK06, S. 45]. Dabei durchläuft die Nutzwertanalyse die *„... drei Phasen Konzeption, Bewertung und Ergebnisdarstellung ...“*. Durch die Verwendung von sowohl qualitativen wie quantitativen Daten, ist die Nutzwertanalyse einfacher und kostengünstiger durchführbar als die Kosten-Nutzen-Analyse. Daraus ergibt sich jedoch auch der Nachteil der qualitativen Einstufung des Bewertungsergebnisses [JK06, S. 46].

2.6 Schnittmengenmethoden

In der Abbildung 2-2 sind die Methodengebiete, die darin enthaltenen Methoden und die Methoden, die in der Schnittmenge der Methodengebiete liegen, dargestellt. Die Relevanz der Methodengebiete Zukunftsforschung, Produktentwicklung und Nachhaltigkeitsbewertung zur Erreichung der in Kapitel 1.2 definierten Ziele wurde in Kapitel 2.2 erläutert. Die Betrachtung der Methoden in der Schnittmenge der Methodengebiete ist für die Methodenentwicklung besonders wichtig, da sie Aspekte von zwei, bereits alleine stehend relevanten, Methodengebieten vereinen.

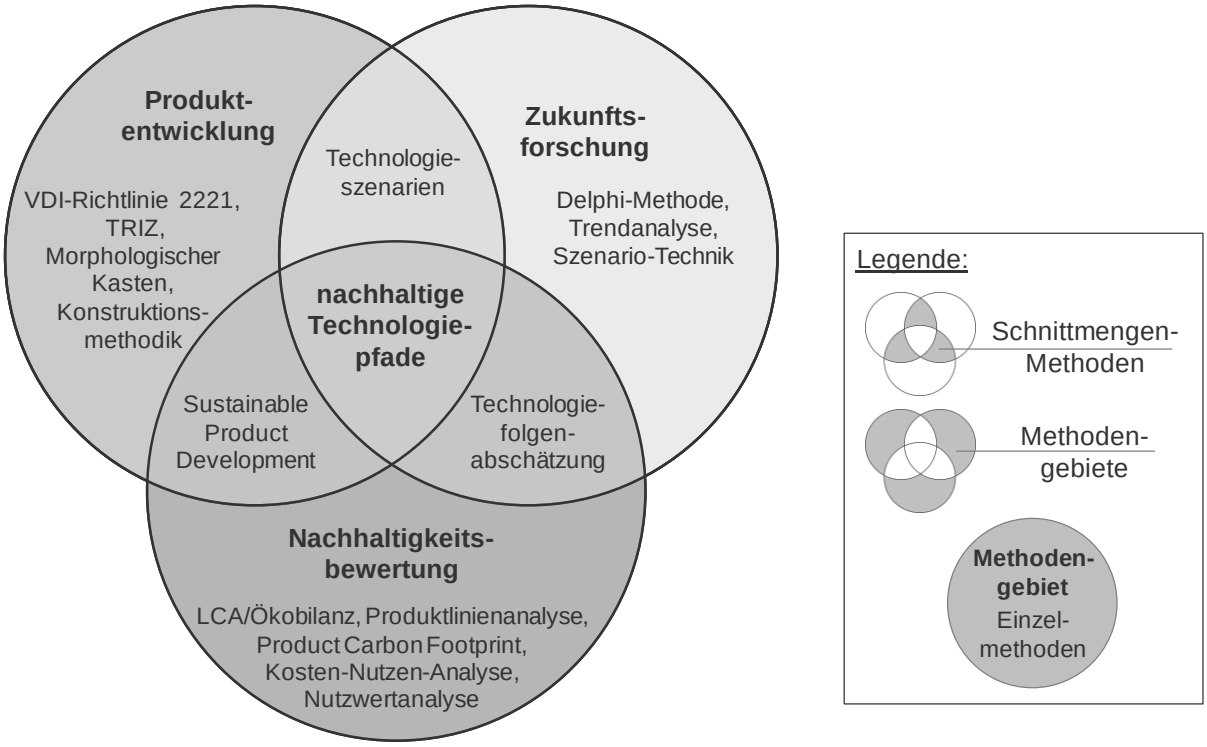


Abbildung 2-2: Überblick Methoden nach Methodengebieten und deren Schnittmengen

Bei den folgenden Beschreibungen der Schnittmengenmethoden (Kapitel 2.6.1, 2.6.2 und 2.6.3) wird der Zusammenhang zu den jeweils zwei Methodengebieten, denen diese zuzuordnen sind, erläutert.

2.6.1 Technologieszenarien

Die Begriffe Technologieszenarien und Produktszenarien werden in der Literatur häufig synonym verwendet. Nach POORVASH beziehen sich Produktszenarien auf ein bestimmtes Produkt beziehungsweise eine Produktgruppe und deren Entwicklungsmöglichkeiten, um Visionen künftiger Produkte zu entwickeln [Schl00, S. 27 f.]; [Poo10, S. 27]. Technologieszenarien werden im Technologiemanagement zur Technologiepotential-bewertung eingesetzt [Fink99, S. 24]. Es kann bestimmt werden, welche Technologien in Marktleistungen umgesetzt werden können [Schl00, S. 33]; [Poo10, S. 28].

Auch bei synonymer Verwendung der Begriffe Produkt- und Technologieszenario, können diese aber beide in einem engeren und weiteren Begriffsverständnis interpretiert werden. Die engere und weitere Sichtweise ist im Wesentlichen davon abhängig, ob auch externe Faktoren oder nur interne Lenkungsgrößen berücksichtigt werden.

Produkt-/Technologieszenarien können sich im ***engeren Begriffsverständnis*** auf die Kombination von Technologien/Produktkomponenten im Sinne technischer Verträglichkeit beschränken. Es handelt sich somit um Szenarien, die ausschließlich ***interne Lenkungsgrößen*** berücksichtigen – also um ***Gestaltungsfeldszenarien*** (siehe Kapitel 2.3.3). Unterscheidet man genau entsprechend der Begriffe, behandeln Technologieszenarien die Kombination der Prinzipien und nicht wie die Produktszenarien die Kombination von Artefakten. In der Realität verschwimmt die Unterteilung zwischen Produktkomponenten als Artefakte und deren Technologien.

Die Bestimmung von Entwicklungsmöglichkeiten eines Produktes oder von Technologiepotentialen kann als ***weiteres Begriffsverständnis*** von Produkt- und Technologieszenarien betrachtet werden, da hierzu die Kombination von Umfeld- und Produkt-/Technologieszenarien erforderlich ist. Um beispielsweise Marktpotentiale ermitteln zu können, müssen neben ***internen Lenkungsgrößen*** auch ***externe Faktoren*** berücksichtigt werden [GPW09, S. 62]. Produkt-/Technologieszenarien im engeren Begriffsverständnis müssen also mit Umfeldszenarien kombiniert – also interne Lenkungsgrößen mit externen Faktoren gemischt werden. Somit handelt es sich um ***Systemszenarien*** (siehe Kapitel 2.3.3) [Bri10, S. 60].

Da Technologie-/Produktszenarien auch im weiteren Begriffsverständnis, Technologie-/ Produktszenarien im engeren Begriffsverständis enthalten, kann das engere Begriffsverständis als Gemeinsamkeit festgehalten werden. Das bedeutet, dass immer eine Konsistenzmatrix zugrunde liegt, in der die Verträglichkeit von Technologien oder Artefakten bewertet wird, um daraus konsistente Technologie- oder Artefakt-Kombinationen bilden zu können. Beispiele für Konsistenzmatrizen, aus denen auch deren Grundprinzip hervorgeht, werden in Kapitel 5.2.5 in Abbildung 5-7 und in Kapitel 5.3.6 in Abbildung 5-14 dargestellt. Die Konsistenzmatrix entspricht weitgehend dem Prinzip des Morphologischen Kastens zur Lösungskombination nach PAHL/BEITZ beziehungsweise ZWICKY [PBFG07, S. 156 ff.]; [Zwi66, S. 117]. Hier wird zunächst das Gesamtproblem durch Ermittlung der Teilfunktionen in Teilprobleme untergliedert. Jeder Teilfunktion werden mehrere Lösungen zugeordnet und diese Teillösungen kombiniert [PBFG07, S. 156]. Dieses Vorgehen des methodischen Konstruierens ist der Produktentwicklung zuzuordnen, wogegen die Szenario-Technik eine Methode der Zukunftsforschung darstellt. Die Methode zur Erstellung von Technologie- und Produktszenarien befindet sich also in der Schnittmenge zwischen Produktentwicklung und Zukunftsforschung.

In der vorliegenden Arbeit wird das engere Begriffsverständnis von Technologie- und Produktszenarien sowie ausschließlich der Begriff Technologieszenarien verwendet.

2.6.2 Technologiefolgenabschätzung

Technologiefolgenabschätzung, Technikfolgenabschätzung und Technikbewertung werden in der Literatur oft synonym verwendet. Im englischen Sprachgebrauch werden diese Begriffe als Technology Assessment bezeichnet [BT10 S. 43]; [VDI3780 S. 13]; [SLS11 S. 30]; [Bul94a S. 49]. *„Der Begriff Technology Assessment geht vermutlich auf einen Bericht des Subcommittee of Sience, Research and Development des Repräsentantenhauses des US Kongresses vom Jahre 1966 zurück, in dem ein Frühwarnsystem zur Entdeckung negativer und positiver Folgewirkungen von Technologien erhoben wurde."* Daraufhin wurde 1972 das Office of Technology Assessment (OTA) gegründet [Kow02, S.20]. Nach BULLINGER und SPATH, LINDER, SEIDENSTRICKER beschäftigt sich Technologiefolgenabschätzung mit den gesellschaftlichen Auswirkungen einer Technologie und technologischen Entwicklungen auf soziale, umweltbezogene und ökonomische Fragestellungen [SLS11 S. 30]; [Bul94a S. 49].

Nach BULLINGER gliedert sich Technologiefolgenabschätzung in drei Teilprozesse. Durch den ersten Prozessschritt (Beobachtung und Prognose) sollen technisch-organisatorische Entwicklungslinien vorausgesehen werden. Den zweiten Prozessschritt stellt die Technikpotentialabschätzung dar. Den dritten Prozessschritt bildet die Folgenabschätzung und -bewertung [Bul94b, S. 16]. MAI definiert die Elemente der Technologiefolgenabschätzung wie folgt und damit analog zu BULLINGER: *„Prognose, Analyse direkter und indirekter sowie zeitlich verzögerter Folgen für definierte Bereiche (z. B. Umwelt, Kultur, Arbeitswelt, Ökonomie), Bewertung dieser Folgen aufgrund definierter Kriterien und Formulierung von Optionen für politische Institutionen"* [Mai11, S. 181]. Mit einer multikriteriellen Bewertung, die soziale, umweltbezogene und ökonomische Aspekte einbezieht, spannt die Technologiefolgenabschätzung somit einen Bogen von der Zukunftsforschung (Prognose/Vorhersage) hin zur Nachhaltigkeitsbewertung.

Die Technologiefolgenabschätzung greift dabei auf verschiedene Methoden zurück, die sowohl im Bereich der Zukunftsforschung, als auch der Nachhaltigkeitsbewertung zu finden sind, beispielsweise der Szenario-Analyse (Zukunftsforschung) und der Kosten-Nutzen-Analyse (Nachhaltigkeitsbewertung) [Bul94b, S. 44 f.].

Eine Technologiefolgenabschätzung kann sowohl technologieinduziert, als auch probleminduziert erfolgen. Die technologieinduzierte Technologiefolgenabschätzung geht dabei von einer technologischen Entwicklung aus und analysiert die sich daraus ergebenden Folgen. Die probleminduzierte Technologiefolgenabschätzung sucht Strategien für aktuelle oder voraussehbare Problemstellungen im Bereich der Gesellschaft [Bul94b, S. 18].

2.6.3 Sustainable Product Development

Die Produktentwicklung stellt die Grundlage für ein neues Produkt dar. Während dieser Entwicklung werden nicht nur bereits circa 90 Prozent der zukünftigen Kosten festgelegt [VDI2235, S. 3]; [EKL07, S. 13], sondern ebenso zukünftige ökologische und soziale Auswirkungen. Es lässt sich daher sagen, dass die Nachhaltigkeit eines Produktes in allen drei Dimensionen bereits in der Entwicklungsphase maßgeblich bestimmt wird [Flei00, S. 2].

Methoden der Nachhaltigkeitsbewertung, wie zum Beispiel das Life Cycle Assessment oder die Kosten-Nutzen-Analyse, betrachten Produkte über deren gesamten Lebenszyklus. Dies ermöglicht, zum Beispiel über Diskontierung von monetären Größen, die Bewertung der Nachhaltigkeit eines Produktes an einem Stichtag vor dem Beginn des Lebenszyklus eines Produktes. Es ist also naheliegend, die Methoden der Nachhaltigkeitsbewertung in der Produktentwicklung anzuwenden. Verschiedene Entwürfe in der Entwicklung können auf diese Weise miteinander in ihrer Nachhaltigkeit verglichen werden. Für die ökonomische Dimension ist dies schon Standard, da während der Entwicklung ständig Kosten- oder Kosten-Nutzen-Analysen durchgeführt werden [EKL07, S. 5 ff.].

Die Integration der Nachhaltigkeitsbewertung in die Produktentwicklung ermöglicht es, die Nachhaltigkeit eines Entwurfes abzuschätzen und, daraus folgend, auch nachhaltige Produkte und Prozesse zu entwickeln. Eine solche nachhaltige Produktentwicklung wird auch als Sustainable Product Design bezeichnet und ist im Sinne der Abbildung 2-2 eine Schnittmenge der Produktentwicklung und der Nachhaltigkeitsbewertung. Der bedeutendste, schon in einem DIN-Fachbericht definierte [ISO14062, S. 10], und daher auch hier vorgestellte Methodenansatz des Sustainable Product Designs ist das Eco-Design.

Eco-Design (EcoDesign, Eco Design), Ökodesign [EU125, S. 16] oder auch umweltgerechte Produktentwicklung [AABR08, S. 3], sind Ansätze zur Entwicklung von über ihren gesamten Lebenszyklus ökologisch- sowie ökonomisch-nachhaltigen Produkten [AABR08, S. 4]. Die soziale Dimension wird entsprechend nur indirekt abgedeckt. Häufig wird mit Eco-Design daher die Anwendung der Methode der Ökobilanzierung in der Produktentwicklung bezeichnet [AABR08, S. 2], um Umwelteinflüsse zu ermitteln und dementsprechend Produkte zu entwickeln [AABR08, S. 2].

Die Einführung des Eco-Designs in den Entwicklungsprozess kann in vier Schritte eingeteilt werden [AABR08, S. 220]:

1. Formulierung der Ziele und Aufbau der Strategie
2. Situationsanalyse und Feststellen des Handlungsbedarfs
3. Gestalten der methodischen Unterstützung und Schaffen von Basiswissen für die Entwicklung umweltgerechter Produkte und
4. Umsetzung der Maßnahmen in den Entwicklungsprozess.

3 Handlungsbedarf

In diesem Kapitel werden zunächst allgemeine Anforderungen, Anforderungen an Methoden der Zukunftsforschung, der Produktentwicklung sowie der Nachhaltigkeitsbewertung definiert. Anschließend werden die in den Kapiteln 2.3 bis 2.6 vorgestellten Methoden anhand dieser Anforderungen bewertet. Basierend auf der Bewertung wird ein Fazit bezüglich Einsetzbarkeit der Methoden gezogen und es werden Entwicklungsbedarfe aufgezeigt.

3.1 Anforderungen

Die Anforderungen, die im Folgenden definiert werden, leiten sich aus der Zielsetzung (Kapitel 1.2) der Arbeit ab. Die Zielsetzung wird im Sinne allgemeiner Anforderungen und Anforderungen für die einzelnen Methodengebiete spezifiziert.

Allgemeine Anforderungen

A1) Variable Systemgrenzen

Um nachhaltige Technologiesysteme für unterschiedliche Entwicklungsniveaus identifizieren und entwickeln zu können, müssen Technologien auf die unterschiedlichen Bedürfnisse von Menschen treffen (siehe Kapitel 1.2). Die Systeme zur Befriedigung der Bedürfnisse sind unterschiedlich komplex und somit auf unterschiedlichem Abstraktionsniveau zu betrachten. Die Systemgrenze definiert, welche Systemelemente innerhalb des Systems betrachtet werden und welche nicht [PBFG07, S. 40]. Zum einen muss sichergestellt werden, dass nicht durch zu enge Systemgrenzen Systemelemente, die zur Befriedigung der Bedürfnisse erforderlich sind, ausgeschlossen werden. Zum anderen muss sichergestellt werden, dass das System wegen sehr weit gefasster Systemgrenzen nicht zu komplex wird. Die Systemgrenze muss somit variabel bezüglich der Bedürfnisse gehandhabt werden.

Die Beschränkung auf bestimmte Lebensweltbereiche – in diesem Fall Mobilität, Energie und Produktion – stellt eine Systemgrenze dar, die nicht für alle betrachteten Systeme sinnvoll handhabbar ist. So ist zum Beispiel aus Fahrzeugen die Informations- und Kommunikationstechnologie nicht wegzudenken. Deshalb müssen Systemelemente angrenzender Lebensweltbereiche wie Informations- und Kommunikationstechnik, Bildung, Gesundheit oder Bauen und Wohnen einbezogen werden. Die Systemgrenzen müssen also je nach betrachtetem System anpassbar sein.

A2) Berücksichtigung unterschiedlicher Entwicklungsniveaus

Das Wachstum aufstrebender Länder auf Basis vorherrschender Technologien übersteigt jedes ökonomisch, ökologisch und sozial verantwortbare Maß [Sel07, S. 1]. Die aufstrebenden Nationen wie Indien und China werden sich ihre Chancen auf materiellen Wohlstand jedoch nicht verwehren lassen [Fuc11, S. 25]. Bislang werden bei der Technologieentwicklung primär die Anforderungen der Länder mit hohem Entwicklungsniveau, die lediglich einen kleinen Teil der Weltbevölkerung stellen, berücksichtigt. Die Bedürfnisse von Menschen in Ländern mit mittlerem und niedrigem Entwicklungsniveau an Technologien unterscheiden sich erheblich [Pra06, S. 58 ff.]. Technologien, die für Länder hohen Entwicklungsniveaus entwickelt wurden, lassen sich nicht ohne Weiteres auf niedrigere Entwicklungsniveaus übertragen [JSD+08, S. 2 f.]; [Che11, S. 24 ff.]. Um nachhaltige Technologien identifizieren zu können, die tatsächlich Anwendung finden können, müssen die spezifischen Bedürfnisse unterschiedlicher Entwicklungsniveaus in Betracht gezogen werden.

A3) Externalisierung von Expertenwissen

Die Anwendung vieler Methoden erfordert ein hohes Maß an Erfahrung im Umgang mit diesen. Außerdem sehen viele Methoden die Integration von Experten vor. Das Ziel, den Lösungsraum möglichst breit aufzuspannen (siehe Kapitel 1.2), würde die Integration sehr vieler Experten in den Entwicklungsprozess erfordern. Um den Aufwand der direkten Integration zu vermeiden, sollen die Methoden Expertenwissen externalisieren – also das Wissen der Experten ohne deren Anwesenheit nutzbar machen [NT97, S. 73 ff.]. Hierzu müssen die Methoden gut strukturiert, wenig fehleranfällig und möglichst intuitiv anwendbar gestaltet sein. Ein interdisziplinäres, breites Aufspannen des Lösungsraums erfordert also eine Methode, in die Expertenwissen leicht eingebunden werden kann oder die sogar weitgehend unabhängig von Expertenwissen anwendbar ist.

Anforderung an Methoden der Zukunftsforschung

A4) Berücksichtigung der multiplen Zukunft

Zukunftsfähigkeit wird in dieser Arbeit als ein wesentlicher Bestandteil der Nachhaltigkeit interpretiert (siehe Kapitel 1.2), weshalb bezogen auf die Zukunftsforschung antizipierte Rahmenbedingungen berücksichtigt werden müssen. Je länger deren Prognosezeitraum, desto unsicherer sind Vorhersagen, zumal „*die Zukunft nicht eindeutig prognostizierbar*“ ist [GPW09, S. 56]. Ein Mittel, dieser Unsicherheit entgegen zu wirken, ist die multiple Zukunft [Fle87, S. 200], bei der mehrere Entwicklungsmöglichkeiten eines Faktors in Betracht gezogen werden.

Anforderungen an Methoden der Zukunftsforschung und Nachhaltigkeitsbewertung

A5) Quantitativ/qualitativ gemischt anwendbar

Da „*die Zukunft nicht eindeutig prognostizierbar*“ ist [GPW09, S. 56], sind in der Zukunftsforschung häufig keine quantitativen Informationen verfügbar und je nach Themenfeld auch nicht sinnvoll einsetzbar [Alc01, S. 10]; [KG08, S. 25]. In „harten“ Themengebieten der Zukunftsforschung, wie zum Beispiel Demographie und Wirtschaftsentwicklung können zwar quantifizierte Faktoren zum Einsatz kommen, aber in „weichen“ Themengebieten wie zum Beispiel Kultur und Politik, ist dies kaum möglich [VRM+03, S. 426]. Diese Themengebiete müssen über qualitative Faktoren beschrieben werden können. Zur Bewertung nachhaltiger Technologien müssen ökonomische, ökologische und soziale Kriterien herangezogen werden. Ökonomische Faktoren sind überwiegend den „harten“ Themengebieten, soziale Faktoren überwiegend den „weichen“ Themengebieten und ökologische Faktoren beiden Themengebieten zuzuordnen. Auch wenn in der Nachhaltigkeitsbewertung klassischer Weise quantitative Informationen verarbeitet werden, sind auch hier „weiche“ Faktoren erforderlich. Diese Faktoren sind häufig nicht oder nur mit enormem Aufwand und/oder unter Informationsverlust durch Äquivalentbildung quantifizierbar. Außerdem liegen über neue Technologien häufig keine belastbaren Daten zu deren Bewertung vor. Folglich müssen qualitative und quantitative Informationen gemischt in die Betrachtung einfließen können.

A6) Wählbarkeit der Perspektive

Viele Methoden der Zukunftsforschung werden schwerpunktmäßig in der strategischen Unternehmensführung eingesetzt [GPW09, S. 57]. Nachhaltigkeitsbewertung wird ebenfalls häufig aus der Perspektive von Unternehmen und/oder mit einem konkreten Produktbezug durchgeführt [Klö97, S. 223]. Ziel der Arbeit ist eine Methode zur Identifikation und Entwicklung nachhaltiger Technologiesysteme für unterschiedliche Entwicklungsniveaus. Die Methoden der Nachhaltigkeitsbewertung und Zukunftsforschung müssen also ohne Unternehmensbezug für unterschiedliche Produkte und Prozesse sowie deren Kombination anwendbar sein.

A7) Berücksichtigung ökonomischer, ökologischer und sozialer Nachhaltigkeit

Das Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit berücksichtigt, dass nachhaltige Entwicklung nur durch gleichzeitige Betrachtung ökonomischer, ökologischer und sozialer Aspekte vollzogen werden kann [Enq98]. Dieses integrative Verständnis der Nachhaltigkeit wird dieser Arbeit zugrunde gelegt und berücksichtigt, dass neben der ökonomischen auch in sozialer und ökonomischer Dimension Grenzen der Belastbarkeit bestehen [Enq98]. Methoden der Zukunftsforschung und der Nachhaltigkeitsbewertung sollten diesem integrativen Verständnis folgen und die drei Nachhaltigkeitsdimensionen abdecken.

Anforderungen an Methoden der Nachhaltigkeitsbewertung

A8) Geringer Aufwand der Bewertung

Je breiter der technische Lösungsraum aufgespannt wird, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, eine Lösung zu finden, die ein identifiziertes Bedürfnis tatsächlich befriedigt. Das breite Aufspannen des technologischen Lösungsraums setzt voraus, dass eine sehr große Anzahl an Systemelementen erfasst und bewertet werden kann. Sollen jedoch sehr viele Systemelemente bewertet werden, muss der Aufwand für die Bewertung eines Systemelementes entsprechend gering gehalten werden.

A9) Umgang mit unvollständiger Information

Nachhaltige Technologien sind zukunftsfähige Technologien [Fuc11, S. 32]. Neben etablierten Technologien müssen auch neue Technologien berücksichtigt werden. Viele neue Technologien befinden sich in frühen Stadien der Entwicklung und sind noch nicht erprobt. Entsprechend sind wenig oder keine Daten über deren Einsatz verfügbar und häufig werden diese auch aus Wettbewerbsgründen bewusst zurückgehalten. Dies führt zu einem Mangel an Informationen über entsprechende Technologien. Da auch neue Technologien identifiziert werden sollen, muss die Nachhaltigkeitsbewertung auch auf Basis unvollständiger Informationen durchführbar sein.

Anforderungen an Methoden der Produktentwicklung

A10) Interdisziplinarität

Das Denken und Handeln innerhalb fachdisziplinspezifischer Grenzen löst sich in der Gesellschaft nicht in der gleichen Geschwindigkeit auf, in der die Grenzen der Fachdisziplinen verschwimmen. Außerdem sind die Bedürfnisse von Menschen, die in dieser Arbeit mit technischen Systemen befriedigt werden sollen, nicht an Disziplingrenzen gebunden. Es ist also erforderlich, Systemelemente anhand der Bedürfnisse der Menschen interdisziplinär zu technischen Systemen zu verknüpfen [Fuc11, S. 127]. Das Konzept der Lebenswelt [Hus12] greift die unterschiedlichen Perspektiven im Sinne der Welt, die wir individuell erleben, auf (siehe Kapitel 2.1). Die in dieser Arbeit betrachteten Lebensweltbereiche Mobilität, Energie und Produktion und die Zuordnung von Systemelementen zu diesen darf keine zu starke Einschränkung dieses Konzepts darstellen. Systemelemente müssen also weiterhin Lebensweltbereich-übergreifend kombiniert werden können.

A11) Berücksichtigung künftiger Technologieentwicklungen

Basis für diese Anforderung ist erneut die Zukunftsfähigkeit von Technologien. Meistens ist es nicht ausreichend, ausschließlich etablierte Technologien in die Produktentwicklung einfließen zu lassen, wenn nachhaltige Technologien identifiziert werden sollen. Trotz großer Unsicherheit müssen auch Technologien in frühen Entwicklungsstadien integriert werden können.

A12) Strukturiertes Sammeln von Technologie/Technik

Die breite Suche und die Identifikation zukunftsfähiger Technologien/Systemelemente und deren Verknüpfung zu Systemen setzt eine strukturierte Sammlung von technischem Wissen voraus. Es müssen Suchfelder definiert werden [SSL10, S. 10] und Systemelemente beziehungsweise Systeme in einer Datenbank abgelegt werden, deren Struktur den gezielten Zugriff auf bestimmte Systemelemente zulässt [BI07, S. 65 ff.].

A13) Bilden von Technologiesystemen

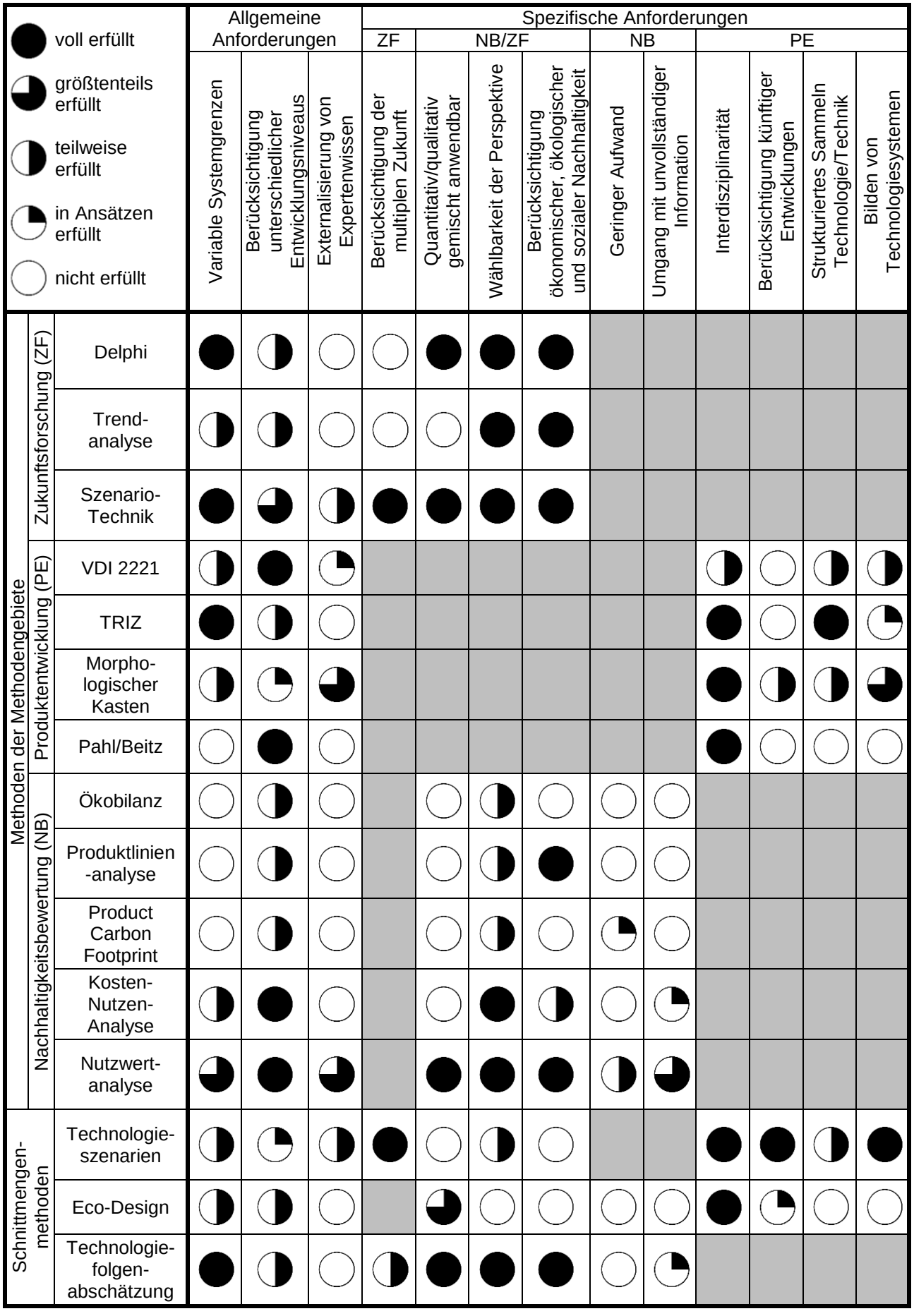
Die Datenbankstruktur muss die Kombination von Technologien und/oder Systemelementen unterstützen. Dazu müssen Technologien/Systemelemente kategorisiert werden können. Eine Beschreibung von Technologiearten über die Interdependenzen unterstützt die konsistente Kombination von Systemelementen. Die Interdependenzen von Technologien werden von GERPOTT über Komplementär- versus Substitutionstechnologien und kompatible versus inkompatible Technologien beschrieben [Ger05, S. 26].

Sollen im Sinne des breiten Öffnens des technischen Lösungsraums möglichst viele Systemelemente identifiziert und zu Systemen verknüpft werden, muss sowohl eine Systematik zum Sammeln der Systemelemente als auch zu deren Verknüpfung vorhanden sein.

3.2 Bewertung

Tabelle 3-1 zeigt die Bewertung der Methoden in den Methodengebieten Zukunftsforschung, Produktentwicklung sowie Nachhaltigkeitsbewertung. Außerdem werden die Methoden bewertet, die Schnittmengen dieser Methodengebiete darstellen. Die Anforderungen sind untergliedert in allgemeine Anforderungen, Anforderungen an Methoden der Zukunftsforschung, Anforderungen an Methoden der Produktentwicklung und Anforderungen an Methoden der Nachhaltigkeitsbewertung. Methoden eines Methodengebiets werden anhand der allgemeinen Anforderungen und anhand der Anforderungen des entsprechenden Methodengebiets bewertet. Schnittmengenmethoden werden anhand der allgemeinen Anforderungen und anhand der Anforderungen aus den beiden Gebieten, in deren Schnittmenge sie sich befinden, bewertet. Im Folgenden werden die Bewertungen erläutert und ein Fazit bezüglich der Einsetzbarkeit dieser Methoden für die zu entwickelnde Methode wird gezogen.

Tabelle 3-1: Bewertung der Methoden nach Methodengebieten



Methoden der Zukunftsforschung

Die Bewertung der Methoden der Zukunftsforschung zeigt, dass die Szenario-Technik zur Erstellung von Umfeldszenarien fast alle Anforderungen voll erfüllt.

Szenarien können über die Grenzen einzelner Lebensweltbereiche hinweg erstellt werden. Die Systemgrenzen des Untersuchungsgegenstands sind auch bei der Delphi-Methode fast über den gesamten Prozess anpassbar. Bei der Trendanalyse sind die Grenzen nur noch bedingt variabel, sobald der Untersuchungsgegenstand definiert ist. Das gilt grundsätzlich auch für die Szenario-Technik, kann aber durch den Einsatz von Sub-Szenarien aufgehoben werden. Es können nach Fertigstellung der Szenarien, weitere Szenarien für spezielle Betrachtungsbereiche – die sogenannten Sub-Szenarien – erstellt werden, die einen anderen Fokus besitzen oder die von den ursprünglichen Szenarien untersuchten Inhalte ausweiten. Die Sub-Szenarien können nachträglich mit den ursprünglichen Szenarien konsistent verknüpft werden und ermöglichen somit variable Systemgrenzen.

Unterschiedliche Entwicklungsniveaus können mithilfe der Szenario-Technik in Umfeldszenarien weitgehend berücksichtigt werden. Es können Szenarien für bestimmte Regionen, Länder oder Ländergruppen, die die unterschiedlichen Entwicklungsniveaus repräsentieren, mit spezifischen Faktoren erstellt werden. Im Vergleich zu den anderen Methoden ist das dafür erforderliche Wissen leichter zugänglich, da sowohl unterschiedliche Informationsquellen genutzt als auch qualitative und quantitative Informationen verarbeitet werden können. Außerdem ist die Methode im Einsatz für mittlere und insbesondere niedrige Entwicklungsniveaus erprobter.

Lediglich die Anforderung der Externalisierung von Expertenwissen ist bei der Szenario-Technik zur Erstellung von Umfeldszenarien nur teilweise erfüllt, da dieses in die Szenarien einfließen muss und somit Expertenmeinungen im Erstellungsprozess erforderlich sind. Das Expertenwissen ist jedoch im Vergleich zu den anderen Methoden leichter einzubinden. Zum einen ist die Methode durch ihre klare Strukturierung und Kleinschrittigkeit schnell erlernbar. Zum anderen kann der Anwender der Methode Inhalte zu den untersuchten Themengebieten über Befragungen von Experten verhältnismäßig gut einbinden, ohne dass der fachliche Experte mit der Methode der Szenario-Technik vertraut sein muss.

Im Gegensatz zur Trendanalyse und der Delphi-Methode berücksichtigen explorative Szenarien mehrere Entwicklungsmöglichkeiten der Faktoren in der Zukunft und tragen somit dem Prinzip der multiplen Zukunft Rechnung. Sowohl die Szenario-Technik als auch die Delphi-Methode ist qualitativ/quantitativ gemischt anwendbar. Alle Methoden können ohne Unternehmens- und/oder Produktbezug eingesetzt werden und ökonomische, ökologische und soziale Nachhaltigkeitsgesichtspunkte berücksichtigen.

Da die Szenario-Technik zur Erstellung von Umfeldszenarien fast alle Anforderungen voll erfüllt und gegenüber der Delphi-Methode und der Trendanalyse insbesondere hinsichtlich der Externalisierung von Expertenwissen und der Berücksichtigung der multiplen Zukunft erhebliche Vorteile aufweist, kann diese Methode als ein Baustein für die zu entwickelnde Methode direkt übernommen werden (siehe Kapitel 4.1.2).

Methoden der Produktentwicklung

Bei der Bewertung der Methoden der Produktentwicklung ergibt sich ein komplexeres Bild als bei der Bewertung der Methoden der Zukunftsforschung. Während bei den gewählten Anforderungen die VDI-Richtlinie 2221 und die Konstruktionsmethodik nach PAHL/BEITZ insgesamt eher schlecht abschneiden, erfüllt TRIZ drei Anforderungen voll, dafür aber zwei Anforderungen gar nicht und der Morphologische Kasten fast alle Anforderungen zumindest teilweise und gar keine überhaupt nicht.

Vollständig variable Systemgrenzen weist lediglich die Methode TRIZ auf. Bei der Konstruktionsmethodik nach PAHL/BEITZ werden die Systemgrenzen bereits früh definiert und sind somit nicht variabel. Bei den anderen Methoden außer bei TRIZ werden die Systemgrenzen im Laufe des Entwicklungsprozesses definiert und sind dann auch verhältnismäßig starr.

Die Berücksichtigung unterschiedlicher Entwicklungsniveaus ist nur durch die VDI-Richtlinie 2221 und Konstruktionsmethodik nach PAHL/BEITZ voll gegeben. Die VDI-Richtlinie 2221 ist so allgemeingültig gestaltet, dass sie auf jedes Entwicklungsproblem anwendbar ist, also auch auf Entwicklungsprobleme in Entwicklungs- und Schwellenländern. Die Konstruktionsmethodik nach PAHL/BEITZ berücksichtigt Anforderungen, die je nach Einsatzgebiet spezifisch gebildet werden können. Im Morphologischen Kasten sind alle technisch verträglichen Kombinationen zulässig. Eine Einschränkung auf diejenigen Kombinationen, die in dem jeweiligen Entwicklungsniveau oder Einsatzgebiet zulässig sind, ist jedoch nicht vorgesehen.

Bei den Methoden TRIZ und Konstruktionsmethodik nach PAHL/BEITZ ist Expertenwissen nur schwierig zu externalisieren. Die Anwendung der Methode TRIZ ist schwierig zu erlernen und ihr erfolgreicher Einsatz setzt jahrelange Erfahrungen im Umgang mit der Methode voraus [SLS11, S. 192]; [Oph05, S. 104]. Die Konstruktionsmethodik nach PAHL/BEITZ beschäftigt sich mit klar definierten, spezifischen Problemen, die ohne entsprechende Experten auf diesem Gebiet nicht lösbar sind. Auch die VDI-Richtlinie 2221 ist bei komplexen Entwicklungsproblemen ohne disziplinspezifisches Expertenwissen kaum anwendbar.

Die Anforderung der Interdisziplinarität wird von allen Methoden der Produktentwicklung bis auf die VDI-Richtlinie 2221 voll erfüllt. Die VDI-Richtlinie 2221 sieht Interdisziplinarität über

die Einbeziehung verschiedener Experten vor, es bleibt aber weitgehend offen, wie diese Experten ausgewählt werden sollen und wie deren Wissen in den Prozess integriert werden soll.

Die Berücksichtigung von möglichen Zukunftstechnologien gelingt lediglich mit dem Einsatz des Morphologischen Kastens und dort auch nur teilweise. Die anderen Methoden basieren darauf, dass ein technischer Widerspruch mit vorhandenen – wenn auch aus verschiedenen Disziplinen stammenden – anderen Elementen gelöst wird. Technologien, über die wenig bekannt ist und deren Potential noch nicht abgeschätzt wurde, können so kaum eingebunden werden.

Eine sehr gut strukturierte Suche und Sammlung von Technologien in mehreren Abstraktionsebenen ist innerhalb der untersuchten Methoden ausschließlich bei der Methode TRIZ vorzufinden. Das Bilden konsistenter Technologiesysteme ist beim Morphologischen Kasten weitgehend über eine Verträglichkeitsmatrix gegeben, alle anderen untersuchten Methoden erfüllen diese Anforderung schlechter.

Keine der bewerteten Methoden kann für die Entwicklung der Methode in Kapitel 4 direkt beziehungsweise ohne Modifikationen genutzt werden. Insgesamt schneidet in der Bewertung mit den hier definierten Anforderungen das Prinzip des Morphologischen Kastens am besten ab, weist aber besonders bei der Anforderung, unterschiedliche Entwicklungsniveaus zu berücksichtigen, erhebliche Schwächen auf. Die Anforderung, Technologien und Technik strukturiert zu identifizieren und zu sammeln, wird nur von der Methode TRIZ erfüllt. Grundsätzlich orientiert sich die Entwicklung der Methode im Bereich Produktentwicklung (siehe Kapitel 4.1.4) an dem Prinzip des Morphologischen Kastens, berücksichtigt aber auch das TRIZ-Prinzip zur strukturierten Suche und Sammlung von Technologien.

Bezogen auf den Morphologischen Kasten ist an dieser Stelle anzumerken, dass es sich bei Technologieszenarien im Wesentlichen um einen Morphologischen Kasten handelt. Dies wird auch in der Erläuterung der Bewertung von Technologieszenarien verdeutlicht.

Methoden der Nachhaltigkeitsbewertung

In der Bewertung der Methoden zur Nachhaltigkeitsbewertung wird deutlich, dass für den vorgesehenen Anwendungsfall die Nutzwertanalyse alle Anforderungen teilweise bis voll erfüllt.

Variable Systemgrenzen weisen nur die Nutzwertanalyse und die Kosten-Nutzen-Analyse auf. Bei der Nutzwertanalyse können ohne weiteres zusätzliche Kriterien ergänzt werden und teilweise auch das zu bewertende System erweitert werden. Bei der Kosten-Nutzen-Analyse ist das zu bewertende System relativ frei definierbar. Ist es jedoch definiert, ist das Verändern der Systemgrenzen nur unter großem Aufwand möglich. Alle anderen Methoden

beziehen sich auf ein bestimmtes Produkt und haben somit feste Systemgrenzen. Auch unterschiedliche Entwicklungsniveaus können bei diesen Methoden nur indirekt über Produkte berücksichtigt werden. In die Nutzwertanalyse und die Kosten-Nutzen-Analyse können Entwicklungsniveau-spezifische Kriterien integriert werden.

Alle betrachteten Methoden sind, abgesehen von der Nutzwertanalyse, rein quantitative Verfahren. Die Nutzwertanalyse ist quantitativ/qualitativ gemischt anwendbar. Nur die Produktlinienanalyse und die Nutzwertanalyse berücksichtigen ökonomische, ökologische und soziale Nachhaltigkeitskriterien. Bei der Kosten-Nutzen-Analyse ist dies zwar ebenfalls vorgesehen, aber externe Kosten sind häufig nicht bestimmbar und die Umrechnung externer Kosten in Äquivalente ist zudem manipulationsanfällig.

Der Aufwand bei allen Bewertungsmethoden mit Ausnahme der Nutzwertanalyse ist sehr hoch. Der hohe Aufwand ergibt sich auch daraus, dass es sich um quantitative Verfahren handelt, was mit einer umfangreichen Recherche zur Sammlung der erforderlichen Daten verbunden ist. Der Aufwand einer Nutzwertanalyse ist grundsätzlich geringer.

Der Umgang mit unvollständiger Information, der gerade bei der Bewertung von nicht erprobten Technologien erforderlich ist, kann nur durch die Nutzwertanalyse geleistet werden. Für alle anderen quantitativen Methoden sind Schätzungen, die in diesem Fall zum Einsatz kommen müssen, nicht vorgesehen.

Wegen der insgesamt guten Bewertung und insbesondere wegen der Berücksichtigung unterschiedlicher Entwicklungsniveaus, der guten Externalisierbarkeit von Expertenwissen, der quantitativ/qualitativ gemischten Anwendbarkeit, der Berücksichtigung aller drei Nachhaltigkeitsdimensionen und des geringeren Aufwands im Verhältnis zu anderen Bewertungsmethoden fließt die Nutzwertanalyse als Baustein in die Entwicklung der Methode (siehe Kapitel 4.1.3) direkt ein.

Schnittmengenmethoden

Die Methoden in der Schnittmenge zweier Methodengebiete vereinen relevante Aspekte jeweils zweier Methodengebiete und sind somit für die Entwicklung nachhaltiger Technologiepfade besonders attraktiv.

Da ***Technologieszenarien*** sich des Prinzips des Morphologischen Kastens bedienen, der wie in der Szenario-Technik einer Konsistenzanalyse unterzogen wird, wird deren Bewertung im Folgenden in Bezug zu der Bewertung der Szenario-Technik und des Morphologischen Kastens gesetzt.

Die Bewertung der allgemeinen Anforderungen variabler Systemgrenzen und die Berücksichtigung unterschiedlicher Entwicklungsniveaus entsprechen der Bewertung des Morphologischen Kastens. Die Externalisierung von Expertenwissen ist jedoch etwas

schwieriger und über die Methode selbst ist ebenfalls mehr Wissen erforderlich, da die Methode um die Konsistenzanalyse erweitert wird, deren Umsetzung Erfahrung bedarf.

Im Gegensatz zu den Umfeldszenarien sind Technologieszenarien, rein qualitativ. Dimensionierungsprobleme oder ähnliche quantitative Aspekte können kaum betrachtet werden. Die Systemgrenzen sind mit der Festlegung des zu gestaltenden Produktes nicht mehr flexibel. Durch die Festlegung auf ein Produkt wird auch die Perspektive teilweise bestimmt. Ökonomische, ökologische und soziale Nachhaltigkeitsgesichtspunkte werden bei Technologieszenarien ebenfalls nicht betrachtet, sondern nur die technische Konsistenz von Systemelementen untereinander.

Künftige Technologieentwicklungen können mithilfe von Technologieszenarien jedoch besser abgebildet werden als im Morphologischen Kasten. Besonders die konsistente Verknüpfung von Systemelementen zu Technologiesystemen ist eine Stärke der Methode gegenüber dem Morphologischen Kasten.

Wegen dieser Vorteile der Technologieszenarien gegenüber dem Morphologischen Kasten wird diese Schnittmengenmethode in die Entwicklung der Methode in Kapitel 4 einbezogen. Wegen der kaum gegebenen Berücksichtigung unterschiedlicher Entwicklungsniveaus und der nicht gegebenen Berücksichtigung ökonomischer, ökologischer und sozialer Nachhaltigkeitsaspekte bedarf es jedoch einer Modifikation dieser Methode.

Ob im ***Eco-Design*** (bedeutendster Vertreter des Sustainable Product Development) unterschiedliche Entwicklungsniveaus mithilfe von spezifischen Anforderungen berücksichtigt werden können und die Systemgrenzen über den Entwicklungsprozess variabel sind, hängt von der Entwicklungsmethode ab, mit der das Eco-Design kombiniert wird. Da die meisten Produktentwicklungsmethoden die Anforderungen variabler Systemgrenzen und Berücksichtigung unterschiedlicher Entwicklungsniveaus nur teilweise erfüllen, werden diese Anforderungen auch beim Eco-Design als teilweise erfüllt bewertet.

Wird Eco-Design in den Entwicklungsprozess integriert, ist neben dem ohnehin geforderten Expertenwissen für die Entwicklung zusätzliches Wissen über die Bewertung erforderlich. Eco-Design ist folglich stark abhängig von Expertenwissen, welches sehr schwierig zu externalisieren ist.

Eco-Design wird in der Regel als quantitatives Verfahren angewendet, kann aber theoretisch auch qualitative Vergleichsobjekte nutzen. Eco-Design ohne Unternehmens- und/oder Produktbezug durchzuführen ist hingegen schwierig. Ökonomische Faktoren werden in der Produktentwicklung, mit der das Eco-Design verknüpft wird, zwar betrachtet, aber soziale Faktoren nur in dem Ausmaß, wie sie eine Schnittmenge mit den ökologischen Faktoren bilden. Das Eco-Design isoliert betrachtet berücksichtigt ausschließlich ökologische Faktoren.

Durch den Einsatz von Eco-Design in der Produkt- oder Prozessentwicklung steigt der Aufwand. Der Umgang mit unvollständiger Information bei diesem grundsätzlich quantitativen Verfahren ist ebenfalls schwierig. Ob künftige Technologieentwicklungen berücksichtigt werden, ist wieder allein von der gewählten Entwicklungsmethode abhängig. Das Eco-Design selbst sieht dies nicht vor. Ebenso verhält es sich mit dem strukturierten Sammeln von Technologien und dem Bilden von Technologiesystemen.

Die insgesamt anhand der hier definierten Anforderungen eher schlechte Bewertung macht deutlich, dass das Eco-Design nicht in die Entwicklung der Methode einfließen sollte.

Die ***Technologiefolgenabschätzung*** ermöglicht eine interdisziplinäre Bewertung von Technologien unter weitgehend variablen Systemgrenzen. Die Berücksichtigung unterschiedlicher Entwicklungsniveaus ist dabei grundsätzlich möglich, wird aber meistens nicht durchgeführt. Ein Nachteil der Technologiefolgenabschätzung ist die große Abhängigkeit von Expertenwissen über die Technologien selbst und für die Abschätzung möglicher Folgen. Dieses Wissen ist nur sehr schwierig zu externalisieren.

Ob dem Prinzip der multiplen Zukunft Rechnung getragen wird, hängt davon ab, ob explorative Szenarien zum Einsatz kommen. Sowohl die Zukunftsforschung als auch die Abschätzung von Technologiefolgen kann quantitativ/qualitativ gemischt vollzogen werden und ökonomische, ökologische und soziale Nachhaltigkeitsgesichtspunkte berücksichtigen. Der Aufwand für die Technologiefolgenabschätzung ist verhältnismäßig hoch und es kann nur in geringem Ausmaß mit unvollständiger Information zu Technologien umgegangen werden.

Obwohl die Bewertung der Technologiefolgenabschätzung insgesamt gut ist, fließt sie nicht in die Entwicklung der Methode ein. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass die Szenario-Technik als Zukunftsforschungsmethode und die Nutzwertanalyse als Methode der Nachhaltigkeitsbewertung noch besser bewertet wurden und somit den Vorzug erhalten. Da die Technologiefolgenabschätzung die Methodengebiete Zukunftsforschung und Nachhaltigkeitsbewertung verbindet und die gute Bewertung auch auf der Annahme beruht, dass die beiden Methoden Szenario-Technik und Nutzwertanalyse verknüpft werden könnten, wäre die Einbeziehung der Technologiefolgenabschätzung in die Entwicklung der Methode redundant.

3.3 Fazit

Die vorangegangene Bewertung macht deutlich, dass die Szenario-Technik zur Erstellung von Umfeldszenarien als Methode sowie die Nutzwertanalyse als Methode der Nachhaltigkeitsbewertung wegen ihrer guten Bewertungen als Bausteine direkt in die Entwicklung der Methode einfließen können. Bei der Nutzwertanalyse handelt es sich um eine sehr stark gestaltbare Methode. Die Nutzwertanalyse stellt also nur ein grobes „Gerüst“ dar, welches es in der Entwicklung der Methode mit Inhalten zu füllen gilt.

TRIZ als Methode der Produktentwicklung erfüllt als einzige Methode die Anforderung des strukturierten Sammelns von Technologien. Dieser Aspekt aus TRIZ, aber nicht die gesamte Methode, fließt somit ebenfalls in die Entwicklung der Methode ein. Obwohl der Morphologische Kasten unter den Methoden der Produktentwicklung die insgesamt beste Bewertung erhalten hat, wird diese Methode nur indirekt über die Technologieszenarien berücksichtigt. Technologieszenarien verbinden bereits Aspekte der Szenario-Technik mit dem Morphologischen Kasten. Sie weisen insbesondere in der Berücksichtigung künftiger Technologien und in der konsistenten Bildung von Technologiesystemen gegenüber dem Morphologischen Kasten Vorteile auf und erhalten somit den Vorzug. Schwächen bestehen bei den Technologieszenarien in der Berücksichtigung unterschiedlicher Entwicklungsniveaus und in der Einbeziehung aller drei Nachhaltigkeitsdimensionen. Technologieszenarien können also nicht direkt in die Entwicklung der Methode einfließen, sondern müssen bezüglich der Erfüllung dieser Anforderungen verbessert werden.

Eco-Design fließt wegen der insgesamt schlechten Bewertung nicht in die Entwicklung der Methode ein. Technologiefolgenabschätzung wird trotz der insgesamt guten Bewertung ebenfalls nicht berücksichtigt, da die Methodengebiete Nachhaltigkeitsbewertung und Zukunftsforschung, in deren Schnittmenge sich die Technologiefolgenabschätzung befindet, bereits durch die noch besser bewerteten Methoden Szenario-Technik und Nutzwertanalyse abgedeckt sind.

Insgesamt weisen alle untersuchten Methoden Schwächen bei der Berücksichtigung unterschiedlicher Entwicklungsniveaus, bei dem Aufwand, bei dem Umgang mit unvollständiger Information und hinsichtlich der Externalisierung von Expertenwissen auf. Die zu entwickelnde Methode kann also zum einen die Szenario-Technik zur Erstellung von Umfeldszenarien und die Nutzwertanalyse sowie einzelne positive Elemente anderer Methoden einbinden. Zum anderen müssen die nur unvollständig erfüllten Anforderungen überwunden werden. Es ist also erforderlich, eine Methode zu entwickeln, die positive Aspekte aus dem Stand der Technik integriert, diese neu kombiniert und um weitere Aspekte ergänzt.

4 Grundlagen der Methode

In Abbildung 4-1 wird die Methode im Überblick dargestellt. Die wesentlichen Elemente der Methode sind der Technologiepool, die Umfeldszenarien, die Bewertung und die Systembildung. Diese Elemente werden im Folgenden kurz in ihrem Zusammenwirken und detaillierter in den Unterkapiteln 4.1.1 bis 4.1.4 erläutert. In Kapitel 4.2 werden die unterschiedlichen Ausgangspunkte und Reihenfolgen, in der die Elemente durchlaufen werden können, beschrieben – die sogenannten Pfade.

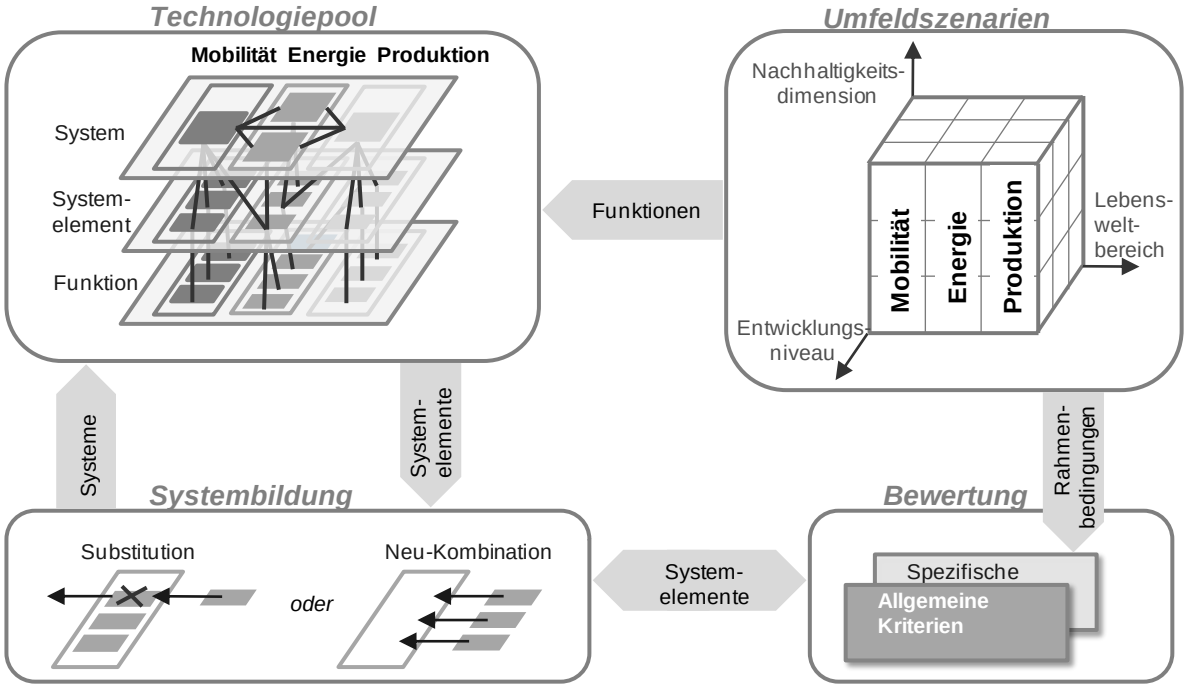


Abbildung 4-1: Methodenüberblick

Um eine strukturierte Sammlung des Technologiewissens zu gewährleisten, werden Technologien in Form von Systemelementen und Systemen der Lebensweltbereiche Mobilität, Energie und Produktion in einem Drei-Ebenen-Modell in den ***Technologiepool*** aufgenommen. Das Systemelement stellt das Artefakt dar, in dem die Technologie realisiert wird. Ein System stellt die Kombination mehrerer Systemelemente dar, wobei ein System wiederum Systemelement eines übergeordneten Systems sein kann. Ein Beispiel hierfür ist eine Anlage zur autarken Energieversorgung, die in Kapitel 5.3 als System betrachtet wird und Systemelemente wie beispielsweise einen Dampferzeuger und einen Generator enthält. Die Anlage zur autarken Energieversorgung wird hingegen in Kapitel 5.4 als Systemelement der Fabrik zur Kakaomassenherstellung betrachtet. Ein System kann im Sinne der interdisziplinären Verknüpfung aus Systemelementen unterschiedlicher Lebensweltbereiche bestehen. Die zugrundeliegenden Technologien werden im Technologiepool in der untersten Ebene über ihre Funktion beschrieben. Die Funktion ist die lösungsneutrale Beschreibung

der Systemelemente, die zur Substitution oder zur Neu-Kombination benötigt wird. Beispielsweise wird die Funktion der Anlage zur autarken Energieversorgung als „Wandlung“ definiert.

Zur Strukturierung vorhandener und zur Erstellung neuer ***Umfeldszenarien*** werden ebenfalls die Lebensweltbereiche Mobilität, Energie und Produktion sowie die Entwicklungsniveaus mittel, niedrig, hoch (siehe Tabelle 2-1) und die drei Nachhaltigkeitsdimensionen ökonomisch, ökologisch und sozial herangezogen. Die Entwicklungsniveaus werden anhand von repräsentativen Ländern – den sogenannten Referenzländern – abgebildet.

Die ***Bewertung*** von Systemelementen wird im Rahmen des Systems, dem sie zugeordnet sind, vorgenommen. Zur Bewertung werden spezifische und allgemeine Kriterien ökonomischer, ökologischer und sozialer Nachhaltigkeit herangezogen. Die allgemeinen Kriterien gelten unabhängig von ihrem Einsatzgebiet. Die spezifischen Kriterien werden aus den Rahmenbedingungen der Umfeldszenarien abgeleitet. Ergebnis der Bewertung ist eine bestimmte Anzahl problematischer Systemelemente in einem System. Als problematisch gilt ein Systemelement, wenn es einen auf 65 Prozent festgesetzten Schwellenwert in der Nachhaltigkeitsbewertung unterschreitet.

Sind nur wenige Systemelemente problematisch, können diese in der ***Systembildung*** substituiert werden. Hierzu wird im Technologiepool nach Systemelementen gesucht, die dieselbe Funktion erfüllen, sowie dieselben Inputs und Outputs besitzen. Diese werden erneut bewertet. Der Prozess aus Substitution und Bewertung wird solange iterativ vorgenommen, bis eine deutliche Verbesserung erzielt wird. Überschreitet die Anzahl der problematischen Systemelemente die Hälfte der Gesamtzahl der Systemelemente oder ist die Substitution nicht erfolgreich, werden Systeme durch Neu-Kombination von Systemelementen gebildet. Diese Neu-Kombination berücksichtigt alle im Technologiepool vorhandenen Systemelemente zur Umsetzung der Funktionen des Systems.

4.1 Elemente der Methode

Die theoretische Beschreibung der Elemente in den folgenden Unterkapiteln bezieht sich auf die Struktur der Elemente beziehungsweise auf Vorgehensmodelle zu deren Nutzung. Die Nutzung selbst und die ausgestaltete Vorgehensweise werden in der Anwendung der Methode (Kapitel 5) beschrieben.

4.1.1 Technologiepool

Um heute eingesetzte und zukünftig einsetzbare Technologien identifizieren und zu Systemen verknüpfen zu können, müssen diese im ersten Schritt strukturiert erfasst werden. Diese Aufgabe erfüllt der Technologiepool, indem technische Systeme mit ihren Systemelementen und den von ihnen erfüllten Funktionen erfasst werden. Dies geschieht, wie in Abbildung 4-2 dargestellt, in den drei Lebensweltbereichen Mobilität, Energie und Produktion. Je nach gewählter und gewünschter Betrachtungstiefe kann einerseits ein System, wie ein PKW, das mit seinen Systemelementen (Ottomotor, Aluminiumkarosserie, Tank, usw.) im Pool beschrieben ist, in einem anderen System, wie beispielweise in einem Mobilitätskonzept für Ballungsräume, als untergeordnetes Systemelement auftauchen. Andererseits kann ein Systemelement, wie beispielsweise der Ottomotor, bei detaillierterer Betrachtung auch ein System darstellen, welches wiederum Systemelemente enthält. Für die Systemelemente (Ottomotor) werden neben einer lösungsneutralen Bezeichnung der erfüllten Funktion (Wandlung) auch die jeweiligen Inputs und Outputs in Energie-, Stoff- und Signalfluss erfasst [Hub84]; [PBFG07, S. 44 ff.]. Bei einem Ottomotor sind die jeweiligen Inputs chemische Energie, Benzin und die Leistungsregelung. Die entsprechenden Outputs sind mechanische Energie, Abgase und beispielsweise die Drehzahl. Die lösungsneutrale Beschreibung der Funktion in Form einer Black-Box ermöglicht später den Abgleich mit anderen Systemelementen. Dies dient entweder der Substitution, beispielsweise dem Austausch eines Ottomotors gegen einen verbrauchsärmeren Dieselmotor, oder der Neu-Kombination. Dieses Prinzip geht zurück auf die Abstraktion der Methode TRIZ (siehe Kapitel 2.4.2) und wird auch bei der Konstruktionsmethodik nach PAHL/BEITZ (siehe Kapitel 2.4.4) basierend auf der Systemtheorie nach HUBKA (siehe Kapitel 2.1) angewandt.

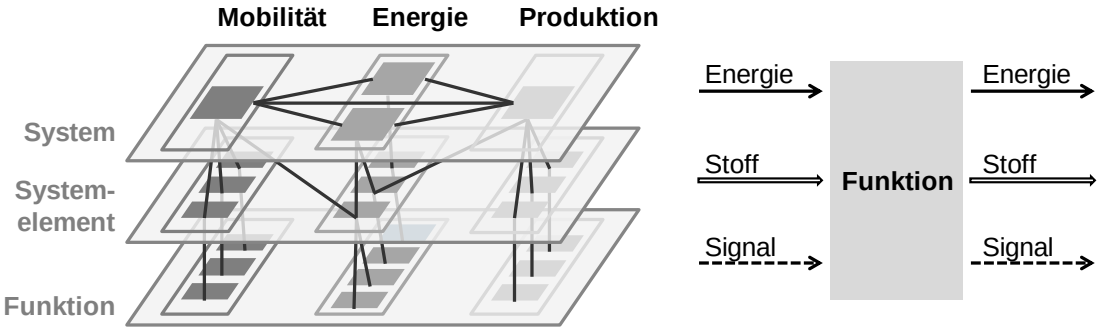


Abbildung 4-2: Ebenenmodell (links) und Input- beziehungsweise Output-Modell (rechts)

Bei der Suche nach Systemen und Systemelementen werden sowohl formelle, wie beispielsweise Monographien, Zeitschriften, Studien, Patente und das Internet, als auch informelle Informationsquellen, wie beispielsweise Expertenrunden, Konferenzen, Messen und Seminare, genutzt [Reg01, S. 251 ff.].

Bei der Umsetzung des Technologiepools wurde als Datenbankmodell das Entity-Relationship-Modell gewählt, das auf Informationsobjekten, sogenannten Entitäten (Englisch: „entities“) und den Beziehungen (Englisch: „relationships“) zwischen diesen Entitäten beruht. Eine weitverbreitete Software für Datenbanken ist das Programm „Access“ von Microsoft. Access qualifiziert sich durch seine Verfügbarkeit innerhalb des Office-Paketes und seine Einsteigerfreundlichkeit bei ausreichendem Funktionsumfang für die datenbanktechnische Umsetzung des Technologiepools.

Relationale Datenbanken nutzen Tabellen (Relationen), um Daten zu speichern. In Abbildung 4-3 sind einige Tabellen des Technologiepools und ihre Beziehungen dargestellt, um aufzuzeigen, wie die Vorgaben aus den Modellen in Abbildung 4-2 datenbanktechnisch umgesetzt werden. Grundsätzlich wird in jeder Tabelle eine Identifikationsnummer (ID) vergeben, über die sich jeder Eintrag der Tabelle eindeutig zuordnen lässt. Für das System wird neben der ID der Name des Elementes gespeichert.

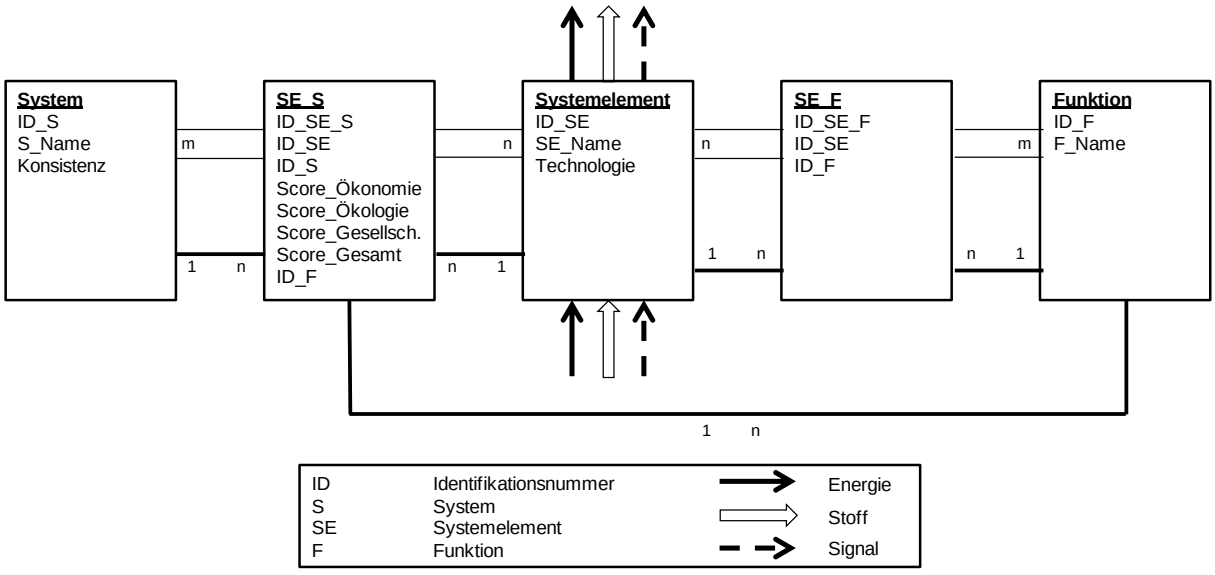


Abbildung 4-3: Wichtige Tabellen der Datenbank

In der Technologiepool-Datenbank wurde nur eine 1:n-Beziehung modelliert und durch einen Eintrag des Schlüsselattributes der einen Tabelle in einer Spalte der anderen Tabelle dargestellt. Dies ist die Beziehung zwischen den Tabellen SE_S und Funktion. Auf diese Weise wird diejenige Funktion eines Systemelements abgebildet, die es in einem spezifischen System erfüllt. Folglich enthält die Tabelle SE_S eine Spalte, in der eine Ziffer

(das Schlüsselattribut) eingetragen ist, unter der in der Tabelle Funktion der Name einer Funktion gespeichert ist.

Die Beziehung zwischen Systemelementen und Systemen wird als n:m-Beziehung umgesetzt. Diese Beziehungen werden über Verbindungstabellen dargestellt. Die Verbindungstabelle speichert unter einer fortlaufenden Identifikationsnummer die Identifikationsnummern der verknüpften Systeme und Systemelemente. In dieser Tabelle werden auch die Bewertungsscores in den Gebieten Ökonomie, Ökologie und Gesellschaft, sowie der Gesamtscore gespeichert.

Die beschriebene Umsetzung von n:m-Beziehungen wurde auch für alle Beziehungen der Tabelle Systemelement mit den Tabellen der Input- und Outputfaktoren auf den drei Ebenen sowie für die Funktionen, die ein Systemelement erfüllen kann, übernommen, wie in Abbildung 4-2 durch die drei unterschiedlichen Pfeile verdeutlicht wird.

Es wurden die folgenden Funktionalitäten in der Technologiepool-Datenbank umgesetzt:

- ein Technologiebrowser,
- eine Suche nach Systemelementen,
- die Möglichkeit, neue Systeme und Systemelemente hinzuzufügen und
- miteinander zu verknüpfen.

Der ***Technologiebrowser*** bietet die Möglichkeit, durch Lebensweltbereiche und Systeme zu „browsen“ und sich für die in den Systemen enthaltenen Systemelemente die jeweiligen Funktionen anzeigen zu lassen.

Weiterhin wurde ein Suchformular zur ***Suche nach Systemelementen*** realisiert, das es ermöglicht, durch Eingabe des Namens, der erfüllten Funktion oder eines Input- oder Outputfaktors Systemelemente zu finden. Wird nur ein einziger Output auf der Ebene Stoff eingegeben, werden alle Systemelemente angezeigt, die diesen Output aufweisen.

In den Formularen, die dem ***Hinzufügen von neuen Systemen und Systemelementen*** dienen, werden durch den Nutzer die zuvor genannten relevanten Daten eingegeben und durch Betätigen der Bestätigungstaste gespeichert. Dabei ist zu beachten, dass ohne Eingabe einer Bezeichnung das Eintragen in die Datenbank nicht erfolgt.

Die ***Verknüpfung von Systemelementen*** umfasst im Wesentlichen die Zuordnung von Systemelementen zu Systemen, zu Funktionen sowie zu In- und Outputs. Für die Zuordnung von Systemelementen zu Systemen wurde ein Formular implementiert. Die genannten Formulare dienen zur Darstellung von Informationen, die über Abfragen aus der Datenbank gewonnen werden. Diese Abfragen nutzen SQL-Codes, wobei SQL für Structured Query Language steht [Ste11, S. 268]. Für die Programmierung der Bedienflächen innerhalb der

Access-Datenbank kommt VBA (Virtual Basic for Applications), eine von Microsoft entwickelte Skriptsprache, zum Einsatz [Ste11, S. 192].

Jegliche Substitution und Neu-Kombination, die mit der Methode angestrebt wird, ist nur möglich, wenn die Systemelemente mithilfe vordefinierter Funktionen sowie deren Inputs und Outputs beschrieben werden. Folgende Funktionen werden verwendet, für die in den Lebensweltbereichen Energie und Mobilität beispielhaft ein Systemelement zur Erläuterung aufgeführt ist:

- Lebensweltbereich Energie:
    - Wandlung (z.B. Windrad) [PBFG07, S. 48, S. 248]; [Roth00, S. 82]
    - Speicherung (z.B. Wärmespeicher) [PBFG07, S. 48, S. 248]; [Roth00, S. 82]
    - Transport (z.B. Hochspannungsleitungen)
    - Schaffung baulicher Voraussetzungen (z.B. Erdbebenschutz)
    - Kühlung (z.B. Kühlturm)
    - Verringerung negativer Umwelteinflüsse (z.B. Schadstofffilter)
    - Netzanschluss und -kompatibilität schaffen (z.B. Transformator)
- Lebensweltbereich Produktion:
    - Urformen
    - Umformen
    - Trennen
    - Fügen
    - Beschichten
    - Stoffeigenschaften ändern

  [DIN8580]
    - Handhaben [VDI2860]
    - Produktionsvoraussetzungen schaffen (z.B. Werkshallen)
- Lebensweltbereich Mobilität:
    - Wandlung – Fahrzeugantrieb (z.B. Ottomotor)
    - Speicherung im Verkehrsmittel (z.B. Tank)
    - Nutzung von Restenergie (z.B. Rekuperationsbremsen)
    - Energieaufnahme (z.B. Ladestecker)
    - Tragen der Konstruktion (z.B. Aluminiumkarosserie)
- Lebensweltbereich Informations- und Kommunikationstechnik
    - Mensch-Maschine-Kommunikation (z.B. Not-Aus)

Diese Liste der Funktionen stellt eine Grundbasis dar, die beim Füllen des Technologiepools entstanden ist. Die Erstellung dieser Liste orientierte sich an der Vorgehensweise von PAHL/BEITZ [PBFG07, S. 44 ff., S. 242 ff.]. Um auch zukünftig eine sinnvolle Suche nach

Systemelementen anhand der Funktionen zu gewährleisten, sind die Funktionen jeweils stark abstrahiert. Dies entspricht unter anderem den „Allgemein anwendbaren Funktionen“ von PAHL/BEITZ [PFBG07, S. 48] sowie den „Allgemeinen Funktionen“ von ROTH [Roth00, S. 82].

Im Lebensweltbereich Energie ist dies beispielsweise die Funktion „Wandlung“ einer Energieform in eine andere, wie bei einem Windrad, das kinetische in elektrische Energie umwandelt. Die Funktionen des Lebensweltbereiches Produktion setzen sich aus den Hauptgruppen der DIN 8580 sowie der Funktion „Handhaben“ im Sinne der VDI-Richtlinie 2860 und der Funktion „Produktionsvoraussetzungen schaffen“ zusammen. Im Lebensweltbereich Mobilität gibt es ebenso wie im Lebensweltbereich Energie unter anderem die Funktionen „Wandlung“ und „Speicherung“. Allerdings werden diese Funktionen von Systemelementen in einem Verkehrsmittel erfüllt. Ein Verbrennungsmotor in einem PKW erfüllt zwar die Funktion „Wandlung“ im selben Sinne wie im Lebensweltbereich Energie, da chemische Bindungsenergie in kinetische Energie umgewandelt wird, jedoch ist es bedeutend sinnvoller dieses Systemelement dem Lebensweltbereich Mobilität zuzuordnen. Die Liste der Funktionen ist dabei nicht als vollständig zu betrachten. Mit diesen Funktionen ist es allerdings möglich, alle in dieser Arbeit enthaltenen Systemelemente zuzuordnen. Bei einer Erweiterung sollte zuvor geprüft werden, ob nicht doch eine der bisherigen Funktionen ausreichend ist. Andernfalls kann die Suche nach Systemelementen über die Funktion an Aussagekraft verlieren.

Die Granularität der Funktionen ist relativ groß. Die Systemelemente lassen sich jedoch über die Inputs und Outputs genau auslesen. Bei stark steigender Anzahl an Systemelementen und Systemen kann eine Suche zum Zwecke der Substitution oder Neukombination zu einer nicht mehr handhabbaren Anzahl von Suchergebnissen führen. Dann wird es nötig, den Satz an Funktionen feiner aufzugliedern.

Es gibt Beispiele, in denen die Substitution von Systemelementen über die lösungsneutrale Beschreibung der Funktion zumindest teilweise versagt. Ein Beispiel hierfür ist die Herstellung eines Trinkbechers. Dieser könnte unter anderem mittels Spritzgießen aus Kunststoff gefertigt werden. Systemelement hierbei wäre die Spritzgussanlage und die Funktion „Urformen“. Soll der Becher mittels eines anderen Systemelements gefertigt werden, ist es nicht ausreichend, ausschließlich nach anderen Systemelementen zu suchen, die die Funktion „Urformen“ erfüllen. Der Trinkbecher könnte auch umgeformt, getrennt oder gefügt werden. Diese Tatsache wird in dem Technologiepool durch Alternativfunktionen berücksichtigt. In einer zusätzlichen Tabelle wird Systemelement-spezifisch die Verbindung zu anderen Funktionen hergestellt.

Auch die Inputs- und Outputs müssen vereinheitlicht sein. So stehen dem Bediener beim Einpflegen eines neuen Systemelements in den Pool zunächst die schon genutzten Inputs und Outputs zur Verfügung. Eine vordefinierte Menge ist nur für die Inputs und Outputs des Lebensweltbereichs Energie möglich, wie in Tabelle 4-1 zu sehen. Für die Ebenen Signal und Stoff kann der Bediener beim Einpflegen eines neuen Systemelements zunächst auf bestehende Einträge zugreifen. Es besteht jedoch eine fast unbegrenzte Anzahl an möglichen Inputs und Outputs. Eine Klassifizierung, die die geforderte Genauigkeit für Substitution und Neukombination erfüllen würde, ist somit schwierig. Es wird dem Bediener also für die Ebenen Stoff und Signal ermöglicht, eigenständig Einträge hinzuzufügen.

Tabelle 4-1: Inputs und Outputs für den Lebensweltbereich Energie

		Output				
		mechanische Energie	**thermische Energie**	**chemische Energie**	**elektrische Energie**	**Strahlungs-Energie**
Input	**mechanische Energie**	Wasser-turbine, Windkraftrotor			Generator	
	thermische Energie	Gasturbine, Dampfturbine	Wärme-tauscher			
	chemische Energie		Dampf-erzeuger	Erdöl-raffinerie	Brennstoff-zelle	
	elektrische Energie			Wasserstoff-erzeugung		
	Strahlungs-energie		Kernreaktor, Solarkollektor		Solarzelle	

4.1.2 Umfeldszenarien

Zum einen wird die Literatur bezüglich verfügbarer Umfeldszenarien analysiert. Die Suchfelder, das Ergebnis der Suche und die resultierenden Felder, in denen Umfeld-szenarien erstellt werden müssen, werden in Kapitel 4.1.2.1 dargestellt. Zum anderen werden Umfeldszenarien in den Bereichen erstellt, in denen keine in der Literatur verfügbar sind. Das Vorgehen hierzu wird in Kapitel 4.1.2.2 beschrieben.

4.1.2.1 Recherche von Umfeldszenarien

Szenario-Studien werden in den Lebensweltbereichen Mobilität, Energie und Produktion gesucht und bezüglich der in ihnen angesprochenen ökonomischen, ökologischen und sozialen Nachhaltigkeitsdimension sowie des beschriebenen Entwicklungsniveaus eingeordnet. Für jede Szenario-Studie wird neben der Einordnung analysiert, wie hoch die Abdeckung des betrachteten Feldes und wie hoch die Relevanz dieser Szenarien für die Methode ist (siehe Abbildung 4-4 und 4-5). Die Abdeckung des Feldes beschreibt dabei, ob Teilaspekte des Lebensweltbereichs oder der gesamte Lebensweltbereich betrachtet

werden. Beispielsweise sind im Bereich Mobilität für eine volle Abdeckung des Feldes folgende Dimensionen zu berücksichtigen:

- Personen-/Güterverkehr, innerhalb des Personenverkehrs:
  - individual/öffentlicher Verkehr,
  - Reise-/Urlaubs-/Berufsverkehr,
- Nah-/Fernverkehr,
- Verkehrsweg Luft, Schiene, Straße und Wasser [NH06, S. 18ff.].

Die Relevanz eines Szenarios beschreibt in diesem Fall, in welchem Umfang die Szenarien innerhalb dieser Methode genutzt werden können. Sind die Faktoren und die Projektionen eines Szenarios beispielsweise nicht hinreichend konkret, um spezifische Kriterien für die Nachhaltigkeitsbewertung ableiten zu können, ist die Relevanz der Szenarien nur teilweise gegeben. Ebenso gelten Szenarien als teilweise Relevant in einer Nachhaltigkeitsdimension, wenn diese nur indirekt über die Faktoren und Projektionen innerhalb einer anderen Nachhaltigkeitsdimension vertreten ist.

Ein Beispiel für eine Teilabdeckung stellen die Shell PKW Szenarien dar [She09], deren Einordnung in Abbildung 4-4 dargestellt wird. Hier wird auf den individuellen Personenverkehr fokussiert und nicht die gesamte Mobilität betrachtet.

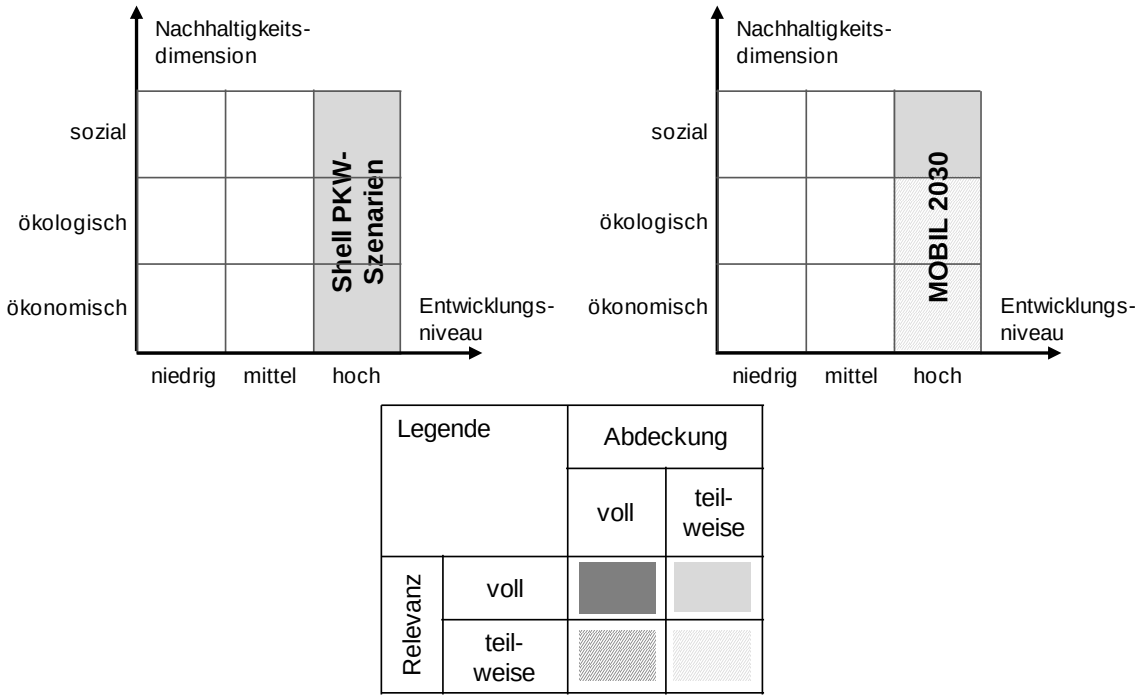


Abbildung 4-4: Einordnung der Szenario-Studien „Shell-PKW-Szenarien“ und „MOBIL 2030“ in den Lebensweltbereich Mobilität

Ein weiteres Beispiel für eine Teilabdeckung des Lebensweltbereichs Mobilität stellen die Szenarien „MOBIL 2030“ des Zentrums für Alterskulturen (ZAK) dar [ZAK12], deren

Einordnung ebenfalls in Abbildung 4-4 dargestellt wird. Hier wurden Mobilitätsszenarien mit besonderem Fokus auf Menschen, die im Jahr 2030 älter als 65 Jahre sein werden, erstellt. Außerdem sind diese Szenarien in der ökonomischen und ökologischen Dimension nur teilweise relevant. Die sozialen Faktoren erscheinen für den hier gegebenen Untersuchungsgegenstand relevant, auch wenn sie nur einen Teilaspekt der Mobilität abdecken. Ökonomische und ökologische Faktoren werden nur angerissen.

Bei der 2010 vom IFMO-Institut veröffentlichten Mobilitätsstudie „*Zukunft der Mobilität – Szenarien für das Jahr 2030*“ [IFMO10] werden sowohl die Mobilität von Personen als auch von Gütern sowie alle Verkehrsträger im Industrieland Deutschland betrachtet. Die Szenarien haben eine hohe Relevanz im Lebensweltbereich Mobilität und decken diesen auch über alle drei Nachhaltigkeitsdimensionen voll ab, da nicht nur auf Teilaspekte fokussiert wird, sondern die gesamte Mobilität betrachtet wird (siehe Abbildung 4-5).

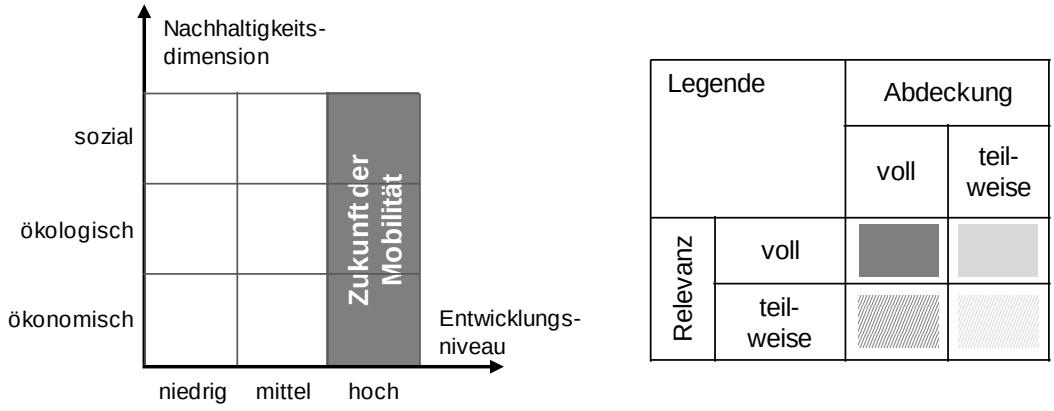
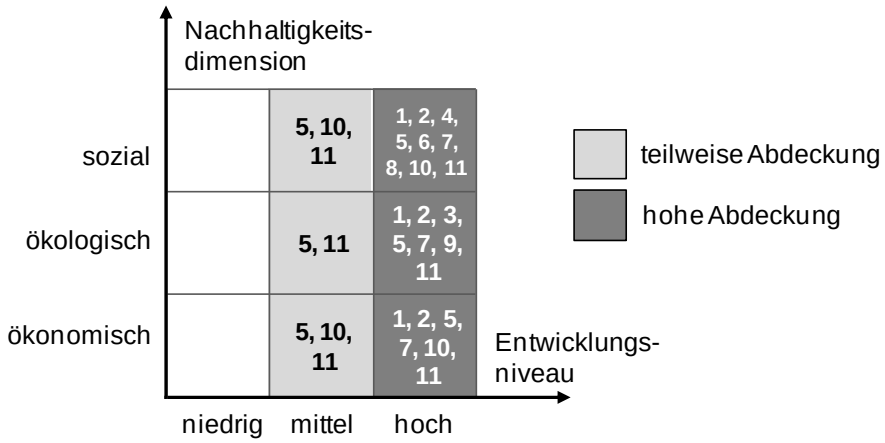


Abbildung 4-5: Einordnung der Szenario-Studie „Zukunft der Mobilität“ des IFMO-Instituts in den Lebensweltbereich Mobilität

Insgesamt wurden 30 Szenario-Studien identifiziert und analysiert: 15 im Lebensweltbereich Mobilität, 9 im Lebensweltbereich Energie und 6 im Lebensweltbereich Produktion. Alle weiteren Einordnungen der analysierten Studien, mit Angaben zur Art der Studie (explorativ/normativ), geographischer Reichweite, zeitlicher Reichweite, Anzahl der Szenarien, Fokus, Herausgeber, Kooperationspartnern und Auftraggeber, sind dem Anhang dieser Arbeit auf S. A3 ff. zu entnehmen.

Das Ergebnis der Analyse wird in den Abbildungen 4-6, 4-7 und 4-8 für die Lebenswelt-bereiche Mobilität, Energie und Produktion in zusammenfassenden Portfolios dargestellt. Bei der Zusammenfassung werden nur für die Nutzung im Kontext dieser Methode „voll relevante“ Szenario-Studien oder Bestandteile dieser berücksichtigt und bezüglich der Abdeckung des Feldes eingeordnet. Dadurch reduziert sich die Anzahl der Szenario-Studien in den zusammenfassenden Portfolios auf insgesamt 23.

Die meisten im Lebensweltbereich Mobilität analysierten Szenario-Studien beschäftigen sich mit hohen Entwicklungsniveaus (siehe Abbildung 4-6). Für mittlere Entwicklungsniveaus konnten nur wenige Studien identifiziert werden, die Teilaspekte aller drei Nachhaltigkeitsdimensionen abdecken. Für niedrige Entwicklungsniveaus konnten gar keine Studien identifiziert werden. Insgesamt ergibt sich für den Lebensweltbereich Mobilität ein Bedarf an Umfeldszenarien für mittlere, aber vor allem niedrige Entwicklungsniveaus.

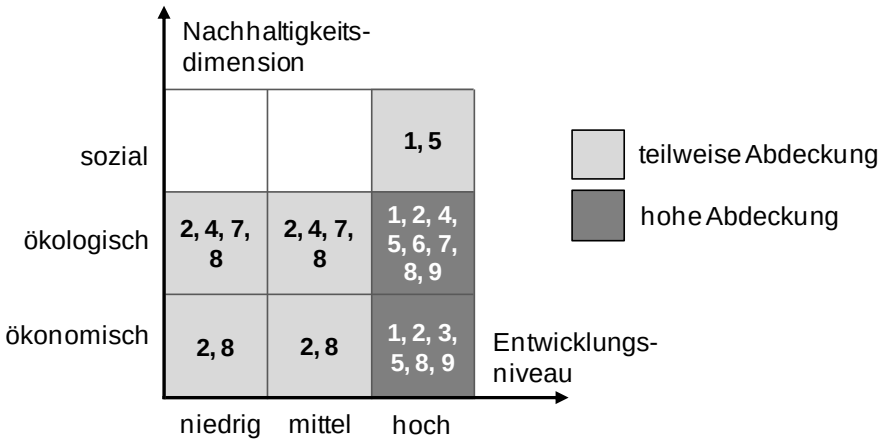


Nr.	Name	Herausgeber
1	Zukunft der Mobilität / Szenarien für das Jahr 2030 [IFMO10]	Institut für Mobilitätsforschung (IFMO)
2	Shell PKW-Szenarien bis 2030 [She09]	Shell Deutschland Oil GmbH
3	Shell LKW-Studie bis 2030 [She10]	Shell Deutschland Oil GmbH
4	Mobil 2030 [ZAK12]	Zentrum für Alternskulturen des Universität Bonn (ZAK)
5	How Europe will look like in 2050 (TRANSvisions) [Tet09]	Tetraplan
6	Frauen und Mobilität 2025 [KISD09]	Köln International School of Design (KISD)
7	Zukünftige Mobilität in deutschen Ballungsräumen 2030 [ScMI11-ol]	Scenario Management International AG (ScMI)
8	Szenarien der Mobilitätsentwicklung unter Berücksichtigung von Siedlungsstrukturen bis 2050 [BMV06]	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)
9	Renewbility II – Szenario für einen anspruchsvollen Klimaschutzbeitrag des Verkehrs [Oek12]	Öko-Institut e.V.
10	Ost-West-Güterverkehre 2030 [IFMO08]	Institut für Mobilitätsforschung
11	Trends and drivers of change in the EU transport and logistics sector: SCENARIOS [Eur08]	European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions

Abbildung 4-6: Übersicht relevanter Szenario-Studien für den Lebensweltbereich Mobilität

Im Lebensweltbereich Energie (siehe Abbildung 4-7) konnten einige Studien identifiziert werden, die für ein hohes Entwicklungsniveau die ökonomische und die ökologische

Nachhaltigkeitsdimension voll abdecken. Soziale Gesichtspunkte werden in diesen Studien nur teilweise behandelt. Für niedrige und mittlere Entwicklungsniveaus konnten lediglich Studien identifiziert werden, die eine Teilabdeckung der ökonomischen und ökologischen Nachhaltigkeitsdimension besitzen. Keine der analysierten Studien im Lebensweltbereich Energie beinhaltet die Betrachtung sozialer Faktoren in niedrigen und mittleren Entwicklungsniveaus. Insgesamt ergibt sich für den Lebensweltbereich Energie ein Bedarf an Umfeldszenarien für niedrige und mittlere Entwicklungsniveaus und an Umfeldszenarien für hohe Entwicklungsniveaus, die soziale Faktoren ausführlicher berücksichtigen.

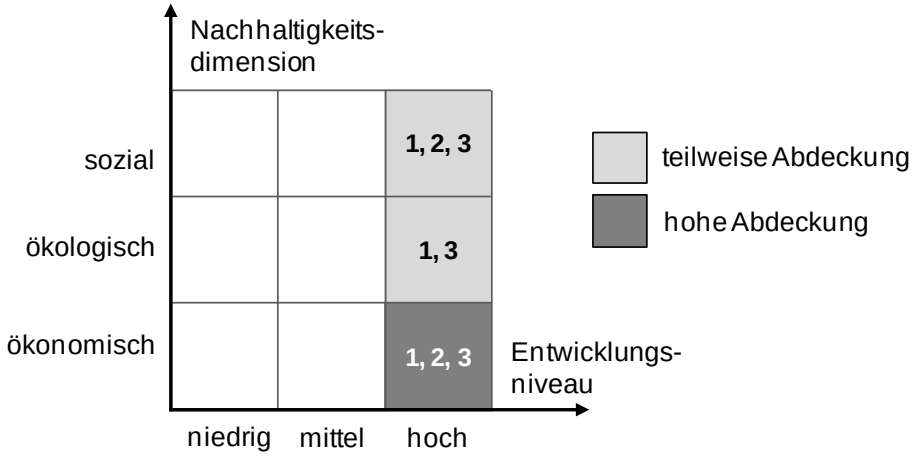


Nr.	Name	Herausgeber
1	Energiezukunft 2050 [FfE09]	Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE)
2	Shell Energy Scenarios to 2050 [She11]	Shell International BV
3	Arbeitsbericht – veränderte Laufzeiten für Kernkraftwerke [BBF+11]	Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung der Universität Stuttgart (IER)
4	Special Report on Emission Scenarios [IPCC00]	Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)
5	Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung [SLL10]	Prognos AG; Energiewirtschaftliches Institut an der Universität Köln (EWI); Gesellschaft für wirtschaftliche Strukturforschung mbH (GWS)
6	Klimaschutz: Plan B 2050 [BAV09]	Greenpeace
7	Renewable Energy Scenario to 2040 [EREC04]	European Renewable Energy Council (EREC)
8	Energietechnologische Perspektiven – Szenarien und Strategien bis 2050 [IEA10b]	International Energy Agency (IEA)
9	Leitstudie 2010 [DLR12]	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

Abbildung 4-7: Übersicht relevanter Szenario-Studien für den Lebensweltbereich Energie

Die drei relevanten analysierten Szenario-Studien im Lebensweltbereich Produktion beschäftigen sich ausschließlich mit hohen Entwicklungsniveaus und beinhalten überwiegend ökonomische Faktoren (siehe Abbildung 4-8). Es ergibt sich im Lebensweltbereich Produktion also ein Bedarf an Umfeldszenarien für hohe Entwicklungsniveaus,

die ökologische und soziale Faktoren detaillierter behandeln, sowie ein Bedarf an Umfeldszenarien für mittlere und niedrige Entwicklungsniveaus.



Nr.	Name	Herausgeber
1	Produktionsforschung 2020 [AR11]	Produktion und Fertigungstechnologien (PTKA-PFT), Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
2	Internet der Dinge in der industriellen Produktion – Mögliche Szenarien [ZAF10]	Forschungsinstitut Betriebliche Bildung GmbH
3	Manufacturing 2025 – Five future scenarios for Danish manufacturing companies [JMJV10]	Center for Industrial Production and Department of Mechanical and Manufacturing Engineering, Aalborg University

Abbildung 4-8: Übersicht relevanter Szenario-Studien für den Lebensweltbereich Produktion

Aus den zusammenfassenden Portfolios der drei Lebensweltbereiche wird ersichtlich, dass sich nur wenige Studien mit mittleren Entwicklungsniveaus und nur im Lebensweltbereich Energie Studien teilweise mit niedrigen Entwicklungsniveaus beschäftigen. Auch die soziale Dimension findet in den meisten Szenario-Studien weniger Berücksichtigung als die ökonomische und ökologische Dimension.

4.1.2.2 Erstellen von Umfeldszenarien

Die Umfeldszenarien werden ausgehend von den zuvor bestimmten Lücken für bestimmte Lebensweltbereiche und Entwicklungsniveaus erstellt, die durch Referenzländer repräsentiert werden. Diese Referenzländer lassen sich über ihren Human Development Index (HDI siehe Kapitel 2.1) in die Gruppen niedriges, mittleres und hohes Entwicklungsniveau einordnen.

Das leicht adaptierte Vorgehen nach J. GAUSEMEIER lässt sich wie in Abbildung 4-9 dargestellt neben den fünf Phasen in Meilensteine, Aufgaben beziehungsweise Methoden und Resultate untergliedern [GPW09, S. 63 ff.].

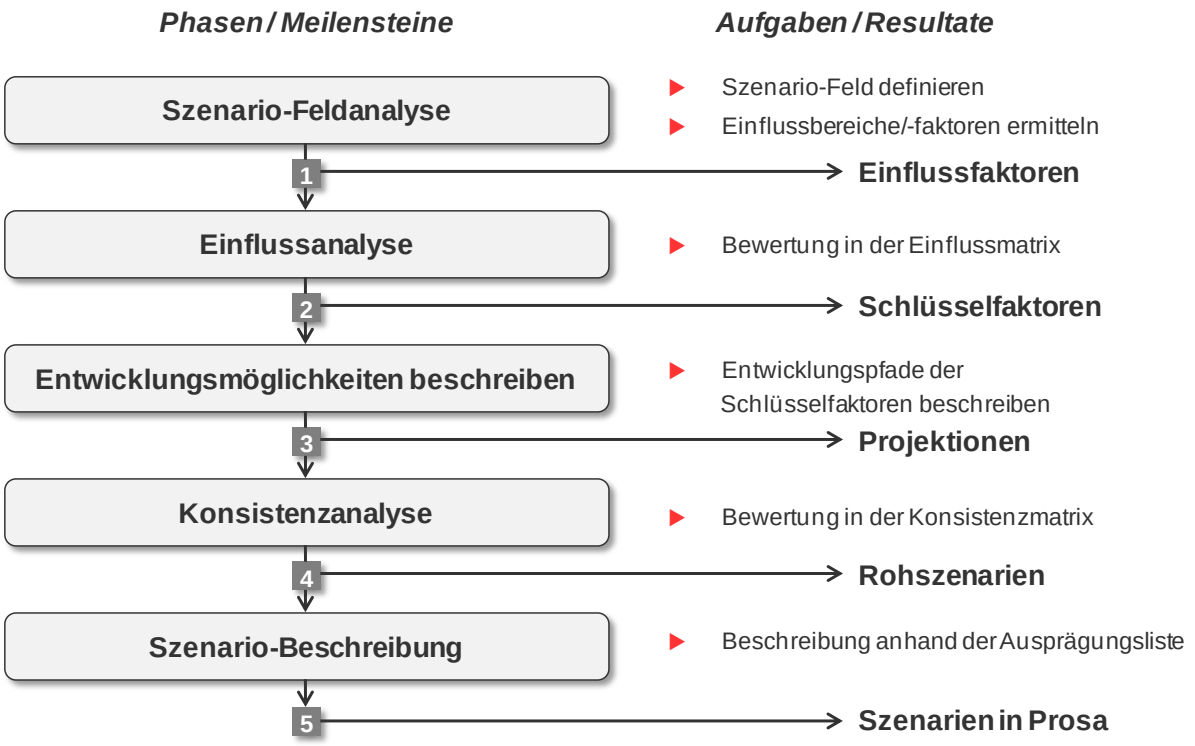


Abbildung 4-9: Phasen-Meilensteindiagramm der Umfeldszenario-Erstellung in Anlehnung an [GPW09, S. 63]

Die ***Szenario-Feldanalyse*** beinhaltet die Definition der Zielsetzung für die Erstellung von Umfeldszenarien und die Analyse des Szenario-Feldes. Basierend auf dem in dieser Zielsetzung definierten Ausgangspunkt werden Kategorien – die sogenannten Einflussbereiche – definiert, in denen Einflussfaktoren identifiziert und beschrieben werden. Die Einflussfaktoren werden in spezifische und allgemeine Faktoren unterteilt. Die spezifischen Faktoren weisen eine große thematische Nähe zu dem Ausgangspunkt auf. Die allgemeinen Faktoren, wie zum Beispiel „Wirtschaftswachstum“, können auch auf Szenarien mit unterschiedlichen Ausgangspunkten übertragen werden.

Die Anzahl der Einflussfaktoren wird in der ***Einflussanalyse***, die die Vernetzung der Faktoren untereinander abbildet, auf die Schlüsselfaktoren reduziert. Hierzu kommt eine gerichtete Matrix zum Einsatz, in der der Einfluss jedes Faktors auf alle anderen bewertet wird. Mit dieser Bewertung lässt sich die systemische Einbindung der Einflussfaktoren abbilden, da deutlich wird, wie stark der jeweilige Faktor alle anderen beeinflusst und wie stark dieser beeinflusst wird. Diese systemische Einbindung ist Grundlage für die Auswahl der Schlüsselfaktoren.

Im nächsten Schritt werden für jeden Schlüsselfaktor mehrere ***Entwicklungsmöglichkeiten*** in der Zukunft – die sogenannten Projektionen – ermittelt und beschrieben. Diese Projektionen werden in einem Katalog definiert und festgehalten. Außerdem kann jeder Projektion ein Bild zugeordnet werden.

In der ***Konsistenzanalyse*** werden die Projektionen paarweise bezüglich ihrer Konsistenz untereinander in einer Matrix bewertet. Aus dieser Bewertung werden mithilfe einer Software, die einen Cluster-Algorithmus enthält, konsistente Projektionsbündel, also Rohszenarien, gebildet. Zudem wird auf Basis der Empfehlung der Software die Anzahl der Szenarien festgelegt.

In der ***Szenario-Beschreibung*** werden die Rohszenarien anhand einer Ausprägungsliste und der hinterlegten Projektionsbeschreibungen ausformuliert. Zusätzlich können die Bilder der in einem Szenario vorkommenden Projektionen je nach Stärke der Ausprägungen kombiniert werden. Ergebnis sind die Szenarien in Prosa sowie optional die Szenarien in Bildform.

Aus den Szenarien werden immer für das jeweilige Szenario spezifische Bewertungskriterien abgeleitet. Hiermit soll sichergestellt werden, dass Systeme gebildet werden, die den jeweiligen antizipierten Gegebenheiten des betrachteten Entwicklungsniveaus entsprechen. Das Vorgehen hierzu wird im nächsten Kapitel beschrieben.

Im probleminduzierten Pfad (siehe Kapitel 4.2.3) werden außerdem Anwendungsfelder und Anwendungsfälle aus den Szenarien abgeleitet. Für die Anwendungsfälle werden dann die zu deren Umsetzung erforderlichen Funktionen definiert. Beispiele hierfür werden in den Kapiteln 5.3.1 und 5.4.1 beschrieben.

4.1.3 Bewertung

Die Bewertung von Systemelementen wird anhand von allgemeinen und spezifischen Kriterien vorgenommen. Zur Ermittlung der ***allgemeinen Kriterien*** wurden in einem Workshop in den drei Bereichen Ökonomie, Ökologie und Gesellschaft zunächst Kriterien gesammelt und anschließend aggregiert. Der Bereich Ökonomie umfasste 20 Kriterien, die zu den fünf Kriterien Total Cost of Ownership (TCO), Zuverlässigkeit, Flexibilität, Wirkungsgrad und Energieverbrauch aggregiert wurden. Der Bereich Ökologie beinhaltete ebenfalls 20 Kriterien, die zu den vier Kriterien Treibhausgasemissionen, Recycling, Ressourcenverbrauch und Schadstoffemission zusammengefasst wurden. Die 19 sozialen Kriterien lassen sich auf das Kriterium Gefährdung reduzieren, da viele der identifizierten sozialen Kriterien sich nicht zur Bewertung technischer Systemelemente eignen. Beispielsweise lässt sich ein Draht als Systemelement nicht bezüglich seiner Qualifikationsförderlichkeit bewerten. Die resultierenden zehn allgemeinen Kriterien sowie deren Kurzdefinition und Gewichtung sind in Tabelle 4-2 im Überblick dargestellt.

Tabelle 4-2: Allgemeine Kriterien und ihre Gewichtungen

Nachhaltigk.-dimension	**Nachhaltigkeits-kriterium**	**Gewich-tung [%]**	**Kurzdefinition**
Ökonomie 50%	Total Cost of Ownership	28,57	Anschaffungskosten und Kosten für Betrieb, Reparatur und Wartung
	Zuverlässigkeit	14,29	Funktionszuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Sicherheit, Instandhaltbarkeit [VDI 4003]
	Flexibilität	14,29	Anpassungsfähigkeit
	Wirkungsgrad/ Produktivität	14,29	Verhältnis Nutzleistung zu zugeführter Leistung/Verhältnis Output zu Input
	Energieverbrauch	28,57	Für die Erfüllung der Funktion am Energiemarkt nachgefragte Menge
Ökologie 25%	Treibhausgas-emissionen	25,00	Niedriger durch das Systemelement verursachter Ausstoß an Kohlenstoffdioxid (CO2), Methan (CH4), Distickstoffmonoxid (Lachgas, N2O), Fluorkohlenwasserstoffe und Schwefelhexafluorid (SF6)
	Recycling	25,00	Recyclebarkeit des Systemelements beziehungsweise seiner Komponenten
	Ressourcenverbrauch	25,00	Anteil nachwachsender Rohstoffe und geringe Gesamtmenge erforderlicher Ressourcen (ohne Energie)
	Schadstoffemissionen	25,00	Verringerung giftiger, gesundheitsschädlicher oder umweltgefährdender chemischer Stoffe
Gesellschaft 25%	Gefährdung	100,00	Verringerung physische und psychische Belastung und Unfallrisiko
	Summe	3x100	
Skala: Erfüllungsgrad des Nachhaltigkeitskriteriums			5: sehr hoch/sehr gut 4: hoch/gut 3: mittel 2: niedrig/schlecht 1: sehr niedrig/sehr schlecht

Die Kriterien dienen der Bewertung von Systemelementen im Rahmen des Systems ohne Berücksichtigung des Herstellungsprozesses, wenn dieser nicht unmittelbar Fokus der Bewertung ist. Folgendes Beispiel soll veranschaulichen, warum die Systemelemente nicht losgelöst von dem System, indem sie enthalten sind, bewertet werden können: Wird ein Tank bezüglich seiner Sicherheit bewertet, ist es entscheidend, ob der Tank sich im stationären Betrieb befindet oder in einem Fahrzeug verbaut ist. Der Wirkungsgrad eines Dampferzeugers kann ebenfalls nicht ohne die Berücksichtigung des Systems, indem er enthalten ist, vorgenommen werden. Soll mit einem Dampferzeuger elektrische Energie erzeugt werden, sind mindestens zwei weitere Wandlungsschritte erforderlich. Der Dampferzeuger selbst wandelt chemische Bindungsenergie in thermische Energie, eine Dampfturbine die thermische in mechanische Energie und ein Generator die mechanische in elektrische Energie. Wird der Wirkungsgrad dieser Systemelemente isoliert betrachtet,

bleiben die Wandlungsverluste unberücksichtigt. Dies würde zu einer Bewertung des Wirkungsgrads führen, die die Realität nur unzureichend abbildet.

Die Beschränkung auf lediglich zehn allgemeine und einfache Kriterien ist der Tatsache geschuldet, dass eine sehr große Anzahl von unterschiedlichen Systemelementen, über die teilweise nur sehr unvollständige Informationen vorliegen, bewertet werden soll. Die Anzahl der Kriterien und die Kriterien selbst wurden also so gewählt, dass sie, mit geringem Aufwand universell und qualitativ in der Bewertung einsetzbar sind.

Die Gewichtung des Bereichs Ökonomie beträgt 50 Prozent statt gleichberechtigten 33 Prozent, da die Kriterien Wirkungsgrad/Produktivität und Energieverbrauch ebenfalls ökologische Komponenten enthalten und der Bereich Gesellschaft nur ein Kriterium beinhaltet. Innerhalb des Bereichs Ökonomie werden dem stark aggregierten Kriterium TCO und dem Energieverbrauch mit doppelter Gewichtung besondere Bedeutungen eingeräumt.

Um Entwicklungsniveau-spezifische Gegebenheiten als Rahmenbedingungen in die Identifikation und Entwicklung nachhaltiger Technologiesysteme einfließen lassen zu können und dem Prinzip der multiplen Zukunft Rechnung zu tragen, werden die ***spezifischen Kriterien*** aus Rahmenbedingungen der Umfeldszenarien abgeleitet. Beispiele hierfür sind in den Kapiteln 5.1.3, 5.2.4, 5.3.5 und 5.4.3 dargestellt. Diese Kriterien sind bezüglich des betrachteten Referenzlandes, hinsichtlich des betrachteten Lebensweltbereichs und bezüglich der sich ergebenden Umfeldszenarien spezifisch. Spezifische Kriterien können allgemeine Kriterien verstärken (doppelte Gewichtung) oder abschwächen (halbe Gewichtung), aber auch ergänzen (zusätzliche Kriterien). Sie setzen sich also, wie in Abbildung 4-10 dargestellt, aus modifizierten allgemeinen und zusätzlichen Kriterien zusammen.

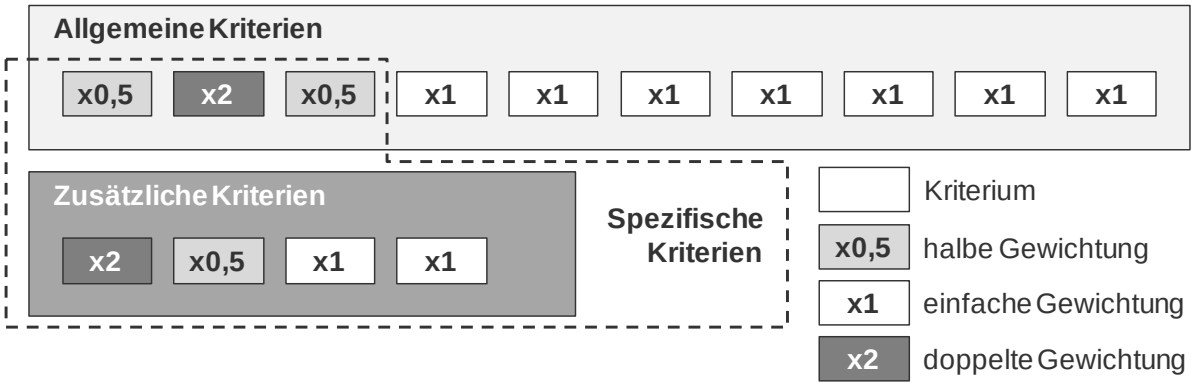


Abbildung 4-10: Prinzip der Bildung spezifischer Kriterien für ein Szenario

Die Gewichtung der spezifischen Kriterien wird je nach Anwendungsfall individuell festgelegt.

4.1.4 Systembildung

Im Folgenden wird dargestellt, wie Technologiesysteme unter Berücksichtigung Entwicklungsniveau-spezifischer antizipierter Rahmenbedingungen und der drei Nachhaltigkeitsdimensionen gebildet werden.

Basierend auf der Anzahl der in der Bewertung als problematisch identifizierten Systemelemente werden einzelne Systemelemente substituiert oder neue Systeme gebildet. Als problematisch gilt ein Systemelement, wenn es einen hier festgelegten Gesamtscore von 65 Prozent unterschreitet. Der Gesamtscore ergibt sich dabei aus den addierten gewichteten Bewertungen der drei Nachhaltigkeitsdimensionen. Der Schwellenwert für den Gesamtscore wurde so festgesetzt, dass 17 der 68 Systemelemente (25 Prozent), die in den Anwendungsbeispielen in Kapitel 5 benannt werden, diesen unterschreiten. Die Nachhaltigkeitsbewertung der 12 Systemelemente, die den Gesamtscore knapp unter- beziehungsweise überschreiten wurden noch einmal inhaltlich überprüft. Wenn weniger als die Hälfte aller im System enthaltenen Systemelemente anhand des Gesamtscores als problematisch eingestuft werden, werden diese durch andere Systemelemente aus dem Technologiepool ersetzt, die die gleiche Funktion erfüllen und die gleichen Inputs und Outputs besitzen. Diese neu eingesetzten Systemelemente werden erneut bewertet. Das iterative Verfahren wird so lange durchgeführt, bis eine erhebliche Verbesserung des Gesamtscores erzielt wurde. Beispiele für die Systembildung durch Substitution werden in den Anwendungsbeispielen 1 und 4 in den Kapiteln 5.1.4 beziehungsweise 5.4.4 dargestellt.

Wenn die Substitution versagt, mehr als die Hälfte der in dem System enthaltenen Systemelemente als problematisch eingestuft werden oder unabhängig von der Bewertung neue Systemelemente gesucht werden, kommt die Neu-Kombination zum Einsatz. Hierbei werden neue Systeme mithilfe von Technologieszenarien gebildet. Der Aufwand für die Substitution der Hälfte der Systemelemente ist nahezu so groß wie die Neu-Kombination von Systemelementen zu einem System. Durch Neu-Kombination sind jedoch bessere Ergebnisse zu erwarten, weil mehr Systemelemente betrachtet werden können.

Abbildung 4-11 stellt das Vorgehen zur Neu-Kombination durch Bildung von Technologieszenarien anhand eines Phasen-Meilenstein-Diagramms dar und wird im Folgenden kurz beschrieben. In Kapitel 5.2.5 und 5.3.6 wird das Vorgehen anhand der Anwendungsbeispiele 2 und 3 gezeigt und detailliert beschrieben.

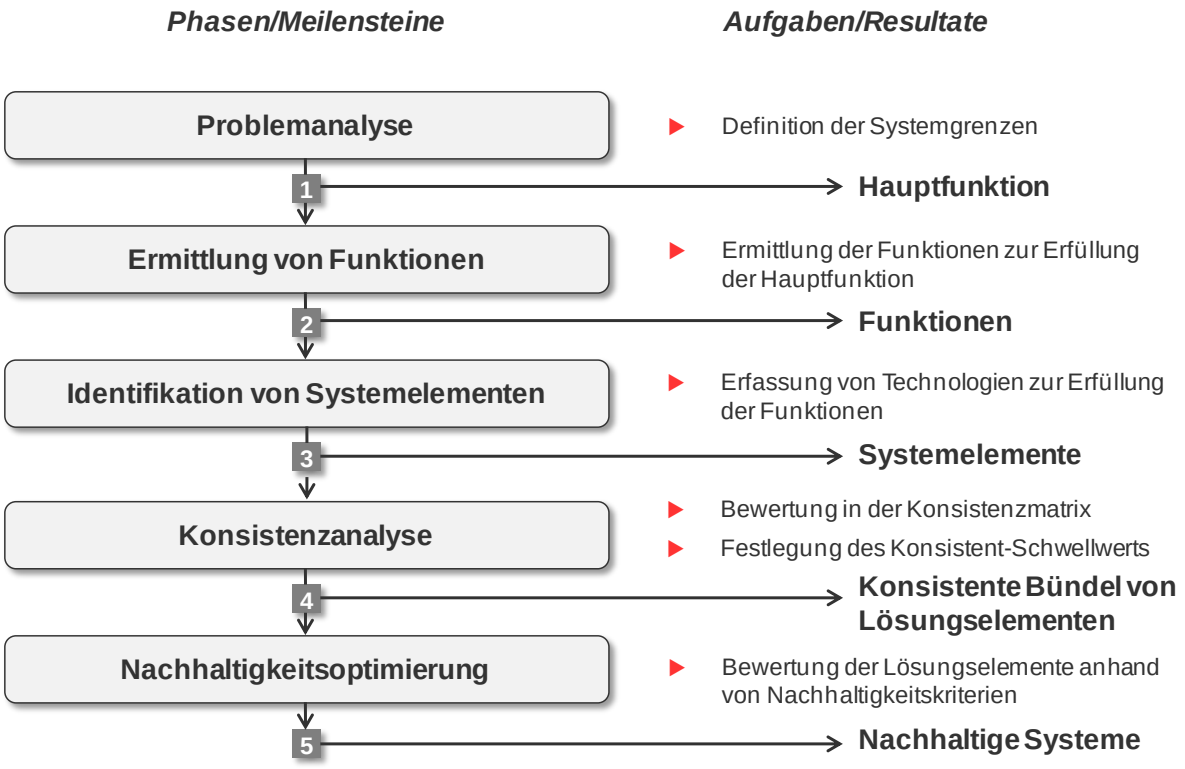


Abbildung 4-11: Phasen-Meilensteindiagramm der Technologieszenario-Erstellung

In der ersten Phase werden die Systemgrenzen festgelegt und die übergeordnete Funktion (Hauptfunktion) ermittelt. Die Hauptfunktion wird in der nächsten Phase im Sinne einer Funktionshierarchie in die Unterfunktionen aufgeteilt. Diese müssen nicht zwingend alle zur Umsetzung der Hauptfunktion erforderlichen Funktionen umfassen. Häufig ist es ausreichend, diejenigen Funktionen zu benennen, die ein System maßgeblich charakterisieren. Die betrachteten Funktionen bleiben entsprechend den in Kapitel 4.1.1 beschriebenen Funktionen verhältnismäßig generisch und werden nicht weiter aufgegliedert, um den Lösungsraum nicht zu weit einzuschränken.

In der folgenden Phase werden den Funktionen alle möglichen Systemelemente zu deren Umsetzung über eine Suche im Technologiepool zugeordnet. Diese Zuordnung entspricht dem Prinzip eines Morphologischen Kastens. Befinden sich zur Umsetzung einer Funktion keine oder zu wenig alternative Systemelemente im Technologiepool, werden diese recherchiert und in den Technologiepool aufgenommen. Anschließend werden die Systemelemente in einer Konsistenzmatrix paarweise bezüglich ihrer technischen Konsistenz untereinander bewertet. Basierend darauf, werden alle Tupel von Systemelementen gebildet, die nicht eine vollständige Inkonsistenz enthalten, und diejenigen Tupel ausgewählt, die einen fallbasierten Schwellenwert für die Konsistenz überschreiten. Ein Beispiel hierfür wird in Abbildung 4-12 dargestellt und im Folgenden beschrieben.

Bewertungsmaßstab: 1 = totale Inkonsistenz 2 = partielle Inkonsistenz 3 = unabhängig 4 = Konsistenz 5 = hohe Konsistenz		Funktion **1**		Funktion **2**		Funktion **3**	
		A	**B**	**A**	**B**	**A**	**B**
Funktion **1**	Systemelement **A**						
	Systemelement **B**						
Funktion **2**	Systemelement **A**	1	5				
	Systemelement **B**	2	4				
Funktion **3**	Systemelement **A**	5	2	3	3		
	Systemelement **B**	2	4	3	3		

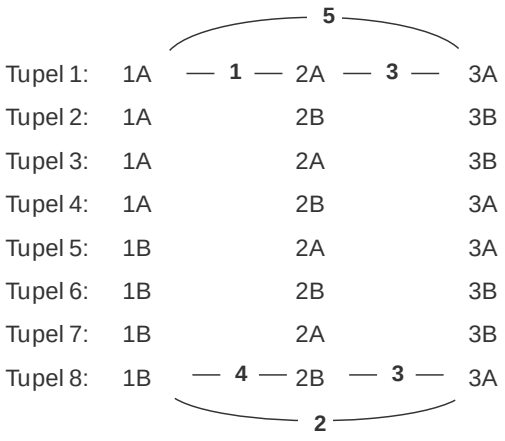


Abbildung 4-12: Beispielhafte Konsistenzmatrix (links) und Tupel von Systemelementen (rechts)

In diesem Beispiel wird das System über drei Funktionen beschrieben, denen jeweils zwei Systemelemente zu deren Umsetzung zugeordnet werden. Die technische Konsistenz der Systemelemente wird in der Konsistenzmatrix auf einer Skala von 1 bis 5 bewertet (linke Seite Abbildung 4-12). Daraus ergeben sich, wie auf der rechten Seite der Abbildung 4-12 dargestellt, acht mögliche Tupel. Die zwei Tupel 1 und 3 werden von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen, da diese die total inkonsistente Kombination 1A und 2A enthalten. Für die verbleibenden sechs Tupel wird die Summe der paarweisen Konsistenzwerte gebildet. Für das Tupel 8 beträgt der Konsistenzwert zum Beispiel 4+3+2=9. Wird in diesem Fall von einem Schwellenwert von mindestens 10 für die Konsistenz ausgegangen, werden in der letzten Phase die Tupel 4, 5, 6 und 7 betrachtet.

In der letzten Phase werden unter den konsistenten Tupeln diejenigen identifiziert, die bezüglich der ökonomischen, ökologischen und sozialen Dimension ein Pareto-Optimum aufweisen. Die Bewertung anhand allgemeiner und für das jeweilige Umfeld spezifischer Kriterien wurde in Kapitel 4.1.3 beschrieben. Ein Pareto-Optimum ist die Menge aller Zustände, in denen es nicht möglich ist, eine Eigenschaft zu verbessern, ohne zugleich eine andere verschlechtern zu müssen. Bezogen auf das oben aufgeführte Beispiel fließen die Bewertungen in ökonomischer, ökologischer und sozialer Dimension der Tupel 4, 5, 6 und 7 wie in der folgenden Tabelle dargestellt in die Betrachtung ein.

Tabelle 4-3: Beispielhaftes Ergebnis der Nachhaltigkeitsbewertung

	Nachhaltigkeitsdimension		
	Ökonomie	Ökologie	Gesellschaft
Tupel 4	2	1	1
Tupel 5	3	2	2
Tupel 6	4	4	3
Tupel 7	3	3	4

Ziel ist die Maximierung der Nachhaltigkeitswerte. Das Tupel 4 ist nicht Pareto-optimal, da diesem Tupel beispielsweise Tupel 5 in allen drei Nachhaltigkeitsdimensionen überlegen ist – also in allen Dimensionen eine Verbesserung darstellt. Das Tupel 5 ist ebenfalls kein Pareto-Optimum, da zum Beispiel das Tupel 6 diesem überlegen ist. Das Tupel 6 ist Pareto-optimal, da es keine überlegene Alternative gibt, die mindestens eine besser bewertete Nachhaltigkeitsdimension, ohne eine andere schlechter bewertete Nachhaltigkeitsdimension besitzt. Auch Tupel 7 ist Pareto-optimal. Tupel 6 und Tupel 7 sind nach Pareto-Kriterium nicht vergleichbar, da der Vorzug von Tupel 7 gegenüber Tupel 6 Nachteile bezogen auf die ökonomische und ökologische Nachhaltigkeit mit sich bringt und der Vorzug von Tupel 6 gegenüber Tupel 7 Nachteile bezogen auf die soziale Nachhaltigkeit bedeuten würde.

Das Resultat dieser Vorgehensweise sind konsistente, nachhaltige Systeme. Die Implementierung der Berechnungen der Konsistenz und der Pareto-Optima in einem Programm sind nicht Bestandteil dieser Arbeit, da diese von Herrn Prof.-Dr. Ralph Borndörfer und Herrn Sebastian Schenker des Zuse-Instituts vorgenommen wurde. Die Implementierung in der Programmiersprache Python ist in Form eines Befehlseingabe-fensters anhand von Anwendungsbeispiel 3 (Kapitel 5.3) auf S. A36 des Anhangs grafisch dargestellt.

4.2 Pfade

In diesem Kapitel werden die drei idealtypischen Pfade „technologieinduzierter Pfad ausgehend vom System“, „technologieinduzierter Pfad ausgehend vom Systemelement“ und „probleminduzierter Pfad“ beschrieben. Diese Pfade bilden unterschiedliche Möglichkeiten ab, wie die Elemente der Methode durchlaufen werden können. Sie ermöglichen es, technologieinduziert technische Potentiale in nützliche Anwendungen zu überführen und probleminduziert Bedürfnisse von Menschen durch technische Potentiale nachhaltig zu befriedigen.

4.2.1 Technologieinduzierter Pfad ausgehend vom System

Ein vorhandenes System ist der Ausgangspunkt für diesen technologieinduzierten Pfad, der in Abbildung 4-13 dargestellt wird. Im ersten Schritt werden die spezifischen Kriterien aus den Rahmenbedingungen der Umfeldszenarien abgeleitet (1), um die Systemelemente des Ausgangssystems anhand der allgemeinen und spezifischen Kriterien zu bewerten. Die in der Bewertung auf Basis des erreichten Gesamtscores als problematisch identifizierten Systemelemente (3) werden durch Systemelemente ersetzt, die die gleiche Funktion erfüllen und die gleichen Inputs und Outputs in Energie-, Soff- und Signalfluss besitzen (4). Die substituierten Systemelemente werden erneut bewertet (5) und zurück gemeldet (6). Dieser Vorgang (5) (6) wird so lange iterativ durchgeführt, bis eine deutliche Verbesserung des

Scores der problematischen Systemelemente erzielt wird. Wird dies erreicht, entfallen die Schritte (7), (8) und (9) und das verbesserte System wird in den Technologiepool aufgenommen (10).

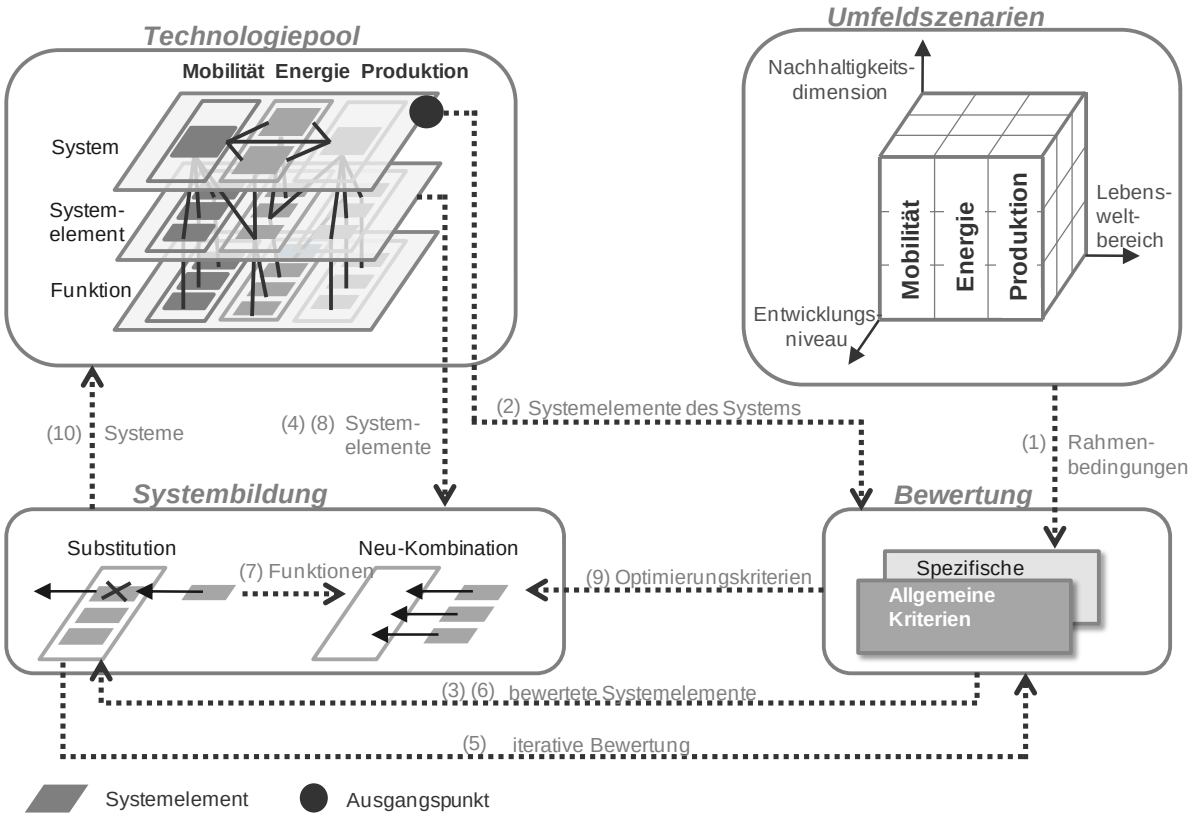


Abbildung 4-13: Technologieinduzierter Pfad ausgehend vom System

Kann durch die Substitution keine deutliche Verbesserung erzielt werden, kommt es zur Neu-Kombination. In diesem Fall werden alle Systemelemente des Systems auf die Funktionen abstrahiert (7). Allen Funktionen werden dann über eine Suche im Technologiepool alle möglichen Systemelemente zu deren Umsetzung zugeordnet (8). Die Systemelemente werden dann bezüglich ihrer Konsistenz und ihrer Nachhaltigkeit bewertet. Entsprechend der Konsistenzbewertungen werden Kombinationen von Systemelementen gebildet und die in ökonomischer, ökologischer und sozialer Nachhaltigkeit Pareto-optimalen Kombinationen identifiziert. Die Nachhaltigkeitsbewertungen fließen also als Optimierungskriterien in die Systembildung ein (9). Im letzten Schritt werden die optimierten Systeme in den Technologiepool aufgenommen (10).

4.2.2 Technologieinduzierter Pfad ausgehend vom Systemelement

Ausgangspunkt ist ein vielversprechendes Systemelement ohne Einbettung in ein System (siehe Abbildung 4-14). Für dieses Systemelement werden in den Umfeldszenarien Anwendungsfälle gesucht, die die Funktion des betrachteten Systemelements enthalten (1). Über den identifizierten Anwendungsfall werden die ergänzenden Funktionen ermittelt (2).

Ein Beispiel hierfür wäre ein Pick-and-Place-Roboter als basierendes Systemelement, der die Funktion „Handhaben“ ausübt (1). Für diesen wird der Anwendungsfall „Wafer-Produktion“ ermittelt. Dieser Anwendungsfall umfasst mehr Funktionen als das Handhaben wie zum Beispiel „Urformen“ oder „Fügen“. Diese Funktionen werden hier als „ergänzende“ Funktionen bezeichnet (2).

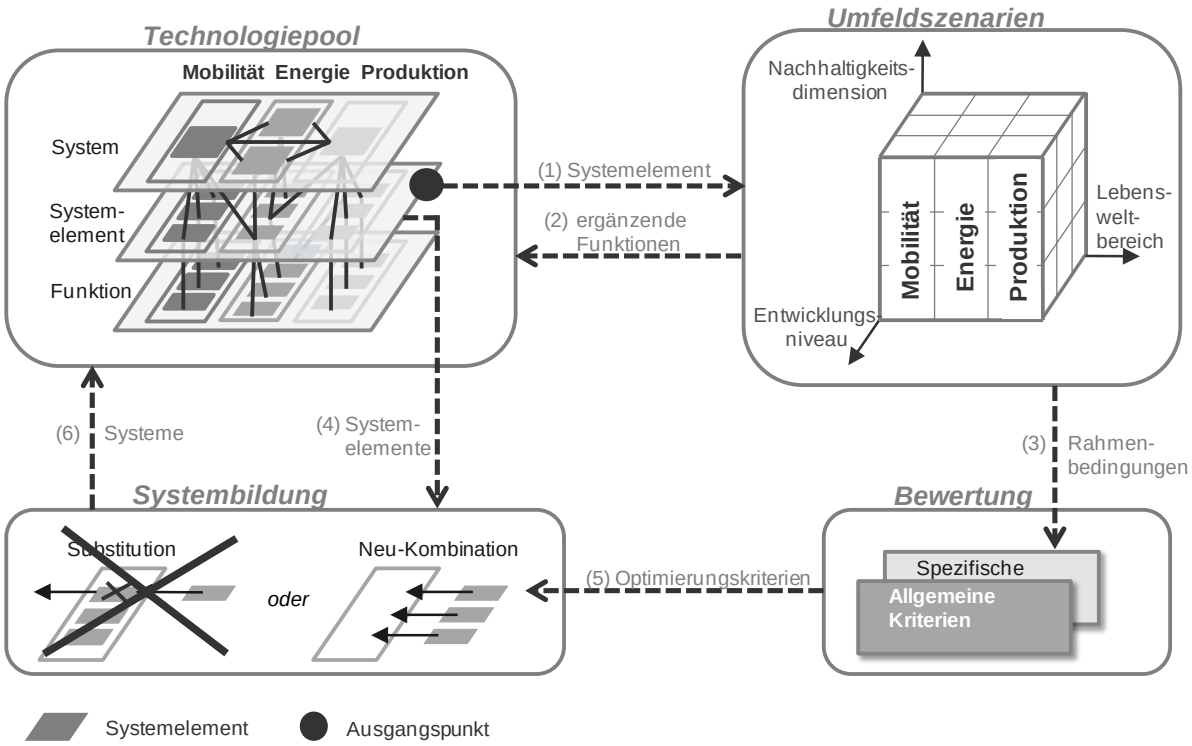


Abbildung 4-14: Technologieinduzierter Pfad ausgehend vom Systemelement

Aus dem Umfeldszenario, welches den Anwendungsfall liefert, werden über die Rahmenbedingungen die spezifischen Kriterien für die Bewertung abgeleitet (3). Allen Funktionen werden im Technologiepool alle möglichen Systemelemente zu deren Umsetzung zugeordnet, die dann in die Systembildung einfließen (4). Die Schritte (4), (5), und (6) entsprechen den Schritten (8), (9) und (10) des vorher beschriebenen technologieinduzierten Pfades ausgehend vom System.

4.2.3 Probleminduzierter Pfad

Ausgangspunkt des probleminduzierten Pfades sind die Umfeldszenarien (siehe Abbildung 4-15). Aus einem oder mehreren Umfeldszenarien werden zunächst Anwendungsfelder abgeleitet, die in Anwendungsfällen konkretisiert werden. Beispiele für Anwendungsfelder sind Elektronik und Elektrotechnik oder die Produktion von Energieanlagen. Entsprechende mögliche Anwendungsfälle könnten Elektromobilität und die Produktion von Windkraftanlagen sein. Für die Anwendungsfälle werden die Funktionen ermittelt (1). Außerdem werden aus den Umfeldszenarien über die künftigen Rahmenbedingungen spezifische Bewertungskriterien abgeleitet (2). Für die ermittelten Funktionen wird im

Folgenden ein System zu deren Umsetzung im Technologiepool gesucht. Kann ein entsprechendes System ermittelt werden, entspricht das weitere Vorgehen in den Schritten (3), (4), (5), (6) und (7) dem Vorgehen in den Schritten (2), (3), (4), (5) und (6) des technologieinduzierten Pfads ausgehend vom System. Ergebnis dieser Vorgehensweise sind durch Substitution gebildete nachhaltige Systeme.

Ist die Substitution problematischer Systemelemente des identifizierten Systems in den Schritten (4) bis (7) erfolglos, fließen die Funktionen in die Neu-Kombination ein (8). In diesem Fall werden alle abgebildeten Schritte (1) bis (11) durchlaufen. Werden mehr als die Hälfte der Systemelemente des identifizierten Systems in der Bewertung im Anschluss an Schritt (3) als problematisch eingestuft, werden die Schritte (4), (5), (6) und (7) übersprungen und die Funktionen des Systems zur Neu-Kombination genutzt (8). Kann kein System zur Umsetzung der geforderten Funktionen identifiziert werden, werden die Schritte (3) bis (8) übersprungen und mit Schritt (9) fortgefahren. Den ermittelten Funktionen (9) werden über eine Suche im Technologiepool alle möglichen Systemelemente zu deren Umsetzung zugeordnet (9).

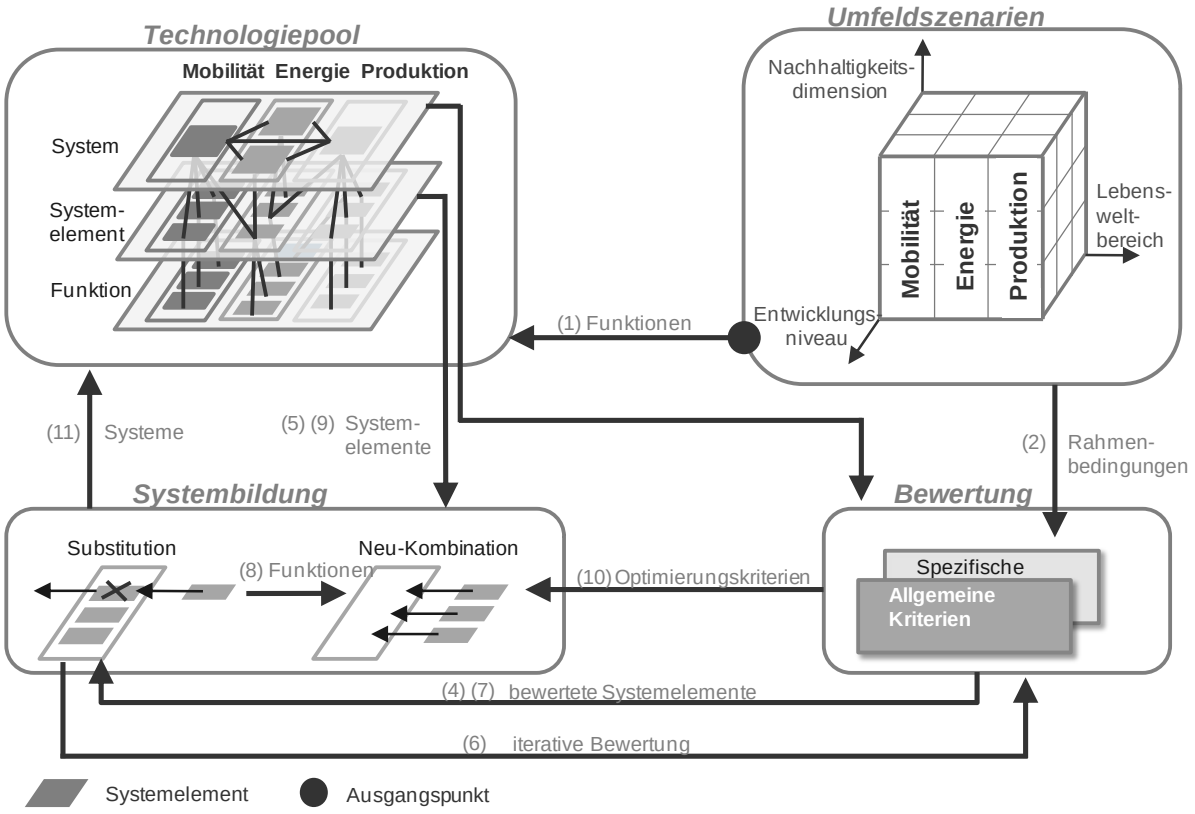


Abbildung 4-15: Probleminduzierter Pfad

Diese Systemelemente werden anhand der spezifischen und allgemeinen Kriterien (10) sowie bezüglich ihrer Konsistenz bewertet und zu Systemen kombiniert. Diese Systeme werden dann in den Technologiepool aufgenommen (11).

5 Vertiefung und Anwendung der Methode

In diesem Kapitel werden vier Anwendungsbeispiele dargestellt, die die drei in Kapitel 4.2 beschriebenen Pfade abbilden. Ein Überblick der Anwendungsbeispiele, anhand derer gleichzeitig die Methode detaillierter erläutert wird, wird in Abbildung 5-1 gegeben. Neben den verschiedenen Pfaden decken die gewählten Anwendungsbeispiele unterschiedliche Entwicklungsniveaus und Lebensweltbereiche ab. Darauf wird im Folgenden eingegangen.

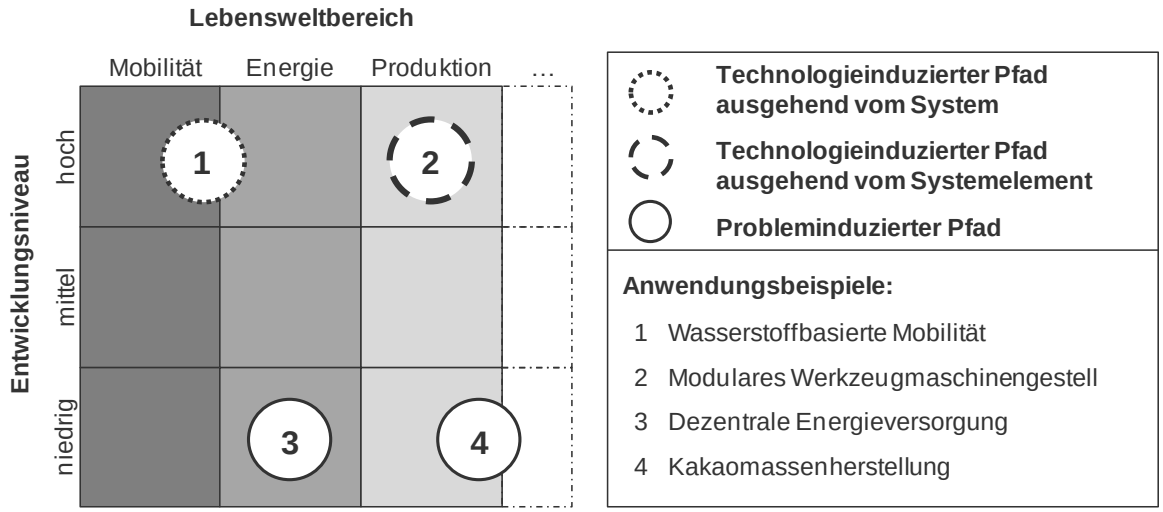


Abbildung 5-1: Anwendungsbeispiele im Überblick

In der ersten Anwendung wird am Beispiel „***Wasserstoffbasierte Mobilität***“ in Deutschland der technologieinduzierte Pfad ausgehend vom System dargestellt. Hier wird lediglich eine Substitution der problematischen Systemelemente vorgenommen. Eine Neu-Kombination ist nicht erforderlich. Dieses Beispiel stellt den einfachsten Fall dar und bezieht sich hauptsächlich auf den Lebensweltbereich Mobilität, enthält aber auch Systemelemente des Lebensweltbereichs Energie. Die erforderlichen spezifischen Kriterien für die Bewertung werden aus der Szenariostudie „Zukunft der Mobilität“ des Instituts für Mobilitätsforschung [IFMO10] abgeleitet.

In der zweiten Anwendung wird das, bezogen auf Nachhaltigkeitsgesichtspunkte als vielversprechend identifizierte, Systemelement „***Modulares Werkzeugmaschinengestell“*** in einen Anwendungskontext überführt. Dies entspricht dem technologieinduzierten Pfad ausgehend vom Systemelement. Grundlage für die Identifikation der Anwendungsfelder und -fälle sowie die Bewertung anhand spezifischer Kriterien ist das Positivszenario für die Produktion in Deutschland aus der Studie „Produktionsforschung 2020“ beziehungsweise aus dem Buch „Zukunft der Produktion“ [AR10]; [AR11]. Dieser Pfad sieht immer eine Neu-Kombination vor, so dass die Komplexität dieses Beispiels höher als bei dem zuvor beschriebenen ist. Das Systemelement „Modulares Werkzeugmaschinengestell“ entstammt

dem Lebensweltbereich Produktion. Auch wenn der identifizierte Anwendungsfall Herstellung von Rotorblättern für Windkraftanlagen auf den Lebensweltbereich Energie hinweist, geht es im Wesentlichen um deren Produktion und nur am Rande im Sinne eines Produktes um das Rotorblatt selbst.

In der dritten Anwendung wird, ausgehend von selbst erstellten Szenarien über das Energieumfeld in Sierra Leone, der probleminduzierte Pfad in niedrigem Entwicklungsniveau im Lebensweltbereich Energie dargestellt. Hier wird die Szenario-Erstellung im Detail beschrieben. Basis für die Identifikation des Anwendungsfalls „***Dezentrale Energieversorgung***“ und die Bewertung mit den spezifischen Kriterien bildet hier im Gegensatz zu dem zuvor beschriebenen Beispiel 2 ein negatives Szenario. Das identifizierte System „Dieselgenerator“ zur dezentralen Energieversorgung besitzt zu viele problematische Systemelemente, so dass die Substitution ausgeschlossen und auch in diesem Fall eine Neu-Kombination von Systemelementen zur Systembildung vorgenommen wird.

Die vierte und letzte Anwendung bildet erneut den probleminduzierten Pfad in niedrigem Entwicklungsniveau am Beispiel der „***Kakaomassenherstellung***“ in Sierra Leone ab, bezieht sich jedoch auf den Lebensweltbereich Produktion. In der Systembildung wird eine Substitution vorgenommen, da nur ein problematisches Systemelement identifiziert wird. Der Lebensweltbereich Bauen und Wohnen, der nicht im Fokus dieser Arbeit steht, wird in diesem Beispiel durch ein Systemelement adressiert. Die Szenarien, die der Identifikation der Anwendungsfelder und -fälle sowie der Bewertung anhand spezifischer Kriterien zugrunde liegen, wurden selbst erstellt. Der Erstellungsprozess wird jedoch nicht beschrieben, da er dem im vorangegangenen Anwendungsbeispiel 3 entspricht und dort ausführlich behandelt wird.

5.1 Technologieinduzierter Pfad ausgehend vom System

Im folgenden Beispiel wird ausgehend von einem bestehenden System die Erstellung eines nachhaltigen Mobilitätssystems für Deutschland im technologieinduzierten Pfad beschrieben. Das Ausgangssystem hierbei ist die „Konventionelle wasserstoffbasierte Mobilität“, dessen Repräsentation im Technologiepool in Kapitel 5.1.1 beschrieben wird. In Kapitel 5.1.2 werden die Umfeldszenarien für die Mobilität in Deutschland aus der Studie „Zukunft der Mobilität“ des Instituts für Mobilitätsforschung (IFMO) kurz dargestellt [IFMO10]. Aus diesen Szenarien werden spezifische Kriterien abgeleitet, die in Kombination mit den allgemeinen Kriterien zur Bewertung der Systemelemente des Systems dienen (Kapitel 5.1.3). Aus dieser Bewertung ergeben sich problematische Systemelemente, die im letzten Schritt substituiert und erneut bewertet werden (Kapitel 5.1.4).

5.1.1 Technologiepool

Das System „Konventionelle wasserstoffbasierte Mobilität“ bildet die Kette von der Erzeugung des Wasserstoffs bis zur Verwendung in einem Automobil ab. Im Technologiepool ist dieses System mit seinen Systemelementen und Funktionen, wie in Abbildung 5-2 dargestellt, abgebildet. Es enthält die Funktionen Wandlung zur Wasserstoff-Erzeugung, Wasserstoff-Speicherung (in einer Versorgungsinfrastruktur und im Automobil), Wandlung der im Wasserstoff enthaltenen chemischen Energie in elektrische Energie, Speicherung dieser elektrischen Energie und die bi-direktionale Wandlung zwischen elektrischer und mechanischer Energie, die den Vortrieb des Automobils ermöglicht.

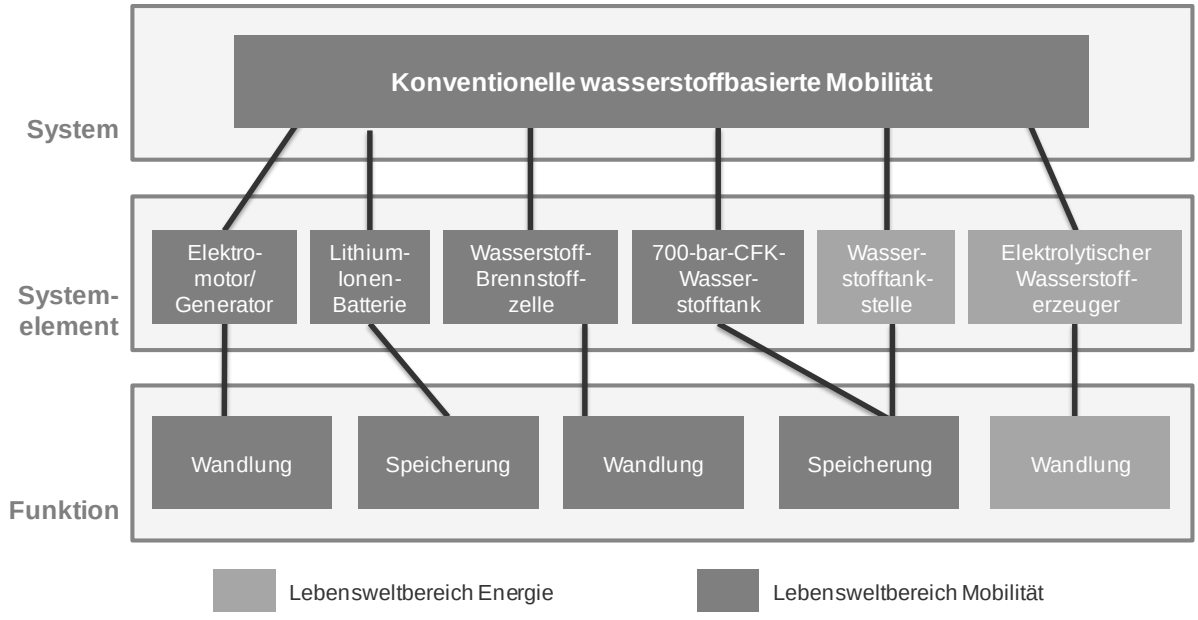


Abbildung 5-2: System „Konventionelle wasserstoffbasierte Mobilität“ im Technologiepool

In diesem System, das den aktuellen Entwicklungsstand abbildet, wird die Wasserstoff-Erzeugung durch einen elektrolytischen Wasserstoff-Erzeuger gewährleistet. Dieses Systemelement nutzt elektrischen Strom, um Wasser in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff aufzuspalten. Die Funktion Speicherung wird in der Versorgungsinfrastruktur bei stationärem Betrieb mit Stahltanks gewährleistet. Im mobilen Einsatz werden Tanks verwendet, die durch eine CFK-Verstärkung mit einem Druck bis zu 700 bar beaufschlagt werden können [Dyn08-ol]. Die Wandlung der chemischen Energie des Wasserstoffs in elektrische Energie geschieht in einer Brennstoffzelle. Eine Brennstoffzelle ist eine galvanische Zelle, die mittels Oxidation die chemische Energie des Wasserstoffs nutzbar macht [EK10, S. 219 ff.]. Die elektrische Energie wird anschließend in eine Lithium-Ionen-Batterie eingespeist, um sie zu speichern. Eine Batterie basiert ebenfalls auf dem Prinzip der galvanischen Zelle. Die Speicherung der elektrischen Energie geschieht über eine temporäre Umwandlung in chemische Energie. Eine Lithium-Ionen-Batterie enthält eine Lithium-Anode und eine Metalloxid-Kathode [IBM12-ol]. Die elektrische Energie wird schließlich in einem Elektromotor in mechanische Energie umgewandelt, um den Vortrieb des Automobils zu realisieren. Um eine Effizienz-Steigerung durch Rekuperation von Energie in Brems- oder Schubphasen zu ermöglichen, arbeitet der Elektromotor ebenfalls als Generator, der rückgewonnene elektrische Energie in die Batterie einspeist [Audi12-ol].

5.1.2 Umfeldszenarien

In Zusammenarbeit mit der Deutschen Bahn AG, der Deutschen Lufthansa AG und der MAN SE hat das Institut für Mobilitätsforschung (eine Forschungseinrichtung der BMW Group) 2010 eine Mobilitätsstudie für Deutschland für das Jahr 2030 entwickelt. In der Mobilitätsstudie „*Zukunft der Mobilität – Szenarien für das Jahr 2030*“ [IFMO10] werden sowohl die Mobilität von Personen als auch von Gütern im Industrieland Deutschland betrachtet. Nach der Erstellung einer Basisstudie im Jahr 2002 erfolgte im Jahr 2010 die zweite Fortschreibung der Szenarien. Es wurden drei Szenarien erarbeitet, die sich vor allem auf qualitative Aussagen stützen, bestimmte Zielwerte werden jedoch in ihren Größenordnungen quantifiziert. Im Szenario „*Gereifter Fortschritt*“ nutzt ein alterndes Deutschland seine Potentiale, um ein stetiges Wirtschaftswachstum zu realisieren. Beeinflusst durch hohe Energiepreise und Regulation wächst im Szenario „*Globale Dynamik*“ das Güterverkehrsaufkommen bei dynamischem Wirtschaftswachstum moderat und der Personennahverkehr schrumpft sogar leicht. Das Szenario „*Rasender Stillstand*“ zeichnet sich durch Rezessionen und Krisen aus, die bei sinkenden Bevölkerungszahlen zu stagnierendem Güterverkehr und stark sinkender Personenverkehrsleistung führt [IFMO10]. Tabelle 5-1 zeigt ausgewählte Schlüsselfaktoren sowie deren Projektionen der drei Szenarien in einer Übersicht.

Tabelle 5-1: Übersicht ausgewählter Schlüsselfaktoren und Projektionen [IFMO10, S. 127 f.]

Schlüsselfaktor	**Szenarien/Projektionen**		
	„Gereifter Fortschritt“	„Globale Dynamik“	„Rasender Stillstand“
soziale Faktoren			
Anzahl Haushalte	↘	↗	↘
Einpersonenhaushalte	↗	↗↗	↗
ÖV (Land)	↘↘	↘	teilweise nicht mehr vorhanden
ökologische Faktoren			
Marktwirksamkeit von Umweltfaktoren	↗	↗	teils ↗ teils →
ökonomische Faktoren			
Erdölpreis	↗	→	↗ temporär ↗↗
Haushaltseinkommen	↗	↗↗	↘
Anzahl Erwerbstätige	↘	etwa →	↘↘
Anteil qualifizierter Arbeitskräfte	↗	↗	→
↘↘ sinkt stark ↘ sinkt → bleibt gleich		↗ steigt ↗↗ steigt stark	

5.1.3 Bewertung

Aus den Projektionen (siehe Tabelle 5-1) lassen sich verschiedene spezifische Kriterien zur Bewertung technischer Systeme ableiten. Im Folgenden werden beispielhaft einige Rahmenbedingungen des Szenarios „Gereifter Fortschritt" in Kriterien überführt.

Die sinkende Anzahl der Haushalte bei gleichzeitig zunehmendem Anteil der Einpersonenhaushalte im Szenario erfordert eine erhöhte Individualisierung der Verkehrsmittel. Die Verkehrsmittel müssen eine individuelle Nutzung bei insgesamt geringerem Verkehrsaufkommen durch intelligente Systeme ermöglichen. Die ***Flexibilität*** spielt in diesem Szenario also eine übergeordnete Rolle. Die schlechte Infrastruktur auf dem Land und die Landflucht erfordern ***hohe Reichweiten*** der Fahrzeuge und eine ***kostengünstig zu betreibende Infrastruktur***. Die Möglichkeiten neue, noch wenig ausgereifte Technologien zu entwickeln sind wegen der guten Wirtschaftslage und der hohen Marktwirksamkeit von Umweltfaktoren sehr gut. Die Wahl des Verkehrsmittels ist nicht in erster Linie kostengetrieben. ***Durchbruchinnovationen*** sind zu erwarten.

In der Kombination mit den allgemeinen Kriterien ergibt sich die Bewertung des Systemelements „700-bar-CFK-Wasserstofftank“ in Tabelle 5-2. Die Bewertung aller im System enthaltener Systemelemente ist dem Anhang auf S. A19 zu entnehmen. Hierbei tritt das Kriterium Flexibilität sowohl bei den spezifischen als auch bei den allgemeinen Kriterien

auf. Damit soll berücksichtigt werden, dass die Flexibilität in unterschiedlicher Ausprägung speziell in diesem Szenario eine wichtige Rolle spielt.

Tabelle 5-2: Bewertung des Systemelements „700-bar-CFK-Wasserstofftank“

Nachhaltigkeits-dimension	**Nachhaltigkeitskriterium**	**Gewichtung**	**700-bar-H_2-Tank**	
Ökonomie 50%	Total Cost of Ownership	22,22%	2	0,22
	Zuverlässigkeit	11,11%	3	0,17
	Flexibilität	11,11%	1	0,06
	Wirkungsgrad/Produktivität	11,11%	3	0,17
	Energieverbrauch	22,22%	1	0,11
	kostengünstige Infrastruktur	11,11%	2	0,11
	Durchbruchinnovation	11,11%	2	0,11
Ökologie 25%	Treibhausgasemissionen	25,00%	5	0,31
	Recycling	25,00%	1	0,06
	Ressourcenverbrauch	25,00%	5	0,31
	Schadstoffemissionen	25,00%	5	0,31
Gesellschaft 25%	Gefährdung	50,00%	3	0,38
	persönliche Flexibilität	25,00%	2	0,13
	Reichweite	25,00%	2	0,13
	Summe:	3 x 100%	51% = 2,59	
Grau hinterlegt: zusätzliche Kriterien Der Bewertungsprozentsatz bezieht sich auf den jeweils maximal erreichbaren Wert von 5. Bei der Score-Berechnung wurden die Einzel-Produkte ungerundet aufsummiert.		Skala: Erfüllungsgrad des Nachhaltigkeitskriteriums 5: sehr hoch 4: hoch 3: mittel 2: niedrig 1: sehr niedrig		

Die Bewertungen der einzelnen Kriterien werden mit der Gewichtung der Nachhaltigkeits-dimension und mit der Gewichtung des Kriteriums multipliziert. Beispielsweise bezogen auf die Flexibilität des Systemelements „700-bar-CFK-Wasserstofftank“ ergibt sich:

0,5 x 0,1111 x 1 = 0,05555

Mit einer Bewertung von insgesamt 51 Prozent gilt das Systemelement „700-bar-CFK-Wasserstofftank“ als problematisch und muss substituiert werden. Nach der Bewertung ebenfalls als problematisch eingestuft wurden die Systemelemente „Lithium-Ionen-Batterie“ mit 63 Prozent und „Elektrolytischer Wasserstofferzeuger“ mit 57 Prozent. Auch diese Systemelemente müssen substituiert werden. Die restlichen Systemelemente unterschreiten den Schwellwert von 65 Prozent nicht. Sie werden somit nicht als problematisch eingestuft.

Da die Gesamtanzahl der problematischen Systemelemente 50 Prozent nicht überschreitet, werden diese substituiert und keine neuen Systeme gebildet.

5.1.4 Systembildung

Um die problematischen Systemelemente „Lithium-Ionen-Batterie“, „CFK-Wasserstofftank“ und „Elektrolytischer Wasserstofferzeuger“ zu substituieren, wird der Technologiepool nach Systemelementen durchsucht, die die gleichen Funktionen und Inputs/Outputs besitzen. Abbildung 5-3 zeigt in Form eines Steckbriefs das Ergebnis der Suche nach einem Systemelement, welches alternativ die Funktion „Speicherung“ von Wasserstoff erfüllt und welches das Systemelement „700-bar-CFK-Wasserstofftank“ somit substituieren kann.

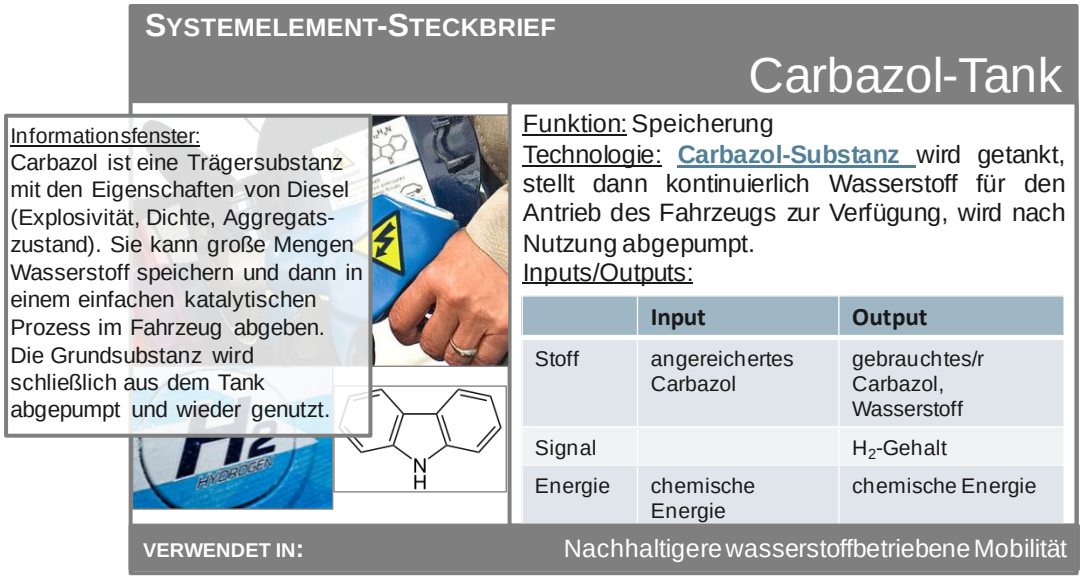


Abbildung 5-3: Systemelement-Steckbrief „Carbazol-Tank“

Carbazol ist eine chemische Substanz, an deren Entwicklung an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg gearbeitet wird [FAU12-ol]. Carbazol ist eine Trägersubstanz mit den Eigenschaften von Diesel, bezogen auf Explosivität, Dichte und Aggregatszustand. Sie kann große Mengen Wasserstoff speichern und dann in einem einfachen katalytischen Prozess im Fahrzeug abgeben. Die mit Wasserstoff angereicherte Substanz wird analog zu aktuellen Kraftstoffen getankt. Die Infrastruktur muss nur dahingehend geändert werden, dass ein Abpumpen der „gebrauchten“ Grundsubstanz aus dem Tank ermöglicht wird. Diese kann dann wieder mit Wasserstoff angereichert und in den Kreislauf zurückgeführt werden. Der Carbazol-Tank als Systemelement hat innerhalb dieses Systems Vorteile in Bezug auf Energiebilanz (Komprimieren entfällt, kein Diffundieren), Kosten (keine speziellen Tanks nötig) und Sicherheit (sowohl Betankungsprozess als auch Unfallsicherheit). Nachhaltigkeits-probleme ergeben sich unter Umständen durch die Verwendung seltener Erden im Katalysator, der den Wasserstoff aus der Trägersubstanz herauslöst.

Die Suche über die Funktionen nach alternativen Systemelementen für die Systemelemente „Lithium-Ionen-Batterie“ und „Elektrolytischer Wasserstofferzeuger“ haben als Ergebnis den „Biomimetischen Wasserstofferzeuger“ und die „Lithium-Luft-Batterie“ ergeben. Bei der biomimetischen Wasserstofferzeugung produzieren einzellige Grünalgen unter der Abwesenheit von Sauerstoff mithilfe von speziellen Enzymen, die sie selbst bilden (zum Beispiel Hydrogenase-Enzyme, Nitrogenase-Enzyme), Wasserstoff [PK05, S. 19 ff.]. Bei der Lithium-Luft-Batterie werden statt schwerer Metalloxid-Kathoden aktueller Li-Ionen-Batterien leichtere Kathoden aus Kohlenstoff verwendet, was eine Vervielfachung der Energiedichte und damit des Aktionsradius eines Elektromobils bedeutet.

Die substituierten Systemelemente wurden, wie in Tabelle 5-3 am Beispiel des „Carbazol-Tank“ im Vergleich zu dem 700-bar-CFK-Wasserstofftank dargestellt, erneut bewertet.

Tabelle 5-3: Bewertung des Systemelements „Carbazol-Tank“

Nachhaltigk.-dimension	**Nachhaltigkeitskriterium**	**Gewich-tung**	**Carbazol-Tank**		**700-bar-H_2-Tank**	
Ökonomie 50%	Total Cost of Ownership	22,22%	2	0,22	2	0,22
	Zuverlässigkeit	11,11%	5	0,28	3	0,17
	Anwendungs-Flexibilität	11,11%	1	0,06	1	0,06
	Wirkungsgrad/Produktivität	11,11%	5	0,28	3	0,17
	Energieverbrauch	22,22%	5	0,56	1	0,11
	kostengünstige Infrastruktur	11,11%	4	0,22	2	0,11
	Durchbruchinnovation	11,11%	5	0,28	2	0,11
Ökologie 25%	Treibhausgasemissionen	25,00%	5	0,31	5	0,31
	Recycling	25,00%	1	0,06	1	0,06
	Ressourcenverbrauch	25,00%	3	0,19	5	0,31
	Schadstoffemissionen	25,00%	5	0,31	5	0,31
Gesellschaft 25%	Gefährdung	50,00%	5	0,63	3	0,38
	persönliche Flexibilität	25,00%	4	0,25	2	0,13
	Reichweite	25,00%	4	0,25	2	0,13
	Summe:	3 x 100%	78% = 3,89		51% = 2,59	

Grau hinterlegt: Zusätzliche Kriterien Der Bewertungsprozentsatz bezieht sich auf den jeweils maximal erreichbaren Wert von 5. Bei der Score-Berechnung wurden die Einzel-Produkte ungerundet aufsummiert.	Skala: Erfüllungsgrad des Nachhaltigkeitskriteriums 5: sehr hoch 4: hoch 3: mittel 2: niedrig 1: sehr niedrig

Aus der Bewertung wird ersichtlich, dass der Gesamtscore des „Carbazol-Tank“ 78 Prozent beträgt. Erhebliche Verbesserungen bei den allgemeinen Kriterien gegenüber dem „700-bar-H_2-Tank“ konnten beispielsweise beim Energieverbrauch, aber auch bei der Sicherheit erzielt werden. Bei der Bewertung anhand spezifischer Kriterien ist eine Verbesserung der Reichweite sowie die kostengünstiger zu realisierende Infrastruktur positiv eingeflossen.

Auch der Gesamtscore des Systemelements „Biomimetischer Wasserstofferzeuger“ im Vergleich zu „Elektrolytischer Wasserstofferzeuger“ hat sich von 57 Prozent auf 76 Prozent gesteigert. Diese Tatsache ist insbesondere dem geringen Energieverbrauch geschuldet. Der Gesamtscore der „Lithium-Luft-Batterie“ hat sich im Vergleich zur „Lithium-Ionen-Batterie“ von 63 Prozent auf 77 Prozent gesteigert. Gründe hierfür sind die höhere Leistungsdichte durch geringeres Gewicht und die damit verbundene gesteigerte Reichweite.

Abbildung 5-4 zeigt das verbesserte System „Nachhaltige wasserstoffbasierte Mobilität“, welches in dieser Form in den Technologiepool eingespeist wird.

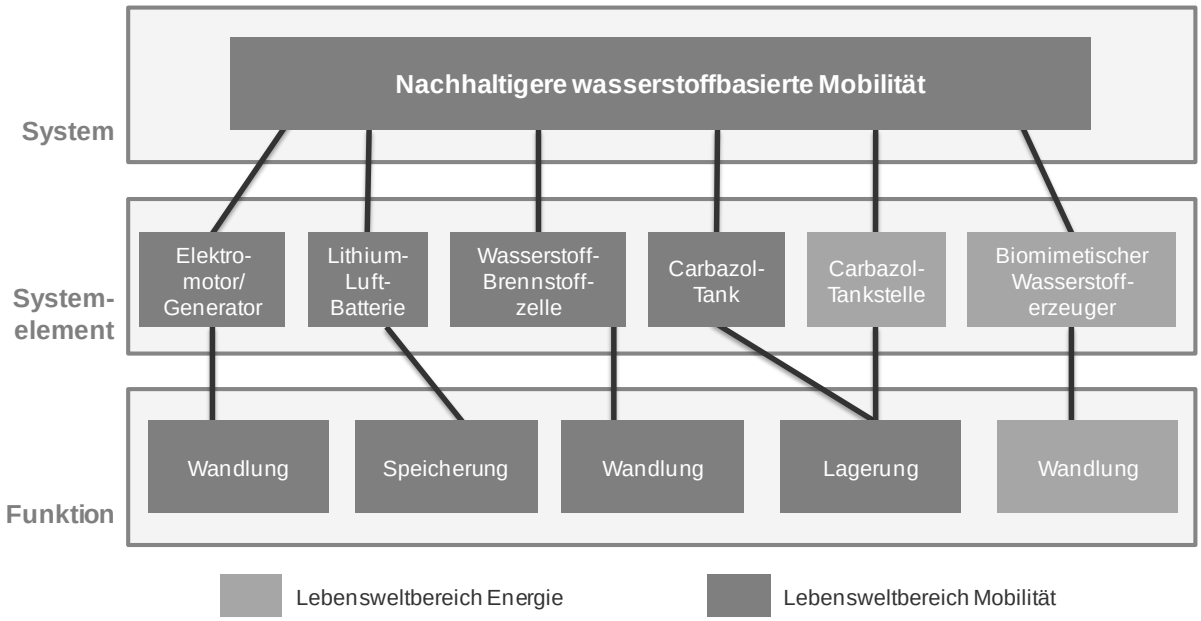


Abbildung 5-4: System „Nachhaltige wasserstoffbasierte Mobilität“ im Technologiepool

5.2 Technologieinduzierter Pfad ausgehend vom Systemelement

Im Rahmen des Sonderforschungsbereich 1026 „Sustainable Manufacturing – Shaping Global Value Creation“ wird im Projekt B4 „Development of Microsystem Enhanced Machine Tool Structures for Lightweight and Accuracy Optimised (LEG²O) Frames“ von der Abteilung Nachhaltige Technologien des Forschungsschwerpunkts Technologien der Mikroperipherik und dem Fachgebiet für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb (IWF) das modulare Werkzeugmaschinengestell entwickelt [UMR12]. Das modulare Werkzeugmaschinengestell wird in diesem Anwendungsbeispiel als Systemelement betrachtet, von dem ausgehend der technologieinduzierte Pfad vollzogen wird. Zunächst wird hierzu die Repräsentation im Technologiepool dargestellt und das Systemelement „Modulares Werkzeugmaschinen-gestell“ erläutert (Kapitel 5.2.1). Anschließend werden Umfeldszenarien für die Produktion in Deutschland sowie die sich daraus ergebenden Anwendungsfelder nach ABELE und REINHART [AR10]; [AR11] vorgestellt und daraus ein Anwendungsfall sowie die zur Umsetzung des Anwendungsfalls erforderlichen Funktionen abgeleitet (Kapitel 5.2.2). Bei den Funktionen handelt es sich um diejenigen, die den Anwendungsfall maßgeblich charakterisieren. Jeder dieser Funktionen werden Systemelemente aus dem Technologiepool zugeordnet (Kapitel 5.2.3). Im Rahmen der Bewertung werden zunächst die spezifischen Kriterien aus den Umfeldszenarien abgeleitet und dann alle zur Umsetzung der Funktionen identifizierten Systemelemente anhand der allgemeinen und spezifischen Kriterien bewertet (Kapitel 5.2.4). In der Systembildung wird eine Konsistenzanalyse der Systemelemente vorgenommen und die bezüglich der ökonomischen, ökologischen und sozialen Nachhaltigkeit Pareto-optimalen, konsistenten Kombinationen – die nachhaltigen Systeme – gebildet (Kapitel 5.2.5). Abschließend wird das entstandene System kritisch betrachtet. (Kapitel 5.2.6).

5.2.1 Technologiepool

Das Systemelement „Modulares Werkzeugmaschinengestell“ zur Erfüllung der Funktion „Produktionsvoraussetzungen schaffen“ wird in dem Steckbrief in Abbildung 5-5 dargestellt.

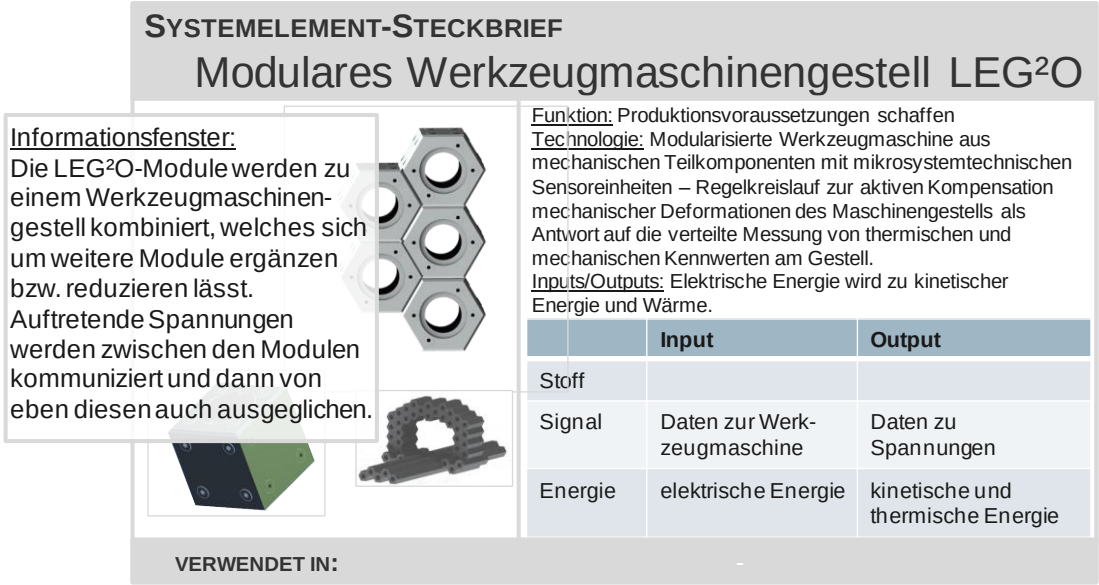


Abbildung 5-5: Systemelement-Steckbrief „Modulares Werkzeugmaschinengestell“

Aufgrund langer Lebenszyklen bei Werkzeugmaschinen halten Innovationen nur langsam Einzug in die bestehende Produktionstechnik. Die Produktionsrahmenbedingungen verändern sich jedoch mit zunehmender Geschwindigkeit [KRZ12, S.608]. 80 Prozent aller Werkzeugmaschinen werden nach 5 bis 15 Jahren umgerüstet [SHF+12, S. 35], um erweiterte Funktionalitäten in das System zu integrieren. Auch sind durch diese langen Lebenszyklen flexible Reaktionen auf veränderte Produktgrößen oder Standortwechsel nur mit hohem Aufwand möglich. Durch eine Modularisierung entstehen an dieser Stelle Vorteile [UMR12, S. 2 ff.].

Der Grundgedanke der Adaptabilität der LEG²O (leichtbau- und genauigkeitsoptimiert)-Maschine ermöglicht darüber hinaus die Ergänzung von Maschinenkomponenten, um auf sich ändernde Anforderungen an die Fertigung reagieren zu können. Damit ist das LEG²O-Modul zunächst hinsichtlich Fertigungsarten, -volumen und Größe des zu bearbeitenden Werkstückes universell einsetzbar [UMR12, S. 2 ff.]. Die Gewichtsreduzierung der einzelnen Module soll die Mobilität des Systems unterstützen, indem Einzelteile unkompliziert transportiert und gehandhabt werden können. Grundlegende Voraussetzung für die Sicherstellung der mechanischen Stabilität, auch nach Zusammenbau der verhältnismäßig leichten Strukturen, ist die Bereitstellung einer hinreichenden Systemsteifigkeit und der Kompensation stationärer mechanischer Spannungen im Gesamtaufbau. Letztere können durch Fertigungstoleranzen, Fehler im Zusammenbau ebenso wie durch lokale und globale Temperaturänderungen im Aufbau entstehen. Komponenten zur aktiven Kompensation

mechanischer Spannungen werden hierzu in den späteren Aufbau integriert. Mikrosystemtechnische Elemente sollen die Bereitstellung sensorischer Daten ebenso wie die Identifizierung der einzelnen Module ermöglichen. Weitergehende Untersuchungen nutzen die von den drahtlosen Sensorsystemen bereit-gestellten Informationen zur Unterstützung des Zusammenbaus der Module.

5.2.2 Umfeldszenarien

In der Studie „Produktionsforschung 2020“ [AR10]; [AR11] wurden explorative Szenarien für die Produktion in Deutschland mit dem Ziel, „*zukünftige Forschungsbedarfe und Forschungsansätze im Bereich der Produktion für den Zeithorizont bis zum Jahr 2020 aufzudecken*“ [AR11, S.V], erstellt. Die Einordnung dieser Umfeldszenarien bezüglich der Abdeckung und Relevanz für den Lebensweltbereich Produktion ist in Abbildung 5-6 dargestellt.

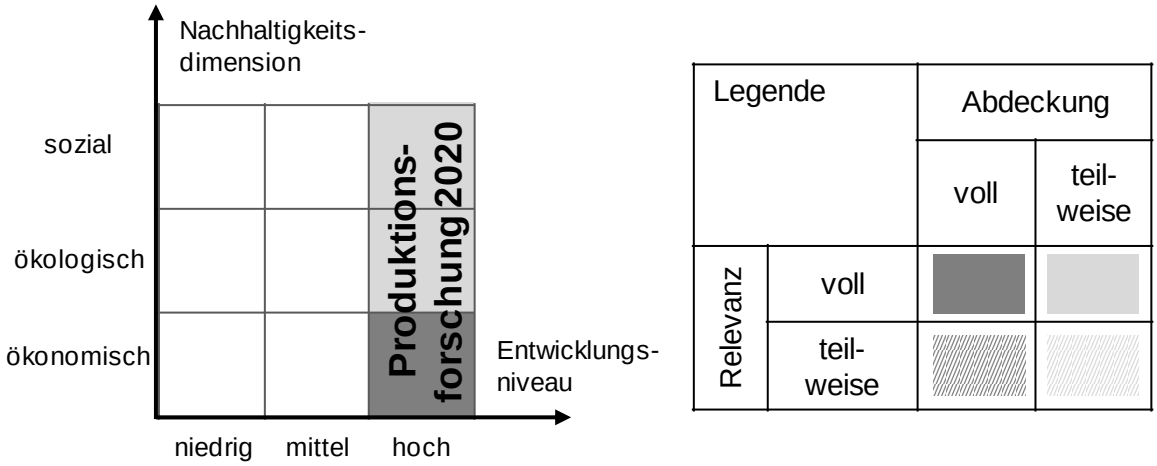


Abbildung 5-6: Einordnung der Szenario-Studie „Produktionsforschung 2020“ in den Lebensweltbereich Produktion

Durch die umfangreiche Darstellung unterschiedlicher Trends und Branchen und ihrer möglichen Entwicklungen decken die Szenarien die ökonomische Nachhaltigkeitsdimension im Lebensweltbereich Produktion voll ab und sind direkt nutzbar. Ökologische und soziale Faktoren werden ebenfalls berücksichtigt, stehen aber nicht im Fokus der Untersuchungen. Es kann also von einer Teilabdeckung der ökologischen und sozialen Nachhaltigkeitsdimension mit hoher Relevanz ausgegangen werden. Insgesamt sind diese Szenarien sehr gut nutzbar und werden in diesem Kapitel zunächst kurz vorgestellt. Anschließend wird aus den in der Studie beschriebenen Anwendungsfeldern eines ausgewählt und ein Anwendungsfall definiert. Aus diesem Anwendungsfall werden wiederum die ergänzenden Funktionen zur Integration des Systemelements „Modulares Werkzeugmaschinengestell“ in ein System bestimmt.

5.2.2.1 Szenarien

Im Rahmen der Studie Produktionsforschung 2020 [AR10]; [AR11] entstanden auf Basis der Analyse von Megatrends zwei Szenarien. Das „*Negativszenario 2020: Produktion kehrt Deutschland den Rücken*“ geht von einer Verschärfung der Wettbewerbssituation bezogen auf die Produktion in Deutschland aus. Hierfür werden im Wesentlichen drei Gründe genannt:

1) Der Wissensvorsprung als Basis für eine wettbewerbsfähige Produktion gegenüber den Niedriglohnländern schrumpft. Dies bezieht sich sowohl auf die Qualifikation der Arbeitskräfte als auch auf das Produkt-Know-how.
2) Die Abwanderungswelle erreicht eine neue Dimension. Die schnell wachsenden Märkte und die Erweiterung des Fähigkeitsspektrums der Produktion von Ländern mit niedrigem Lohnniveau ziehen immer größere Produktionsumfänge in diese Länder. Die Löhne in den Schwellenländern steigen zwar, aber dieser Effekt kann der Abwanderung der Produktion nicht ausreichend entgegenwirken.
3) Der Aus- und Aufbau von Handelsbarrieren wirkt sich negativ auf die Exportwirtschaft von Deutschland aus.

Das „*Positivszenario 2020: Die Renaissance der Produktion“* beschreibt eine deutlich günstigere Entwicklung der Wettbewerbssituation, die im Wesentlichen auf drei Sachverhalte zurückzuführen ist:

1) Deutschland kann seine Qualitäts- und Produktivitätsführerschaft weiter ausbauen, da die Niedriglohnländer diesbezüglich weit hinter den Erwartungen zurückbleiben. Die zunehmende Automatisierung und stagnierende Löhne in Deutschland tragen hierzu bei.
2) Der Wissensvorsprung in Deutschland gegenüber Schwellenländern bleibt erhalten. Durch einen intensiven Wissensaustausch von Forschungseinrichtungen und Unternehmen entstehen Innovationsvorteile.
3) Durch die Konzentration auf Wachstumsmärkte und die Innovationsstärke in diesen Branchen erreicht Deutschland die Position eines Kompetenzführers in neuen Märkten.

5.2.2.2 Ableiten der ergänzenden Funktionen

Aus diesen Szenarien wurden 25 zukunftsrobuste ***Anwendungsfelder*** abgeleitet [AR10, S. 177 ff.]:

- Baumaschinen und Landtechnik
- Produktronik und Micro Technology
- Elektronik und Elektrotechnik
- Optische Industrie, Medizin-, Mess-, und Steuerungstechnik

- Automotive (OEM)
- Nahrungsmittel- und Verpackungsindustrie
- Druck- und Papiertechnik
- Herstellung von Metallerzeugnissen inklusive Automobilzulieferer
- Chemische Industrie
- Pharmazeutische Industrie
- Verfahrenstechnik
- Oberflächentechnik
- Umwelt- und Recyclingtechnik
- Windenergie
- Wärmepumpen
- Batterietechnik
- Solarenergie
- Textilmaschinen
- Werkzeugmaschinen
- Werkzeuge inklusive Prototypenbau
- Montage- und Handhabungstechnik, Robotik
- Elektrische Antriebstechnik
- Fluidtechnik
- Luft- und Raumfahrttechnik
- Allgemeiner Maschinenbau

Im Folgenden wird das Anwendungsfeld Windenergie als Beispiel näher betrachtet. Das technische Potential des modularen Werkzeugmaschinengestells ist natürlich nicht auf dieses Anwendungsfeld beschränkt. Windenergie stellt jedoch ein hoch relevantes Anwendungsfeld dar, anhand dessen die Potentiale des modularen Werkzeugmaschinengestells exemplarisch aufgezeigt werden können.

Windenergie zählt zu den erneuerbaren Energien und stellt somit eine Lösungshypothese zur nachhaltigen Wertschöpfung dar [STA13-ol]. Der Anteil erneuerbarer Energien an der Bruttostromerzeugung in Deutschland betrug 2011 etwa 8 Prozent [IWES12, S. 7]; [STA13-ol]. Den größten Anteil an der Stromerzeugung mit erneuerbaren Energien hat die Windenergie [BMU09, S. 30]; [IWES12, S. 9]. Der Umsatz der Hersteller von Windenergieanlagen belief sich im Jahr 2011 auf 5 Milliarden €. Ca. 37.000 Menschen waren 2010 in der Windindustrie beschäftigt, was eine Verdopplung im Vergleich zum Jahr 2005 darstellt [STA13-ol]. Werden die Betreiber und Dienstleister ebenfalls berücksichtigt, belief

sich die Zahl der Beschäftigten in dieser Industrie im Jahr 2010 auf 100.000 [STA13-ol] [BWE11, S. 8]. Für das Jahr 2025 werden über 369.000 direkte Stellen prognostiziert, wovon 192.000 Stellen dem Zukunftsmarkt der Offshore-Windkraft zugeschrieben werden [BWE11, S. 25]. Der Ausbau von Offshore-Windenergieanlagen wird besonders durch das erneuerbare Energien Gesetz (EEG) und die dort festgelegten Einspeisevergütungen unterstützt, die seit dem 1. Januar 2012 gelten.

Neue Technologien ermöglichen immer größere Anlagen und Nennleistungen [BWE11, S. 21]. Die Leistungssteigerung von 1980 bis 2010 beläuft sich auf das 250-fache [BWE11, S. 20]. Die Hauptbestandteile einer Windkraftanlage sind die Rotorblätter, die Gondel, der Generator und das Getriebe [AR10, S. 237]. In nahezu allen Komponenten sind Innovationen zu verzeichnen. Beispielsweise wurde das Gewicht von Türmen und somit die Materialkosten durch Leichtbau und den Einsatz neuer Materialien gesenkt und getriebelose Anlagen werden mit großem Erfolg eingesetzt [BWE11, S. 21].

Ein Vorteil des modularen Werkzeugmaschinengestells (siehe Kapitel 5.2.1) ist, dass durch die flexible Erweiterbarkeit sehr große und unterschiedliche Teile gefertigt werden können. Die größten Komponenten in einer Windkraftanlage sind der Turm und die Rotorblätter. Rotorblätter großer Windkraftanlagen werden heute aus Faserverbundwerkstoffen hergestellt. Die Automatisierung dieses Herstellprozesses bietet ein großes Potential zur Kostensenkung und Qualitätsverbesserung [AR10, S. 241], welches aber wegen der textilen Eigenschaften der Halbzeuge schwierig zu erschließen ist. Mithilfe des modularen Werkzeugmaschinengestells könnte die Automatisierung der Herstellung von Rotorblättern gelingen. Deshalb wird die Herstellung von Rotorblättern für die folgenden Betrachtungen als Anwendungsfall gewählt.

Funktionen

Bei Herstellung von Rotorblättern werden die Funktionen „Produktionsvoraussetzungen schaffen“, „Urformen“, „Fügen“ (als Hauptfügeprozess) und „Transport“ der Rotorblätter als diejenigen Funktionen betrachtet, die die Herstellung eines Rotorblatts maßgeblich bestimmen. Weitere Funktionen wie zum Beispiel „Beschichten“ und zur Fertigung und Montage der Signaltechnik erforderliche Funktionen sowie weitere Hilfsfunktionen werden nicht betrachtet.

5.2.3 Technologiepool

Die im Technologiepool identifizierten Systemelemente zur Umsetzung der zuvor hergeleiteten vier Funktionen werden in Tabelle 5-4 in der Übersicht dargestellt und im Folgenden kurz erläutert.

Tabelle 5-4: Übersicht der Systemelemente

Funktion		**Systemelement**	
Nr.	Name	Nr.	Name
1	Urformen	A	Fused Deposition Modelling (Draht)
		B	Selective Laser Sintering (Pulver)
		C	3D-Drucken (Pulver)
		D	Stereolithographie (flüssig, Laserstrahl)
		E	Handauflegeverfahren
		F	Prepegs
		G	Vakuum-Infusionsverfahren
		H	Wickeltechnik
2	Produktions-voraussetzungen schaffen	A	LEG²O
		B	Konventionelles Maschinengestell
		C	Keine
3	Fügen	A	Aufeinanderkleben der beiden Rotorblatthälften
		B	Rotorblatt als ein Teil urgeformt
4	Transport	A	Per LKW
		B	Per Schiff
		C	Per Zug
		D	Kein Transport, da Fertigung vor Ort offshore
		E	Kein Transport, da Fertigung vor Ort an Land

Funktion 1: Urformen

Zunächst werden vier Systemelemente (1A-1D) der generativen Fertigung vorgestellt, die zur Erfüllung der Funktion 1 „Urformen“ eines Rotorblattes verwendet werden können.

Natürlich stellt sich bei dieser Art der Fertigung im Zusammenhang mit Rotorblättern zunächst die Frage nach der Festigkeit. Mit generativen Fertigungsverfahren lassen sich nahezu alle vorstellbaren Strukturen darstellen [Geb07, S. 3 f.], was festigkeitserhöhende Strukturen ermöglicht. Des Weiteren beeinflusst auch der Werkstoff die Festigkeit. So lässt sich die Festigkeit von aus Thermoplasten geformten Bauteilen deutlich erhöhen, wenn Kurzschnittfasern [GBB98, S. 14 ff.] oder Metallpartikel [MS05, S. 309 ff.] hinzugefügt werden. Ebenso ist es im Druckverfahren denkbar, mit einem weiteren Druckkopf längere und gerichtete Fasern in das Bauteil einzubringen, um die Festigkeit den Anforderungen entsprechend zu gewährleisten.

Das Systemelement 1A ist das verbreitete „Fused Deposition Modeling“. Hierbei wird (Kunststoff-) Draht aufgeschmolzen und der Werkstoff so über einen Druckkopf auf dem Werkstück aufgetragen, wo er dann erstarrt [Geb07, S. 52 ff.].

Das Systemelement 1B ist das „Selektive Laser Sintern“. Bei diesem Verfahren wird der Werkstoff als Pulver schichtweise von einem, meist CO_2-, Laser an den Stellen geschmolzen beziehungsweise gesintert, an denen Materialzuwachs entstehen soll [Geb07, S. 44 ff.].

Das Systemelement 1C ist das „3D-Drucken“, ein vom Massachusetts Institute of Technology patentiertes Verfahren. Dabei wird ein Pulver schichtweise an den benötigten Stellen mit einem Bindemittel verfestigt [Geb07, S. 54 f.].

Das Systemelement 1D ist die „Stereolithographie“. Der flüssige Werkstoff wird schichtweise von einem Laser ausgehärtet. Auf diese Weise wird eine örtliche Struktur geschaffen [Geb07, S. 33 ff.].

Nun folgen die vier herkömmlichen Verfahren zum Urformen von Rotorblättern aus Faserverbundwerkstoffen (Systemelemente 1E-1G).

Das Systemelement 1E ist das „Handauflegeverfahren“. *„Hierbei werden die Fasermatten manuell im Harz getränkt und schichtweise in die Form gelegt.“* [Hau08, S. 262]

Das Systemelement 1F ist die Verwendung von „Prepegs“. Für dieses Verfahren werden bereits in Harz getränkte Fasermatten in die Form gelegt, welche im Anschluss bei 100 bis 150° C ausgehärtet werden [Hau08, S. 262].

Das Systemelement 1G ist das „Vakuum-Infusionsverfahren“. Die Fasermatten werden in die Form gelegt. Im Anschluss wird die Form abgedichtet und evakuiert, wobei das Harz mit eingesaugt wird [Hau08, S. 262].

Das Systemelement 1H ist die „Wickeltechnik“. Bei diesem Verfahren werden Endlosfasern zunächst in Harz getränkt und dann gewickelt [Hau08, S. 262 f.].

Funktion 2: Produktionsvoraussetzungen schaffen

Das Systemelement 2A, das „Modulare Werkzeugmaschinengestell“ LEG²O, wurde bereits vorgestellt. Ein anderes Systemelement zur Erfüllung derselben Funktion ist das Systemelement 2B, das „konventionelle Werkzeugmaschinengestell“. Darunter ist ein unflexibles, meist gegossenes Maschinengestell zu verstehen. Das Systemelement 2C „kein Werkzeugmaschinengestell“ ist das dritte Systemelement zur Erfüllung der Funktion, welches den Verzicht auf ein Maschinengestell bei der manuellen Fertigung von Rotorblättern darstellt.

Funktion 3: Fügen

Für die Funktion Fügen werden hier zwei Systemelemente betrachtet. Das Systemelement 3A ist das Aufeinanderkleben der beiden Rotorblatthälften. Dies geschieht bei der herkömmlichen Herstellung der Rotorblätter in der Sandwichbauweise: Zunächst werden zwei Rotorblatthälften *„... aus „hartem“ Faserverbundmaterial ...“* [Hau08, S. 260] gefertigt und anschließend zusammengeklebt [Hau08, S. 260]. Der Kern besteht dabei aus weichem Stützmaterial, um das geringe Gewicht zu ermöglichen [Hau08, S. 260]. Das Systemelement

3B ist der Verzicht auf einen weiteren Fügeprozess, da das Rotorblatt direkt als ein Teil urgeformt wird.

Funktion 4: Transport

Die letzte Funktion ist der Transport. Das Rotorblatt muss nach der Herstellung zum Verwendungsort transportiert werden. Die Systemelemente 4A, 4B und 4C beschreiben den Transport vom Herstellungsort zum Verwendungsort per LKW, Schiff oder Zug. Der Herstellort kann bei diesen Systemelementen beliebig sein und allen denkbaren Anforderungen, die aus den Fertigungsprozessen folgen, entsprechen. Das Systemelement 4D bezeichnet einen Verzicht auf einen Transport des Rotorblattes, da es direkt am Verwendungsort offshore mit den dort gegebenen Rahmenbedingungen gefertigt wird. Das Systemelement 4E unterscheidet sich vom Systemelement 4D dadurch, dass Verwendungs- und Fertigungsort sich an Land befinden.

5.2.4 Bewertung

In diesem Kapitel werden erst die spezifischen Kriterien für beide Szenarien abgeleitet (Kapitel 5.2.4.1). Anschließend werden exemplarisch einige Systemelemente anhand der spezifischen und allgemeinen Kriterien bewertet (Kapitel 5.2.4.2).

5.2.4.1 Ableiten spezifischer Kriterien

Wie in Kapitel 4.1.3 beschrieben, werden aus den zwei Szenarien spezifische Kriterien abgeleitet. Diese spezifischen Kriterien setzen sich aus modifizierten allgemeinen und zusätzlichen Kriterien zusammen. Eine Übersicht über die zusätzlichen Kriterien sowie die verstärkten beziehungsweise abgeschwächten allgemeinen Kriterien für die zwei zuvor erläuterten Szenarien (Kapitel 5.2.2.1) ist in Tabelle 5-5 dargestellt.

Tabelle 5-5: Spezifische Kriterien und ihre Gewichtung

		Negativ-szenario	Positiv-szenario
All-gemeine Kriterien	TCO	**x2**	x1
	Zuverlässigkeit	x1	**x2**
	Flexibilität	x0,5	**x2**
Zusätz-liche Kriterien	Automatisierung		**x2**
	Nationale Wertschöpfungsketten und -netze	x1	
	Wissensintensität		x1
x0,5	halbe Gewichtung		
x1	einfache Gewichtung		
x2	doppelte Gewichtung		

Allgemeine Kriterien

In dem Negativszenario sinkt die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Produktion gegenüber den Schwellenländern. Das entscheidende Kriterium ist nicht mehr das Produkt-Know-how, sondern der Preis. Deshalb werden die ***TCO*** in diesem Szenario doppelt gewichtet. Im Gegensatz dazu baut die deutsche Produktion in dem Positivszenario ihre Produktivitäts- und Qualitätsvorteile unter anderem über zuverlässige, flexible Lösungen weiter aus. Die ***Zuverlässigkeit*** und ***Flexibilität*** werden deshalb in dem Positivszenario doppelt gewichtet. Flexible Lösungen spielen in dem Negativszenario, in dem eine direkte Preiskonkurrenz vorherrscht, eine eher untergeordnete Rolle.

Zusätzliche Kriterien

Zusätzliche Kriterien sind die Automatisierung, die nationalen Wertschöpfungsketten und -netze sowie die Wissensintensität. Die ***Automatisierung*** spielt in dem Positivszenario zur Stärkung der Produktivität eine große Rolle und wird deshalb doppelt gewichtet. In dem Negativszenario wird das Lohngefälle zwischen Deutschland und den Schwellenländern kleiner, so dass niedrige Löhne nicht mehr den entscheidenden Produktionsvorteil darstellen. Die Erhöhung des Automatisierungsgrades kann also in diesem Szenario nicht das Ziel sein.

In dem Negativszenario werden Handelsbarrieren aus- und aufgebaut. Dies wirkt sich in erster Linie auf den Export aus, aber auch auf die Wertschöpfungsketten und -netze insgesamt. Es muss von ***nationalen Wertschöpfungsketten und -netzen*** im Sinne der Absatz-, aber auch der Zuliefererstruktur ausgegangen werden.

Die Wettbewerbsvorteile der deutschen Produktion basieren in dem Positivszenario zu einem erheblichen Anteil auf einem Wissensvorsprung. Dies bezieht sich auf gut ausgebildete Fachkräfte, aber auch auf die enge Verzahnung von Forschung und Industrie. Sind Produkte oder Produktionsverfahren auch ohne besondere Qualifikation herstellbar beziehungsweise durchführbar, verliert der Wissensvorsprung an Bedeutung. In diesem Szenario sind also Systeme beziehungsweise Systemelemente anzustreben, die eine hohe ***Wissensintensität*** voraussetzen.

5.2.4.2 Bewertung der Systemelemente

Die Bewertungen der drei Systemelemente „Fused Deposition Modelling“, „Modulares Werkzeugmaschinengestell (LEG²O)“ und „Konventionelles Werkzeugmaschinengestell“ für das Positivszenario sind in Tabelle 5-6 dargestellt. Die Bewertungen aller Systemelemente ist dem Anhang auf S. A20 zu entnehmen.

Die Bewertung ergibt in Summe für alle drei betrachteten Systemelemente, dass sie den Schwellwert von 65 Prozent überschreiten und somit als nicht problematisch gelten. Das „Fused Deposition Modelling“ erfüllt dennoch ein Kriterium eher schlecht. Der Energie-

verbrauch ist auf Grund des permanenten Aufschmelzens des Werkstoffes und der langen Produktionszeiten nur mit „niedrig“ bewertet worden. Alle anderen Kriterien sind mindestens mit „mittel“ bewertet worden, wobei besonders der Grad der Automatisierung mit der Bewertung „sehr hoch“ hervorsticht.

Tabelle 5-6: Auszug aus der Bewertung der Systemelemente für das Positivszenario

Nachhaltigk.-dimension	**Nachhaltigk.-kriterium**	**Gewich-tung**	**Fused Deposition Modelling**		**LEG²O**		**Konven-tionelles Maschinen-gestell**	
Ökonomie 50%	Total Cost of Ownership	22,22%	3	0,33	4	0,44	4	0,44
	Zuverlässigkeit	22,22%	4	0,44	4	0,44	5	0,56
	Flexibilität	22,22%	4	0,44	5	0,56	2	0,22
	Wirkungsgrad/ Produktivität	11,11%	3	0,17	4	0,22	4	0,22
	Energieverbrauch	22,22%	2	0,22	2	0,22	4	0,44
Ökologie 25%	Treibhausgas-emissionen	25,00%	3	0,19	5	0,31	5	0,31
	Recycling	25,00%	3	0,19	4	0,25	4	0,25
	Ressourcenverbrauch	25,00%	4	0,25	3	0,19	4	0,25
	Schadstoffemissionen	25,00%	4	0,25	5	0,31	5	0,31
Gesellschaft 25%	Gefährdung	25,00%	4	0,25	4	0,25	4	0,25
	Automatisierung	50,00%	5	0,63	5	0,63	5	0,63
	Wissensintensität	25,00%	4	0,25	5	0,31	4	0,25
	Summe:	3 x 100%	72,22% = 3,61		82,78% = 4,14		82,78% = 4,14	

Grau hinterlegt: zusätzliche Kriterien

Unterstrichen: Kriterien mit innerhalb der Nachhaltigkeitsdimension verändertem Gewicht.

Der Bewertungsprozentsatz bezieht sich auf den jeweils maximal erreichbaren Wert von 5.

Bei der Score-Berechnung wurden die Einzel-Produkte ungerundet aufsummiert.

Skala: Erfüllungsgrad des Nachhaltigkeitskriteriums

5: sehr hoch
4: hoch
3: mittel
2: niedrig
1: sehr niedrig

Interessant ist der gleiche Gesamtscore der beiden Systemelemente „LEG²O-Maschinengestell“ und „Konventionelles Maschinengestell“ bei unterschiedlichen Einzelbewertungen. So ist das „LEG²O-Maschinengestell“ auf Grund seiner modularen Bauweise äußerst flexibel (Bewertung „sehr hoch“), das „konventionelle Maschinengestell“ hingegen nicht (Bewertung „niedrig“). Beim Energieverbrauch wie auch bei der Zuverlässigkeit weist das konventionelle Gestell gegenüber dem „LEG²O-Maschinengestell“

Vorteile auf. Die in das „LEG²O-Maschinengestell“ integrierte Mikrosystemtechnik verbraucht Strom und führt tendenziell zu einer höheren Anfälligkeit.

5.2.5 Systembildung

Zur Systembildung werden alle identifizierten Systemelemente (Kapitel 5.2.3) der Funktionen „Produktionsvoraussetzungen schaffen“, „Urformen“, „Fügen“ und „Transport“, wie in einem Auszug in Abbildung 5-7 ersichtlich wird, in einer Konsistenzmatrix paarweise miteinander bezüglich ihrer technischen Verträglichkeit bewertet. Im Folgenden werden die grau in der Abbildung 5-7 dargestellten Bewertungen beispielhaft erläutert. Die gesamte Konsistenzmatrix ist dem Anhang auf S. A21 zu entnehmen.

Konsistenzmatrix

Bewertungsmaßstab:
1 = totale Inkonsistenz
2 = partielle Inkonsistenz
3 = unabhängig
4 = gegenseitige Unterstützung/Konsistenz
5 = stark gegenseitige Unterstützung/ hohe Konsistenz

Pv=Produktionsvoraussetzungen

				Funktionen						
				Urformen				Pv schaffen		
				1A	1B	1C	1D	2A	2B	2C
			Systemelement	Fused Deposition Modelling	Selective Laser Sintering	3D-Drucken	Stereolithographie	LEG²O	Konventionelles Maschinengestell	Keine
Funktionen	Urformen	1A	Fused Deposition Modelling							
		1B	Selective Laser Sintering							
		1C	3D-Drucken							
		1D	Stereolithographie							
	Pv schaffen	2A	LEG²O	5	3	4	3			
		2B	Konventionelles Maschinengestell	2	3	2	3			
		2C	Keine	1	1	1	1			

Abbildung 5-7: Auszug aus der Konsistenzmatrix

Das Systemelement „Modulare Werkzeugmaschine“ (LEG²O) der Funktion „Produktionsvoraussetzungen schaffen“ (2A) weist eine hohe Konsistenz mit dem Systemelement „Fused Deposition Modelling“ der Funktion „Urformen“ (1A) auf. Dies ist darin begründet, dass die Größe des zu druckenden Rotorblattes bei diesem Urformprozess

stark von der Größe des Werkzeugmaschinengestells abhängt, da der Druckkopf jeden Punkt erreichen muss.

Das Systemelement „Konventionelles Werkzeugmaschinengestell“ (2B) weist hingegen eine partielle Inkonsistenz mit dem „Fused Deposition Modelling“ (1A) auf. Der Grund hierfür ist, dass die Größe des Werkzeugmaschinengestells hier unveränderbar ist und ebenso die geforderten Längen von größer als 70 Meter nur schwer mit einem konventionellen Maschinengestell gefertigt werden können.

Alle hier abgebildeten Systemelemente (1A, 1B, 1C und 1D) zur Umsetzung der Funktion „Urformen“ lassen sich ohne Maschinengestell – also von Hand – nicht realisieren. Das Systemelement „Kein Werkzeugmaschinengestell“ (2C) wird somit mit diesem Verfahren als inkonsistent bewertet. Das Systemelement „Kein Werkzeugmaschinengestell“ weist hingegen zum Beispiel zu dem Systemelement 1E „Handauflegeverfahren“, welches in dem Auszug nicht aufgetragen ist, eine hohe Konsistenz auf.

Basierend auf der eben dargestellten Konsistenzbewertung und den in Kapitel 5.2.4 erläuterten Bewertungen werden, wie in Kapitel 4.1.4 beschrieben, Tupel von Systemelementen gebildet, die eine Mindestkonsistenz besitzen und bezüglich der ökonomischen, ökologischen und sozialen Nachhaltigkeit Pareto-optimal sind. Die Bewertung basiert dabei auf den Annahmen des Positivszenarios [AR10]; [AR11] und den daraus abgeleiteten Kriterien (siehe Kapitel 5.2.4).

Der Konsistenzwert ergibt sich aus der Summe der Konsistenzwerte der Systemelement-Paare. Der höchste auftretende Konsistenzwert liegt in diesem Fall bei 27. Für diesen Konsistenzwert existiert nur ein Pareto-optimales Tupel von Systemelementen (=Technologieszenario). Auch bei einer Herabsetzung des Mindestkonsistenzwertes bis auf 26 exisiert weiterhin nur das eine Pareto-optimale Technologieszenario. Erst bei einer Herabsetzung des Mindestkonsistenzwertes auf 25 tritt ein weiteres Technologieszenario auf, welches allerdings einen niedrigeren Gesamtscore der Nachhaltigkeitsbewertung besitzt. Da also keine Verbesserung des Gesamtscores durch Herabsetzen des Mindestkonsistenzwerts erreicht werden kann und dasselbe Technologieszenario immer auftritt, wird hier ein Technologieszenario mit dem maximalen Konsistenzwert von 27 gewählt, welches in Tabelle 5-7 im Überblick dargestellt ist und im Folgenden beschrieben wird.

Tabelle 5-7: Übersicht Technologieszenario „Flexibles Drucken vor Ort“

Funktion		**Systemelement**	
Nr.	**Name**	**Nr.**	**Name**
1	Urformen	A	Fused Deposition Modelling
2	Produktionsvoraussetzungen schaffen	A	Modulares Werkzeugmaschinengestell (LEG²O)
3	Fügen	B	Rotorblatt als ein Teil urgeformt
4	Transport	E	Kein Transport, da Fertigung vor Ort an Land

In dem Technologieszenario „Flexibles Drucken vor Ort“ arbeiten mehrere Druckköpfe, die durch modulare Werkzeugmaschinengestelle (LEG²O) getragen und positioniert werden, parallel an dem „Druck“ eines Rotorblatts. Das Druckverfahren (Fused Deposition Modelling) ermöglicht Leichtbaustrukturen im Inneren des Rotorblatts. Die unterschiedlichen Druckköpfe können durch mehrere miteinander kommunizierende modulare Werkzeugmaschinengestelle hochgenau aufeinander ausgerichtet werden, so dass trotz unterschiedlicher „Bearbeitungsorte“ das Rotorblatt als ein Teil gefertigt werden kann. Sowohl die Module eines Werkzeugmaschinengestells als auch die Werkzeugmaschinengestelle untereinander kommunizieren, so dass diese nicht zwangsläufig physisch miteinander verbunden sein müssen.

Der modulare Aufbau des Werkzeugmaschinengestells ermöglicht einen einfachen Transport und somit die Fertigung des Rotorblatts an dem Ort, an dem die Windkraftanlage betrieben werden soll. Der aufwändige Transport des Rotorblatts entfällt vollständig. Außerdem können durch den modularen Aufbau je nach Bedarf flexibel Rotorblätter unterschiedlicher Größen gefertigt werden.

5.2.6 Kritische Würdigung des Systems

Für eine Verifikation des Systems ist zu prüfen, ob die mit dem vorgestellten System gefertigten Rotorblätter den technischen Anforderungen und geforderten Nachhaltigkeitsgesichtspunkten tatsächlich nachkommen können. Dies ist abhängig von verschiedenen Faktoren, die hier bezogen auf das generative Fertigen angesprochen werden:

Welcher Werkstoff gedruckt wird und welche Leichtbaustrukturen im Rotorblatt zum Einsatz kommen, werden unter anderem bestimmen, ob die technisch geforderten Festigkeiten, Steifigkeiten und das geringe Gewicht realisiert werden können. Dabei sind insbesondere die bereits in Kapitel 5.2.3 genannten Verstärkungen eines thermoplastischen Werkstoffes durch Kurzschnittfasern [GBB98, S. 14 ff.] oder Metall-Partikel [MS05, S. 309 ff.] interessant, für deren Verwendung sich das Fused Deposition Modeling zum Urformen eignet. Neben dem eingesetzten Werkstoff werden die Effizienz des Druck-Verfahrens sowie die Effizienz des

gesamten Systems im Zusammenspiel der einzelnen Systemelemente bestimmen, ob dieses System ökonomisch, ökologisch und sozial nachhaltig einsetzbar ist.

Wegen dieser noch nicht gelösten technischen Herausforderungen könnte das vorgestellte System als „Zukunftsmusik“ bezeichnet werden. Folgende Beispiele zum generativen Fertigen sollen aber verdeutlichen, dass bereits Anwendungen des generativen Fertigens, das heute fast ausschließlich für die Fertigung kleiner Teile eingesetzt wird, im großen Maßstab (Hochskalierung) vorgesehen sind.

Airbus stellt mit seinem „Concept Plane“ ein innovatives Flugzeug- und Kabinenkonzept für 2050 dar. In diesem Konzept sollen unter anderem generative Fertigungsanlagen in der Größenordnung eines Hangars zum Einsatz kommen [Air13-ol]; [Mel12-ol]. Durch das generative Fertigen erwarten die Entwickler sowohl Materialeinsparungen gegenüber heute eingesetzten Trennverfahren bei der Produktion als auch beim Produkt selbst. Die Entwickler erwarten erhebliche Kosten- und Gewichtseinsparungen bei Flugzeugteilen, die sich wiederum in Kraftstoffeinsparung signifikant niederschlagen und so einen Beitrag zur Umweltschonung leisten sollen [Air13-ol].

Der italienische Robotikexperte Enrico Dini hat den größten 3D-Drucker der Welt errichtet, mit dem „*Häuser aus flüssigem Stein*“ gedruckt werden sollen. Bekannt geworden ist dieses Projekt unter dem Titel „The Man Who Prints Houses“ [3D13-ol]. Auch wenn die Materialkosten gegenüber herkömmlichem Beton höher sind, sollen die Sandsteingebäude insgesamt durch geringeren Arbeitseinsatz, Wegfallen von Gerüsten und ähnlichen Hilfsmitteln Kostenvorteile gegenüber herkömmlichen Gebäuden aufweisen [3D13-ol].

Die Beispiele machen deutlich, welches Potential in der Hochskalierung generativer Fertigungsverfahren verborgen liegt. Noch besteht der Nachteil dieser Verfahren, dass der Druckbereich durch die Größe des Gestells stark eingeschränkt ist. Ein modulares und somit flexibles und intelligentes Gestell kann diesen Nachteil weitgehend auflösen. Zum einen können Gestelle flexibel an die Größe des zu druckenden Objekts angepasst werden. Mit dem modularen Gestell kann also nicht nur ein bestimmtes Objekt gedruckt werden, sondern nahezu jedes beliebige. Verstärkt wird dieser Vorteil noch dadurch, dass die Module mithilfe ihrer elektronischen Komponenten kommunizieren und sich hochgenau zueinander positionieren können, ohne dass diese miteinander verbunden sein müssen. Dadurch könnten mehrere Druckköpfe an mehreren Gestellen parallel arbeiten, und der Arbeitsraum muss nicht durch ein Gestell abgebildet werden. Zum anderen können die Module des Gestells leicht transportiert werden, so dass das zu druckende Objekt vor Ort gefertigt werden kann. Der schwierige Transport großer Teile, wie zum Beispiel Rotorblätter, entfällt somit.

5.3 Probleminduzierter Pfad – dezentrale Energieversorgung

Die folgende Anwendung der entwickelten Methode stellt ein Beispiel für den probleminduzierten Pfad in niedrigem Entwicklungsniveau für den Lebensweltbereich Energie dar. Hierzu werden in Kapitel 5.3.1 Szenarien für das Energieumfeld in Sierra Leone im Jahr 2030 erstellt. Aus diesen Szenarien werden Anwendungsfälle abgeleitet und der Anwendungsfall „Autarke Stromerzeugung“ ausgewählt. Für diesen Anwendungsfall werden die erforderlichen Funktionen abgeleitet. In Kapitel 5.3.2 wird die Repräsentation des Systems „Dieselgenerator“, welches die Funktionen erfüllt, dargestellt. In Kapitel 5.3.3 werden zunächst die spezifischen Kriterien aus den Szenarien abgeleitet und dann das identifizierte System „Dieselgenerator“ anhand der spezifischen und allgemeinen Kriterien bewertet. Da mehr als die Hälfte der im System „Dieselgenerator“ enthaltenen Systemelemente durch die Bewertung als problematisch eingestuft werden, wird die Substitution zur Systembildung ausgeschlossen und eine Neu-Kombination in Kapitel 5.3.6 vorgenommen. Hierfür werden den identifizierten Funktionen in Kapitel 5.3.4 zunächst Systemelemente aus dem Technologiepool zugeordnet. Diese Systemelemente werden in Kapitel 5.3.5 bewertet. In Kapitel 5.3.7 wird das gebildete System kritisch betrachtet.

5.3.1 Umfeldzenarien

In diesem Anwendungsbeispiel werden zunächst der Erstellungsprozess der Umfeldszenarien (Kapitel 5.3.1.1) und dann die Szenarien als Ergebnis dieses Prozesses (Kapitel 5.3.1.2) erläutert. Für die Szenarien werden Anwendungsfälle identifiziert, ein zukunftsrobuster Anwendungsfall ausgewählt und die Funktionen abgeleitet, die zu dessen Umsetzung erforderlich sind (Kapitel 5.3.1.3).

5.3.1.1 Szenario-Erstellung

Das Vorgehen zur Erstellung der Umfeldszenarien entspricht den in Kapitel 4.1.2.2 beschriebenen Phasen, beginnend mit der ***Szenario-Feldanalyse***. Das Szenario-Feld wird anhand von allgemeinen Informationen über das Land Sierra Leone sowie Informationen über die Erzeugung und Nutzung von Energie und die dafür erforderliche Infrastruktur analysiert. Daraus werden Einflussbereiche und -faktoren abgeleitet.

Die Republik Sierra Leone ist ein westafrikanisches Land, das an der atlantischen Küste liegt und gemeinsame Grenzen mit Guinea und Liberia aufweist. Mit einer Fläche von 71.740 km² entspricht das Land ungefähr der Größe des Bundeslandes Bayern. Schätzungen zufolge leben derzeit rund 5,7 Mio. Einwohner in diesem Staat [AA11-ol]. Das Land befindet sich in der tropischen Klimazone und erstreckt sich von Savannengebieten bis hin zu Regenwäldern. Die Hauptstadt Freetown ist die größte Stadt des Landes. Sie befindet sich

direkt an der atlantischen Küste und gilt als das ökonomische und finanzielle Zentrum des Landes.

Mit Platz 180 belegt das Land einen der letzten Plätze im Human Development Report Ranking. Die durchschnittliche Lebenserwartung von 47,8 Jahren ist die niedrigste aller Länder weltweit [UNDP11, S. 138]. Sierra Leone gilt als eines der ärmsten Länder der Erde und das Einkommen ist sehr ungleich verteilt. Durch den Bürgerkrieg von 1991 bis 2002 befindet sich der Staat bezogen auf die physische und soziale Infrastruktur in der Wiederaufbauphase. Die Hälfte des arbeitsfähigen Teils der Bevölkerung ist in der Landwirtschaft beschäftigt und der Produktionssektor stützt sich weitestgehend auf die Verarbeitung von Rohmaterial. Das jährliche Bruttonationaleinkommen pro Einwohner beträgt 1.400 US-Dollar und mehr als 70 Prozent der Bevölkerung muss in extremer Armut mit unter einem US-Dollar pro Tag leben [CIA13-ol].

Bei der Wasserversorgung ist das Rohrleitungssystem des Landes noch stark ausbaufähig. Lediglich 20 Prozent der Bevölkerung in urbanen Gebieten und ein Prozent der ländlichen Bevölkerung haben Zugang zu diesem Trinkwasser-System. 30 Prozent der Bevölkerung auf dem Land steht Trinkwasser nur in Form von stark verschmutzten Oberflächen-Quellen (Flüsse, Teiche et cetera) zur Verfügung [PF11, S. 28, S. 34].

Durch den langjährigen Bürgerkrieg hat das bestehende Energiesystem des Landes großen Schaden genommen. Ein Zugang zum Stromnetz ist lediglich partiell in der Hauptstadt Freetown und dem Gebiet um Bo und Kenema vorhanden. Schätzungen zufolge beläuft sich der Anteil der Gesamtbevölkerung mit Zugriff auf das Stromnetz maximal auf fünf Prozent. Neben dem Zugang zum Stromnetz gibt es auch bei der Stromnetzstabilität großen Aufholbedarf. Mit durchschnittlich 46 Netzausfalltagen pro Jahr nimmt das Land in dieser Hinsicht eine Spitzenposition in Afrika ein. Unter diesen Umständen hat die im Land ansässige Industrie stark zu leiden [PF11, S. 15 ff.]. Viele lokale Unternehmen sind dazu gezwungen große Summen in Kraftstoffe und Kraftstoffgeneratoren zu investieren, um die eigene Stromversorgung sicherzustellen. Dies hat auch eine Zunahme der Kosten von Produkten und Dienstleistungen zur Folge [Jal07-ol].

Sierra Leone hat im Jahre 2009 seine Stromerzeugungs-Kapazitäten nach einer langen Phase der Stagnation bedeutend erweitert. Mit der Inbetriebnahme des „Bumbuna Hydroelectric Power Plant“ konnte die Netzkapazität um 50 MW erweitert werden, sodass sich die jährlich produzierte Menge aktuell auf 120.000 Millionen MWh beläuft [CIA13-ol]. Abgesehen von diesem neu in Betrieb genommenen Wasserkraftwerk werden in Sierra Leone hauptsächlich Wärmekraftwerke eingesetzt, die gänzlich auf Ölimporte aus dem Ausland angewiesen sind [Mbe13-ol]. Vor 2009 betrugen deshalb die durchschnittlichen Kosten der Stromerzeugung 0,27 US-Dollar pro kWh, die sich aufgrund der Finanzkrise im

Jahre 2007 sogar auf 0,35 US-Dollar pro kWh erhöht haben. Nach der Inbetriebnahme des Bumbuna-Kraftwerks konnten diese Kosten durchschnittlich auf 0,14 US-Dollar pro kWh verringert werden. Nichtsdestotrotz sind die Stromkosten in Sierra Leone eine der höchsten auf dem afrikanischen Kontinent [PF11, S. 13 f.].

Resultat dieser Analysen und Ergebnis der Szenario-Feldanalyse sind 54 Einflussfaktoren in den sieben Einflussbereichen Land/Umwelt, Gesellschaft, Politik, Infrastruktur, Energie, Produktion und Wirtschaft. Der Einflussfaktorenkatalog ist dem Anhang der Arbeit auf S. A22 ff. zu entnehmen.

Die 54 Einflussfaktoren werden in der nächsten Phase einer ***Einflussanalyse*** unterzogen. Ziel der Einflussanalyse ist es, diejenigen Faktoren zu ermitteln, die die höchste systemische Einbindung besitzen – die sogenannten Schlüsselfaktoren – und die Einflussfaktoren auf diese zu reduzieren. Hierzu wird eine Einflussmatrix genutzt, innerhalb derer die Einflüsse der Faktoren untereinander bewertet werden. Ein Auszug der Einflussmatrix ist in Abbildung 5-8 dargestellt. Hierbei handelt es sich um eine gerichtete Matrix. Die Einflüsse jedes Faktors in der Spalte auf den Faktor in der Zeile werden anhand einer Skala von „0“ bis „3“ bewertet [GPW09, S. 67]. „0“ bedeutet dabei, dass kein Einfluss existiert, „1“ bildet einen schwachen Einfluss ab, „2“ einen mittleren Einfluss und „3“ repräsentiert einen starken Einfluss. Die vollständige Einflussmatrix ist dem Anhang auf S. A25 f. zu entnehmen.

Ein Beispiel dafür, dass der Einfluss eines Faktors auf den anderen bewertet werden muss und nicht nur deren allgemeiner Zusammenhang sind die Faktoren Sicherheitsempfinden und Kriminalität/Korruption, die in Abbildung 5-8 grau gekennzeichnet sind. Das Sicherheitsempfinden hat auf die Kriminalität keinen Einfluss und einen schwachen Einfluss auf Korruption, so dass insgesamt eine Bewertung von „1“ (schwacher Einfluss) angemessen erscheint. Das Ausmaß an Kriminalität und Korruption hingegen hat natürlich einen sehr starken Einfluss darauf, ob die Menschen sich sicher fühlen.

Einflussmatrix

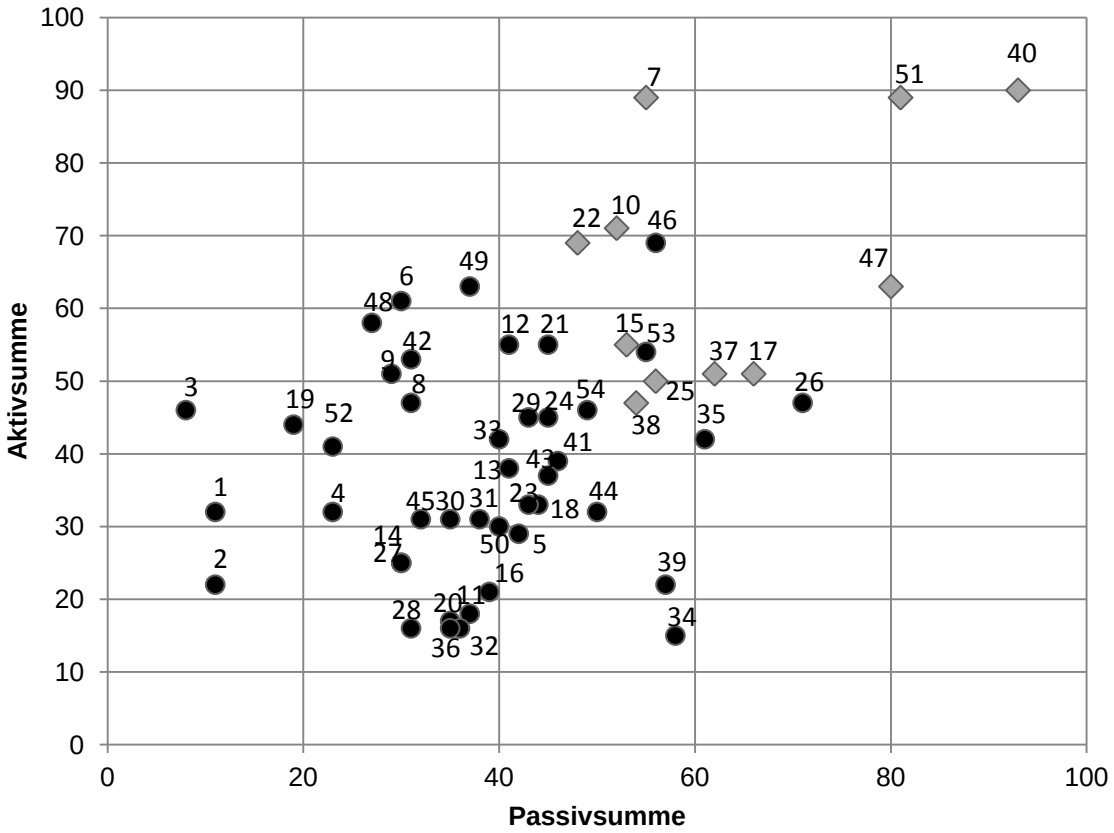
Fragestellung:
"Wie stark beeinflusst der Einflussfaktor j(Spalte) den Einflussfaktor i(Zeile)?"

Bewertungsmaßstab:
0=keinen Einfluss
1=schwacher Einfluss
2=mittlerer Einfluss
3=starker Einfluss

Einflussfaktoren			15 Kriminalität/Korruption	16 Sicherheitsempfinden	17 Förderprogramme der Energiepolitik	37 Energiekosten	38 Energiebedarf	51 Wirtschaftswachstum	**Passivsumme**
Einflussfaktoren	15	Kriminalität/Korruption		**1**	1	1	0	1	**53**
	16	Sicherheitsempfinden	**3**		0	0	0	0	**39**
	17	Förderprogramme der Energiepolitik	1	0		3	3	2	**66**
	37	Energiekosten	2	0	3		3	1	**62**
	38	Energiebedarf	0	2	2	3		3	**54**
	51	Wirtschaftswachstum	2	1	2	3	2		**81**
		Aktivsumme	**55**	**21**	**51**	**51**	**47**	**89**	

Abbildung 5-8: Auszug aus der Einflussmatrix

Ergebnis dieser Analyse sind die Aktiv- und Passivsummen. Die Aktivsumme gibt an, wie stark ein Faktor alle anderen beeinflusst und die Passivsumme gibt an, wie stark ein Faktor von allen anderen beeinflusst wird [GPW09, S. 67]. Die Faktoren werden entsprechend ihrer Aktiv- und Passivsummen im sogenannten System-Grid aufgetragen, welches in der folgenden Abbildung 5-9 dargestellt wird [GPW09, S. 70].



1	Nutzbare Sonneneinstrahlung	28	Wasserver- und Abwasserentsorgung
2	Nutzbare Winde	29	Güterverkehr
3	Nutzbare Topographie	30	Öffentlicher Verkehr
4	Nutzbare Biomasse	31	Individualverkehr
5	Klimawandel	32	Energiequalität
6	Ressourcen/ Bodenschätze	33	Energieverfügbarkeit
7	**Grad der Urbanisierung**	34	Energiemix
8	Analphabeten	35	Autarke Energiesysteme
9	Schulabsolventen	36	Schnittstellen von Energiesystemen
10	**Fachkräfte**	**37**	**Energiekosten**
11	Durchschnittsalter	**38**	**Energiebedarf**
12	Bevölkerungswachstum	39	Form der Energienutzung
13	Gesundheitswesen	**40**	**Produzierende Industrie**
14	Ethnische Unterschiede	41	Verfügbarkeit von Produktionsanlagen
15	**Kriminalität/Korruption**	42	Verfügbarkeit von Technologie
16	Sicherheitsempfinden	43	Verfügbarkeit von Material
17	**Förderprogramme der Energiepolitik**	44	Inländisches Zuliefererernetzwerk
18	Gesetzgebung zu ausländischen Investoren	45	Wissensstand Produktionsmethoden
19	Staatsform/Regierungsform	46	BIP pro Kopf
20	Menschenrechte	**47**	**Attraktivität als Investitionsstandort**
21	Hilfsprojekte	48	Möglichkeit zur Geldbeschaffung
22	**Bildung und Forschung**	49	Lohnniveau
23	Staatssicherheit	50	Einfuhrbestimmungen und Zölle
24	Straßennetz	**51**	**Wirtschaftswachstum**
25	**Stromnetz**	52	Preisstabilität/Inflation
26	Fossile Energieversorgung	53	Hauptkonsumgüter
27	Infrastruktur für Telekommunikation	54	Hauptexportgüter
●	Einflussfaktor	◇	**Schlüsselfaktor**

Abbildung 5-9: System-Grid

Grundsätzlich werden diejenigen Faktoren als Schlüsselfaktoren ausgewählt, die die höchste systemische Einbindung – also die höchsten Aktiv- und Passivsummen – besitzen [GPW09, S. 70]. Es ist jedoch auch möglich, nach Meinung der Szenario-Ersteller, Faktoren, die sich nicht in diesem Bereich befinden, als Schlüsselfaktoren auszuwählen. Dies gilt besonders für den Grenzbereich mit mittlerer Aktiv- und Passivsumme. In diesem Fall werden elf Schlüsselfaktoren identifiziert: Produzierende Industrie, Wirtschaftswachstum, Attraktivität als Investitionsstandort, Förderprogramme der Energiepolitik, Energiekosten, Stromnetz, Energiebedarf, Grad der Urbanisierung, Fachkräfte, Bildung/Forschung und Kriminalität/Korruption. Der Einflussfaktor 46 „BIP pro Kopf“ wird trotz seiner hohen Aktiv- und Passivsumme nicht zum Schlüsselfaktor, da er mit dem Schlüsselfaktor Wirtschaftswachstum kombiniert werden kann.

Die ***Beschreibung der Entwicklungsmöglichkeiten*** der Schlüsselfaktoren – die sogenannten Projektionen – ist Kern der nächsten Phase. Hier werden entsprechend dem Prinzip der multiplen Zukunft [GPW09, S. 60] zwischen zwei und vier Entwicklungen für jeden Schlüsselfaktor identifiziert und beschrieben [GPW09, S. 74 ff.]. Dies kann ein- oder zweidimensional erfolgen. Ein Beispiel für eine eindimensionale Projektionsbildung stellt die „Attraktivität als Investitionsstandort“ dar. Diese kann hoch oder gering sein, was den Projektionen „A: Schlusslicht“ und „B: Superstar“ entspricht. Ein Beispiel für eine zweidimensionale Projektionsbildung wird in Abbildung 5-10 anhand des Schlüsselfaktors Stromnetz dargestellt. Der vollständige Projektionskatalog befindet sich im Anhang auf S. A27 ff. dieser Arbeit.

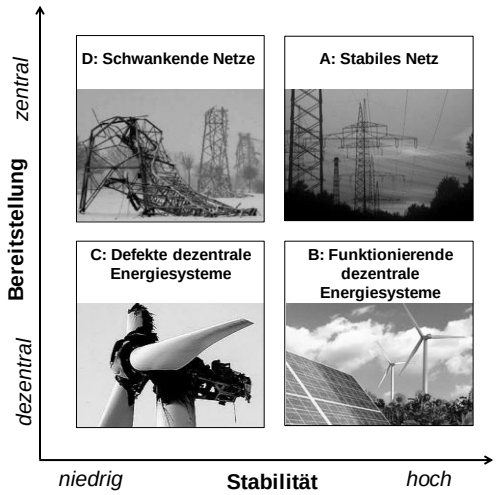


Abbildung 5-10: Projektionsbildung des Schlüsselfaktors Stromnetz

Projektion A beschreibt eine stabile zentrale Strombereitstellung. Es handelt sich also um ein stabiles Netz mit westlichem Standard. In Projektion B findet die Strombereitstellung dezentral statt, ist stabil und zuverlässig. Diese Projektion ist von dezentralen Energiesystemen mit und ohne Netzeinspeisung geprägt. Projektion C beschreibt eine

Situation, in der Stromverfügbarkeit gar nicht oder nur stundenweise an wenigen Orten gegeben ist. Es existiert weder ein Stromnetz, noch arbeiten autarke oder dezentrale Energiesysteme zuverlässig. In Projektion D existiert ein Stromnetz, dieses ist allerdings sehr instabil und Strom ist nur stundenweise und auch nur in der Hauptstadt Freetown verfügbar. Dezentrale Energiesysteme werden kaum eingesetzt und die unzuverlässige Stromversorgung kann somit nicht durch diese kompensiert werden.

In der ***Konsistenzanalyse*** werden die Projektionen bezüglich ihrer Konsistenz untereinander mithilfe einer Konsistenzmatrix bewertet [GPW09, S. 80]. Die Skala reicht dabei von „1 = totale Inkonsistenz“ bis „5 = hohe Konsistenz“ [GPW09, S. 80]. Die Bewertung mit „3“ bildet ab, dass die Projektionen unabhängig voneinander sind. Bei der Konsistenzanalyse wird ein paarweiser Vergleich vorgenommen, es handelt sich also um eine ungerichtete Matrix. Ein Auszug aus der Konsistenzmatrix ist in Abbildung 5-11 dargestellt.

Konsistenzmatrix

Bewertungsmaßstab:
1 = totale Inkonsistenz
2 = partielle Inkonsistenz
3 = unabhängig
4 = gegenseitige Unterstützung/ Konsistenz
5 = stark gegenseitige Unterstützung/ hohe Konsistenz

Schlüsselfaktoren			Projektion	Sehr gute Wirkung	Tropfen auf den heißen Stein	Fehlinvestition	Buschbrand	Stabiles Netz	Funktionierende dezentrale Energieversorgung	Defekte dezentrale Energieversorgung	Schwankende Netze
				Schlüsselfaktoren							
				Förderprogramme der Energiepolitik				Stromnetz			
				4A	4B	4C	4D	6A	6B	6C	6D
Schlüsselfaktoren	Förderprogramme der Energiepolitik	4A	Sehr gute Wirkung								
		4B	Tropfen auf den heißen Stein								
		4C	Fehlinvestition								
		4D	Buschbrand								
	Stromnetz	6A	Stabiles Netz	5	2	2	5				
		6B	Funktionierende dezentrale Energieversorgung	4	3	3	4				
		6C	Defekte dezentrale Energieversorgung	2	4	**5**	1				
		6D	Schwankende Netze	**1**	4	4	2				

Abbildung 5-11: Auszug aus der Konsistenzmatrix

Der Auszug zeigt die Bewertungen der Projektionen des Schlüsselfaktors 4 „Förderprogramme der Energiepolitik“ mit den Projektionen des Schlüsselfaktors 6 „Stromnetz“. Die Bewertungen, die im Folgenden erläutert werden, sind in der Abbildung grau gekennzeichnet. Die vollständige Konsistenzmatrix befindet sich im Anhang auf S. A32 f. der Arbeit.

Die Projektion 4C beschreibt staatliche Fehlinvestitionen in die Energieinfrastruktur des Landes und ist somit hoch konsistent mit der Projektion 6C „Defekte dezentrale Energiesysteme“, in der weder ein Stromnetz, noch funktionierende dezentrale Stromsysteme existieren. In der Projektion 4A können die staatlichen Investitionen in die Energieinfrastruktur ihre volle Wirkung entfalten. Diese Projektion ist inkonsistent mit dem maroden Stromnetz in Projektion 6D.

Basierend auf den Bewertungen in der Konsistenzmatrix werden mittels einer Szenario-Software konsistente Bündel von Projektionen gebildet. Hier wurde die Software der UNITY AG verwendet. Es werden konsistente Tupel von Projektionen gebildet, die entsprechend ihrer Ähnlichkeit immer weiter – in sogenannte Cluster – zusammengefasst werden, bis eine weitere Zusammenfassung den Informationsverlust sprunghaft ansteigen lassen würde [GPW09, S. 82]. In diesem Fall ist eine weitere Zusammenfassung ab drei Cluster nicht ohne sprunghaften Informationsverlust möglich. Diese Cluster entsprechen den Szenarien und werden von der Software unter anderem als Ausprägungslisten je Szenario dargestellt (siehe Tabellen 5-8, 5-9 und 5-10). Die Ausprägungsliste gibt an, in wie viel Prozent der im jeweiligen Szenario enthaltenen Projektionsbündel die entsprechende Projektion vertreten ist [GPW09, S. 86].

5.3.1.2 Szenarien

Die drei Szenarien für das Jahr 2025 werden im Folgenden mit ihren Ausprägungslisten (Tabellen 5-8 bis 5-10) dargestellt und beschrieben.

Szenario 1: Der Afrikanische Tiger

Tabelle 5-8: Ausprägungsliste Szenario 1

Schlüsselfaktor		Projektion		
Nr.	Titel	Nr.	Titel	Ausprägung [%]
1	Grad der Urbanisierung	B	Stadtflucht	37
2	Fachkräfte	D	Arbeitsboom	83
3	Kriminalität/Korruption	A	Geringe Kriminalität	98
4	Förderprogramme der Energiepolitik	D	Buschbrand	63
5	Bildung und Forschung	E	Mittelweg	43
6	Stromnetz	A	Stabiles Netz	62
		B	Dezentrale Energiesysteme	34
7	Energiekosten	B	Leichte Preissenkung	100
8	Energiebedarf	A	Stromfresser Stadt	45
		B	Stromfresser Land	54
9	Produzierende Industrie	A	Guter Produktionsstandort	33
		D	High-Tech-Cluster	52
10	Attraktivität als Investitionsstandort	A	Superstar	100
11	Wirtschaftswachstum	A	Wirtschaftsboom	76
12	Preisstabilität/Inflation	B	Deutsche Mark	48

Die Wirtschaft von Sierra Leone boomt. Die Wachstumsraten sind konstant hoch und werden auch weiterhin so erwartet. Sierra Leone gilt als aufstrebendes Land mit viel Potential. Die Attraktivität von Sierra Leone als Investitionsstandort ist dadurch enorm gestiegen und Sierra Leone wird international als Investitionstipp gehandelt. Europäische, amerikanische und asiatische Konzerne investieren hauptsächlich in den sekundären Wirtschaftssektor. Das konstant hohe Wirtschaftswachstum wird durch eine stabile Finanzpolitik unterstützt. Staats- und Privatbanken arbeiten hierfür Hand in Hand und ermöglichen eine anhaltende Preisstabilität. Die Regelung der Geldmenge und des Leitzinses führt zu einer konstanten und stabilen Inflationsrate. Durch das Vertrauen der Bürger in die Währung rückt der Tauschhandel in den gesellschaftlichen Hintergrund. Auch im internationalen Vergleich wird der Leone als eine starke Währung wahrgenommen. Das gute Investitionsklima und die stabile Finanzpolitik legen die Grundsteine des wirtschaftlichen Aufschwungs. Der sekundäre Sektor vollzieht eine rasante Entwicklung ausgehend von einzelnen Fabriken bis hin zu einem modernen Produktionsstandort mit hochtechnologisierten Anlagen und einer hohen

Wertschöpfungstiefe. Qualitativ hochwertige Produkte können schnell und flexibel gefertigt werden. Staatliche Förderprogramme fokussieren sich auf Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien, wodurch Sierra Leone in diesem Produktionssegment einen großen Fortschritt erzielen kann. Die meisten verwendeten Technologien für den Energiesektor, welche in Sierra Leone im Einsatz sind, werden deshalb im Land selbst produziert. Durch das hohe Wirtschaftswachstum ist auch die Nachfrage nach Fachkräften hoch. Hiermit gehen die Erweiterung und der Ausbau des Schul- und Universitätssystems einher, so dass die hohe Nachfrage abgedeckt werden kann. Das Bildungsniveau steigt allgemein deutlich an und durch gezielte Förderung von Ausbildungsplätzen in Unternehmen werden ausreichend Fachkräfte ausgebildet. Der beschrittene Mittelweg zwischen Forschung und Bildung, der vom Staat eingeschlagen wurde, bringt, neben Fachkräften, auch inländische Spezialisten und Fachleute hervor, die die Forschung vorantreiben. Das Wirtschafts-wachstum beginnt in den Ballungsgebieten, doch im Laufe der Zeit siedelt sich die produzierende Industrie nahezu überall in Sierra Leone an und auch küstenferne Gebiete werden erschlossen. Wegen der Ansiedlung der Industrie, auch in Gebieten fern der Ballungsräume und der damit verbundenen verbesserten Infrastruktur, nimmt die Landflucht ab und die Menschen leben auch in Dörfern und Kleinstädten. Das Wohlstandswachstum lässt die Kriminalität auf ein geringes Maß sinken. Nur sehr wenige Übergriffe finden noch statt und das Sicherheitsempfinden der Bevölkerung erhöht sich. Politische sowie kulturelle Konflikte treten durch den Wirtschaftsaufschwung in den Hintergrund.

Die Regierung von Sierra Leone entwickelt zur Unterstützung der Industrie Förder-programme zur Sanierung und zum Ausbau der Energie-Infrastruktur. Die Förderprogramme beziehen sich auf den Ausbau von Energiekraftwerken, auf die Nutzung von dezentralen Energiesystemen in Form von herkömmlichen und neuartigen Systemen sowie auf den Netzausbau. Eine fast vollständige Abdeckung durch ein hochwertiges Stromnetz wird erreicht und Versorgungsschwankungen treten nur noch selten auf. Neuartige dezentrale Energiesysteme generieren Strom fast ausschließlich durch regenerative Energiequellen, wie Wind, Wasser und Sonne (in Form von Windkrafträdern, Solar- und Photovoltaik-Anlagen und Biokraftwerken). Es werden kaum noch herkömmliche Generatoren zur autarken Energieversorgung angeschafft.

Der hohe Anteil von erneuerbaren Energien an der Energieerzeugung steigt und belebt den Energiemarkt in Sierra Leone nachhaltig. Eine Abdeckung durch autarke Energiesysteme kompensiert fehlende Stromnetze an den wenigen Orten mit Energiebedarf und mangelnder Netzabdeckung. Dezentrale Energiesysteme speisen ansonsten produzierten Strom ins Stromnetz ein und ermöglichen dem Besitzer somit eine Refinanzierung.

Eine hohe Nachfrage nach Strom entwickelt sich zuerst in den Städten, breitet sich aber im Laufe der Zeit und mit dem Voranschreiten des Wirtschaftswachstums auch im ländlichen

Raum aus. Zentral und dezentral ist somit ein hoher Energiekonsum zu verzeichnen. Obwohl die private und industrielle Stromnachfrage steigt, sinken die Strompreise durch staatliche Förderung leicht.

Szenario 2: Rohstoffblase

Tabelle 5-9: Ausprägungsliste Szenario 2

Schlüsselfaktor		Projektion		
Nr.	Titel	Nr.	Titel	Ausprägung [%]
1	Grad der Urbanisierung	A	Landflucht	88
2	Fachkräfte	A	Arbeitsplatzmangel	50
3	Kriminalität/Korruption	B	Anarchie	61
4	Förderprogramme der Energiepolitik	B	Tropfen auf den heißen Stein	38
5	Bildung und Forschung	C	Forschung – Was ist das?	77
6	Stromnetz	C	Defekte dezentrale Energiesysteme	44
		D	Schwankende Netze	50
7	Energiekosten	A	Preisboom	94
8	Energiebedarf	C	Stromverschmäher	61
9	Produzierende Industrie	C	Rohstoffbasis	100
10	Attraktivität als Investitionsstandort	B	Schlusslicht	100
11	Wirtschaftswachstum	A	Wirtschaftsblase	83
12	Preisstabilität/Inflation	C	Geldentwertung	100

In Sierra Leone ist ein starkes Wirtschaftswachstum zu verzeichnen, das auch international für Aufsehen sorgt. Die jährlichen Wachstumsraten überschreiten jedoch das als nachhaltig angesehene Wachstum deutlich und basieren ausschließlich auf neu entdeckten Rohstoffvorkommen und der Öffnung des Rohstoffmarktes in Sierra Leone. Hohe erwartete Gewinne durch die Rohstoffgewinnung ziehen einzelne Spekulanten an, die das Wirtschaftswachstum antreiben. Produzierende Industrie siedelt sich nicht an. Experten stufen das Wirtschaftswachstum als Wirtschaftsblase ein. Durch diese öffentlich gemachte Expertenmeinung schwindet die Attraktivität von Sierra Leone als Investitionsstandort und das Land wird zum absoluten Schlusslicht im internationalen Vergleich. Für die meisten Investoren ist Sierra Leone unattraktiv und lediglich für vereinzelte Spekulanten bleibt Sierra Leone als Rohstoffbasis interessant.

Durch den Abbau von Rohstoffen werden große Flächen gerodet und nachhaltig geschädigt. Durch die Flächenkonkurrenz und die Verödung von gerodeten Flächen steigen die Lebensmittelpreise. Die stark steigenden Lebensmittelpreise und fehlende Gegenmaßnahmen seitens der Geldpolitik führen zu einer Geldentwertung. Wegen fehlender

Preisstabilität ist man der Tauschwirtschaft näher als einem monetären System. Der Abbau der Rohstoffe wird durch ausländische Fachkräfte durchgeführt und die Bürger von Sierra Leone werden lediglich als Hilfsarbeiter eingesetzt. Neue Arbeitsplätze für die einheimische Bevölkerung entstehen kaum.

Einnahmen aus dem Rohstoffhandel werden nicht in Bildung und Forschung investiert. Aufgrund verödeter Landstriche, fehlender Industrie und dem damit verbundenen Mangel an Arbeitsplätzen strömt die Landbevölkerung – in der Hoffnung ihren Lebensstandard steigern zu können – in die Ballungsräume. Dies lässt die Bevölkerungsdichte innerhalb der Städte enorm ansteigen und die schnelle Urbanisierung kann kaum von den Stadträten und -verwaltungen bewältigt werden. Es kommt zur Slumbildung, speziell in Freetown. Die starke Slumbildung, die sich in den Großstädten vollzieht, wirkt sich direkt auf die Kriminalitätsrate aus. Familien und Einzelpersonen stehen nicht genügend Lebensmittel zur Bestreitung ihres alltäglichen Lebens zur Verfügung, weshalb verstärkt Kleinkriminalität entsteht. Auch schwere Gewaltdelikte sind an der Tagesordnung. Es herrscht besonders in den Slums Anarchie, der die Regierung machtlos gegenübersteht.

Die Stromversorgung auf dem Land und in den Städten ist nicht gewährleistet. Zumindest für die Städte existieren seitens der Energiepolitik Bestrebungen, eine bessere Stromversorgung und -verfügbarkeit zu gewährleisten. Die niedrigen Investitionen in das Stromnetz verpuffen jedoch ohne jegliche Wirkung und die Energiepreise steigen stark an. Es gelingt nicht, die maroden Stromnetze auszubauen und die Stromverfügbarkeit ist gering. Neben Schwankungen im Stromnetz treten auch komplette Stromausfälle auf, die über Stunden und Tage nicht behoben werden können. Es fehlen weiterhin Gelder um Reparaturmaßnahmen durchzuführen. Der überwiegende Bedarf an Strom wird weiterhin mithilfe von autarken Energiesystemen, wie Generatoren, gedeckt. Systeme zur Herstellung erneuerbarer Energien gibt es fast gar nicht und die verwendeten Generatoren befinden sich in einem schlechten Zustand. Das kaum vorhandene Stromnetz mit mangelnder Versorgung und die steigenden Energiepreise verhindern sowohl die industrielle als auch die private Nutzung von Elektrizität. Produktion in Sierra Leone wird somit unmöglich und nur eine Minderheit der Menschen besitzt Elektronikgeräte im Haushalt oder zum persönlichen Bedarf. Die Verwendung von Elektronikgeräten kann sich nicht durchsetzen und so bleibt die Nachfrage der Bevölkerung nach Strom weiterhin flächendeckend sehr gering.

Szenario 3: Korrupte Netze

Tabelle 5-10: Ausprägungsliste Szenario 3

Schlüsselfaktor		Projektion		
Nr.	Titel	Nr.	Titel	Ausprägung [%]
1	Grad der Urbanisierung	A	Landflucht	90
2	Fachkräfte	C	Abwärtsspirale	90
3	Kriminalität/Korruption	C	Verbrecherstaat	70
4	Förderprogramme der Energiepolitik	C	Fehlinvestitionen	61
5	Bildung und Forschung	C	Forschung – Was ist das?	70
6	Stromnetz	D	Schwankende Netze	80
7	Energiekosten	B	Leichte Preissenkung	100
8	Energiebedarf	C	Stromverschmäher	100
9	Produzierende Industrie	C	Rohstoffbasis	100
10	Attraktivität als Investitionsstandort	B	Schlusslicht	100
11	Wirtschaftswachstum	C	Wirtschaftsstagnation	100
12	Preisstabilität/Inflation	A	Atomreaktor	100

Die Wirtschaft in Sierra Leone hat sich kaum entwickelt. Ein erhofftes Wirtschaftswachstum ist ausgeblieben und die positive Erwartungshaltung ist einer allgemeinen Unzufriedenheit über die ausbleibende Entwicklung gewichen. Das Land bleibt weiterhin ein Netto-Importeur und produzierende Industrie ist nur in Freetown und auch dort nur vereinzelt vertreten. Ausländische Investitionen sind eine Seltenheit und wenn sie doch stattfinden, beschränken sie sich auf den Rohstoffabbau. Produktionsstätten werden aller höchstens als Lagerhallen verwendet. Durch den Abbau von Rohstoffen werden große Flächen gerodet und nachhaltig geschädigt.

Die Preisstabilität ist in Sierra Leone ein noch immer herrschendes Problem. Inflationsraten sind schwankend und der Regierung gelingt es nicht, auch nur etwas Stabilität herzustellen. Wöchentlich treten Schwankungen auf, die durch kurze Maßnahmen beseitigt werden, jedoch auf eine nahende Finanzmarkt-Katastrophe hindeuten. Es mangelt sowohl am Angebot an Arbeitsplätzen als auch an qualifizierten Arbeitskräften. Es besteht kein funktionierendes Schul- und Ausbildungssystem. Die wenigen Arbeitsplätze, die für Fachkräfte vorhanden sind, können aufgrund fehlender geeigneter Bewerber nicht besetzt werden.

Der Trend zur Selbstversorgung setzt sich weiterhin fort. Durch getätigte Investitionen im Energiesektor fehlt es Sierra Leone an weiteren Mitteln für andere soziale Bereiche. Bildung und Forschung werden fast gar nicht mehr betrieben, da die Mittel dafür nicht aufgebracht werden können und der Nutzen von Forschung nicht erkannt wird. Universitäten existieren

lediglich durch die Spenden von Privatleuten. Im Schulsystem ist das Gleiche festzustellen. Es sind keine Gelder vorhanden, um neue Schulen zu bauen oder Lehrer einzustellen. Der Zustand des Schulsystems hat sich seit den Zeiten des Bürgerkriegs nicht verändert. Es fehlt an Schulen und ausgebildeten Lehrkräften. Die wenigen Schulen, die Sierra Leone noch hat, werden durch Freiwilligen-Arbeit aufrechterhalten.

Aufgrund verödeter Landstriche, fehlender Industrie und dem damit verbundenen Mangel an Arbeitsplätzen strömt die Landbevölkerung – in der Hoffnung ihren Lebensstandard steigern zu können – in die Ballungsräume. Dies lässt die Bevölkerungsdichte innerhalb der Städte enorm ansteigen und die schnelle Urbanisierung kann kaum von den Stadträten und -verwaltungen bewältigt werden. Es kommt zur Slumbildung, speziell in Freetown. Viele Bürger schließen sich organisierten kriminellen Gruppen an, die „Arbeit“ und vermeintliche Sicherheit bieten. Organisierte Kriminalität und Korruption nimmt ein außerordentlich großes Ausmaß an. Ohne Bestechung werden keine Geschäfte mehr im Land getätigt und legale Geschäfte werden durch herrschende kriminelle Gruppen verhindert.

Um den allgemeinen Lebensstandard in den Städten zu erhöhen und die Ansiedlung von Industrie zu ermöglichen, versucht die politische Führung des Landes energiepolitische Maßnahmen einzuleiten, die in Wirtschaftswachstum münden sollen. Maßnahmen werden durch die Aufnahme von Staatsschulden finanziert. Ein Ziel der Regierung ist der Aufbau eines stabilen Stromnetzes. Dieses Vorhaben scheitert nach ersten kleinen Erfolgen an der Korruption und dem organisierten Verbrechen. Die Stromnetze sind weiterhin marode und die Stromverfügbarkeit ist knapp. Neben Schwankungen im Stromnetz treten auch komplette Stromausfälle auf, die über Stunden und Tage nicht behoben werden können. Es fehlen weiterhin Gelder, um Reparaturmaßnahmen durchzuführen und eine Stromversorgung zu gewährleisten. Menschen, die Zugang zum Stromnetz haben, profitieren davon in kaum spürbarem Maße. Wegen sinkender Stromnachfrage fällt der Strompreis von Sierra Leone leicht.

Das kaum vorhandene Stromnetz mit mangelnder Versorgung verhindert sowohl die industrielle als auch die private Nutzung von Elektrizität. Produktion in Sierra Leone wird somit unmöglich und nur eine Minderheit der Menschen besitzt Elektronikgeräte im Haushalt oder zum persönlichen Bedarf. Die Verwendung von Elektronikgeräten kann sich nicht durchsetzen und so bleibt die Nachfrage der Bevölkerung nach Strom weiterhin flächendeckend sehr gering.

5.3.1.3 Ableiten der Funktionen

Die Funktionen werden über Anwendungsfelder und Anwendungsfälle aus den Umfeldszenarien abgeleitet.

Anwendungsfälle

Die Umfeldszenarien zielen auf die Bereitstellung elektrischer Energie ab, wodurch das Anwendungsfeld bereits definiert ist. Im Folgenden werden für jedes Szenario als Anwendungsfälle Systeme zur Versorgung mit elektrischer Energie abgeleitet.

In Szenario 1 herrscht eine fast vollständige Abdeckung durch ein hochwertiges, stabiles Stromnetz vor. Das flexible Stromnetz ermöglicht eine Einspeisung durch dezentrale Energiesysteme, die fast ausschließlich regenerative Energiequellen nutzen. Nur in wenigen entlegenen Regionen kommen autarke Energiesysteme zum Einsatz. Anwendungsfälle für Szenario 1 sind also vor allem Stromnetze, aber auch dezentrale Energiesysteme und teilweise autarke Energiesysteme. In Szenario 2 und 3 ist kein oder nur ein sehr marodes Stromnetz vorhanden. Ein Ausbau des Stromnetzes kommt wegen der schlechten wirtschaftlichen Lage und fehlender Förderprogramme nicht in Frage. In Szenario 3 verhindert zudem die sehr ausgeprägte Kriminalität und Korruption gezielte, wirkungsvolle Investitionen. Der überwiegende Bedarf an Strom wird weiterhin mithilfe von autarken Energiesystemen (ohne Netzanschluss) gedeckt. Der Fokus für beide Szenarien liegt folglich auf autarken Energiesystemen. Für Szenario 2 können auch randständig dezentrale Energiesysteme als Anwendungsfall betrachtet werden.

Eine Übersicht der Anwendungsfälle für jedes Szenario ist in Tabelle 5-11 dargestellt. Es wird ersichtlich, dass der Anwendungsfall „Autarke Stromerzeugung“ in allen Szenarien zum Einsatz kommen könnte und somit zukunftsrobust ist. Da dieser Anwendungsfall in Szenario 1 aber nur teilweise relevant ist, werden bei der anschließenden Suche im Technologiepool beziehungsweise bei der Systembildung auch Systeme zur dezentralen Stromerzeugung nicht ausgeschlossen.

Tabelle 5-11: Übersicht der Anwendungsfälle je Szenario

		Szenarien		
		1	2	3
Anwendungsfälle	Stromnetz	x		
	Dezentrale Stromerzeugung (mit Netzanschluss)	x	(x)	
	Autarke Stromerzeugung	(x)	x	x

x Relevanter Anwendungsfall
(x) Teilweise relevanter Anwendungsfall

Funktionen

Die Funktionen autarker Stromerzeugung lassen sich auf die Funktionen Wandeln, Speichern und Transportieren reduzieren. Die Anzahl der Wandlungs-, Speicher- und Transportprozesse variiert jedoch je nach System. Diese Funktionen gelten ebenfalls für dezentrale Stromerzeugung, wobei bei der Netzeinspeisung gegebenenfalls zusätzliche Wandlungs- und Transportprozesse sowie das Bereitstellen von Informationen vorzusehen sind. Im folgenden Kapitel wird die Repräsentation eines autarken Energiesystems mit seinen Funktionen am Beispiel des Dieselgenerators erläutert.

5.3.2 Technologiepool

Durch die Suche nach einem System zur autarken Stromerzeugung im Technologiepool konnte das im betrachteten Umfeld derzeit am häufigsten eingesetzte System „Dieselgenerator“ identifiziert werden. Seine Repräsentation wird in Abbildung 5-12 dargestellt.

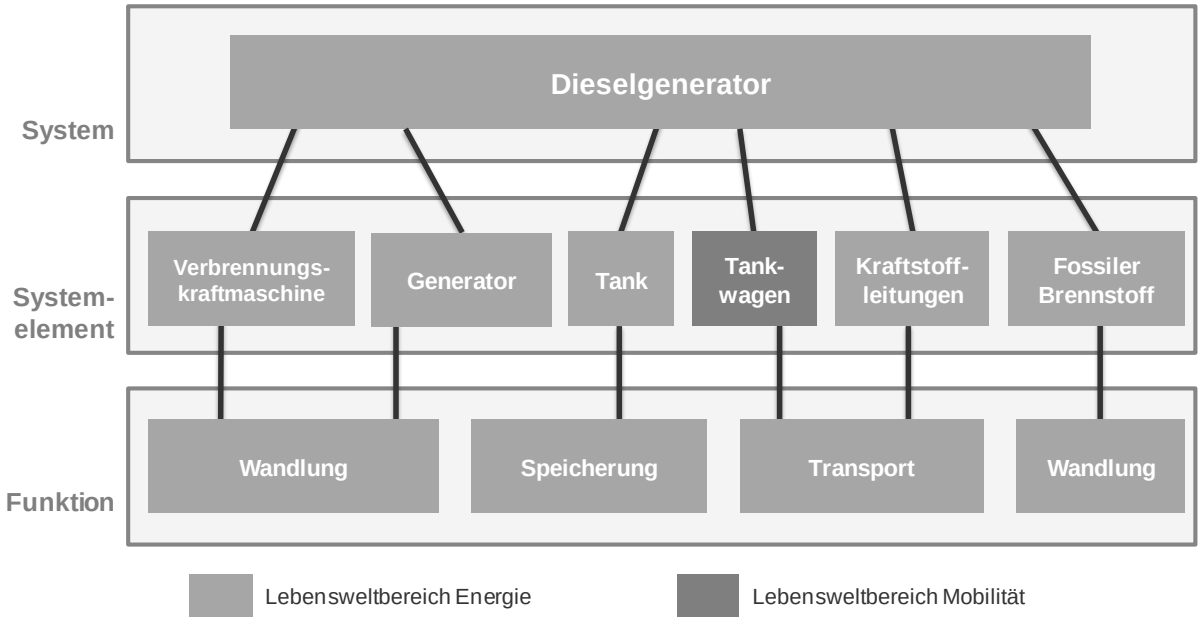


Abbildung 5-12: System „Dieselgenerator“ im Technologiepool

Die sechs Systemelemente erfüllen die Funktionen Wandlung, Speicherung und Transport.

5.3.3 Bewertung

Im Folgenden werden die spezifischen Kriterien für alle drei Szenarien dargestellt. Die Ableitung der Kriterien und deren Erläuterung werden exemplarisch für Szenario 2 dargestellt. Auch die anschließenden Bewertungen werden anhand der spezifischen Kriterien für Szenario 2 vorgenommen. Bei Szenario 2 „Rohstoffblase“ handelt es sich um ein negatives Szenario. Um darzustellen, dass auch unter schlechten Rahmenbedingungen

nachhaltige Systeme identifiziert werden können, ist dieses Szenario also besonders geeignet.

5.3.3.1 Ableiten spezifischer Kriterien

Wie in Kapitel 4.1.3 beschrieben, werden aus den drei Szenarien spezifische Kriterien abgeleitet. Diese spezifischen Kriterien können die allgemeinen Kriterien ergänzen, diese aber auch verstärken oder abschwächen. Eine Übersicht über die zusätzlichen Kriterien sowie die verstärkten beziehungsweise abgeschwächten allgemeinen Kriterien ist in Tabelle 5-12 dargestellt.

Tabelle 5-12: Spezifische Kriterien und ihre Gewichtung

		Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
Allgemeine Kriterien	Zuverlässigkeit	**x2**	x1	x1
	Flexibilität	x0,5	**x2**	**x2**
	Wirkungsgrad	x1	x0,5	x1
	Treibhausgasemissionen	**x2**	x0,5	x1
	Recycling	**x2**	x0,5	x1
	Ressourcenverbrauch	**x2**	x1	x1
Zusätzliche Kriterien	Skalierbarkeit	**x2**		
	Lokales Vorhandensein von Rohstoffen	x1		x1
	Autarkie der Versorgung		**x2**	
	Wartungs- und Reparaturbedarf		**x2**	x1
	Diebstahl- und Vandalismusanfälligkeit		**x2**	x1
	Störungsanfälligkeit der Versorgung			x1
x0,5	halbe Gewichtung			
x1	einfache Gewichtung			
x2	doppelte Gewichtung			

Allgemeine Kriterien

In Szenario 2 „Rohstoffblase“ wird die Flexibilität doppelt gewichtet. Der schlechte Zustand des Elektrizitätsnetzes – sofern vorhanden – führt häufig zu Stromausfällen. Zur Aufrechterhaltung der Stromversorgung ist die Flexibilität des Energiesystems von hoher Bedeutung.

Durch die halbierte Gewichtung werden die Kriterien Wirkungsgrad, Treibhausgasemissionen und Recycling in ihrer Wichtigkeit herabgesetzt. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass die Aufrechterhaltung der Stromversorgung in diesem Szenario im Vordergrund steht, wogegen Effizienz- und Umweltkriterien eher eine untergeordnete Rolle spielen. Vereinfacht und überzeichnet dargestellt, geht es darum, dass Strom erzeugt wird und nicht darum, wie dies geschieht oder welche Folgen die Erzeugung mit sich bringt. Auch

wenn von einer sehr hohen Emission von Treibhausgasen ausgegangen wird, würde die Pro-Kopf-Emission einen geringen Wert annehmen, da in diesem Szenario nur ein geringer Anteil der Bevölkerung Strom nutzt. Außerdem ist in diesem Szenario nicht von einer strengen Umweltgesetzgebung, bezogen auf Recycling und Emissionen oder der Unterzeichnung internationaler Klimaabkommen, und noch weniger von einer Durchsetzung solcher Restriktionen auszugehen. Die Kriterien Wirkungsgrad, Treibhausgasemissionen und Recycling werden im Sinne der angestrebten nachhaltigen Technologiekombinationen in den drei Nachhaltigkeitsdimensionen natürlich nicht ignoriert, sondern nur in ihrer Wichtigkeit herabgestuft.

Zusätzliche Kriterien

Zusätzliche Kriterien in diesem Szenario sind Autarkie der Versorgung, Wartungs- und Reparaturbedarf sowie Diebstahl und Vandalismusanfälligkeit, die wegen ihrer Wichtigkeit in diesem Szenario alle doppelt gewichtet werden.

Unter ***Autarkie der Versorgung*** ist eine Situation zu verstehen, in der alle zur Energieversorgung erforderlichen Güter und Dienstleistungen innerhalb der betrachteten Region vorhanden sind beziehungsweise dort erbracht werden können. Im Wesentlichen geht es dabei um die Verfügbarkeit von Rohstoffen und die Versorgungswege. Im Gegensatz zu dem Kriterium „Lokales Vorhandensein von Rohstoffen“ stehen bei diesem Kriterium nicht wirtschaftliche Überlegungen, wie eine möglichst große Wertschöpfungstiefe in der betrachteten Region, sondern die Aufrechterhaltung der Grundversorgung im Vordergrund. Die besondere Wichtigkeit dieses Kriteriums ist der unsicheren, anarchieähnlichen innenpolitischen Lage in diesem Szenario geschuldet.

Der ***Wartungs- und Reparaturbedarf*** umfasst den Aufwand für „*Maßnahmen zur Verzögerung des Abbaus des vorhandenen Abnutzungsvorrates*“ [DIN31051, S. 5] und den Aufwand für Maßnahmen, um etwas *„... für den beabsichtigten Gebrauch annehmbar zu machen*“ [ISO9000, S. 29]. In Szenario 2 wird von einem allgemein niedrigen Qualifikationsniveau mit einhergehendem Mangel von Fachkräften sowie einer schlecht ausgebauten Infrastruktur und fehlenden finanziellen Mitteln ausgegangen. Diese Rahmenbedingungen führen dazu, dass der Wartungs- und Reparaturaufwand sowohl bezogen auf die erforderliche Qualifikation als auch auf die erforderlichen Mittel und Häufigkeit möglichst gering gehalten werden muss.

Das Kriterium ***Diebstahl- und Vandalismusanfälligkeit*** berücksichtigt erneut die kritische innenpolitische Lage sowie die hohe Kriminalität in diesem Szenario. Systemelemente können wegen ihrer Funktion oder der verbauten Materialien einen Wert darstellen, wodurch die Gefahr des Diebstahls besteht. Außerdem kann ein Systemelement absichtlich

beschädigt werden, wodurch es seine Funktion nicht mehr erfüllen kann. Mit diesem Kriterium soll die Sicherung gegen Diebstahl und Vandalismus bewertet werden.

5.3.3.2 Bewertung vorhandenes System – Dieselgenerator

In Tabelle 5-13 wird die Bewertung der Systemelemente im Rahmen des Systems Dieselgenerator dargestellt. Hierbei werden die Systemelemente „Kraftstoffleitung“ und „Tankwagen“ als Systemelemente zur Umsetzung der Funktion „Transport“ zusammengefasst, da sie eher unterstützende Funktionen im System abbilden und somit der Aufwand für ihre separate Bewertung nicht gerechtfertigt wäre. Die Systemelemente „Verbrennungskraftmaschine (VKM)“ und „Generator“ werden als Umsetzung der Funktion „Wandlung“ zusammengefasst.

Tabelle 5-13: Bewertung der Systemelemente eines Dieselgenerators für Szenario 2

Nh.-dimension	**Nachhaltigkeitskriterium**	**Gewichtung**	**Fossile Brennstoffe**		**Kraftstoffleitung + Tankwagen**		**VKM+ Generator**		**Tank**	
Ökonomie 50%	Total Cost of Ownership	21,10%	4	0,42	2	0,21	3	0,32	5	0,53
	Zuverlässigkeit	10,50%	5	0,26	5	0,26	4	0,21	5	0,26
	Flexibilität	21,10%	5	0,53	2	0,21	4	0,42	5	0,53
	Wirkungsgrad/Produktivität	5,30%	3	0,08	4	0,11	2	0,05	5	0,13
	Autarkie der Versorgung	21,10%	1	0,11	3	0,32	2	0,21	5	0,53
	Wartungs- und Reparaturbedarf	21,10%	4	0,42	4	0,42	2	0,21	5	0,53
Ökologie 25%	Treibhausgasemissionen	16,70%	1	0,04	5	0,21	1	0,04	5	0,21
	Recycling	16,70%	4	0,17	4	0,17	2	0,08	5	0,21
	Ressourcenverbrauch	33,30%	1	0,08	2	0,17	2	0,17	4	0,33
	Schadstoffemissionen	33,30%	1	0,08	5	0,42	1	0,08	5	0,41
Gesellschaft 25%	Gefährdung	50,00%	2	0,25	3	0,38	3	0,38	3	0,38
	Diebstahl- und Vandalismusanfälligkeit	50,00%	4	0,50	2	0,25	2	0,25	4	0,50
	Summe:	3 x 100%	58,8% = 2,94		62,2% = 3,11		48,4% = 2,42		90,8% = 4,54	

Grau hinterlegt: zusätzliche Kriterien

Unterstrichen: Kriterien mit innerhalb der Nachhaltigkeitsdimension verändertem Gewicht.

Der Bewertungsprozentsatz bezieht sich auf den jeweils maximal erreichbaren Wert von 5.

Bei der Score-Berechnung wurden die Einzel-Produkte ungerundet aufsummiert.

Skala: Erfüllungsgrad des Nachhaltigkeitskriteriums

5: sehr hoch
4: hoch
3: mittel
2: niedrig
1: sehr niedrig

Die Bewertung ergibt, dass drei der vier betrachteten Systemelemente als problematisch einzustufen sind, da sie den Schwellenwert von 65 Prozent unterschreiten. Eine Substitution wird nur durchgeführt, wenn maximal die Hälfte der Systemelemente als problematisch gilt. Folglich kommt es hier direkt zu einer Neu-Kombination, die im folgenden Kapitel beschrieben wird.

5.3.4 Technologiepool

Den definierten Funktionen (siehe Kapitel 5.3.1.3 und 5.3.2) müssen zunächst Systemelemente aus dem Technologiepool zugeordnet werden. Sind keine oder nicht ausreichend viele Systemelemente zur Erfüllung der Funktionen im Technologiepool vorhanden, müssen diese in anderen formellen und informellen Quellen identifiziert [Reg01, S. 251 ff.] und anschließend in den Technologiepool eingepflegt werden. Eine Besonderheit ergibt sich im Falle der autarken Stromerzeugung daraus, dass unterschiedlich viele Wandlungsschritte möglich sind. Dies wird in Abbildung 5-13 anhand drei beispielhafter Prozessketten der Energiewandlung illustriert. Definiert ist dabei der Output des Systems „elektrische Energie“.

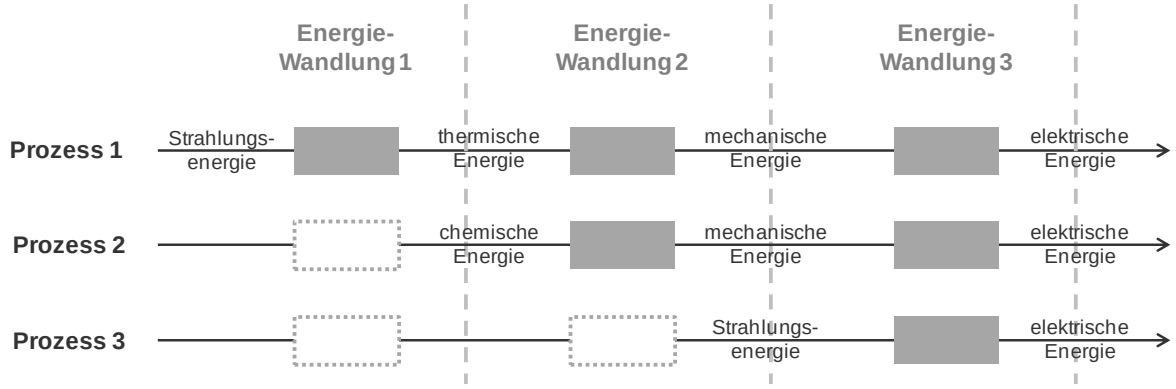


Abbildung 5-13: Variable Anzahl der Wandlungsschritte des Systems

Wird die Energiewandlung mit dem definierten Output „elektrische Energie“ zum Beispiel durch eine Solarzelle realisiert, ist wie in Prozess 3 dargestellt nur eine Wandlung erforderlich. Wird die Energiewandlung durch einen Dieselgenerator (siehe Kapitel 5.3.2) umgesetzt, sind zwei Wandlungen erforderlich. Dies entspricht dem in Abbildung 5-13 dargestellten Prozess 2. Wird die Energiewandlung mithilfe einer solarthermischen Anlage vorgenommen, erhöht sich die Anzahl der Wandlungsschritte auf drei, wie in Prozess 1 abgebildet. In diesem Fall werden maximal drei Wandlungsschritte (Energiewandlung 1 bis 3) vorgesehen. Die Energiewandlung 3 muss dabei immer vollzogen werden, für die Energiewandlung 1 und 2 wird zusätzlich zu den zugeordneten Systemelementen die Option „kein Systemelement“ vorgesehen. Hierdurch wird ermöglicht, dass sowohl Systeme, in denen eine Wandlung stattfindet als auch Systeme in denen zwei oder drei Wandlungen vorgenommen werden, gebildet werden können. Die Tabelle 5-14 stellt die identifizierten Systemelemente in der Übersicht dar.

Tabelle 5-14: Übersicht der Systemelemente

Funktion		**Systemelement**	
Nr.	Name	Nr.	Name
1	Wandlung 1	A	Kernreaktor
		B	Solarzellkollektor
		C	Wärmetauscher
		D	Erdwärmetauscher
		E	Dampferzeuger fossile Brennstoffe
		F	Dampferzeuger Biomasse
		G	Keins
2	Wandlung 2	A	Wasserturbine
		B	Windkraftrotor
		C	Dampfturbine
		D	VKM fossile Brennstoffe
		E	VKM Biomasse
		F	Keins
3	Wandlung 3	A	Generator
		B	Brennstoffzelle
		C	Solarzelle
4	Speicherung	A	Pumpspeicher
		B	Druckluftspeicher
		C	Schwungrad
		D	Kapazitive (sensible) Wärmespeicher
		E	Latentwärmespeicher
		F	Elektrochemische Speicher (Akkumulatoren)
		G	Thermochemische Speicher
		H	Elektrochemische Kondensatoren
		I	Supraleitende magn. Energiespeicher
		J	Keine Speicherung

Funktion 1: Wandlung 1

Es konnten sieben Systemelemente (1A-1G) zur Erfüllung der Funktion „Wandlung 1“ identifiziert werden, die im Folgenden kurz beschrieben werden.

Bei einem Kernreaktor (1A) wird durch eine Kernspaltungsreaktion aus chemischer Bindungsenergie (Brennstoff) thermische Energie gewonnen.

Der Solarzellkollektor (1B) nutzt die Strahlungsenergie der Sonne und wandelt diese durch Bündelung mithilfe von Spiegeln in thermische Energie um.

Der „Wärmetauscher“ (1C) überträgt thermische Energie von einem Stoff auf einen anderen. Ein spezieller Wärmetauscher ist der Erdwärmetauscher (1D), der in geothermischen Kraftwerken zum Einsatz kommt. Hierbei wird ein meist mit Wasser befülltes Leitungssystem genutzt, um die Erdwärme zu transportieren und daraus mithilfe des Wärmetauschers thermische Energie zu gewinnen.

Ein Dampferzeuger (1E, 1F) ist ein Dampfkessel zur Erzeugung thermischer Energie (Dampf) aus chemischer Bindungsenergie. Hierzu findet eine Verbrennung statt. Dabei können fossile Brennstoffe wie Kohle, Öl, Gas (1E) oder Biomasse (1F) genutzt werden.

Das Systemelement „Keins“ (1G) sieht vor, dass keine Wandlung stattfindet.

Funktion 2: Wandlung 2

Zur Erfüllung der Funktion 2 „Wandlung 2“ konnten sechs Systemelemente (2A-2F) identifiziert werden.

Die Systemelemente Wasserturbine (2A) und Windkraftrotor (2B) nutzen die Strömungsenergie von Wasser und Wind und wandeln diese in mechanische Energie um.

Eine Dampfturbine (2C) wandelt thermische Energie in Form von Dampf in mechanische Energie um. In geothermischen oder solarthermischen Kraftwerken, aber auch in Kernkraftwerken, wird auf diese Weise aus der thermischen Energie mechanische Energie gewonnen.

Verbrennungskraftmaschinen (VKM) (2D, 2E) wandeln chemische Bindungsenergie in mechanische Energie um. Unterschiedliche chemische Bindungsenergie als Eingangsgrößen werden durch die Systemelemente „VKM fossile Brennstoffe“ (2D) und „VKM Biomasse“ (2E) ähnlich wie beim oben beschriebenen Systemelement „Dampferzeuger“ (1E, 1F) berücksichtigt. Als fossile Brennstoffe für die VKM werden hierbei Diesel und Gas betrachtet. Unter dem Begriff Biomasse werden in diesem Fall Diesel- und Gassubstitute verstanden. Dieselsubstitute sind Biodiesel, Pflanzenöl, Biomass-to-Liquid-Erzeugnisse sowie hydrierte Öle und Fette. Biodiesel entsteht aus der Umesterung von Pflanzenölen oder durch Algen. Biomass-to-Liquid beschreibt einen Prozess, bei dem der Treibstoff aus cellulosehaltiger Biomasse gewonnen wird. Öle und Fette können durch Hydrierung an die Eigenschaften von fossilem Diesel angepasst werden. Gassubstitute sind Biomethan und Biowasserstoff. Biomethan wird durch Vergärung von Biomasse gewonnen. Biowasserstoff kann zum Beispiel durch die Vergasung von Biomasse erzeugt werden [SHK09, S. 13].

Das Systemelement „Keins“ (2F) wird auch hier vorgesehen, um abbilden zu können, dass gegebenenfalls keine Wandlung stattfindet.

Funktion 3: Wandlung 3

Zur Erfüllung der Funktion 3 „Wandlung 3“ konnten drei Systemelemente (3A-3C) identifiziert werden. Alle drei Systemelemente erzeugen als Output elektrische Energie. Ein Generator (3A) wandelt mechanische Energie, eine Brennstoffzelle (3B) chemische Bindungsenergie und eine Solarzelle (3C) Strahlungsenergie in elektrische Energie um.

Funktion 4: Speicherung

Zur Erfüllung der Funktion Speicherung werden zehn Systemelemente zugeordnet (4A-4J).

Bei einem Pumpspeicher (4A) wird meistens überschüssige elektrische Energie gespeichert, indem Wasser aus einem tiefer gelegenen Becken in ein höher gelegenes gepumpt wird. Zur Rückgewinnung der potentiellen Energie ist die Umwandlung der mechanischen Energie durch eine Wasserturbine erforderlich.

Mittels eines Druckluftspeichers (4B) wird überschüssige elektrische Energie genutzt, um Luft zu komprimieren [Oer08, S. 31]; [Sau06-ol]. Zur Rückgewinnung von elektrischer Energie sind in der Regel drei Wandlungsschritte erforderlich. Bei der Entladung findet gemeinsam mit einem Gas eine Verbrennung statt. Durch diese Verbrennung wird eine Gasturbine angetrieben, die wiederum mittels eines Generators elektrische Energie erzeugt.

Ein Schwungrad (4C) speichert elektrische Energie, indem ein gelagerter Rotationskörper angetrieben wird, der die kinetische Energie speichert.

Kapazitive Wärmespeicher (4D) speichern thermische Energie. Entscheidend für den Wirkungsgrad sind die Wärmekapazität des Speichermediums und die Isolierung [Oer08, S. 45 f.].

Latentwärmespeicher (4E) speichern ebenfalls thermische Energie, es erfolgt aber nicht zwangsläufig eine Temperaturänderung des Speichermediums, da für die Energiespeicherung der Phasenübergang (fest nach flüssig) des Speichermediums genutzt wird [Oer08, S. 51 f.].

Elektrochemische Speicher/Akkumulatoren (4F) wandeln in einer reversiblen Reaktion elektrische Energie in chemische Energie. Der Speicher besteht aus galvanischen Elementen [Sau06-ol].

Thermochemische Speicher (4G) nutzen ebenfalls eine reversible chemische Reaktion. Es wird einem Speichermedium durch Wärmezufuhr zum Beispiel Wasser entzogen. Bei der Entladung wird dieses wieder zugeführt und Wärme wird frei gesetzt.

Elektrochemische Kondensatoren (4H) speichern elektrische Energie, indem eine Spannung an der Elektrode des Speichers angelegt wird. Der Unterschied zu Akkumulatoren liegt darin, dass bei Entladung auch die Spannung abgegeben wird [Oer08, S. 86 f.].

Bei supraleitenden magnetischen Energiespeichern (4I) wird elektrische Energie in Magnetspulen aus supraleitendem Material gespeichert. Der supraleitende Effekt basiert auf der Sprungtemperatur. Unterhalb dieser Temperatur verlieren einige Materialien ihren elektrischen Widerstand. Die Magnetspulen müssen also gekühlt werden [Oer08, S. 92 f.].

Als letztes Systemelement wird die Option „keine Speicherung“ (4J) vorgesehen. Wird die elektrische Energie bedarfsgerecht bereitgestellt und direkt genutzt, ist keine Speicherung erforderlich.

5.3.5 Bewertung

Alle identifizierten Systemelemente zur Umsetzung der Funktionen „Wandlung 1“, „Wandlung 2“, „Wandlung 3“ und „Speicherung“ werden bewertet. Ein Auszug aus der Bewertung wird in Tabelle 5-15 dargestellt. Die vollständige Bewertung befindet sich im Anhang auf S. A34.

Das Systemelement „Solarkollektor“ weist mit einem Gesamtscore von 82,2 Prozent eine insgesamt sehr gute Bewertung auf. Dies ist auf einen hohen Wirkungsgrad aber insbesondere auf die sehr gute Erfüllung der ökologischen Kriterien zurückzuführen. Der Solarkollektor nutzt Sonnenenergie – also eine in unbegrenztem Maße zur Verfügung stehende Energiequelle – und emittiert keinerlei Treibhausgase oder sonstige Schadstoffe. Bezogen auf die Flexibilität weist dieses Systemelement, gegenüber den anderen in Tabelle 5-15 aufgeführten Systemelementen, Nachteile auf. Der Solarkollektor ist von der Sonnenenergie abhängig. Scheint die Sonne nicht, kann keine Energie umgewandelt werden, da auch keine alternativen Energiequellen mit einem Solarkollektor genutzt werden können. Außerdem sind die Kollektoren anfällig für mutwillige Beschädigungen; sie haben also Nachteile bezüglich der Sicherheit gegen Diebstahl und Vandalismus.

Das Systemelement „Dampferzeuger Biomasse“ besitzt mit einem Gesamtscore von 78 Prozent eine gute Bewertung. Dies ist unter anderem zurückzuführen auf die guten TCO, die hohe Zuverlässigkeit und die große Flexibilität. Bei der Verbrennung von Biomasse zur Dampferzeugung können unterschiedliche Arten von Biomasse als Brennstoff genutzt werden. Nachteile sind der verhältnismäßig schlechte Wirkungsgrad sowie die Emission von Treibhausgasen. Die „VKM fossile Brennstoffe“ unterschreitet den geforderten Mindest-Gesamtscore von 65 Prozent. Verantwortlich hierfür sind aus ökonomischer Perspektive der eher schlechte Wirkungsgrad sowie die nicht gegebene Autarkie der Versorgung. Diesel zum Betrieb der VKM müsste eingekauft und zum Energieerzeugungssystem transportiert werden. Aus ökologischer Sicht sind vor allem die Treibhausgasemissionen sowie der Verbrauch nicht erneuerbarer Energien als kritisch zu erachten.

Tabelle 5-15: Auszug der Bewertung der Systemelemente für Szenario 2

Nachh.-dimension	**Nachhaltigkeitskriterium**	**Gewichtung**	**Solarkollektor**		**Dampferzeuger Biomasse**		**VKM fossile Brennstoffe**		**VKM Biomasse**	
Ökonomie 50%	Total Cost of Ownership	21,10%	5	0,53	5	0,53	4	0,42	5	0,53
	Zuverlässigkeit	10,55%	4	0,21	5	0,26	4	0,21	4	0,21
	Flexibilität	21,10%	3	0,32	5	0,53	4	0,42	5	0,53
	Wirkungsgrad/ Produktivität	5,30%	4	0,11	2	0,05	2	0,05	2	0,05
	Autarkie der Versorgung	21,10%	5	0,53	5	0,53	1	0,11	5	0,53
	Wartungs- und Reparaturbedarf	21,10%	4	0,42	4	0,42	4	0,42	4	0,42
Ökologie 25%	Treibhausgasemissionen	16,70%	5	0,21	2	0,08	1	0,04	2	0,08
	Recycling	16,70%	4	0,17	4	0,17	3	0,13	3	0,13
	Ressourcenverbrauch	33,30%	4	0,33	4	0,33	2	0,17	4	0,33
	Schadstoffemissionen	33,30%	5	0,42	3	0,25	3	0,25	3	0,25
Gesellschaft 25%	Gefährdung	50,00%	5	0,63	3	0,38	4	0,50	4	0,50
	Diebstahl- und Vandalismusanfälligkeit	50,00%	2	0,25	3	0,38	3	0,38	3	0,38
Summe:		3 x 100%	82,2% = 4,11		78,0% = 3,90		61,8% = 3,09		78,6% = 3,93	

Grau hinterlegt: zusätzliche Kriterien

Unterstrichen: Kriterien mit innerhalb der Nachhaltigkeitsdimension verändertem Gewicht.

Der Bewertungsprozentsatz bezieht sich auf den jeweils maximal erreichbaren Wert von 5.

Bei der Score-Berechnung wurden die Einzel-Produkte ungerundet aufsummiert.

Skala: Erfüllungsgrad des Nachhaltigkeitskriteriums

5: sehr hoch
4: hoch
3: mittel
2: niedrig
1: sehr niedrig

Das Systemelement „VKM Biomasse“ weist gegenüber der „VKM fossile Brennstoffe“ leichte Vorteile bezogen auf die Flexibilität auf. Hier können verschiedene Brennstoffe genutzt werden beziehungsweise die Brennstoffe aus verschiedenen Pflanzen gewonnen werden. Große Vorteile gegenüber der Nutzung fossiler Brennstoffe sind die autarke Versorgung sowie die Nutzung erneuerbarer Energiequellen durch den Einsatz von Biomasse.

5.3.6 Systembildung

Neben den Bewertungen aller zur Umsetzung der betrachteten Funktionen identifizierten Systemelemente, fließt deren Konsistenz in die Systembildung ein. In Abbildung 5-14 ist ein Auszug aus der hierzu erforderlichen Konsistenzmatrix, die vollständig dem Anhang auf S. A35 zu entnehmen ist, dargestellt. Beispielhaft werden die darin grau gekennzeichneten Bewertungen erläutert.

Konsistenzmatrix

Bewertungsmaßstab:
1 = totale Inkonsistenz
2 = partielle Inkonsistenz
3 = unabhängig
4 = gegenseitige Unterstützung/Konsistenz
5 = stark gegenseitige Unterstützung/ hohe Konsistenz

Funktionen			Systemelemente	Wandlung 1: 1D Erdwärmetauscher	1E Dampferzeuger fossile Brennstoffe	1F Dampferzeuger Biomasse	1G Keins	Wandlung 2: 2C Dampfturbine	2D VKM fossile Brennstoffe	2E VKM Biomasse	2F Keins
Funktionen	Wandlung 1	1D	Erdwärmetauscher								
		1E	Dampferzeuger fossile Brennstoffe								
		1F	Dampferzeuger Biomasse								
		1G	Keins								
	Wandlung 2	2C	Dampfturbine	3	**5**	**5**	1				
		2D	VKM fossile Brennstoffe	1	2	**1**	5				
		2E	VKM Biomasse	3	2	**4**	5				
		2F	Keins	1	1	**1**	3				

Abbildung 5-14: Auszug aus der Konsistenzmatrix

Ein Dampferzeuger (1E und 1F) ist, unabhängig davon womit dieser betrieben wird (fossile Brennstoffe oder Biomasse), hoch konsistent mit einer Dampfturbine, da der Output des Dampferzeugers (thermische Energie in Form von Dampf) dem von der Dampfturbine (2C) geforderten Input entspricht. Ein mit Biomasse betriebener Dampferzeuger (1F) ist völlig inkonsistent mit einer mit fossilen Brennstoffe betriebenen VKM (2D), da weder die Outputs des Dampferzeugers den Inputs der VKM entsprechen, noch Synergieeffekte durch sich

ergänzende, parallel arbeitende Systemelemente zu erwarten sind. Obwohl ein mit Biomasse betriebener Dampferzeuger (1F) nicht den erforderlichen Output für eine mit Biomasse betriebene VKM (2E) besitzt, können diese Systemelemente sich ergänzen. Beispielsweise könnte die Biomasse, die sich nicht zur Verbrennung in einer VKM eignet, einen Dampferzeuger befeuern. Das Systemelement „Keins“ (2F) beschreibt, dass keine weitere Wandlung vorgenommen wird. Da jedoch der definierte Output des Systems elektrische Energie ist und das Systemelement 1F mechanische Energie liefert, ist die Kombination mit 2F völlig inkonsistent.

Die Bewertungen in der Konsistenzmatrix und die Tupel-Bildung ergeben einen maximalen auftretenden Konsistenzwert von 26. Für diesen Konsistenzwert existieren drei Pareto-optimale Technologieszenarien (= Tupel von Systemelementen). Im Folgenden wird das Technologieszenario beschrieben, welches den höchsten Gesamtscore unter den drei entstandenen Technologieszenarien besitzt. Das Technologieszenario „(Bio-)masse statt Klasse“ setzt sich aus den in Tabelle 5-16 dargestellten Systemelementen zusammen und wird im Folgenden beschrieben.

Tabelle 5-16: Übersicht Technologieszenario „(Bio-)masse statt Klasse“

Funktion		Systemelement	
Nr.	Name	Nr.	Name
1	Wandlung 1	F	Dampferzeuger Biomasse
2	Wandlung 2	E	VKM Biomasse
3	Wandlung 3	A	Generator
4	Speicherung	J	Keine Speicherung

Die Energiewandlung basiert zunächst auf zwei unterschiedlichen Arten, Biomasse zu nutzen. Zum einen wird Dampf aus der Verbrennung von Biomasse erzeugt, die dann mithilfe einer Turbine in mechanische Energie umgewandelt wird. Die Turbine ist zwar nicht Bestandteil des Szenarios, ist aber als Zwischenwandlung technisch erforderlich und wird deshalb in der Abbildung des Systems im Technologiepool ergänzt. Zum anderen wird aus Biomasse gewonnener Kraftstoff durch eine VKM in mechanische Energie gewandelt. Die mechanische Energie beider Systemelemente wird dann durch einen Generator in elektrische Energie gewandelt. Die beiden unterschiedlichen Möglichkeiten, Biomasse zu nutzen, erhöhen die Flexibilität und Autarkie des Systems. Es können unterschiedliche Pflanzen und deren Reste je nach Verfügbarkeit genutzt werden. Eine Speicherung ist in diesem System nicht erforderlich, da Strom bedarfsgerecht produziert werden kann.

5.3.7 Kritische Würdigung des Systems

Grundsätzlich kann bei der Energieerzeugung aus erneuerbaren Quellen zwischen Verfahren unterschieden werden, die Biomasse als Eingangsstoff nutzen und die keine Biomasse als Eingangsstoff nutzen (Abbildung 5-15). Die Verfahren, die Biomasse nutzen, können nach Auftreten von Nahrungsmittelkonkurrenz weiter untergliedert werden.

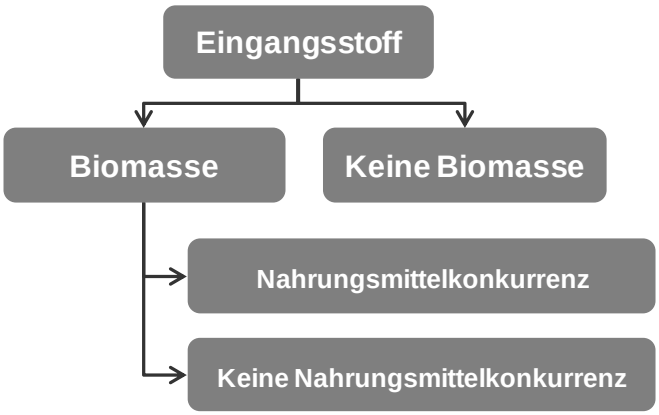


Abbildung 5-15: Klassifizierung erneuerbarer Energieerzeugung bezogen auf Biomasse

Natürlich ist die Nachhaltigkeit der Energieerzeugung aus Biomasse besonders in einem afrikanischen Land bezogen auf die Nahrungsmittelkonkurrenz kritisch zu betrachten. In Sierra Leone hungern viele Menschen. Wenn die dringend benötigten Nahrungsmittel dann noch zur Energieerzeugung genutzt werden, ist dies untragbar. Eine Alternative bieten Verfahren, bei denen Reststoffe verarbeitet werden. Hier tritt weder eine direkte noch eine indirekte Nahrungsmittelkonkurrenz durch Flächennutzungsänderungseffekte auf.

Einen ersten Ansatz für die Energiegewinnung aus Biomasse mit Reststoffen in einem Land mit mittlerem Entwicklungsniveau stellt das Projekt „Indien – Biomasse aus Reishülsen als erneuerbare Energiequelle“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) dar. In diesem Projekt wird gezeigt, welches Potential zur Energienutzung die bislang meist ungenutzten Reishülsen bieten [BMU13-ol]. Reis ist auch in Sierra Leone das wichtigste landwirtschaftliche Erzeugnis [GIZ13-ol] und daher könnten die Hülsen auch für das System „(Bio-)masse statt Klasse“ sowohl für die Herstellung von Kraftstoffen für die VKM als auch zur direkten Verbrennung im Dampferzeuger genutzt werden. Ein weiteres Potential zur Energieerzeugung aus Reststoffen bietet die, neben Reis, am häufigsten angebaute Pflanze Hirse. Hier könnte, ähnlich wie bei in europäischen Ländern angebauten Getreidesorten, das Stroh verwendet werden [Bio13-ol].

5.4 Probleminduzierter Pfad – Kakaomassenherstellung

Die folgende Anwendung der entwickelten Methode stellt ein Beispiel für den probleminduzierten Pfad in niedrigem Entwicklungsniveau für den Lebensweltbereich Produktion dar. Ausgangspunkt sind die erstellten Umfeldszenarien für die Produktion in Sierra Leone, die in Kapitel 5.4.1 vorgestellt werden. Aus diesen Szenarien werden Anwendungsfälle abgeleitet und der Anwendungsfall „Kakaomassenherstellung“ des Anwendungsfelds „Verarbeitung landwirtschaftlicher Erzeugnisse“ ausgewählt. Für diesen Anwendungsfall werden die erforderlichen Funktionen abgeleitet. Im Technologiepool wird ein System identifiziert, welches die geforderten Funktionen erfüllt (Kapitel 5.4.2). In Kapitel 5.4.3 werden zunächst die spezifischen Kriterien aus den Szenarien abgeleitet und dann die Systemelemente des identifizierten Systems „Kakaofabrik“ anhand der spezifischen und allgemeinen Kriterien bewertet. Da lediglich das Systemelement „Dieselgenerator“ als problematisch eingestuft wird, wird dieses Systemelement in der Systembildung substituiert (Kapitel 5.4.4). In Kapitel 5.4.5 wird das gebildete System kritisch betrachtet.

5.4.1 Umfeldszenarien

Die Umfeldszenarien für die Produktion in Sierra Leone 2030 wurden anhand der in Kapitel 4.1.2 beschriebenen und in Kapitel 5.3.1.1 am Beispiel der Energiebereitstellung dargestellten Vorgehensweise erstellt. Auf die Erstellung wird daher bei diesem Anwendungsbeispiel nicht erneut eingegangen. Die Unterlagen (Projektionskatalog und Konsistenzmatrix) zu den einzelnen Phasen der Erstellung befinden sich im Anhang auf S. A37 ff. beziehungsweise S. A42 f.. Die Faktoren der Szenarien aus dem vorangegangenen Anwendungsbeispiel (siehe Kapitel 5.3.1.1, insbesondere Abbildung 5-9) werden teilweise erneut genutzt. Ergebnis sind drei Szenarien für die Produktion in einem Entwicklungsland am Beispiel Sierra Leone, die im Folgenden anhand ihrer Ausprägungslisten (siehe Tabellen 5-17, 5-18 und 5-19) beschrieben werden (Kapitel 5.4.1.1). Für jedes Szenario werden Anwendungsfelder und Anwendungsfälle abgeleitet. Für den Anwendungsfall „Kakaomassenherstellung“ basierend auf Szenario 3 werden die Funktionen ermittelt (Kapitel 5.4.1.2).

5.4.1.1 Szenarien

Szenario 1: Das neue Sierra Leone – Eine industrialisierte Nation

Tabelle 5-17: Ausprägungsliste Szenario 1

Schlüsselfaktor		**Projektion**		
Nr.	**Titel**	**Nr.**	**Titel**	**Ausprägung [%]**
1	Wirtschaftswachstum	A	Wirtschaftsboom	30
		B	Wirtschaftsblase	69
2	Bildung und Forschung	A	Bildungsgesellschaft	39
		B	Forschungsgesellschaft	34
3	Attraktivität als Investitionsstandort	A	Superstar	37
		B	Steigende Attraktivität	62
4	Korruption	C	Westlicher Standard	75
5	Kriminalität	A	Persönliche Sicherheit	87
6	Verkehrsinfrastruktur	C	Beste Voraussetzungen	82
7	Allgemeine Infrastruktur	B	Instabile Versorgung	32
		C	Modernes Netz	67
8	Anteil produzierende Industrie	C	Wachstum	36
		D	Hightech-Cluster	35
9	Bedeutung Landwirtschaft	D	Industrienation	48
		C	Aufbruchsstimmung	45
10	Fachkräfte	C	Fachkräftemangel	63
		D	Arbeitsmarktboom	27

Die Wirtschaft von Sierra Leone erlebt einen starken Aufschwung und wächst auch über Konjunkturzyklen hinweg konstant weiter. In allen Bereichen des wirtschaftlichen Sektors sind Zuwächse zu verzeichnen. Die Entwicklung zum Schwellenland ist geschafft. Dabei rückt das Land stärker ins internationale Rampenlicht von Investoren und die Attraktivität steigt für Groß- und Kleininvestoren. Investitionen sind als gewinnbringend und zukunftsfördernd anzusehen. Einheimische Unternehmer und Joint Ventures tragen dazu bei, im ganzen Land eine Aufbruchsstimmung zu erzeugen. Auf breiter Ebene gelingt es dem Land, sich als zuverlässiger Partner für Industrien auch mit hoher Wertschöpfungstiefe zu positionieren, da es sich einen Ruf erworben hat, gut qualifizierte Mitarbeiter mit günstigen Arbeitskosten und gesundem Investitionsklima zu kombinieren. Durch die anhaltend positive Auftragslage ist der produzierende Wirtschaftssektor fähig, Investitionen zu tätigen und sorgt somit für einen kontinuierlichen Zuwachs von hochtechnologisierten Produktionsanlagen. Der Landwirtschaft in Sierra Leone kommt keine bedeutende Rolle mehr zu und der eigene Bedarf wird mehr und mehr durch Importe abgedeckt. Im Zuge des langfristigen

wirtschaftlichen Wandels hat sich die Industrialisierung im Land durchgesetzt, die den größten Anteil des BIP ausmacht und auch zahlreiche Arbeitsplätze im Produktionssektor geschaffen hat.

In Sierra Leone wurde in den letzten Jahren viel Geld in Bildung investiert, um den allgemeinen Wissensstand der Gesellschaft zu fördern. Durch den gezielten Einsatz von Forschungsgeldern möchte man in verschiedenen Bereichen eine Vorreiterrolle einnehmen und die Wettbewerbsfähigkeit langfristig sichern. Wegen des wirtschaftlichen Aufschwungs ist das Angebot an Arbeitsplätzen sehr groß. Viele junge Leute sehen eine Zukunftsperspektive im Abschluss einer technischen Ausbildung. Gleichzeitig fragt der Wirtschaftssektor verstärkt Fachkräfte nach, um den Bedarf an qualifizierten Arbeitern zu decken. Die hohe Nachfrage nach Fachkräften kann nicht vollständig gedeckt werden.

Die Versorgungsgüter (Öl, Gas, Wasser) sind im vollen Umfang zugänglich und die Versorgungssicherheit kann weitestgehend gewährleistet werden. Eine zentrale Stromversorgung ist entstanden, bei der jeder Haushalt über einen eigenen Stromanschluss verfügt. Die Bereitstellung erfolgt in ausreichender Menge mit konstanter Netzspannung. Gezielte Investitionen in die Infrastruktur haben die Voraussetzung für die Wiederaufnahme regelmäßiger Verbindungen und Transporte ermöglicht. Ein allgemein gut zugängliches öffentliches Straßen- und Schienennetz stellt die Grundlage für den Personen- und Güterverkehr dar. Der Regierung liegt die Ermöglichung von Transport und Mobilität zur Förderung der Wirtschaft am Herzen, ausländische Investoren beteiligen sich aufgrund des guten Investitionsklimas an vielen Projekten.

Durch den angestiegenen Wohlstand hat sich die Sicherheit des Landes stark erhöht, Kriminalität wurde in den letzten Jahren bekämpft. Selten kommt es noch zu Übergriffen oder Straftaten. Übergriffe und Gewaltverbrechen von Einzelpersonen, sowie organisierte Kriminalität in Form von Ausbeutung durch kriminelle Netzwerke, gehören der Vergangenheit an und treten nur sehr selten auf. Die gesellschaftliche Akzeptanz von Korruption hat abgenommen. Westliche Standards hinsichtlich des freien Wettbewerbs und des Umgangs mit Eigentum sind zur Basis des Alltagsgeschäfts geworden. Korruption wird gerichtlich verfolgt und gesellschaftlich geächtet.

Szenario 2: Schlusslicht – Keine Hoffnung auf eine langfristige Produktionsmöglichkeit?

Tabelle 5-18: Ausprägungsliste Szenario 2

Schlüsselfaktor		Projektion		
Nr.	**Titel**	**Nr.**	**Titel**	**Ausprägung [%]**
1	Wirtschaftswachstum	D	Negatives Wachstum	33
		C	Wirtschaftsstagnation	64
2	Bildung und Forschung	C	Der Mittelweg	72
		D	Geringer Fokus auf Wissen	27
3	Attraktivität als Investitionsstandort	C	Schlusslicht	100
4	Korruption	A	Legale Korruption	51
		B	Illegale Korruption	48
5	Kriminalität	B	Anarchie	51
		C	Verbrecherstaat	48
6	Verkehrsinfrastruktur	A	Feldwege	38
		B	Schlechte Straßen	48
7	Allgemeine Infrastruktur	A	Manuelle Versorgung	68
8	Anteil produzierende Industrie	A	Rohstoffbasis	85
9	Bedeutung Landwirtschaft	A	Selbstversorgung	25
		B	Das „A“ und „O“	50
10	Fachkräfte	B	Abwärtsspirale	74

Die Wirtschaft von Sierra Leone wird zunehmend geschwächt. Die Produktion von Waren und Dienstleistungen nimmt weiter ab, das Land belegt den letzten Platz auf internationalen Wachstumsskalen und spielt im internationalen Wirtschaftsgeschehen kaum eine Rolle. Erfolgte Investitionen sind als nicht gewinnbringend einzuschätzen. Es gibt nahezu keine Großinvestoren, die auch Investitionen in Sierra Leone tätigen. Allgemeine Berichte und Beurteilungen über Sierra Leone fallen sehr pessimistisch aus und die Konsequenzen sind als ernsthaft einzustufen. Die wenigen vorhandenen Investoren sind nur an Rohstoffen interessiert, es kommt nicht zur Bildung von Industrie. Das Land bleibt ein Agrarland, das Rohstoffe liefert. Die wenigen produzierenden Tätigkeiten beschränken sich vorwiegend auf Handarbeit und der Output dient hauptsächlich der Selbstversorgung der eigenen Bevölkerung. Der landwirtschaftliche Sektor in Sierra Leone hat wegen der geringen Nachfrage nach Erzeugnissen keinen besonderen Einfluss auf das BIP. Wegen einer geringen Mechanisierung und fehlendem Wissen ist die Landwirtschaft im großen Stile praktisch kaum vorhanden. Dennoch ist der größte Teil der Bevölkerung in der Landwirtschaft tätig, hauptsächlich in Subsistenzwirtschaft.

Die Regierung in Sierra Leone setzt neue Prioritäten und investiert in Bildung und Forschung. Beide Bereiche werden nun zunehmend gefördert und der erste Schritt für ein etabliertes Bildungssystem ist bewältigt worden. Die gegenwärtige Situation im Land hat sich allerdings kaum gebessert. Der Arbeitsmarkt stellt kaum Arbeitsplätze zur Verfügung und die wenigen Stellen, die es gibt, werden aus Mangel an qualifiziertem Personal nicht richtig besetzt. Eine Abwärtsspirale bricht los, die nicht schnell gestoppt werden kann.

Auch das Rohstoff-Versorgungsnetz (Öl, Gas, Wasser) ist nicht ausreichend ausgebaut. Vielen Menschen stehen diese Ressourcen nicht unmittelbar zur Verfügung, sodass weite Wege zur Beschaffung in Kauf genommen werden müssen. Ein Stromnetz ist nicht vorhanden und man ist auf die wenigen autarken Energiesysteme, wie Generatoren oder Windkrafträder, angewiesen. Die allgemeine Unsicherheit und der schwache öffentliche Haushalt haben eine Wiederherstellung der Infrastruktur extrem erschwert. Die wenigen noch nutzbaren Straßen und Schienenwege befinden sich in einem desaströsen Zustand, Schäden durch Militärfahrzeuge haben sie unbenutzbar gemacht. Der Güter- und Personenverkehr ist zum Erliegen gekommen, eine Reise stellt ein lebensgefährliches Abenteuer dar.

Kriminalität gehört in Sierra Leone zum Alltag. Organisierte Verbrecherbanden und andere kriminelle Netzwerke profitieren vom nicht ausreichend geschützten Staat und Bürger- und Privatpersonen leiden stark darunter. Wird ein Verbrechen verübt, so ist mit großer Sicherheit eine kriminelle Organisation der Drahtzieher dahinter. Normale Gehälter reichen nicht zum Überleben aus. Korruption ist daher die akzeptierte Normalität. Ohne Bestechung läuft im Lande nichts.

Szenario 3: Eine große Chance – Die Hoffnung auf einen Produktionsboom

Tabelle 5-19: Ausprägungsliste Szenario 3

Schlüsselfaktor		Projektion		
Nr.	**Titel**	**Nr.**	**Titel**	**Ausprägung [%]**
1	Wirtschaftswachstum	C	Wirtschaftsstagnation	90
2	Bildung und Forschung	C	Der Mittelweg	70
3	Attraktivität als Investitionsstandort	B	Steigende Attraktivität	100
4	Korruption	B	Illegale Korruption	90
5	Kriminalität	B	Anarchie	100
6	Verkehrsinfrastruktur	B	Schlechte Straßen	50
		C	Beste Voraussetzung	50
7	Allgemeine Infrastruktur	B	Instabile Versorgung	50
		C	Modernes Netz	50
8	Anteil produzierende Industrie	A	Rohstoffbasis	70
		D	Hightech-Cluster	30
9	Bedeutung Landwirtschaft	B	Das „A“ und „O“	80
10	Fachkräfte	A	Arbeitsplatzmangel	60
		B	Abwärtsspirale	30

Die Wirtschaft von Sierra Leone stagniert und wirtschaftliche Zuwächse sind kaum zu verzeichnen. Der Großteil der wirtschaftlichen Aktivitäten dient vordergründig zur Selbstversorgung. Einzelne Investoren erkennen jedoch eine steigende Attraktivität von Sierra Leone und investieren zunehmend, wenngleich auch nur in einem geringen Umfang. Weitere Investitionsentscheidungen werden von der Entwicklung der bereits erfolgten Investitionen abhängig gemacht. Eine etwaige Ansiedelung von hochwertigen Produktionsanlagen, die eine erste Produktion auf industriellem Niveau ermöglichen, werden hierbei in Betracht gezogen. Derzeitig beschränkt sich jedoch das Interessensgebiet der vorhandenen Investoren vorwiegend auf Rohstoffe. Das Land bleibt ein Agrarland. Die produktionsspezifischen Tätigkeiten beschränken sich vorwiegend auf Handarbeit. Landwirtschaft spielt eine bedeutende Rolle in Sierra Leone. Auch wenn die traditionelle Landwirtschaft für den Eigenbedarf stets im Vordergrund steht, liegt der wirtschaftliche Hauptfokus auf dem Export von landwirtschaftlichen Erzeugnissen. Es existieren viele große Plantagen, die in der Regel von europäischen Gesellschaften geleitet werden und auf denen landwirtschaftliche Erzeugnisse (zum Beispiel Kakao, Bananen, Kaffee, Tee) für den internationalen Markt produziert werden.

Die Regierung in Sierra Leone setzt neue Prioritäten und investiert in Bildung und Forschung. Beide Bereiche werden nun zunehmend gefördert und der erste Schritt für ein

etabliertes Bildungssystem ist bewältigt worden. Dieser Trend zur Bildung motiviert viele junge Menschen und deren Eltern, die gute Zukunftschancen in technischen Berufen sehen. Eine verstärkte Zahl von Menschen schließen daher technische Ausbildungen ab und besuchen hierfür die Hochschule. Jedoch stehen für die große Mehrheit von neu ausgebildeten Nachwuchskräften keine adäquaten Jobaussichten zur Verfügung. Deshalb finden nur wenige Fachkräfte eine geeignete und qualifizierte Arbeit.

Das Rohstoff-Versorgungsnetz (Öl, Gas, Wasser) ist vorangeschritten und vielen Menschen wird ein leichter Zugang zu lebenswichtigen Ressourcen gewährt. Die kontinuierliche Versorgung kann jedoch nicht gewährleistet werden und regelmäßige Engpässe sind zu befürchten. Eine zentrale Stromversorgung wird zwar angestrebt, ist jedoch noch lange nicht etabliert. Die vorhandenen Stromanschlüsse in den Haushalten können nur zeitlich begrenzt mit ungleichmäßiger Netzspannung genutzt werden. Der dürftige öffentliche Haushalt erlaubt keine Sanierung der Infrastruktur, aber für den allgemeinen Transport stellt dies kein großes Problem dar: man behilft sich wie man kann. Jeder Stamm hilft bei der Ausbesserung „seiner“ Straßen, Transporte werden provisorisch mit Motorradtaxis und Traktoren durchgeführt. Private Transportnetze für Güter und Personen sind einigermaßen verlässlich und genießen den Schutz der Ordnungsinstitutionen. Für ausländische Investoren sind die technisch bedingten Unsicherheiten jedoch meist zu hoch, es lassen sich daher vordergründig einheimische Unternehmen und Gemeinschaften nieder, die sich mit den Gegebenheiten arrangieren.

Auf den Straßen in Sierra Leone herrscht eine Art anarchischer Ausnahmezustand. Es kommt täglich zu Übergriffen, wie Gewalt- und Sexualverbrechen. Die Verbrechen werden hierbei von Individuen/Einzelpersonen verübt, die selten organisiert sind. Die Polizei hat diesem Ausmaß an Kriminalität fast nichts entgegen zu setzen. Internationaler Druck hat zu rechtlichen Reformen geführt, mithilfe ausländischer Experten ist es auch gelungen, Korruption in Justiz und Politik tatsächlich zu verfolgen. Das betrifft jedoch nur die größeren Städte, im übrigen Land haben sich die gesellschaftlichen Standards wenig geändert, Korruption gehört zum Alltag, ein Bewusstsein über deren Rechtswidrigkeit entwickelt sich aber langsam.

5.4.1.2 Ableiten der Funktionen

Im Folgenden werden je drei Anwendungsfelder beziehungsweise Anwendungsfälle für die drei Szenarien beschrieben. Anschließend wird ein möglichst zukunftsrobuster Anwendungsfall ausgewählt. Für diesen werden die Funktionen abgeleitet.

Anwendungsfelder und Anwendungsfälle

Die Anwendungsfelder/-fälle 1.x werden aus Szenario 1, die Anwendungsfelder/-fälle 2.x aus Szenario 2 und die Anwendungsfelder/-fälle 3.x aus Szenario 3 abgeleitet.

Anwendungsfeld/-fall 1.1 : Elektronik-Industrie/Produktion von Mobilfunk-Endgeräten

Mobilfunk-Geräte erfreuen sich zunehmender Variantenvielfalt und Nachfrage. Wegen steigender Bevölkerungszahlen und weltweitem Netzausbau kann hierbei von einem kontinuierlich wachsenden und langfristig stabilen Marktsegment ausgegangen werden. Das Land Sierra Leone wird wegen der zunehmenden Attraktivität und Zuverlässigkeit von immer mehr Unternehmen als ernsthafte Alternative zu China betrachtet. Große Mobilfunk-Gerätehersteller verlagern die Produktion einiger ihrer Modelle nach Sierra Leone. Besonders die hohe technische Qualifikation der Mitarbeiter und das niedrige Lohnniveau des Landes sind überzeugende Argumente eine solch arbeits- und wissensintensive Herstellung dort durchzuführen. Der gesellschaftliche Wandel und die Abkehr von der Landwirtschaft tragen ebenfalls hierzu bei. Neben einfach erlernbarer produktionsbezogener Tätigkeiten ist auch der Bedarf an Fachpersonal sehr groß, weshalb sich immer mehr Menschen für eine technische Ausbildung entscheiden. Das höhere Forschungsbudget kann gezielt in die Entwicklung wirtschaftlicher und leistungsfähiger Mobilfunk-Komponenten investiert werden. Zudem kommt der Ausbau der Infrastruktur und die niedrige Korruptions- und Kriminalitätsquote den ausländischen Investoren für eine technologieintensive Produktion sehr entgegen. Sämtliche Komponenten und Endprodukte können schnell und sicher durch das Land transportiert werden und ein Export ließe sich durch die direkte Anbindung an den Atlantik problemlos bewerkstelligen.

Anwendungsfeld/-fall 1.2: Chemieindustrie/Betrieb von Chemiefabriken

Die Industrie in Sierra Leone agiert als Zwischenproduzent und beliefert andere Firmen im Ausland mit Material. Mit einem Fokus auf die Herstellung von Chemikalien lässt sich eine exklusive Vorreiterrolle auf dem afrikanischen Markt einnehmen. Hierzu sind durch die sehr gut ausgebaute Infrastruktur, der stark erhöhten Sicherheit und der bekämpften Korruption alle wichtigen Voraussetzungen zur Verarbeitung von gefährlichen Chemikalien geschaffen. Da der Anteil der Landwirtschaft an der Wertschöpfung in Sierra Leone rapide abgenommen hat, entstehen nun auf alten Feldern und in eher abgelegenen Gebieten große Industrieanlagen. Durch die vielen gut qualifizierten Mitarbeiter werden die vielen Stellen in diesem

Industriezweig besetzt. Gleichzeitig ist aufgrund des intensiven Forschungsaufkommens die Möglichkeit für eine langfristig gute Wettbewerbsposition geschaffen.

Anwendungsfeld/-fall 1.3: Automobilindustrie/Montage von Fahrzeugen

Durch den starken Aufschwung entscheidet Sierra Leone sich „größeren" Produkten mit hohem Wertschöpfungsgrad zu widmen und eine Fahrzeug-Endmontage durchzuführen. Dass derartiges in Afrika durchaus möglich ist, hat der Volkswagen-Konzern bereits in Ländern wie Südafrika, Kenia und Angola unter Beweis gestellt. Durch den guten Ruf des Landes und dem Voranschreiten der Industrialisierung kommt eine Expansion nach Sierra Leone nun in Frage. Für eine Fahrzeugmontage in diesem Land spricht neben der guten Qualifikation der Bevölkerung bei relativ niedrigem Lohnniveau auch die großflächig ausgebaute Transportinfrastruktur. Einzelne Komponenten für die Produktion werden damit schnell und sicher in die Fabriken geliefert. Wegen des angestiegenen Wohlstands der Bevölkerung und des guten Straßenzustands können die hergestellten Fahrzeuge auch teilweise in der eigenen Region vertrieben werden, wenngleich ein Export nach Europa, Amerika und Asien durch die direkte Anbindung an den Atlantik noch im Vordergrund steht. Da Kriminalität und Korruption im Land nun kaum mehr vorhanden sind, sind auch die letzten Hürden für eine solche Investition genommen.

Anwendungsfeld/-fall 2.1: Landwirtschaft/Anbau von Baumwolle

Sierra Leone ist zu unattraktiv für Großinvestoren, sodass nicht ausreichend Investitionskapital für einen grundlegenden Wandel vorhanden ist. Die Regierung setzt die neuen Prioritäten mehr auf die Produktion von landwirtschaftlichen Erzeugnissen, da die Mehrheit der Bevölkerung bereits in der traditionellen Landwirtschaft für den Privatgebrauch tätig ist. Die Investitionen in Bildung und Forschung werden genutzt, um gezielt Schulungen durchzuführen und die Kleinbauern mit dem benötigten Wissen zu versorgen. Der Anbau von Baumwolle bietet sich gut an und der Fokus wird hierauf gelegt. Erfahrungen aus den geographisch naheliegenden Ländern Benin und Burkina Faso haben gezeigt, dass ein Anbau auf diesem Breitengrad durchaus gute Ergebnisse erzielen kann. Es werden moderne Anbaumethoden ohne Einsatz von Pestiziden gelehrt, die sich dann mit wenig Kapitalbedarf von den Bauern auch leicht umsetzen lassen. Ein als hochwertig angenommenes Qualitätssiegel wie „Cotton made in Africa" wird angestrebt. Die Probleme in der Infrastruktur werden beim Anbau von Baumwolle zunächst ausgeblendet. Der Staat verwendet dafür seine Einnahmen aus dem Rohstoffverkauf, um ein gutes Bewässerungssystem aufzubauen.

Anwendungsfeld/-fall 2.2: Nahrungsmittel-Industrie/Betrieb von Bäckereien

Die Bevölkerung Sierra Leones wagt den Schritt, gleichzeitig einen neuen Fokus auf die Landwirtschaft zu setzen und sich mit einfachen Produktionsverfahren und wertschöpfenden Maßnahmen im Lebensmittelsektor selbstständig zu machen. Hierzu werden an

unterschiedlichen Orten Bäckereien errichtet, die für den einheimischen Markt verschiedene Brotprodukte herstellen. Neben dem weiteren Fokus auf die Selbstversorgung werden die geringen Erträge aus der Landwirtschaft durch den Anbau von Maniok, Hirse und Mais wieder gesteigert. Mithilfe der Einnahmen aus dem Rohstoffverkauf gewährt das Land angehenden Bäckern günstige Kredite zur Anschaffung der Gabelkneter und Etagenbacköfen. Die Tätigkeiten als Bäcker werden trotz des geringen Bildungsgrades der Bevölkerung problemlos bewerkstelligt und nicht vorhandenes Wissen leicht nachgeschult. Das Problem der schlechten Stromversorgung im Land wird umgangen, indem die Öfen durch Gas- beziehungsweise Ölgeneratoren betrieben werden und somit die Versorgungssicherheit gewährleistet ist.

Anwendungsfeld-/fall 2.3: Textilindustrie/Herstellung von Teppichen

Sierra Leone wagt einen Neuanfang, um aus der gefährlichen Abwärtsspirale herauszutreten. Da sich kaum Investoren finden, um große Fabriken zu errichten und es gleichzeitig kaum freie Arbeitsplätze gibt, wird der neue Fokus auf Selbstständigkeit gelegt. Es findet eine Spezialisierung auf Handarbeit statt. Insbesondere werden Produkte gefertigt, deren Herstellung geringe Investitionen erfordern und die in Industrienationen zu einem hohen Preis abgesetzt werden können. Man entscheidet sich deshalb, die internationale Teppichproduktion neu aufzumischen. In dieser Situation stellt das Land der Bevölkerung anfänglich Kleinkredite zur Verfügung, damit sich diese das benötigte Equipment zum Weben sowie das zu verarbeitende Material beschaffen kann. Als Material wird hauptsächlich Schafswolle aus der bestehenden eigenen Viehzucht verwendet, wodurch man nicht auf Lieferungen aus dem Ausland angewiesen ist. Die Investitionen in die Bildung erfolgen zielgerichtet in Kunstakademien, Lehrmaterialien und in dem Angebot an Workshops, sodass das benötigte Wissen schnell an die breite Bevölkerung gelangt.

Anwendungsfeld/-fall 3.1 : Textilindustrie/Produktion von Schuhen

Sierra Leone entscheidet sich vollständig in neue Produktionssegmente zu investieren. Der Fokus wird auf die Schuh-Produktion für den Weltmarkt gelegt. Der Sportartikelhersteller Puma zum Beispiel hat in Afrika ein großes Potential erkannt und sich dazu entschlossen, die Produktion von T-Shirts, Trikots und Schuhen in Südafrika, Swasiland und Kenia nun ebenfalls in Sierra Leone durchzuführen. Die hohe Arbeitslosigkeit kommt dieser arbeitsintensiven Produktion entgegen während die Produzenten gleichzeitig von den niedrigen Lohnkosten profitieren. Den Herstellern kommt dabei die Kernkompetenz des Landes in der Handarbeit zugute und die Textilindustrie etabliert sich als ernsthafte Alternative zur Landwirtschaft. Die hierfür benötigten technisch qualifizierten Mitarbeiter sind durch den hohen Anteil an technikbezogenen Hochschulabschlüssen bereits vorhanden. Die allgemeine Situation der Infrastruktur kann den Anforderungen einer großflächig

aufgesetzten Schuhproduktion genügen. Auch wenn die Kriminalitätsrate in Sierra Leone noch nicht zufriedenstellend ist, besteht aufgrund der unorganisierten Form der Verbrechen kaum Gefahr für die Sicherheit bei der Produktion von Schuhen.

Anwendungsfeld-/fall 3.2: Verarbeitung von landwirtschaftlichen Erzeugnissen/ Kakaomassenherstellung

Das Land entscheidet sich, weitere Wertschöpfungsstufen bei der Produktion selbst durchzuführen und dadurch das Interesse für zusätzliche Investoren zu wecken. Die gut zugänglichen Rohstoffe in den meisten Regionen und die weitreichend gesicherten privaten Transportnetze erfüllen hierfür die Produktionsbedingungen. Da der wirtschaftliche Hauptfokus auf der Landwirtschaft liegt, wird auch genau hier angesetzt und wertschöpfende Maßnahmen bei wichtigen landwirtschaftlichen Exportprodukten durchgeführt. Man entscheidet sich dafür, Kakaobohnen nicht sofort nach der Ernte zu exportieren, sondern diese zunächst zu Kakaomasse weiterzuverarbeiten. Das hierfür benötigte Kapital wird von den bereits ansässigen europäischen Gesellschaften aufgebracht, da diese es als sinnvoll betrachten die Produktionsstufen vor zu verlagern, um dadurch die Kosten für Produktion und Transport zu senken. Neben einfachen Produktionshelfern ist der Bedarf an gut ausgebildeten technischen Fachkräften recht hoch und die Produzenten profitieren von dem guten Arbeitskräfteangebot im Land. Auch wenn die Situation der Kriminalität in Sierra Leone noch nicht zufriedenstellend ist, ist aufgrund der unorganisierten Form der Verbrechen die Sicherheit bei der Produktion von Kakaomasse weitgehend gewährleistet.

Anwendungsfeld/-fall 3.3: Rohstoffverarbeitung/Produktion von PET-Flaschen

Das Land entscheidet sich als neues Produktionssegment PET-Flaschen herzustellen. PET-Flaschen eignen sich für die Solar Water Disinfection (kurz: SODIS), ein einfaches und effektives Verfahren zur Wasserentkeimung. Eine Produktion von PET-Flaschen in Sierra Leone kommt damit vordergründig der eigenen Bevölkerung zugute und der Zustand des Wasserversorgungsnetzes wird weiter verbessert. Als alleiniger Hersteller in dieser Region findet auch ein Export in benachbarte Länder statt. Neben dem zunehmenden Investitionsvolumen von ausländischen Kapitalgebern, verwendet das Land auch Mittel aus der Entwicklungshilfe, um das nötige Produktionsequipment zu beschaffen. Die technisch gut ausgebildeten Fachkräfte Sierra Leones können ihr Wissen nutzbringend in der Produktion einsetzen. Die Mehrheit der Bevölkerung bleibt weiterhin in der Landwirtschaft tätig, da der Bedarf an einfachen Produktionshelfern nicht so hoch ist. Die dürftig ausgebaute Infrastruktur ist allerdings noch problematisch für die Produktion, da die PET-Flaschenherstellung grundsätzlich ein großes Transportvolumen generiert.

In Tabelle 5-20 wird eine Übersicht der Anwendungsfälle und ihre Relevanz für die drei Szenarien dargestellt. Es wird ersichtlich, dass es keinen zukunftsrobusten – also für alle Szenarien gleichermaßen relevanten – Anwendungsfall gibt.

Tabelle 5-20: Übersicht der Anwendungsfälle je Szenario

			Szenarien		
			1	2	3
			Eine industriali-sierte Nation	Schlusslicht	Eine große Chance
Anwendungsfälle	1.1	Produktion vom Mobilfunkt-Endgeräten	**x**		
	1.2	Betrieb von Chemiefabriken	**x**		
	1.3	Montage von Fahrzeugen	**x**		
	2.1	Anbau von Baumwolle		**x**	
	2.2	Betrieb von Bäckereien		**x**	(x)
	2.3	Herstellung von Teppichen		**x**	(x)
	3.1	Herstellung von Schuhen	(x)		**x**
	3.2	Kakaomassenherstellung		x	**x**
	3.3	Herstellung von PET-Flaschen			**x**
	x	Relevanter, aus dem Szenario abgeleiteter Anwendungsfall			
	x	Relevanter Anwendungsfall			
	(x)	Teilweise relevanter Anwendungsfall			

Der Anwendungsfall Kakaomassenherstellung, der für Szenario 3 abgeleitet wurde, erscheint auch in dem negativsten Szenario 2 „Schlusslicht – Keine Hoffnung auf eine langfristige Produktionsmöglichkeit?“ einsetzbar. Dieser Anwendungsfall ist der einzige, der über zwei Szenarien zukunftsrobust ist und wird deshalb im Folgenden als Beispiel dienen.

Funktionen

Die Funktionen zur Herstellung von Kakaomasse lassen sich im Kern auf die Funktionen Trocknen, Rösten, Brechen und Mahlen reduzieren. Nebenfunktionen wie Energieversorgung, Portionieren, Wiegen und Hilfsfunktionen wie Fördern sind jedoch ebenfalls für den Einsatz unter den in den Szenarien 2 und 3 beschriebenen Bedingungen zu betrachten. Diese Hilfsfunktionen können unter den schwierigen Bedingungen nicht wie beispielsweise bei einem Produktionsszenario für Deutschland als problemlos erfüllbar angesehen werden. Sie charakterisieren das System, da die Erfüllung dieser Funktionen

maßgeblich dazu beiträgt, ob das System erfolgreich in Sierra Leone eingesetzt werden kann. Die 15 resultierenden Funktionen sind der Abbildung 5-16 zu entnehmen.

5.4.2 Technologiepool

Im Technologiepool befindet sich bereits ein Konzept für die Kakaomassenherstellung für Sierra Leone, welches von einer Studentengruppe in einer projektorientierten Lehrveranstaltung entworfen wurde. Die Repräsentation dieses Systems im Technologiepool wird in Abbildung 5-16 dargestellt und die enthaltenen Systemelemente werden im Folgenden kurz erläutert.

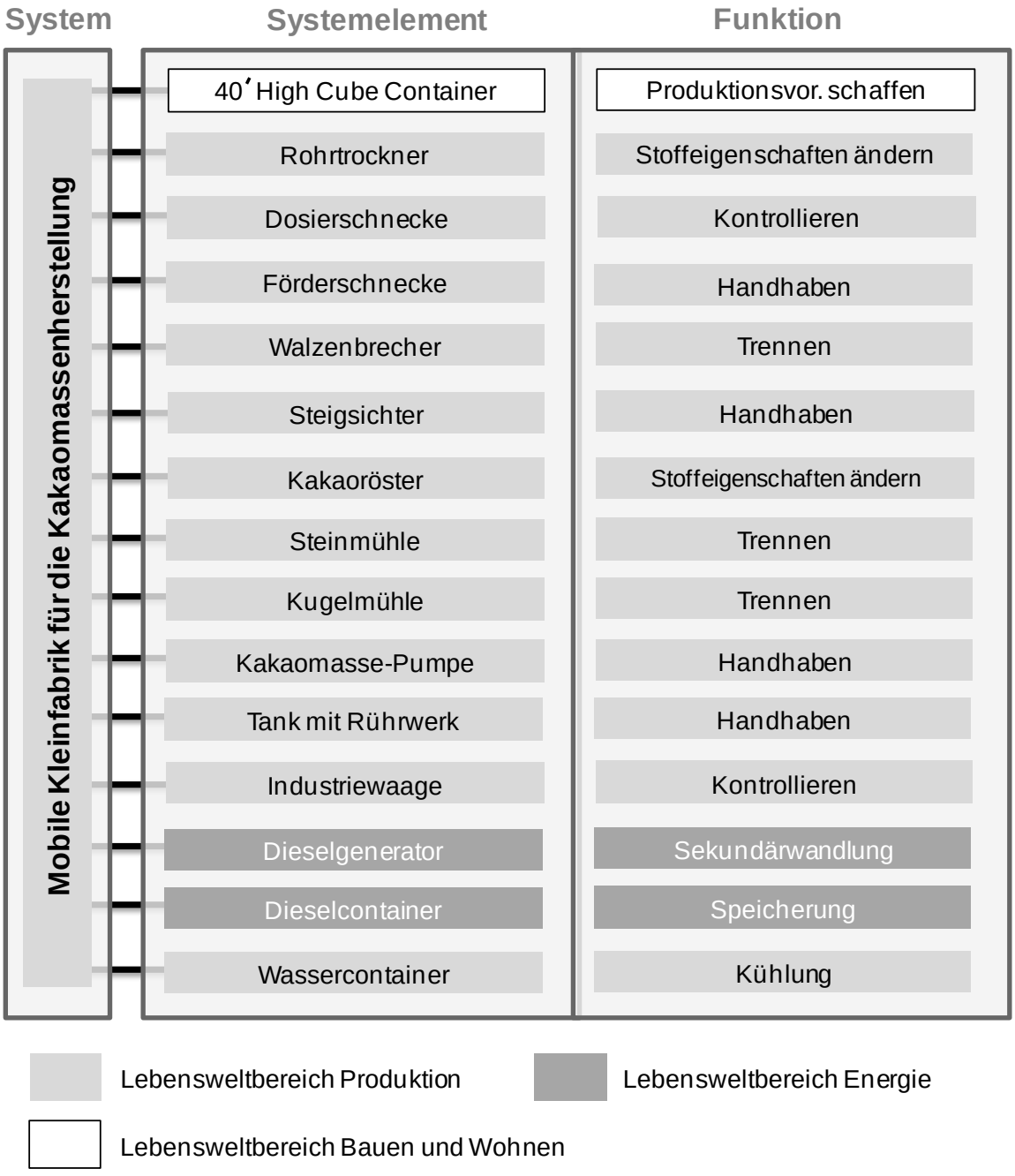


Abbildung 5-16: System „Kleinfabrik zur Kakaomassenherstellung in Sierra Leone“ im Technologiepool

Mit dem ***40´Container*** wird die Mobilität der Kleinfabrik gewährleistet. Der Aufbau der Kleinfabrik (Einbau der Maschinen, Wände, usw.) erfolgt in Deutschland. Einige Umbauten sind noch vor Ort durchzuführen (beispielsweise Einbau Fenster, Montage Dach). Ein Mitarbeiter aus Deutschland übernimmt die Inbetriebnahme der Kleinfabrik vor Ort.

Die Abwärme des Dieselgenerators wird auf das doppelwandige Rohr des ***Rohrtrockners*** geleitet, in dem Kakaobohnen eingefüllt werden. Durch den warmen Luftstrom werden die Kakaobohnen getrocknet. Anschließend werden die Kakaobohnen direkt zur ***Dosierschnecke*** für die Verarbeitung gebracht. Mit ***Förderschnecken*** wird das Transportgut zwischen den einzelnen Maschinen gefördert. Die Förderschnecke ermöglicht das Gut horizontal, schräg und vertikal zu transportieren.

Mit dem ***Walzenbrecher*** werden die Kakaobohnen aufgebrochen. Dabei trennt sich die Schale von dem Kern (genannt Nibs). Mit dem ***Steigsichter*** werden Schalen und Nibs der gebrochenen Kakaobohnen getrennt. In dem ***Kakaoröster*** werden die Nibs geröstet.

Mit der ***Steinmühle*** werden die gerösteten Nibs verflüssigt und zur groben Kakaomasse vorvermahlen. Mit der ***Kugelmühle*** erfolgt die Feinverflüssigung und Homogenisierung. Der Mahltrog ist doppelwandig ausgelegt, damit die Mühle gekühlt werden kann.

Mit der ***Kakaomassenpumpe*** wird die Masse von der Kugelmühle zum ***Tank mit Rührwerk*** gefördert, in dem die Kakaomasse gesammelt und auf ca. 40°C abgekühlt wird. Anschließend wird die Kakaomasse in die vorgesehenen Transportbehälter abgefüllt und zum Auskristallisieren in einen kühlen Raum (max. 25°C) gestellt. Zum gleichmäßigen Abfüllen der Kakaomasse wird eine einfache ***Zeigerwaage*** verwendet.

Mit dem ***Dieselgenerator*** wird die Stromversorgung der Kleinfabrik sicher gestellt und bedient die Funktion „Wandlung“. Der hierfür benötigte Diesel wird in einem Behälter mit Leckölwanne gelagert. Der Dieselgenerator umfasst dabei wiederum mehrere Wandlungsschritte sowie die Funktionen „Speicherung“. Das Systemelement „Dieselgenerator“ kann entsprechend der Logik des Technologiepools je nach Detaillierungsgrad als System oder als Systemelement betrachtet werden.

Über einen natürlichen Wasserkreislauf soll die Kühlung sichergestellt werden. Das Wasser wird außerhalb des ***Wassercontainers*** verrieselt, kühlt die Maschinen und wird anschließend in einem Behälter (Becken) gesammelt.

Abbildung 5-17 zeigt die Schnittansicht der Fabrik mit Fenstern und Trennwänden, die aus Hygienegründen erforderlich sind.

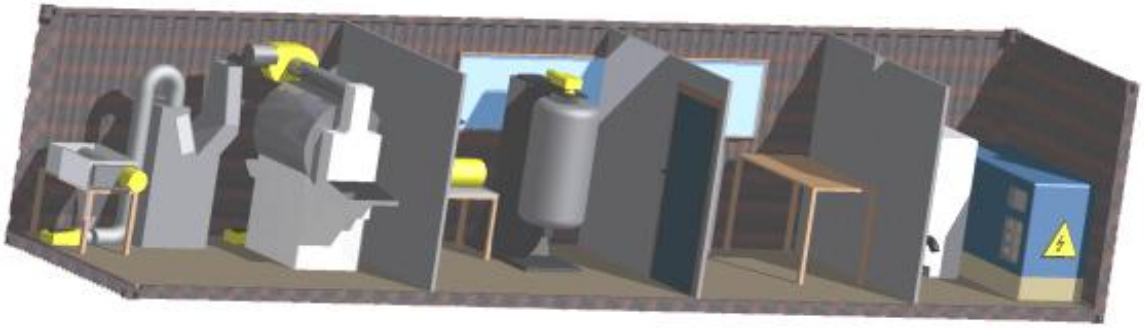


Abbildung 5-17: Schnittansicht der Fabrik

Der Container soll durch ein Dach mit doppelter Grundfläche des Containers vor Witterung geschützt werden, welches zudem Lagerfläche bietet.

5.4.3 Bewertung

Wie in Kapitel 4.1.3 beschrieben und in Kapiteln 5.1.3, 5.2.4 und 5.3.3 dargestellt, werden in Kapitel 5.4.3.1 aus den drei Szenarien spezifische Kriterien abgeleitet. Die Ableitung der spezifischen Kriterien wird beispielhaft für Szenario 3 beschrieben. Die Bewertung wird in Kapitel 5.4.3.2 anhand der allgemeinen und spezifischen Kriterien aus Szenario 3 durchgeführt und in Auszügen dargestellt.

5.4.3.1 Ableiten spezifischer Kriterien

Eine Übersicht über die ergänzenden Kriterien sowie die verstärkten beziehungsweise abgeschwächten allgemeinen Kriterien ist in Tabelle 5-21 dargestellt.

Tabelle 5-21: Spezifische Kriterien und ihre Gewichtung

		Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
Allgemeine Kriterien	TCO	x0,5	x1	x1
	Zuverlässigkeit	x1	x1	**x2**
	Flexibilität	**x2**	x1	x1
	Wirkungsgrad	**x2**	x1	x1
	Energieverbrauch	x0,5	**x2**	x1
	Treibhausgasemissionen	x1	x0,5	x0,5
	Recycling	x1	x1	**x2**
	Ressourcenverbrauch	x1	**x2**	x1
	Schadstoffe	x1	x0,5	x0,5
Zusätzliche Kriterien	Rohstoffverfügbarkeit		**x2**	**x2**
	Wartungs- und Reparaturbedarf		**x2**	x1
	Personalverfügbarkeit	**x2**		
	Diebstahl- und Vandalismusanfälligkeit		**x2**	x1
	Störungsanfälligkeit der Versorgung		**x2**	x1
x0,5	halbe Gewichtung			
x1	einfache Gewichtung			
x2	doppelte Gewichtung			

Allgemeine Kriterien

Wegen der steigenden Attraktivität des Landes bei Investoren in Szenario 3, befindet sich das Land in der entscheidenden und zukunftsweisenden Phase. Um die Stabilität bei der Produktion zu sichern, kommt der ***Zuverlässigkeit*** beim Betrieb des Systems in diesem Szenario eine besondere Bedeutung zu. Das Land befindet sich nun in Aufbruchsstimmung und es gilt, jede potentielle Chance zu nutzen, um sich wirtschaftlich möglichst schnell ein eigenes Standbein aufzubauen. In diesem Zusammenhang wird allgemeinen ökologischen Kriterien wie ***Treibhausgasemissionen*** beziehungsweise ***Schadstoffemissionen*** ein im Verhältnis zu anderen Kriterien, die den Betrieb erst ermöglichen, geringerer Stellenwert zugeordnet. Im Folgenden werden diese Kriterien daher nur halb so stark gewichtet. Die knappen Ressourcen und die Ungewissheit der Versorgung führen dazu, dass der ***Recycling***-Aspekt hingegen eine größere Rolle spielt.

Zusätzliche Kriterien

Besonders wichtig bei den Entscheidungen bezüglich der Wahl der Systemelemente ist, ob der einzusetzende Rohstoff in ausreichender Menge bereitsteht und entsprechende Versorgungswege existieren. Das spezifische Kriterium ***Rohstoffverfügbarkeit*** berücksichtigt diesen Sachverhalt mit doppelter Gewichtung.

Je nach einzusetzendem Systemelement entstehen unterschiedliche ***Wartungs- und Reparaturbedarfe***, die sich auf die Produktionszeit und -kosten direkt auswirken. Trotz eines allgemeinen Trends zur Bildung befindet sich das Qualifikationsniveau in diesem Szenario weitgehend auf einem niedrigen Niveau. Die noch stark ausbaufähige Infrastruktur und die fehlenden finanziellen Mittel führen dazu, dass der Wartungs- und Reparaturaufwand sowohl bezogen auf die notwendigen Ressourcen als auch auf die erforderlichen Mittel möglichst gering gehalten werden muss.

Das Kriterium ***Diebstahl- und Vandalismusanfälligkeit*** berücksichtigt die kritische innenpolitische Lage sowie die hohe Kriminalität in diesem Szenario. Systemelemente können wegen ihrer Funktion oder der verbauten Materialien einen Wert darstellen, wodurch die Gefahr des Diebstahls besteht. Außerdem kann ein Systemelement beabsichtigt beschädigt werden, wodurch es seine Funktion nicht mehr erfüllen kann. Mit diesem Kriterium soll die Sicherung gegen Diebstahl und Vandalismus bewertet werden.

Das Kriterium ***Störanfälligkeit der Versorgung*** bezieht sich auf die vorhandenen Diskontinuitäten bei der Stromversorgung in diesem Szenario. Da hierbei auch gelegentliche Totalausfälle zu befürchten sind, müssen die Systemelemente diesen Situationen gewappnet sein und solchen Belastungen möglichst ohne großen Schaden standhalten. Eine schnelle und unkomplizierte Wiederaufnahme der Arbeit muss unbedingt bewerkstelligt werden, damit keine großen Produktionseinbußen zu befürchten sind.

5.4.3.2 Bewertung der Systemelemente

Die folgende Tabelle 5-22 zeigt am Beispiel der Systemelemente „40`High Cube Container“, „Walzenbrecher“ und „Dieselgenerator“ die Bewertung anhand der Kriterien für Szenario 3. Die vollständige Bewertung befindet sich im Anhang auf S. A44.

Tabelle 5-22: Auszug der Bewertung der Systemelemente für Szenario 3

Nachh.-dim.	Nachhaltigkeitskriterium	Gewichtung	40`High Cube Container		Walzenbrecher		Dieselgenerator	
Ökonomie 50%	Total Cost of Ownership	22,22%	5	0,56	4	0,44	3	0,33
	Zuverlässigkeit	22,22%	5	0,56	4	0,44	3	0,33
	Flexibilität	11,11%	4	0,22	3	0,17	3	0,17
	Wirkungsgrad/Produktivität	11,11%	4	0,22	5	0,28	3	0,17
	Energieverbrauch	11,11%	5	0,28	3	0,17	2	0,11
	Wartungs- und Reparaturbedarf	11,11%	4	0,22	3	0,17	3	0,17
	Störanfälligkeit der Versorgung	11,11%	4	0,22	5	0,28	3	0,17
Ökologie 25%	Treibhausgasemissionen	8,33%	4	0,08	3	0,06	1	0,02
	Recycling	33,33%	4	0,33	4	0,33	2	0,17
	Ressourcenverbrauch	16,67%	4	0,17	4	0,17	2	0,08
	Schadstoffemissionen	8,33%	4	0,08	4	0,08	1	0,02
	Rohstoffverfügbarkeit	33,33%	3	0,25	4	0,33	2	0,17
Gesellschaft 25%	Gefährdung	66,67%	4	0,67	4	0,67	3	0,50
	Diebstahl- und Vandalismusanfälligkeit	33,33%	2	0,17	5	0,42	2	0,17
	Summe:	3 x 100%	80,6% = 4,03		80,0% = 4,00		51,4% = 2,57	

Grau hinterlegt: zusätzliche Kriterien

Unterstrichen: Kriterien mit innerhalb der Nachhaltigkeitsdimension verändertem Gewicht.

Der Bewertungsprozentsatz bezieht sich auf den jeweils maximal erreichbaren Wert von 5.

Bei der Score-Berechnung wurden die Einzel-Produkte ungerundet aufsummiert.

Skala: Erfüllungsgrad des Nachhaltigkeitskriteriums

5: sehr hoch
4: hoch
3: mittel
2: niedrig
1: sehr niedrig

Die Bewertung aller 15 Systemelemente hat ergeben, dass lediglich der Dieselgenerator den Schwellenwert von 65 Prozent unterschreitet und somit als problematisch gilt. Gründe hierfür sind insbesondere die schlecht erfüllten ökologischen Kriterien des Systemelements. In der Systembildung wird zunächst der Versuch unternommen, dieses Systemelement zu substituieren.

5.4.4 Systembildung

Für die Substitution wird zunächst ein alternatives Systemelement zur Erfüllung der Funktion „Wandlung“ mit dem Output elektrische Energie im Technologiepool gesucht. Im Technologiepool befindet sich das System „(Bio-)masse statt Klasse“ (Kapitel 5.3), welches diese Funktion erfüllt und eine Alternative zum System „Dieselgenerator“ darstellt. Dieses System wird in diesem Kontext als Systemelement „Biomasse Stromerzeugung“ betrachtet und als solches im Rahmen des Systems „Kleinfabrik zur Kakaomassenherstellung in Sierra Leone“ im Folgenden (Tabelle 5-23) bewertet.

Tabelle 5-23: Bewertung des Systemelements „Biomasse Stromerzeugung“ für Szenario 3

Nachhaltigkeits-dimension	**Nachhaltigkeitskriterium**	**Gewichtung**	**Diesel-generator**		**Biomasse Stromerzeugung**	
Ökonomie 50%	Total Costs of Ownership	22,22%	4	0,44	4	0,44
	Zuverlässigkeit	22,22%	3	0,33	3	0,33
	Flexibilität	11,11%	4	0,22	5	0,28
	Wirkungsgrad/Produktivität	11,11%	3	0,17	3	0,17
	Energieverbrauch	11,11%	2	0,11	2	0,11
	Wartungs- und Reparaturbedarf	11,11%	3	0,17	3	0,17
	Störanfälligkeit der Versorgung	11,11%	3	0,17	5	0,28
Ökologie 25%	Treibhausgasemissionen	8,33%	1	0,02	3	0,06
	Recycling	33,33%	2	0,17	2	0,17
	Ressourcenverbrauch	16,67%	2	0,08	4	0,17
	Schadstoffemissionen	8,33%	1	0,02	3	0,06
	Rohstoffverfügbarkeit	33,33%	2	0,17	5	0,42
Gesellschaft 25%	Gefährdung	66,67%	3	0,50	3	0,50
	Diebstahl- und Vandalismusanfälligkeit	33,33%	2	0,17	2	0,17
	Summe:	3 x 100%	51,4% = 2,57		66,4% = 3,32	

Grau hinterlegt: zusätzliche Kriterien

Unterstrichen: Kriterien mit innerhalb der Nachhaltigkeitsdimension verändertem Gewicht.

Der Bewertungsprozentsatz bezieht sich auf den jeweils maximal erreichbaren Wert von 5.

Bei der Score-Berechnung wurden die Einzel-Produkte ungerundet aufsummiert.

Skala: Erfüllungsgrad des Nachhaltigkeitskriteriums

5: sehr hoch
4: hoch
3: mittel
2: niedrig
1: sehr niedrig

Gegenüber dem Systemelement „Dieselgenerator“ besitzt das Systemelement „Biomasse Stromerzeugung“ Vorteile bezüglich der Flexibilität, der Störanfälligkeit der Versorgung, der Emissionen und des Ressourcenverbrauchs. Insbesondere die Rohstoffverfügbarkeit ist bei dem Systemelement „Biomasse Stromerzeugung“ im Gegensatz zum „Dieselgenerator“ sehr gut erfüllt. Dieses Systemelement nutzt lokale Rohstoffe und bietet somit eine von Diesel unabhängige Möglichkeit der Stromerzeugung. Neben Reishülsen könnten in dieser Anwendung des Systemelementes „Biomasse Stromerzeugung“ auch die von den Nibs getrennten Schalen der Kakaobohnen zur Stromerzeugung genutzt werden.

Der Gesamtscore des Systemelements liegt bei 66,4 Prozent – also knapp über dem Schwellenwert von 65 Prozent. Dieser verhältnismäßig niedrige Wert ist unter anderem dadurch zu erklären, dass der Wirkungsgrad durch die zwei bis drei Wandlungsschritte und damit verbundenen Verluste nicht zufriedenstellend ist. Auch andere Kriterien können nicht besser als bei dem „Dieselgenerator“ erfüllt werden. Die Substitution stellt trotzdem insgesamt eine deutliche Verbesserung unter den gegebenen schwierigen Voraussetzungen des Szenarios 3, aber keine optimale Lösung, dar. Mit der lokalen Verbesserung durch Überschreiten des Schwellenwertes, die durch die Methode angestrebt wird (siehe Kapitel 1.2) gilt die Substitution als gelungen. Eine Neu-Kombination wird nicht vorgenommen. Die Systembildung ist somit abgeschlossen und das modifizierte System wird in den Technologiepool eingepflegt.

5.4.5 Kritische Würdigung des Systems

Das bezogen auf die Energieversorgung verbesserte System „Kleinfabrik zur Kakaomassenherstellung in Sierra Leone“ bietet ökonomische, ökologische und soziale Vorteile für die Menschen in Sierra Leone gegenüber dem bislang vorherrschenden Rohstoffexport von Kakao.

In ökonomischer Dimension kann durch die Weiterverarbeitung der Kakaobohnen zu Kakaomasse ein zusätzlicher Wertschöpfungsschritt in das Land transferiert werden. Hierdurch werden unter anderem Arbeitsplätze geschaffen. Durch die Bildung einer Genossenschaft, der auch die zuliefernden Bauern angehören, könnten die Kleinfabriken in sozialer Dimension eine „Keimzelle“ der Entwicklung darstellen. Die Bedingungen für die Menschen könnten sich basierend auf den ökonomischen Verbesserungen, beispielsweise durch die Ansiedlung weiterer mit der Kakaomassenherstellung verbundener oder verwandter Tätigkeiten oder durch die Qualifikation der Mitarbeiter und Zulieferer erheblich verbessern, ohne die dörflichen Strukturen aufzuheben. Die Kleinbauern könnten landwirtschaftliches Wissen bezüglich des Kakaoanbaus erwerben, welches gleichzeitig die Biodiversität schützt. Ein geringes Produktionsvolumen der Kleinfabrik, die durch eine Kommune betrieben wird, unterstützt diesen Ansatz in ökologischer Dimension. Die

traditionellen Anbauverfahren der Kleinbauern in Mischkulturen können im Gegensatz zum Anbau in Plantagen einen Beitrag zum Erhalt der Biodiversität leisten.

Die Kosten für eine Kleinfabrik zur Herstellung von Kakaomasse mit einem Produktionsvolumen von 50 kg pro Stunde werden auf circa 400.000 € geschätzt. Angesichts der verheerenden wirtschaftlichen Situation des Landes erscheint die Finanzierung einer solchen Fabrik durch eine Kommune selbst unmöglich. Die Finanzierung einer solchen Fabrik durch Entwicklungshilfeorganisationen im Sinne der Hilfe zur Selbsthilfe scheint hingegen eine realistischere Möglichkeit darzustellen. Eine weitere Option stellen Investitionen von großen, international agierenden Unternehmen dar. Bislang kauften die großen Unternehmen überwiegend den Kakao als Rohstoff zu möglichst niedrigen Preisen ein. Die Verarbeitung fand an anderen Orten statt. Nur wenige setzten – meist aus Marketinggründen – auf Fair-Trade Konzepte. Der enorme Preiskampf führte jedoch dazu, dass der Anbau von Kakao für viele Bauern nicht mehr wirtschaftlich tragbar ist und sie stattdessen andere Lebensmittel anbauen [Bra13-ol]. Es wird erwartet, dass die Kakaopreise in den nächsten Jahren wegen einer Verknappung enorm steigen werden. Der Schokoladenhersteller Ritter Sport erkannte diesen Trend frühzeitig und arbeitet in Nicaragua bereits mit 21 Kooperativen zusammen [Bra13-ol]. Diese liefern den Kakao, der von Ritter Sport zu einem deutlich über dem Weltmarktpreis liegenden Preis abgenommen wird. Ritter Sport zahlt diesen höheren Preis, um die Kleinbauern durch faire Kooperation an das Unternehmen zu binden und sich somit den Rohstoff Kakao nachhaltig zu sichern [Bra13-ol].

6 Resümee und Ausblick

Die vorliegende Arbeit sollte einen Beitrag dazu leisten, die rational gebotene Nachhaltigkeit über technische Innovationen zu befördern. Ziel der Arbeit war eine Methode zur Identifikation und Entwicklung nachhaltiger Technologiesysteme im Sinne konzeptueller technischer Lösungsansätze in den Lebensweltbereichen Mobilität, Energie und Produktion für unterschiedliche Entwicklungsniveaus. Basierend auf dieser Zielsetzung wurden die drei relevanten Methodengebiete Zukunftsforschung, Produktentwicklung und Nachhaltigkeits-bewertung identifiziert und beschrieben. Innerhalb dieser Methodengebiete wurden die in der Literatur am häufigsten genannten Methoden dargestellt. Der Zusammenhang der drei Methodengebiete untereinander wurde durch die Schnittmengenmethoden Technologieszenarien-Erstellung, Technologiefolgenabschätzung und Eco Design als bedeutendster Vertreter des Sustainable Product Development hergestellt. Für die Methoden der drei Methodengebiete wurden Anforderungen definiert und die Methoden anhand dieser Anforderungen bewertet. Methoden, die alle Anforderungen voll oder weitestgehend erfüllen, wurden in die Entwicklung der Methode integriert. Ebenso wurden Teilaspekte von Methoden, die einzelne Anforderungen erfüllen, in die Entwicklung der Methode integriert.

Es wurde eine aus den vier Elementen Technologiepool, Umfeldszenarien, Bewertung und Systembildung bestehende Methode entwickelt. In die Gestaltung des Technologiepools floss als Teilaspekt das Prinzip der strukturierten Sammlung von Technologien entsprechend TRIZ aus dem Methodengebiet Produktentwicklung beziehungsweise entsprechend der Theorie technischer Systeme nach HUBKA (siehe Kapitel 2.1) ein. Für die Gestaltung des Elements Umfeldszenarien wurde das Vorgehen zu deren Erstellung aus dem Methodengebiet Zukunftsforschung weitgehend übernommen. Für das Element Bewertung wird die Nutzwertanalyse aus dem Methodengebiet Nachhaltigkeitsbewertung genutzt, aber um spezifische Kriterien erweitert. Die spezifischen Kriterien berücksichtigen die antizipierten Gegebenheiten unterschiedlicher Entwicklungsniveaus. In das Element Systembildung zur Neu-Kombination flossen die Technologieszenarien zur Neu-Kombination als Schnittmengenmethode zwischen den Methodengebieten Zukunftsforschung und Produktentwicklung ein. Diese Methode wurde dahingehend weiter entwickelt, dass Systeme nicht nur anhand ihrer technischen Verträglichkeit, sondern auch anhand ihrer Erfüllung in den drei Nachhaltigkeitsdimensionen gebildet und somit die antizipierten spezifischen Rahmenbedingungen berücksichtigt werden können.

Die vier Elemente können in unterschiedlicher Reihenfolge durchlaufen werden. Dies ermöglicht sowohl ein technologieinduziertes als auch ein probleminduziertes Vorgehen. Es

können also sowohl technische Potentiale in nützliche Anwendungen überführt als auch Bedürfnisse von Menschen durch technische Potentiale nachhaltig befriedigt werden.

Die entwickelte Methode wurde anhand von vier Beispielen, die unterschiedliche Entwicklungsniveaus, unterschiedliche Lebensweltbereiche sowie problem- und technologieinduzierte Pfade abdecken, in Kapitel 5 detailliert dargestellt und angewandt.

In dem ersten Anwendungsbeispiel (Kapitel 5.1) konnte im technologieinduzierten Pfad ausgehend vom System „Wasserstoffbetriebene Mobilität“ durch Identifikation einer nachhaltigen Technologie und deren Einbettung in ein bestehendes System gezeigt werden, wie technische Potentiale, in eine nützliche Anwendung im Sinne eines konzeptuellen Lösungsansatzes überführt werden können. Es ist gelungen, beispielsweise die nicht erprobte Technologie der Carbazol-Trägerflüssigkeit, über deren Einsatz keine Daten verfügbar sind, in einen übergeordneten Kontext zu integrieren. Dabei wurden die spezifischen antizipierten Rahmenbedingungen der Mobilität in Deutschland für ein ausgewähltes Umfeldszenario sowie die ökonomische, ökologische und soziale Nachhaltigkeitsdimension einbezogen. Es konnte also dargestellt werden, wie mit geringem Aufwand durch Modifikation eines Systems im technologieinduzierten Pfad die Nachhaltigkeit dieses Systems verbessert werden kann.

Das zweite Anwendungsbeispiel (Kapitel 5.2), „Modulares Werkzeugmaschinengestell“, entspricht wie im vorangegangenen Anwendungsbeispiel auch dem technologieinduzierten Pfad, der die Überführung technischer Potentiale in nützliche Anwendungen zum Ziel hat. Der wesentliche Unterschied ist, dass es sich um ein Systemelement handelt, welches vorher in keinem Anwendungskontext stand. Außerdem kam im Gegensatz zum zuvor beschriebenen Anwendungsbeispiel die Neu-Kombination statt der Substitution in der Systembildung zum Einsatz. Es konnte also gezeigt werden, wie ausgehend von dem Systemelement „Modulares Werkzeugmaschinengestell“ ein nachhaltiges Technologiesystem, welches dieses Systemelement enthält, gebildet wird. Dabei wurden die spezifischen antizipierten Rahmenbedingungen der Produktion in Deutschland für ein ausgewähltes Umfeldszenario berücksichtigt. Es konnte gezeigt werden, wie die ökonomische, ökologische und soziale Nachhaltigkeit direkt in die Systembildung eingebunden werden kann.

Im dritten Anwendungsbeispiel (Kapitel 5.3), „dezentrale Energieversorgung“, konnte im probleminduzierten Pfad gezeigt werden, wie antizipierte Bedürfnisse von Menschen in niedrigem Entwicklungsniveau durch technische Potentiale befriedigt werden können. Hierzu wurden zunächst Umfeldszenarien im Lebensweltbereich Energie am Beispiel von Sierra Leone erstellt. Aus diesen wurde ein zukunftsrobuster Anwendungsfall abgeleitet – die autarke Energieversorgung. Für diesen Anwendungsfall wurde unter Berücksichtigung der

vorherrschenden und antizipierten Rahmenbedingungen sowie der drei Nachhaltigkeitsdimensionen das System „(Bio-)masse Stromerzeugung“ durch Neu-Kombination gebildet. Es konnte also demonstriert werden, wie ein nachhaltigeres System im Sinne der lokalen Verbesserung auch unter den schwierigsten Rahmenbedingungen entwickelt werden kann.

Im vierten und letzten Anwendungsbeispiel (Kapitel 5.4), „Kakaomassenherstellung“, konnte wie in dem vorangegangenen Beispiel gezeigt werden, wie spezifische Bedürfnisse von Menschen in niedrigen Entwicklungsniveaus durch das technische Potential einer Kleinfabrik befriedigt werden können. Ausgangspunkt waren auch hier Umfeldszenarien, aber in diesem Fall im Lebensweltbereich Produktion. Der wesentliche Unterschied liegt darin, dass ein System identifiziert werden konnte, welches die Bedürfnisse der Menschen befriedigt und weitgehend auch den Nachhaltigkeitskriterien in den drei Dimensionen entspricht. Es wurde lediglich das als problematisch identifizierte Systemelement „Dieselstrom-Aggregat“ durch das Systemelement „Biomasse-Stromerzeugung“ substituiert. Es konnte also dargestellt werden, wie ein bestehendes System mit geringem Aufwand bezogen auf seine Nachhaltigkeit verbessert werden kann. Somit konnte gezeigt werden, dass auch der probleminduzierte Pfad eignet sich zur Identifikation nachhaltiger Systeme eignet.

6.1 Bewertung der entwickelten Methode

Die in Kapitel 3.1 aufgestellten Anforderungen stellen eine Konkretisierung der in Kapitel 1.2 definierten Ziele dar. Diese Anforderungen sollen im Folgenden dazu dienen, die Zielerfüllung der Methode detailliert darzustellen. Abschließend werden Grenzen und Potentiale der Methode in Kapitel 6.2 aufgezeigt.

Die Anwendung der Methode hat gezeigt, dass die Anforderung ***variabler Systemgrenzen (A1)*** voll erfüllt ist. Es ist gelungen, Systeme beziehungsweise Systemelemente auf unterschiedlichem Abstraktionsniveau zu betrachten. Systeme können also bei anderer Betrachtung auch als Systemelemente in ein übergeordnetes System eingehen. Ein Beispiel hierfür ist das im dritten Anwendungsbeispiel (Kapitel 5.3) entwickelte System zur autarken Energieversorgung, welches im vierten Anwendungsbeispiel als Systemelement „Biomasse-Stromproduktion“ in die Systembildung einfließt. Außerdem können Systemelemente angrenzender Lebensweltbereiche, die nicht unmittelbar im Fokus der Betrachtung stehen, in die Systembildung mit einbezogen werden. Ein Beispiel hierfür ist der Container als Fabrikgebäude für die Kakaomassenherstellung, welches in Kapitel 5.4 beschrieben wird. Dieses Systemelement stammt aus dem angrenzenden Lebensweltbereich Bauen und Wohnen, ist aber für die Spezifikation des Systems erforderlich und wird somit auch betrachtet. Ein weiteres Bespiel ist die Integration von Systemelementen aus dem Lebensweltbereich Information und Kommunikation in das Mobilitätssystem in Kapitel 5.1.

Die Anwendungen der Methode am Beispiel von Deutschland und Sierra Leone machen deutlich, dass die ***Berücksichtigung unterschiedlicher Entwicklungsniveaus (A2)*** in der entwickelten Methode erreicht werden konnte. Umfeldszenarien wurden für niedrige Entwicklungsniveaus erstellt, da diese in der Literatur nicht vorhanden waren. Aus den erstellten Umfeldszenarien konnten spezifische Kriterien für die Bewertung von Systemelementen, Anwendungsfelder und Funktionen im probleminduzierten Pfad abgeleitet werden. Sowohl die Umfeldszenarien selbst als auch die daraus abgeleiteten Funktionen und Kriterien berücksichtigen also die Rahmenbedingungen des jeweiligen Entwicklungsniveaus. Insbesondere aus der Modifikation der Methode zur Erstellung von Technologieszenarien in der Systembildung resultiert eine erhebliche Verbesserung hinsichtlich der Berücksichtigung unterschiedlicher Entwicklungsniveaus. Die Integration der Bewertung anhand der spezifischen Kriterien in die Systembildung ermöglicht es, nicht nur konsistente, sondern gleichzeitig auch in dem jeweiligen Umfeld anwendbare Systeme zu bilden.

Eine vollständige Unabhängigkeit von Expertenwissen weist die entwickelte Methode natürlich nicht auf, sie verbessert aber die ***Externalisierung von Expertenwissen (A3)*** bezogen auf fachliches Wissen zu den Systemelementen der betrachteten Lebenswelt-bereiche deutlich. Außerdem ist die Methode in Anlehnung an die systematisch-analytische Vorgehensweise innerhalb der Szenario-Technik klar strukturiert und somit ohne große methodische Vorkenntnisse anwendbar. Für die Bewertung der Systemelemente und deren Konsistenzanalyse wird jedoch ein technisches Grundverständnis vorausgesetzt.

Durch den Einsatz von explorativen Szenarien zur Bildung der Umfeldszenarien und den aus ihnen abgeleiteten spezifischen Kriterien wird das Prinzip der ***multiplen Zukunft (A4)*** in alle Elemente der Methode überführt. Die abgeleiteten spezifischen Kriterien bilden sowohl die allgemeinen Bedingungen des betrachteten Entwicklungsniveaus ab als auch die Besonderheiten jedes resultierenden Szenarios. Die Einbindung der Bewertung anhand der spezifischen Kriterien in die Systembildung ergibt für das Entwicklungsniveau und für das jeweilige Szenario dieses Entwicklungsniveaus spezifische Systeme.

In den beiden Methodengebieten Zukunftsforschung und Nachhaltigkeitsbewertung, für die die Anforderung der ***quantitativ/qualitativ gemischten Anwendbarkeit (A5)*** definiert wurde, konnten Methoden identifiziert werden, die diese Anforderung erfüllen. Dabei handelt es sich um die Szenario-Technik und die Nutzwertanalyse, die beide wegen ihrer guten Bewertungen direkt als Baustein in die entwickelte Methode einflossen und somit diese Anforderungen in der entwickelten Methode erfüllen. Die Nutzwertanalyse bietet ein methodisches Gerüst, das mit allgemeinen und spezifischen Kriterien sowie deren Gewichtung, je nach betrachtetem Szenario und Entwicklungsniveau, ausgestaltet wurde.

Die Methoden Szenario-Technik und Nutzwertanalyse erfüllen ebenfalls die Anforderung nach ***Wählbarkeit der Perspektive (A6)*** und repräsentieren diese in der entwickelten Methode. Die Anwendungen der Methode haben ohne Unternehmensbezug und im probleminduzierten und technologieinduzierten Pfad ausgehend vom Systemelement ohne Produktbezug erfolgreich stattgefunden. Die Anforderung der Wählbarkeit der Perspektive ist somit erfüllt.

Technologieszenarien, die in modifizierter Form als Schnittmengenmethode zwischen der Zukunftsforschung und der Produktentwicklung in die Entwicklung der Methode eingeflossen sind, weisen Schwächen bezüglich der ***Berücksichtigung ökonomischer, ökologischer und sozialer Nachhaltigkeit (A7)*** auf. Eine diesbezüglich signifikante Verbesserung der entwickelten Methode basiert, wie oben bei der Anforderung „Berücksichtigung unterschiedlicher Entwicklungsniveaus“ (A2) beschrieben, auf der Integration der Bewertung in die Systembildung. Die Bewertung wird anhand ökonomischer, ökologischer und sozialer Nachhaltigkeitskriterien vorgenommen. Bei der Systembildung werden Systemelemente nicht nur über ihre Konsistenz, sondern auch über ihre Pareto-optimalen Kombinationen in den drei Nachhaltigkeitsdimensionen gebildet. In der entwickelten Methode erfüllt die Systembildung und die darin integrierte Bewertung die Anforderung, alle drei Nachhaltigkeitsdimensionen berücksichtigen zu müssen, also voll.

Der ***Aufwand der Bewertung (A8)*** konnte durch den Einsatz der Nutzwertanalyse, die mit zehn allgemeinen und zwei bis fünf spezifischen Kriterien durchgeführt wurde, gering gehalten werden. So kann eine große Anzahl an Systemelementen bewertet werden und die Systembildung kann neben der Konsistenzanalyse anhand der spezifischen Anforderungen des jeweiligen Umfelds und anhand der ökonomischen, ökologischen und sozialen Nachhaltigkeit vorgenommen werden.

Der Anforderung nach ***Umgang mit unvollständiger Information (A9)*** wird dadurch Rechnung getragen, dass Schätzungen und Annahmen neben gesicherten Angaben ebenfalls einfließen können. Dies ist insbesondere bei den in diesem Ansatz zu betrachtenden Zukunftstechnologien, über deren Einsatz noch keine belastbaren Informationen und Erfahrungswerte verfügbar sind, von entscheidender Bedeutung. Eine sinnvolle Erweiterung der Bewertung bezüglich dieser Anforderung könnte die Einführung eines Unsicherheitsfaktors sein. Hiermit wäre eine Aussage über die Sicherheit der Bewertungen möglich. Ein möglicher Ansatz zur Berücksichtigung der Informationsqualität wird in Kapitel 6.2 dargestellt.

Die Anwendung der Methode hat gezeigt, dass die ***Interdisziplinarität (A10)*** durchgängig gegeben ist. Der Technologiepool ermöglicht es, Systemelemente unterschiedlicher Lebensweltbereiche und Fachdisziplinen zu identifizieren und strukturiert zu sammeln. Die

Umfeldszenarien können für die ausgewählten Lebensweltbereiche erstellt werden, aber auch Aspekte aus unterschiedlichen Lebensweltbereichen enthalten. Zum Beispiel enthalten die in Kapitel 5.3 dargestellten Produktionsszenarien Faktoren aus den Lebensweltbereichen Energie und Produktion sowie über Infrastrukturfaktoren auch aus dem Lebensweltbereich Mobilität. Auch die Systembildung berücksichtigt Systemelemente aus den unterschiedlichen Lebensweltbereichen und/oder Fachdisziplinen, was sich in allen vier Beispielen in Kapitel 5 widerspiegelt.

Die Anforderung der ***Berücksichtigung künftiger Technologieentwicklungen (A11)*** ist bei den Technologieszenarien erfüllt. Diese sind in die Entwicklung der Methode in modifizierter Form eingeflossen. Die Verknüpfung der Technologieszenarien mit einer ökonomischen, ökologischen und sozialen Nachhaltigkeitsbewertung, die mit unvollständiger Information durchführbar ist, verbessert zudem die Einbindung von vielversprechenden, aber nicht erprobten Systemelementen in die Systembildung.

Die Orientierung an dem TRIZ-Prinzip und der Systemtheorie nach HUBKA bei der Gestaltung des Technologiepools stellt ein ***strukturiertes Sammeln von Technologien (A12)*** sicher. Die drei Ebenen, die das System, die Systemelemente und die Funktionen abbilden, erlauben eine Untergliederung des betrachteten Systems und eine lösungsneutrale Beschreibung über die Funktion. Die Untergliederung des Systems dient der gezielten Identifikation von Systemelementen und deren strukturierter Sammlung. Die lösungsneutrale Beschreibung dient ebenfalls der strukturierten Sammlung, ermöglicht aber zusätzlich noch die Substitution und konsistente Kombination von Systemelementen – also das ***Bilden von Technologiesystemen (A13)***. Technologieszenarien, die in modifizierter Form in die entwickelte Methode integriert wurden, erfüllen die Anforderung, konsistente Technologiesysteme zu bilden, bereits sehr gut. Diese Stärke wird durch die Struktur des Technologiepools zusätzlich unterstützt.

6.2 Grenzen und Potentiale der entwickelten Methode

Durchdringung der Lebensweltbereiche Mobilität, Energie und Produktion

Die im Kern betrachteten Lebensweltbereiche wurden bislang nur exemplarisch durchdrungen. Von einem vollständigen Abbild dieser Lebensweltbereiche über alle Entwicklungsniveaus kann nicht die Rede sein. Zum einen sollte die Methode innerhalb dieser Lebensweltbereiche häufiger angewandt werden, um mehr Beispiele zu generieren. Zum anderen sollte die Methode selbst dahingehend weiterentwickelt werden, dass eine breite Abdeckung dieser Lebensweltbereiche besser gewährleistet ist.

Ein Ansatz hierfür ist die ***Lebensweltbereich-spezifische Länderklassifizierung*** zur Erstellung der Umfeldszenarien. Bislang werden in den Umfeldszenarien einzelne Länder betrachtet, da die Unterschiede innerhalb von Ländergruppen, wie zum Beispiel den BRICS-Staaten, für die Anwendung dieser Methode zu groß sind und diese Klassifizierung von Ländern somit nicht anwendbar ist. Eine Klassifizierung von Ländern bezüglich ihrer Indikatoren für die Lebensweltbereiche Mobilität, Energie und Produktion, die auch allgemeine Indikatoren berücksichtigt, scheint hingegen vielversprechend. Ergebnis dieser Klassifizierung wären Lebensweltbereich-spezifische Ländergruppen. Eine Klassifizierung von Ländern bezüglich des Lebensweltbereichs Mobilität würde dann anhand mobilitätsspezifischer und allgemeiner, die Länder beschreibender Indikatoren, vorgenommen werden. Mobilitätsspezifische Indikatoren könnten zum Beispiel Straßen-/Schienennetz im Verhältnis zur Einwohnerzahl [km/Einwohner], Anzahl der Fahrzeuge im Verhältnis zur Einwohnerzahl und der Anteil öffentlicher Verkehrsmittel am Modal-Split sein. Allgemeine Kriterien könnten zum Beispiel das Pro-Kopf-Bruttoinlandsprodukt, der Urbanisierungsgrad und die Durchschnittstemperatur sein.

Eine solche Klassifizierung würde es zulassen, mehrere Länder gleichzeitig zu betrachten, technische Potentiale auf eine Klasse von Ländern zu übertragen und diese somit in einen breiteren Anwendungskontext zu überführen.

Ein weiteres Potential zur besseren Durchdringung der fokussierten Lebensweltbereiche bietet eine ***verbesserte Differenzierung der Entwicklungsniveaus***. Bislang, und auch in dem oben beschriebenen Ansatz Länderklassen zu bilden, beziehen sich Entwicklungsniveaus immer auf Länder. Die Unterschiede innerhalb eines Landes können jedoch groß sein. Gerade bei Ländern mittleren Entwicklungsniveaus ist der Unterschied besonders ausgeprägt, aber auch innerhalb hoch entwickelter Länder ist dieser signifikant. Beispielsweise existieren in Deutschland Regionen, die als strukturschwach gelten. Selbst innerhalb von Städten können die Unterschiede enorm sein. Eine hochentwickelte Region in einem Land mittlerer Entwicklung kann vergleichbar mit einer strukturschwachen Region in einem der hoch entwickelten Land sein. Bezogen auf einen Zukunftshorizont von circa 15

Jahren und die Berücksichtigung mehrerer Entwicklungsmöglichkeiten verstärkt sich das Problem, dass eine reine Einteilung in Länder oder Ländergruppen die Realität nicht ausreichend abbildet. Um auch die Unterschiede innerhalb von Ländern in der Methode berücksichtigen zu können und somit eine bessere Durchdringung innerhalb der Entwicklungsniveaus zu erreichen, muss die Klassifizierung von Entwicklungsniveaus variabel gestaltet werden.

Ausweitung auf weitere Lebensweltbereiche

Die Methode beschäftigt sich im Kern mit den Lebensweltbereichen Mobilität, Energie und Produktion und berücksichtigt angrenzende Lebensweltbereiche nur am Rande. Ein großer Anteil des globalen Energie- und Ressourcenverbrauchs lässt sich aber auf zum Beispiel Bau, Betrieb, Instandhaltung sowie Rückbau und Entsorgung von Gebäuden und Infrastruktur zurückführen [TS12, S. B1]. Fast ein Drittel der weltweiten Kohlendioxid-emissionen entstehen hieraus [AC12, S. 13]. Zement ist dabei der am häufigsten verwendete Baustoff. Dessen Herstellung sind fünf Prozent der weltweiten Kohlendioxidemissionen zuzuschreiben [TS12, S. B1]. Dies verdeutlicht, dass die Entwicklung neuer Baustoffe einen erheblichen Beitrag zur Energieeffizienz und Ressourcenschonung leisten kann. Die Entwicklung und der Einsatz neuer Baustoffe ist dem Lebensweltbereich Bauen und Wohnen zuzuordnen, der deshalb als zentraler Lebensweltbereich in die weitere Betrachtung einfließen sollte.

Validierung identifizierter Systeme

Die für das jeweilige Szenario eines bestimmten Entwicklungsniveaus identifizierten nachhaltigen Systeme sind konzeptueller Natur. Zur Verifikation der Systeme und deren Umsetzbarkeit erscheint eine Ausgestaltung und damit verbundene detaillierte Überprüfung der technischen Machbarkeit sowie eine quantitative ökonomische, ökologische und soziale Nachhaltigkeitsbewertung dieser Systeme sinnvoll. Eine geeignete Methode hierfür stellt die LCA dar. Bei dieser Methode sind jedoch bislang die sozialen Faktoren unterrepräsentiert. Weiterentwicklungen der LCA konzentrieren sich auf die Entwicklung von Indikatoren dieser bislang unterrepräsentierten Nachhaltigkeitsdimension [JFJH10, S. 376 ff.].

Funktionskombination

Mit der entwickelten Methode können Systemelemente über ihre lösungsneutrale Beschreibung – die Funktion – zu Systemen kombiniert werden. Zur Realisierung einiger Systemelemente könnten aber unterschiedliche Funktionen genutzt werden. Ein Beispiel hierfür ist die Herstellung eines Bechers, wie bereits in Kapitel 4.1.1 beschrieben. Die Herstellung könnte über die Funktionen Umformen, Urformen, Trennen oder Fügen bewerkstelligt werden. Dieser Zusammenhang wird in der Methode im Technologiepool

bislang über Alternativfunktionen abgebildet (siehe Kapitel 4.1.1). Ein Potential zur besseren Berücksichtigung alternativer Funktionen stellt die Funktionskombination dar. Es könnte beispielsweise analog zu der Kombination der Systemelemente in einem vorgelagerten Schritt zunächst die Konsistenz von Funktionen untereinander betrachtet werden.

Eine vorgelagerte Funktionskombination könnte auch der Tatsache Rechnung tragen, dass nicht immer bekannt ist, welche Funktionen ein Produkt zur Erfüllung eines Bedarfs bedienen muss. Ein Beispiel hierfür ist die Mobiltelefon- beziehungsweise Smartphone-Entwicklung. Wären Anfang der 90er Jahre die Mobiltelefon-Entwickler ausschließlich von den Funktionen ausgegangen, die ein Mobiltelefon damals besaß, wären die zusätzlichen Funktionen eines transportablen Medienabspielgerätes, einer Digital- und Videokamera, eines GPS-Navigationsgeräts sowie die Computerfunktionalität nicht hinzugefügt worden.

Berücksichtigung der Informationsqualität

Da häufig Technologien bewertet werden, die sich noch im Entwicklungsstadium befinden und über deren Einsatz somit noch keine belastbaren Informationen und Erfahrungswerte vorliegen, müssen Schätzungen vorgenommen werden. Bislang wird die Informationsqualität bei der Bewertung von Systemelementen jedoch nicht berücksichtigt. Die Einführung eines Informationsqualitätsgrades für jede Bewertung würde es ermöglichen, die Belastbarkeit der Bewertung transparent darzustellen und weitere Informationen bedarfsgerecht einzuholen. Bei der Auswahl eines Systems kann so eine Aussage über die Unsicherheit, die aus der Bewertung entsteht, getroffen werden und es können diejenigen Systemelemente identifiziert werden, die diese Unsicherheit verursachen. Über die Systemelemente mit sehr niedrigem Informationsqualitätsgrad könnten dann gezielt weitere Informationen eingeholt werden, bevor ein als nachhaltig identifiziertes System weiter verfolgt würde.

7 Literaturverzeichnis

[AA11-ol] Auswärtiges Amt: Sierra Leone. Unter: http://www.auswaertiges-amt.de/DE/Aussenpolitik/Laender/Laenderinfos/01-Nodes_Uebersichtsseiten/SierraLeone_node.html, abgerufen am 13.03.2013.

[AABR08] ABERLE, E.; ANDERL, R.; BIRKHOFER, H.; RÜTTINGER, B.: EcoDesign. Von der Theorie in die Praxis. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2008.

[AC12] ALLWOOD, J.M.; CULLEN, J.M.: Sustainable Materials – With Both Eyes Open. UIT Cambridge Ltd., Cambridge, 2012.

[Aca12] acatech IMPULS: Technikzukünfte – Vorausdenken – Erstellen – Bewerten. Springer-Verlag, Berlin, 2012.

[ADE13-ol] Academic dictionaries and encyclopedias (ADE): Universal-Lexikon, Stichwort: Nord-Süd-Konflikt. Unter: http://universal_lexikon.deacademic.com/180185/Nord-S%C3%BCd-Konflikt, abgerufen am 28.02.2013.

[Air13-ol] Airbus: Concept Plane – future technologies. Unter: http://www.airbus.com/innovation/future-by-airbus/concept-planes/the-airbus-concept-cabin/future-technologies/, abgerufen am 20.03.2013.

[Alc01] ALCAMO, J.: Scenarios as tools for international environmental assessments. In: Experts´ corner report: prospect and scenarios No 5, Environmental issues report No 24, European Environment Agency, Kassel, 2001.

[AR10] ABELE, E.; REINHART, G. (Hrsg.): Produktionsforschung 2020. Abschlussbericht, Betreut vom Projektträger Karlsruhe, gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung, Darmstadt/München, 2010.

[AR11] ABELE, E.; REINHART, G. (Hrsg.): Zukunft der Produktion – Herausforderungen, Forschungsfelder, Chancen. Carl Hanser Verlag, München, 2011.

[Ass13-ol] Association for the study of peak oil and gas: Peak oil? Unter: http://aspo-deutschland.blogspot.de/p/peak-oil.html, abgerufen am 10.04.2013.

[Audi12-ol] Energiemanagement – Rekuperation: Wer bremst, gewinnt. Unter: http://www.audi.de/de/brand/de/neuwagen/effizienz/effizienztechnologien/energiemanagement/rekuperation.html, abgerufen am 25.06.2012.

[BAV09] BARZANTNY, K.; ACHNER, S., VOMBERG, S. et al.: Klimaschutz: Plan B 2050 – Energiekonzept für Deutschland. Greenpeace e.V. in Kooperation mit EUtech, Hamburg, 2009.

[BBF+11] BLESL, M.; BRUCHOF, D.; FAHL, U.; KOBER, T.; KUDER R.; BEESTERMÖLLER, R.; GÖTZ, B.; VOß, A.: Arbeitsbericht – Auswirkungen veränderter Laufzeiten für Kernkraftwerke in Deutschland - Szenarioanalysen bis zum Jahr 2035. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung der Universität Stuttgart, Stuttgart, 2011.

[Bec05] BECK, C.H.: Fair Future – Ein Report des Wuppertal Instituts. Begrenzte Ressourcen und globale Gerechtigkeit. Verlag C.H. Beck, München, 2005.

[BI07] BRINK, V.; IHMELS, S.: Strategische Produkt- und Technologieplanung mit der Innovationsdatenbank. In: Konstruktion, Springer-Verlag, Berlin, 2007.

[Bio13-ol] BiomassMuse – Voice and heartbeat of the bioenergy. Unter: http://www.biomasse-nutzung.de/danemark-biokraftstoffe-bioethanol-cellulose-ethanol/, abgerufen am 26.03.2013.

[BLW04] BURSCHEL, C.J.; LOSEN, D.; WIENDL, A.: Betriebswirtschaftslehre der nachhaltigen Unternehmung. Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München, 2004.

[BMU09] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Erneuerbare Energien – Innovationen für eine nachhaltige Energiezukunft. Berlin, 2009.

[BMU13-ol] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Indien - Biomasse aus Reishülsen als erneuerbare Energiequelle. Unter: http://www.bmu.de/detailansicht/artikel/indien-biomasse-aus-reishuelsen-als-erneuerbare-energiequelle/, abgerufen am 26.03.2013.

[BMV06] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS): Szenarien der Mobilitätsentwicklung unter Berücksichtigung der Siedlungsstrukturen bis 2050. Magdeburg, 2006.

[BMZ13-ol] Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ): Lexikon der Entwicklungspolitik, Stichwort: Entwicklungsland. Unter: http://www.bmz.de/de/service/glossar/E/entwicklungsland.html, abgerufen am 21.02.2013.

[Bra13-ol] Brand eins Online 02/2013: Schwerpunkt: Marken und Glaubwürdigkeit – Die Symbiose. Unter: http://www.brandeins.de/magazin/marken-und-glaubwuerdigkeit/die-symbiose.html, abgerufen am 08.04.2013.

[Bri10] BRINK, V.: Verfahren zur Entwicklung konsistenter Produkt- und Technologiestrategien. Dissertation, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 280, Paderborn, 2010.

[Bru87] World Commission on Environment and Development: Brundtland Bericht, 1987.

[BT10] Deutscher Bundestag: Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag – Eine Bilanz. Drucksache 17/3010, Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung, Berlin, 2010.

[Bul94a] BULLINGER, H.-J.: Einführung in das Technologiemanagement: Modelle, Methoden, Praxisbeispiele. B.G. Teubner, Stuttgart, 1994.

[Bul94b] BULLINGER, H.-J. (Hrsg.): Technikfolgenabschätzung (TA). B.G. Teubner, Stuttgart, 1994.

[BWE11] Bundesverband Windenergie: Marktübersicht – Windindustrie in Deutschland 2011.

[Car13] CARLOWITZ, H.C.: Sylvicultura Oeconomica. Braun, Leipzig, 1713.

[Che11] CHEVRON, M.-F.: Angepasste Technologien. In: Kreff, F.; Knoll, E.-A.; Gingrich, A.: Lexikon der Globalisierung. Transcript Verlag, Bielefeld, 2011.

[CIA13-ol] Central Intelligence Agency: The World Factbook – Sierra Leone. Unter: https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/sl.html, abgerufen am 14.03.2013.

[Dal04] DALY, H.E.: Ecological Economics: The Concept of Scale and Its Relation to Allocation, Distribution, and Uneconomic Growth. In: Fullbrook, E.: What´s wrong with Economics. Anthem Press, London, 2004.

[Dit12] DITTRICH, M.: Green economies around the world? Implications of resource use for development and environment. Wien, 2012.

[DLR12] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR); Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES); Ingenieurbüro für neue Energien (IFNE): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global, 2012.

[Don04] DONGES, J.B.: Allgemeine Wirtschaftspolitik, 2. Auflage. Lucius & Lucius, Stuttgart, 2004.

[DRZE10] Deutsches Referenzzentrum für Ethik in den Biowissenschaften: Im Blickpunkt - Biodiversität. Bonn, 2010.

[DUD13-ol] Bibliographisches Institut GmbH: Duden – nachhaltig. Unter: http://www.duden.de/rechtschreibung/nachhaltig, abgerufen am 04.03.2013.

[Dyn08-ol] Dynetek Europe GmbH: 700 bar – Wasserstofftanks für PKW, Projektinformation. Unter: http://www.brennstoffzelle-nrw.de/fileadmin/daten/Projekt/abgeschlossen/PI_24_Dynetek_D-07.pdf, abgerufen am 25.06.2012.

[EBB+03] EVERSHEIM, W.; BRANDENBURG, F.; BREUER, T.; HILSER, M.; ROSIER, C.; SPIELBERG, D.E.: Innovationsmanagement für technische Produkte. Springer Verlag, Berlin, 2003.

[EK10] EICHLSEDER, H; KLELL, M.: Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik - Erzeugung, Speicherung, Anwendung, 3. Auflage. Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, 2012.

[EKL07] EHRLENSPIEL, K.; KIEWERT, A.; LINDEMANN, U.: Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren. Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung, 6. Auflage. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2007.

[Enq98] Abschlussbericht der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt - Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung“, Deutscher Bundestag: Drucksache 13/11200 vom 26. Juni 1998.

[EREC04] European Renewable Energy Council (EREC): Renewable Energy Scenario to 2040 – Half of the global energy supply from renewables in 2040. Brüssel, 2004.

[Eur08] European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions: Trends and drivers of change in the EU transport and logistics sector: Scenarios. Dänemark, 2008.

[FAU12-ol] Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU): Engineering of Advanced Materials: Pressespiegel. Unter: http://www.eam.uni-erlangen.de/press/pressespiegel/, abgerufen am 22.02.2012.

[FfE09] Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE): Energiezukunft 2050. München, 2009.

[Fin13-ol] Finanzen.net: Goldpreis Chart in Dollar. Unter: http://www.finanzen.net/rohstoffe/goldpreis/Chart, abgerufen am 10.04.2013.

[Fink99] FINK, A.: Szenariobasierte Führung industrieller Produktionsunternehmen. Dissertation, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 50, Paderborn, 1999.

[Fle72] FLECHTHEIM, O. K.: Futurologie: Der Kampf um die Zukunft. Verlag Wissenschaft und Politik, Hamburg, 1972.

[Fle87] FLECHTHEIM, O.K.: Ist die Zukunft noch zu retten? Hoffmann und Campe, Hamburg, 1987.

[Flei00] FLEISCHER, G. (Hrsg.): Eco-Design. Effiziente Entwicklung nachhaltiger Produkte mit euroMat. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2000.

[Fuc11] FUCHS, W.: Wachsen ohne Wachstum – weniger Ressourcen, bessere Technik, mehr Wohlstand. Carl Hanser Verlag, München, 2011.

[Füc13-ol] FÜCKS, R.: Wir können auch anders – Ende des Wachstums? Von wegen. Das Beste kommt noch: Ein Zeitalter der grünen Industrie. Zeit ONLINE, 07.03.2013. Unter: http://www.zeit.de/2013/11/Wachstum-Gruene-Industrie, abgerufen am 07.03.2013.

[GBB98] GRAY, R.; BAIRD, D.; BØHN, J.: Effects of processing conditions on short TLCP fiber reinforced FDM parts. In: Ausgabe 4 (1), Rapid Prototyping Journal, 1998.

[Geb07] GEBHARDT, A.: Generative Fertigungsverfahren, 3. Edition. Hanser Fachbuch, München, 2007.

[Ger05] GERPOTT, T.J.: Strategisches Technologie- und Innovationsmanagement, 2. Auflage. Schäffer Poeschel Verlag, Stuttgart, 2005.

[GG04] GORDON, T. J.; GLENN, J. C.: Integration, Comparison and Frontiers of Future Research Studies. In EU-US Seminar: New Technology foresight, Forecasting & Assessment Methods, Seville, 2004.

[GHKS06] GAUSEMEIER, J.; HANH, A.; KESPOHL, H.D.; SEIFERT, L.: Vernetzte Produktentwicklung – Der erfolgreiche Weg zum Global Engineering Networking. Carl Hanser Verlag, München, 2006.

[GIZ13-ol] Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH: Sierra Leone. Unter: http://liportal.giz.de/sierra-leone/wirtschaft-entwicklung.html, abgerufen am 08.04.2013.

[GMR13-ol] GRUESCUS, S.; MÜLLER-STEWENS, G.; RÜRUP, B.: Kosten-Nutzen-Analyse. Gabler Wirtschaftslexikon online-Ausgabe. Unter: http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/3123/kosten-nutzen-analyse-v9.html, abgerufen am 23.01.2013.

[Gor94] GORDON, T. J.: Futures Research Methodology – Cross-Impact Method, AC/UNU Millennium Project, 1994.

[Göt91] GÖTZE, U.: Szenario-Technik in der strategischen Unternehmensplanung. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 1991.

[GPW09] GAUSEMEIER, J.; PLASS, C.; WENZELMANN, C.: Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung – Strategien, Geschäftsprozesse und IT-Systeme für die Produktion von morgen. Carl Hanser Verlag, München, 2009.

[Gra10] GRABE, L.: Das „Projekt Nachhaltigkeit“ – Zu den Grenzen des Nachhaltigkeitskonzepts aus kultureller Perspektive. Cultura21 eBooks Siries on on Culture and Sustainability, San Francisco, 2010.

[Gre00] GREEUW, S. et al.: Cloudy Crystal Balls – An assessment of recent European and global scenario Studies and Models. In: Environmental issues series No 17, European Environment Agency, Copenhagen, 2000.

[Grf13-ol] GreenFacts: Biodiversität & menschliches Wohlbefinden. Unter: http://www.greenfacts.org/de/biodiversitat/, abgerufen am 10.04.2013.

[Güi07] GÜIDA, J.J.: Internationale Vorlkswirtschaftslehre – Eine empirische Einführung. Kohlhammer Verlag, Stuttgart, 2007.

[Gut29] GUTENBERG, E.: Die Unternehmung als Gegenstand betriebswirtschaftlicher Theorie. Spaeth & Linde-Verlag, Berlin, 1929.

[Häd98] HÄDER, S., HÄDER, M.: Neuere Entwicklungen bei der Delphi-Methode, Literaturbericht II, 1998.

[Hahn09] HAHN, R.: Multinationale Unternehmen und die 'Base of the Pyramid' - Neue Perspektiven von Corporate Citizenship und Nachhaltiger Entwicklung. Gabler, Wiesbaden, 2009.

[Hau08] HAU, E.: Windkraftanlagen. Grundlagen, Technik, Einsatz, Wirtschaftlichkeit, 4. Auflage. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2008.

[Hor95] HORX, M.: Megatrends für die späten neunziger Jahre. Econ, Düsseldorf, 1995.

[HP08] HENS, T.; PAMINI, P.: Grundzüge der analytischen Mikroökonomie. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2008.

[Hub84] HUBKA, V.: Theorie Technischer Systeme. Springer-Verlag, Berlin, 1984.

[Hus12] HUSSERL, E.: Die Krisis der Europäischen Wissenschaften und die transzendentale Phänomenologie, Auflage 2012 (mit entnommenem Text aus Husserl, E.: Husserliana, gesammelte Werke, Den Haag 1956). Felix Meiner Verlag, Hamburg, 2012.

[IAA09] International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development: Weltagrarbericht – Synthesebericht. University Press, Hamburg, 2009.

[IBM12-ol] International Business Machines Corporation (IBM): Das Battery 500-Projekt – 800 km Reichweite für Elektroautos.
Unter: http://www.zurich.ibm.com/news/12/battery500_d.html, abgerufen am 22.06.2012.

[IEA10a] International Energy Agency (IEA): World Energy Outlook 2010 – Zusammenfassung. Paris, 2010.

[IEA10b] International Energy Agency (IEA): Energy Technology Perspectives – Scenarios & Strategies to 2050. Paris, 2010.

[IFMO08] Institut für Mobilitätsforschung: Ost-West-Güterverkehre 2030 – Analysen, Prognosen und verkehrspolitische Herausforderungen für Deutschland und ausgewählte europäische Länder. Berlin, 2008.

[IFMO10] Institut für Mobilitätsforschung: Zukunft der Mobilität, Szenarien für das Jahr 2030, zweite Fortschreibung, München, 2010.

[IMF10-ol] International Monetary Fund: World Economic Outlook, Country Composition of WEO Groups. Unter: http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2010/02/weodata/groups.htm#oem, abgerufen am 21.2.2013.

[IPCC00] NAKICENOVIC, N.; SWART, R. et al.: Special Report on Emissions Scenarios. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2000.

[ISE13-ol] Institut für seltene Erden und Metalle: Aktuelle und historische Marktpreise der gängigsten Seltenen Erden. Unter: http://institut-seltene-erden.org/aktuelle-und-historische-marktpreise-der-gangigsten-seltenen-erden, abgerufen am 10.04.2013.

[IWES12] Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES): Windenergie Report Deutschland 2011. Kassel, 2012.

[Jal07-ol] JALLOH, A.R.: Electricity: After Freetown, the provinces. The Patriotic Vanguard, 21.12.2007. Unter: http://www.thepatrioticvanguard.com/article.php3?id_article=2134, abgerufen am 07.03.2013.

[JFJH10] JØRGENSEN, A.; FINKBEINER, M.; JØRGENSEN, M.; HAUSCHILD, M.: Defining the baseline in social life cycle assessment. International Journal of Life Cycle Assessment, Vol. 15, 2010.

[JK06] JÄGER, T; KARGER, R.: Instrumente zur Nachhaltigkeitsbewertung. Eine Synopse. Forschungszentrum Jülich GmbH, 2006.

[JMJV10] JOHANSEN, J.; MADSEN, O.; JENSEN, H. V.; VESTERGAARD, A.: Manufacturing 2025 – Five scenarios for Danish manufacturing companies. Aalborg, 2010.

[JSD+08] JÖRISSEN, J.; SCHIPPL, J; DIECKHOFF, C.; GRONWALD, N.; GRUNWALD; A.; HARTLIEB, N.; MIELICKE, U.; PARODI, O.; REINHARDT, T.; STELZER, V.: Roadmap Umwelttechnologien 2020. Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe, 2008.

[KG08] KOSOW, H.; GAßNER, R.: Methoden der Zukunfts- und Szenarioanalyse – Überblick, Bewertung und Auswahlkriterien. Institut für Zukunftsforschung und Technologiebewertung, Werkstattbericht Nr. 103, Berlin, 2008.

[KG10] KOSOW, H.; GAßNER, R.: Szenario-Methodik zur Begleitung strategischer F+E-Prozesse – am Beispiel der Hightech-Strategie der Bundesregierung. Institut für Zukunftsforschung und Technologiebewertung, Werkstattbericht Nr. 111, Berlin, 2010.

[KISD09] Köln International School of Design (KISD): Frauen und Mobilität 2025 – Ein Projekt der Köln International School of Design für die Volkswagen AG. Köln International School of Design, Köln, 2009.

[Kle13-ol] KLEIN, M.: Nord-Süd-Konflikt. Gabler Wirtschaftslexikon online-Ausgabe. Unter: http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/10995/nord-sued-konflikt-v6.html, abgerufen am 27.2.2013.

[Klö97] KLÖPFFER, W.: Life Cycle Assessment. From the Beginning to the Current State. In: Environmental Science and Pollution Research (ESPR) 4(4), ecomed publishers, Landsberg, 1997.

[Kow02] KOWALSKI, E.: Technology Assessment – Suche nach Handlungsoptionen in der technischen Zivilisation. Überarbeitete Fassung, vdf Hochschulverlag, Zürich, 2002.

[Kre06] KREIBICH, R.: Zukunftsforschung. Arbeitsbericht Nr. 23. Institut für Zukunfts-studien und Technologiebewertung (IZT), Berlin, 2006.

[Kre09] KREIBICH, R.: Die Zukunft der Zukunftsforschung. Ossip K. Flechtheim – 100 Jahre. Arbeitsbericht Nr. 32. Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT), Berlin, 2009.

[Krö07] KRÖLL, M.: Methode zur Technologiebewertung für eine ergebnisorientierte Produktentwicklung. Dissertation, Jost-Jetter Verlag, Leverkusen, 2007.

[KRZ12] KARL, F. REINHART, G. ZÄH, M.F.: Strategic Planning of Reconfigurations on Manufacturing Resources. In: Procedia 45th CIRP Conference on Manufacturing Systems, Elsevier, 2012.

[KS13-ol] KLEIN, M.; SCHÄFER, A.: Industrieländer. Gabler Wirtschaftslexikon online-Ausgabe. Unter: http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/54975/industrielaender-v6.html, abgerufen am 20.2.2013.

[Mai11] MAI, M.: Technik, Wissenschaft und Politik, Verlag für Sozialwissenschaften, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2011.

[Mbe13-ol] MBendi Information Services: Electrical Power in Sierra Leone. Unter: http://www.mbendi.com/indy/powr/af/sl/p0005.htm, abgerufen am 15.03.2013.

[Mea72] MEADOWS, D. et al.: The Limit to Growth. Universe Books, New York, 1972.

[Mel12-ol] MELANSON, D.: Airbus designer hopes to see planes roll out of hangar-sized 3D printers by 2050, 16.07.2012. Unter: http://www.engadget.com/2012/07/16/airbus-concept-plane-3d-printing/, abgerufen am 20.03.2013.

[MH91] MILLETS, S.M.; HONTON, E.J.: Manager´s Guide to Technology Forecasting and Strategy Analysis Methods. Battle Press, Columbus, 1991.

[MS05] MASOOD, S.; SONG, W.: Thermal characteristics of a new metal/polymer material for FDM rapid prototyping process. In: Ausgabe 25 (4), Assembly Automation, 2005.

[MW93] MANDEL, T. W.; WILSON, I.: How Companies Use Scenarios – Practices and Prescriptions. SRI International, Report No. 822, 1993.

[NH06] NUHN, H.; HESSE, M.: Grundriss allgemeine Geographie – Verkehrsgeographie. Schöningh Verlag, Paderborn, 2006.

[NT97] NONAKA, I.; TAKEUCHI, H.: Die Organisation des Wissens – Wie japanische Unternehmen eine brachliegende Ressource nutzbar machen. Campus Verlag, Frankfurt, 1997.

[Oek12] Öko-Institut e.V.: Renewability II – Szenario für einen anspruchsvollen Klimaschutzbeitrag des Verkehrs. Berlin, 2012.

[Oer08] OERTEL, D.: Energiespeicher – Stand und Perspektiven. Sachbericht zum Monitoring „Nachhaltige Energieversorgung“ des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, Arbeitsbericht 123, Berlin, 2008.

[Oph05] OPHEY, L.: Entwicklungsmanagement: Methoden in der Produktentwicklung. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2005.

[PBFG07] PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHAUSEN, J.; GROTE, K.-H.: Konstruktionslehre: Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung – Methoden und Anwendungen, 7. Auflage. Springer-Verlag, Berlin, 2007.

[Pen11] PENNEKAMP, J.: Wohlstand ohne Wachstum – ein Literaturüberblick. MPIfG Working Paper, Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung, Köln, 2011.

[PF11] PUSHAK, N. & FOSTER, V.: Sierra Leone’s Infrastructure – A Continental Perspective. Policy Research Working Paper 5713, The World Bank – Africa Region, Sustainable Development Department, 2011.

[Pin10-ol] PINZLER, P.: Wachstumsskeptisch - Eine Umfrage zeigt: Die Deutschen zweifeln am Kapitalismus. ZEIT ONLINE, 18. August 2010. Unter: http://www.zeit.de/2010/34/Emnid-Umfrage, abgerufen am 20.03.2013.

[PK05] PRINCE, R.C.; KHESGHI, H.S.: The Photobiological Production of Hydrogen: Potential Efficiency and Effectiveness as a Renewable Fuel. In: Critical Reviews in Microbiology 31; Taylor&Francis, 2005.

[Poo10] POORVASH, R.: Szenariobasiertes Wargaming – Ein Instrument zur strategischen Entscheidungsunterstützung. Dissertation, Universität Paderborn, Band 6, Paderborn, 2010.

[Pra06] PRAHALAD, C.K.: Der Reichtum der Dritten Welt – Armut bekämpfen, Weltweiten Wohlstand fördern, Würde bewahren, 1. Auflage. Finanzbuch-Verlag, München, 2006.

[Reg01] REGER, G.: Risikoreduzierung durch Technologie-Früherkennung. In: GASSMANN, O.; KOBE, C.; VOIT, E.: High-Risk-Projekte. Quantensprünge in der Entwicklung erfolgreich managen. Springer Verlag, Berlin, 2001.

[Rei91] REIBNITZ, U.V.: Szenario-Technik – Instrumente für unternehmerische und persönliche Erfolgsplanung. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1991.

[Rog09] ROGALL, H.: Nachhaltige Ökonomie. Ökonomische Theorie und Praxis einer Nachhaltigen Entwicklung. Metropolis-Verlag, Marburg, 2009.

[Roth00] ROTH, K.: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. Band 1: Konstruktionslehre. 3. Auflage, Springer, Berlin, München, Heidelberg: 2000.

[Sau06-ol] SAUER, U.: Optionen zur Speicherung elektrischer Energie in Energieversorgungssystemen mit regenerativer Stromerzeugung, 2006. Unter: http://www.eurosolar.de/de/images/stories/pdf/Sauer_Optionen_Speicher_regenerativ_okt06.pdf, abgerufen am 08.04.2013.

[SB09] SCHAWEL, C.; BILLING, F.: 100 Top Management Tools. Gabler Verlag, Wiesbaden, 2009.

[Sch11] SCHUH, G. (Hrsg.): Technologiemanagement. Handbuch Produktion und Management 2, 2. Auflage. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2011.

[Sch12] SCHUH, G. (Hrsg.): Innovationsmanagement: Handbuch Produktion und Management 3. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2012.

[Schl00] SCHLAKE, O.: Verfahren zur kooperativen Szenario-Erstellung in Industrieunternehmen. Dissertation, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 67, Paderborn, 2000.

[ScMI11-ol] Scenario Management International AG (ScMI): Zukunft der Mobilität. Unter: http://www.scmi.de/de/referenzen/szenario-studien/zukunft-mobilitaet-in-ballungsraeumen, abgerufen am 21.05.2013.

[Sel07] SELIGER, G.: Sustainability in Manufacturing – Recovery of Resources in Product and Material Cycles. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2007.

[Sel10] SELIGER, G.: Emerging Markets bei materiellen Grenzen des Wachstums – Chancen nachhaltiger Wertschöpfung. In: Gausemeier, J.; Wiendahl, H.-P.: acatech diskutiert – Wertschöpfung und Beschäftigung in Deutschland. Hannover, 2010.

[She09] Shell: Shell PKW-Szenarien bis 2030 - Fakten, Trends und Handlungsoptionen für nachhaltige Auto-Mobilität. Shell Deutschland Oil GmbH, Hamburg, 2009.

[She10] Shell: Shell LKW-Studie – Fakten, Trends und Perspektiven im Straßengüterverkehr bis 2030. Shell Deutschland Oil GmbH, Hamburg/Berlin, 2010.

[She11] Shell: Shell Energy Scenarios to 2050 – Signals & Signposts. Shell International BV, The Hague, 2011.

[SHF+12] SCHISCHKE, K.; HOHWIELER, E.; FEITSCHER, R.; KÖNIG, J.; KREUSCHNER, S.; WILPERT, P.; NISSEN, N.F.: Energy-Using Product Group Analysis. Fraunhofer Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration, IZM (Eds.), Fraunhofer Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik, IPK (Eds.); Lot 5: Machine tools and related machinery. Task 3 Report. Berlin, 2012.

[SHK09] SCHMITZ, N.; HENKE, J.; KLEPPER, G.: Biokraftstoffe – Eine vergleichende Analyse. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hrsg.), Media Cologne Kommunikationsmedien GmbH, Hürth, 2009.

[Sie08] SIEPER, H.: Investieren in Afrika. FinanzBuch Verlag, München 2008.

[SL88] SCHÜTZ, A.; LUCKMANN,T.: Strukturen der Lebenswelt, Bd.1, 3. Auflage. Frankfurt, 1988.

[SLL10] SCHLESINGER, M.; LINDENBERGER, D.; LUTZ, C.: Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung. Prognos AG; Energiewirtschaftliches Institut an der Universität Köln (EWI); Gesellschaft für wirtschaftliche Strukturforschung mbH (GWS); Basel/Köln/Osnabrück, 2010.

[SLS11] SPATH ,D.; LINDER, C.; SEIDENSTRICKER, S.: Technologiemanagement. Fraunhofer Verlag, Stuttgart, 2011.

[SM13-ol] SPECHT, D; MÖHRLE, M.G.: Zukunftsforschung. Gabler Wirtschaftslexikon online-Ausgabe. Unter: http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/82889/zukunftsforschung-v6.html, abgerufen 03.08.2012.

[SSL10] SPATH, D.; SCHIMPF, S.; LANG-KOETZ, C.: Technologiemonitoring – Technologien identifizieren, beobachten und bewerten. Fraunhofer Verlag, Stuttgart, 2010.

[STA13-ol] Statista: Windenergie und Windindustrie. Unter: http://de.statista.com/statistik/faktenbuch/372/a/branche-industrie-markt/energiewirtschaft/windenergie-und-windindustrie/, abgerufen am 8. März 2013.

[Ste11] STERN, A.: Keine Angst vor Microsoft Access! Datenbanken verstehen, entwerfen und entwickeln. O'Reilly Verlag GmbH & Co. KG, Köln, 2011.

[Sto09] STOLLT, G.: Verfahren zur strukturierten Vorausschau in globalen Umfeldern produzierender Unternehmen. Dissertation, HNI Verlagsschriftenreihe, Band 242, Paderborn, 2009.

[Tet09] Tetraplan A/S; Institute for Transport Studies: TRANSvisions – Report on Transport Scenarios with a 20 and 40 Year Horizon. Tetraplan A/S, Kopenhagen, 2009.

[TQM12-ol] TQM Training & Consulting: Trendanalyse. Unter: http://www.tqm.com/beratung/marktanalyse/trendanalyse, abgerufen am 21.02.2013.

[Tre03] Tremmel, J.: Nachhaltigkeit als politische und analytische Kategorie. Der deutsche Diskurs um nachhaltige Entwicklung im Spiegel der Interessen der Akteure. ökom Verlag, München, 2003.

[TS12] Tagesspiegel, Technische Universität, Beilage zum Wintersemester 2012/2003: Die Natur als Baumeister. Interview mit D. Stephan, P. Jonositz, 2012.

[UMR12] UHLMANN, E.; MEWIS, J.; RASPER, P.: Microsystem and Adaptronic Machine Tool Concepts for Global Value Creation. In: Seliger, G.; Kilic, S. E.: Proceedings 10th Global Conference on Sustainable Manufacturing – Towards Implementing Sustainable Manufacturing. Istanbul, 2012.

[UN04-ol] Vereinte Nationen (UN): Human Development Report 2004. Unter: http://hdr.undp.org/en/media/hdr04_complete.pdf, abgerufen am 11.03.2013.

[UN11-ol] Vereinte Nationen (UN): Human Development Index 2011. Unter: http://hdr.undp.org/en/statistics/hdi/, abgerufen am 11.03.2013.

[UN12] Vereinte Nationen (UN): Millennium-Entwicklungsziele, Bericht 2012. New York, 2012.

[UND13-ol] UN-DESA: The criteria for identifying least developed countries. Unter: http://www.un.org/en/development/desa/policy/cdp/ldc/ldc_criteria.shtml, abgerufen am 06.03.2013.

[UNDP11] United Nations Development Programm (UNDP): Human Development Report 2011, Sustainability and Equity: A better future for all. New York: United Nations Development Programme, 2011.

[UNO13-ol] UN-OHRLLS: Least Developed Countries. Unter: http://www.unohrlls.org/en/ldc/25/, abgerufen am 21.02.2013.

[Vic07] VICTOR, P.: Managing without Growth. In: Ecological Economics 61, 2007.

[VRM+03] VAN NOTTEN, P.W.F.; ROTMANS, J.; MARJOLEIN, B.A.; DALE; S.: An updated scenario typology. In: Futures 35, Maastricht, 2003.

[WA07] WOLFRUM, E.; ARENDES C.: Globale Geschichte des 20. Jahrhunderts, Kohlhammer Verlag, Stuttgart, 2007.

[WB13a-ol] The World Bank: Country and Lending Groups. Unter: http://data.worldbank.org/about/country-classifications, abgerufen am 21.2.2013.

[WB13b-ol] The World Bank: GNI per capita, Atlas method. Unter: http://data.worldbank.org/about/country-classifications/world-bank-atlas-method, abgerufen am 06.03.2013.

[WHS10], WEIZSÄCKER, E.U.; KARLSON, H.; SMITH, M.: Faktor fünf – Die Formel für nachhaltiges Wachstum. Droemer Verlag, München, 2010.

[WM13-ol] WÜBBENHORST, K.; MAIER, G.W.: Delphi-Technik. Gabler Wirtschaftslexikon online-Ausgabe. Unter: http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/3268/delphi-technik-v7.html, abgerufen am 19.12.2012.

[WWF12] World Wide Fund For Nature: Living Planet Report 2012 – Biodiversity, biocapacity and better choices. Gland, 2012.

[ZAF10] ZELLER, B.; ACHTENHAGEN, C.; FÖST, S.: Das „Internet der Dinge“ in der industriellen Produktion – Studie zu künftigen Qualifikationserfordernissen auf Fachkräfteebene. Forschungsinstitut Betriebliche Bildung (f-bb) gGmbH, Nürnberg, 2010.

[ZAK12] Zentrum für Alterskulturen (ZAK): MOBIL 2030 - Mobilitätskultur in einer alternden Gesellschaft: Szenarien für das Jahr 2030. Bonn, 2012.

[Zan76] ZANGEMEISTER, C.: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik. Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen. Wittemann-Verlag, München, 1976.

[Zwi66] ZWICKY, F.: Entdecken, Erfinden, Forschen im Morphologischen Weltbild. Droemer-Knaur, München, 1966–1971.

[3D13-ol] 3D Printer - Exploring the world of 3D printing. Unter: http://www.themanwhoprintshouses.com/Home.html, abgerufen am 20.03.2013.

Normen und Richtlinien

[DIN8580] DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (eds.): DIN-Norm 8580, Fertigungsverfahren – Begriffe, Einteilung. Beuth, Berlin, 2003.

[DIN31051] DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (eds.): DIN-Norm 31051, Grundlagen der Instandhaltung. Beuth, Berlin, 2012.

[EU125] Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009.

[ISO9000] DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (eds.): DIN EN ISO 9000, Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe – Dreisprachige Fassung. Beuth, Berlin, 2005.

[ISO14040] DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (eds.): DIN EN ISO 14040, Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen. Beuth, Berlin, 2009.

[ISO14044] DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (eds.): DIN EN ISO 14044, Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen. Beuth, Berlin, 2006.

[ISO14062] DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (eds.): DIN-Fachbericht ISO/TR 14062, Umweltmanagement – Integration von Umweltaspekten in Produktdesign und -entwicklung. Beuth, Berlin, 2003.

[ISO14067] DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (eds.): DIN ISO 14067, Treibhausgase – Carbon Footprint von Produkten – Anforderungen an und Leitlinien für quantitative Bestimmungen und Kommunikation. Beuth, Berlin, 2012.

[VDI2221] Verein Deutscher Ingenieure: VDI-Richtlinie 2221, Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Beuth Verlag, Berlin, 1993.

[VDI2235] Verein Deutscher Ingenieure: VDI-Richtlinie 2235, Wirtschaftliche Entscheidungen beim Konstruieren. Methoden und Hilfen. VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1987.

[VDI2860] Verein Deutscher Ingenieure: VDI Richtlinie 2860, Montage- und Handhabungstechnik; Handhabungsfunktionen, Handhabungseinrichtungen; Begriffe, Definitionen, Symbole. Beuth Verlag, 1990.

[VDI3780] Verein Deutscher Ingenieure: VDI-Richtlinie 3780, Technikbewertung – Begriffe und Grundlagen. Beuth Verlag, Berlin, 2000.

[VDI 4003] Verein Deutscher Ingenieure: VDI-Richtlinie 4003, Zuverlässigkeitsmanagement. Beuth Verlag, Berlin 2007.

Liste der entstandenen studentischen Arbeiten

Namen der Studierende	Titel	Fokus	Art	Abgabe
Andreas Annecke, Jan Christoph Hinke, Sven Schulze, Lucia Thomann	Mobilitätsszenarien für Schwellenländer – Moskau	US	P	30.07.2012
Simon Brönstrup, Florian Gabel, Martin Müller, Benjamin Reitz, Jakob Übelherr	Umfeldszenarien für die Fahrradmobilität in Berlin	US	P	31.03.2013
Constantin Bruchmann	Bewertung von Systemen zur dezentralen Energieversorgung anhand von Umfeldszenarien	B	SA	22.12.2012
Emel Cetin, René Helm, Fabian Schulze, Martin Schwald	Kleinfabriken für Sierra Leone	SB	P	26.03.2010
Fabian Dörfer	Szenarien erneuerbarer Energien für Sierra Leone	US	BA	22.12.2011
Ferdinand Endraß, Benedikt Kleiner, Friedrich Mohr, Gunther Mohr, Felix Schneider	Produktionskonzepte der Zukunft	TP/B/SB	P	31.03.2012
Konrad Exner	Produktszenarien für erneuerbare Energien	SB	DA	24.01.2012
Steffen Hahn	Ableiten von Kriterien aus Szenario-Studien zur Nachhaltigkeitsbewertung von Technologiekonzepten	US/B	DA	11.05.2012
Nicolai Hanner, Roman Laabs, Thomas Lassek, Jakob Schofer	Mobilitätsszenarien für Schwellenländer – Sao Paulo	US	P	30.07.2012
Marcus Heisinger	Technologieszenarien für den individuellen Personennahverkehr in Ballungsräumen von Schwellenländern	SB	BA	08.08.2012
Marc Höft	Technologieszenarien der dezentralen Energieversorgung für Entwicklungsländer	SB	BA	02.04.2013
Thomas Junghanns	Energy concepts for production	TP/SB	BA	05.09.2011
Arthur-Iren Martini	Technologieszenarien der Mobilität am Beispiel des öffentlichen Personenverkehrs in Ballungsräumen von Schwellenländern	SB	BA	02.11.2012
Sebastian Riemer	Technologieszenarien der Mobilität am Beispiel des öffentlichen Personenverkehrs in Entwicklungsländern	SB	BA	24.07.2012
Marcus Schellin	Mobility concepts for production	TP/SB	BA	05.09.2011
Gregor Wunder	Technologieszenarien für den zweirädrigen Individualverkehr in Ballungsräumen von Schwellenländern	SB	BA	25.10.2012

Fokus	**Art der Arbeit**
TP: Technologiepool	BA: Bachelorarbeit
US: Umfeldszenarien	DA: Diplomarbeit
B: Bewertung	P: studentisches Projekt
SB: Systembildung	SA: Studienarbeit

Inhaltsverzeichnis Anhang

A1 Die globale Herausforderung 1
A1.1 Gini-Koeffizient 1
A1.2 Ökologischer Fußabdruck 1
A2 Beschreibung Umfeldszenarien 3
A2.1 Mobilität 3
A2.2 Energie 11
A2.3 Produktion 16
A3 Technologieinduzierter Pfad ausgehend vom System 19
A3.1 Bewertung Systemelemente 19
A4 Technologieinduzierter Pfad ausgehend vom Systemelement 20
A4.1 Bewertung Systemelemente 20
A4.2 Konsistenzmatrix Systemelemente 21
A5 Probleminduzierter Pfad – Dezentrale Energieversorgung 22
A5.1 Einflussfaktorenkatalog 22
A5.2 Einflussmatrix 25
A5.3 Projektionskatalog 27
A5.4 Konsistenzmatrix 32
A5.5 Bewertung Systemelemente 34
A5.6 Konsistenzmatrix Systemelemente 35
A5.7 Technologieszenarien 36
A6 Probleminduzierter Pfad - Kakaomassenherstellung 37
A6.1 Projektionskatalog 37
A6.2 Konsistenzmatrix 42
A6.3 Bewertung Systemelemente 44

A1 Die globale Herausforderung

A1.1 Gini-Koeffizient

Der Gini-Koeffizient als statistisches Maß stellt die Abweichung des Einkommens oder des Konsums einzelner Personen oder Haushalte von der hypothetischen perfekten gleichen Verteilung, der so genannten Gleichverteilung, des Einkommens oder Konsums der Gesamtbevölkerung (nicht im Sinne einer mathematischen Gleichverteilung), dar.

Durch eine Lorenzkurve werden den aufsteigend sortierten kumulierten prozentualen Bevölkerungszahlen die jeweiligen kumulierten prozentualen Einkommensanteile am Gesamteinkommen der Bevölkerung zugeordnet. Zur Ermittlung des Gini-Koeffizienten wird die Fläche zwischen der Lorenzkurve und einer hypothetischen Gleichverteilungslinie in Prozent von der maximal möglichen Fläche unter der Gleichverteilungslinie berechnet. Somit entspricht ein Wert von 100 Prozent der maximalen Abweichung, also der perfekten Ungleichverteilung [UN04-ol, S. 271].

A1.2 Ökologischer Fußabdruck

Der ökologische Fußabdruck misst den Bedarf an biologisch produktivem Land und Wasser von einzelnen Personen, Institutionen und Regionen, um alle konsumierten Ressourcen zu produzieren und den entstandenen Abfall mithilfe der Nutzung heutiger Technologien und Produktionsverfahren aufzunehmen. Der ökologische Fußabdruck sämtlicher einzelnen Länder ergibt in der Summe den globalen ökologischen Fußabdruck. Es wird jährlich berechnet, welche Fläche für die Produktion der konsumierten Ressourcen und für Infrastruktur benötigt wird, sowie wie groß der Bedarf an Waldfläche zur Absorption der CO_2-Emissionen ist, die nicht durch die Ozeane absorbiert wird. Zur Berechnung des ökologischen Fußabdruckes wird der Verbrauch von

- Getreide,
- Fleisch,
- Holz,
- Fisch,
- CO_2-Emissionen
- und der Bedarf an Infrastruktur

in Form von hierzu benötigter Fläche berechnet. Diese wird mit einem Faktor, der so genannten Intensität des Fußabdruckes, zur Darstellung der Effizienz der Wandlung von Ressourcen in Produkte und Dienstleistungen länderspezifisch gewichtet.

Zur Beurteilung des ökologischen Fußabdruckes des einzelnen Menschen, Institutionen oder auch gesamten Nationen wird dieser der jeweiligen regenerativen Kapazität oder Biokapazität gegenübergestellt. Die Biokapazität der Erde entspricht rechnerisch derjenigen Fläche, die

- zur Getreideproduktion,
- für Weidevieh,
- zum Anbau von Bauholz,
- zum Fang von Fisch,
- zur Aufnahme von CO2-Emissionen in Form von Waldflächen (die Absorption der Ozeane wird abgezogen),
- für Infrastruktur

tatsächlich zur Verfügung steht.

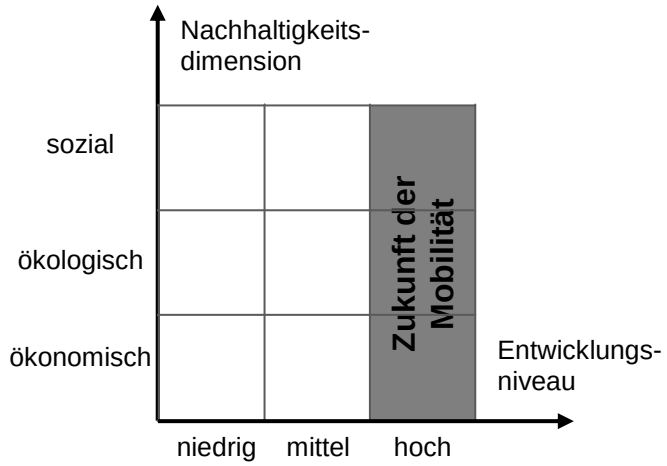
Biokapazität und biologischer Fußabdruck werden in sogenannten „globalen Hektar“ angegeben, wobei ein globaler Hektar einem biologisch produktiven Hektar mit durchschnittlicher Produktivität entspricht. Hierzu werden weltweite Durchschnittswerte entsprechend der unterschiedlichen Nutzung von Flächen herangezogen. Ebenso wird die biologische Produktivität von Flächen in dem jeweilig betrachteten Land im Vergleich zum weltweiten Durchschnitt normalisiert um regionalen und Nutzungsunterschieden gerecht zu werden. Beispielsweise entspricht ein globaler Hektar von sehr produktivem Land einer kleineren physischen Fläche Land als eine Fläche mit geringerer biologischer Produktivität.

Ein so genanntes Biokapazitätsdefizit besteht, sobald der ökologische Fußabdruck höher ist als die Biokapazität der betrachteten Region. Weist eine Region eine höhere Biokapazität als ökologischen Fußabdruck auf, so kann dieser Überschuss beispielsweise durch Handel in Regionen mit einem Biokapazitätsdefizit exportiert werden. Auf globaler Ebene spricht man bei einem Biokapazitätsdefizit aufgrund von mangelnder Ausgleichsmöglichkeiten von einem „Overshoot“, also der übermäßigen Beanspruchung der Erde [WWF12, S. 36ff., S. 135, S. 147f.].

A2 Beschreibung Umfeldszenarien

A2.1 Mobilität

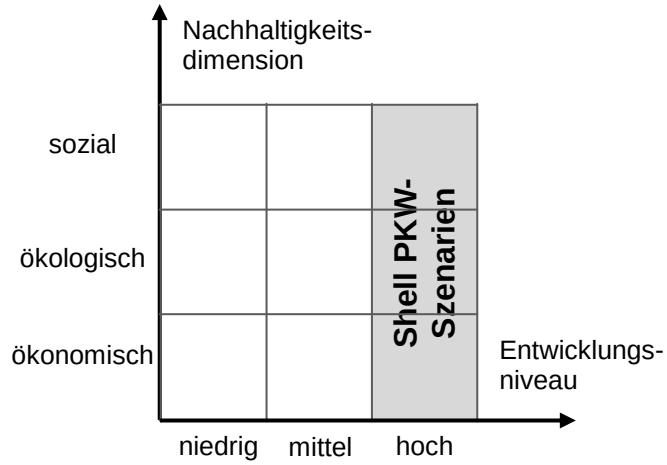
1) Zukunft der Mobilität / Szenarien für das Jahr 2030



Art der Studie	Explorativ
Erstellungsdatum	2010
Geographische Reichweite	Deutschland
Zeitliche Reichweite	2030
Anzahl Szenarien	3

Fokus	Mobilität von Personen und Gütern
Herausgeber	Institut für Mobilitätsforschung
Kooperationspartner	Geschka & Partner

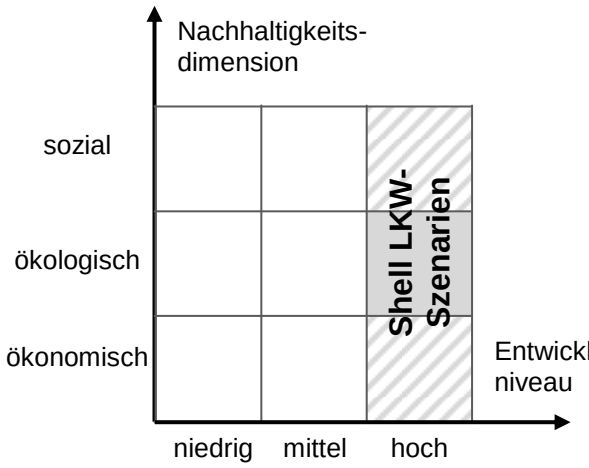
2) Shell PKW-Szenarien bis 2030



Art der Studie	Explorativ
Erstellungsdatum	2009
Geographische Reichweite	Deutschland
Zeitliche Reichweite	2030
Anzahl Szenarien	2

Fokus	Pkw-Mobilität und ihre Beeinflussung durch demographische, geschlechterspezifische und technologische Veränderungen
Herausgeber	Shell Deutschland Oil GmbH
Kooperationspartner	-

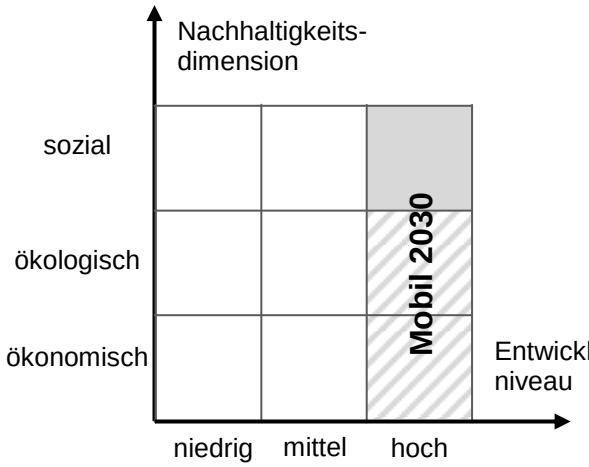
3) Shell LKW-Studie



Art der Studie	Explorativ
Erstellungsdatum	2010
Geographische Reichweite	Deutschland
Zeitliche Reichweite	2030
Anzahl Szenarien	2

Fokus	LKW-Mobilität
Herausgeber	Shell Deutschland Oil GmbH
Kooperationspartner	Institut für Verkehrsforschung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR), Hamburgisches WeltWirtschaftsInstitut (HWWI)

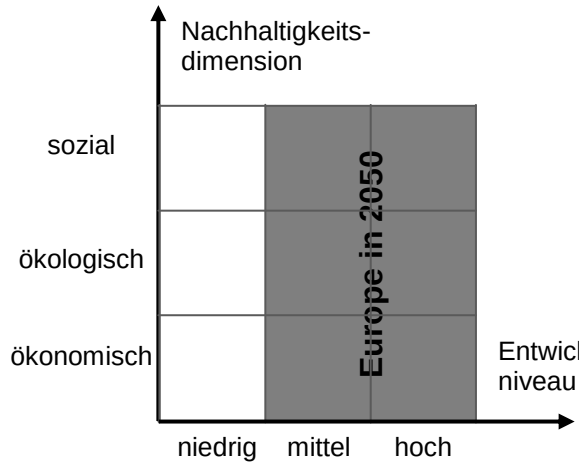
4) Mobil 2030



Art der Studie	Explorativ
Erstellungsdatum	2012
Geographische Reichweite	Deutschland
Zeitliche Reichweite	2030
Anzahl Szenarien	2

Fokus	Mobilität von Menschen, die im Jahr 2030 älter als 65 Jahre sind
Herausgeber	Zentrum für Alternskulturen des Universität Bonn
Kooperationspartner	Volkswagenstiftung

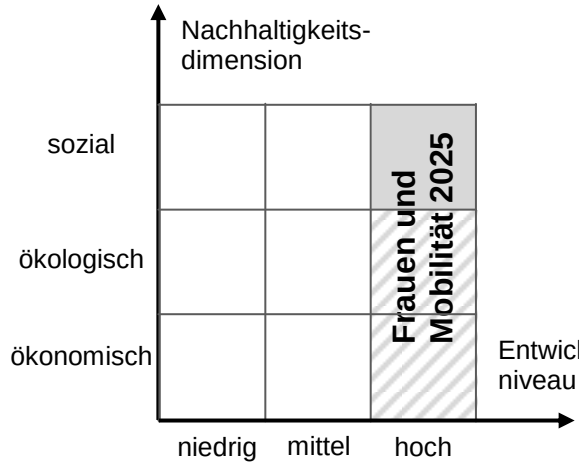
5) How will Europe look like in 2050 (TRANSvisions)



Art der Studie	Explorativ
Erstellungsdatum	2009
Geographische Reichweite	Europa
Zeitliche Reichweite	2050
Anzahl Szenarien	5 bis 2030 4 bis 2050

Fokus	Mobilität
Herausgeber	Tetraplan (Dänemark)
Kooperationspartner	Mcrit (Spanien), ISIS (Italien), Universität Leeds (Großbritannien), BMT (Deutschland), DTU (Dänemark), Systema (Griechenland), Institute for Regional Research (Christian Albrecht Universität Kiel)

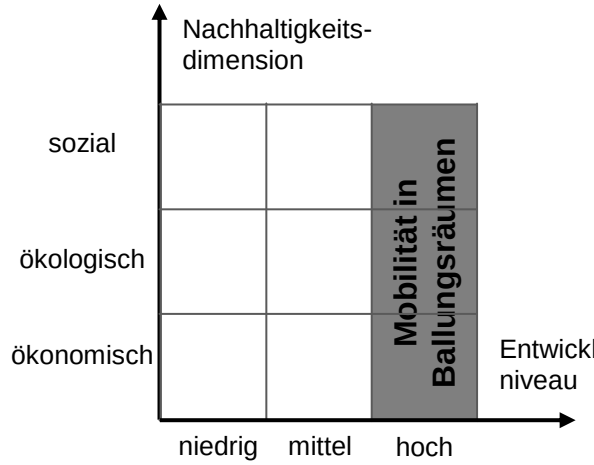
6) Frauen und Mobilität 2025



Art der Studie	Explorativ
Erstellungsdatum	2009
Geographische Reichweite	Deutschland
Zeitliche Reichweite	2025
Anzahl Szenarien	3 Hauptszenarien mit jeweils 3 Subszenarien

Fokus	Mobilitätsleitbild der Frau
Herausgeber	Köln International School of Design
Kooperationspartner	Volkswagen AG

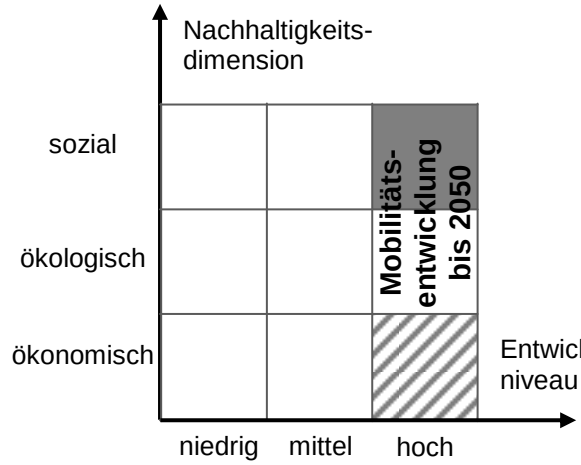
7) Zukünftige Mobilität in deutschen Ballungsräumen 2030



Art der Studie	Explorativ
Erstellungsdatum	2011
Geographische Reichweite	Deutschland
Zeitliche Reichweite	2030
Anzahl Szenarien	7

Fokus	denkbare Veränderungen im Mobilitätsumfeld deutscher Ballungsräume
Herausgeber	Scenario Management International AG
Kooperationspartner	Siemens AG, Metro AG, MAN Nutzfahrzeuge AG, Deutsche Post DHL, Hamburger Verkehrsverbund, Innovationszentrum Niedersachsen, Logistikinitiative Niedersachsen, Rhein-Main-Verkehrsverbund

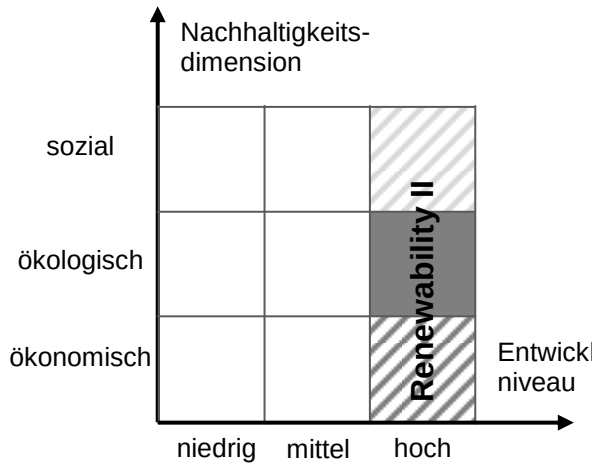
8) Szenarien der Mobilitätsentwicklung unter Berücksichtigung von Siedlungsstrukturen bis 2050



Art der Studie	Explorativ
Erstellungsdatum	2006
Geographische Reichweite	Deutschland
Zeitliche Reichweite	2050
Anzahl Szenarien	2

Fokus	Mobilitätsentwicklung unter Berücksichtigung von Siedlungsstrukturen
Herausgeber	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
Kooperationspartner	Traffic and Mobility Planning GmbH (TRAMP), Deutsches Institut für Urbanistik (Difu), Institut für Wirtschaftsforschung Halle (IWH), omniphon gesellschaft für dialogmarketing und marktforschung mbh, TU Dresden

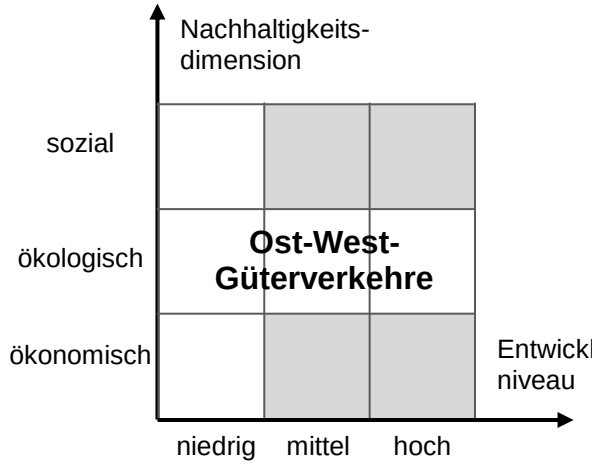
9) Renewability II – Szenario für einen anspruchsvollen Klimaschutzbeitrag des Verkehrs



Art der Studie	Explorativ
Erstellungsdatum	2012
Geographische Reichweite	Deutschland
Zeitliche Reichweite	2030
Anzahl Szenarien	2

Fokus	Auswirkungen von Klimaschutzbeitrag auf die Mobilität
Herausgeber	Öko-Institut e.V.
Kooperationspartner	DLR – Institut für Verkehrsforschung Berlin, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung Karlsruhe

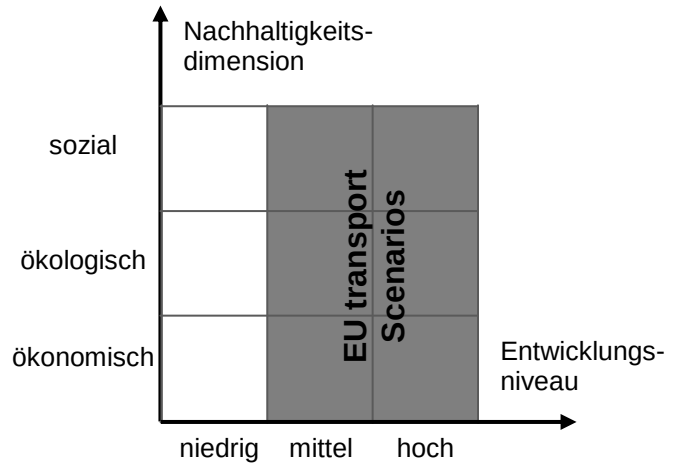
10) Ost-West-Güterverkehre 2030



Art der Studie	Normativ
Erstellungsdatum	2008
Geographische Reichweite	Europa
Zeitliche Reichweite	2030
Anzahl Szenarien	1

Fokus	Entwicklung der Güterströme zwischen Deutschland und weiteren europäischen Ländern und deren Auswirkung auf die Mobilität
Herausgeber	Institut für Mobilitätsforschung
Kooperationspartner	ProgTrans AG

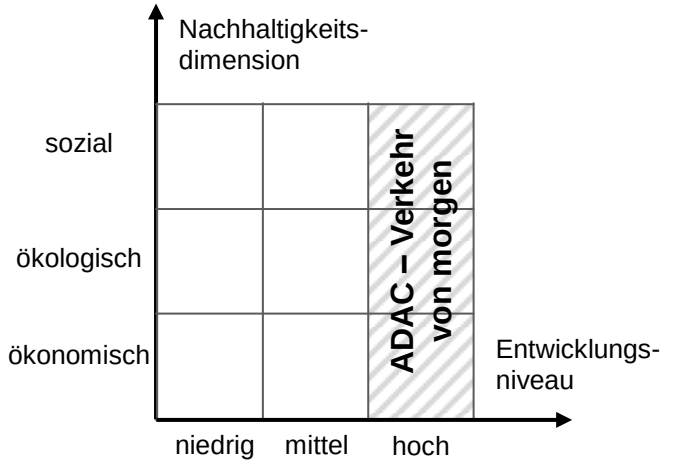
11) Trends and drivers of change in the EU transport and logistics sector: SCENARIOS



Art der Studie	Explorativ
Erstellungsdatum	2008
Geographische Reichweite	Europa
Zeitliche Reichweite	2017
Anzahl Szenarien	4

Fokus	Einfluss sozio-kultureller, technischer, ökonomischer, ökologischer und politischer Faktoren auf die Mobilität
Herausgeber	European Monitoring Centre on Change
Kooperationspartner	-

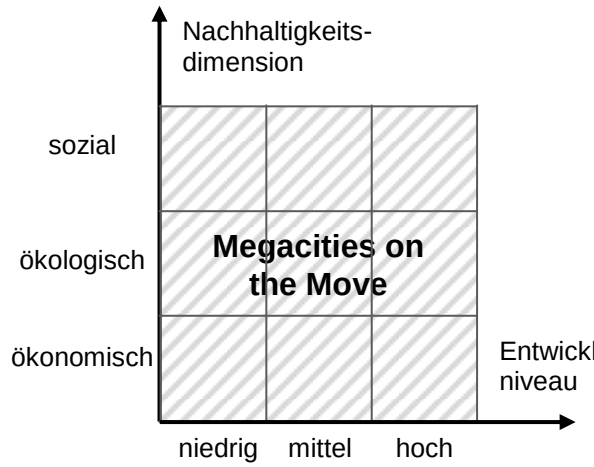
12) ADAC – Verkehr von morgen.



Art der Studie	Normativ
Erstellungsdatum	2011
Geographische Reichweite	Deutschland
Zeitliche Reichweite	Unbekannt
Anzahl Szenarien	3

Fokus	Szenarien und Visionen über den Verkehr von „morgen“
Herausgeber	Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V. (ADAC)
Kooperationspartner	Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT)

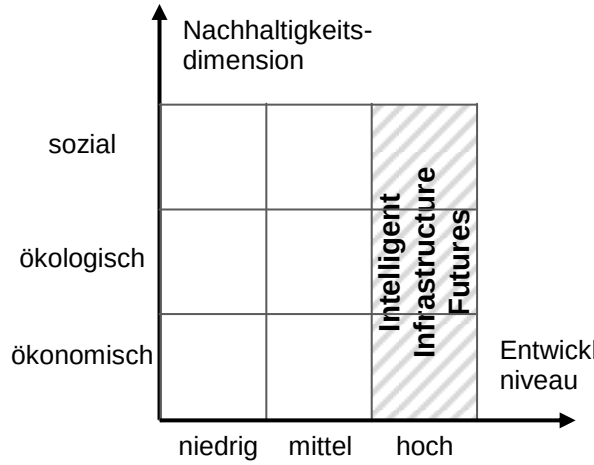
13) Megacities on the Move



Art der Studie	Normativ
Erstellungsdatum	Welt
Geographische Reichweite	2010
Zeitliche Reichweite	2040
Anzahl Szenarien	4

Fokus	Mobilität in Städten über 10 Mio. Einwohner
Herausgeber	Forum for the Future
Kooperationspartner	EMBARQ, Vodafone, The FIA Foundation

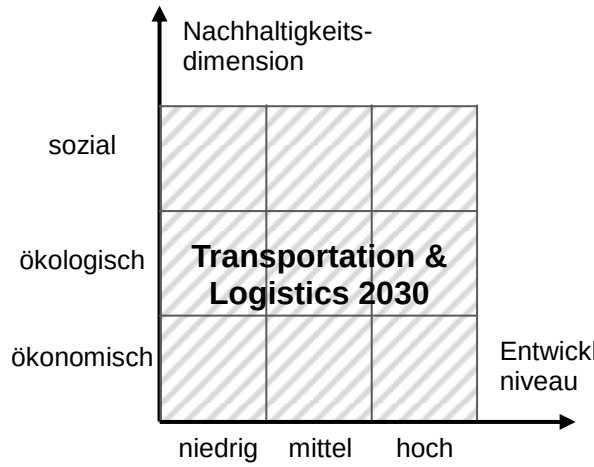
14) Intelligent Infrastructure Futures, The Scenarios - Towards 2055



Art der Studie	Explorativ
Erstellungsdatum	2006
Geographische Reichweite	Großbritannien
Zeitliche Reichweite	2055
Anzahl Szenarien	4

Fokus	Infrastruktur
Herausgeber	Office of Science and Technology
Kooperationspartner	-

15) Transportation & Logistics 2030, Volume 2: Transport infrastructure - Engine or hand brake for global supply chains?

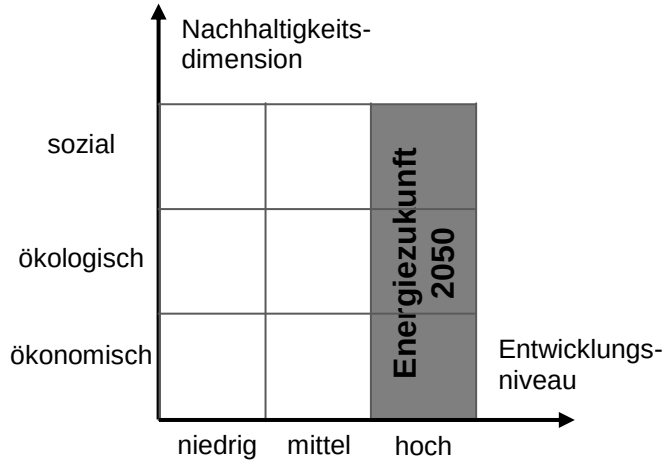


Art der Studie	Normativ
Erstellungsdatum	2010
Geographische Reichweite	Welt
Zeitliche Reichweite	2030
Anzahl Szenarien	4

Fokus	Infrastruktur
Herausgeber	PricewaterhouseCoopers
Kooperationspartner	European Business School Supply Chain Managment Institute

A2.2 Energie

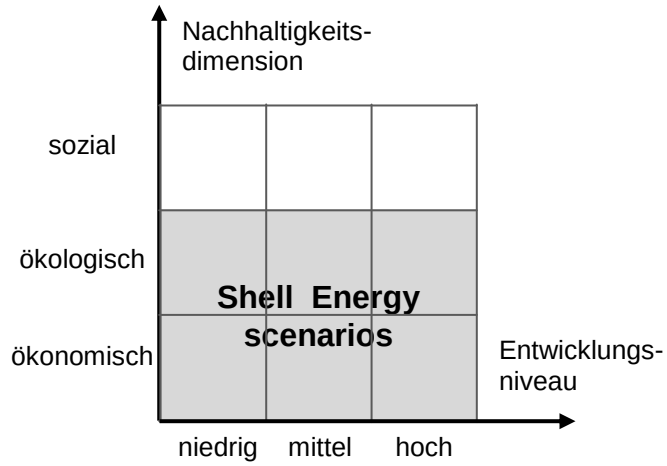
1) Energiezukunft 2050



Art der Studie	Explorativ
Erstellungsdatum	2009
Geographische Reichweite	Deutschland
Zeitliche Reichweite	2050
Anzahl Szenarien	3

Fokus	Zukunft der Energieversorgung
Herausgeber	Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.
Kooperationspartner	Hans-Dieter Karl, ifo Institut für Wirtschaftsforschung

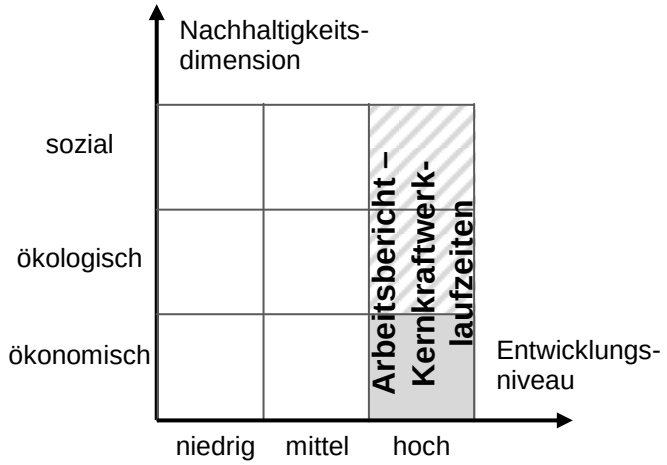
2) Shell energy scenarios to 2050



Art der Studie	Explorativ
Erstellungsdatum	2011
Geographische Reichweite	Welt
Zeitliche Reichweite	2050
Anzahl Szenarien	2

Fokus	Zukunft der Energieversorgung
Herausgeber	Shell International BV
Kooperationspartner	-

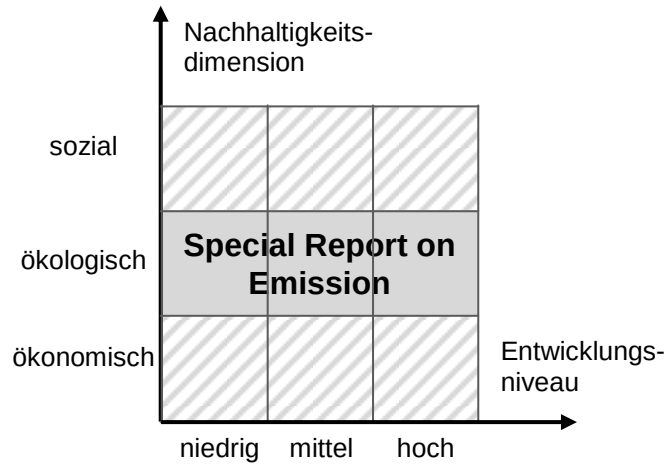
3) Arbeitsbericht – veränderte Laufzeiten für Kernkraftwerke



Art der Studie	Explorativ
Erstellungsdatum	2011
Geographische Reichweite	Deutschland
Zeitliche Reichweite	2035
Anzahl Szenarien	3

Fokus	wirtschaftliche Auswirkungen unterschiedlicher Kernkraftwerkslaufzeiten
Herausgeber	Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung der Universität Stuttgart
Kooperationspartner	-

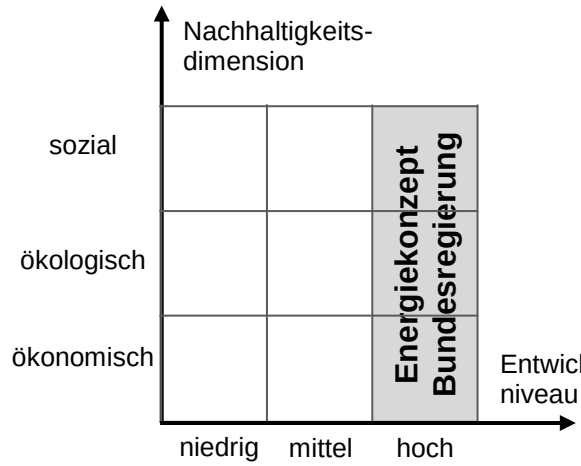
4) Special Report on Emission Scenarios



Art der Studie	Explorativ
Erstellungsdatum	2000
Geographische Reichweite	Welt
Zeitliche Reichweite	2100
Anzahl Szenarien	40 in 4 Szenariofamilien

Fokus	klimaschädliche Emissionen, Wirtschaftswachstum, Nachhaltigkeitsbewusstsein
Herausgeber	Intergovernmental Panel on Climate Change
Kooperationspartner	-

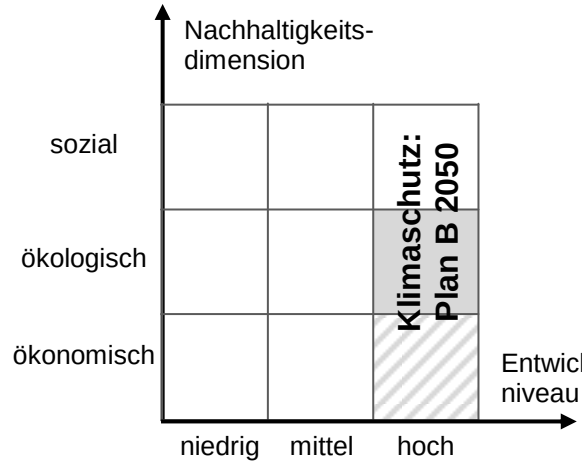
5) Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung



Art der Studie	Explorativ
Erstellungsdatum	2010
Geographische Reichweite	Deutschland
Zeitliche Reichweite	2050
Anzahl Szenarien	9

Fokus	Auswirkungen unterschiedlicher Kernkraftwerk-Laufzeitverlängerungen auf Energiemarkt
Herausgeber	Prognos AG, Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln, Gesellschaft für wirtschaftliche Strukturforschung
Kooperationspartner	-

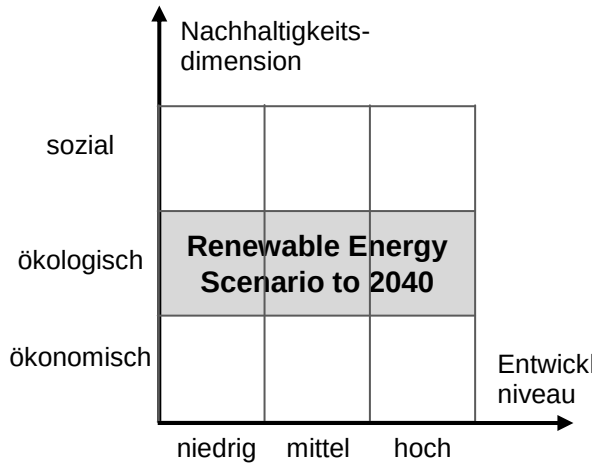
6) Klimaschutz: Plan B 2050



Art der Studie	Normativ
Erstellungsdatum	2009
Geographische Reichweite	Deutschland
Zeitliche Reichweite	2050
Anzahl Szenarien	2

Fokus	Zukunft der Energieversorgung, Erneuerbare Energien
Herausgeber	Greenpeace
Kooperationspartner	-

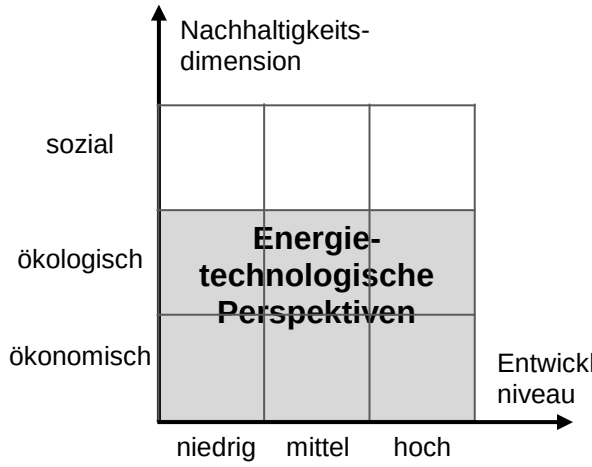
7) Renewable Energy Scenario to 2040



Art der Studie	Explorativ
Erstellungsdatum	2004
Geographische Reichweite	Welt
Zeitliche Reichweite	2040
Anzahl Szenarien	2

Fokus	Zukunft der Energieversorgung, Einfluss politischer Maßnahmen auf Anteil erneuerbarer Energien
Herausgeber	European Renewable Energy Council
Kooperationspartner	EREC Members

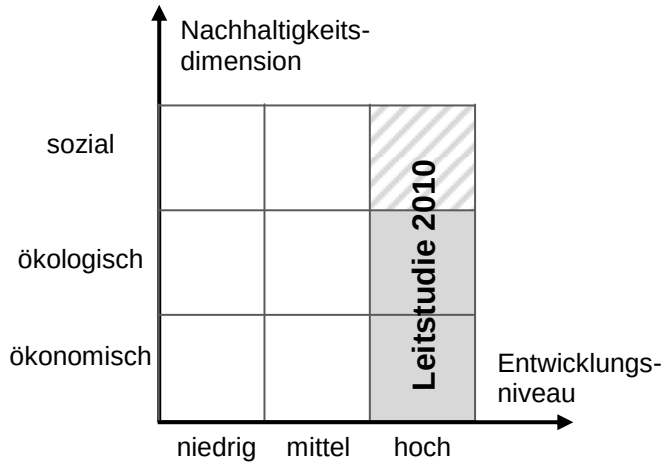
8) Energietechnologische Perspektiven – Szenarien und Strategien bis 2050



Art der Studie	Explorativ
Erstellungsdatum	2010
Geographische Reichweite	Welt
Zeitliche Reichweite	2050
Anzahl Szenarien	2

Fokus	Technologien für Transformation des globalen Energiesystems
Herausgeber	International Energy Agency
Kooperationspartner	-

9) Leitstudie 2010: Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global

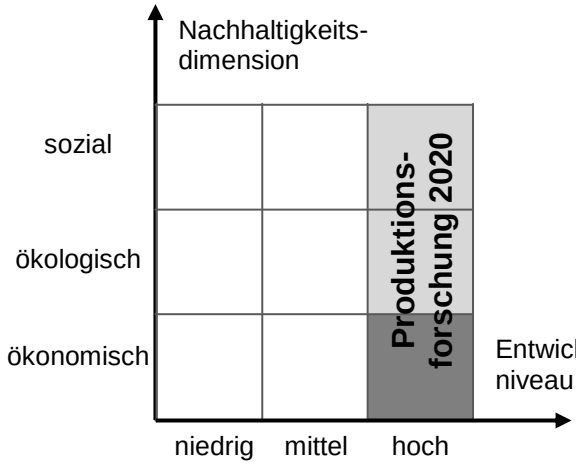


Art der Studie	Normativ
Erstellungsdatum	2012
Geographische Reichweite	Deutschland
Zeitliche Reichweite	2050
Anzahl Szenarien	5

Fokus	Ausbau Erneuerbarer Energien
Herausgeber	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)
Kooperationspartner	Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES), Ingenieurbüro für neue Energien (IfnE)

A2.3 Produktion

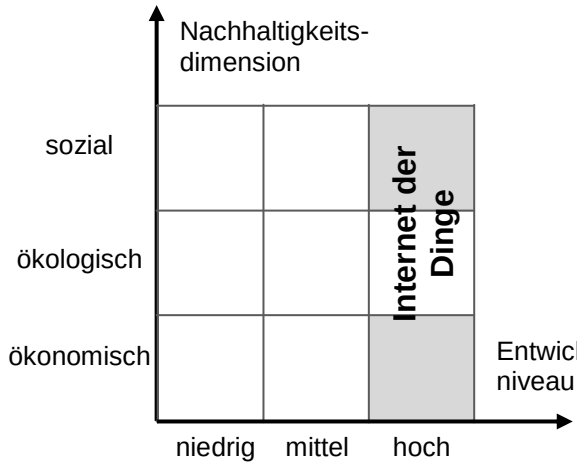
1) Produktionsforschung 2020



Art der Studie	Explorativ
Erstellungsdatum	2010
Geographische Reichweite	Deutschland
Zeitliche Reichweite	2020
Anzahl Szenarien	2

Fokus	Forschungsansätze und Forschungsbedarfe der Produktion 2020
Herausgeber	Produktion und Fertigungstechnologien (PTKA-PFT), Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Kooperationspartner	Zahlreiche Partner aus Wissenschaft und Wirtschaft

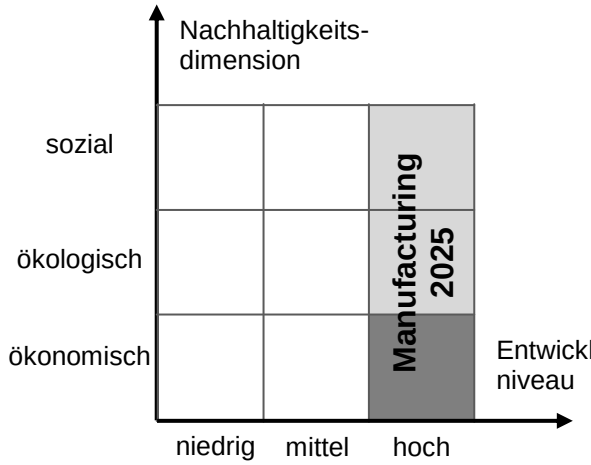
2) Internet der Dinge in der industriellen Produktion – Mögliche Szenarien



Art der Studie	Explorativ
Erstellungsdatum	2010
Geographische Reichweite	Deutschland
Zeitliche Reichweite	unbestimmt
Anzahl Szenarien	4

Fokus	Beschreibung des „Internet der Dinge“ anhand konkreter Anwendungsfelder
Herausgeber	Forschungsinstitut Betriebliche Bildung gGmbH
Kooperationspartner	Institut für Mikro- und Informationstechnik der Hahn-Schickard-Gesellschaft

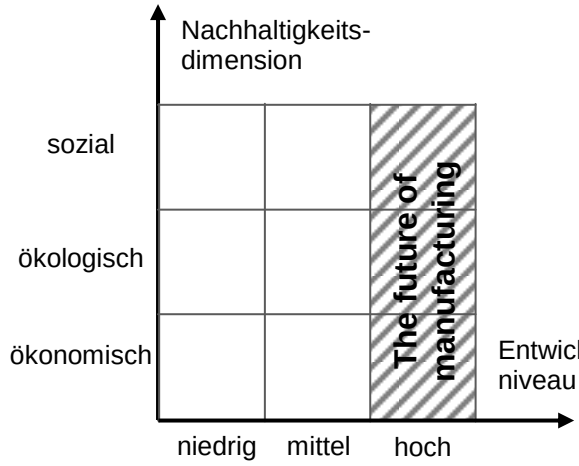
3) Manufacturing 2025 – Five future scenarios for Danish manufacturing companies



Art der Studie	Explorativ
Erstellungsdatum	2010
Geographische Reichweite	Dänemark
Zeitliche Reichweite	2025
Anzahl Szenarien	5

Fokus	Produktion in Dänemark 2025
Herausgeber	Center for Industrial Production and Department of Mechanical and Manufacturing Engineering, Aalborg University
Kooperationspartner	Manufuture.dk

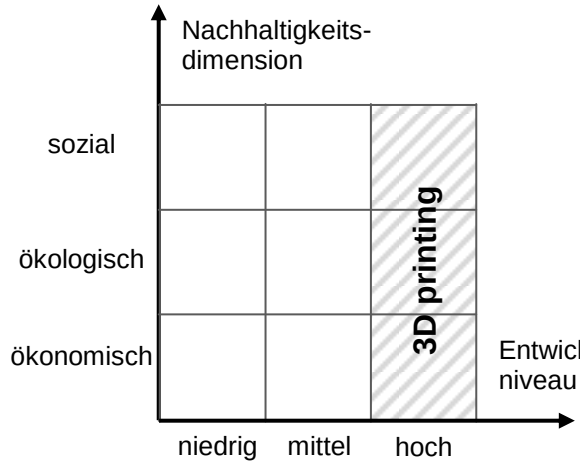
4) The future of manufacturing 2015-2020 scenarios



Art der Studie	Normativ
Erstellungsdatum	2003
Geographische Reichweite	Europa
Zeitliche Reichweite	2015 – 2020
Anzahl Szenarien	4

Fokus	Entwicklungen, Trends, Herausforderungen und Möglichkeiten der nachhaltigen Produktion
Herausgeber	Institute for Prospective Technological Studies
Kooperationspartner	-

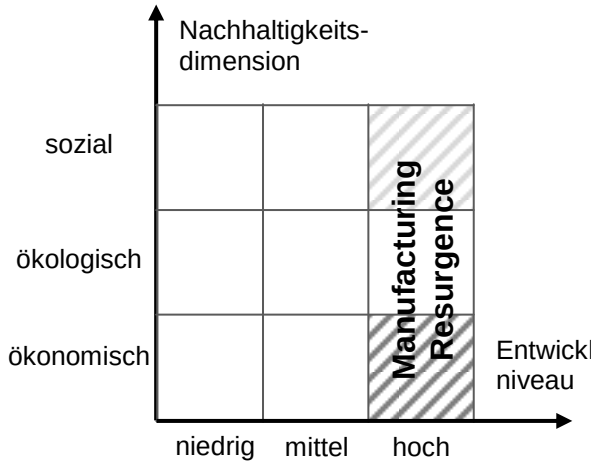
5) 3D printing: Four Scenarios for 2030



Art der Studie	Normativ
Erstellungsdatum	2012
Geographische Reichweite	Unbekannt, eher Industrienationen
Zeitliche Reichweite	2030
Anzahl Szenarien	4

Fokus	Mögliche Entwicklungen im Bereich des „3D-drucken“
Herausgeber	Economic and Social Research Council
Kooperationspartner	Lancaster University, ,University of the West of England

6) The Manufacturing Resurgence: What it could mean for the U.S. Economy - A Forecast for 2025



Art der Studie	Normativ
Erstellungsdatum	März 2013
Geographische Reichweite	USA
Zeitliche Reichweite	2025
Anzahl Szenarien	1

Fokus	Möglichkeiten einer wieder aufsteigenden Produktion in den USA
Herausgeber	The Aspen Institute
Kooperationspartner	Manufacturers Alliance for Productivity and Innovation

A3 Technologieinduzierter Pfad ausgehend vom System

A3.1 Bewertung Systemelemente

Skala: Erfüllungsgrad des Nachhaltigkeitskriteriums 5: sehr hoch 4: hoch 3: mittel 2: niedrig 1: sehr niedrig **Kriterium**	**Systemelement**	Elektromotor / Generator	Lithium-Ionen-Batterie	Lithium-Luft-Batterie	Wasserstoff-Brennstoffzelle	700-bar-CFK-Wasserstofftank	Carbazol-Tank	Wasserstofftankstelle	Elektrolytischer Wasserstofferzeuger	Biomimetischer Wasserstofferzeuger
TCO	22,22%	2	2	1	2	2	2	2	1	4
Zuverlässigkeit	11,11%	5	3	3	4	3	5	5	3	3
Anwendungs-Flexibilität	11,11%	5	4	3	4	1	1	3	1	1
Wirkungsgrad/Produktivität	11,11%	5	5	5	5	3	5	5	3	3
Energieverbrauch	22,22%	3	5	5	4	1	5	4	1	5
kostengünstige Infrastruktur	11,11%	3	2	2	2	2	4	3	3	2
Durchbruchinnovation	11,11%	2	1	5	4	2	5	5	1	5
Treibhausgasemission	25,00%	3	5	5	5	5	5	5	5	5
Recycling	25,00%	4	3	3	3	1	1	3	3	5
Ressourcenverbrauch	25,00%	3	2	2	4	5	3	4	5	5
Schadstoffemissionen	25,00%	4	5	5	5	5	5	5	5	5
Gefährdung	50,00%	4	4	5	2	3	5	3	3	3
persönliche Flexibilität	25,00%	5	1	5	4	2	4	3	5	3
Reichweite	25,00%	4	1	5	4	2	4	3	3	3
Gewichteter Durchschnitt (absolut)		3,6	3,2	3,9	3,5	2,6	3,9	3,6	2,8	3,8
Gewichteter Durchschnitt (prozentual)		**72%**	**63%**	**77%**	**71%**	**51%**	**78%**	**73%**	**57%**	**76%**

A4 Technologieinduzierter Pfad ausgehend vom Systemelement

A4.1 Bewertung Systemelemente

Funktion:		Urformen								Produktion			Fügen		Transport				
Skala: Erfüllungsgrad des Nachhaltigkeitskriteriums 5: sehr hoch 4: hoch 3: mittel 2: niedrig 1: sehr niedrig **Kriterium**	**Systemelement**	Fused Deposition Modelling (Draht)	Selektives Laser Sintern (Pulver)	3D-Drucken (Pulver)	Stereolithographie (flüssig, Laserstrahl)	Handauflegeverfahren	Prepegs	Vakuum-Infusionsverfahren	Wickeltechnik	LEG²O	Konventionelles Maschinengestell	Keine	Aufeinanderkleben der beiden Rotorblatthälften	Rotorblatt als ein Teil urgeformt	Per LKW	Per Schiff	Per Zug	Kein Transport, da Fertigung vor Ort offshore	Kein Transport, da Fertigung vor Ort an Land
TCO	22,22%	3	2	3	2	5	5	4	3	4	4	5	3	3	2	2	3	4	4
Zuverlässigkeit	22,22%	4	3	3	3	3	4	4	4	4	5	3	3	5	2	4	4	5	4
Flexibilität	22,22%	4	3	4	3	5	5	4	3	5	2	4	4	4	2	3	3	5	4
Wirkungsgrad	11,11%	3	1	2	1	3	3	2	2	4	4	4	3	3	2	3	4	5	5
Energieverbrauch	22,22%	2	1	2	1	5	5	3	3	2	4	5	3	3	2	3	4	5	5
Treibhausgasemission	25,00%	3	2	3	2	5	4	3	3	5	5	5	4	5	2	2	3	5	4
Recycling	25,00%	3	2	4	2	5	5	4	4	4	4	5	3	3	3	3	3	5	5
Ressourcenverbrauch	25,00%	4	2	3	2	3	4	4	4	3	4	5	4	4	2	2	3	5	4
Schadstoffemissionen	25,00%	4	3	4	3	4	4	3	3	5	5	5	4	5	2	1	3	5	4
Wissensintensität	25,00%	4	5	4	5	3	3	3	5	5	4	3	4	4	3	3	3	5	4
Automatisierung	50,00%	5	5	5	5	1	1	2	3	5	5	1	3	5	2	3	4	4	4
Gefährdung	25,00%	4	3	4	3	4	4	4	3	4	4	4	4	5	3	4	4	3	5
Gewichteter Durchschnitt (absolut)		3,6	2,7	3,4	2,7	3,8	3,9	3,3	3,3	4,1	4,1	3,9	3,4	4,1	2,2	2,8	3,5	4,6	4,3
Gewichteter Durchschnitt (prozentual)		**72%**	**55%**	**69%**	**55%**	**76%**	**78%**	**67%**	**66%**	**83%**	**83%**	**78%**	**68%**	**82%**	**44%**	**56%**	**69%**	**93%**	**86%**

A4.2 Konsistenzmatrix Systemelemente

Konsistenzmatrix

Bewertungsskala:
1 = totale Inkonsistenz
2 = partielle Inkonsistenz
3 = neutral oder voneinander unabhängig
4 = gegenseitiges Begünstigen
5 = starke gegenseitige Unterstützung

		Einflussfaktor	Urformen								Produktions-voraus-setzungen schaffen			Fügen		Transport				
			Fused Deposition Modelling (Draht)	Selective Laser Sintering (Pulver)	3D-Drucken (Pulver)	Stereolithographie (flüssig, Laserstrahl)	Handauflegeverfahren	Prepegs	Vakuum-Infusionsverfahren	Wickeltechnik	LEG³O	Konventionelles Maschinengestell	Keine	Aufeinanderkleben der beiden Rotorblatthälften	Rotorblatt als ein Teil urgeformt	Per LKW	Per Schiff	Per Zug	Kein Transport, da Fertigung vor Ort offshore	Kurzer Transport per Schiff, da Fertigung an der Küste
Funktion	**Einflussfaktor**	Nr.	1A	1B	1C	1D	1E	1F	1G	1H	2A	2B	2C	3A	3B	4A	4B	4C	4D	4E
Urformen	Fused Deposition Modelling (Draht)	1A																		
	Selective Laser Sintering (Pulver)	1B																		
	3D-Drucken (Pulver)	1C																		
	Stereolithographie (flüssig, Laserstrahl)	1D																		
	Handauflegeverfahren	1E																		
	Prepegs	1F																		
	Vakuum-Infusionsverfahren	1G																		
	Wickeltechnik	1H																		
Produktions-voraussetzungen schaffen	LEG²O	2A	5	3	4	3	1	1	4	4										
	Konventionelles Maschinengestell	2B	2	3	2	3	1	1	4	4										
	Keine	2C	1	1	1	1	5	5	3	1										
Fügen	Aufeinanderkleben der beiden Rotorblatthälften	3A	4	4	4	4	5	5	5	5	4	4	4							
	Rotorblatt als ein Teil urgeformt	3B	5	5	5	5	1	1	1	1	5	4	1							
Transport	Per LKW	4A	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3					
	Per Schiff	4B	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3					
	Per Zug	4C	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3					
	Kein Transport, da Fertigung vor Ort offshore	4D	2	1	2	1	1	1	2	2	2	1	3	3	3					
	Kein Transport, da Fertigung vor Ort an Land	4E	4	1	4	1	2	2	3	3	5	1	4	3	3					

A5 Probleminduzierter Pfad – Dezentrale Energieversorgung

A5.1 Einflussfaktorenkatalog

Einfluss-bereich	Faktor-Nr.	Name	Definition
Land (Umwelt)	1	Nutzbare Sonneneinstrahlung	Jährliche Sonneneinstrahlung zur Nutzung für Photovoltaik und Solarthermieanlagen zur Erzeugung von Strom.
	2	Nutzbare Winde	Vorhandene Winde, die Jahreszeit abhängig in wechselnde Richtungen wehen und zur Stromerzeugung genutzt werden können. Anwendung in OnShore und OffShore-Windparks.
	3	Nutzbare Topographie	Verwendung von Flüssen, Seen und sonstigen Gewässern zur Nutzung von Kleinwasserkraftwerken, Speicherkraftwerken und Laufwasserkraftwerken.
	4	Nutzbare Biomasse	Verhältnis der Nutzung der Vegetation als Biomasse für Nahrungsmittelbedarf und für die Energieerzeugung.
	5	Einfluss des Klimawandels	Messbare Veränderungen des Klimas durch den Klimawandel in Sonnenstunden, Winden und Unwetter.
	6	Ressourcen	Vorhandene Ressourcen des Landes Sierra Leone, die der Nutzung oder dem Verkauf zur Verfügung stehen.
	7	Grad der Urbanisierung	Prozentualer Anteil der Bevölkerung die in der Stadt lebt im Vergleich zur Landbevölkerung.
Gesellschaft	8	Analphabeten	Prozentualer Anteil von Analphabeten an der Gesamtbevölkerung.
	9	Schulabsolventen	Prozentualer Anteil von Schulabsolventen an der Gesamtbevölkerung.
	10	Fachkräfte	Prozentualer Anteil von Personen mit abgeschlossener technischer Ausbildung an der Gesamtbevölkerung.
	11	Durchschnittsalter	Durchschnittsalter der Gesamtbevölkerung von Sierra Leone in Jahren.
	12	Bevölkerungswachstum	Prozentualer Anstieg der Gesamtbevölkerung im Vergleich zum Vorjahr.
	13	Gesundheitswesen	Ausgaben für das Gesundheitswesen als prozentualer Anteil vom BIP von Sierra Leone.
	14	Ethnische Unterschiede	Anzahl der verschiedenen Kulturen, Stämme und Religionen in der Gesamtbevölkerung, die nicht miteinander vereinbar sind.
	15	Kriminalität/Korruption	Jährlicher Schaden verursacht durch Kriminalität und Korruption in Sierra Leone in Mio.€.
	16	Sicherheitsempfinden	Bedarf von elektronischen Geräten, die das Empfinden von Sicherheit in der Bevölkerung steigern. Bsp.: Nutzung eines Mobiltelefons als Hilferuf, nächtliche Straßenbeleuchtung.
Politik	17	Förderprogramme der Energiepolitik	Verteilung der Ausgaben in Millionen € pro Jahr für die Förderung von allgemeiner Energieproduktion und erneuerbaren Energien in Form von Direktsubventionen und der Schaffung von Anreizsystemen.
	18	Gesetzgebung zu ausländischen Investoren	Die Beeinflussung des Investitionsklimas durch die Gesetzgebung für ausländische Investoren mit Hilfe von Investitionsschutzabkommen.

	19	Staatsform/Regierungs-form	Zu Grunde liegende Regierungsform in Sierra Leone und der Einbeziehung der Bürger in den Wahl- und Entscheidungsprozess.
	20	Menschenrechte	Anzahl der offiziellen Verstöße gegen die Menschenrechte, die durch internationale Hilfsorganisationen aufgedeckt wurden. (Amnesty International & Human Rights Watch)
	21	Hilfsprojekte	Laufende Hilfsprojekte zur Entwicklungsförderung im Land Sierra Leone, gemessen in den jährlichen Mittelzuflüssen in Mio. € und der Anzahl der Hilfsländer.
	22	Bildung und Forschung	Ausgaben vom Staatsetat für den Bereich Bildung und Forschung im Land Sierra Leone, gemessen in Mio. € und dem prozentualen Anteil vom BIP des jeweiligen Jahres.
	23	Staatssicherheit	Gemessen durch die jährlichen Ausgaben für sicherheitsunterstützende Einrichtungen wie der Polizei und dem Militär mit dem Ziel Stabilität im Land zu schaffen.
Infrastruktur	24	Straßennetz	Länge des gesamten Straßennetzes in Sierra Leone gemessen in km.
	25	Stromnetz	Gesamtlänge des vorhandenen Stromnetzes in Sierra Leone.
	26	Fossile Energieversorgung	Gesamtheit der Infrastruktur zur Energieversorgung durch Öl, Gas oder Fernwärmenetze, mit dem Fokus auf den prozentualen Anteil von versorgten Bürgern. (Gasversorgung, Fernwärme, Tankstellennetz)
	27	Infrastruktur für Telekommunikation	Prozentualer Anteil der abgedeckten Landfläche zur Nutzung von Telekommunikation. Vorhandene Datenkabel, Sendemasten und Empfängerstationen.
	28	Wasserver- und Abwasserentsorgung	Vorhandene Infrastruktur zur Förderung von Trink-, Brauch- und Abwasser im Land. Realisiert durch Wasserleitungen, Wasseraufbereitungsstationen, Quellen und Brunnen.
	29	Güterverkehr	Gesamtfahrleistung des Güterverkehrs in t-km. Güterverkehr wird repräsentiert durch Schiffverkehr, Flugverkehr, Zugverkehr, Lastkraftwagen, Auto, Roller oder Karren.
	30	Öffentlicher Verkehr	Fahrleistung des öffentlichen Verkehrs repräsentiert durch Bus, Bahn, Boot und Taxi mit der durchschnittlichen Gesamtfahrleistung einer Person.
	31	Individualverkehr	Gemittelte Gesamtfahrleistung einer Person im Individualverkehr mit Auto, Roller und Fahrrad gemessen in km in Sierra Leone.
Energie	32	Energiequalität	Die Energiequalität wird wiedergegeben durch eine konstante Spannung und Ampere, bei Abweichungen zu dem angesetzten Wert mindert sich die Energiequalität und kann Schäden an elektronischen Geräten mit sich bringen.
	33	Energieverfügbarkeit	Die Energieverfügbarkeit wird durch die Stundenzahl pro Tag dargestellt, an der Strom zur Verfügung steht. Eine Abdeckung ähnlich in Deutschland wird mit 100% bewertet.
	34	Energiemix	Der Energiemix beschreibt den Anteil von verschiedenen Energiequellen an der aktuellen Stromproduktion. Hierzu sind alle Energiequellen mit einzubeziehen, wobei auch die erneuerbaren Energien beachtet werden sollen.
	35	Autarke Energiesysteme	Der autarke Einsatz von Systemen zur Stromerzeugung ist vom Stromnetz ausgeschlossen oder unterliegt der Problematik von Energieengpässen, wobei nicht ausreichend Energie verfügbar ist. Der Einsatz von autarken Energiesystemen wird durch Systeme wie Generatoren, Solarmodulen oder Windkrafträdern ermöglicht.
	36	Schnittstellen von Energiesystemen	Schnittstellen zwischen erneuerbaren Energiesystemen, dem Energienetz und autarken Anlagen zur Stromerzeugung.

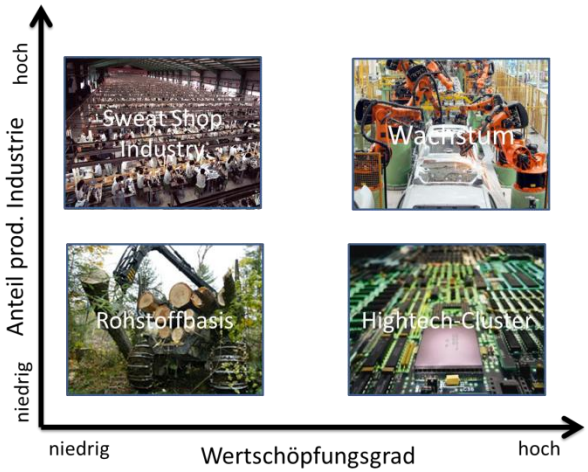
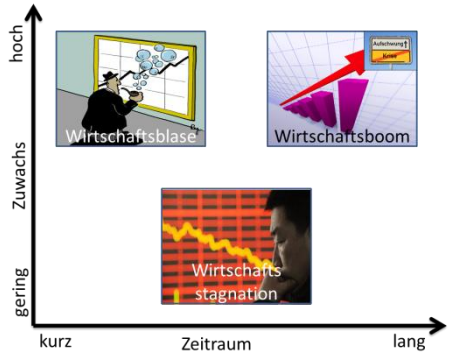
	37	Energiekosten	Die Energiekosten dargestellt in €-ct. pro kWh.
	38	Energiebedarf	Der Energiebedarf beschreibt die absolute Leistung des Landes Sierra Leone in ihrer Nutzung in kWh pro Jahr.
	39	Form der Energienutzung	Die Form der Energienutzung unterteilt die Nutzung von Strom in die Bereiche Heizung, elektrische Energie, Nahrungszubereitung und Fortbewegung.
Produktion	40	Produzierende Industrie	Die Größe der produzierenden Industrie wird beschrieben durch ihren prozentualen Anteil am BIP.
	41	Verfügbarkeit von Produktionsanlagen	Beschreibt das Vorhandensein von Produktionsanlagen im Land und ihre Nutzung für etwaige Auftraggeber und Produzenten.
	42	Verfügbarkeit von Technologie	Beschreibt den gegenwärtigen Stand der Technik von Produktionsanlagen, die Möglichkeit der Aufrüstung auf den neuesten Stand der Technik und die allgemeine Beschaffung von hochtechnologisierten Produktionsanlagen aus dem In- oder Ausland.
	43	Verfügbarkeit von Material	Die Verfügbarkeit von Material beschreibt das Vorkommen von Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen zur Produktion, sowie den Bedarf von Ersatzteilen und Maschinenkomponenten und ihre Zugänglichkeit für den Markt im Inland.
	44	Inländisches Zulieferernetzwerk	Beschreibt das vorhandene Zulieferernetzwerk im Land Sierra Leone, von Produzenten über Großhändler und ihre Distributoren. Diese liefern Produktionsmaterialien und Ersatzteile für den End- oder Firmenkunden mit einer gewissen Zuverlässigkeit und einer bestimmten Qualität.
	45	Wissensstand Produktion	Der Wissensstand der Produktion beschreibt das Vorhandensein und den Einsatz von theoretischem Wissen in dem unternehmerischen technischen Bereich der Produktion um Anlagen herzustellen und diese korrekt zu verwenden. Ebenso beinhaltet es das nötige Wissen zur Wiederaufbereitung oder der Entsorgung von Produktionsanlagen. (Es entspricht dem vorhandenen Wissen der Universitäten im Land Sierra Leone.)
Wirtschaft (Ökonomie)	46	BIP pro Kopf	Größe des BIP pro Kopf in $.
	47	Investitionsstandort	Beschreibt die Attraktivität des Investitionsstandorts Sierra Leone gemessen in Mio. € pro Jahr.
	48	Möglichkeit zur Geldbeschaffung	Beschreibt die Möglichkeit zur Geldbeschaffung der Bevölkerung in Form von Bankdarlehen, Mikro-Krediten und sonstigen Finanzierungsmöglichkeiten.
	49	Lohnniveau	Das Lohnniveau beschreibt die durchschnittliche monatliche Vergütung eines Arbeiters in Sierra Leone.
	50	Einfuhrbestimmungen und Zölle	Einfuhrbestimmungen und Zölle setzen Anreize für ausländische Nationen Waren nach Sierra Leone zu exportieren. Zu beachten sind wettbewerbsverdrängende Zölle, Einfuhrverbote, sowie Abkommen mit Partnerländern.
	51	Wirtschaftswachstum	Das Wirtschaftswachstum wird gemessen durch die Veränderung der Wirtschaftsleistung zum Vorjahr.
	52	Preisstabilität	Preisstabilität gemessen durch die jährliche Inflationsrate.
	53	Hauptkonsumgüter	Als Hauptkonsumgüter werden Produkte eingeordnet, die den überwiegenden Bedarf der Bevölkerung abdecken und am stärksten von der Bevölkerung nachgefragt wurden. (Nahrungsmittel, Kleidung, Elektro-Artikel, Transportmittel..)
	54	Hauptexportgüter	Als Hauptexportgüter werden Produkte eingeordnet, die den überwiegenden Export von Sierra Leone bestimmen (Kakao, Kaffee, Diamanten, Erze).

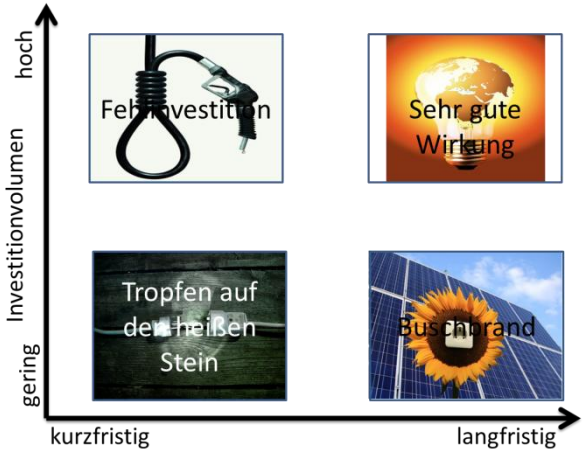
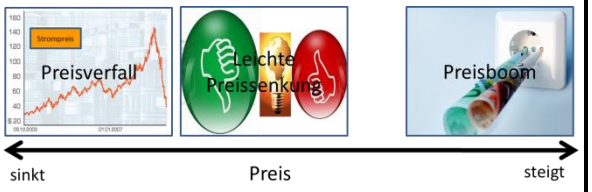
A5.2 Einflussmatrix

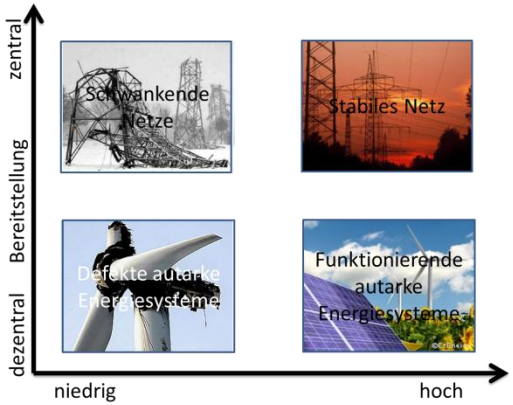
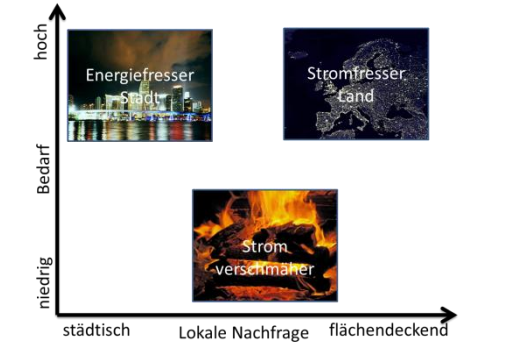
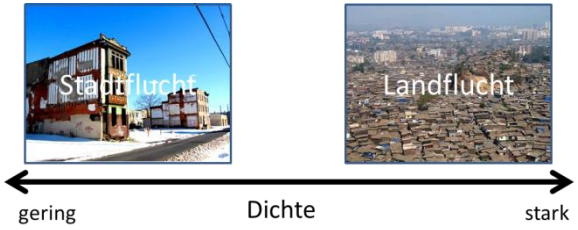
Einflussmatrix **Fragestellung:** **"Wie stark beeinflusst der Einflussfaktor j(Spalte) den Einflussfaktor i(Zeile)?"** Bewertungsmaßstab: 0=keinen Einfluss 1=schwacher Einfluss 2=mittlerer Einfluss 3=starker Einfluss	**Einflussfaktoren**	Nutzbare Sonneneinstrahlung	Nutzbare Winde	Nutzbare Topographie	Nutzbare Biomasse	Klimawandel	Ressourcen	Grad der Urbanisierung	Analphabeten	Schulabsolventen	Fachkräfte	Durchschnittsalter	Bevölkerungswachstum	Gesundheitswesen	Ethnische Unterschiede	Kriminalität/Korruption	Sicherheitsempfinden	Förderprogramme der Energiepolitik	Gesetzgebung zu ausländ. Investoren	Staatsform/Regierungsform	Menschenrechte	Hilfsprojekte	Bildung und Forschung	Staatssicherheit	Straßennetz	Stromnetz	Fossile Energieversorgung	Infrastruktur für Telekommunikation	Wasserver- und Abwasserentsorgung	Güterverkehr	Öffentlicher Verkehr	Individualverkehr	Energiequalität	Energieverfügbarkeit	Energiemix	Autarke Energiesysteme	Schnittstellen von Energiesystemen	Energiekosten	Energiebedarf	Form der Energienutzung	Produzierende Industrie	Verfügbarkeit von Produktionsanlagen	Verfügbarkeit von Technologie	Verfügbarkeit von Material	Inländisches Zulieferernetzwerk	Wissensstand Produktionsmethoden	BIP pro Kopf	Attraktivität als Investitionsstandort	Möglichkeit zur Geldbeschaffung	Lohnniveau	Einfuhrbestimmungen und Zölle	Wirtschaftswachstum	Preisstabilität/Inflation	Hauptkonsumgüter	Hauptexportgüter	**Passivsumme**
Einflussfaktoren	Nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	
Nutzb. Sonneneinstrahl.	1		1	2	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
Nutzbare Winde	2	3		3	1	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
Nutzbare Topographie	3	0	1		0	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
Nutzbare Biomasse	4	3	1	3		3	1	1	0	0	0	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	23
Klimawandel	5	0	0	0	0		0	2	0	1	0	1	1	0	0	1	0	2	1	0	0	0	2	0	0	1	3	0	1	2	1	1	0	0	0	2	1	3	3	2	3	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	2	0	1	1	42
Ress./ Bodenschätze	6	0	0	1	0	0		0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	2	0	0	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	1	1	1	1	0	2	0	0	1	3	2	1	2	30
Grad der Urbanisierung	7	1	0	3	0	0	2		0	0	1	0	2	1	1	0	1	2	1	1	1	0	2	0	3	3	1	1	1	0	2	1	0	3	0	1	0	2	1	0	2	1	1	2	2	0	0	3	0	3	0	2	0	1	0	55
Analphabeten	8	0	0	0	0	0	0	2		3	3	1	1	0	2	1	0	0	0	1	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	3	0	2	0	0	0	31
Schulabsolventen	9	0	0	0	0	0	0	2	3		3	1	1	0	2	1	0	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	3	2	0	2	0	0	0	29
Fachkräfte	10	0	0	0	0	0	1	1	3	2		1	1	1	2	1	0	2	1	0	0	0	3	0	0	1	0	1	0	0	1	2	0	1	0	1	0	0	0	0	3	2	2	3	0	2	2	2	3	3	0	2	0	1	1	52
Durchschnittsalter	11	0	0	0	0	0	0	1	2	2	2		3	3	1	1	0	0	0	1	2	2	2	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	2	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	2	0	37
Bevölkerungswachstum	12	1	0	1	2	0	0	1	2	2	2	1		3	1	1	1	0	0	2	1	2	3	1	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	1	2	0	1	1	2	0	41
Gesundheitswesen	13	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	2	2		1	1	0	0	0	1	0	3	3	0	1	2	1	2	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	2	0	2	1	0	0	41
Ethnische Unterschiede	14	0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	0	2	0		0	0	0	1	0	2	0	2	1	2	0	0	0	0	1	2	2	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	2	1	0	1	1	1	0	0	1	30
Kriminalität/Korruption	15	0	0	0	0	0	3	2	2	2	2	1	2	0	1		3	1	2	3	2	1	2	3	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	2	0	2	2	2	1	1	1	2	55
Sicherheitsempfinden	16	0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	0	1	2	1	3		0	0	2	3	2	0	3	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	0	0	2	1	1	39
Förderprog. d. Ener.pol.	17	3	3	3	3	3	3	2	1	1	1	0	0	0	0	1	0		2	3	0	1	1	0	0	3	1	0	0	0	0	0	3	3	3	2	2	3	3	1	3	0	0	0	0	0	1	2	1	0	0	2	0	1	1	66
Gesetzg. zu ausl. Inv.	18	0	0	0	0	0	2	1	1	1	2	0	1	0	2	2	0	1		3	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	2	1	3	2	1	1	2	2	1	0	44
Staatsform/Reg.form	19	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	2	1	0	0	0		0	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	19
Menschenrechte	20	0	0	0	0	0	2	2	1	1	1	0	2	0	2	3	1	0	0	3		2	1	3	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	0	0	0	1	1	35
Hilfsprojekte	21	0	0	0	0	1	0	0	2	1	0	1	2	3	0	0	1	0	0	2	3		2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	2	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	2	2	2	3	0	1	0	2	0	45
Bildung und Forschung	22	0	0	0	0	0	0	1	3	3	3	2	2	0	1	2	0	0	0	2	0	2		0	1	1	0	1	0	0	2	1	0	1	0	0	0	1	1	1	2	1	1	0	0	2	3	1	2	2	0	1	0	1	1	48

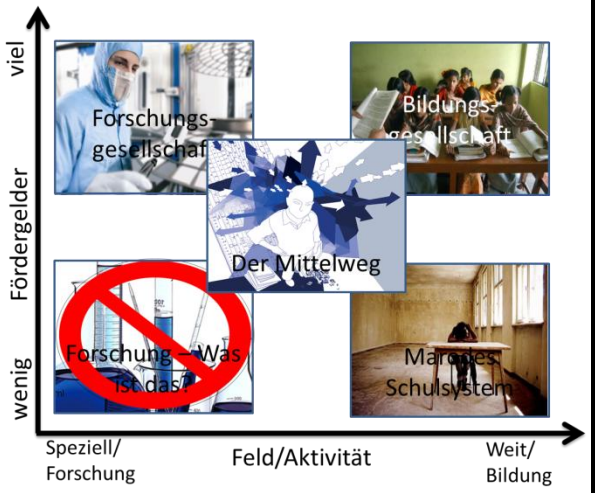
Staatssicherheit	23	0	0	0	0	1	2	3	1	1	1	1	2	0	2	3	2	0	0	3	1	1	0		1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2	0	0	1	0	0	0	3	2	0	0	1	1	2	0	0	43
Straßennetz	24	1	0	3	1	0	2	3	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0		0	0	0	0	3	3	3	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2	1	2	1	0	2	3	0	2	0	2	0	1	1	45
Stromnetz	25	1	1	1	1	0	1	3	0	0	1	0	1	2	0	2	0	3	1	1	0	1	1	0	1		1	2	0	0	2	0	1	0	0	3	2	1	3	1	3	1	1	1	1	0	1	2	0	1	2	3	0	1	1	56
Foss. Ener.versorgung	26	1	1	1	1	2	3	1	0	0	0	0	1	1	0	2	0	3	2	1	0	0	1	0	3	2		0	0	3	3	3	0	2	3	2	0	3	3	1	3	1	2	0	0	1	2	1	0	1	2	2	1	3	3	71
Infrastruktur für TK	27	0	0	1	1	0	0	2	1	1	2	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0		0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	2	1	0	1	0	2	0	1	1	30
Wasserver-& Abw.ents.	28	0	0	3	1	0	2	3	1	1	2	0	1	2	0	1	0	0	0	0	0	2	2	0	1	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	1	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	31
Güterverkehr	29	0	0	2	1	0	0	3	1	2	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	1	2	1	0		1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	2	3	0	1	1	0	1	2	2	0	3	3	43
Öffentlicher Verkehr	30	0	0	2	1	0	0	3	2	2	2	0	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3	1	3	0	0	1		3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	2	1	0	2	0	0	0	35
Individualverkehr	31	0	0	2	1	0	0	3	1	1	2	1	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3	1	3	0	0	1	1		0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	0	0	2	0	3	2	0	2	2	0	0	38
Energiequalität	32	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	2	1	0	0	3	2	0	0	0	0	0		2	3	1	2	1	3	1	3	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	2	1	0	0	36
Energieverfügbarkeit	33	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	3	0	0	0	2	1	0	0	2	1	0	0	0	0	0	2		1	3	2	3	3	1	3	0	2	0	0	1	1	1	0	0	1	2	0	0	0	40
Energiemix	34	3	3	3	3	2	3	2	0	0	2	0	0	0	0	1	0	3	1	0	0	2	1	0	0	1	2	0	0	0	0	0	2	1		3	3	3	3	0	2	0	3	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	58
Autarke Energiesyst.	35	3	3	3	3	2	1	3	0	0	1	0	0	0	0	0	3	3	1	0	0	2	1	1	1	3	2	0	0	1	0	0	2	3	0		2	2	3	0	1	0	0	0	0	3	1	2	2	1	0	1	1	0	0	61
Schnittst. v. Ener.-syst.	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	2	1	0	0	3	1	0	0	1	0	0	2	1	0	3		2	3	2	1	0	2	0	0	2	0	2	0	0	0	1	0	0	0	35
Energiekosten	37	3	3	3	3	2	3	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	3	1	0	0	2	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2	2	3	3	1		3	0	2	2	2	2	1	0	1	1	0	2	0	1	3	1	1	62
Energiebedarf	38	0	0	0	0	2	1	2	0	0	1	0	2	2	0	0	2	2	1	0	0	1	1	2	0	3	2	0	0	0	0	0	1	3	1	2	0	3		1	3	1	2	0	1	2	1	2	0	0	0	3	1	2	1	54
Form d. Energienutzung	39	2	0	2	1	1	0	1	2	2	2	1	1	2	1	0	3	1	0	1	0	2	1	2	3	0	0	2	2	0	0	1	0	2	0	2	0	3	2		3	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	2	2	57
Produzierende Industrie	40	0	0	0	0	0	3	3	2	2	3	1	1	2	0	2	0	1	3	2	0	1	3	1	3	3	3	3	2	3	1	1	1	3	1	1	1	3	2	0		3	3	3	2	1	2	3	2	2	2	2	3	2	2	93
Verfügb. von Prod.-anl.	41	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	2	2	0	0	2	3	2	1	1	1	0	0	2	0	0	0	1	0	1	0	2	0	0	3		2	1	2	1	2	1	3	2	1	2	0	1	1	46
Verfügb. v. Technologie	42	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	3		1	0	3	1	2	2	2	0	3	0	0	0	31
Verfügb. von Material	43	0	0	0	2	0	3	1	1	1	1	0	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	3	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	2	3	2		3	1	0	0	2	0	2	2	1	3	3	45
Inl. Zulieferernetzwerk	44	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	2	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	3	3	3	2	0	3	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	3	1	0	3		0	0	1	2	1	2	2	2	3	2	50
Wissensst. Prod.-meth.	45	0	0	0	0	0	0	1	3	3	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	3	1	0		0	2	2	1	0	2	0	0	0	32
BIP pro Kopf	46	0	0	0	0	0	2	1	1	1	2	0	3	1	0	3	0	2	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	3	2	2	2	1	1		2	3	2	2	3	2	3	3	56
Attr. als Invest.-standort	47	3	3	2	2	2	3	2	1	1	3	0	1	0	0	3	1	2	3	2	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	3	3	3	1	1	2	1		2	3	3	2	2	2	2	80
Mögl. zur Geldbeschaff.	48	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	2	3		1	1	3	3	1	1	27
Lohnniveau	49	0	0	0	0	0	0	2	1	2	3	1	1	1	1	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	3	2	2	1	1	1	3	2	1		0	1	1	0	0	37
Einfuhrbest. und Zölle	50	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	1	0	2	0	1	1	2	0	0	1	2	0	0	0	0	0	2	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	2	0	0	0	2	0	1	3	1	1		3	3	2	2	40
Wirtschaftswachstum	51	1	1	1	1	0	2	2	1	2	3	0	2	1	0	2	1	2	2	0	0	1	2	0	3	3	3	3	2	3	1	1	0	2	0	1	0	3	2	2	3	3	3	2	1	2	1	3	2	1	1		1	1	1	81
Preisstabilität/Inflation	52	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	1	2	2	0	3		1	1	23
Hauptkonsumgüter	53	2	1	1	2	1	3	3	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	3	2	2	2	1	1	2	0	3	2	2	1	0		3	55
Hauptexportgüter	54	1	0	0	1	0	3	0	1	1	2	0	2	0	0	3	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	1	1	2	3	2	2	1	2	1	1	1	2	2	0	3	1	3		49
Aktivsumme		32	22	46	32	29	61	89	47	51	71	18	55	38	25	55	23	51	33	44	17	55	69	33	45	50	47	25	16	45	31	31	16	42	15	42	16	51	47	22	90	39	53	37	32	31	69	63	58	63	30	89	41	54	46	

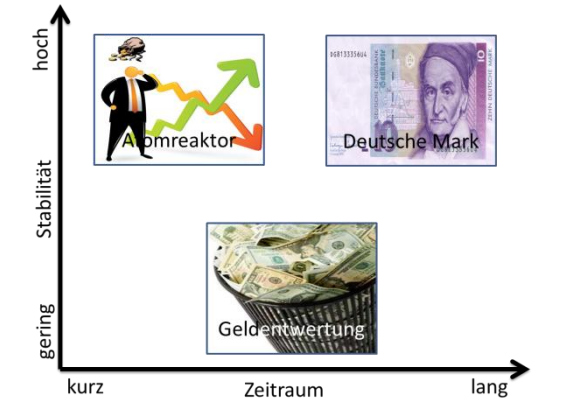
A5.3 Projektionskatalog

Schlüssel-faktor	Projektion	Beschreibung	
Produzie-rende Industrie	Sweat Shop Industry	Sierra Leone hat große Zuwächse im sekundären Wirtschaftssektor zu verzeichnen. Aufträge sind ständig vorhanden und der Wirtschaftsbereich des verarbeitenden Gewerbes und des Handwerks ist unaufhörlich am Wachsen. Technologisierung hält nur wenig Einzug und die Auslagerung von arbeitsintensiver Industrie befördert Sierra Leone zur neuen „Welt-Werkstatt“. Die Grundlage zur Entwicklung zum Schwellenland ist geschafft.	
	Wachstum/ Guter Produktions-standort	Die Produzierende Industrie erlebt ein rasantes Wachstum. Durch die anhaltend positive Auftragslage ist der produzierende Wirtschaftssektor fähig neue Anschaffungen zu tätigen und sorgt somit für einen kontinuierlichen Zuwachs von hochtechnologisierten Produktionsanlagen, die die Produktion mit europäischen Standards, mit einer hohen Wertschöpfungstiefe, ermöglicht.	
	Rohstoff-basis	Die Produzierende Industrie bleibt weiterhin auf niedrigem Niveau und kleine Zuwächse sind lediglich in den Selbstversorgungsbereichen zu sehen. Eine Technologisierung ist kaum feststellbar. Die anfallende Arbeit wird in Handarbeit erledigt und reicht grad so zur Selbstversorgung aus. Das Interesse von außen bezieht sich lediglich auf die vorhandenen Rohstoffe im Land.	
	Hightech-Cluster	Die Wirtschaft in Sierra Leone verzeichnet winzigste Zuwächse im Bereich des produzierenden Gewerbes durch Investitionen von Einzelpersonen. Die entstandenen Zuwächse entstehen durch den Bau von Fabriken mit technologisierten Produktionsanlagen, die eine erste Produktion auf industriellem Niveau ermöglichen.	
Wirt-schafts-wachstum	Wirtschafts-boom	Die Wirtschaft von Sierra Leone erlebt einen starken Aufschwung und bleibt auch über Konjunkturzyklen hinweg konstant wachsend. Durchweg sind Zuwächse in allen Bereichen des wirtschaftlichen Sektors zu vermerken. Die Entwicklung zum Schwellenland ist geschafft.	
	Wirtschafts-blase	Die Wirtschaft von Sierra Leone erlebt einen kräftigen Zuwachs und es ist ein positives Wirtschaftswachstum zu verzeichnen. Alle Anzeichen deuten jedoch nur auf einen kurzzeitigen Aufschwung hin und die Wirtschaft wird mit ersten gravierenden Problemen konfrontiert.	
	Wirtschafts-stagnation	Die Wirtschaft von Sierra Leone stagniert und wirtschaftliche Zuwächse sind kaum zu verzeichnen. Die Mehrheit der Wirtschaft verläuft im Bereich der Selbstversorgung. Die Zukunftstendenzen haben negative Aussichten, weshalb auch langfristig keine Aussicht auf Verbesserung besteht.	

Attraktivität als Investitionsstandort	Superstar	Sierra Leone rückt ins internationale Rampenlicht von Investoren und die Attraktivität des Landes steigt für Groß- und Kleininvestoren. Investitionen in das Entwicklungsland Sierra Leone sind als gewinnbringend und zukunftsfördernd anzusehen.	
	Schlusslicht	Sierra Leone spielt weiterhin eine unwichtige Rolle im internationalen Wirtschaftsgeschehen und Investitionen sind als nicht gewinnbringend einzuschätzen. Nur vereinzelnd gibt es Großinvestoren, die auch Investitionen in Sierra Leone tätigen. Allgemeine Berichte und Beurteilungen über Sierra Leone haben negative Tendenzen und sind als pessimistisch einzustufen.	
Förderprogramme der Energiepolitik	Sehr gute Wirkung	Etablierte Förderprogramme mit mittel- und langfristiger Wirkung und hohen Investitionen beleben den Energiemarkt nachhaltig. Die Auswirkungen sind fast direkt spürbar und auch im Laufe der Zeit verliert die Gesetzgebung zur Förderung des Energiebereichs nicht seine Wirkung, wodurch der Energiemarkt nachhaltig gestärkt wird.	
	Tropfen auf den heißen Stein	Entwickelte Förderprogramme zur Energiepolitik haben direkte Wirkung auf den Energiemarkt trotz ihres kleinen Investitionsvolumens. Sie sind jedoch zeitlich unbeständig und nach gewisser Zeit kaum mehr spürbar. Die Förderprogramme haben lediglich kurzzeitigen konjunkturellen Einfluss auf die Wirtschaft und schon nach kurzem sind die Förderprogramme nicht mehr aktiv.	
	Fehlinvestition	Trotz riesiger Investitionen in den Energiesektor erfährt dieser nur kurzzeitig eine Wirkung. Schon nach kurzer Zeit verlieren die Förderprogramme ihren Effekt und das Marktgeschehen läuft im Standard-Betrieb weiter, als seien keine Förderungen im Energiesektor getätigt worden.	
	Buschbrand	Förderprogramme werden erstellt und nur mit geringen Investitionen gestartet. Trotz diesem geringen Geldeinsatz vermag das Förderprogramm den Energiemarkt nachhaltig zu stärken. Die Wirkung der Förderprogramme ist langanhaltend und belebt den Energiesektor enorm. Ein nahezu optimales Förderprogramm wurde erstellt und umgesetzt.	
Energiekosten	Preisboom	Strompreise sind am explodieren und Strom wird nahezu unbezahlbar. Ob durch den verfügbaren Strom des Stromnetzes oder die autarke Anwendung von Generatoren ist der allgemeine Strompreis stark am Steigen.	
	Leichte Preissenkung	Strompreise stagnieren und werden über die Zeit etwas günstiger. Der günstige Strompreis macht es mehr Bürgern möglich als zuvor, Energiepreise zu bezahlen.	
	Preisverfall	Die Strompreise in Sierra Leone rutschen in den Keller. Eine KWh Strom kostet kaum noch etwas und jeder Bürger in Sierra Leone ist finanziell in der Lage so viel Strom einzukaufen, wie er möchte.	

Strom-netz	Stabiles Netz	Eine zentrale Stromversorgung ist entstanden, bei der jeder Haushalt einen eigenen Stromanschluss zur Verfügung hat. Die Bereitstellung erfolgt in ausreichender Menge mit konstanter Netzspannung.	
	Schwan-kende Netze	Eine zentrale Stromversorgung wird angestrebt, ist jedoch noch nicht etabliert. Die vorhandenen Stromanschlüsse in den Haushalten können nur zeitlich begrenzt genutzt werden und nicht mit gleichmäßiger Netzspannung.	
	Defekte autarke Energie-systeme	Defekte autarke Energiesysteme machen die dezentrale Bereitstellung von Strom nahezu unmöglich. Ein Stromnetz ist nicht vorhanden und man ist auf die wenigen autarken Energiesysteme, wie Generatoren oder Windkrafträdern, angewiesen.	
	Funktionie-rende autar-ke Energie-systeme	Durch Wartung und Reperatur werden autarke Energiesysteme funktionstüchtig gehalten und Strom steht für den eigenen Gebrauch in ausreichender Menge und bei konstanter Netzspannung zur Verfügung.	
Energie-bedarf	Energie-fresser Stadt	Der Energiebedarf in Sierra Leone ist als hoch einzustufen und sehr stark gestiegen in den letzten Jahren. Speziell in Ballungsgebieten mit Industrie und Großstädten kommt es zu einer hohen Nachfrage an Energie in Form von Strom.	
	Stromfresser Land	In den vergangenen Jahren ist viel passiert in Sierra Leone und die Bevölkerung hat ihren Energiebedarf nach Strom stark erhöht. Dies geschieht flächendeckend, also im ganzen Land, und nicht nur in Ballungsgebieten. Die Bevölkerung hat sich somit an einen konsequenten Bedarf an Energie gewöhnt, der nur lediglich leicht schwankt, sonst konstant hoch ist.	
	Stromver-schmäher	Wenig Fortschritt ist in Sierra Leone zu verzeichnen und dies wirkt sich auch auf die Bevölkerung aus. Der Energiebedarf durch Strom ist gleichbleibend geblieben in den vergangenen Jahren. Es besteht kaum Unterschied zwischen dem Energiebedarf in der Stadt oder auf dem Land.	
Grad der Urbani-sierung	Landflucht	Es wird zum Volkstrend in die Stadt zu ziehen. Die Leute versprechen sich Arbeit und ein besseres Leben durch Landflucht und ein Wachstum der Großstädte, und im Besonderen Freetown, ist zu registrieren. Die Bevölkerungsdichte nimmt speziell in den großen Städten und in der Hauptstadt Freetown extrem zu.	
	Stadtflucht	Die Leute sehen keine Verbesserung im Leben in der Stadt und entscheiden sich für das fruchtbare Land und somit gegen Urbanisierung. Kleine Dörfer und Städte sind beliebter als Metropolen und die eigene Hauptstadt Freetown. Die Bevölkerungsdichte nimmt stellenweise stark ab, wobei die Bevölkerungszahl nahezu gleich bleibt.	

Fachkräfte	Arbeitsplatz-mangel	In Sierra Leone besteht ein Trend zur Bildung und viele junge Leute und deren Eltern sehen Zukunftschancen im technischen Berufen. Eine verstärkte Zahl von Leuten schließen technische Ausbildungen ab und besuchen hierfür die Hochschule. Jedoch steht der großen Anzahl von neu ausgebildeten Nachwuchskräften keine Jobmöglichkeit zur Verfügung. Nur wenige Fachkräfte finden eine geeignete und qualifizierte Arbeit.	
	Fachkräfte-mangel	Sierra Leone befindet sich im Aufwärtstrend und die Wirtschaft sucht verstärkt nach Fachkräften mit Ausbildung in technischen Berufen. Aufgrund der hohen Nachfrage an Fachkräften und der geringen Zahl von Ausgebildeten kommt es zu einem Fachkräftemangel in Sierra Leone.	
	Abwärts-spirale	Die Situation in Sierra Leone hat sich kaum gebessert. Der Arbeitsmarkt stellt keine Arbeitsplätze zur Verfügung und die wenigen Stellen die es gibt, werden aus Mangel an qualifiziertem Personal nicht richtig besetzt. Eine Abwärtsspirale bricht los, die nicht schnell gestoppt werden kann.	
	Arbeits-marktboom	In Sierra Leone geht es richtig vorwärts. Viele junge Leute sehen eine Zukunftsperspektive im Abschluss einer technischen Ausbildung, um somit auf dem Arbeitsmarkt erfolgreicher zu sein. Gleichzeitig fragt der Wirtschaftssektor verstärkt Fachkräfte nach, um ihren Bedarf an qualifizierten Arbeitern zu decken.	
Bildung und Forschung	Bildungs-gesellschaft	In Sierra Leone wurde in den letzten Jahren viel Geld in Bildung gesteckt, um den allgemeinen Wissensstand der Gesellschaft zu fördern. Fördergelder dienen hier dem Allgemeinwohl und weniger speziellen Forschungs- oder Fachgebieten. Mit dem Hintergrund von ausgebildeten Elternteilen beginnt ein gesellschaftlicher Wandel in Sierra Leone.	
	Forschungs-gesellschaft	Sierra Leone will Vorreiter werden und will dies durch den gezielten Einsatz von Forschungsgeldern erreichen. Die Bereitstellung von Fördergelder für spezielle Forschungsbereiche bringt Sierra Leone weit nach Vorne und ermöglicht einen Wettbewerbsfähigen Zustand dieser Wirtschaftsbereiche.	
	Forschung – Was ist das?	In Sierra Leone hat sich nicht viel getan. Die wenigen Fördergelder, die in Forschung investiert werden kommen nur wenigen Leuten zu Gute und bringen Forschungsfelder kaum merklich voran. Der Gesamtbetrag der Fördergelder wird allgemein als zu gering eingeschätzt, um eine adäquate Spezialisierung auf auch nur einem Forschungsgebiet zu ermöglichen.	
	Marodes Schul-system	Zurück in die Vergangenheit, so geht Sierra Leone mit dem Bereich Bildung um. Fördergelder sind kaum vorhanden und es Bedarf weit mehr um das marode Bildungssystem in Sierra Leone wieder aufzubauen. Einwirkungen des Bürgerkriegs sind immer noch spürbar und eine Veränderung ist nicht in Sicht.	
	Der Mittelweg	Sierra Leone weiß worauf es ankommt und bringt Fördergelder für Bildung und Forschung auf. Beide Bereiche werden ausreichend gefördert und der erste	

		Schritt für ein etabliertes Bildungssystem ist bewältigt worden.	
Kriminalität /Korruption	Geringe Kriminalität	Sierra Leone ist ein sicheres Land geworden und besitzt kaum mehr Kriminalität, ebenso stark wurde die Korruption in den letzten Jahren bekämpft. Selten kommt es noch zu Übergriffen oder Straftaten. Übergriffe und Gewaltverbrechen von Einzelpersonen, sowie organisierte Kriminalität in Form von Korruption und Ausbeutung durch kriminelle Netzwerke gehören der Vergangenheit an und treten nur ganz selten auf.	
	Anarchie	Es herrscht eine Art anarchischer Ausnahmezustand in Sierra Leone. Es kommt täglich zu Übergriffen, wie Gewalt- und Sexualverbrechen. Die Verbrechen werden hierbei von Individuen/Einzelpersonen verübt, die nicht organisiert sind und somit eine unkontrollierte Masse darstellen, deren Unterbindung nur schwer möglich ist. Die Polizei hat diesem Ausmaß an Kriminalität fast nichts entgegen zu setzen.	
	Verbrecher-staat	Kriminalität gilt in Sierra Leone zum Alltag. Korruption gehört wie der Abschiedsgruß zu einem Geschäftsgespräch und ohne Kontakte und Bezahlung funktioniert nichts im Land. Organisierte Verbrecherbanden und andere kriminelle Netzwerke profitieren vom korrupten Staatssystem und Bürger- und Privatpersonen leiden stark darunter. Wird ein Verbrechen verübt, so ist mit großer Sicherheit eine kriminelle Organisation der Drahtzieher dahinter.	
Preis-stabilität/ Inflation	Atomreaktor	Die Geldbanken in Sierra Leone machen eine stabile Geldpolitik, die hauptsächlich von der Staatsbank ausgeht. Durch die vermehrte Entstehung von halbstaatlichen Geldinstituten ist es jedoch nicht gewiss, ob der Leone weiterhin so stabil bleibt.	
	Deutsche Mark	Sierra Leone ist in Sachen Geldpolitik ein Experte geworden und schafft es über Jahre hinweg eine stabile Währung aufrecht zu halten, die nur sehr wenig in ihrer jährlichen Inflationsrate schwankt. Für Investoren und Privatbürger ist somit eine solide Grundlage geschaffen worden, in ihre Währung zu vertrauen.	
	Geld-entwertung	Auf die Banken in Sierra Leone ist kaum Verlass. Trotz Finanzmarktregulierungen und Geldmengenbeschränkung kommt es regelmäßig zu schwankender Inflation, die das Vertrauen in die eigene Währung schwächt. Kurzfristige Maßnahmen sind ebenso wirkungslos wie langfristige.	

A5.4 Konsistenzmatrix

Bewertungsskala:

1 = totale Inkonsistenz
2 = partielle Inkonsistenz
3 = neutral oder voneinander unabhängig
4 = gegenseitiges Begünstigen
5 = starke gegenseitige Unterstützung

Schlüssel-faktor	**Projektionen**	Nr.	1 A	1 B	2 A	2 B	2 C	2 D	3 A	3 B	3 C	4 A	4 B	4 C	4 D	5 A	5 B	5 C	5 D	5 E	6 A	6 B	6 C	6 D	7 A	7 B	7 C	8 A	8 B	8 C	9 A	9 B	9 C	9 D	10 A	10 B	11 A	11 B	11 C	12 A	12 B	12 C
	Schlüssel-faktor		Grad der Urbani-sierung		Fachkräfte				Kriminalität/ Korruption			Förder-programme der Energie-politik				Bildung und Forschung					Strommetz				Energie-kosten			Energie-bedarf			Produzie-rende Industrie				Attraktivität als Invest-ionstandort		Wirtschafts-wachstum			Preis-stabilität/ Inflation		
	Projektionen		Landflucht	Stadtflucht	Arbeitsplatzmangel	Fachkräftemangel	Abwärtsspirale	Arbeitsmarktboom	Geringe Kriminalität	Anarchie	Verbrecherstaat	Sehr gute Wirkung	Tropfen auf heißem Stein	Fehlinvestition	Buschbrand	Bildungsgesellschaft	Forschungsgesellschaft	Forschung - Was ist das?	Marodes Schulsystem	Der Mittelweg	Stabiles Netz	Funktionier. autarke Energiesys.	Defekte autarke Energie	Schwankende Netze	Preisboom	Leichte Preissenkung	Preisverfall	Energiefresser Stadt	Stromfresser Land	Stromverschmäher	Guter Produktionsstand	Sweat-Shop Industry	Rohstoffbasis	Hightech-Cluster	Superstar	Schlusslicht	Wirtschaftsboom	Wirtschaftsblase	Wirtschaftsstagnation	Atomreaktor	Deutsche Mark	Geldentwertung
Grad der Urbanisierung	Landflucht	1A																																								
	Stadtflucht	1B																																								
Fachkräfte	Arbeitsplatzmangel	2A	5	3																																						
	Fachkräftemangel	2B	2	2																																						
	Abwärtsspirale	2C	3	4																																						
	Arbeitsmarktboom	2D	4	4																																						
Kriminalität/ Korruption	Geringe Kriminalität	3A	2	4	1	4	2	5																																		
	Anarchie	3B	5	3	5	3	4	1																																		
	Verbrecherstaat	3C	5	4	3	2	4	2																																		
Förder-programme der Energiepolitik	Sehr gute Wirkung	4A	3	3	2	2	1	5	4	2	1																															
	Tropfen auf heißem Stein	4B	3	3	4	5	4	3	3	3	4																															
	Fehlinvestition	4C	3	4	2	3	2	3	3	4	5																															
	Buschbrand	4D	3	3	4	2	2	4	5	2	1																															
Bildung und Forschung	Bildungsgesellschaft	5A	4	2	5	2	3	4	5	1	2	3	3	2	4																											
	Forschungsgesellschaft	5B	3	3	4	4	2	5	3	2	2	4	2	1	5																											
	Forschung - Was ist das?	5C	3	3	2	4	5	3	3	3	3	2	4	5	2																											
	Marodes Schulsystem	5D	4	4	1	4	5	3	2	5	4	3	3	3	3																											
	Der Mittelweg	5E	4	3	4	2	1	5	5	1	2	4	3	2	4																											

Bewertungsskala:

1 = totale Inkonsistenz
2 = partielle Inkonsistenz
3 = neutral oder voneinander unabhängig
4 = gegenseitiges Begünstigen
5 = starke gegenseitige Unterstützung

Schlüssel-faktor	Grad der Urbani-sierung		Fachkräfte				Kriminalität/ Korruption			Förder-programme der Energie-politik				Bildung und Forschung					Stromnetz				Energie-kosten			Energie-bedarf			Produzie-rende Industrie				Attraktivität als Invest-ionsstandort		Wirtschafts-wachstum			Preis-stabilität/ Inflation		
Projektionen	Landflucht	Stadtflucht	Arbeitsplatzmangel	Fachkräftemangel	Abwärtsspirale	Arbeitsmarktboom	Geringe Kriminalität	Anarchie	Verbrecherstaat	Sehr gute Wirkung	Tropfen auf heißem Stein	Fehlinvestition	Buschbrand	Bildungsgesellschaft	Forschungsgesellschaft	Forschung - Was ist das?	Marodes Schulsystem	Der Mittelweg	Stabiles Netz	Funktionier. autarke Energiesys	Defekte autarke Energie	Schwankende Netze	Preisboom	Leichte Preissenkung	Preisverfall	Energiefresser Stadt	Stromfresser Land	Stromverschmäher	Guter Produktionsstand	Sweat-Shop Industry	Rohstoffbasis	Hightech-Cluster	Superstar	Schlusslicht	Wirtschaftsboom	Wirtschaftsblase	Wirtschaftsstagnation	Atomreaktor	Deutsche Mark	Geldentwertung
Schlüssel-faktor	**Projektionen**	Nr.	1 A	1 B	2 A	2 B	2 C	2 D	3 A	3 B	3 C	4 A	4 B	4 C	4 D	5 A	5 B	5 C	5 D	5 E	6 A	6 B	6 C	6 D	7 A	7 B	7 C	8 A	8 B	8 C	9 A	9 B	9 C	9 D	10 A	10 B	11 A	11 B	11 C	12 A	12 B	12 C
Stromnetz	Stabiles Netz	6A	3	4	3	3	3	3	3	3	3	5	2	2	5	3	4	2	3	4																					
	Funktionierende aut. EnSy.	6B	5	1	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3	4	3	4	2	3	3																					
	Defekte autarke Energie	6C	3	3	4	3	4	2	3	4	3	2	4	5	1	3	2	4	3	3																					
	Schwankende Netze	6D	4	2	4	3	5	2	2	4	3	1	4	4	2	3	2	4	3	3																					
Energiekosten	Preisboom	7A	3	3	5	3	4	2	2	4	4	1	5	5	1	3	2	4	3	3	4	4	4	3																	
	Leichte Preissenkung	7B	4	2	3	3	3	4	4	2	3	5	3	2	4	3	4	3	3	4	4	4	2	2																	
	Preisverfall	7C	4	2	4	2	3	5	4	2	1	5	2	1	5	3	4	2	3	4	4	4	2	2																	
Energiebedarf	Energiefresser Stadt	8A	5	2	2	3	3	4	3	3	3	4	3	2	4	3	3	2	3	4	5	5	2	2	4	2	1														
	Stromfresser Land	8B	2	5	3	4	3	4	3	3	3	4	3	3	4	4	4	3	3	4	5	3	2	2	4	4	2														
	Stromverschmäher	8C	4	4	4	2	4	2	3	3	3	3	4	4	2	3	2	4	3	3	3	3	3	3	2	4	1														
Produzierende Industrie	Guter Produktionsstand	9A	4	3	4	5	1	5	4	3	3	5	1	2	5	4	5	1	2	4	5	4	2	1	5	5	2	4	4	1											
	Sweat-Shop Industry	9B	3	4	2	3	1	5	4	1	3	2	3	3	2	1	1	4	5	3	3	3	4	5	5	3	3	2	2	4											
	Rohstoffbasis	9C	3	4	5	3	5	1	3	4	3	2	4	4	2	1	1	4	5	3	2	3	3	4	4	4	2	2	2	4											
	Hightech-Cluster	9D	4	4	3	4	3	4	4	2	4	4	3	4	4	4	4	2	3	4	4	4	1	1	2	4	2	4	4	2											
Attraktivität als Invest.standort	Superstar	10A	4	3	2	4	3	5	4	2	1	4	2	2	4	5	4	2	3	5	5	4	2	2	3	4	2	4	4	2	5	4	2	4								
	Schlusslicht	10B	4	3	4	2	5	1	3	4	4	2	4	4	3	2	3	4	3	3	1	2	4	5	3	2	1	3	2	4	1	2	4	3								
Wirtschafts-wachstum	Wirtschaftsboom	11A	4	3	1	4	1	5	4	2	3	4	2	2	5	4	5	1	2	4	5	4	2	1	5	5	2	4	4	1	5	4	2	4	5	1					
	Wirtschaftsblase	11B	4	2	3	4	2	3	3	4	3	2	4	5	2	3	3	4	4	3	4	4	3	3	5	3	2	5	2	2	1	4	2	3	4	4					
	Wirtschaftsstagnation	11C	4	3	2	2	4	1	3	4	4	2	4	5	2	2	2	4	4	3	3	2	4	4	4	4	2	2	2	4	1	2	5	3	2	4					
Preisstabilität/ Inflation	Atomreaktor	12A	3	3	4	3	3	4	4	2	3	1	4	5	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	4	1	3	3	3	3	4	4	3	2	4	2	5	3			
	Deutsche Mark	12B	3	3	4	3	2	4	4	2	3	5	2	2	5	4	4	3	3	4	4	4	3	3	1	4	1	3	3	3	4	3	3	4	4	2	4	2	2			
	Geldentwertung	12C	3	3	4	2	4	2	3	4	3	1	5	5	1	3	3	4	4	3	2	2	4	4	5	3	5	3	2	4	1	4	4	2	1	4	1	2	4			

A5.5 Bewertung Systemelemente

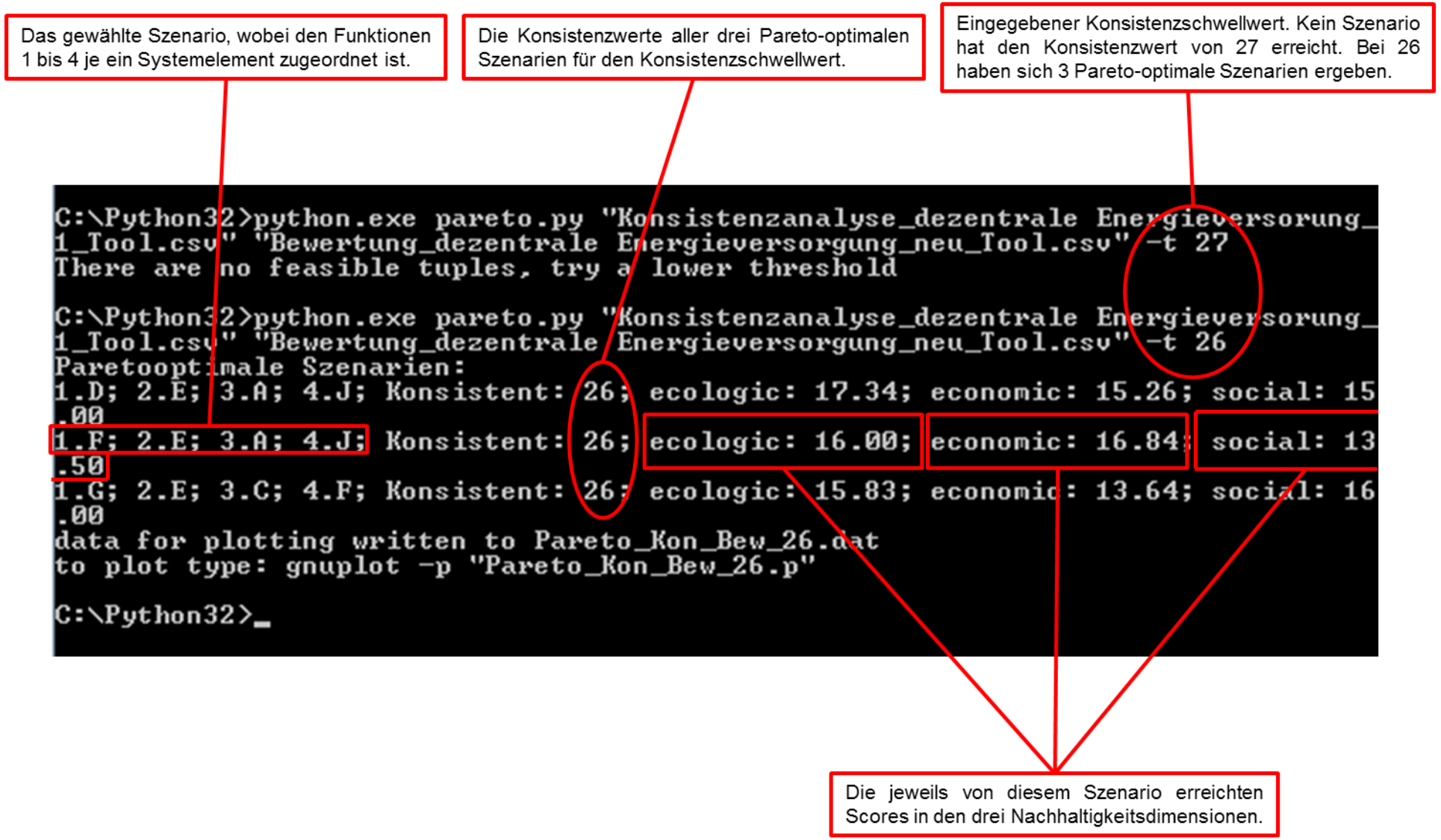
Funktion:		Wandlung 1							Wandlung 2						Wandlung 3			Speicherung									
Skala: Erfüllungsgrad des Nachhaltigkeitskriteriums 5: sehr hoch 4: hoch 3: mittel 2: niedrig 1: sehr niedrig **Kriterium**	**Systemelement**	Kernreaktor	Solarzellkollektor	Wärmetauscher	Erdwärmetauscher	Dampferzeuger fossile Brennstoffe	Dampferzeuger Biomasse	Keins	Wasserturbine	Windkraftrotor	Dampfturbine	VKM fossile Brennstoffe	VKM Biomasse	Keins	Generator	Brennstoffzelle	Solarzelle	Pumpspeicher	Druckluftspeicher	Schwungrad	Wärmespeicher	Kapazitive (sensible)	Latentwärmespeicher	Elektrochemische Speicher (Akkumulatoren)	Thermochemische Speicher	Elektrochemische Kondensatoren	Ener.speicher	Supraleitende magnetische	Keins
TCO	21,10%	2	5	4	3	4	5	3	2	4	4	4	5	3	5	3	4	3	2	4	5	2	2	2	3	2	3
Zuverlässigkeit	10,50%	4	4	4	3	5	5	3	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	5	5	3	3	3	5	3	3
Flexibilität	21,10%	2	3	2	2	3	5	3	1	2	3	4	5	3	4	2	2	3	2	1	4	2	2	2	3	2	3
Wirkungsgrad	5,30%	3	4	4	4	2	2	3	5	4	4	2	2	3	5	2	3	4	2	3	2	2	3	2	3	5	3
Autarkie der Versorgung	21,10%	1	5	5	5	2	5	3	5	5	3	1	5	3	4	1	5	5	3	5	5	3	4	3	3	3	5
Wartungs- und Reparaturbedarf	21,10%	1	4	3	2	4	4	3	3	3	3	4	4	3	4	1	2	3	2	5	5	3	3	3	4	3	3
Treibhausgasemission	16,70%	5	5	5	5	1	2	5	5	5	4	1	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Recycling	16,70%	1	4	3	3	4	4	5	3	2	3	3	3	5	4	3	3	4	4	4	4	2	1	2	4	3	5
Ressourcenverbrauch	33,30%	1	4	5	5	1	4	5	4	4	4	2	4	5	4	2	1	4	4	3	5	3	5	3	3	2	5
Schadstoffemissionen	33,30%	1	5	5	5	2	3	5	5	5	5	3	3	5	5	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Gefährdung	50,00%	1	5	5	5	3	3	5	3	3	2	4	4	5	4	3	5	4	4	3	5	4	3	3	3	4	3
Diebstahl- und Vandalismusanfälligkeit	50,00%	3	2	3	4	3	3	5	5	4	3	3	3	5	2	3	5	4	3	4	4	3	2	3	3	3	5
Gewichteter Durchschnitt (absolut)		1,8	4,1	4,0	3,8	2,9	3,9	4,0	3,6	3,7	3,4	3,1	3,9	4,0	4,0	2,4	3,7	3,9	3,2	3,8	4,7	3,1	3,1	3,0	3,5	3,1	4,0
Gewichteter Durchschnitt (prozentual)		**37%**	**82%**	**79%**	**76%**	**58%**	**78%**	**80%**	**72%**	**74%**	**67%**	**62%**	**79%**	**80%**	**80%**	**48%**	**75%**	**78%**	**63%**	**77%**	**93%**	**62%**	**62%**	**59%**	**70%**	**63%**	**79%**

A5.6 Konsistenzmatrix Systemelemente

Bewertungsskala:
1 = totale Inkonsistenz
2 = partielle Inkonsistenz
3 = neutral oder voneinander unabhängig
4 = gegenseitiges Begünstigen
5 = starke gegenseitige Unterstützung

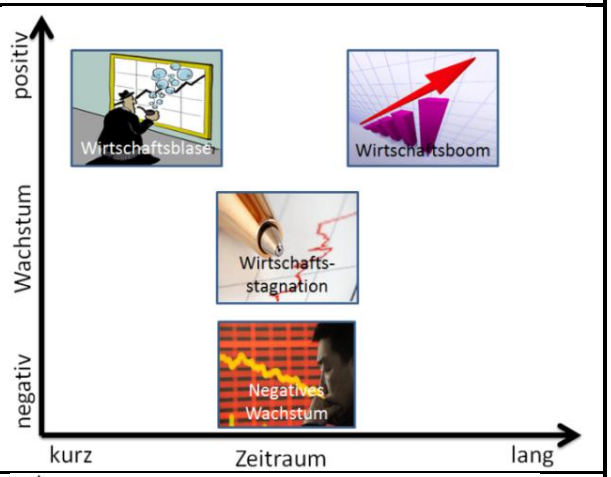
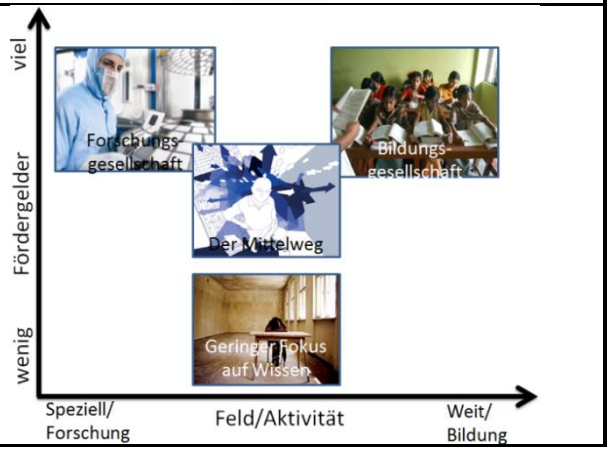
		Kernreaktor	Solarzelle	Wärmetauscher	Erdwärmetauscher	Dampferzeugung fossile Brennstoffe	Dampferzeuger Biomasse	Keins	Wasserturbine	Windkraftrotor	Dampfturbine	VKM fossile Brennstoffe	VKM Biomasse	Keins	Generator	Brennstoffzelle	Solarzelle	Pumpspeicher	Druckluftspeicher	Schwungrad	Wärmespeicher	Kapazit. (sensible) speicher	Latentwärme-	Akku	Thermochemische Speicher	Elektrochemische Kondensatoren	Supraleitende magn. Energiesp.	keine Speicherung
Wandlung 1	Kernreaktor																											
	Solarzellkollektor																											
	Wärmetauscher																											
	Erdwärmetauscher																											
	Dampferzeuger fossile Brennstoffe																											
	Dampferzeuger Biomasse																											
	Keins																											
Wandlung 2	Wasserturbine	2	2	3	1	1	1	5																				
	Windkraftrotor	1	5	4	2	2	2	5																				
	Dampfturbine	5	5	3	3	5	5	1																				
	VKM fossile Brennstoffe	1	3	2	1	2	1	5																				
	VKM Biomasse	1	3	2	3	2	4	5																				
	Keins	1	1	1	1	1	1	3																				
Wand-lung 3	Generator	5	5	5	5	5	5	1	5	5	5	5	5	1														
	Brennstoffzelle	1	4	1	1	1	1	5	3	4	1	1	1	5														
	Solarzelle	1	1	1	3	3	3	5	2	3	1	3	4	5														
Speicherung	Pumpspeicher	3	2	1	1	2	2	3	5	4	4	2	2	3	1	1	2											
	Druckluftspeicher	3	1	1	1	2	2	3	4	4	4	2	2	3	1	1	2											
	Schwungrad	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	2	2	3	1	1	2											
	Kapazitive (sensible) Wärmespeicher	4	5	5	5	5	5	3	1	1	1	4	4	3	2	1	3											
	Latentwärmespeicher	4	4	5	4	5	5	3	1	1	1	4	4	3	2	1	3											
	Elektochem. Speicher (Akkumulatoren)	3	2	2	2	2	2	3	3	4	4	4	4	3	4	3	5											
	Thermochemische Speicher	4	4	4	4	5	5	3	2	2	2	3	3	3	2	2	3											
	Elektrochemische Kondensatoren	2	2	2	2	2	2	3	4	4	4	3	3	3	3	3	4											
	Supraleitende magn. Energiespeicher	2	2	2	2	2	2	3	4	4	4	3	3	3	3	3	4											
	keine Speicherung	4	1	3	3	2	2	3	3	2	2	5	5	3	5	5	2											

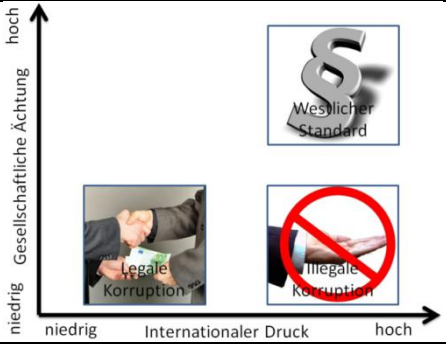
A5.7 Technologieszenarien



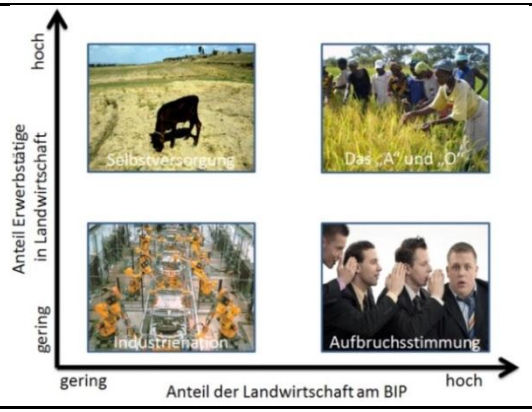
A6 Probleminduzierter Pfad - Kakaomassenherstellung

A6.1 Projektionskatalog

Schlüssel-faktor	Projektion	Beschreibung	
Wirtschafts-wachstum	Wirtschafts-boom	Die Wirtschaft von Sierra Leone erlebt einen starken Aufschwung und bleibt auch über Konjunkturzyklen hinweg konstant wachsend. Durchweg sind Zuwächse in allen Bereichen des wirtschaftlichen Sektors zu vermerken. Die Entwicklung zum Schwellenland ist geschafft.	
	Wirtschafts-blase	Die Wirtschaft von Sierra Leone erlebt einen kräftigen Zuwachs und es ist ein positives Wirtschaftswachstum zu verzeichnen. Alle Anzeichen deuten jedoch nur auf einen kurzzeitigen Aufschwung hin und die Wirtschaft wird mit ersten gravierenden Problemen konfrontiert.	
	Wirtschafts-stagnation	Die Wirtschaft von Sierra Leone stagniert und wirtschaftliche Zuwächse sind kaum zu verzeichnen. Die Mehrheit der Wirtschaft verläuft im Bereich der Selbstversorgung. Die Zukunftstendenzen haben negative Aussichten, weshalb auch langfristig keine Aussicht auf Verbesserung besteht.	
	Negatives Wachstum	Die Wirtschaft von Sierra Leone entwickelt sich negativ. Die Produktion von Waren und Dienstleistungen nimmt weiter ab, das Land belegt den letzten Platz auf internationalen Wachstumsskalen.	
Bildung und Forschung	Bildungs-gesellschaft	In Sierra Leone wurde in den letzten Jahren viel Geld in Bildung gesteckt, um den allgemeinen Wissensstand der Gesellschaft zu fördern. Fördergelder dienen hier dem Allgemeinwohl und weniger speziellen Forschungs- oder Fachgebieten. Es beginnt ein gesellschaftlicher Wandel in Sierra Leone.	
	Forschungs gesellschaft	Sierra Leone will Vorreiter werden und will dies durch den gezielten Einsatz von Forschungsgeldern erreichen. Die Bereitstellung von Fördergeldern für spezielle Forschungsbereiche bringt Sierra Leone weit nach Vorne und ermöglicht einen wettbewerbsfähigen Zustand dieser Wirtschaftsbereiche.	
	Der Mittelweg	Sierra Leone weiß worauf es ankommt und bringt Fördergelder für Bildung und Forschung auf. Beide Bereiche werden ausreichend gefördert und der erste Schritt für ein etabliertes Bildungssystem ist bewältigt worden.	
	Geringer Fokus auf Wissen	In Sierra Leone hat sich nicht viel getan. Bereitgestellte Mittel werden kaum in Bildung und Forschung investiert und kommen nur wenigen Akteuren zu Gute. Forschungsfelder kommen kaum merklich voran, ein Fokus auf einen	

		präferierten Bereich ist kaum möglich und eine Veränderung des maroden Bildungssystems ist nicht in Sicht.	
Attraktivität als Investitionsstandort	Superstar	Sierra Leone rückt ins internationale Rampenlicht von Investoren und die Attraktivität des Landes steigt für Groß- und Kleininvestoren. Investitionen in das Entwicklungsland sind als gewinnbringend und zukunftsfördernd anzusehen.	
	Steigende Attraktivität	Einzelne Investoren erkennen die steigende Attraktivität von Sierra Leone und investieren zunehmend, aber in einem geringen Umfang. Weitere Investitionsentscheidungen werden von der Entwicklung der anfänglichen Investitionen abhängig gemacht.	
	Schlusslicht	Sierra Leone spielt weiterhin eine unwichtige Rolle im internationalen Wirtschaftsgeschehen und Investitionen sind als nicht gewinnbringend einzuschätzen. Nur vereinzelnd gibt es Großinvestoren, die auch Investitionen in Sierra Leone tätigen. Allgemeine Berichte und Beurteilungen über Sierra Leone haben negative Tendenzen und sind als pessimistisch einzustufen.	
Korruption	Legale Korruption	Normale Gehälter reichen nicht zum Überleben. Korruption ist akzeptierte Normalität. Ohne Bestechung läuft im Lande nichts.	
	Westlicher Standard	Internationaler Druck hat zu rechtlichen Reformen geführt, mithilfe ausländischer Experten ist es auch gelungen, Korruption in Justiz und Politik tatsächlich zu verfolgen. Das betrifft jedoch nur die Hauptstadt, im restlichen Land haben sich die gesellschaftlichen Standards wenig geändert, Korruption gehört zum Alltag, ein Bewusstsein über deren Rechtswidrigkeit entwickelt sich nur langsam.	
	Illegale Korruption	Die gesellschaftliche Akzeptanz von Korruption hat abgenommen, man hat gelernt, westliche Standards bzgl. freien Wettbewerbs und des Umgangs mit Eigentum zur Basis des Alltagsgeschäfts zu machen, Korruption wird gerichtlich verfolgt und gesellschaftlich geächtet.	
Kriminalität	Persönliche Sicherheit	Sierra Leone ist ein sicheres Land geworden, Kriminalität wurde in den letzten Jahren bekämpft. Selten kommt es noch zu Übergriffen oder Straftaten. Übergriffe und Gewaltverbrechen von Einzelpersonen, sowie organisierte Kriminalität in Form Ausbeutung durch kriminelle Netzwerke gehören der Vergangenheit an und treten nur ganz selten auf.	
	Anarchie (Kleinkriminalität)	Es herrscht eine Art anarchischer Ausnahmezustand in Sierra Leone. Es kommt täglich zu Übergriffen, wie Gewalt- und Sexualverbrechen. Die Verbrechen werden von Individuen/Einzelpersonen verübt, die nicht organisiert sind und somit eine unkontrollierte Masse darstellen, die schwer unterbunden werden kann. Die Polizei hat diesem Ausmaß an Kriminalität fast nichts entgegen zu setzen.	
	Verbrecherstaat	Kriminalität gilt in Sierra Leone zum Alltag. Organisierte Verbrecherbanden und andere kriminelle Netzwerke profitieren vom schlecht geschützten Staat. Bürger- und Privatpersonen leiden stark darunter. Wird ein Verbrechen verübt, so ist mit	

		großer Sicherheit eine kriminelle Organisation der Drahtzieher dahinter.	
Verkehrs-infrastruktur	Feldwege	Die allgemeine Unsicherheit und die geringen öffentlichen Haushalte haben eine Wiederherstellung der Infrastruktur unmöglich gemacht. Die wenigen noch nutzbaren Straßen und Schienenwege sind nicht mehr renoviert worden, Schäden durch Militärfahrzeuge und Motorräder sowie die Benutzung durch Anrainer als Rohstofflager haben sie unbenutzbar gemacht. Öffentlicher Transport und persönliche Mobilität sind zum Erliegen gekommen, eine Reise stellt ein lebensgefährliches Abenteuer dar.	
	Schlechte Straßen	Die klammen öffentlichen Haushalte erlauben keine Sanierung der Infrastruktur, aber für die allgemeine Aufbruchsstimmung stellt dies kein Problem dar: man behilft sich wie man kann. Jeder Stamm hilft bei der Ausbesserung „seiner“ Straßen, Transporte werden provisorisch mit Motorradtaxis und Traktoren durchgeführt. Private Transportnetze für Güter und Personen sind einigermaßen verlässlich und genießen den Schutz der Ordnungsinstitutionen. Für ausländische Investoren sind die technisch bedingten Unsicherheiten vielfach zu hoch, einheimische Unternehmen und Gemeinschaften können sich damit arrangieren und die Wettbewerbsvorteile nutzen.	
	Beste Voraus-setzungen	Gezielte Investitionen in die Infrastruktur haben die Voraussetzung für die Wiederaufnahme regelmäßiger Verbindungen und Transporte ermöglicht. Ein allen Nutzern günstig zugängliches öffentlich gefördertes Straßen- und Schienennetz stellt die Grundlage für persönliche und Gütermobilität dar. Der Regierung und den lokalen Chiefs liegen die Ermöglichung von Transport und Mobilität zur Förderung der Wirtschaft am Herzen, ausländische Investoren beteiligen sich an vielen Projekten aufgrund des guten Investitionsklimas.	
Allgemeine Infrastruktur	Manuelle Versorgung	Das Rohstoff-Versorgungsnetz (Öl, Gas, Wasser) ist nicht ausgebaut. Vielen Menschen stehen diese Ressourcen nicht unmittelbar zur Verfügung, sodass weite Wege zur Beschaffung in Kauf genommen werden müssen. Ein Stromnetz ist nicht vorhanden und man ist auf die wenigen autarken Energiesysteme, wie Generatoren oder Windkrafträder, angewiesen.	
	Instabile Versorgung	Das Rohstoff-Versorgungsnetz ist vorangeschritten und vielen Menschen wird ein leichter Zugang zu lebenswichtigen Ressourcen gewährt. Die kontinuierliche Versorgung kann aber nicht gewährleistet werden und regelmäßige Engpässe treten auf. Eine zentrale Stromversorgung wird angestrebt, ist jedoch noch nicht etabliert. Die vorhandenen Stromanschlüsse in den Haushalten können nur zeitlich begrenzt mit ungleichmäßiger Netzspannung genutzt werden.	
	Modernes Netz	Die Versorgungsgüter (Öl, Gas, Wasser) sind im vollen Umfang zugänglich und die Versorgungssicherheit kann weitestgehend gewährleistet werden. Eine zentrale Stromversorgung ist entstanden, bei der jeder Haushalt einen eigenen	

		Stromanschluss zur Verfügung hat. Die Bereitstellung erfolgt in ausreichender Menge mit konstanter Netzspannung.	
Anteil produzierende Industrie	Rohstoffbasis	Investoren sind nur an Rohstoffen interessiert, es kommt nicht zur Bildung von Industrie. Das Land bleibt ein Agrarland, das Rohstoffe liefert, während die eigentlichen Wertschöpfungsketten im Ausland beginnen. Die anfallende Arbeit wird in Handarbeit erledigt und reicht noch gerade zur Selbstversorgung aus.	
	Sweatshop Industry	Investoren nutzen das gute Investitionsklima und die niedrigen Löhne in Sierra Leone für die Auslagerung arbeitsintensiver Industrien mit geringem Technologisierungsgrad. Die Auslagerung von arbeitsintensiver Industrie befördert Sierra Leone zur neuen „Welt-Werkstatt“. Sierra Leone positioniert sich als billige „Werkstatt Eurasiens“ und legt damit die Grundlage für die Entwicklung zum Schwellenland.	
	Wachstum	Einheimische Unternehmer und Joint Ventures schaffen es im ganzen Land eine Aufbruchsstimmung zu erzeugen. Auf breiter Ebene gelingt es dem Land, sich als zuverlässiger Partner für Industrien auch mit hohem Wertschöpfungsgrad zu positionieren, da es sich einen Ruf erworben hat, gut qualifizierte Mitarbeiter mit günstigen Arbeitskosten und gesundem Investitionsklima zu kombinieren. Durch die anhaltend positive Auftragslage ist der produzierende Wirtschaftssektor fähig neue Anschaffungen zu tätigen und sorgt somit für einen kontinuierlichen Zuwachs von hochtechnologisierten Produktionsanlagen.	
	Hightech-Produktion	Die Wirtschaft in Sierra Leone verzeichnet winzigste Zuwächse im Bereich des produzierenden Gewerbes durch Investitionen von Einzelpersonen. Die entstandenen Zuwächse entstehen durch die Ansiedelung von hochwertigen Industrien aus aller Welt und den Bau von Fabriken mit technologisierten Produktionsanlagen, die eine erste Produktion auf industriellem Niveau ermöglichen.	
Bedeutung der Landwirtschaft	Selbstversorgung	Der landwirtschaftliche Sektor in Sierra Leone spielt wegen der geringen Nachfrage keine bedeutende Rolle beim Ermitteln des Bruttoinlandsproduktes. Trockenheit und geringe Mechanisierung führten dazu, dass ein großer Anteil des Bruttoinlandsproduktes nun vom sekundären und tertiären Sektor ausgeht. Dennoch ist der größte Teil der Bevölkerung in der Landwirtschaft tätig, um sich hauptsächlich selbst mit Lebensmitteln zu versorgen.	
	Das „A“ und „O“	Landwirtschaft spielt eine bedeutende Rolle in Sierra Leone. Auch wenn die traditionelle Landwirtschaft für den Eigenbedarf stets im Vordergrund steht, liegt der wirtschaftliche Hauptfokus auf den Export von landwirtschaftlichen Erzeugnissen. Es existieren viele große Plantagen, die in der Regel von europäischen Gesellschaften geleitet werden und auf denen landwirtschaftliche Erzeugnisse (z.B. Kakao, Bananen, Kaffee, Tee) für den internationalen Markt produziert werden.	

	Aufbruchs-stimmung	Sierra Leone wagt einen Neuanfang. Die Mehrheit der Bevölkerung ist nun im sekundären und tertiären Sektor beschäftigt, wenngleich diese Bereiche relativ gesehen noch keine hohen Erträge erwirtschaften. Der Hauptteil des BIPs resultiert stets aus dem Betrieb von großen Plantagen, die in der Regel von europäischen Gesellschaften geleitet werden und auf denen landwirtschaftliche Erzeugnisse (z.B. Kakao, Bananen, Kaffee, Tee) für den internationalen Markt produziert werden.	
	Industrie-nation	Landwirtschaft in Sierra Leone kommt keine bedeutende Rolle mehr zu und der eigene Bedarf wird vorwiegend durch Importe abgedeckt. Im Zuge des langfristigen wirtschaftlichen Wandels hat sich die Industrialisierung im Land durchgesetzt, die den größten Anteil des BIP ausmacht und auch zahlreiche Arbeitsplätze im Produktionssektor geschaffen hat.	
Fachkräfte	Arbeits-platz-mangel	In Sierra Leone besteht ein Trend zur Bildung und viele junge Leute und deren Eltern sehen Zukunftschancen in technischen Berufen. Eine verstärkte Zahl von Leuten schließen technische Ausbildungen ab und besuchen hierfür die Hochschule. Jedoch steht der großen Anzahl von neu ausgebildeten Nachwuchskräften keine Jobmöglichkeit zur Verfügung. Nur wenige Fachkräfte finden eine geeignete und qualifizierte Arbeit.	
	Fachkräfte-mangel	Die Situation in Sierra Leone hat sich kaum gebessert. Der Arbeitsmarkt stellt keine Arbeitsplätze zur Verfügung und die wenigen Stellen, die es gibt, werden aus Mangel an qualifiziertem Personal nicht richtig besetzt. Eine Abwärtsspirale bricht los, die nicht schnell gestoppt werden kann.	
	Abwärts-spirale	Sierra Leone befindet sich im Aufwärtstrend und die Wirtschaft sucht verstärkt nach Fachkräften mit Ausbildung in technischen Berufen. Aufgrund der hohen Nachfrage an Fachkräften und der geringen Zahl von Ausgebildeten kommt es zu einem Fachkräftemangel in Sierra Leone.	
	Arbeits-marktboom	Viele Arbeitsplätze und viel Nachwuchs. In Sierra Leone geht es richtig vorwärts. Viele junge Leute sehen eine Zukunftsperspektive im Abschluss einer technischen Ausbildung, um somit auf dem Arbeitsmarkt erfolgreicher zu sein. Gleichzeitig fragt der Wirtschaftssektor verstärkt Fachkräfte nach, um ihren Bedarf an qualifizierten Arbeitern zu decken.	

A6.2 Konsistenzmatrix

Bewertungsskala:

1 = totale Inkonsistenz
2 = partielle Inkonsistenz
3 = neutral oder voneinander unabhängig
4 = gegenseitiges Begünstigen
5 = starke gegenseitige Unterstützung

Schlüsselfaktor	Projektion	Nr.	Wirtschaftswachstum				Bildung und Forschung				Attraktivität als Investitionsstandort			Korruption			Kriminalität			Verkehrsinfrastruktur			Allgemeine Infrastruktur			Anteil produzierende Industrie				Bedeutung der Landwirtschaft				Fachkräfte			
			Wirtschaftsboom	Wirtschaftsblase	Wirtschaftsstagnation	Negatives Wachstum	Bildungsgesellschaft	Forschungsgesellschaft	Der Mittelweg	Geringer Fokus auf Wissen	Superstar	Steigende Attraktivität	Schlusslicht	Legale Korruption	Illegale Korruption	Westlicher Standard	Persönliche Sicherheit	Anarchie	Verbrecherstaat	Feldwege	Schlechte Straßen	Beste Voraussetzungen	Manuelle Versorgung	Instabile Versorgung	Modernes Netz	Rohstoffbasis	Sweatshop Industry	Wachstum	Hightech-Cluster	Selbstversorgung	Das "A" und "O"	Aufbruchsstimmung	Industrienation	Arbeitsplatzmangel	Abwärtsspirale	Fachkräftemangel	Arbeitsmarktboom
			1 A	1 B	1 C	1 D	2 A	2 B	2 C	2 D	3 A	3 B	3 C	4 A	4 B	4 C	5 A	5 B	5 C	6 A	6 B	6 C	7 A	7 B	7 C	8 A	8 B	8 C	8 D	9 A	9 B	9 C	9 D	10 A	10 B	10 C	10 D
Wirtschaftswachstum	Wirtschaftsboom	1A																																		
	Wirtschaftsblase	1B																																		
	Wirtschaftsstagnation	1C																																		
	Negatives Wachstum	1D																																		
Bildung und Forschung	Bildungsgesellschaft	2A	4	3	2	1																														
	Forschungsgesellschaft	2B	5	4	2	1																														
	Der Mittelweg	2C	3	4	3	2																														
	Geringer Fokus auf Wissen	2D	1	2	4	5																														
Attraktivität als Investitionsstandort	Superstar	3A	5	4	2	1	4	5	3	1																										
	Steigende Attraktivität	3B	2	4	2	1	4	3	5	2																										
	Schlusslicht	3C	1	2	4	5	1	1	3	5																										
Korruption	Legale Korruption	4A	1	2	3	4	2	2	3	4	1	2	5																							
	Illegale Korruption	4B	2	3	4	4	3	3	2	4	2	3	4																							
	Westlicher Standard	4C	4	5	3	2	4	4	3	1	5	4	1																							
Kriminalität	Persönliche Sicherheit	5A	4	4	2	1	4	4	3	3	4	5	1	2	3	4																				
	Anarchie	5B	2	3	5	3	3	2	4	4	2	3	3	4	4	2																				
	Verbrecherstaat	5C	1	2	4	5	2	1	3	5	1	1	4	5	4	1																				

Bewertungsskala:

1 = totale Inkonsistenz
2 = partielle Inkonsistenz
3 = neutral oder voneinander unabhängig
4 = gegenseitiges Begünstigen
5 = starke gegenseitige Unterstützung

		Schlüssel-faktor	Wirtschafts-wachstum				Bildung und Forschung				Attraktivität als Investitions-standort			Korruption			Kriminalität			Verkehrs-infrastruktur			Allgemeine Infrastruktur			Anteil produzierende Industrie				Bedeutung der Landwirtschaft				Fachkräfte			
		Projektion	Wirtschaftsboom	Wirtschaftsblase	Wirtschaftsstagnation	Negatives Wachstum	Bildungsgesellschaft	Forschungsgesellschaft	Der Mittelweg	Geringer Fokus auf Wissen	Superstar	Steigende Attraktivität	Schlusslicht	Legale Korruption	Illegale Korruption	Westlicher Standard	Persönliche Sicherheit	Anarchie	Verbrecherstaat	Feldwege	Schlechte Straßen	Beste Voraussetzungen	Manuelle Versorgung	Instabile Versorgung	Modernes Netz	Rohstoffbasis	Sweatshop Industry	Wachstum	Hightech-Cluster	Selbstversorgung	Das "A" und "O"	Aufbruchsstimmung	Industrienation	Arbeitsplatzmangel	Abwärtsspirale	Fachkräftemangel	Arbeitsmarktboom
Schlüsselfaktor	**Projektion**	Nr.	1 A	1 B	1 C	1 D	2 A	2 B	2 C	2 D	3 A	3 B	3 C	4 A	4 B	4 C	5 A	5 B	5 C	6 A	6 B	6 C	7 A	7 B	7 C	8 A	8 B	8 C	8 D	9 A	9 B	9 C	9 D	10 A	10 B	10 C	10 D
Verkehrs-infrastruktur	Feldwege	6A	1	2	4	5	3	3	3	3	1	1	5	3	3	2	2	3	4																		
	Schlechte Straßen	6B	2	3	4	3	3	3	4	3	2	4	3	3	3	3	3	3	3																		
	Beste Voraussetzungen	6C	4	4	3	1	4	3	3	2	4	4	2	3	3	4	4	3	3																		
Allgemeine Infrastruktur	Manuelle Versorgung	7A	1	2	5	4	4	2	3	3	1	1	4	4	4	3	2	4	3	4	4	2															
	Instabile Versorgung	7B	2	3	4	3	3	3	3	3	2	4	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3															
	Modernes Netz	7C	4	4	2	1	4	4	3	2	4	5	1	3	3	4	4	3	2	2	2	4															
Anteil produzierende Industrie	Rohstoffbasis	8A	1	2	4	3	2	2	3	4	3	4	2	4	3	3	2	4	3	2	4	3	3	3	3												
	Sweatshop Industry	8B	3	4	2	2	3	2	4	3	5	4	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	4												
	Wachstum	8C	4	4	1	1	4	4	4	2	3	5	4	2	3	4	3	3	3	2	2	4	1	3	4												
	Hightech-Cluster	8D	4	5	2	1	4	5	4	1	3	5	4	3	3	3	4	3	2	2	3	4	1	2	4												
Bedeutung der Landwirtschaft	Selbstversorgung	9A	1	1	3	4	1	2	3	5	1	2	4	4	4	2	2	4	3	4	4	2	5	4	2	4	1	2	3								
	Das "A" und "O"	9B	1	2	5	4	3	3	3	3	2	3	4	3	4	3	3	4	2	3	4	4	3	4	3	4	1	1	2								
	Aufbruchsstimmung	9C	4	4	3	2	3	4	4	2	3	5	2	3	3	3	4	3	2	2	3	4	2	4	3	2	4	4	3								
	Industrienation	9D	4	3	2	1	4	5	3	1	4	4	1	2	3	4	5	2	1	1	3	5	2	3	4	1	3	5	4								
Fachkräfte	Arbeitsplatzmangel	10A	1	2	5	3	5	3	4	1	1	3	5	4	4	2	1	4	5	4	4	2	5	4	2	4	2	1	3	4	3	1	1				
	Abwärtsspirale	10B	1	3	4	4	4	2	4	2	2	3	4	3	4	2	3	4	4	2	3	3	3	3	4	4	3	1	3	4	4	2	1				
	Fachkräftemangel	10C	4	5	2	1	2	2	3	5	4	4	2	3	4	3	4	3	2	2	2	4	2	3	4	2	3	4	5	2	2	5	4				
	Arbeitsmarktboom	10D	5	4	1	1	4	4	4	2	5	4	1	2	3	4	5	2	1	1	2	4	1	2	4	2	4	5	3	1	2	4	4				

A6.3 Bewertung Systemelemente

Skala: Erfüllungsgrad des Nachhaltigkeitskriteriums 5: sehr hoch 4: hoch 3: mittel 2: niedrig 1: sehr niedrig **Kriterium**	**Systemelement**	40`High Cube Container	Rohrtrockner	Dosierschnecke	Förderschnecke	Walzenbrecher	Steigsichter	Kakaoröster	Steinmühle	Kugelmühle	Kakaomasse Pumpe	Tank mit Rührwerk	Industriewaage	Diesel-Stromaggregat	Dieselcontainer	Wassercontainer
Total Costs of Ownership	22,22%	5	4	5	5	4	3	2	3	2	5	4	5	3	5	5
Zuverlässigkeit	22,22%	5	4	3	4	4	4	5	4	5	5	4	4	3	4	3
Flexibilität	11,11%	4	3	3	3	3	4	4	3	4	4	2	4	3	3	4
Wirkungsgrad/Produktivität	11,11%	4	3	4	3	5	5	5	4	4	4	4	3	3	4	4
Energieverbrauch	11,11%	5	5	3	4	3	4	3	3	3	3	3	5	2	5	5
Wartungs- und Reparaturbedarf	11,11%	4	3	3	2	3	4	4	4	4	3	4	4	3	4	3
Störanfälligkeit der Versorgung	11,11%	4	4	3	3	5	3	5	3	4	3	3	5	3	4	3
Treibhausgasemissionen	8,33%	4	4	4	4	3	4	4	3	3	4	4	5	1	5	5
Recycling	33,33%	4	3	3	3	4	4	4	4	4	3	2	3	2	2	3
Ressourcenverbrauch	16,67%	4	4	4	4	4	3	3	4	3	4	3	4	2	3	3
Schadstoffemissionen	8,33%	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	5	1	4	4
Rohstoffverfügbarkeit	33,33%	3	3	4	5	4	3	3	4	4	4	4	4	2	3	4
Gefährdung	66,67%	4	4	5	5	4	5	4	4	4	4	4	5	3	4	5
Diebstahl- und Vandalismusanfälligkeit	33,33%	2	4	4	2	5	4	4	5	4	4	4	4	2	2	2
Gewichteter Durchschnitt (absolut)		4,0	3,7	3,9	3,8	4,0	3,9	3,8	3,8	3,8	4,0	3,6	4,3	2,6	3,7	3,8
Gewichteter Durchschnitt (prozentual)		**81%**	**74%**	**77%**	**77%**	**80%**	**79%**	**76%**	**75%**	**75%**	**79%**	**71%**	**86%**	**51%**	**73%**	**77%**

Die vorliegende Arbeit soll einen Beitrag dazu leisten, die rational gebotene Nachhaltigkeit über technische Innovation zu befördern. Die Arbeit präsentiert eine Methode zur Identifikation und Entwicklung nachhaltiger Technologiesysteme im Sinne konzeptueller technischer Lösungsansätze für unterschiedliche Entwicklungsniveaus und deren Anwendung. Die vier Anwendungsbeispiele beziehen sich auf die drei Lebensweltbereiche Mobilität, Energie und Produktion und Länder unterschiedlicher Entwicklungsniveaus.

ISBN 978-3-8396-0670-4

9 783839 606704

FRAUNHOFER VERLAG