

Masterarbeit

TREIBER UND CHARAKTERISTIKA VON INNOVATIONEN IN DER VERFAHRENSTECHNIK

ausgeführt am



FACHHOCHSCHULE DER WIRTSCHAFT

Fachhochschul-Masterstudiengang
Innovationsmanagement

von

Philipp Schopp, BSc

1510318004

betreut von Dipl.-Ing. Dr. Stefan Kappaun, MBA

begutachtet von FH-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Michael Terler

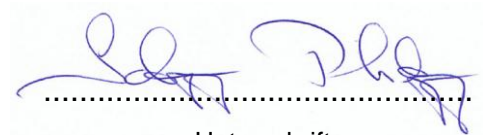
Graz, im Januar 2017

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Philipp Schopp", is written over a horizontal dotted line. Below the line, the word "Unterschrift" is printed in a black sans-serif font.

Unterschrift

EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benützt und die benutzten Quellen wörtlich zitiert sowie inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

A handwritten signature in blue ink is written over a horizontal dotted line. The signature is stylized and appears to consist of several loops and flourishes.

Unterschrift

GLEICHHEITSGRUNDSATZ

Um den Lesefluss nicht durch eine ständige Nennung beider Geschlechter zu stören, wird in dieser Arbeit ausschließlich die männliche Form verwendet. Dies impliziert aber immer auch die weibliche Form.

DANKSAGUNG

An erster Stelle möchte ich mich bei Herrn Dipl.-Ing. Dr. Stefan Kappaun, MBA bedanken. Seine Hilfestellungen zum Aufbau und zur Umsetzung waren wesentliche Bestandteile, die zur erfolgreichen Fertigstellung dieser Arbeit beigetragen haben. Ebenso war seine äußerst kollegiale Betreuung in schwierigen Zeiten eine wichtige Stütze.

Darüber hinaus möchte ich mich ebenso bei allen bedanken, die am Zustandekommen dieser Arbeit mitgewirkt haben. Besonders hervorzuheben sind dabei einerseits die Experten aus Forschung und Industrie, die sich Zeit für die Durchführung von Interviews genommen haben. Andererseits seien auch die Teilnehmer der umgesetzten Workshops erwähnt. Vor allem bei meinen Studienkollegen der TU Graz möchte ich mich für das eingebrachte verfahrenstechnische Know-how, sowie die allfälligen Plausibilitätskontrollen bedanken.

KURZFASSUNG

Die vorliegende Arbeit behandelt zukünftige Innovationstreiber in der Verfahrens- und Prozesstechnik. Zu Beginn der Arbeit findet sich eine Einführung in die Arbeitsweise und Herausforderungen der Prozessindustrie. Daraufhin folgt eine Literaturrecherche zu diversen Themen der Innovations- und Zukunftsforschung. Aufbauend werden das Auftreten, der Umfang und die Voraussetzungen bisheriger Innovationen in der Verfahrenstechnik diskutiert. Anschließend werden Methoden zur Erarbeitung von zukünftigen Innovationstreibern vorgestellt. Folgend wird ein Modell zur praktischen Ausarbeitung von zukünftigen Innovationstreibern der Verfahrens- und Prozesstechnik vorgestellt.

Die praktische Erarbeitung dieses Modells beginnt mit der Recherche branchenbezogener Trends und Prognosen. Die dabei identifizierten Entwicklungen werden daraufhin fortführend behandelt. Im ersten Schritt findet eine Klassifizierung mittels einer Umweltanalyse statt. Im zweiten Schritt werden sie hinsichtlich der Stärke ihres Eintretens bewertet. Anschließend findet im dritten Schritt eine Beurteilung der Branchenrelevanz durch mehrere Experten statt. Aufgrund dieser Analysen werden die behandelten Entwicklungen einer Einteilung in verschiedene Innovationstreiberklassen unterzogen. Abschließend werden mithilfe der bearbeiteten Entwicklungen Szenarien generiert, welche mögliche, zukünftig relevante Geschäftsumgebungen der Verfahrens- und Prozesstechnik abbilden.

ABSTRACT

The thesis at hand examines future drivers of innovation in the chemical and process engineering industry. At first an introduction to the principles and challenges of this industry can be found. Subsequently, a literature research concerning diverse topics of innovation and future sciences is presented. Upon this section, the arising, the extent as well as the requirements of previous innovations in chemical and process engineering are shown. Following, methods to identify future drivers of innovation are illustrated. Further on, a model for the practical elaboration of future drivers of innovation in the chemical and process industry is presented.

The investigation within this model begins with the research of branch-related trends and predictions. The identified developments are treated subsequently. Firstly, a classification by means of an environmental analysis takes place. Secondly, the proposed future conditions are rated in context to their strength of advocacy. Thirdly, the assessment of the branch-relevance takes place by interviewing experts on the field. Based on these analyses the identified future conditions are subject to a classification of different types of innovation drivers. Upon the found results, scenarios are generated to illustrate potential prospective relevant business environments of the chemical and process engineering industry.

INHALTSVERZEICHNIS

1 Einleitung.....	1
2 Verfahrenstechnische Einführung	4
2.1 Verfahrenstechnik in der Industrie.....	4
2.2 Die Erde als geschlossenes System	6
2.2.1 Energiebilanz der Erde	8
2.2.2 Interpretation gesellschaftlicher Herausforderungen aus prozesstechno- logischer Sicht.....	9
2.2.2.1 Verknappung von Ressourcen	9
2.2.2.2 Schadstoffbelastung der Umwelt.....	11
3 Begriffsbestimmungen der Innovationsforschung	12
3.1 Zukunftsforschung	12
3.1.1 Erkenntnisziele der Zukunftsforschung	14
3.1.2 Vorgehensweise der Zukunftsforschung	15
3.1.3 Erkenntnismethoden und Prognosetechniken der Zukunftsforschung.....	16
3.1.3.1 Trendextrapolation.....	17
3.1.3.2 Cross-Impact-Analyse	17
3.1.3.3 Szenariotechnik	18
3.1.3.4 Roadmapping	18
3.2 Trends und Treiber	19
3.2.1 Trends.....	19
3.2.2 Innovationstreiber	21
3.2.3 Trends als Innovationstreiber	24
4 Innovationen in der Verfahrenstechnik.....	26
4.1 Rahmenbedingungen für Innovationen in der Verfahrenstechnik	26
4.2 Innovationstreiber in der Verfahrenstechnik aus historischer Sicht	28
4.2.1 Technologischer Fortschritt	28
4.2.2 Veränderte Kundenbedürfnisse	30
4.2.3 Verschärfter Wettbewerb	31
4.2.4 Verändertes Geschäftsumfeld	31
4.3 Conclusio: Innovationen in der Verfahrenstechnik	33
5 Identifikation und Bewertung von Innovationstreibern	34
5.1 PESTEL-Analyse	34
5.2 Expertenbefragungen	37
5.2.1 Experteninterviews	37
5.2.1.1 Vorbereitung zum Interview.....	37
5.2.1.2 Auswahl von Experten.....	39
5.2.1.3 Diskursverläufe.....	39
5.2.1.4 Auswertung des Interviews.....	40

5.2.2 Delphi-Methode	41
5.3 Portfoliodarstellung zukünftiger Umweltfaktoren	43
6 Szenario-Technik.....	46
6.1 Vorbereitungen zum Erstellen von Szenarien	48
6.2 Szenarien-Erarbeitung.....	49
6.2.1 Forward-Approach und Backward-Approach	49
6.2.2 Erstellen eines Szenarienraumes	51
6.2.2.1 Beschreibung Szenarienraum	51
6.2.2.2 Konsistenzmatrix	52
7 Vorgehensmodell zur Identifikation zukünftiger unternehmensexterner Innovationstreiber	
in der Verfahrens- und Prozesstechnik.....	54
7.1 Recherche anthropogener Entwicklungen	55
7.1.1 Identifikation anthropogener Entwicklungen.....	56
7.1.2 Einordnung in PESTEL-Schema	56
7.2 Extraktion von Innovationstreibern	56
7.2.1 Ermittlung der Veränderung des Ausprägungsgrades	57
7.2.2 Experteninterviews zur Bestimmung der Branchenrelevanz.....	58
7.2.3 Darstellung relevanter zukünftiger Innovationstreiber	60
7.2.4 Zuordnung in Innovationstreiberklassen.....	60
7.3 Szenarien generieren	60
7.3.1 Konsistenzmatrix der relevanten Innovationstreiber	61
7.3.2 Erarbeitung von Szenarien	61
8 Recherche anthropogener Entwicklungen	62
8.1 Identifikation anthropogener Entwicklungen.....	62
8.1.1 Auswahl der Quellen und Fokus der Recherche	63
8.1.2 Identifizierte anthropogene Entwicklungen: Rechercheergebnisse.....	63
8.2 Einordnung der Entwicklungen in das PESTEL-Schema.....	75
8.2.1 Der Unternehmensumwelt zuordenbare Faktoren	75
8.2.2 Nicht der Unternehmensumwelt zuordenbare Faktoren.....	78
9 Extraktion von Innovationstreibern	79
9.1 Ermittlung der Veränderung des Ausprägungsgrades	79
9.1.1 Vorgehensweise	80
9.1.1.1 Quantitative Bewertung	80
9.1.1.2 Qualitative Bewertung	80
9.1.2 Ergebnisse der quantitativen Bewertung.....	82
9.1.3 Ergebnisse der qualitativen Bewertung	83
9.1.4 Reihung anhand der Veränderung des Ausprägungsgrades	85
9.2 Experteninterviews zur Bestimmung der Branchenrelevanz.....	89
9.2.1 Vorbereitung der Experteninterviews	89
9.2.1.1 Auswahl der Experten	89

9.2.1.2 Auswahl und Bewertung der Entwicklungen	89
9.2.2 Ergebnisse der Experteninterviews	91
9.2.2.1 Quantitative Auswertung der Experteninterviews.....	92
9.2.2.2 Qualitative Auswertung der Experteninterviews: Bezüge zur Verfahrens-..... technik	94
10 Relevante zukünftige Innovationstreiber	102
10.1 Expertenbewertung: Auswahl relevanter Entwicklungen	102
10.2 Anthropogene Entwicklungen als Innovationstreiber	103
10.2.1 Zuordnung in Innovationstreiberklassen.....	104
10.2.2 Wirkungen anthropogener Entwicklungen als Innovationstreiber	105
11 Szenarien.....	113
11.1 Konsistenzmatrix erarbeiten	113
11.2 Szenarien generieren	114
11.2.1 Szenario 1: Politik bewirkt gesellschaftliche Bewusstseinsbildung	115
11.2.1.1 Szenarienbeschreibung.....	115
11.2.1.2 Entwicklung der Verfahrenstechnik	117
11.2.2 Szenario 2: Regionale Bodenständigkeit.....	117
11.2.2.1 Szenarienbeschreibung.....	118
11.2.2.2 Entwicklung der Verfahrenstechnik	119
11.2.3 Szenario 3: Wirtschaftswachstum und graue Realität	119
11.2.3.1 Szenarienbeschreibung.....	120
11.2.3.2 Entwicklung der Verfahrenstechnik	121
11.2.4 Szenario 4: Nachhaltige Konsumgesellschaft	122
11.2.4.1 Szenarienbeschreibung.....	122
11.2.4.2 Entwicklung der Verfahrenstechnik	123
11.3 Conclusio: Verhältnis von Verfahrenstechnik und Gesellschaft.....	124
12 Zusammenfassung	125
Literaturverzeichnis	127
Abbildungsverzeichnis.....	130
Tabellenverzeichnis.....	132
Anhang	133

*„Die reinste Form des Wahnsinns ist es, alles beim Alten zu belassen
und zu hoffen, dass sich etwas ändert.“*

- Albert Einstein

1 EINLEITUNG

Wettbewerbsfähigkeit ist das wichtigste Gut eines Unternehmens zum wirtschaftlichen Fortbestehen. Um Wettbewerbsvorteile gegenüber Mitbewerbern zu erzielen, ist ein aktiver Fokus auf unerkannte Chancen und Potentiale notwendig. Nur mit dem Blick in Richtung gewandte Zukunft, können Möglichkeiten und Optionen erkannt werden, ehe sie der Mitbewerber ergreift.

In dieser Arbeit werden Innovationspotentiale in der Verfahrenstechnik untersucht. Dabei werden branchenrelevante Innovationstreiber identifiziert, diskutiert und in Form von szenarienhaften Zukunftsbildern dargestellt. Im selben Zuge soll ein Verständnis für die Wirkmechanismen von Innovationen in der Branche geschaffen und somit eine Grundlage zum Finden innovativer Ansätze geboten werden.

Forschungsfrage und Zielsetzung

Die Forschungsfrage, die dieser Arbeit zugrunde liegt umreißt ihren Umfang wie folgt:

„Was sind die Treiber von Veränderungen in der Verfahrensindustrie, und zu welchem Wandel der Branche führen sie?“

Aus dieser Formulierung ergeben sich zwei wesentliche Zielsetzungen:

1. Identifikation, Bewertung und Auswahl von Trends und Entwicklungen hinsichtlich ihrer erwarteten Relevanz für die künftigen Rahmenbedingungen der Verfahrenstechnik.
2. Zusammenführen der relevanten Entwicklungen in Form von szenarienhaften Zukunftsbildern, um Auswirkungen und Zusammenhänge darzustellen.

Aufbau der Arbeit

Der Aufbau der Arbeit lehnt sich an das in Abbildung 1 dargestellte Untersuchungsdesign an. Im ersten Abschnitt wird die notwendige Theorie erarbeitet und eine Vorgehensweise zur Identifikation und Bewertung von Innovationstreibern erstellt. Dieses Modell wird anschließend im zweiten Abschnitt praktisch umgesetzt.

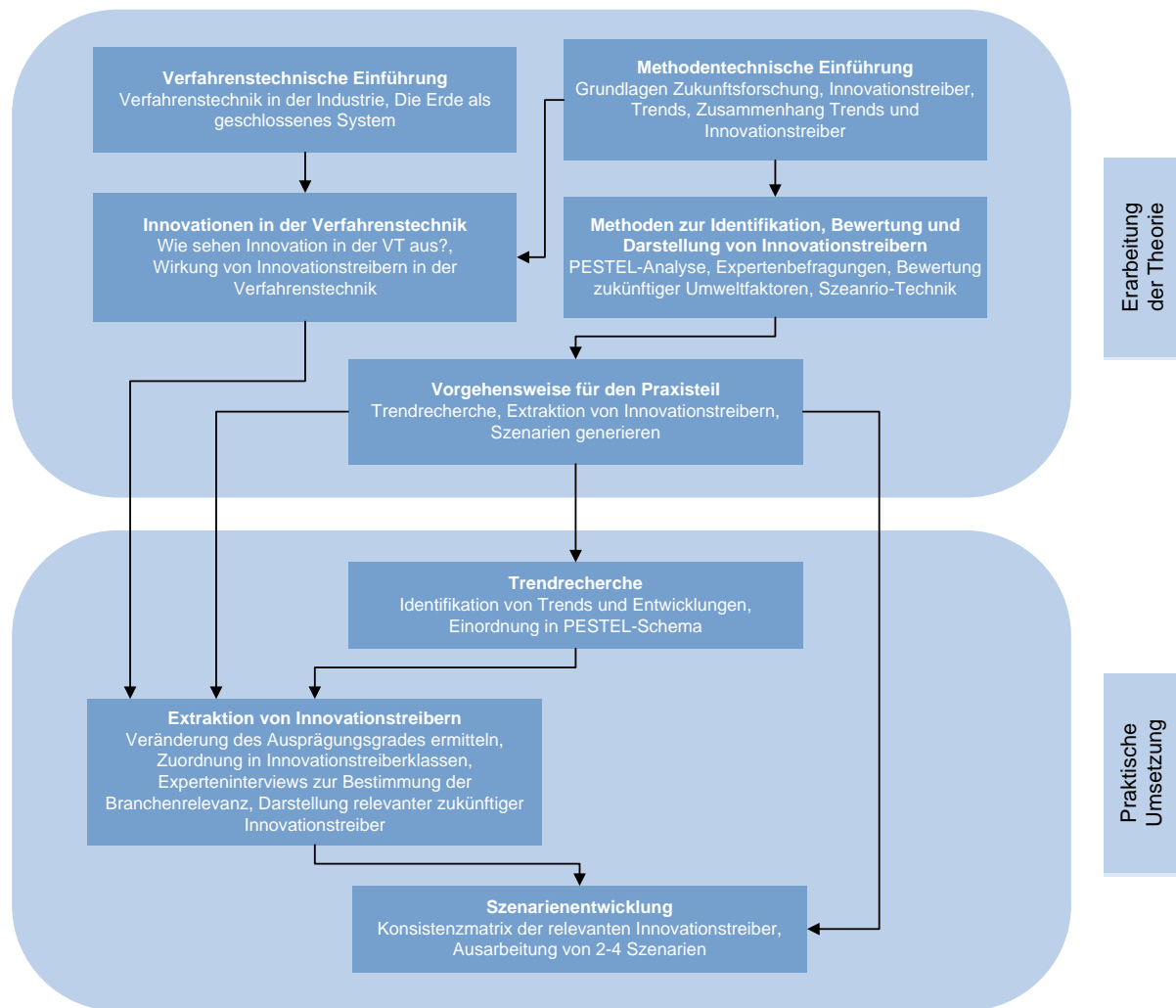


Abbildung 1: Untersuchungsdesign der vorliegenden Arbeit, Quelle: Eigene Darstellung.

Wie Abbildung 1 zeigt, gliedert sich die Struktur der vorliegenden Arbeit in einen theoretischen sowie einen praktischen Teil. Am Ende des Theorieteiles wird dieser zu einem Vorgehensmodell kondensiert, welches im praktischen Teil angewendet wird, um Innovationstreiber in der Verfahrenstechnik zu identifizieren. Anschließend an die Einführung in Kapitel 1, erläutert Kapitel 2 die Bedeutung der Verfahrenstechnik in der Industrie. Ebenso behandelt es Herausforderungen, die zukünftig in prozesstechnischer Hinsicht eine Rolle spielen werden. Kapitel 3 gibt eine Einführung in die Grundlagen der im weiteren Verlauf erläuterten Methoden. Dabei werden unter anderem die Schlagwörter *Trend* und *Innovationstreiber*, sowie deren Zusammenhang, diskutiert. Damit ist der Grundstein für Kapitel 4 gelegt, in welchem das Verhältnis von Innovationen und Verfahrenstechnik unter die Lupe genommen wird. Eine Recherche über den Markterfolg von Erfindungen sowie deren Ursachen schafft ein Verständnis, welche Treiber in der Branche von besonderer Wichtigkeit sind. Anschließend werden in Kapitel 5 und Kapitel 6 Methoden vorgestellt, mit denen eine Identifikation, Bewertung und Veranschaulichung der Zusammenhänge von Innovationstreibern grundsätzlich möglich ist. Diese Recherche bildet die Basis für das anschließende Kapitel 7, in dem ein konkretes Vorgehensmodell vorgestellt wird, wie Innovationstreiber im Praxisteil dieser Arbeit identifiziert und bewertet werden.

Ab Kapitel 8 folgt die Umsetzung dieses Modelles im Rahmen des praktischen Teiles der Arbeit. Dieses Kapitel widmet sich der Recherche von anthropogenen Entwicklungen, die potentiell einen Zusammenhang zur Verfahrens- und Prozesstechnik aufweisen. Diese bilden die Ausgangsbasis der Suche nach zukünftigen Innovationstreibern. In Kapitel 9 werden aus den identifizierten Entwicklungen relevante zukünftige Innovationstreiber herausgefiltert. Dazu wird zuerst die Veränderung der Ausprägung einer Entwicklung bewertet. Anschließend werden ausgewählte Entwicklungen mehreren Experteninterviews unterzogen, um Aufschluss über ihre Branchenrelevanz zu erhalten. In Kapitel 10 werden auf Basis der vorangegangenen Arbeit die behandelten Entwicklungen als branchenspezifische Innovationstreiber positioniert. Dabei wird ihre Wirkung und Kategorisierung innerhalb der Verfahrens- und Prozesstechnik diskutiert. Kapitel 11 bildet den Abschluss der Arbeit. In Form von Szenarien werden die behandelten, und aufgrund der Ergebnisse der Arbeit als relevant zu beurteilenden Entwicklungen aufbereitet. Sie zeigen auf, wie das Geschäftsumfeld der Branche aufgrund der identifizierten Aspekte in Zukunft aussehen kann und wie eine daran angepasste Verfahrens- und Prozesstechnik sich äußern könnte.

2 VERFAHRENSTECHNISCHE EINFÜHRUNG

Um die Grundlagen der beiden wesentlichen Elemente dieser Arbeit, Verfahrenstechnik und Innovation, aufzuzeigen, wird eine Einführung in diese Themen vorgestellt. Die darin vermittelten Konzepte sind auf diese Arbeit zugeschnitten und stellen nur einen Bruchteil dieser zwei sehr umfangreichen Themengebiete dar.

2.1 Verfahrenstechnik in der Industrie

Die Verfahrenstechnik ist eine ingenieurwissenschaftliche Disziplin, welche sich mit der technischen Durchführung von Verfahren befasst, Stoffe in ihrer Art, ihren Eigenschaften oder ihren Zusammensetzungen zu verändern.

Die Änderung der Stoffart umfasst physikalische, chemische und biologische Stoffumwandlungen. Beispiele dafür sind nukleare Konversion, Polymerisation und Gärung. Stoffeigenschaften, wie Partikelgröße oder Aggregatzustand, können durch Zerkleinern, Agglomerieren, Verdampfen oder Kondensieren beeinflusst werden. Eine Modifikation der Stoffzusammensetzung kann beispielsweise durch die Filtration einer Suspension, sowie die Rektifikation oder Extraktion eines Gemisches erfolgen.¹

Aus diesen Beispielen ist ersichtlich, dass neben ingenieurwissenschaftlichen Kenntnissen auch ein grundlegendes Verständnis der Chemie und Physik notwendig ist, um den Rahmen dieser Disziplin abzudecken. Dementsprechend erstreckt sich die Verfahrenstechnik neben ihrem Hauptanwendungsgebiet – der Großchemie – auch über die Bereiche Bergbau, Hütten- und Stahlindustrie, Erdölindustrie, Faserindustrie, Papierindustrie, Abwassertechnik, Luftreinhaltung, Lebensmitteltechnik, pharmazeutische Industrie, Elektronikindustrie und Biotechnologie. Schnitzer² weist die Notwendigkeit verfahrenstechnischer Prozesskenntnisse in Abbildung 2 dargestellten Branchen zu.

¹ Vgl. Schiefer (1970), S. 541.

² Vgl. Schnitzer (2009), S. 4.



Abbildung 2: Einsatzgebiete der Verfahrenstechnik, Quelle: In Anlehnung an Schnitzer (2009), S.4.

Die Aufgabengebiete der Verfahrenstechnik in diesen Branchen lassen sich folgendermaßen umreißen:³

- Erforschung von grundlegenden Zusammenhängen, um diese mathematisch zu erfassen
- Entwicklung eines zusammenhängenden Prozesses aus verschiedenen Verfahrensschritten
- Berechnung und Gestaltung von Maschinen und Apparaten
- Planung und Bau von Anlagen
- Betrieb und Optimierung von Anlagen

Viele Industrien sind von immer stärker werdender Prozessintegration betroffen. Ursache sind meist Fragestellungen der Effizienz, des Umweltschutzes und der Automatisierung. Dies führt dazu, dass verfahrenstechnische Ansätze auch in bisher weniger klassischen Anwendungsgebieten Einzug halten.

So spielen beispielsweise in der Automobilindustrie die Lackierung und Oberflächenbehandlung, sowie damit verbundene Prozess- und Umwelttechnologien, wie Abluftreinigung, das Schließen von Wasserkreisläufen oder die Wertstoffrückgewinnung, eine immer größere Rolle. Auch der steigende Anteil an nichtmetallischen Werkstoffen (z.B. Kunststoffe) erhöht den Bedarf an Prozesstechnologie in der Kraftfahrzeugherstellung.

Ein weiteres Beispiel ist die Elektronikindustrie. Die Herstellung von Leiterplatten und Halbleiterbauteilen ist heute viel stärker durch chemische und galvanische Verfahren geprägt, als durch Fertigungstechnologien wie Bohren oder Scheiden.⁴

Auch im Rahmen des industriellen Umweltschutzes erfährt die Verfahrenstechnik eine Ausweitung: Die Notwendigkeit zur Reduktion von Schadstoffen (hinsichtlich Schwermetalle, Lösungsmittel, etc.) sowie zur Einhaltung von Grenzwerten, führt dazu, dass Produktionsvorgänge als zusammenhängendes System betrachtet werden müssen. Der Nachweis über die Entsorgung bzw. den Verbleib kritischer Stoffe kann oft

³ Vgl. Schiefer (1970), S. 541.

⁴ Vgl. Schnitzer (2009), S. 1 f.

nur über die Bilanzierung dieser Stoffe geschehen.⁵ Um die Grundzüge dieser Methodentechnik zu vermitteln, soll im nächsten Kapitel eine exemplarische Bilanzierung des Planeten Erde vorgestellt werden. Dabei soll auf zwei wesentliche, einschränkende Faktoren der Verfahrenstechnik eingegangen werden: die Rohstoff- und die Schadstoffsituation unseres Planeten.

Zum einen beschäftigt sich die Verfahrenstechnik, wie oben erwähnt, mit dem Umwandeln von Stoffen. Die Ausgangsstoffe, die einem Prozess zur Weiterverarbeitung zugeführt werden, stammen ursprünglich aus dem Ressourcensystem unseres Planeten. Eine andere Quelle für Ausgangsstoffe ist dem Menschen momentan nicht zugänglich. Dementsprechend wirkt sich die Ressourcensituation der Erde limitierend auf die Möglichkeiten der Prozessführung seitens der Eingangsstoffe aus. Zum anderen landen die Erzeugnisse der Verfahrenstechnik im Ökosystem der Erde. Toxische chemische Verbindungen können erhebliche Langzeitfolgen auf unsere Umwelt haben. Daher sind die Schadstoffe, mit denen wir unseren Planeten belasten, der limitierende Faktor auf der Ausgangsseite eines Prozesses.

2.2 Die Erde als geschlossenes System

Die zunehmende Belastung der Erde durch die Spezies Mensch erfordert es, dass wir uns Gedanken über unser Handeln machen. Die Funktion technischer Prozesse fußt auf Rohstoffen, die die Erde über Jahrmillionen aufgebaut hat. Dabei entstehende Abfallstoffe dringen in das Ökosystem ein und stellen die Evolution vor eine große Herausforderung: Eine Veränderung der chemischen und physikalischen Umgebung innerhalb kürzester Zeit. Die fortschreitende Bevölkerungs- und Konsumzunahme lässt auf eine allgemeine Steigung dieser Belastung schließen.⁶ Daher gewinnen ökologische Maßnahmen, vor allem im technischen Bereich, stetig an Gewicht.

Um die Auswirkungen von industriellen Prozessen auf das Ökosystem der Erde zu verstehen, hilft ein Blick auf die grundlegenden Mechanismen von Stoffströmen auf unserem Planeten. Allgemein kann die Erde als geschlossenes System betrachtet werden.⁷ Dies ergibt sich zum einen aus der Tatsache, dass unser Planet keinen relevanten Massenaustausch mit seiner Umgebung, dem Weltall, vornimmt. Zum anderen kann er aber Energieströme aus seiner Umgebung aufnehmen und an seine Umgebung abgeben. Darunter fällt die Aufnahme von Sonnenenergie sowie die Abgabe von Strahlung an den Weltraum entsprechend der Oberflächentemperatur des Planeten. Abbildung 3 soll verdeutlichen, weshalb die Erde als geschlossenes System betrachtet werden kann.

⁵ Vgl. Schnitzer (2009), S. 5.

⁶ Vgl. Radermacher/Beyers (2007), S. 64.

⁷ Vgl. Schaub/Turek (2011), S. 6.



Abbildung 3: Planet Erde, Quelle: NASA [30.05.16].

Diese Betrachtungsweise spielt bei der Beurteilung der Ressourcensituation der Erde eine entscheidende Rolle. Kann beispielsweise keine Materie von außen in das System gelangen, so muss das System selbst für die Reproduktion von Lagerstätten sorgen. Zur Bildung von Rohstoffquellen sind allerdings treibende Kräfte notwendig. Diese Kräfte wiederum benötigen Energie, die entweder von außen auf das System wirken, oder im System selbst, zum Beispiel durch den Zerfall radioaktiver Elemente, generiert wird. Bei wirtschaftlich nutzbaren Lagerstätten handelt es sich in der Regel um Orte, wo eine erhöhte Konzentration eines Stoffes vorliegt. Solche Materie-Heterogenitäten erfordern zur Bildung einer Energiequelle, sofern die Materie nicht in konzentrierter Form von außen in das System eingebracht wird.

Die Verteilung von Materie kann als Unordnung im Sinne von hoher Entropie verstanden werden.⁸ Ist die Unordnung in einem System hoch, so ist die Entropie hoch. Bei einem hohen Grad an Ordnung ist die Entropie gering. Ein hoher Grad an Ordnung kann beispielsweise das konzentrierte Vorkommen eines Rohstoffes an einem Ort sein.

Entsprechend dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik kann sich die Entropie in einem System nicht von selbst verringern. Um die Entropie eines Systems zu verringern, ist immer die Zufuhr von Arbeit notwendig.⁹ Im Gegensatz dazu kann die Entropie jedoch von selbst zunehmen. Beispiele dafür sind das Mischen von Stoffen aufgrund von Konzentrationsgradienten, oder die Entstehung von Reibungswärme in reibungsbehafteten Systemen.

⁸ Vgl. Holleman/Wiberg, E./Wiberg, N. (2007), S. 50.

⁹ Vgl. Schnitzer (2009), S. 46.

Ohne Energiezufuhr in das System Erde, würde sich – nach dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik – also eine Homogenisierung der Stoffverteilungen einstellen. Unser Planet könnte nicht von selbst neue Lagerstätten bilden.

Die in das System Erde zugeführten Energien setzen Prozesse in Gang, die für die Verringerung der Entropie in unserem Lebensraum zuständig sind. So ermöglicht die einfallende Sonnenenergie die Photosynthese der Pflanzen. Diese binden den Kohlenstoff der Atmosphäre und bilden Zellulose, in welcher der Kohlenstoff in erhöhter Konzentration, verglichen zur Atmosphäre, vorliegt. Die im Kern unseres Planeten gespeicherte Wärmeenergie, bzw. die durch radioaktiven Zerfall entstehende Wärme, treibt geologische Prozesse an, welche die Bildung von Metalladern ermöglichen.

Um diese Energien zu erfassen, wird die Erde als ein geschlossenes System bilanziert. Das heißt, es findet nur eine Betrachtung von Energieströmen, aber nicht von Masseströmen statt.

2.2.1 Energiebilanz der Erde

Im Rahmen der Energiebilanz sind die auf die Erde einwirkende Strahlungsenergie der Sonne, sowie die an den Weltraum abgegebene Strahlungswärme, wichtige Komponenten. Die Erde fungiert hierbei als Energie-Konverter. Die von der Sonne ankommende, kurzwellige Strahlung wird von den Pflanzen des Planeten aufgenommen und mithilfe der Photosynthese chemisch in Form von Biomasse gespeichert. Ebenso bildet Sonnenenergie auch die Basis für die mechanische Energie, welche in Flüssen, Winden und Ozeanströmungen zum Ausdruck kommt.¹⁰ Die nach der Energieumwandlung von der Erde emittierte Strahlung weist eine erhöhte Wellenlänge auf. Diese wird von der Erdatmosphäre zum Teil absorbiert und auf die Oberfläche rückemittiert, was zur Bildung des Treibhauseffektes führt. Abbildung 4 stellt den Strahlungseinfall und -ausfall auf unseren Planeten dar, sowie die im Kern entstehende Wärme \dot{Q}_{RADIO} durch den radioaktiven Zerfall von Isotopen und den Wärmespeicher $\frac{dQ_{PUFFER}}{dt}$ der Erde.

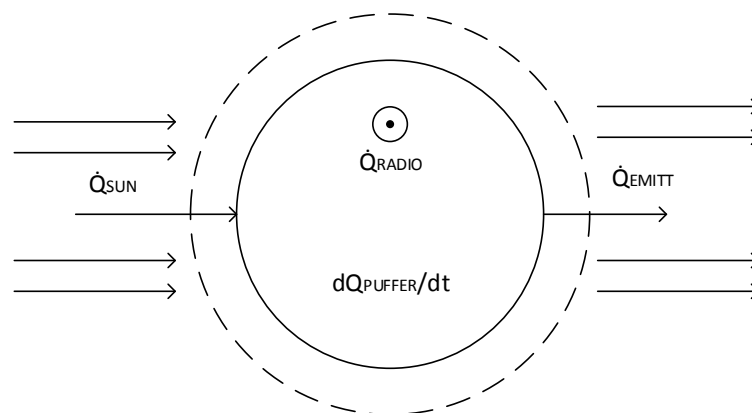


Abbildung 4: Modell zur Bilanzierung der Erde als geschlossenes System, Quelle: Eigene Darstellung.

¹⁰ Vgl. Schaub/Turek (2011), S. 54.

Die Strahlungsenergie der Sonne ist vor allem für die Bildung biologischer Lagerstätten relevant. Am wichtigsten ist der Biomassezuwachs in Form von Zellulose zur energetischen und stofflichen Verwertung durch den Menschen. Aber auch die Entstehung von heute genutzten Kohle-, Erdöl- und Erdgaslagerstätten wäre ohne Photosynthese nicht möglich gewesen.

Zur Bildung mineralischer Lagerstätten ist die im Planetenkern gespeicherte Wärmeenergie notwendig. Erst durch die durch radioaktiven Zerfall entstehende Wärme, kommt es zu Schmelzvorgängen und anschließendem Bilden von Lagerstätten durch Seigerungs-Effekte, also örtliches Zusammenfinden von Stoffen mit ähnlichen Eigenschaften, z.B. Dichte. Die durch die Wärme entstehenden Konvektionsbewegungen im Mantel der Erde führen zur Plattentektonik, welche die entstandenen Lagerstätten für den Menschen zugänglich macht.

Aus den in diesem Szenario betrachteten Wärmeströmen ergibt sich, auf Basis von Abbildung 4, die folgende Energiebilanz:

$$\dot{Q}_{EMITT} - \dot{Q}_{SONNE} - \dot{Q}_{RADIO} = -\frac{dQ_{PUFFER}}{dt} \quad (1)$$

\dot{Q}_{EMITT}/W	emittierte Wärmeleistung
\dot{Q}_{SONNE}/W	einfallende Wärmeleistung der Sonne
\dot{Q}_{RADIO}/W	Wärmeleistung durch radioaktiven Zerfall
$\frac{dQ_{PUFFER}}{dt}/W$	zeitlich variierende Pufferwärme

Dabei stellt \dot{Q}_{EMITT} die von der Erde in den Weltraum abgestrahlte Wärmemenge und \dot{Q}_{SONNE} die von der Sonne einfallende Strahlungsenergie dar. \dot{Q}_{RADIO} ist der durch den radioaktiven Zerfall im Erdkern erzeugte Wärmestrom, und $\frac{dQ_{PUFFER}}{dt}$ ist die Veränderung der im Planeten gespeicherten Wärmemenge.

2.2.2 Interpretation gesellschaftlicher Herausforderungen aus prozesstechnologischer Sicht

Die Betrachtung der Erde als geschlossenes System ist eine wesentliche Herausforderung, um aktuelle technoökonomisch-soziale Herausforderungen zu verstehen. Die zunehmende Verknappung von Ressourcen sowie die Belastung der Umwelt mit Schadstoffen sind prominente Beispiele dafür. Beide stehen in engem Kontext mit industrieller Produktion und sind vor allem für die Verfahrens- und Prozesstechnik von sehr hoher und stetig steigender Priorität.

2.2.2.1 Verknappung von Ressourcen

Die Verfügbarkeit von Ressourcen wird in Zukunft an Bedeutung gewinnen, insbesondere, weil sich unser Planet bereits heute nicht mehr schnell genug regenerieren kann. So benötigt er beispielsweise heute be-

reits 1,2 Jahre, um zu reproduzieren, was der Mensch in einem Jahr konsumiert, Holz schlägt, oder Kohlendioxid an in die Atmosphäre entlässt.¹¹ Zum anderen steht uns eine stete Zunahme der Weltbevölkerung bevor: Entwicklungsländer ziehen den westlichen Ländern nach und erhöhen ihren eigenen Ressourcenverbrauch. Momentan verbrauchen 20 Prozent der Weltbevölkerung 80 Prozent der geförderten Ressourcen. Zukünftig werden deutlich mehr Menschen auf dem Niveau dieser heutigen 20 Prozent leben.¹²

Da es sich bei dem System Erde, wie in Kapitel 2.2.1 beschrieben, um ein geschlossenes System handelt, sind die Atommengen-Bilanzen eines jeden Elementes geschlossen, sprich ergeben sich zu null. Formale Voraussetzung dafür ist, dass nukleare Vorgänge wie Isotopenzerfall oder Kernfusion nicht betrachtet bzw. ausgeschlossen werden. Damit ist kein Massezuwachs oder -verfall der Erde im Rahmen der Betrachtungen möglich. Alle zur Verfügung stehenden mineralischen Ressourcen sind also nur jene, die bereits in unserem Planeten vorhanden sind.

Sind radioaktive Zerfallsvorgänge als relevant zu betrachten, findet eine Umwandlung von Masse in Energie entsprechend $E = mc^2$ statt. Dies führt zum einen zu einer Wärmequelle im Erdkern, wie in Abbildung 4 dargestellt. Zum anderen sind durch den Massezerfall keine geschlossenen Atommengen- und Massebilanzen mehr möglich.

Geologische Prozesse, getrieben von der Wärmeenergie im Kern unseres Planeten, können die Entropie in der Erdkruste verringern. Wird der Zeitraum der Betrachtungen im Rahmen eines oder mehrerer Menschenleben gewählt, so ist diese Zeit zu kurz, um geologische Prozesse mit einzuschließen. Daher kann es zu keiner natürlichen, geologisch bedingten Neubildung der bisher genutzten mineralischen Lagerstätten im Betrachtungszeitraum mehrerer Menschengenerationen kommen. Daraus folgt, dass zugängliche mineralische Ressourcen zunehmend in kleineren Lagerstätten vorkommen werden. Die Entropie nimmt zu, der Ordnungsgrad der mineralischen Ressourcen nimmt entsprechend ab.

Eine beispielhafte Interpretation dieser Entropiezunahme ist, dass vermehrt wertvolle Metalle in schwer aufbereitem Abfall vorkommen, anstatt in konzentrierter Form in leicht zugänglichen Quellen. In diesen Rahmen der Betrachtung fallen ebenso Kohle-, Erdgas- und Erdöllagerstätten, da sie zur Bildung ebenfalls geologischer Prozesse bedürfen.

Organische Lagerstätten, mit Ausnahme von Kohle, Erdgas und Erdöl, können sich bei diesem Betrachtungszugang neu bilden. Da der Photosynthese-Prozess deutlich schneller abläuft, als geologische Prozesse, kann dieser als aktives Element des Betrachtungszeitraumes mehrerer Menschengenerationen angenommen werden. Dadurch ist es möglich, dass sich die Entropie der Ressource Biomasse, sowie ihrer atomaren Bestandteile, verringert, solange die äußere Energiequelle Sonne zur Verfügung steht.

Die Verfügbarkeit bestimmter Ressourcen wird in Zukunft eine wesentliche Triebkraft für Gesellschaft und Technologie sein. Die Verknappung zugänglicher Lagerstätten wird dazu führen, dass Technologien, die

¹¹ Vgl. Radermacher/Beyers (2007), S. 64.

¹² Vgl. Radermacher/Beyers (2007), S. 64.

heute nicht wirtschaftlich sind, oder noch in den Kinderschuhen stecken, ein selbstverständlicher Bestandteil unseres zukünftigen Alltages sein werden.

2.2.2.2 Schadstoffbelastung der Umwelt

Die Belastung der Umwelt mit Kohlendioxid aus fossilen Quellen stellt heute die größte Herausforderung für unsere Biosphäre dar. Der daraus resultierende Klimawandel und dessen Wetterextreme, wie Hitzeperioden, Überschwemmungen und Bodenerosion, wird auch ein weltwirtschaftliches Problem werden: Allein für Deutschland geht das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung von Folgeschäden eines ungebrems-ten Klimawandels in der Höhe von 330 Mrd. Euro bis zum Jahr 2050 aus.¹³

Die Betrachtung der Erde als geschlossenes System hat zur Folge, dass keine Abführung von Schadstoffen aus dem System möglich ist. Bestenfalls eine Umwandlung bzw. Zersetzung der in die Umwelt eingebrachten Schadstoffe in andere Stoffe ist denkbar. Da geologische Prozesse, wie oben erwähnt, aus Zeitgründen ausgeschlossen werden können, bleibt als Möglichkeit nur die Umwandlung durch biologisch-organische Prozesse, natürlich vorkommende anorganische Prozesse, oder technologische Verfahren. Allerdings ist zu bedenken, dass Schadstoffe meist technisch unverwertbare Reststoffe sind, die bereits eine sehr hohe chemische Bindungsenergie aufweisen. Am Beispiel des Kohlendioxids mit einer Standardbildungsenthalpie mit 393,77 kJ/mol¹⁴ ergibt sich eine Energiemenge von 8,95 GJ, die zur Aufspaltung einer Tonne CO₂ in Kohlenstoff- und Sauerstoffatome, notwendig ist. Für die freigesetzte Menge eines Kraftwerkes wie jenes in Mellach, Steiermark, mit einer Leistung von 800 MW und einer Emission von 350 gCO₂/kWh¹⁵, würde das bei einem Strompreis von 10 ct/kWh einen finanziellen Aufwand von über 1,6 Mio. Euro je Tag bedeuten. Abgesehen davon, müsste der Strom aus kohlendioxidemissionsfreien Quellen stammen, um den globalen CO₂-Ausstoß zu unterbinden.

Eine Technologie zur Umwandlung von Schadstoffen ist daher in der Regel unwirtschaftlich und energetisch nicht sinnvoll. Um eine dauerhafte Anreicherung von Schadstoffen in der Biosphäre der Erde zu verhindern, ist es am sinnvollsten, grundsätzlich die Emission von Schadstoffen weitestgehend zu unterbinden.

Um Aussagen über die Auswirkungen zunehmender Umweltverschmutzung oder Ressourcenverknappung auf die verfahrenstechnische Industrie machen zu können, ist es wichtig, Zusammenhänge und Konsequenzen zukünftiger Einflüsse abschätzen zu können. Im nächsten Kapitel werden daher die Grundlagen der Zukunftsforschung angeschnitten und die Charakteristika von einflussnehmenden Treibern und Trends erörtert.

¹³ Vgl. Hennike/Fischedick (2007), S. 27.

¹⁴ Vgl. Holleman/Wiberg, E./Wiberg, N. (2007) S. 49.

¹⁵ Vgl. Verbund (Hrsg.) (2012), S. 8.

3 BEGRIFFSBESTIMMUNGEN DER INNOVATIONSFORSCHUNG

Die Innovationsforschung ist ein umfangreiches und interdisziplinäres Themengebiet. Ebenso wie die Verfahrenstechnik, bemüht sich vieler Methoden und Erkenntnisse anderer wissenschaftlicher Disziplinen. Im Folgenden werden für diese Arbeit wesentliche Aspekte der Innovationsforschung hervorgehoben und diskutiert. Neben der Zukunftsforschung sind dabei vor allem soziale Trends sowie die Treiber von Innovationen von Interesse.

3.1 Zukunftsforschung

Die Zukunftsforschung beschäftigt sich mit der Untersuchung möglicher zukünftiger Entwicklungen. Es wird versucht, mittels Extrapolationen das Eintreten von möglichen, wünschenswerten oder wahrscheinlichen Zukunftsvarianten abzuschätzen.¹⁶ Sie befasst sich mit großen sozialen, kulturellen, technischen und ökologischen Problemen, mit dem Ziel, alternative Zukünfte abzubilden. Häufig werden dabei nicht nur einzelne Felder alleinstehend betrachtet, sondern das Systemverhalten mehrerer, zusammenhängender Themengebiete.¹⁷ Dabei ist nicht der Sachverhalt der Zukunft selbst das Arbeitsfeld, sondern die Aussagen über diese möglichen Sachverhalte.¹⁸

Ein entscheidendes Charakteristikum dieser Forschung ist, dass die Zukunft selbst nicht direkt zugänglich ist. Daher müssen Aussagen auf Basis der aktuellen Gegenwart getroffen werden. Das "Jetzt" dient als Erfahrungsgrundlage und steckt sozusagen die Rahmenbedingungen für Aussagen einer möglichen Zukunft ab. Daher kann keine Aussage getroffen werden, wie etwas in 50 Jahren "wirklich" sein wird, sondern nur darüber, wie es heute vorstellbar ist, dass es sein kann.¹⁹

Darin liegen auch die Kriterien, weshalb die Zukunftsforschung es schwer hat, den klassischen Begriff der Wissenschaftlichkeit zu erfüllen:²⁰ Zum einen soll die Zukunft erforscht werden, die allerdings noch gar nicht existiert. Das Erforschen einer noch nicht existenten Sache ist demnach als schwer argumentierbar zu sehen. Zum anderen ist das gängige Kriterium der Wissenschaftlichkeit die Falsifizierbarkeit. Dies ist allerdings bei der Erforschung nicht gegeben, da die Zukunft zu diesem Zeitpunkt nicht zugänglich ist.

¹⁶ Vgl. Tiberius (2011), S. 41.

¹⁷ Vgl. Tiberius (2011), S. 44.

¹⁸ Vgl. Tiberius (2011), S. 42.

¹⁹ Vgl. acatech (Hrsg.) (2012), S. 11.

²⁰ Vgl. Popp/Schüll (2009), S. 26.

Ebenso wird die Wissenschaftlichkeit der Zukunftsforschung von ihrem öffentlichen Bild beeinträchtigt:²¹ In den Medien wird sie der Gesellschaft meistens in Form von reißerischen Visionen und Trends präsentiert. Damit übersteigt der Unterhaltungswert die wissenschaftliche Fundierung ihrer Thesen allzu oft. Damit ist auch eine wesentliche Unterscheidung zwischen wissenschaftlicher Zukunftsforschung und der in der Öffentlichkeit vernommenen Sammlung von Trends zu ziehen. Unzureichend belegte oder subjektive und spektakuläre Trends sowie vermeintliche Prognosen dürfen nicht die Basis sein, auf der wissenschaftliche Zukunftsforschung ruht. Vielmehr muss diese auf den wissenschaftlichen Erkenntnissen der Gegenwart der relevanten Disziplinen basieren.²²

Auf der Annahme, dass Zukunft *per se* etwas Erforschbares ist, schlagen Popp und Schüll²³ vor, die Zukunftsforschung folgendermaßen zu beschreiben:

- Die erforschbare Zukunft ist kein Teil einer zukünftigen Zeit, sondern sie fußt auf der heutigen Gegenwart.
- Die Zukunftsforschung ist daher keine Erforschung von der Zukunft, sondern die Erforschung von jenen Bildern, die wir uns von ihr aufgrund der heutigen Gegenwart von ihr machen.

Einhergehend mit dieser Sichtweise kann im Rahmen der Zukunftsforschung nicht von einer einzigen Zukunft gesprochen werden, sondern von vielen möglichen Zukünften.²⁴ Es ist schlicht nicht möglich zu sagen, wie einzelne Sachverhalte sein werden, sondern nur, wie sie sich aufgrund der Gegenwart entwickeln können.

Tiberius²⁵ nimmt dazu eine zeitliche Einteilung des Blickes in mögliche Zukünfte folgendermaßen vor:

- Eine kurzfristige Betrachtung, also fünf bis zehn Jahre
- eine Generationenbetrachtung, also 25 bis 30 Jahre
- einen Zeitraum, der ein Menschenleben übersteigt, z.B. die Länge eines Kondratieff-Zyklus

In der vorliegenden Arbeit wird ein Betrachtungshorizont von 15 Jahren verwendet. Damit soll zum einen verhindert werden, dass nur kleine Entwicklungen der nächsten Jahre betrachtet, sondern auch grundlegendere Umwälzungen erfasst werden. Zum anderen sollen die Ergebnisse ausreichend nah an der Gegenwart liegen, um konkrete Aussagen über Branchenveränderungen zu gewährleisten.

²¹ Vgl. Zweck (2010), S. 51.

²² Vgl. Zweck (2010), S. 53 f.

²³ Vgl. Popp/Schüll (2009), S. 26.

²⁴ Vgl. acatech (Hrsg.) (2012), S. 12.

²⁵ Vgl. Tiberius (2011), S. 45.

3.1.1 Erkenntnisziele der Zukunftsforschung

Grundlegend ist, dass eine exakte Vorhersage der Zukunft nicht möglich ist, da die Richtigkeit einer Aussage zum jetzigen Zeitpunkt nicht überprüft werden kann. Daher steht im Zentrum des wissenschaftlichen Erkenntnisinteresses die Vorausschau, was passieren kann, und nicht das Vorwissen, was passieren wird.²⁶

Die Aussagen, welche im Rahmen der Zukunftsforschung getroffen werden, können mehrere Komponenten aufweisen. Tiberius²⁷ unterscheidet zwischen einem *deskriptiven* (Wie sieht die Zukunft aus?), einem *theoretischen* (Warum sieht die Zukunft so aus?) und einem *pragmatischen* (Was kann zur Bildung/Vermeidung einer bestimmten Zukunft beigetragen werden?) Erkenntnisziel:

- Als deskriptives Erkenntnisziel kann die Beschreibung von alternativen Zukünften verstanden werden. Es soll dargestellt werden, wie mögliche Zukünfte aussehen könnten. Dies kann geschehen, indem man die Zukunftsforschung sowohl als ein Instrument zur Erkundung, als auch zur Konstruktion möglicher oder idealer Verlaufspfade betrachtet. Ohne den Anspruch auf wahrheitsgetreue Abbildung sollen sie der Erklärung möglicher Zukünfte dienen.
- Das theoretische Erkenntnisziel besteht in der Erklärung des Zustandekommens möglicher Zukünfte. Es soll der Entwicklungsprozess zu einem bestimmten Zustand, und die Konstruktion der Pfade, die zu ihm führen, beschrieben werden. Die Veranschaulichung dieser Zukunftsgenese stellt eine zentrale Aufgabe der Zukunftsforschung dar. Dabei werden Zusammenhänge zwischen Voraussetzungen und Konsequenzen hergestellt. Im einfachsten Fall werden sie als Wenn-Dann-Beziehungen formuliert.
- Das pragmatische Erkenntnisziel stellt die Bewertung und Gestaltung von wünschenswerten Zukünften dar. Dieses Ziel resultiert aus dem praktischen Ansatz der Zukunftsforschung, bei dem es vor allem um die Realisierung von Planung geht. Voraussetzung dafür ist, zu wissen, wohin die Reise wünschenswert gehen soll. Das pragmatische Ziel ist dabei stark mit dem deskriptiven und theoretischen Ziel verwoben, denn jede beabsichtigte Planung in der Zukunft erfordert Kenntnis über die Bedingungen sowie über die Wege, die eine optimale Umsetzung der Planung ermöglichen.

Vor diesem Hintergrund ist jedoch nochmals festzuhalten, dass sich die Wissenschaftlichkeit bei der Erstellung von Zukünften, speziell von Technikzukünften, nicht daran bemisst, dass diese tatsächlich eintreten. Vielmehr äußert sich die Wissenschaftlichkeit in der Qualität des Entstehungsprozesses und der methodischen Vorgehensweise, sowie der Qualität der verwendeten Annahmen und der Wissensbestände.²⁸

²⁶ Vgl. Tiberius (2011), S. 46.

²⁷ Vgl. Tiberius (2011), S. 47 ff.

²⁸ Vgl. acatech (Hrsg.) (2012), S. 39.

3.1.2 Vorgehensweise der Zukunftsforschung

Die Vorgehensweise der Erforschung eines zukünftigen Sachverhalts kann als Prozess wie jedes andere Projekt verstanden werden. Das Erstellen der Zukunftsbilder an sich stellt dabei nur einen Teil dieses Prozesses dar, wie in Abbildung 5 zu sehen ist.

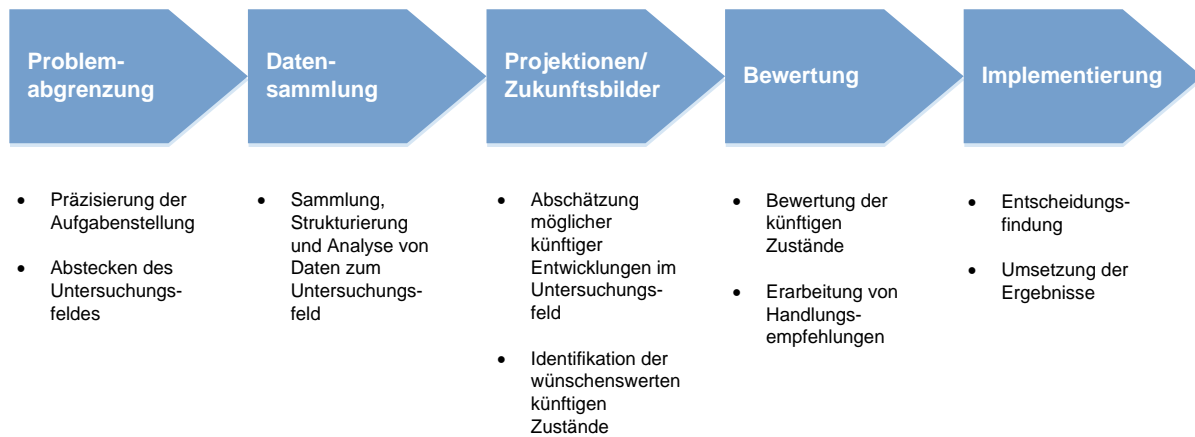


Abbildung 5: Vorgehensweise bei der Zukunftsforschung, Quelle: Möhrle/Isenmann (2008), S.99 (leicht modifiziert).

Ausgangspunkt des Bedarfs nach Zukunftsforschung ist das Bestehen eines bestimmten Problems. Dieses muss möglichst konkretisiert werden und von anderen Themen durch eine exakte Fragestellung abgegrenzt werden. Nur so kann davon ausgegangen werden, dass verwertbare Ergebnisse dem Prozess entspringen.²⁹

Darauf folgend findet ein Zusammentragen relevanter Informationen und Daten statt. Diese werden in der Regel durch Interviews von Experten oder Trendrecherchen und Expertenprognosen ermittelt. Zweck³⁰ verweist darauf, dass die Wissenschaftlichkeit der Quellen eine große Rolle spielt, vor allem in Hinblick auf unzureichend belegte oder subjektive und spektakuläre Trends.

Auf Basis der daraus erhaltenen Wissensbestände wird ein Bild der Zukunft gezeichnet. Dazu sind grundsätzlich verschiedene Methoden verfügbar. Kapitel 3.1.3 stellt einen Auszug üblicher Methoden der Zukunftsforschung vor.

Zur unternehmerischen Verwertung der aus diesem Vorgang gewonnenen Informationen ist eine Bewertung der erarbeiteten Zukunftsbilder notwendig. Die Zukunftsforschung stellt in der unternehmerischen Praxis eine Methode zur Planung von strategischen Entscheidungen dar.³¹ Daher resultieren ihre Ergebnisse in der Regel in strategischen Handlungsempfehlungen.

Die anschließende Implementierung stellt die Umsetzung der Handlungsempfehlungen in konkrete unternehmensinterne Maßnahmen dar.

²⁹ Vgl. Kolbusa (2013), S. 60.

³⁰ Vgl. Zweck (2010), S. 54.

³¹ Zweck (2010), S.50.

3.1.3 Erkenntnismethoden und Prognosetechniken der Zukunftsforschung

Die Zukunftsforschung wird vielfach als Methodenwissenschaft betrachtet, daher stellt die Seriosität der Wege des Erkenntnisgewinns eine wesentliche Forderung dar. Es gibt eine große Anzahl von Methoden in der Zukunftsforschung, allerdings stammen die meisten von ihnen aus anderen Wissenschaftsdisziplinen. Festzuhalten ist, dass kein Werkzeug gleichermaßen gut auf alle Fragestellungen anzuwenden ist, sondern jedes spezifische Vor- und Nachteile aufweist.³² Keine der Methoden ist jedoch in der Lage, die Zukunft exakt und unzweifelhaft vorauszusagen.

Zweck³³ sieht die in der Zukunftsforschung verwendeten Methoden nur als eine Ergänzung, um Informationslücken zu schließen. Er verweist darauf, dass es in der Zukunftsforschung um das Aufgreifen und das Zusammenführen von wissenschaftlichen Erkenntnissen verschiedener Fachdisziplinen auf bestimmte Zukunftsfragen hin, geht. Somit ist in erster Linie eine Übersicht und Kenntnis über die bestehenden Wissensstände der geforderten Disziplinen notwendig. Der Methodeneinsatz hat nur eine ergänzende Wirkung.

Eine Einteilung dieser Methoden kann unter folgenden Gesichtspunkten stattfinden:

- Es kann zwischen quantitativen und qualitativen Methoden unterschieden werden. Unter quantitativ ist der Einsatz von mathematischen Hilfsmitteln zu verstehen, während qualitativ auf den Verzicht von Mathematik, allerdings auf die Verwendung von Logik, Diskurs und Intuition referenziert.³⁴
- Explorative Methoden liefern Aussagen über weitestgehend unbekannte Sachverhalte, während normative Methoden nicht nur rein analytisch vorgehen, sondern auch Soll-Vorstellungen bewerten. Allerdings ist davon auszugehen, dass zukunfts wissenschaftliche Methoden durch den Anwender stets wertbeladen sind. So können auch die mathematisch ausgefeiltesten Vorgehensweisen einen normativen Kern aufweisen.³⁵

Die Verwendung solcher Methoden hat im weitesten Sinne einen einzigen Grund: Um eine *Prognose* von der Zukunft zu machen. Die Prognose stellt die wissenschaftlich fundierte Art und Weise dar, eine Aussage über die Zukunft zu erhalten. Sie behilft sich dabei der Verwendung einer Vielzahl an Methoden, um Entwicklungen in die, oder Zuständen in der Zukunft eine möglichst solide Basis zu geben. Prognosen können sowohl qualitativer als auch quantitativer Natur sein.

Erstere sind Aussagen von Experten, beruhend auf deren Erfahrungswissen. Diese Vorgehensweise ist vor allem für die Klärung komplexer Zusammenhänge, die mit hohen Unsicherheiten behaftet sind, empfehlenswert. Sie liefert keine quantifizierbaren Zusammenhänge, jedoch ein besseres Verständnis der in

³² Vgl. Tiberius (2011), S. 60.

³³ Vgl. Zweck (2010), S. 53.

³⁴ Vgl. Tiberius (2011), S. 61.

³⁵ Vgl. Tiberius (2011), S. 61.

Zukunft relevanten Faktoren.³⁶ In diese Kategorie ist auch die in Kapitel 5.2.2 vorgestellte Delphi-Methode einzugliedern.

Quantitative Prognosen hingegen basieren in der Regel auf der Extrapolation von Zeit-Daten-Paaren. Als klassisches Beispiel stellt die Trendextrapolation eine Verlängerung der Zeitachse des Geschehenen in die Zukunft dar.³⁷ Eine solche Vorgehensweise ist vor allem dann sinnvoll, wenn eine geringe Unsicherheit der zu prognostizierenden Faktoren vorliegt.³⁸

Nachfolgend werden Methoden vorgestellt, die bei der Erstellung von Prognosen in der Zukunftsforschung praktische Anwendung finden. Neben ihrem Aufbau und der Durchführung sind vor allem die theoretischen Überlegungen, die ihnen zugrunde liegen, von Interesse.

3.1.3.1 Trendextrapolation

Die Trendextrapolation stellt eine Verlängerung der Zeitachse des Geschehenen dar. Dabei werden Beobachtungswerte aus der Vergangenheit betrachtet und die erkannten Trends in die Zukunft projiziert. Diese Projektion erfolgt in der Regel statistisch auf Basis von linearen oder nichtlinearen Regressionen vorhandener Datensätze. Voraussetzung für eine sinnvolle Extrapolation ist, dass diese auf validen Zeitreihen beruhen.³⁹

Das Problem dieses Verfahrens stellt der Fakt dar, dass Entwicklungen nicht immer kontinuierlich verlaufen, sondern grundsätzliche Richtungswechsel erleben können. Das Prinzip der Trendextrapolation kann diese Tatsache nicht angemessen berücksichtigen.⁴⁰ Allerdings ist sie das grundlegende Werkzeug, mit dem Aussagen über die Zukunft gemacht werden, denn sie liefert zumindest kurz- bis mittelfristig brauchbare Orientierungen.

3.1.3.2 Cross-Impact-Analyse

Um den Zusammenhang möglicher zukünftiger Ereignisse zu untersuchen, kann die Cross-Impact-Analyse verwendet werden. In Form einer Matrix können Wechselwirkungen von Parametern aus verschiedenen Bereichen veranschaulicht werden. Die Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten eines Ereignisses können das Ergebnis von Experteninterviews sein. Eine Schwäche ist, dass jeweils nur Ereignispaare miteinander ins Verhältnis gesetzt werden können, die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses also nicht von zwei oder mehreren veränderlichen Parametern untersucht werden kann.⁴¹

Tabelle 1 zeigt eine beispielhafte Cross-Impact-Analyse und soll verdeutlichen, dass die Zusammenhänge der Eintrittswahrscheinlichkeiten von Ereignissen komplex sind und schwer zu fassen sein können. Die allgemeine Eintrittswahrscheinlichkeit für Ereignis 1 liegt im Beispiel bei 10 %. Tritt jedoch Ereignis 2 ein,

³⁶ Vgl. Hungenberg (2014), S. 180.

³⁷ Vgl. Tiberius (2011), S.48.

³⁸ Vgl. Hungenberg (2014), S. 179.

³⁹ Vgl. Möhrle/Isenmann (2008), S. 94 f.

⁴⁰ Vgl. Tiberius (2011), S. 62 f.

⁴¹ Vgl. Tiberius (2011), S. 64 f.

steigt die Wahrscheinlichkeit, dass Ereignis 1 eintritt auf 20 % an. Beim Eintreten von Ereignis 3 steigt sie auf 45 % an.

	generelle Eintrittswahrscheinlichkeit	Eintrittswahrscheinlichkeit, dass Ereignis 1 eintritt	Eintrittswahrscheinlichkeit, dass Ereignis 2 eintritt	Eintrittswahrscheinlichkeit, dass Ereignis 3 eintritt
Ereignis 1	0,10	X	0,50	0,55
Ereignis 2	0,55	0,20	X	0,30
Ereignis 3	0,70	0,45	0,80	X

Tabelle 1: Schema einer Cross-Impact-Analyse, Quelle: Tiberius (2011), S. 65 (leicht modifiziert).

3.1.3.3 Szenariotechnik

Ein Szenario ist ein mögliches Zukunftsbild, das auf Basis einer Variablenkonstellation kreiert wird. Es ist ein mentales Konstrukt, das dazu dient, in der Gegenwart bessere Entscheidungen zu treffen. Szenarien können sowohl explorativen als auch normativen Charakter haben. Grundsätzlich sind viele verschiedene Szenarien denkbar. Der klassische Fall⁴² besteht darin, 3 Szenarien zu generieren: ein *best-case*-, ein *worst-case*-, sowie ein *realistic-case*-Szenario. Hungenberg⁴³ hingegen empfiehlt, zwei oder vier Szenarien zu bilden, um eben genau diesem Denken in *best-case*-, *worst-case*- und *realistic-case*-Szenarien zu entgegen.

Im Rahmen einer vorhergehenden Untersuchung ist die Durchführung einer PESTEL-Analyse eine Möglichkeit, um die Rahmenvariablen zur Szenariobildung zu finden.⁴⁴ Die PESTEL-Analyse ist ein Modell zur Durchführung einer Umfeldanalyse. Sie bildet mehrere Faktoren ab, welche das Aussehen eines Marktes bestimmen. Dazu gehören politische, ökonomische, soziokulturelle, technische, ökologische und rechtliche Faktoren.

3.1.3.4 Roadmapping

Diese Methode ist geeignet, um die Plausibilität von Planungszielen zu prüfen. Dies geschieht durch das Aufzeigen von möglichen Wegen in die Zukunft. Eine wesentliche Unterscheidung ist zwischen einer endpunktgesteuerten Roadmap und einer startpunktbezogenen Roadmap zu treffen. Während erstere mehrere mögliche Wege aufzeigt, um einen bestimmten Endpunkt in der Zukunft zu erreichen, beschreibt letztere die möglichen Entwicklungswege von einem festgesetzten Startpunkt der Gegenwart weg.⁴⁵

⁴² Vgl. Kerth/Asum/Stich (2011), S. 228; Tiberius (2011), S. 66.

⁴³ Vgl. Hungenberg (2014), S. 183.

⁴⁴ Vgl. Kappaun (2016), S. 8.

⁴⁵ Vgl. acatech (Hrsg.) (2012), S. 28.

Wie aufgezeigt, ist die Zukunftsforschung also eine Disziplin, in der Annahmen über zukünftige Entwicklungen aufgrund von historischen Daten und erwarteten Entwicklungen getroffen werden. Dabei ist nicht nur die Beschreibung von möglichen Entwicklungsrichtungen interessant, sondern auch deren Zustandekommen, sowie das aktive Mitgestalten, um eigene Interessen umzusetzen. Die vorgestellten Methoden sind Werkzeuge, um einen systematischen Zugang zur Zukunftsforschung zu erhalten. Sie sollen einen Eindruck vermitteln, wie umfassend der Blick in die Zukunft sein muss, um den Großteil der relevanten Einflussfaktoren zu berücksichtigen. Im anschließenden Kapitel werden Größen betrachtet, die mit derartigen Methoden untersucht werden können.

3.2 Trends und Treiber

Der Erfolg von Innovationen kann auf verschiedenen Ursachen fußen. In den folgenden Kapiteln werden Faktoren diskutiert, die maßgeblichen Einfluss auf Innovationen haben. Dabei werden soziokulturelle Trends, unternehmensexterne Innovationstreiber sowie ihre Zusammenhänge näher erläutert.

3.2.1 Trends

Wie oben aufgezeigt, verwendet die Zukunftsforschung historische Entwicklungen, um Aussagen über mögliche Zukunftsvarianten zu treffen. Ein Werkzeug zur Beschreibung der Entwicklung von Zuständen ist der Trend. Dieser ist ein in der Soziologie verwendeter Begriff zur Darstellung von Veränderungsbewegungen und -prozessen. Er wird als eine aktuell gültige Auffassung oder ein Paradigma in Gesellschaft, Wirtschaft oder Technologie verstanden. Die Auswirkungen spiegeln sich im Verhalten des Menschen wider: Wie er isst, welche Medikamente, Kleidung und Statussymbole er kauft, wie er wohnt oder wie er arbeitet, und wo er das alles macht.⁴⁶

Die Kenntnis von langfristigen Trends bildet die Grundlage für strategische Fragestellungen in Unternehmen: Wie soll die zukünftige Konzentration von Unternehmensaktivitäten auf neue Produktgruppen, Konsumentengruppen, Ländermärkte oder strategische Kooperationen aussehen?⁴⁷

Dabei geht es nicht um eine exakte Voraussage, sondern darum, den Prozess der Wandlung zu erkennen. Ein Trend kann als die Bewegung einer bestimmten Menge (z.B. gesellschaftliche Meinung, Technologien, Konjunktur etc.) in eine bestimmte Richtung aufgefasst werden.

Wenn man den Zustand eines Systems als wellenförmige Veränderungsbewegung entlang einer Zeitachse versteht⁴⁸, so ist der Trend der aktuelle Differenzialquotient, sprich die Steigung, dieser wellenförmigen Funktion.

⁴⁶ Vgl. Seiter/Ochs (2013), S. 5.

⁴⁷ Vgl. Seiter/Ochs (2013), S. 5.

⁴⁸ Vgl. Horx (2010b), S. 1.

Da grundsätzlich alle Systeme dynamischen Veränderungen unterliegen, lassen sich unterschiedliche Kategorien verschiedenen Wellenlängen zuordnen. Beispiele dafür sind in Abbildung 6 dargestellt. Nach Horx⁴⁹ unterliegen folgende Systeme einer Trendbewegung:

- Natur, mit Wellenlängen in der Größenordnung von Jahrtausenden (z.B. Existenz einer Spezies)
- Zivilisationsformen, die im Laufe von Jahrhunderten entstehen und verfallen
- Technologische Zyklen, z.B. Kondratieff-Zyklen, mit einer Dauer von etwa 50 Jahren
- Konjunkturzyklen der Wirtschaft mit einem globalen Grundrhythmus von ca. 12 Jahren
- Marktzyklen mit einer Dauer von 5-6 Jahren
- Modewellen mit einer Lebenszeit von einem Jahr oder geringer

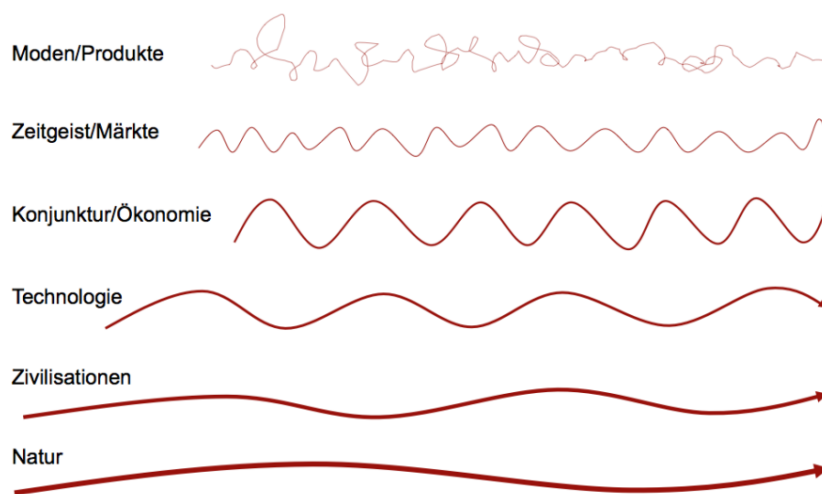


Abbildung 6: Wellenförmige Entwicklung von verschiedenen Trends, Quelle: Horx (2010b), S. 2.

Des Weiteren lassen sich im Rahmen einer gesellschaftlichen Betrachtung verschiedene Trends unterscheiden:

- **Megatrends:** Sie sind die grundlegenden Bewegungsrichtungen der Gesellschaft. Ein Megatrend hat Auswirkung auf alle Lebensbereiche und sorgt dafür, dass sich neue Lebensstile, Konsummuster, Bedürfnisse und Werthaltungen etablieren.⁵⁰ Um von einem Megatrend sprechen zu können, müssen mehrere Bedingungen erfüllt sein: Zum einen weist er eine langsame, aber rückschlagresistente Entwicklung auf. Zum anderen hat er geografisch gesehen globalen Einfluss und erreicht thematisch sowohl Gesellschaft, Wirtschaft als auch Politik. Die Auswirkungen sind in einem Zeitrahmen von mindestens 10 bis 20 Jahren zu erkennen.⁵¹ Horx spricht bei einem Megatrend sogar von einer Halbwertszeit von 50 oder mehr Jahren.⁵²

⁴⁹ Vgl. Horx (2010b), S. 1.

⁵⁰ Vgl. Seiter/Ochs (2013), S. 5.

⁵¹ Vgl. Seiter/Ochs (2013), S. 6.

⁵² Vgl. Horx (2010b), S. 2.

- *Soziokulturelle Trends*: Mittelfristige Veränderungsprozesse, die vom sozialen und aktuellen technischen Wandel geprägt sind und sich stark im Konsum bemerkbar machen. Ein Beispiel dafür ist der Wellness-Trend.⁵³
- *Zeitgeist- oder Konsum-Trends*: Kurzfristige, durch medialen Einfluss verstärkte „Infektionstrends“. Sie können beispielsweise einen modischen oder soziokulturellen Charakter aufweisen.⁵⁴

Wie aufgezeigt stellen Trends Veränderungsbewegungen dar. Veränderung bedeutet, dass sich bestehende Systeme den neuen Gegebenheiten anpassen müssen. Im schlimmsten Fall, sind die Veränderungen derart grundlegend, dass eine Anpassung nicht möglich ist. Diese Umstände bieten Chancen für neue Ideen. Veränderungen von Markt, Technologie oder Gesellschaft ermöglichen es, dass Innovationen umgesetzt werden und sich gegen alte Vorgehensweisen durchsetzen. Im anschließenden Kapitel 3.2.2 werden daher thematisch fortführend die Treiber von Innovationen diskutiert.

3.2.2 Innovationstreiber

Innovationen werden durch verschiedene Impulse in Gang gesetzt. Vahs/Brem⁵⁵ unterscheiden beispielsweise zwischen unternehmensinternen und -externen Auslösern. Als unternehmensexterne Ursachen für Innovationen werden zum einen die Bedürfnisse des Marktes (Market-Pull) und zum anderen die Entwicklung neuer Technologien (Technology-Push) hervorgehoben. Ebenso wird die Ökologieorientierung⁵⁶ als Auslöser für Innovationen genannt. Sie beinhaltet die steigenden Umweltauflagen und die daraus resultierende Gesetzeslage. Abbildung 7 zeigt die externen Innovationstreiber nach Vahs/Brem auf.

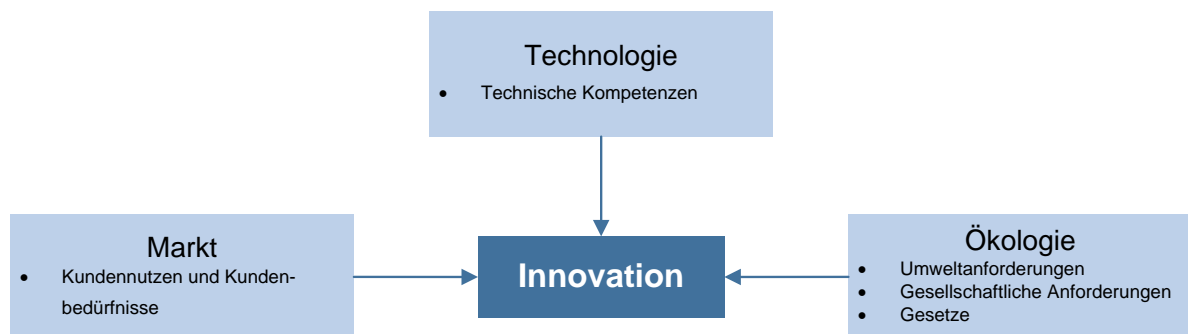


Abbildung 7: Innovationstreiber nach Vahs/Brem, Quelle: Vahs/Brem (2015), S. 115 (leicht modifiziert).

Als interne Auslöser für Innovationen sind unternehmensinterne, innovationsfördernde Faktoren zu verstehen. Diese können beispielsweise das Erkennen eines Innovationspotentials einer neuen Idee, ein vorhandenes technisches Problem oder eine auf Innovationen ausgerichtete Unternehmenskultur sein.⁵⁷

⁵³ Vgl. Horx (2010b), S. 3.

⁵⁴ Vgl. Horx (2010b), S. 3.

⁵⁵ Vgl. Vahs/Brem (2015), S. 247 ff.

⁵⁶ Vgl. Vahs/Brem (2015), S. 113 f.

⁵⁷ Vgl. Vahs/Brem (2015), S. 249.

Goffin/Herstatt/Mitchell⁵⁸ hingegen sehen Innovationstreiber nur als unternehmensexterne Faktoren, die in der Unternehmensumwelt vorkommen. Es werden vier Auslöser genannt, die fördernd auf das Hervorbringen von Innovationen wirken: Der technologische Fortschritt, die Veränderung der Kundenbedürfnisse, die Verschärfung des Wettbewerbes und die Veränderung des Geschäftsumfeldes. Das Einwirken dieser Faktoren auf den Bedarf nach Innovationen ist in Abbildung 8 dargestellt.

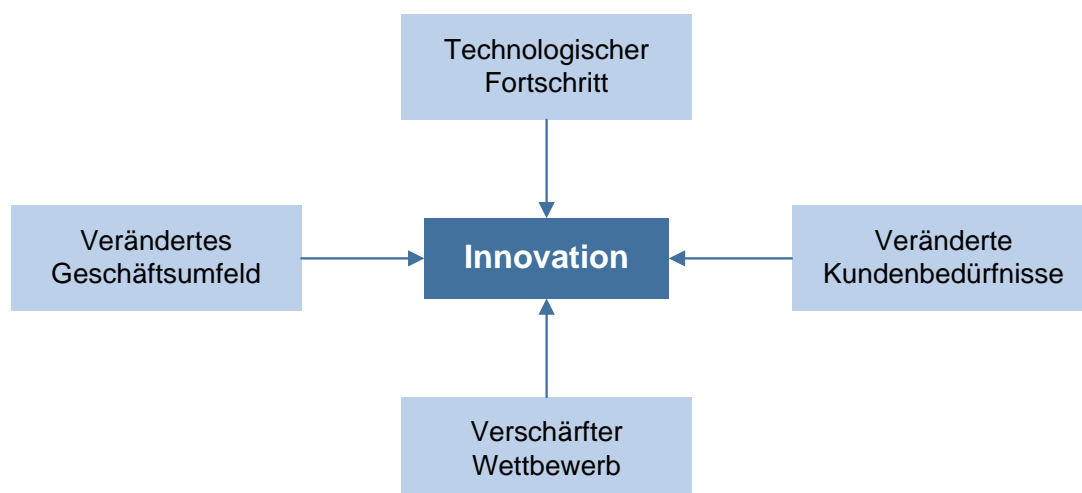


Abbildung 8: Innovationstreiber nach Goffin/Herstatt/Mitchell, Quelle: Goffin/Herstatt/Mitchell (2009), S. 20 (leicht modifiziert).

Im praktischen Teil dieser Arbeit wird das Modell nach Goffin/Herstatt/Mitchell herangezogen, um Innovationstreiber zu klassifizieren. Im Gegensatz zu Vahs/Brem werden nur unternehmensexterne Faktoren berücksichtigt. Unternehmensinterne Faktoren sind für einen außerhalb stehenden Betrachter nur schwer zuverlässig einzuschätzen. Außerdem wird die Unternehmensumwelt detaillierter aufgeschlüsselt und der Faktor Ökologie entfällt, der nicht zwingend einen grundlegenden Treiber, sondern erst seit jüngerer Zeit⁵⁹ einen gesellschaftsbedingten Auslöser darstellt. In dieser Arbeit werden daher nur unternehmensexterne Faktoren zur Klassifizierung von Innovationstreibern herangezogen. Nachfolgend werden die verschiedenen Klassen dieser Einteilung kurz umrissen.

Technologischer Fortschritt

Die Entwicklung neuer Technologien ist oftmals der Türöffner zu Innovationen. Neue Technologien können sogar ganze Industriebranchen entstehen lassen. Prominente Beispiele der vergangenen zehn Jahre sind der Ausbau der Biotechnologie sowie die Multimediabranche.⁶⁰ Vor allem bis Mitte der 1960er Jahre war man sich einig, dass der Technologieschub das entscheidende Kriterium erfolgreicher Innovationen sei.⁶¹ Allerdings ist auch heute die technologische Entwicklung die Grundlage für Innovationen, beispielsweise in der Dienstleisterbranche. Die zur Verfügung stehenden Technologien haben großen Einfluss darauf, wie

⁵⁸ Vgl. Goffin/Herstatt/Mitchell (2009), S. 19 ff.

⁵⁹ Vgl. Vahs/Brem (2015), S.114.

⁶⁰ Vgl. Goffin/Herstatt/Mitchell (2009), S. 20.

⁶¹ Vgl. Vahs/Brem (2015), S. 114.

Dienstleistungsunternehmen ihre Geschäfte betreiben.⁶² Beispiele dafür sind *amazon* oder *airbnb*, deren Konzepte ohne die Möglichkeiten der Informationstechnologie nicht umsetzbar wären. Die Gefahr bei diesem *technology push* - Ansatz liegt darin, dass die Entwicklungsabteilung von Unternehmen oft stark marktunabhängig agiert, was zu einem *lab in the woods approach*, und somit zu einem Verlust des Marktbezuges führen kann. Dieser fehlende Marktdruck ermöglicht es andererseits auch, das Produkt in relativer Ruhe für einen optimalen Markteintritt vorzubereiten.⁶³

Veränderte Kundenbedürfnisse

Die Veränderung von bestehenden Märkten ist ein weiterer Treiber von Innovationen. Aufgrund der Änderung von gesellschaftlichen Geisteshaltungen, öffentlichen Meinungen oder demographischen Strukturen, unterliegt ein Absatzmarkt ständigen Bedarfsveränderungen. Beispielsweise kann aufgrund der Altersverschiebung der westlichen Länder davon ausgegangen werden, dass sich Kundenbedürfnisse und -anforderungen in den nächsten 50 Jahren maßgeblich ändern werden.⁶⁴

Dies bedeutet, dass traditionelle Marktsegmente verschwinden werden und Unternehmen in Folge ihr Produktportfolio anpassen müssen.⁶⁵ Innovationen basieren oftmals auf der Identifikation von neuen Kundenbedürfnissen und deren richtige Vermarktung.⁶⁶

Starken Einfluss auf das Konsumverhalten und die Kundenbedürfnisse hat das momentan vorherrschende Gesellschaftsbild und die Werthaltung der Produktnutzer und -anwender. Diese wiederum werden mehr oder weniger stark von aktuellen Trends vorgegeben. Es ist davon auszugehen, dass sowohl langfristige, als auch kurzfristige Trends, als Innovationstreiber im Sinne der Veränderung der Kundenbedürfnisse bzw. des Marktes verstanden werden müssen.

Verschärfter Wettbewerb

Aufgrund zunehmender Vernetzung und dem Ineinandergreifen verschiedener Branchen erhöht sich der Wettbewerbsdruck. Die voranschreitende Globalisierung führt für etablierte Unternehmen zu erhöhter Konkurrenz aus dem Ausland. Sinkende Logistikkosten ermöglichen regionsfernen Mitbewerbern ein Eindringen in bis dato isolierte Märkte.⁶⁷ Durch die steigende Ubiquität von Informationsquellen sehen sich Unternehmen möglicherweise auch verstärkt Konkurrenz von außerhalb der Branche gegenüber.⁶⁸ Vermehrte Verfügbarkeit von Informationen macht es Unternehmen leicht, in kernkompetenznahen und -fremden Sparten Fuß zu fassen.

⁶² Vgl. Goffin/Herstatt/Mitchell (2009), S. 20.

⁶³ Vgl. Vahs/Brem (2015), S. 248.

⁶⁴ Vgl. Goffin/Herstatt/Mitchell (2009), S. 22.

⁶⁵ Vgl. Goffin/Herstatt/Mitchell (2009), S. 23.

⁶⁶ Vgl. Vahs/Brem (2015), S. 114.

⁶⁷ Vgl. Goffin/Herstatt/Mitchell (2009), S. 23.

⁶⁸ Vgl. Goffin/Herstatt/Mitchell (2009), S. 23.

Verändertes Geschäftsumfeld

Unter einer Veränderung des Geschäftsumfeldes können alle Treiber, die nicht in eine der drei oben genannten Kategorien fallen, verstanden werden. Beispielsweise kann zur Zeit eine weltweit zunehmende Marktöffnung identifiziert werden. Zusätzlich kann man von einer Lockerung westlicher Märkte sprechen sowie von einem anhaltenden Trend zur Kostensenkung in Unternehmen zur Effizienzsteigerung.⁶⁹ Ebenso stellt die drastische Verkürzung von Produktlebenszyklen eine Kernherausforderung dar, der viele Unternehmen gegenüber stehen. Diese sind daher zur ständigen Generierung neuer Innovationen angehalten.⁷⁰ Die Forderung der Gesellschaft nach *Clean Technologies* hat ebenfalls erheblichen Einfluss auf das Innovationsverhalten:⁷¹ Zum einen soll das Unternehmen Produkte umweltfreundlich zur Vermeidung von Imageeinbußen herstellen, zum anderen schreibt der Gesetzgeber produzierenden Unternehmen sich stetig verschärfende Umweltschutzaufgaben vor.

Ebenso in diesem Zusammenhang muss von einer starken Auswirkung aktuell vorherrschender Trends ausgegangen werden. Auch wenn hier nicht die Auswirkung auf den Kundenmarkt enthalten ist, so ist die Werterhaltung einer Gesellschaft doch die Basis für den Beschluss neuer Gesetze und Regelungen, die das Umfeld und die Rahmenbedingungen eines Unternehmens oder einer ganzen Branche umreißen. Solch ein *regulatory-push/-pull* kann Unternehmen zur Entwicklung neuer Produkte zwingen, oder aber auch gänzlich neue Anwendungsgebiete schaffen.⁷²

3.2.3 Trends als Innovationstreiber

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass Innovationen aufgrund von verschiedenen Treibern geschehen. Neben dem technologischen Fortschritt und dem zunehmend schärfer werdenden Wettbewerb durch die Globalisierung und die Zunahme von Kommunikationstechnologien, können allerdings auch gesellschaftliche Trends als Innovationstreiber verstanden werden. Wie im vorangegangenen Kapitel dargestellt, haben sie erheblichen Einfluss auf die Charakteristik des Absatzmarktes und tragen außerdem zur Veränderung des geschäftlichen Umfeldes bei. Ein Trend wird praktisch zum Innovationstreiber, wenn seine Auswirkungen einer der vier in Abbildung 8 dargestellten Kategorien zuordenbar sind.

Trends, deren Auswirkungen nicht direkt als Innovationstreiber einordenbar sind, können darüber hinaus dennoch einen Einfluss auf Innovationen haben. Denn Trends können auch auf indirektem Wege als Innovationstreiber wirken. So können sie beispielsweise ausschlaggebend für die Entwicklung von Innovationstreibern sein. So ist der Trend zur zunehmenden Digitalisierung eine Ursache für die stetige Weiterentwicklung von digitalen Technologien. Diese wiederum können ihrerseits als Innovationstreiber in bestimmten Branchen wirken. Auch der Veränderung von Kundenbedürfnissen können Trends zugrunde liegen. Ein Bedürfnis nach ökologisch produzierten Gütern kann aus einem zunehmenden Gesundheits- oder Nachhaltigkeitstrend folgen.

⁶⁹ Vgl. Goffin/Herstatt/Mitchell (2009), S. 24.

⁷⁰ Vgl. Goffin/Herstatt/Mitchell (2009), S. 23.

⁷¹ Vgl. Vahs/Brem (2015), S. 114.

⁷² Vgl. Vahs/Brem (2015), S. 248.

Wichtig ist, eine klare Unterscheidung zwischen Trend und Innovationstreiber zu treffen, da nicht jeder Trend als Innovationstreiber aufzufassen ist. Wie in Abbildung 9 dargestellt, sind Innovationstreiber ebenso als eine Folge von gesellschaftlichen Trends zu verstehen.

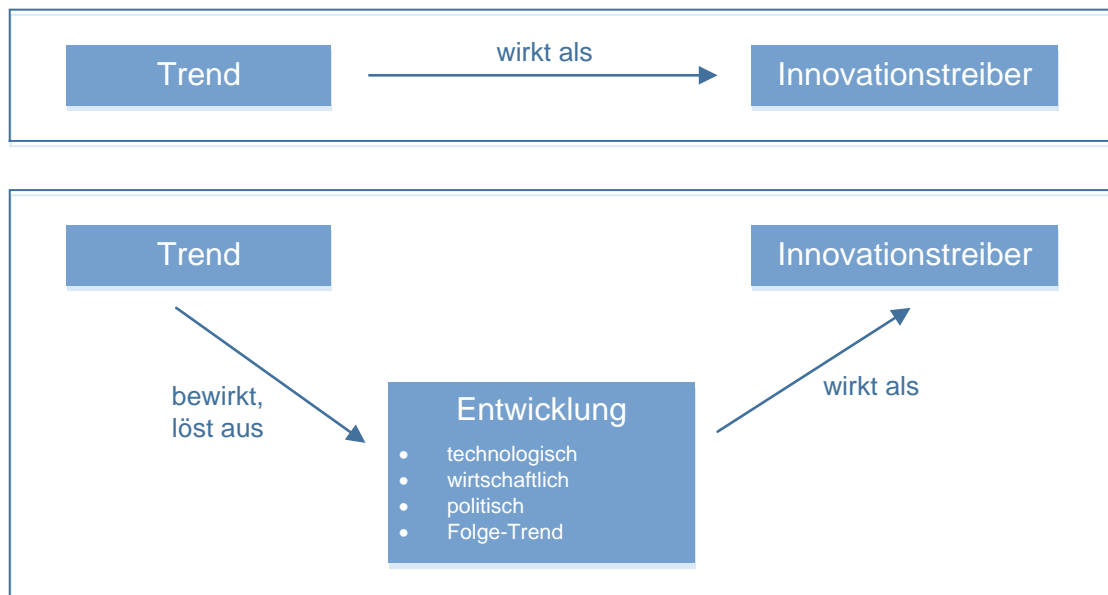


Abbildung 9: Auswirkungen von Trends auf Innovationstreiber, Quelle: Eigene Darstellung

Des Weiteren sind Innovationstreiber auf ein Innovationsproblem in einem definierten Beobachtungshorizont, beispielsweise in einem Unternehmen oder einer Branche, zu betrachten. Unterschiedliche Rahmenbedingungen geben allgemeinen gesellschaftlichen Trends unterschiedliche Möglichkeiten, Auswirkungen auf branchenspezifische Innovationstreiber zu haben.

Zur Untermauerung der in diesem Kapitel vorgestellten Theorie zu Trends und Treibern, werden im nächsten Kapitel ihre Auswirkungen auf die Verfahrenstechnik festgehalten. Dazu wird die Historie von Innovationen in der Verfahrenstechnik umrissen. Diese soll Aufschluss geben, was bisher die schlagkräftigsten Treiber der Branche waren und warum sich die Verfahrenstechnik dazu entwickelt hat, wie sie heute ist.

4 INNOVATIONEN IN DER VERFAHRENSTECHNIK

Die Verfahrens- und Prozesstechnik stellt sich in der Regel als eine innovationsträge und konservative Branche dar. Bestehende Prozesse werden zwar aus Gründen der Wirtschaftlichkeit stetig optimiert, große Innovationen sind jedoch selten zu finden. Wenn sie aber geschehen, stellen sie Meilensteine der Entwicklung dar.

Inwieweit diese Charakterzüge auf grundlegenden Eigenschaften der Branche beruhen, ist schwer zu sagen. Offensichtlich ist jedoch, dass eine durchgängige Innovationskultur in der Branche kaum vorhanden ist. Blass⁷³ spricht davon, dass es den Ingenieuren an Interdisziplinarität und Interesse an anderen Fachrichtungen mangle, und die Denkstrukturen für Innovationsfähigkeit nicht im Studium erworben werden. Auch sieht er die Unternehmen selbst als Innovationshemmer, da sie neue Ideen oft als Geld- und Zeitverschwendung sehen, und sich eine dementsprechende Betriebskultur ausbildet.⁷⁴

Eine Innovation wird in der Branche als ein äußerst klar definiertes Konstrukt gesehen. Brauer⁷⁵ sieht die Innovation als eine „Realisation wissenschaftlich begründeter Möglichkeiten“, also die Umsetzung von wissenschaftlichen Erkenntnissen und Forschungsergebnissen in reale Prozesse.

Im Rahmen dieser Arbeit wird diese Definition als zu eng gefasst erachtet, und auf den in Abbildung 8 gezeigten Zugang erweitert. Die Betrachtung der bisherigen Innovationsfindung in der Branche erfolgt über die technische Realisation hinaus, bis hin zu den Anforderungen des Marktes und dem Einfluss des Mitbewerbes sowie des Geschäftsumfeldes.

4.1 Rahmenbedingungen für Innovationen in der Verfahrenstechnik

Betrachtet man rückblickend die Historie der Verfahrenstechnik, so ist für Innovationen vor allem der Bedarfsdruck aus der Praxis charakteristisch.⁷⁶ Man darf nicht vergessen, dass die Verfahrenstechnik eine äußerst praxisnahe Disziplin ist. Im Gegensatz zum Maschinenbau, wo Konstruktionen in der Regel auf Funktionalität hin logisch überprüft oder hinsichtlich ihres Spannungsverhaltens vorausberechnet werden, basieren Auslegungen in der Verfahrenstechnik oftmals auf Experimenten. Ausschlaggebend dafür ist, dass die Prozesse der Stoffumwandlung meist komplexen chemischen Reaktionen unterliegen, die in ihrer Gesamtheit nicht zur Gänze theoretisch modelliert werden können.

⁷³ Vgl. Blass (1996), S. 1535.

⁷⁴ Vgl. Blass (1996), S. 1536.

⁷⁵ Brauer (1998), S. 245.

⁷⁶ Vgl. Canavas (1995), S. 713.

Andererseits repräsentiert auch das Ausgangsprodukt einen wichtigen Aspekt bei der Umsetzung eines Prozesses: Qualitätsschwankungen in Hinblick auf Verunreinigungen, die chemische Nebenreaktionen verursachen können, stellen oftmals eine nicht miteinkalkulierbare Problematik dar. Sie machen die Auslegung eines Prozesses, oder Teile davon, am Papier ohne zusätzliche Experimente häufig nicht möglich. Die Schwierigkeit besteht also darin, abzuschätzen, welchen Einfluss nachfolgende Prozessschritte auf ein verunreinigtes Gut haben, und welche chemischen Nebenreaktionen sich dadurch ergeben.

Abbildung 10 soll vermitteln, weshalb die Verfahrenstechnik keine rein theoretische Disziplin ist: Die hohe Anzahl der Systemelemente führt zu einem komplexen Systemverhalten des Prozesses. Je unsicherer die Rahmenbedingungen, beispielsweise die Edukt-Zusammensetzungen, sind, desto schwieriger ist es, einen Prozess als theoretisches, mechanistisches Modell zu beschreiben. Meist sind eine experimentelle Messdatenermittlung sowie apparative Anpassungen notwendig, um einen stabilen Betrieb zu ermöglichen. Abbildung 10 stellt ein Verfahren zur Erzeugung von Triacetin⁷⁷, einem Weichmacher und Lebensmittelzusatzstoff, dar. Die beiden Ausgangsstoffe sind Essigsäure und Glycerin. Der Großteil des apparativen Aufwandes entfällt auf die Produktaufbereitung, also der Reinheitssteigerung des Produktes.

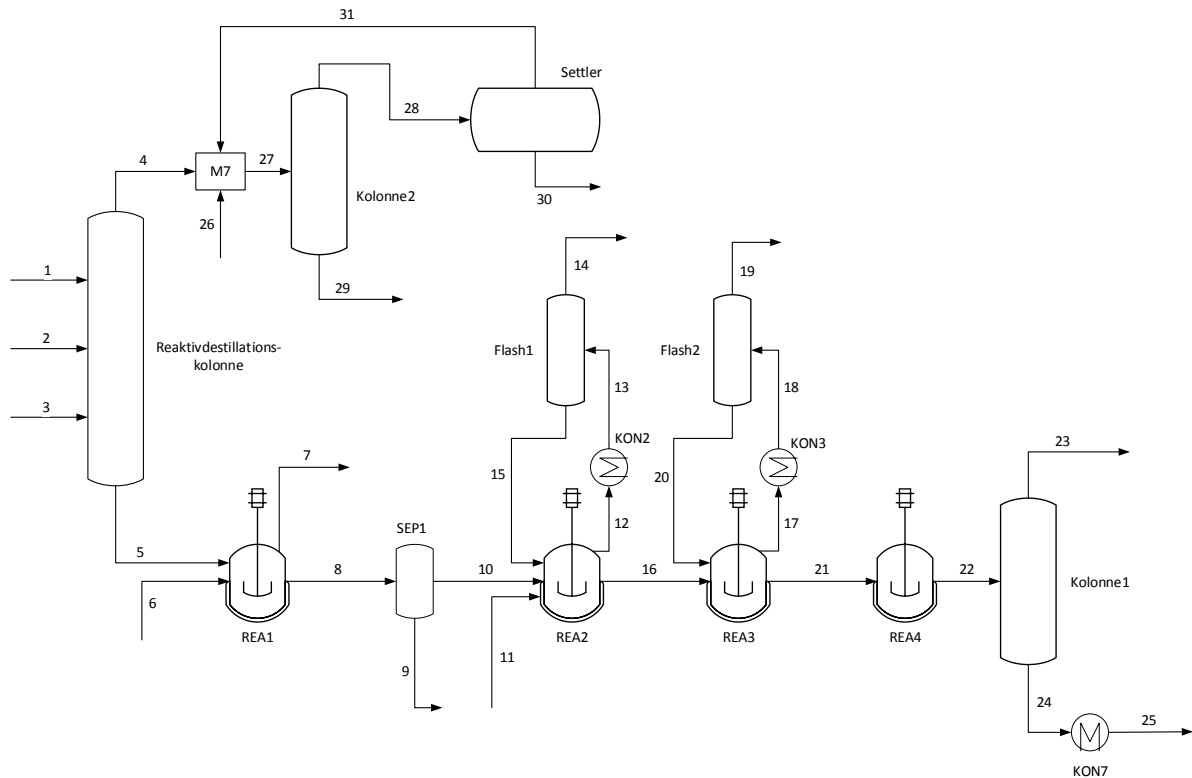


Abbildung 10: Fließschema eines Verfahrens zur Triacetin-Synthese, Quelle: Schopp (2016), S. 36.

⁷⁷ Vgl. Schopp (2016), S. 36.

4.2 Innovationstreiber in der Verfahrenstechnik aus historischer Sicht

Wie oben erwähnt, unterscheiden sich Innovationen in der Verfahrenstechnik von denen anderer Branchen. Die Ursache liegt darin, dass die Entwicklung von Prozessen oder Produkten sehr praxisbezogen ist. Um die Motoren von Innovationen in der Verfahrenstechnik darzustellen, wird anhand des in Abbildung 8 dargestellten Modells von Goffin/Herstatt/Mitchell vorgegangen: Es werden die Einflüsse des technologischen Fortschrittes, der veränderten Kundenbedürfnisse, des verschärften Wettbewerbes und der Veränderung des Geschäftsumfeldes nachfolgend in den Kapiteln 4.2.1 bis 4.2.4 beschrieben. Dazu wird ein Blick in die Vergangenheit geworfen, um herauszufinden, nach welchen Prinzipien Innovationen in der Verfahrenstechnik geschehen.

4.2.1 Technologischer Fortschritt

Innovationen sind in der Verfahrenstechnik oft technologiegetrieben: Die Verfügbarkeit neuer Technologien ermöglicht neue Prozessführungen, welche ein Verfahren einfacher oder effizienter machen. So führte beispielsweise der Gebrauch eines Thermometers zur Branntweinherstellung im Jahre 1823 zur ersten systematischen Aufnahme eines Dampf-/Flüssig-Gleichgewichtes. Die daraufhin folgende Anwendung von Thermostaten, neben dem Einsatz von Druckmessgeräten, führte zu ersten regelungstechnischen Ansätzen in der chemischen Industrie.⁷⁸ Mit solchen Informationen ist ein deutlich effizienteres Betreiben von Prozessen möglich, da es ein Einstellen des Betriebszustandes auf optimale Bedingungen hinsichtlich der Temperaturabhängigkeit erleichtert. Daraus sind Verfahren entstanden, welche ohne eine gewisse Menge regelungstechnischer Informationen nicht umsetzbar wären.

Ein Beispiel dafür ist das *Solvay-Verfahren* zur Herstellung von Soda (Natriumcarbonat, Na_2CO_3): Die Innovation von Ernest Solvay beruhte auf der Ausnutzung der Temperaturabhängigkeit von Lösungsgleichgewichten. Die tatsächliche Anwendung dieses physikalischen Zusammenhanges in einem Prozess ist allerdings nur unter einer ständigen Kontrolle von Druck und Temperatur möglich.⁷⁹ Solvay unternahm systematische Untersuchungen zur Temperatur- und Druckabhängigkeit des Lösungsgleichgewichtes. Nur durch andauernde Prozesskontrolle gelang ihm die Durchführung des Verfahrens in einem stabilen Betriebsbereich. Damit widerlegte er die in den 1850er Jahren herrschende Ansicht, dass ein solches Verfahren prinzipiell ungeeignet für den industriellen Maßstab sei. Dies führte zur systematischen Ablösung des bis dahin üblichen Leblanc-Verfahrens bis ins Jahre 1910⁸⁰, wie in Abbildung 11 dargestellt ist.

⁷⁸ Vgl. Canavas (1995), S. 713.

⁷⁹ Vgl. Canavas (1995), S. 714.

⁸⁰ Vgl. Krug (1990), S. 185.

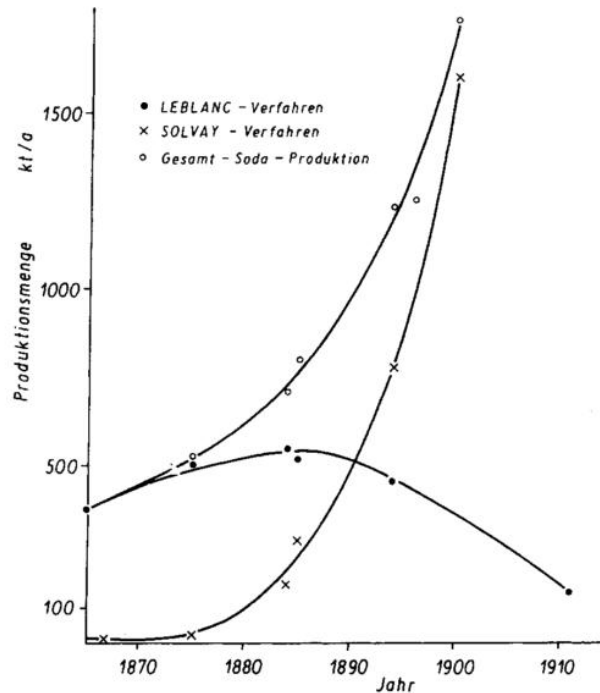


Abbildung 11: Welt-Sodaproduktion 1870 bis 1910, Quelle: Krug (1990), S. 186.

Bis in die 1960er Jahre waren die Anzeigen der Steuerungs- und Regelungstechnik vorwiegend von analoger Form. Durch die schrittweise Umstellung der Messinstrumente auf digitale Ausgänge und die zunehmende Unterstützung von Mikroelektronik und Informatik, ist eine völlig neue Dimension der Prozessführung entstanden: Die Regelung von Betriebsparametern geschah nicht mehr manuell über den Menschen mithilfe von Kennlinienfeldern und Diagrammen, sondern es wurden erste Konzepte einer ganzheitlichen Prozessführung entworfen.⁸¹ Heute ist es üblich, dass ein sogenanntes *Prozessleitsystem* die Regelung der gesamten Anlage übernimmt und der Mensch nur noch eine Kontrollfunktion inne hat.

Die maschinenbauliche Entwicklung der Anlagenkomponenten spielt ebenfalls eine erhebliche Rolle im Entwurf neuer verfahrenstechnischer Technologien. So wurde England nach 1830 aufgrund seines potenten Maschinenbaues zum Mutterland der anorganisch-chemischen Großchemie.⁸²

Ein anschauliches Beispiel für diesen Zusammenhang ist die Ausnutzung des *Joule-Thomson-Effektes* zur Luftverflüssigung, welche erst durch die Erzeugung und Kontrolle hoher Drücke möglich geworden ist. Auch die auf dem von Linde erstellten Grundkonzept aufbauenden Verbesserungen, z.B. die Verwendung von Turbokompressoren anstatt von Kolbenkompressoren, basieren auf der Weiterentwicklung der Anlagen-Utilities.⁸³

⁸¹ Vgl. Canavas (1995), S. 715.

⁸² Vgl. Krug (1990), S. 184.

⁸³ Vgl. Linde (1995) S. 1096.

Die Entwicklung des bereits oben genannten Solvay-Verfahrens hing ebenfalls entscheidend von maschinenbaulichen Bauteilen und Grundüberlegungen ab: Die von Ernest Solvay verwendeten Reaktionskolonnen und der Einsatz von kontinuierlichen Dekantern und Filtrierapparaten sind als Pionierleistungen der damals modernen Verfahrenstechnik einzuordnen.⁸⁴

Ein weiteres Beispiel für die Innovationsförderung durch eine maschinenbauliche Weiterentwicklung ist die Herstellung von Ammoniak mittels des *Haber-Bosch-Verfahrens*. Erst durch die Erzeugung und Beherrschung der wichtigsten Prozessparameter, Druck und Temperatur, war die Durchführung dieses Hochdruckverfahrens überhaupt erst möglich geworden. Ein weiteres Kriterium für die großtechnische Umsetzbarkeit dieses Prozesses war, die Korrosion durch entsprechende Werkstoffe in den Griff zu bekommen.⁸⁵

Daher ist auch die Entwicklung neuer Werkstoffe und Materialien eine Basis, auf derer die Umsetzung neuer Verfahren überhaupt erst ermöglicht, verbessert oder wirtschaftlich sinnvoll wird. Dies wird auch bei Betrachtung von Trennverfahren im Kleinstbereich deutlich: Die Umkehrosmose zur Produktaufreinigung oder zur Meerwasserentsalzung ist erst durch den Einsatz von neu entwickelten Materialien wie Celluloseestern oder Polyamid zur Membranherstellung, ein sinnvoll anwendbarer Prozess geworden.⁸⁶

Auch die Entwicklung von Zeolithen hat durch ihre Trennwirkung per Adsorption technische Umwälzungen mit sich gebracht: In Erdölraffinerien wird das Aufbrechen langkettiger Komponenten in kürzere kaum mehr über den traditionellen Weg des thermischen Crackens erreicht. Stattdessen bilden Zeolithe die Grundlage des katalytischen Crackens.⁸⁷ Dieses ermöglicht eine erhöhte Effektivität des Verfahrens durch gesteigerte Selektivität an Aromaten und stark verzweigten Aliphaten, was eine höhere Oktanzahl des daraus erhaltenen Benzins zur Folge hat.⁸⁸

Aus den aufgezeigten Beispielen lässt sich ableiten, dass Innovationen in der Verfahrenstechnik stark von Entwicklungen anderer Branchen abhängig sind. Die Umsetzung von Verfahrensideen in die Praxis erfordert Technologien aus anderen Ingenieursdisziplinen. Erst die Bereitstellung neuer technischer Hilfsmittel eröffnet neue Wege, um Verfahren zu realisieren.

4.2.2 Veränderte Kundenbedürfnisse

Auch in der Vergangenheit waren vom Markt ausgehende und für die Verfahrenstechnik relevante Innovationstreiber vorhanden: Der zunehmende Bedarf an Konsumgütern⁸⁹ ist als Treiber der großchemischen Industrie zu verstehen. Die Forderung nach Massenproduktion Anfang des 20. Jahrhunderts ist als ein

⁸⁴ Vgl. Krug (1990), S. 185.

⁸⁵ Vgl. Wintermantel (2007), S. 98.

⁸⁶ Vgl. Rautenbach/Rauch (1977), S. 224.

⁸⁷ Vgl. Puppe (1986), S. 126.

⁸⁸ Vgl. Schwister (2007), S. 524.

⁸⁹ Vgl. Krug (1990), S. 188.

ausschlaggebender Faktor zur Durchsetzung von kontinuierlichen Prozessen gegenüber den damals üblichen Batch-Prozessen zu betrachten.

In den USA erfolgte der Zugang im ersten Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts zur industriellen Chemie über Verfahren allergrößten Maßstabes. Die wesentlichen Triebkräfte dazu waren die gesellschaftlichen Bedürfnisse nach Motorisierung und zunehmender Mobilität.⁹⁰

Ein weiteres Beispiel für einen vom Markt ausgehenden Treiber ist die Forderung nach höheren Reinheitsgraden der Produkte. Durch die Entwicklung von Weiterverarbeitungs-Prozessketten können viele vom Markt gewünschte Produkte in großen Mengen aus einem oder wenigen Ausgangsstoffen hergestellt werden.⁹¹ Gleichzeitig erfordern diese Prozessketten durch die Serienschaltung einzelner Stufen eine hohe Reinheit der Ausgangsprodukte, um Nebenreaktionen zu Beginn und deren Auswirkungen am Ende der Prozesskette möglichst gering zu halten.

4.2.3 Verschärfter Wettbewerb

Um mit dem Wettbewerb Schritt halten zu können, sind ständige Prozessoptimierungen in der verfahrenstechnischen Industrie seit jeher üblich. Die dadurch gesteigerten Ausbeuten der Prozesse ermöglichen einen geringeren Verkaufspreis je Tonne Produkt. Der Wettbewerbsdruck kann aber auch zum Bruch mit alten Konventionen führen. So geschah die Umstellung von diskontinuierlichen Betriebsweisen hin zu kontinuierlichen Prozessen um die Wende zum 20. Jahrhundert. Dadurch konnte mehr Produkt von gleichbleibender Qualität in einer kürzeren Zeitspanne hergestellt werden. Mitentscheidender Beweggrund war der damit verbundene geringere Personalaufwand, der zum Betrieb einer Anlage notwendig war.⁹²

4.2.4 Verändertes Geschäftsumfeld

Ein eindrucksvolles Beispiel für eine Veränderung des Geschäftsumfeldes ist das Ende des Zweiten Weltkrieges. Durch die vorangegangene Isolation Deutschlands, war die ansässige Industrie gezwungen, auf ausschließlich landesinterne Ressourcen zurückzugreifen. Dadurch ist Kohle zum Ausgangsstoff der deutschen chemisch-organischen Industrie geworden. Das Paradebeispiel ist die Herstellung von Treibstoffen durch Kohleverflüssigung via *Fischer-Tropsch-Synthese*. Nach Kriegsende war neben der national abgebauten Kohle auch importiertes Erdöl verfügbar. Die daraufhin anhaltende Verteuerung der Kohle führte zur systematischen Umstellung des Einsatzstoffes der chemisch-organischen Industrie hin zum Erdöl.⁹³ Darauf aufbauend wurden Verfahren für den industriellen Maßstab entwickelt, welche für den neuen Rohstoff spezifiziert waren, und die Produktion neuer Stoffe ermöglichte. So wurde erst durch die Umstellung

⁹⁰ Vgl. Krug (1990), S. 188.

⁹¹ Vgl. Wintermantel (2007), S. 98.

⁹² Vgl. Canavas (1995), S. 714.

⁹³ Vgl. Timm (1968) S. 1.

auf Erdöl die Herstellung von Ethylen in größeren Mengen möglich, was die Entwicklung der Kunststoffchemie aus ihren Kinderschuhen heraus in die Industrie überhaupt erst möglich machte.⁹⁴ Tabelle 2 zeigt den Anstieg des Kokspreises nach Kriegsende. Im Jahre 1967 betrug der Preis für je 10⁶ Kilokalorien Heizenergie aus Koks bereits das Doppelte wie aus Rohbenzin.

	Koks	Rohbenzin	Heizöl
1945 [DM/t]	23,-		
1950 [DM/t]	51,-		
1960 [DM/t]	81,-		
1967 [DM/t]	100,-	85,-	55,-
1967 [DM/10 ⁶ kcal]	14,70	7,10	5,60

Tabelle 2: Entwicklung des Koks-Preises im Vergleich zu Rohbenzin und Heizöl, Quelle: Timm (1968), S. 1 (leicht modifiziert).

Das daraufhin beinahe ungebremste Wachstum der chemischen Großindustrie ist auf die stetig zunehmende Nachfrage zurückzuführen. Eine dadurch in den 70er und 80er Jahren aufkommende Herausforderung war die Emissions- und Rohstoffproblematik aufgrund der durchgehend steigenden Produktionsmengen. Auch die Umstellung auf ressourcenschonende Verfahren bzw. die Optimierung hin zu einer effizienteren Verwertung der Einsatzstoffe, ist seit der Ölkrise 1973 ein Thema.⁹⁵

Einen wesentlichen Einfluss auf das Innovationsverhalten der Branche hatte die Bildung und die Qualität der Arbeitnehmer, vor allem die fachliche Ausbildung der Experten. Der Erfolg der deutschen Chemiebranche ab 1850, sowie ihrer Produkte, wie das Haber-Bosch-Verfahren, das Linde-Verfahren oder das Solvay-Verfahren, sind dem Erfindungsgeist der damaligen Industrie zu verdanken. Dieser ist vor allem der Liebe zum Detail der Naturwissenschaften und der wissenschaftlichen Durchdringung der Praxis bis in die letzten Adern zu verdanken. Im Gegensatz zum damals größten Konkurrenten England, legten die deutschen Unternehmen Wert auf Zusammenarbeit mit Forschungseinrichtungen wie Universitäten und Hochschulen, und maßen der Forschung im Unternehmen einen hohen Stellenwert zu.⁹⁶

Das zunehmende Ansehen der Verfahrenstechnik ab Beginn des 20. Jahrhunderts als wissenschaftliche Disziplin, ermöglichte die Entwicklung von theoretischen Modellen, auf deren Basis Prozesse verstanden und besser ausgelegt werden konnten. Theoretische Ansätze, wie die Arbeiten von Little 1915 zur Definition der *unit operations*, von McCabe und Thiele zur Destillation im Jahre 1925, oder der von Damköhler 1936 vorgelegten Kinetik von chemischen Reaktionen, stellten in ihrer Zeit die Basis für neue Verfahren

⁹⁴ Vgl. Timm (1968) S. 4.

⁹⁵ Vgl. Wintermantel (2007), S. 99.

⁹⁶ Vgl. Krug (1990), S. 186.

dar.⁹⁷ Erst daraufhin konnten bei Vorhandensein von adäquaten technischen Rahmenbedingungen neue Prozesse entworfen und in Folge realisiert werden.

4.3 Conclusio: Innovationen in der Verfahrenstechnik

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass Innovationen in der Verfahrenstechnik großteils auf vorhergehenden technischen Entwicklungen anderer Branchen beruhen. Erst die Verfügbarkeit von neuen Technologien ermöglicht die Umsetzung von Prozessen vom Papier in die Praxis. Besonders wichtig war in der Vergangenheit die Entwicklung der maschinenbaulichen Komponenten um die notwendigen Betriebsbedingungen zu erreichen, sowie der Regelungs- und Steuerungstechnik, um diese Bedingungen auch zu halten. In jüngster Zeit spielten auch die Informations- und Kommunikationstechnologien eine entscheidende Rolle um eine ganzheitliche Verfahrenskontrolle zu ermöglichen. Als Grundlagenforschung ist auch die Werkstoffkunde und Festkörperphysik von entscheidender Bedeutung. Durch die Entwicklung neuer Materialien eröffnen sich neue Möglichkeiten von Stoffbehandlungen auf molekularer und atomarer Ebene.

Die notwendige Vorarbeit ist selbstverständlich die Ausarbeitung der jeweiligen naturwissenschaftlichen Verfahrensgrundlagen in der Theorie. Dazu sind intensive Forschungstätigkeiten im universitären und unternehmerischen Bereich notwendig. Daher hat auch die Erforschung neuer Modelle zur Beschreibung von Vorgängen im Prozess einen hohen Stellenwert, da damit der Grundstein für die Umsetzung von Innovationen gelegt wird. Der Verfahreningenieur in der Praxis muss über ausreichende Kenntnisse der Natur- und Ingenieurwissenschaften verfügen. Für Innovationen ist aber vor allem die Interdisziplinarität zu anderen Branchen wichtig: Nur das Wissen und das Verständnis von Maschinenbau, Chemie, Regelungstechnik oder Informationstechnologie geben ihm die Chance, neue Lösungen für bestehende Probleme zu finden.

Unabhängig davon sind Prozessentwicklungen und -anpassungen auch auf den Bedarf des Marktes zurückzuführen, denn schließlich finden sich die Produkte selbst, oder deren Weiterverarbeitungen, im Alltag wieder: Benzin oder Diesel im Auto, Kunststoffprodukte, Halbleiterbauteile in Elektronikgeräten, Zusatzstoffe in der Lebensmittelbranche oder Zement zum Bauen von Gebäuden. Daher sind gesellschaftliche Trends, sowohl in Form der Technologiebereitstellung anderer Branchen, als auch über weiterverarbeitende Konsumgüterbranchen, ein wichtiger Einflussfaktor für Innovationen in der Verfahrenstechnik.

Dieser geschichtliche Abriss zeigt auf, dass sich unterschiedlichste Einflüsse für Innovationen und Prozessanpassungen in der Branche identifizieren lassen. Um die Basis für mögliche zukünftige Veränderungen zu finden, werden im nächsten Kapitel mithilfe der PESTEL-Analyse Faktoren erarbeitet, mit denen der zukünftige Rahmen für die Verfahrenstechnik abgesteckt werden kann. Darauf aufbauend kann über deren Priorität diskutiert und mögliche Auswirkungen skizziert werden.

⁹⁷ Vgl. Krug (1990), S. 188 f.

5 IDENTIFIKATION UND BEWERTUNG VON INNOVATIONSTREIBERN

Wie im vorangegangenen Kapitel dargestellt, wirken Innovationstreiber von außerhalb eines Unternehmens auf dieses ein. Sie sind somit ein Bestandteil der Umwelt eines Unternehmens. Um Innovationstreiber zu identifizieren, ist also grundsätzlich eine Umweltanalyse geeignet. Eine Umweltanalyse versucht, Einflüsse aus der Unternehmensumgebung strukturiert zu erfassen. Dabei werden unternehmensexterne Faktoren, die Einfluss auf das Unternehmen haben, identifiziert und verschiedenen Kategorien zugeordnet. Gesellschaftliche Trends, sowie vom Menschen verursachte Veränderungen der gesellschaftlichen Umwelt, wirken sich maßgeblich auf die Entstehung der Unternehmensumwelt aus. Sie haben Einfluss auf das Kaufverhalten von Kunden, auf technologische Entwicklung und auf politische Entscheidungen. Mit der Untersuchung von zukünftigen Zuständen der Gesellschaft sowie ihrer Umgebung ist eine Abschätzung einer zukünftigen Unternehmens- oder Branchenumwelt möglich. Die Durchführung einer Umweltanalyse zukünftiger Bedingungen schließt daher eine Trendanalyse mit ein.

Im Folgenden werden Methoden vorgestellt, mit denen ein Umreißen von zukünftigen Umwelt- bzw. Rahmenbedingungen einer Branche möglich ist. Dies beinhaltet zum einen die grundlegende Methodik, wie Umweltanalysen durchgeführt werden. Zum anderen wird eine Technik vorgestellt, wie identifizierte Innovationstreiber auf ihre Relevanz hinsichtlich eines definierten Wirtschaftszweiges und ihrer Eintrittsauswirkungen beurteilt werden können.

5.1 PESTEL-Analyse

Die PESTEL-Analyse ist ein Werkzeug zur Untersuchung der Makroumwelt eines Unternehmens oder einer Branche. Sie kann daher als eine Umweltanalyse verstanden werden. Umweltanalysen versuchen, einen Überblick über die Komplexität der Makroumwelt eines Unternehmens sowie einen systematischen Zugang zu relevanten Einflussfaktoren zu schaffen. Durch die Betrachtung aktueller oder zukünftiger Umwelteinflüsse kann die Attraktivität möglicher Strategien abgeschätzt, die Unternehmensumwelt identifiziert sowie eventuelle Chancen und Risiken erkannt und bewertet werden. Umweltanalysen können anschließend zur Entwicklung von Zukunftsszenarien genutzt werden.⁹⁸

Grundsätzlich gibt es mehrere Ansätze zur Gliederung von Umweltfaktoren. Neben dem PESTEL-Modell gibt es auch STEP-, PESTE- oder STEEPLE-Modelle. Im Wesentlichen unterscheiden sie sich nur im Umfang und der Betrachtungsreihenfolge der Einflussfaktoren.

⁹⁸ Vgl. Vahs/Brem (2015), S.123.

Die fehlende Exaktheit der Ausdifferenzierung der verschiedenen Faktoren bei einfacheren Ansätzen schließt im Vergleich zu Modellen mit mehr Präzision jedoch keine Informationen aus. Lediglich die Zuordnung der Themenbereiche ist gröber umrissen.

Im Rahmen dieser Arbeit soll eine PESTEL-Analyse der zukünftigen Umwelt der verfahrenstechnischen Branche als Basis für eine Entwicklungsabschätzung der Industrie dienen. Es wird das PESTEL-Modell gewählt, da davon ausgegangen werden kann, dass sowohl ökologische als auch rechtliche Faktoren ausschlaggebenden Einfluss auf die Entwicklung der verfahrenstechnischen Branche haben. Eine Literaturrecherche über globale sowie regionale Trends und Entwicklungstendenzen kann dafür den Ausgangspunkt bilden. Diese Entwicklungen werden in Faktoren heruntergebrochen, welche sich anschließend einem der sechs PESTEL-Faktoren zuordnen lassen. Abbildung 12 stellt die sechs PESTEL-Faktoren mit konkreten Beispielen⁹⁹ dar.

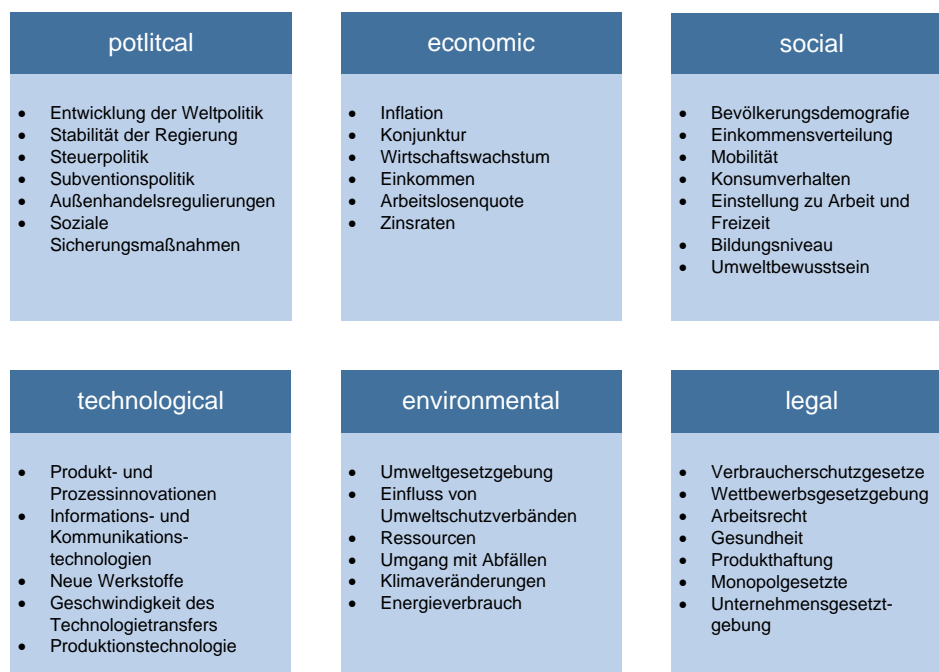


Abbildung 12: Ausprägungen der PESTEL-Faktoren,
Quelle: In Anlehnung an Weißensteiner (2013), S. 24 f; Schallmo (2013), S. 35.

Politik

Die wichtigsten politischen Rahmenbedingungen werden durch die Organisation und Stabilität des politischen Systems, in dem die Unternehmung eingegliedert ist, gesetzt. Volatile politische Bedingungen beispielsweise, erschweren es, langfristige Unternehmensstrategien erfolgreich umzusetzen. Das Ausmaß des staatlichen Eingriffes in die Marktwirtschaft durch Subventionen oder Sanktionen ist ebenfalls ein entscheidender Faktor für die erfolgreiche Positionierung eines Produktes oder des gesamten Unternehmens. Die Entwicklung eines dahinterliegenden weltpolitischen oder überstaatlichen politischen Deckmantels, spielt dabei eine ebenso wichtige Rolle.

⁹⁹ Vgl. Weißensteiner (2013), S. 24 f; Schallmo (2013), S. 35.

Ökonomie

Die ökonomische Umwelt beschreibt die wirtschaftliche Entwicklung auf nationaler oder globaler Ebene. Diese stellt eine wichtige Basis zur Einschätzung von zukünftigen Absatzmärkten dar. Den Grundstein legt die zu erwartende Entwicklung des Wirtschaftswachstums, sowohl lokal als auch überregional. Die sich daraus ergebenden Umstände wie Inflation, Einkommen oder Zinsraten beeinflussen die Positionierung hinsichtlich Nachfrageentwicklung, Wettbewerbsintensität, Kostendruck oder Investitionsklima.¹⁰⁰

Sozialkultur

Die soziokulturellen Faktoren fußen auf der aktuellen und zukünftig zu erwartenden Bevölkerungsdemographie, sowie auf den sich daraus entwickelnden Trends. Auch die Veränderung regionaler Bevölkerungsentwicklungen, beispielsweise in Ballungsräumen oder ländlichen Gebieten, ist hier zu berücksichtigen. Die Sozialkultur stellt die Grundlage des Verhaltens künftiger Mitarbeiter oder Kunden hinsichtlich Mobilität, Konsumverhalten oder Einstellung zu Arbeit und Freizeit dar.¹⁰¹ Beispielsweise kann steigendes Bildungsniveau und zunehmendes Umweltbewusstsein sowohl auf die Gewinnung neuer Mitarbeiter, als auch auf das Kaufverhalten von Kunden erheblichen Einfluss haben.¹⁰²

Technologie

Die technologische Entwicklung bietet einer Branche oder einem Unternehmen sowohl Chancen, birgt aber auch Risiken. Neben dem Potential zur Optimierung von Produktionsabläufen oder der Umsetzung neuer Technologien durch zunehmende Vernetzung oder neue Werkstoffe, wächst auch die Gefahr, von einem schnelleren oder anpassungsfähigeren Mitbewerber überholt zu werden. Für eine Branche *per se* besteht dieses Risiko ebenfalls: Durch das aktuell zunehmende Ineinandergreifen verschiedener Technologien, steigt die Wahrscheinlichkeit, dass disruptiv agierende Unternehmen aus anderen Wirtschaftszweigen eindringen und sich erfolgreich positionieren.

Umwelt

Der Umgang mit Umweltschädigungen durch Produkt- und Prozessabfälle ist für die Wirtschaftlichkeit und die Reputation eines Unternehmens oder einer Branche von grundlegender Bedeutung. So kann über viele Käuferschichten hinweg ein zunehmendes Umweltbewusstsein identifiziert werden.¹⁰³ Ebenso können künftige Emissionsrestriktionen oder die Verfügbarkeit von Ressourcen existenziellen Einfluss auf ein Produkt, ein Geschäftsfeld oder eine ganze Unternehmung haben. Andererseits bieten sich auch zahlreiche Chancen, mit umweltfreundlichen Produkten oder Herstellungsverfahren Wettbewerbsvorteile zu erlangen.¹⁰⁴

¹⁰⁰ Vgl. Sztuka (2016), Onlinequelle [19.07.16].

¹⁰¹ Vgl. Vahs/Brem (2015), S.125.

¹⁰² Vgl. Sztuka (2016), Onlinequelle [19.07.16].

¹⁰³ Vgl. Vahs/Brem (2015), S. 125.

¹⁰⁴ Vgl. Sztuka (2016), Onlinequelle [19.07.16].

Recht

Die rechtliche Entwicklung einer Region geht meist Hand in Hand mit politischen Entscheidungen, und stellt meist einen einschränkenden Faktor für unternehmerisches Handeln dar. Zunehmende Verantwortung und Auflagen in den Bereichen Arbeitsrecht, Mitarbeitergesundheit oder Verbraucherschutzgesetzte erfordern oft hohen finanziellen Aufwand, sind aber unumgänglich.¹⁰⁵ Andererseits sind auch hier durch gute strategische Positionierung und rasches Handeln Wettbewerbsvorteile gegenüber Mitbewerbern zu holen.

Aufbauend auf der Einteilung und Strukturierung erfasster Umweltfaktoren kann eine weiterführende Behandlung geschehen. Wie im folgenden Kapitel 5.2 aufgezeigt, stellen Experteninterviews eine Möglichkeit dar, um die Themen weiter zu bearbeiten. Wie dies ablaufen kann und worauf dabei geachtet werden muss, wird fortfolgend diskutiert.

5.2 Expertenbefragungen

Expertenbefragungen dienen dem Einholen von Meinungen fachlich spezialisierter Personen. Die Art und der Umfang der Befragungen ist stark vom gewünschten Erkenntnisziel abhängig sowie durch zeitliche und finanzielle Ressourcen beschränkt. Im Folgenden werden das Experteninterview und die Delphi-Methode als gebräuchliche Verfahren der Zukunftsforschung vorgestellt.

5.2.1 Experteninterviews

Experteninterviews dienen der Erfassung von Expertenwissen. Verglichen mit anderen Befragungsarten definieren sie sich über die spezielle Auswahl und den Expertenstatus der Befragten.¹⁰⁶ Das Interesse liegt an der Befragung der Expertenrolle und nicht an der Befragung des Menschen als Ganzes. In der Regel werden Einzelinterviews geführt, um wissenschaftliche Vorstellungen zu einem Thema herauszufinden.¹⁰⁷

5.2.1.1 Vorbereitung zum Interview

Die wichtigste Vorbereitung eines Experteninterviews seitens des Interviewers besteht in einer umfassenden Literaturrecherche zum Thema. Dabei soll der Forscher sich mit dem Fachgebiet, Fachausdrücken und den grundlegenden Zusammenhängen des Themas vertraut machen, um mit dem Befragten zu diskutieren und seine Antworten interpretieren zu können.¹⁰⁸ Darüber hinaus trägt auch die Gestaltung eines Fragebogens dazu bei, dass sich der Forscher mit dem Thema beschäftigt und nicht als inkompetenter Gesprächspartner beim Experten auftritt.¹⁰⁹

¹⁰⁵ Vgl. Sztuka (2016), Onlinequelle [19.07.16].

¹⁰⁶ Vgl. Baur/Blasius (2014), S 559.

¹⁰⁷ Vgl. Krüger/Riemeier (2013), S. 125.

¹⁰⁸ Vgl. Mieg/Brunner (2001), S.9.

¹⁰⁹ Vgl. Meuser/Nagel (1991), S. 448.

Generell ist die Verwendung eines Leitfadens für die Durchführung des Interviews empfehlenswert.¹¹⁰ Zum einen hilft der Leitfaden dabei, das Interview möglichst effektiv zu gestalten: Es wird sichergestellt, dass die wesentlichen Fragen vollständig und hinreichend spezifisch behandelt werden. Zum anderen soll er als Gedächtnisstütze dienen und dem Interviewer eine Orientierung im Gespräch geben. Dies wird durch verschiedene inhaltliche Elemente sichergestellt: In der Regel enthält der Fragebogen (Erzähl-) Aufforderungen, Stichworte für frei formulierte Fragen und explizit vorformulierte Fragen.¹¹¹ Der Aufbau kann sehr unterschiedlich sein und muss auch nicht alle Details der Fragen enthalten. Allerdings sollte der Leitfaden eine erkennbare Grobstruktur aufweisen.¹¹²

Zu Beginn soll der *Einstieg*, beispielsweise mit einer umfassenden Frage zur persönlichen Beziehung des Experten zum Thema, eine entspannte Atmosphäre schaffen. Der anschließende *Hauptteil* beinhaltet die wesentlichen Fragen des Gespräches. Eventuell zu priorisierende Fragen sollten möglichst früh zur Sprache kommen, damit diese sicher beantwortet werden. Zu jeder Frage sollten sich im Vorhinein zu erwartende Antworten überlegt werden. Den Schluss sollte ein *Ausstieg* mit einem Rückblick über das Gespräch sowie einem Ausblick des Projektes und einem Dank für das Interview bilden.

Um wissenschaftliche Validität sicherzustellen, hat sich nach Mayring¹¹³ ein Interview an folgenden vier Gütekriterien zu orientieren:

- Verfahrensdokumentation: Dokumentation der Vorgehensweise und Verweis auf die verwendeten wissenschaftlichen Methoden.
- Datendokumentation: Aufzeichnung des Interviews in Form einer Audio- oder Videodatei.
- Mitwirkung der Probanden: Das Interesse des Befragten zum Thema und die aktive Mitgestaltung am Interview ist eine wesentliche Voraussetzung für den Erhalt von qualitativ hochwertigen Daten.
- Interne Triangulation: Im Laufe des Interviews soll an mehreren Stellen auf die gleichen Aspekte eingegangen werden. Dadurch können Aussagen zu einem Thema vor dem Hintergrund verschiedener Kontexte verglichen werden.

Wie oben erwähnt, spielt das Interesse des Befragten eine wesentliche Rolle zum Gelingen des Interviews. Wie im anschließenden Kapitel aufgezeigt, ist darüber hinaus auch der Expertenstatus des Befragten von Bedeutung.

¹¹⁰ Vgl. Meuser/Nagel (1991), S. 448 f; Mieg/Brunner (2001), S. 9 ff.

¹¹¹ Vgl. Baur/Blasius (2014), S. 560.

¹¹² Vgl. Mieg/Brunner (2001), S. 13.

¹¹³ Vgl. Mayring (2010), zitiert nach Krüger/Riemeier (2013), S. 123 f.

5.2.1.2 Auswahl von Experten

Wer als Experte für eine Befragung in Betracht kommt, ist prinzipiell vom Interviewer festzulegen. Je nach Branche oder Fragestellung, kann der Begriff *Expertenstatus* stark variieren. Nach Meuser/Nagel sollte auf einen ausgewählten Experten jedoch folgendes zutreffen:¹¹⁴

- Er trägt in irgendeiner Weise Verantwortung für den Entwurf, die Umsetzung oder die Kontrolle einer Problemlösung.
- Er hat privilegierten Zugang zu Informationen über Personengruppen oder Entscheidungsprozesse.

Diese Beschreibung trifft nicht zwingend nur auf Personen der obersten Hierarchieebene zu, auch Mitarbeiter eines Spezialbereiches können einen Expertenstatus aufweisen. Wesentlich ist, dass der Experte nicht in seiner Gesamtheit als Person gesehen werden darf – er ist nur als Repräsentant seiner Organisation zu sehen. Erst diese gibt ihm die Möglichkeit, als Experte zu aufzutreten. Seine Rolle als Privatmensch ist dabei unwesentlich.¹¹⁵

Mieg/Brunner halten eine konkretere Beschreibung eines Experten fest: Ein Experte ist "...jemand, der....aufgrund von langjähriger Erfahrung über bereichsspezifisches Wissen/Können verfügt."¹¹⁶

Die Erfahrung ist daran zu bewerten, dass es etwa 10 Jahre Beschäftigung und Training mit einem Bereich benötigt, um Expertenkompetenz aufzubauen. Diese oben genannte Definition soll helfen, einen häufigen Fehler von Experteninterviews zu vermeiden: Die Auswahl von Personen für eine Befragung, die zwar über eine eigene Meinung zu dem Thema besitzen, aber nicht über ein ausreichendes Expertenwissen. Ist dies der Fall, so kann, wie im anschließenden Kapitel ausgeführt, der Diskurs für beide Parteien einen unangenehmen Verlauf nehmen.

5.2.1.3 Diskursverläufe

Meuser/Nagel¹¹⁷ nennen verschiedene Diskursverläufe, die ein Experteninterview nehmen kann. Das Misslingen eines Interviews halten sie an folgenden Punkten fest:

- Der Experte ist fälschlicherweise als Experte ausgewählt worden. Er kennt sich mit dem Thema nicht oder nicht mehr aus. Dies führt dazu, dass der Experte das Interview blockiert. Tritt dieser Fall ein, so ist er innerhalb weniger Minuten für die Beteiligten offensichtlich. Hier sollte man als Interviewer nicht auf seine vorgefertigten Fragen zurückgreifen, sondern versuchen, sich auf den

¹¹⁴ Vgl. Meuser/Nagel (1991), S. 443.

¹¹⁵ Vgl. Meuser/Nagel (1991), S. 443 f.

¹¹⁶ Mieg/Brunner (2001), S. 6.

¹¹⁷ Vgl. Meuser/Nagel (1991), S.449 ff.

Befragten einzulassen und das Interview durchzuführen, bis die angefragte Zeitspanne in etwa abgelaufen ist.

- Der Experte interessiert sich nur unwesentlich für die Themen des Interviewers. Er nutzt die Chance, sein Fachwissen auszupacken und zu präsentieren. Als Fragender ist man dazu angehalten, die Situation zu bremsen und auf das wesentliche Thema zurückzukommen.
- Der Befragte wechselt häufig die Rollen zwischen Experte und Privatmensch. Er spricht zwar über seine Tätigkeit als Experte, allerdings in großem Umfang auch über sein Familien- oder Vereinsleben. Dies gibt dem Interviewer Aufschluss über den Menschen an sich, aber nicht über das Thema.

Das Zustandekommen eines konstruktiven und gelungenen Interviews beschreiben Meuser/Nagler anhand der Charakteristika zwei häufig vorkommender Diskursverläufe:¹¹⁸

- Die häufigste Form einer erfolgreichen Befragung entspringt dem Interesse des Befragten. Dieser beginnt oft bereits zu Beginn des Gespräches mit dem Nachfragen zur Forschungsfrage, dem Forschungsinstitut oder ähnlichem. In diesem Kontext werden die Rollen zwischen Forscher und Experten eingehalten: „Der Forscher interessiert den Experten für eine Sache, und der Experte entfaltet seine Sicht der Dinge.“¹¹⁹
- Eine ebenfalls häufige Form einer gelungenen Befragung beruht auf dem Interesse eines Gedankenaustausches des Experten. Dieser sucht in einer Diskussion mit dem Interviewer eine Bestätigung seiner eigenen Sichtweise. Um ein Abschweifen des Befragten von der Expertenrolle zu verhindern, ist eine Diskurseröffnung mit Informationen zu Forschungsfrage, Forschungsumfang und Forschungsinstitut empfehlenswert.

5.2.1.4 Auswertung des Interviews

Ziel der Auswertung der einzelnen Befragungen ist es, eine Vergleichbarkeit der verschiedenen Interviews herzustellen.¹²⁰ Dabei sollen die wesentlichen Kerne der Aussagen herausgefiltert werden. In der Regel geschieht dies durch die Interpretation der Expertenaussagen durch den Forscher. Die Gefahr dabei besteht in dem Risiko, dass die Bedeutungszuweisungen von Interviewer und Befragten voneinander abweichen.¹²¹ Bei leitfadengestützten Interviews kann dieses Risiko verringert werden, da der Leitfaden vorformulierte Kategorien darstellt, die in die Auswertung aufgenommen werden.¹²²

¹¹⁸ Vgl. Meuser/Nagel (1991), S. 450.

¹¹⁹ Meuser/Nagel (1991), S. 450.

¹²⁰ Vgl. Meuser/Nagel (1991), S. 451.

¹²¹ Vgl. Krüger/Riemeier (2013), S.134 f.

¹²² Vgl. Meuser/Nagel (1991), S. 454.

Auf welchem Wege die Auswertung geschieht, ist vor allem vom Aufbau des Leitfadens und vom Ablauf des Gespräches abhängig. Krüger/Riemeier¹²³ stellen für ein Interview eine Auswertemethodik in fünf Schritten vor. Den ersten Teil stellt die *Transkription* der aufgenommenen Audio- oder Videodatei in eine schriftliche Form dar. Anschließend werden die Daten *redigiert*. Dabei wird das Transkript bearbeitet, um die Aussagen klarer werden zu lassen. Mit diesem Schritt werden die Daten auf wesentliche Aspekte reduziert. Das darauffolgende *Ordnen* versucht, die Aussagen sinngemäß zu strukturieren. Dabei werden bedeutungs- und sinnvolle Äußerungen gebündelt. Damit kann in der Phase der *Explikation* Zusammenhänge erkannt und in Form eines Fließtextes festgehalten werden. Dieser Fließtext stellt die Interpretation des Interviews aus Sicht des Forschers dar. Anschließend werden in einer *Einzelstrukturierung* relevante inhaltliche Aspekte herausgearbeitet und vom Forscher beurteilt.

5.2.2 Delphi-Methode

Die Delphi-Methode ist ein genuines Werkzeug der Zukunftsforschung.¹²⁴ Sie ist eine äußerst populäre und vielverwendete qualitative Methode auf Basis von Expertenbefragungen. Sie ist dadurch charakterisiert, dass die Interviews einem strukturierten Prozess unterliegen. Dieser Prozess wird so lange durchgeführt, bis sich ein Konsens der Ergebnisse der Expertenbefragungen einstellt.

Vor der Durchführung einer Delphi-Methode, ist es wichtig, sich über folgende Fragestellungen im Klaren zu sein:¹²⁵

- Was ist das Ziel der Studie?
- Art und Umfang der verfügbaren Ressourcen hinsichtlich Personen, Zeit und finanzielle Mittel?
- Ist die Delphi-Methode überhaupt das Mittel der Wahl?

Sind diese Fragestellungen geklärt und wird eine Delphi-Studie als sinnvoll erachtet, entwirft ein Moderator einen Fragebogen zum Thema der Untersuchung. Dazu ist eine vorhergehende Beschäftigung des Moderators mit dem Zielthema notwendig. Aus Recherchen oder Experteninterviews wird in einem ersten Schritt Material gesammelt, um eine Grundlage für die Erstellung eines sinnvollen Fragebogens zu erarbeiten.¹²⁶ Dieser wird anschließend an Experten des jeweiligen Prognosegebietes verteilt und ist von diesen unabhängig voneinander auszufüllen. Die Fragebögen werden daraufhin an den Moderator zurückgesendet und von diesem ausgewertet. Auf Grundlage der erhaltenen Informationen wird der Fragebogen überarbeitet und erneut den Experten zugesandt. Zusätzlich erhalten die Experten das Resümee der ersten Befragungsrunde. Dies ermöglicht es ihnen, ihre Position im Vergleich zum Gesamtbild der Expertengruppe zu überdenken.¹²⁷ Die von den Experten daraufhin erneut ausgefüllten Fragebögen gehen zum Moderator

¹²³ Vgl. Krüger/Riemeier (2013), S. 135 ff.

¹²⁴ Vgl. Tiberius (2011), S. 69 f.

¹²⁵ Vgl. Popp/Schüll (2009), S. 215.

¹²⁶ Vgl. Popp/Schüll (2009), S. 208.

¹²⁷ Vgl. Thonemann (2010), S. 37.

zurück, welcher diese wiederum auswertet. Diese Vorgehensweise wird wiederholt, bis sich ein ausreichender Konsens der Meinungen der verschiedenen Experten eingestellt hat. Der Ablauf der Delphi-Methode und ihr iterativer Charakter sind in Abbildung 13 dargestellt.

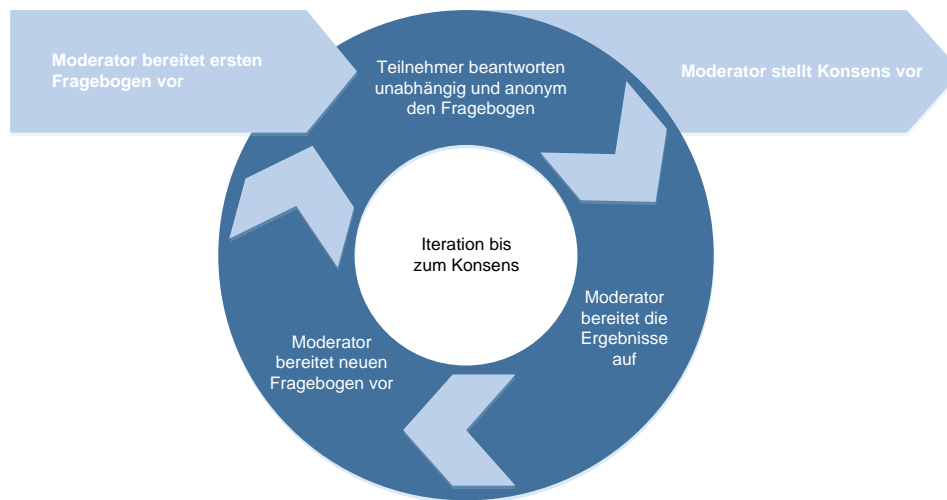


Abbildung 13: Vorgehensweise der Delphi-Methode, Quelle: Thonemann (2010), S. 37 (leicht modifiziert).

Die anonyme und unabhängige Bearbeitung des Fragebogens fördert das aufrichtige Antworten zu kontroversen Themen. Ebenso wird, anders als in einer Gruppendiskussion, sichergestellt, dass die Meinungen jeder Person gleich gewertet werden. Es wird verhindert, dass einzelne Personen oder Meinungen die Diskussion dominieren.¹²⁸

Die Gefahr bei Delphi-Befragungen besteht darin, dass deren Ergebnisse als Fakten oder die Wahrheit missverstanden werden. Korrelierende Expertenmeinungen und statistisch hinterlegte Daten vermitteln das Gefühl, vermeintlich die Wahrheit über die Zukunft voraussagen zu können. Dadurch besteht das Risiko, dass sich *self-fulfilling-prophecies* oder *self-destructing-prophecies* einstellen. Daher ist die Evaluation von Ergebnissen aus Delphi-Studien als äußerst schwierig einzustufen.¹²⁹

Als Nachteil ist festzuhalten, dass die Delphi-Methode in der Regel sehr konservative Ergebnisse liefert.¹³⁰ Die aus den Experteninterviews extrahierten Erkenntnisse liegen meist nahe der allgemeinen öffentlichen Vorstellung über die Entwicklung des betrachteten Themas. Bei der Recherche von öffentlichen Medien, etwa Zeitungen, können in der Regel ähnliche Erkenntnisse schlussgefolgert werden. Ebenso kann die Delphi-Methode kaum überraschende Wendungen, beispielsweise unerwartete politischen Entscheidungen, erfassen.

¹²⁸ Vgl. Thonemann (2010), S. 38.

¹²⁹ Vgl. Popp/Schüll (2009), S. 214.

¹³⁰ Vgl. Ebert (2016), Onlinequelle [19.07.16].

Als allgemeines Charakteristikum der Delphi-Methode kann der Aufwand zur Durchführung genannt werden.¹³¹ Zum einen ist zur Erstellung, Überarbeitung und Auswertung der Fragebögen ein erheblicher Zeitaufwand erforderlich. Um diesen zu bewältigen ist in der Regel eine Fachkommission anstatt eines einzelnen Moderators notwendig. Diese kann, je nach Umfang, bis zu 100 Personen umfassen.¹³² Zum anderen müssen Experten zur Verfügung stehen, die einwilligen, den gesamten Prozess mitzubegleiten. In diesem Fall kommen in der Regel auch finanzielle Aufwände zum Tragen, da sich die Experten ihr Wissen üblicherweise gut bezahlen lassen.

Die Ergebnisse der vorgestellten Methoden des Experteninterviews und der Delphi-Methode können verwendet werden, um die behandelten Themen weiterführend zu charakterisieren. So können diese beispielsweise in Form einer Portfoliodarstellung, wie im anschließenden Kapitel dargestellt, aufbereitet werden. Diese gibt Auskunft über die Priorität eines Themas zur weiterführenden Betrachtung.

5.3 Portfoliodarstellung zukünftiger Umweltfaktoren

Um im Rahmen einer Umweltanalyse identifizierte Faktoren hinsichtlich ihrer Auswirkungen zu priorisieren, kann die Portfolio-Technik angewendet werden. Die vorgestellte Methode ist angelehnt an Recklies¹³³ und versucht, die Priorität zukünftig eintretender Faktoren abzuschätzen.

Dabei werden die betrachteten Faktoren in einem kartesischen Koordinatensystem entsprechend ihrer zu erwartenden Veränderung des Ausprägungsgrades und der anzunehmenden Relevanz für die jeweilige Branche eingetragen. Faktoren, die eine hohe Branchenrelevanz sowie eine ausreichende Veränderung ihres Ausprägungsgrades aufweisen, sind für die Generierung von Szenarien ausschlaggebend. Abbildung 14 stellt ein schematisches Portfolio mit mehreren Faktoren dar, wobei angemerkt sei, dass selbstverständlich auch andere Portfoliodimensionen zur Priorisierung herangezogen werden können.

¹³¹ Vgl. Thonemann (2010), S. 38; Ebert (2016), Onlinequelle [19.07.16].

¹³² Vgl. Popp/Schüll (2009), S. 215.

¹³³ Vgl. Recklies (2006), Onlinequelle [19.07.16].

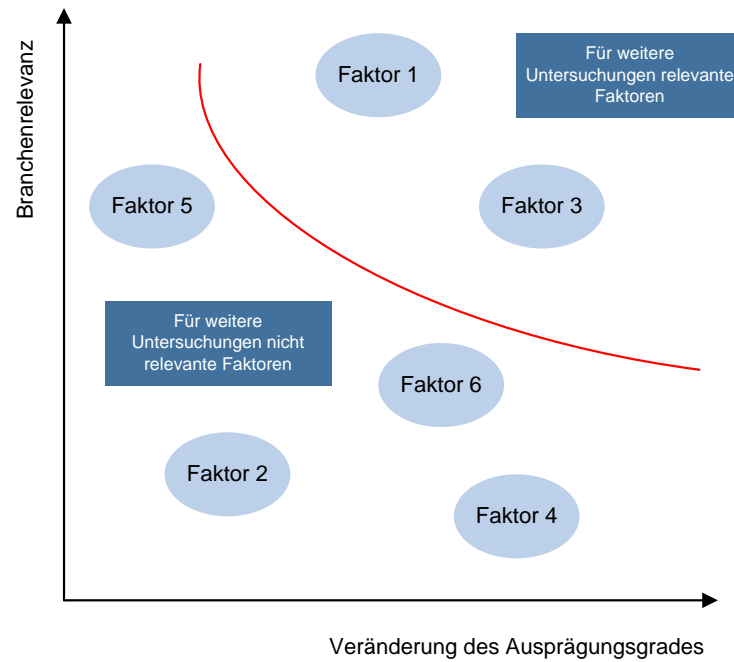


Abbildung 14: Portfoliodarstellung der PESTEL-Faktoren, Quelle: Eigene Darstellung.

Die auf der Abszisse aufgetragene Veränderung des Ausprägungsgrades bezeichnet, wie stark die Auswirkungen einer zu erwartenden Änderung, sind. Ist von großen Veränderungen, bezogen auf den heutigen Wert, auszugehen, so weist der Faktor eine hohe Veränderung seines Ausprägungsgrades auf. Abbildung 15 stellt schematisch zwei beispielhafte Veränderungen von Zuständen über die Zeit dar. Sie soll die zeitliche Abhängigkeit der Ausprägung eines Einflussfaktors verdeutlichen.

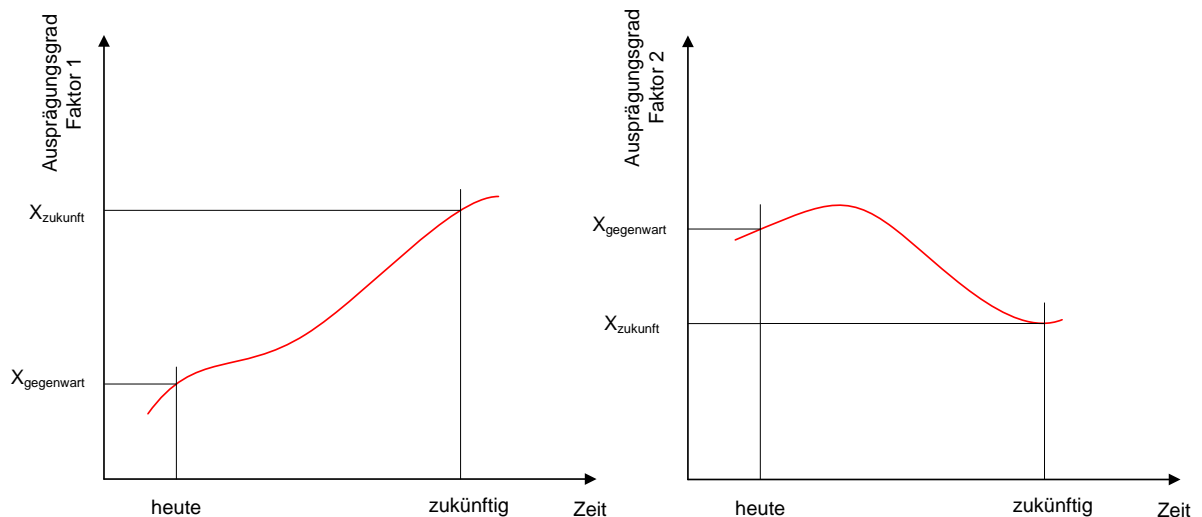


Abbildung 15: Zeitliche Veränderung von Einflussfaktoren. Die Faktoren können Zustände wie Kosten, Marktveränderung, Bevölkerungszahl etc. darstellen. Quelle: Eigene Darstellung.

Formal kann die Veränderung des Ausprägungsgrades als Verhältnis eines zukünftig erwarteten Werts X_{zukunft} zum heutigen Wert $X_{\text{gegenwart}}$ verstanden werden. Sie wird definiert als der Quotient von Zustandsänderung zu gegenwärtigem Ausmaß der betrachteten Größe, siehe (2) und (3).

$$I = \frac{X_{zukunft} - X_{gegenwart}}{X_{gegenwart}} \quad (2)$$

$I/-$

Veränderung des Ausprägungsgrades

$X_{zukunft}$

zukünftiger Ausprägungsgrad

$X_{gegenwart}$

gegenwärtiger Ausprägungsgrad

$$I = \frac{X_{zukunft}}{X_{gegenwart}} - 1 \quad (3)$$

Somit kann die Veränderung des Ausprägungsgrades als semiquantitativer Wert, in Abhängigkeit der Art und Weise der Abschätzung prognostizierter Werte, verstanden werden.

Die auf der Ordinate aufgetragene Relevanz stellt die Wichtigkeit des Einflusses eines Faktors auf die Branche dar. Sie beschreibt die zu erwartenden Auswirkungen auf das Wirtschaften in der jeweiligen Industriesparte. Sind offensichtliche Zusammenhänge zur betrachteten Branche erkennbar, so ist die Relevanz eines Faktors als hoch einzustufen.

Für die vorliegende Arbeit ist dieser Wert aufgrund komplexer Wirkungszusammenhänge der globalen Ökonomie und des Teilsystems verfahrenstechnischer Branchen nur qualitativ beurteilbar. Dies kann mithilfe von verschiedenen Expertenbefragungen, wie in Kapitel 5.2 aufgezeigt, geschehen. Eine solche qualitative Bewertung beinhaltet jedoch die Tatsache, dass die Branchenrelevanz stets der subjektiven Einschätzung des Beurteilers unterliegt.

Wie im Laufe dieses Kapitels aufgezeigt, stehen mehrere Möglichkeiten zur Verfügung, um Innovationstreiber in einer Branche zu identifizieren, zu bewerten und zu priorisieren. Für eine weiterführende Betrachtung relevanter Innovationstreiber wird anschließend in Kapitel 6 die Szenario-Technik vorgestellt. Mit ihr können als wichtig eingestufte zukünftige Faktoren hinsichtlich ihrer Ausprägungen und Zusammenhänge beschrieben werden.

6 SZENARIO-TECHNIK

Ein Szenario ist eine Geschichte, in der ein mögliches Zukunftsbild beschrieben wird. Dieses Bild wird auf Basis von logisch zusammenpassenden Annahmen generiert. Die Szenario-Technik soll dazu dienen, aufzuzeigen, wodurch Zukunftssituationen gekennzeichnet sind und welche Wirkungszusammenhänge, Abhängigkeiten oder eventuelle Störereignisse¹³⁴ sie aufweisen können. Es ist ein Werkzeug, um nicht sichtbare Perspektiven und Entwicklungen offenzulegen¹³⁵ und komplexe Zusammenhänge verständlich darzustellen.

Mit der Szenario-Technik können Unternehmen auf die Zukunft vorbereitet und Strategien auf ihre Zukunftsrobustheit hin beurteilt werden. Sie ist ein Werkzeug, um ein Unternehmen auf das Eintreten von möglichen oder wahrscheinlichen Ereignissen vorzubereiten. Szenarien sollen eine klare Vorstellung über die Einflussfaktoren und deren Auswirkungen auf das Geschäft liefern.¹³⁶

Der Weg in die Zukunft ist üblicherweise mit Unsicherheiten behaftet. Um ihn zu veranschaulichen, kann die Entwicklung von der Gegenwart, hin zu zukünftigen Szenarien, in Form eines Trichters dargestellt werden, wie Abbildung 16 zeigt. Mögliche Entwicklungspfade können unvorhergesehenen Störereignissen unterliegen, die das Bild einer möglichen Zukunft beeinflussen.

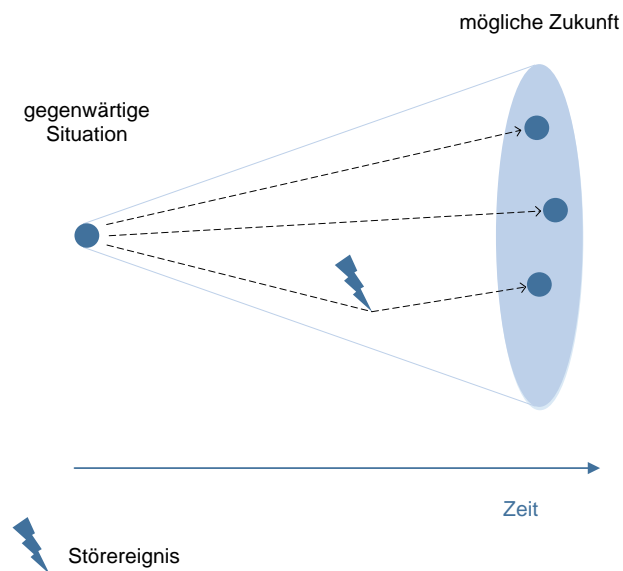


Abbildung 16: Darstellung des Weges in die Zukunft in einem Szenario-Trichter, Quelle: In Anlehnung an Hungenberg (2014), S. 183

¹³⁴ Vgl. Hungenberg (2014), S. 182.

¹³⁵ Vgl. Kolbusa (2013), S. 89.

¹³⁶ Vgl. Kerth/Asum/Stich (2011), S. 224.

Zweck einer Szenarioanalyse ist nicht, eine Unternehmensstrategie aufgrund eines Zukunftsbildes festzulegen. Vielmehr soll eine Auseinandersetzung der Entscheidungsträger mit wichtigen Einflussfaktoren erfolgen, um das Risiko zu minimieren, dass wichtige Entwicklungen übersehen werden.¹³⁷ Daher dienen Szenarien dazu, Unsicherheiten zu reduzieren und neue strategische Möglichkeiten zu erkennen.¹³⁸ Die Voraussetzung dazu wird geschaffen, indem die Szenario-Technik ein „möglichst schlüssiges Gesamtbild der zukünftigen Handlungssituation eines Unternehmens“¹³⁹ entwirft.

Kolbusa¹⁴⁰ grenzt die Anwendung der Szenario-Technik auf zwei Zugänge ein:

- Unternehmen, die keine konkrete Strategie in Hinsicht auf zukünftige Entwicklungen besitzen, nutzen Szenarien zur Generierung von Ideen und strategischen Optionen.
- Unternehmen, die eine bestehende Strategie aufweisen können, und diese auf ihre Zukunftsrobustheit hinsichtlich möglicher Entwicklungen überprüfen wollen.

Ein wesentliches Charakteristikum des Szenarios liegt darin, dass sein Erscheinen plakativ und verständlich dargestellt wird. Durch seine narrative Eigenschaft können sich auch Personen, die mit der Materie nicht vertraut sind, die ausgemalte Zukunft vorstellen. Damit bildet es einen Rahmen zur bereichs- und hierarchieübergreifenden Diskussion und Kommunikation im Unternehmen.¹⁴¹

Diese Einfachheit beinhaltet auch, dass die Zukunftsentwicklungen sehr variabel dargestellt werden können. Dadurch können unwahrscheinliche, extreme Störereignisse, sogenannte *Wild Cards* in die Überlegungen leicht miteingebracht werden. Das führt zu einem starken Ehrlichkeits-Effekt: Es wird nicht vorgegeben, dass das Szenario eintreten wird, aber dass es im Bereich des Möglichen liegt, dass es eintreten kann.¹⁴²

Grundsätzlich könne mehrere Szenarien-Typen unterschieden werden. Als die am häufigsten eingesetzten können folgende genannt werden:¹⁴³:

- Trendszenarien: Sie bilden eine Verlängerung aktueller Trends in die Zukunft ab. Daher ist es als wahrscheinlich einzustufen, dass sie eintreten. Trendszenarien entsprechen *realistic-case*-Szenarien.
- Extremszenarien: Starke Abweichungen von erwarteten Entwicklungen werden beleuchtet. In der Regel werden *best-case*- und *worst-case*-Szenarien gegenübergestellt.

¹³⁷ Vgl. Hungenberg (2014), S. 182.

¹³⁸ Vgl. Kolbusa (2013), S. 59.

¹³⁹ Vahs/Brem (2015), S. 128.

¹⁴⁰ Vgl. Kolbusa (2013), S. 60.

¹⁴¹ Vgl. Kerth/Asum/Stich (2011), S. 226.

¹⁴² Vgl. Horx (2010a), S. 2.

¹⁴³ Vgl. Woop (2006) S. 41 f., zitiert nach Horx (2010a), S. 2.

- Kontrastszenarien: Es wird eine in der Zukunft wünschenswerte Situation erstellt. Damit können Maßnahmen erarbeitet werden, welche eine Annäherung an die wünschenswerte Situation ermöglichen. Dies geschieht in der Regel mit *Backward-Approach*-Ansätzen.

Welche Typen von Szenarien erstellt und verwertet werden, ist unterschiedlich: Tiberius sowie Kerth/Asum/Stich¹⁴⁴ sprechen vom klassischen Ansatz, drei Szenarien zu generieren. Dies umfasst ein best-case-, ein worst-case-, sowie ein realistic-case-Szenario. Hungenberg¹⁴⁵ hingegen empfiehlt, zwei oder vier Szenarien zu bilden, um eben genau diesem Denken in best-case-, worst-case- und realistic-case-Szenarien zu entgehen.

6.1 Vorbereitungen zum Erstellen von Szenarien

Am Anfang einer erfolgreichen Szenarioanalyse steht eine konkrete Fragestellung. Vorab muss geklärt werden, was das Unternehmen mit den Szenarien erreichen will oder welche unternehmerische Unsicherheit behandelt werden soll. Eine allumfassende und weitschweifige Analyse hat einen geringen Erkenntnisgewinn zur Folge, denn diffuse Fragestellungen führen zu ebensolchen Antworten.¹⁴⁶ Daher soll das Szenarien-Thema so konkret und problembezogen wie möglich formuliert werden. Eine Hilfestellung dazu kann die *Drei-Punkt-Peilung*¹⁴⁷ bieten. Dabei wird zuerst die Leitfrage für die Szenarientwicklung festgelegt, die den Umfang des gesellschaftlichen oder unternehmerischen Problems beschreibt. Zweitens wird der betrachtete Zeithorizont abgegrenzt. Dieser sollte mit mindestens 5 Jahren und maximal 20 Jahren¹⁴⁸ beschränkt sein. Drittens wird der relevante geographische Markt, also z.B. die regionale oder internationale Entwicklung, festgelegt.

Um eine Auseinandersetzung mit einer solch konkreten Fragestellung zu ermöglichen, ist es nicht notwendig, eine große Zahl von Szenarien zu gestalten. Hungenberg¹⁴⁹ empfiehlt, sich auf zwei oder vier Szenarien festzulegen, um dem Denken in best-case-, worst-case- und realistic-case-Kategorien zu entgehen. Vor allem aber sollte die Vorgehensweise des Entwurfes von Qualität gekennzeichnet sein. Jedes Szenario sollte anhand einer konsistenten Menge an Faktoren generiert werden, die nachvollziehbare Auswirkungen mit sich bringen.

Diese Faktoren spannen den Raum auf, in dem das Szenarios erschaffen werden kann. Grundsätzlich gibt es zwei Möglichkeiten, wie man zu diesen Faktoren gelangt:¹⁵⁰ Zum einen können sie im Rahmen von

¹⁴⁴ Vgl. Tiberius (2011), S. 66; Kerth/Asum/Stich (2011), S. 228.

¹⁴⁵ Vgl. Hungenberg (2014), S. 183.

¹⁴⁶ Vgl. Kolbusa (2013), S. 60.

¹⁴⁷ Vgl. Kolbusa (2013), S. 91; Kerth/Asum/Stich (2011), S. 227.

¹⁴⁸ Vgl. Kerth/Asum/Stich (2011), S. 227.

¹⁴⁹ Vgl. Hungenberg (2014), S. 183.

¹⁵⁰ Vgl. Kolbusa (2013), S. 93.

Workshops eines Szenarien-Teams *from-the-scratch* erarbeitet werden. Zum anderen können die Szenarienräume auf Basis von Umweltfaktoren aus Studien und Rechercheergebnissen entwickelt werden. Dazu kann eine vorhergehende PESTEL-Analyse behilflich sein.¹⁵¹ Die daraus erhaltenen Faktoren können in ein PESTEL-Portfolio eingebettet werden, um die für die Szenarientwicklung relevanten Einflüsse herauszufiltern.

Allerdings sind auch andere Methoden in Betracht zu ziehen, um den für die Szenarienanalyse notwendigen Input zu generieren. Kerth/Asum/Stich¹⁵² verweisen auf Interviews und Expertenbefragungen auf Basis der Delphi-Technik. Damit sollen vor allem qualitative Informationen zur Marktentwicklung beschafft werden. Ebenso sind Trendexplorationen eine Hilfestellung zur Abschätzung von langfristigen Prognosen sowie Brainstorming zur Diskussion möglicher Entwicklungen.

6.2 Szenarien-Erarbeitung

Beim Akt der Erstellung eines Szenarios werden die gesammelten Daten verwendet, um ein Bild der Zukunft zu zeichnen. Im Folgenden werden verschiedene Vorgehensweisen vorgestellt, wie dies vonstattengehen kann.

6.2.1 Forward-Approach und Backward-Approach

Hungenberg¹⁵³ unterscheidet zwischen zwei Ansätze zur Entwicklung von Szenarien, dem *Forward-Approach* und dem *Backward-Approach*.

Bei beiden Ansätzen werden in einem ersten Schritt *Schlüsselfaktoren* identifiziert. Schlüsselfaktoren sind jene, die einen entscheidenden Einfluss auf die Branchenumwelt und somit auch auf den langfristigen Unternehmenserfolg haben. Die Anzahl der berücksichtigten Faktoren ist niedrig zu halten, da sonst die hohe Komplexität des Zukunftsbildes zu wenig aussagekräftigen Ergebnissen führt.¹⁵⁴

Im zweiten Schritt wird zwischen Forward-Approach und Backward-Approach unterschieden. Der gängigere Forward-Approach beschreibt ein Szenario auf Basis von maximal fünf bis sechs¹⁵⁵ definierten Schlüsselfaktoren. Im Gegensatz dazu spricht Kolbusa¹⁵⁶ von maximal 12 Schlüsselfaktoren eines klassischen Umfeld-Szenarios. Für jeden der Faktoren werden Annahmen über denkbare Ausprägungen getroffen, die anschließend die Charakteristik der generierten Szenarien darstellen. Wichtig ist, dass die Auswahl der

¹⁵¹ Vgl. Kappaun (2016), S. 8; Vahs/Brem (2015), S. 123.

¹⁵² Vgl. Kerth/Asum/Stich (2011), S. 226.

¹⁵³ Vgl. Hungenberg (2014), S. 182.

¹⁵⁴ Vgl. Hungenberg (2014), S. 182.

¹⁵⁵ Vgl. Hungenberg (2014), S. 183.

¹⁵⁶ Vgl. Kolbusa (2013), S. 92.

Ausprägungen zur Erstellung eines Szenarios auf sinnvollen Zusammenhängen beruht. Abbildung 17 zeigt die Vorgehensweise des Forward-Approachs anhand eines fiktiven Beispiels.

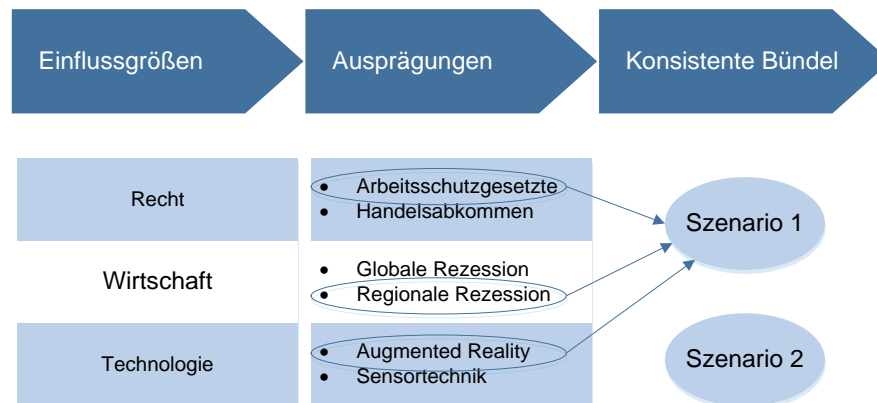


Abbildung 17: Ablauf des Forward-Approach zur Bildung von Szenarien, Quelle: Hungenberg (2014), S. 184 (leicht modifiziert).

Bei einer umfangreicheren Anzahl von Einflussfaktoren ist eine Kombination von Faktorausprägungen nicht mehr sinnvoll, weil sie zu komplexen Zusammenhängen führt.¹⁵⁷ Eine Methode um derartige Szenarien zu bearbeiten, stellt der Backward-Approach-Ansatz dar. Dabei werden bereits im zweiten Schritt, nach der Identifikation von Schlüsselfaktoren, mehrere Zukunftsschaubilder entworfen. Im anschließenden dritten Schritt werden aus diesen dann die wichtigsten Faktoren ermittelt. Daraufhin kann überlegt werden, welche Veränderung der einzelnen Einflüsse stattfinden muss, um eine Entwicklung des entworfenen Szenarios zu ermöglichen. Diesem Ansatz folgt vor allem die Generierung von Szenarien über längere Zeiträume, wie sie beispielsweise in der Mineralölindustrie üblich sind.¹⁵⁸

Eine dem Backward-Approach ähnliche Vorgehensweise beschreiben Kerth/Asum/Stich¹⁵⁹. Sie verwenden Ausarbeitungen der Firma *Siemens* zum Thema Retropolation, um ein Strategietool im Rahmen der Szenariotechnik zu entwickeln. Dabei wird zuerst eine zukünftige Situation des Unternehmens bestimmt. Diese spiegelt im Grunde ein gewünschtes Ziel wider: welche Marktposition soll eingenommen werden, welche Kundengruppen sollen angesprochen werden, welche Technologien sollen beherrscht werden, etc.

Anschließend wird das zukünftige Szenario auf die heutige Situation bezogen und Differenzen herausgearbeitet. Daraufhin werden Entwicklungslinien identifiziert: Mithilfe welcher Trends und Entwicklungen können diese Differenzen überwunden werden? Abschließend wird in einer Roadmap erarbeitet, welche konkreten Maßnahmen getroffen werden müssen, um die dargestellte Zukunftssituation zu erreichen.

¹⁵⁷ Vgl. Hungenberg (2014), S. 185.

¹⁵⁸ Vgl. Hungenberg (2014), S. 185.

¹⁵⁹ Vgl. Kerth/Asum/Stich (2011), S. 228 f.

6.2.2 Erstellen eines Szenarienraumes

Kolbusa¹⁶⁰ beschreibt ein Vorgehen, das dem Forward-Approach nach Hungenberg ähnlich ist. Dabei bewertet er die notwendige *Intensität* der Szenarien-Erarbeitung anhand des Umfanges und des Kontroversität-Grades der Szenarieninhalte. Der Ablauf der Szenariengenerierung umfasst das Auswählen der Schlüsselfaktoren, das Aufspannen des Szenarioraumes und das anschließende Ableiten der Szenarien.

6.2.2.1 Beschreibung Szenarienraum

Bei geringer notwendiger Intensität ist die Erarbeitung eines einfachen Szenarienraumes zur Generierung von Szenarien ausreichend. Diese Vorgehensweise ist vergleichbar mit der von Hungenberg vorgestellten Variante. Abbildung 18 zeigt einen beispielhaften Szenarienraum. Darin stellt beispielsweise die Marktentwicklung einen Schlüsselfaktor dar welcher in Zukunft verschiedene Ausprägungen aufweisen kann. Voraussetzung der Ausprägungen ist, dass diese vollständig disjunkt, also überschneidungsfrei, sind. Die Szenariengenerierung erfolgt, indem diejenigen Ausprägungen kombiniert werden, die stimmig und gut zueinander passen.¹⁶¹

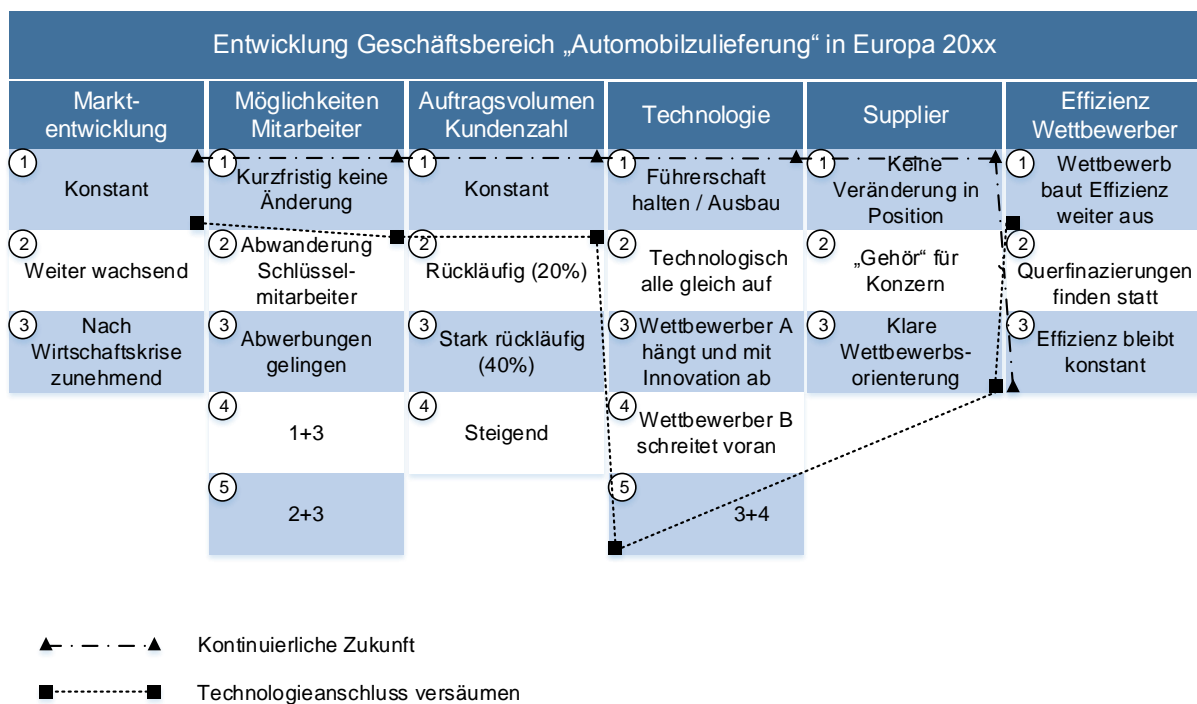


Abbildung 18: Aufbau eines Szenarienraumes zur Generierung von Szenarien, Quelle: Kolbusa (2013), S. 95 (leicht modifiziert)

Zunehmende Intensität, also größerer Umfang und höhere Kontroversität des Themas, macht eine umfangreichere Auseinandersetzung notwendig. Die auftretenden Zusammenhänge sind zu komplex, um sie mit einem einfachen Szenarienraum zu erklären. Die zunehmende Komplexität der Ausprägungen erfordert eine Aufschlüsselung der Ausprägungen in Subszenarienräumen. Darin wird das Zustandekommen der

¹⁶⁰ Vgl. Kolbusa (2013), S. 93 ff.

¹⁶¹ Vgl. Kolbusa (2013), S. 94.

Ausprägungen von umfangreichen Faktoren systematisch aufgeschlüsselt. Abbildung 19 stellt beispielhaft die Bildung der Ausprägungen des Faktors *Innovationsgrad* dar.

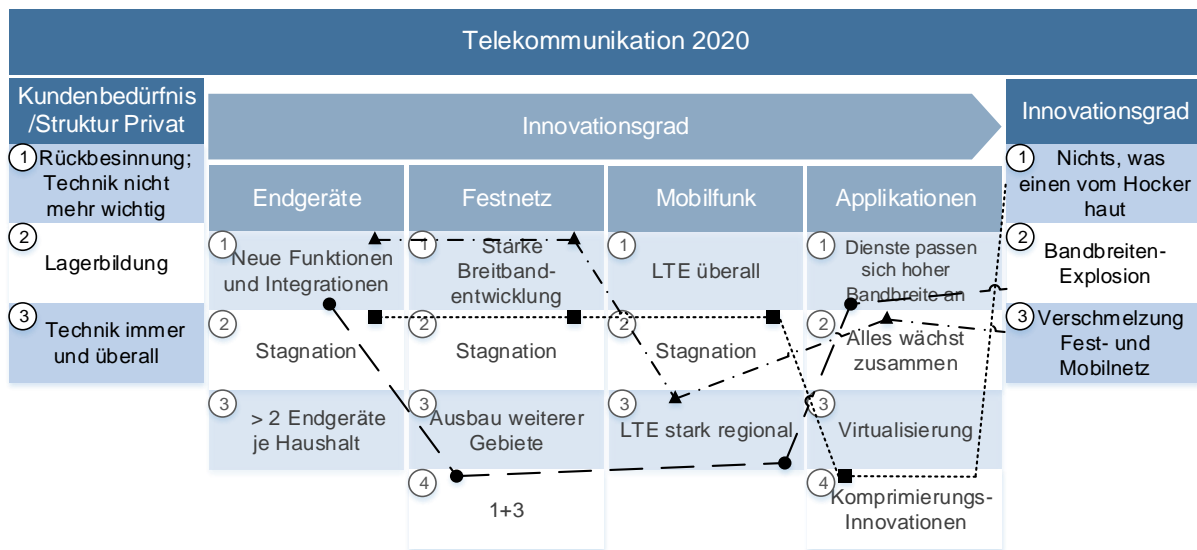


Abbildung 19: Aufbau eines Subsznenarienraumes zur Bildung eines Szenarienraumes, Quelle: Kolbusa (2013), S. 96 (leicht modifiziert).

Die Schwierigkeit der Behandlung von Szenarienräumen stellt das konsistente Zusammenfinden der verschiedenen Ausprägungen dar. Zum Lösen dieses Problems kann, wie im folgenden Abschnitt beschrieben, eine Konsistenzmatrix herangezogen werden.

6.2.2.2 Konsistenzmatrix

Durch die erhöhte Kontroversität sind zusammenpassende Ausprägungen unter Umständen nicht ohne Weiteres auf Anhieb zu erkennen. Abhilfe kann eine Konsistenzmatrix schaffen, wie in Abbildung 20 dargestellt ist. Diese stellt paarweise Beziehungen zwischen den einzelnen Ausprägungen dar. Ergänzen oder vertragen sich zwei Ausprägungen beispielsweise perfekt, wird dem Schnittpunkt ein Wert von +3 zugeordnet. Können zwei Elemente nicht miteinander auftreten, schließen sie sich aus oder stoßen sich deren Teile ab, wird ein Wert von -3 zugeordnet. Stehen zwei Ausprägungen in absolut keinem Zusammenhang zueinander oder weisen sie einen neutralen Zusammenhang auf, wird 0 eingesetzt.¹⁶²

Durch den Einsatz einer Konsistenzmatrix werden Synergien verschiedener Ausprägungen aufgedeckt. Dies führt zu einer Steigerung der Qualität der Zukunftsbilder. Allgemein wird die Konsistenz der einzelnen Ausprägungen zueinander als ein wesentliches Gütekriterium für die Szenarienbildung gesehen.¹⁶³

Abbildung 20 stellt eine beispielhafte Konsistenzmatrix dar. Damit sind jene Ausprägungen zu erkennen, welche einen starken Zusammenhang zueinander aufweisen. Paare, die über einen Wert von +2 oder +3

¹⁶² Vgl. Kolbusa (2013), S. 96 f.

¹⁶³ Vgl. Dönitz (2008), S. 15 f.

verfügen, sind Ausprägungen die gut zueinander passen und daher für die Bildung von Szenarien besonders interessant sind.¹⁶⁴

Entwicklung Energieträger 2030

		Preis Primärenergieträger			Neu-Aufbau AKWs			Markt-Mechanismen			Innovation/Technologieentwicklung		
		Niedrig (< 60 \$/bbl)	Mittel (> 60 \$/bbl, < 150 \$/bbl)	Hoch (> 150 \$/bbl)	Renaissance Kernenergie	Verlängerung Lebensdauer Bestand	Abschaltung AKWs	Freier Markt	Staatliche Anreizsysteme	Volle staatliche Regulierung	Neue Schlüsseltechnologien	Quantensprünge in bestehender Technik	Keine Innovationsschübe
Preis Primärenergieträger	Niedrig (< 60 \$/bbl)				-3	-3	0	3	0	0	2	2	3
	Mittel (> 60 \$/bbl, < 150 \$/bbl)				-2	1	-1	0	1	2	0	1	0
	Hoch (> 150 \$/bbl)				2	3	-3	0	0	0	3	2	1
Neu-Aufbau AKWs	Renaissance Kernenergie							-2	1	3	0	2	0
	Verlängerung Lebensdauer Bestand							2	0	0	0	0	0
	Abschaltung AKWs							-2	0	3	0	0	0
Markt-Mechanismen	Freier Markt										2	3	1
	Staatliche Anreizsysteme										3	2	-1
	Volle staatliche Regulierung										-1	-1	-1
Innovation/Technologieentwicklung	Neue Schlüsseltechnologien												
	Quantensprünge in bestehender Technik												
	Keine Innovationsschübe												

Abbildung 20: Konsistenzmatrix als Hilfsmittel zur Szenarienraumgenerierung, Quelle: Kolbusa (2013), S. 97 (leicht modifiziert).

Kritisch zu sehen ist der Einsatz einer Konsistenzmatrix beim Einsatz vieler Ausprägungen. Bei der in Abbildung 20 gezeigten Konsistenzmatrix mit 12 Ausprägungen sind 54 Konsistenzwerte durch das Szenarioteam zu schätzen. Beim Einsatz von 18 Ausprägungen wären hingegen bereits 135 Konsistenzwerte durch das Team zu bewerten. In diesem Fall stellt sich die Frage, inwieweit die Bewertung in sich stimmig und zuverlässig ist. In umfangreichen Fällen ist daher eine rechnergestützte Auswertung von Konsistenzwerten sinnvoll, wie sie von Dönitz¹⁶⁵ beschrieben wird.

Im Gegensatz zu dem von Kolbusa vorgestellten methodischen Verfahren, vermerken Kerth/Asum/Stich¹⁶⁶, dass die das Zusammenfinden von Ausprägungen und das anschließende Entwicklung der Szenarien in Form von Workshops erfolgen sollte. Das Zusammenpassen der identifizierten Ausprägungen sowie die Interpretation der Szenarien erfordere eine ausgiebige Diskussion.

¹⁶⁴ Vgl. Kolbusa (2013), S. 94.
¹⁶⁵ Vgl. Dönitz (2008), S. 17 ff.
¹⁶⁶ Vgl. Kerth/Asum/Stich (2011), S. 228.

7 VORGEHENSMODELL ZUR IDENTIFIKATION ZUKÜNFTIGER UNTERNEHMENSEXTERNER INNOVATIONSTREIBER IN DER VERFAHRENS- UND PROZESSTECHNIK

Im Praxisteil dieser Arbeit werden zukünftige Innovationstreiber für die Branche der Verfahrens- und Prozesstechnik identifiziert. Dabei werden zu Beginn anhand einer Entwicklungsrecherche zukünftige Trends identifiziert und anschließend als Unternehmens-Umweltfaktoren klassifiziert. Daraufhin werden diese Entwicklungen entsprechend ihrer erwarteten Veränderung des Ausprägungsgrades und ihrer Branchenrelevanz beurteilt. Ihre Auswirkungen und Zusammenhänge werden anschließend diskutiert sowie in Form von Szenarien erarbeitet und dargestellt. Abbildung 21 zeigt die eine Zusammenfassung der Vorgehensweise des Praxisteils.

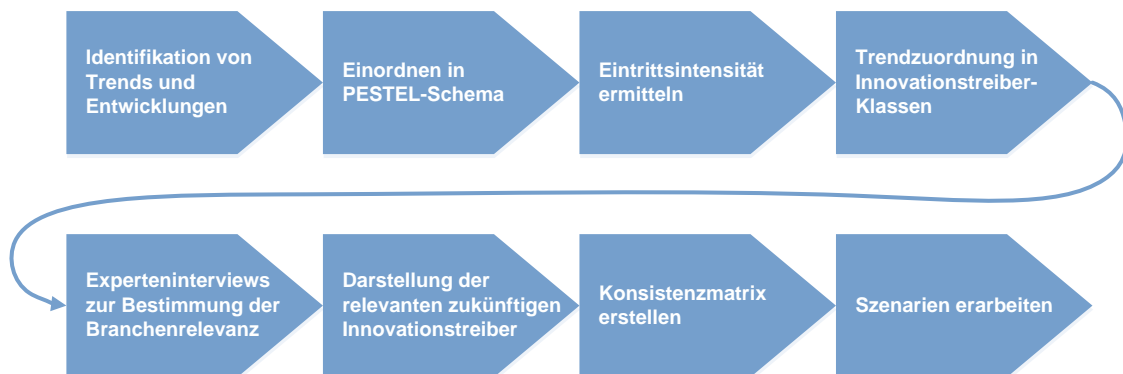


Abbildung 21: Übersicht der Vorgehensweise zum Praxisteil, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Bewertungsmaßstäbe zum Auffinden von zukünftigen Innovationstreibern sind in Form eines dreistufigen Filtermodelles gegliedert, wie in Abbildung 22 dargestellt. Jene Entwicklungen, die eine hohe Veränderung des Ausprägungsgrades, sowie eine hohe Branchenrelevanz aufweisen, werden als *relevante zukünftige Innovationstreiber* bezeichnet und in der Szenarienerarbeitung verwertet.

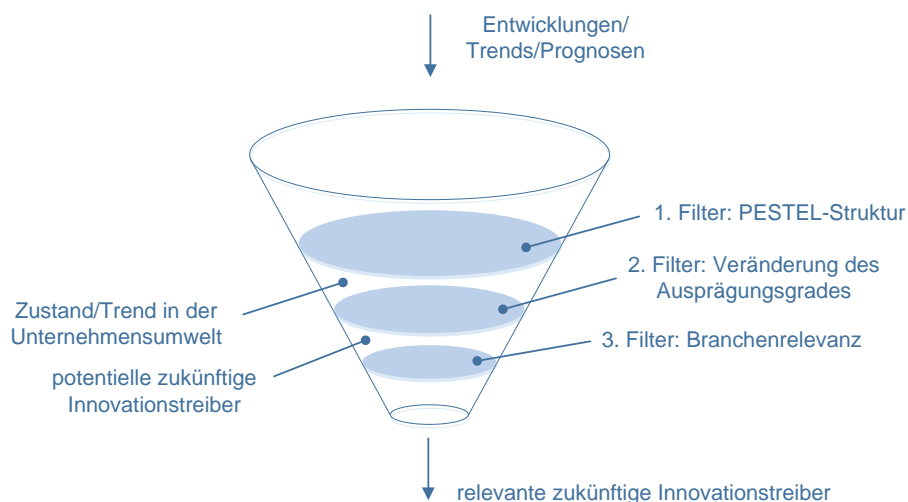


Abbildung 22: Dreistufiges Filtermodell zur Identifikation von relevanten zukünftigen Innovationstreibern,
Quelle: Eigene Darstellung.

Auswahl der Methoden

Das vorgestellte Modell basiert auf den Methoden der in Kapitel 5 und Kapitel 6 dargestellten Literaturrecherche. Diese Recherche orientiert sich an dem der Arbeit zugrundeliegenden Untersuchungsdesign. Die Auswahl der Methoden zur Erstellung des Vorgehensmodells des Praxisteils ist wie folgt zu begründen:

Die PESTEL-Analyse ist ein umfassendes Werkzeug zur Strukturierung von unternehmensexternen Einflüssen. Sie wird als geeignet erachtet, um einerseits eine Übersicht über recherchierte Trends und Entwicklungen zu schaffen und andererseits sicherzustellen, dass die Entwicklungen in der Unternehmensumwelt liegen. Die Portfoliodarstellung der PESTEL-Faktoren hinsichtlich ihrer Branchenrelevanz sowie ihrer Veränderung des Ausprägungsgrades ist ideal, um relevante Trends herauszufiltern. Zur Beurteilung der Branchenrelevanz werden Experteninterviews herangezogen. Es wird erwartet, dass erfahrene Spezialisten auf dem Gebiet der Verfahrenstechnik, die zuverlässigsten Aussagen über die Relevanz einer voraussichtlichen Entwicklung treffen können. Eine Delphi-Studie zur Expertenbefragung würde, unter Berücksichtigung der Ziele, die zeitlichen Kapazitäten dieser Arbeit sprengen. Die abschließende Szenario-Technik dient der zusammenfassenden und bildlichen Darstellung der identifizierten Innovationstreiber. Es wird davon ausgegangen, dass sich im Zuge der Erarbeitung von Szenarien wesentliche Zusammenhänge und die Form des Eintretens bestimmter Aspekte herauskristallisieren.

7.1 Recherche anthropogener Entwicklungen

Den ersten Schritt des Vorgehensmodells bildet eine Analyse anthropogener Entwicklungen. Mit dem Ziel, Innovationstreiber der Zukunft zu finden, wird eine Recherche zu vom Menschen verursachten Entwicklungen durchgeführt. Diese kann als Trend- und Prognosenrecherche aufgefasst werden. Sie dient dazu, anstehende Zustandsänderungen der Branchenumwelt zu identifizieren und somit einen Ausgangspunkt zur

Abschätzung zukünftiger Entwicklungen zu erarbeiten. Diese Recherche bildet die Basis, auf welcher eine Identifikation der zukünftigen Innovationstreiber der verfahrenstechnischen Branchen erfolgt.

7.1.1 Identifikation anthropogener Entwicklungen

Um eine möglichst effiziente Analyse bestehender und zukünftiger Entwicklungen zu gewährleisten, wird auf eine Literaturrecherche zurückgegriffen. Damit soll sichergestellt werden, dass ein möglichst umfassender Pool an potentiell wichtigen Entwicklungen erfasst wird. Auf Expertenbefragungen zur Identifikation von Trends, z.B. im Rahmen einer Delphi-Analyse, wird verzichtet. Diese würde einen erheblichen zeitlichen Aufwand erfordern.

Bei der Durchführung einer Literaturrecherche von Veröffentlichungen zum Thema Trendforschung und Prognoseentwicklung kann davon ausgegangen werden, dass der Zugang zu Aussagen und Prognosen von Spezialisten wesentlich erleichtert wird. Dadurch kann eine umfangreiche Datenbasis in vergleichsweise kurzer Zeit erarbeitet werden.

7.1.2 Einordnung in PESTEL-Schema

Innovationstreiber erweisen sich, wie in Kapitel 3.2.2 beschrieben, in der Regel als Zustände außerhalb des Unternehmens. Eine Umfeldanalyse ist daher grundsätzlich ein geeignetes Werkzeug zum Aufspüren von Innovationstreibern. Daher wird für die Strukturierung der ermittelten Entwicklungen eine PESTEL-Struktur verwendet. Im Gegensatz zur Durchführung einer klassischen Umfeldanalyse, werden jedoch keine gegenwärtigen Umweltfaktoren ermittelt: Es werden die identifizierten zukünftigen Zustände klassifiziert. Es erfolgt die Einordnung der im Vorhinein identifizierten Entwicklungen in die verschiedenen PESTEL-Faktoren. Damit soll eine Übersicht über die Gesamtheit der recherchierten Entwicklungen geschaffen werden.

Aus den ermittelten Prognosen werden anschließend Innovationstreiber extrahiert. Die Einordnung der Entwicklungen in das PESTEL-Schema ist der erste in Abbildung 22 dargestellte Filter: Entwicklungen, die als Innovationstreiber wirken können, müssen in der Unternehmensumwelt liegen. Daher werden diese, wie in Abbildung 23 dargestellt, als *Entwicklungen in der Unternehmensumwelt* bezeichnet.

7.2 Extraktion von Innovationstreibern

Wie in Kapitel 3.2.3 gezeigt, haben Trends prinzipiell das Potential, als Innovationstreiber zu wirken. Im Rahmen des praktischen Teils dieser Arbeit werden nur die direkten Auswirkungen von Trends und Entwicklungen, wie in Abbildung 9 aufgezeigt, auf zukünftige Innovationstreiber betrachtet. Soziale oder technologische Entwicklungen, die sich aus Trends ergeben und zur Bildung von Innovationstreibern in der Branche der Verfahrenstechnik führen, werden nicht berücksichtigt. Dies würde zum einen die Modellierung eines komplexen Ursache-Wirkungs-Systems, und zum anderen ausführliche Expertenbefragungen verschiedener Branchen erfordern, um zuverlässige Aussagen zu erhalten.

Um relevante zukünftige Innovationstreiber zu generieren, wird das Filtermodell aus Abbildung 22 verwendet. Die Beurteilungsmaßstäbe werden durch die Veränderung des Ausprägungsgrades und die Branchenrelevanz verkörpert. Abbildung 23 verdeutlicht die Prinzipien der Selektion. Relevant sind jene Entwicklungen, die eine hohe Veränderung ihres Ausprägungsgrades sowie eine hohe Branchenrelevanz aufweisen.

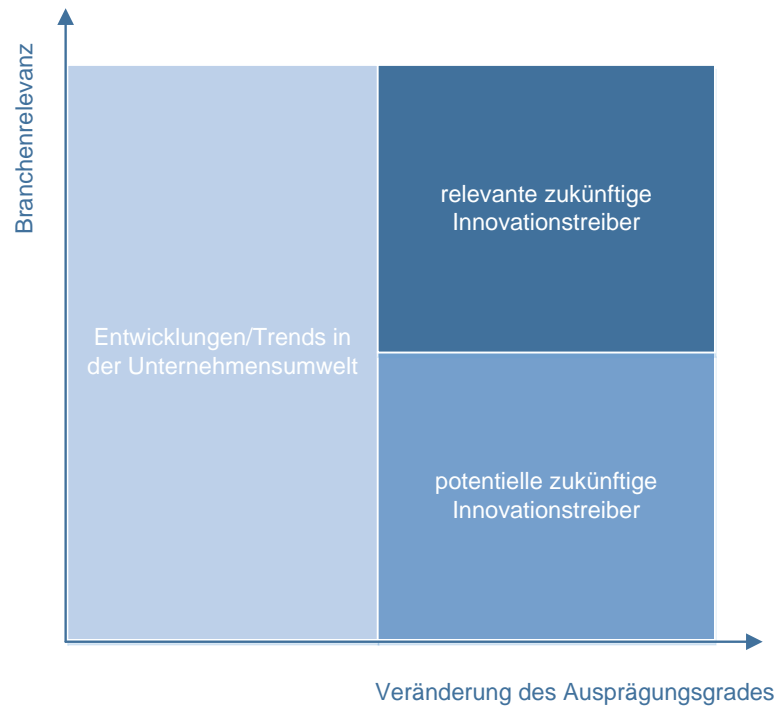


Abbildung 23: Selektionsprinzipien zur Findung von relevanten zukünftigen Innovationstreibern, Quelle: Eigene Darstellung.

7.2.1 Ermittlung der Veränderung des Ausprägungsgrades

Die Veränderung des Ausprägungsgrades einer Entwicklung stellt entsprechend Abbildung 22 den zweiten Filter zur Identifikation relevanter Innovationstreiber dar. In diesem Schritt werden die ermittelten Entwicklungen hinsichtlich der Stärke ihres Eintretens abgeschätzt. Damit sollen Trends oder zukünftige Zustände der Unternehmensumwelt herausgefiltert werden, von denen erwartet wird, dass sie eintreten, dies aber voraussichtlich nur in schwacher Form tun.

Die Veränderung des Ausprägungsgrades wird quantitativ und qualitativ anhand von Bewertungen und Beschreibungen der jeweiligen Literaturquellen abgeschätzt. Die Einteilung erfolgt sinngemäß der in Abbildung 24 dargestellten vierstufigen Skala.

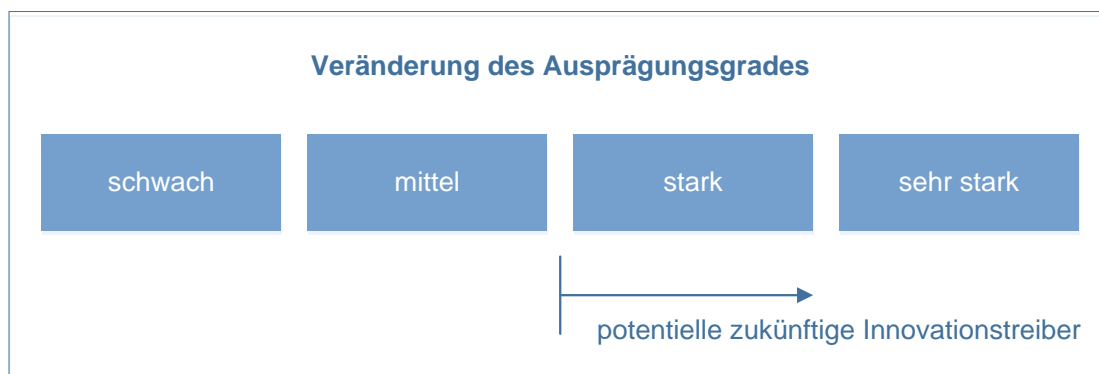


Abbildung 24: Bewertung der Veränderung des Ausprägungsgrades, Quelle: Eigene Darstellung.

Liegen konsistente Prognosedaten zur Durchführung einer quantitativen Beurteilung vor, wie in (2) und (3) dargestellt, wird diese gegenüber der qualitativen vorgezogen. Jene beurteilten Trends mit der höchsten Bewertung, wird für die anschließende Beurteilung der Branchenrelevanz durch Experten herangezogen. Sie werden als *potentielle zukünftige Innovationstreiber* bezeichnet.

7.2.2 Experteninterviews zur Bestimmung der Branchenrelevanz

Die dritte und somit letzte Filterstufe zur Identifikation von relevanten zukünftigen Innovationstreibern stellen Experteninterviews dar. Im Zuge dieser soll die Branchenrelevanz der erarbeiteten potentiellen zukünftigen Innovationstreibern beurteilt werden. Ist diese ausreichend hoch, wird von *relevanten zukünftigen Innovationstreibern* gesprochen, wie in Abbildung 23 dargestellt.

Die Auswahl der Experten richtet sich in erster Linie nach dem vom Interviewer eingeschätzten Erfahrungswissen einer Person. Dieses sollte nicht auf ein Spezialgebiet der Verfahrenstechnik eingeschränkt sein. Der Befragte muss vielmehr über ein möglichst breites Sichtfeld der unterschiedlichen Themengebiete der industriell angewandten Verfahrens- und Prozesstechnik verfügen. Aus diesem Grund ist es zum einen empfehlenswert, auf langjährige Mitarbeiter von interdisziplinär ausgerichteten verfahrenstechnischen Universitätsinstituten zurückzugreifen. Zum anderen kommen auch Experten aus der Industrie in Frage. Neben F&E-Mitarbeitern mit Entscheidungsverantwortung sind auch F&E-nahe Führungspersönlichkeiten mögliche Interviewpartner. Bei allen Befragten muss davon ausgegangen werden können, dass sie Interesse am Thema Verfahrenstechnik und Innovation haben. Daher ist speziell darauf zu achten, dass sie vor allem an der Wirkung zukünftiger Entwicklungen auf ihr Unternehmen, oder auf die Branche, interessiert sind. Der Experte muss die ihm vorgestellten Prognosen ernst nehmen, um eine konstruktive Gesprächsatmosphäre zu schaffen.

Zur Durchführung der Interviews wird ein Leitfaden erstellt. Dieser gibt eine Orientierung zum wesentlichen Ablauf des Interviews und beinhaltet die konkreten Fragestellungen des Gesprächs. Die zum Interview herangezogenen Entwicklungen werden durch die Zuordnung der potentiellen zukünftigen Innovationstri-

ber, wie in Abbildung 24 dargestellt ist, festgelegt. Dem Befragten wird eine kurze Erläuterung des jeweiligen potentiellen zukünftigen Innovationstreibers gegeben, damit Fragender und Befragter vom Gleichen hinsichtlich Inhalt und Umfang des Themas sprechen. Der Experte wird anschließend gebeten, seine Sicht der Dinge darzustellen, und zu beurteilen, ob der vorliegende Aspekt seiner Meinung nach zukünftigen Einfluss auf die Verfahrensindustrie hat.

Die Beurteilung der Experten, wie relevant ein potentieller zukünftiger Innovationstreiber ist, geschieht diskret mithilfe eines dreiteiligen Bewertungsmaßstabes, siehe Abbildung 25. Die Branchenrelevanz kann vom Experten als schwach, mittel oder stark eingeteilt werden. Diese Bewertung erfolgt im Zuge des Interviews gemeinsam mit dem Experten auf Basis von dessen Aussagen. Zusätzlich werden die Befragungen in Form einer Audio- oder Videodatei aufgenommen. Ist es im Rahmen des Interviews nicht möglich, eine eindeutige Zuordnung eines potentiellen zukünftigen Innovationstreibers vorzunehmen, wird rückblickend auf Basis der qualitativen Expertenaussagen eine Einteilung anhand der Interpretation des Interviewers vorgenommen.

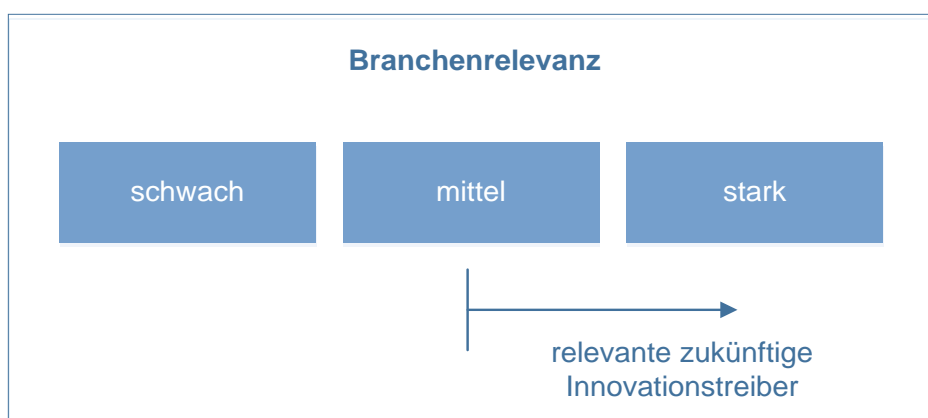


Abbildung 25: Bewertung der Branchenrelevanz, Quelle: Eigene Darstellung.

Um die Beurteilungen aller befragten Experten zusammenzufassen, werden die Bewertungen arithmetisch gemittelt. (4) stellt die *gemittelte Branchenrelevanz* \bar{r}_k eines potentiellen zukünftigen Innovationstreibers über n Expertenbewertungen dar.

$$\bar{r}_k = \frac{\sum_{i=1}^n r_k}{n} \quad (4)$$

\bar{r}_k /– gemittelte Branchenrelevanz

r_k /– Branchenrelevanz

n /– Anzahl der Bewertungen

i /– Laufindex

Der Wert r_k ist die Beurteilung der Branchenrelevanz eines Experten zu einem potentiellen zukünftigen Innovationstreiber k , Unter Berücksichtigung des dreiteiligen Beurteilungsschemas aus Abbildung 25 werden r_k folgende Werte zugewiesen:

- Branchenrelevanz schwach: $r_k = 0$
- Branchenrelevanz mittel: $r_k = 0,5$
- Branchenrelevanz stark: $r_k = 1$

Nach der Berechnung der gemittelten Branchenrelevanz \bar{r}_k für jeden potentiellen zukünftigen Innovationstreiber k wird die dritte Filterstufe nach Abbildung 22 durchgeführt: Als relevante zukünftige Innovationstreiber werden jene bezeichnet, die über die höchste gemittelte Branchenrelevanz verfügen.

7.2.3 Darstellung relevanter zukünftiger Innovationstreiber

Die relevanten zukünftigen Innovationstreiber werden anschließend auf Basis der vorangegangenen Experteninterviews in einer Übersicht zusammengefasst. Diese beinhaltet die Veränderung des Ausprägungsgrades sowie die Einschätzung der Experten über die Branchenrelevanz einer Entwicklung.

Diese Zusammenfassung stellt die Ausgangsbasis für die anschließende Behandlung als Innovationstreiber, sowie die Zuordnung in Innovationstreiberklassen, dar.

7.2.4 Zuordnung in Innovationstreiberklassen

Innovationstreiber können, wie in Kapitel 3.2.2 erwähnt, einer der vier folgenden Kategorien zugeteilt werden:

- Technologischer Fortschritt
- Veränderte Kundenbedürfnisse
- Verschärfter Wettbewerb
- Veränderung des Geschäftsumfeldes

In diesem Schritt werden die relevanten zukünftigen Innovationstreiber in diese Innovationstreiberklassen eingeteilt. Dabei erfolgt die Diskussion über ihr Wirken als Innovationstreiber. Es wird herausgearbeitet, wie die behandelten Entwicklungen Innovationen fördern oder Unternehmen zu diesen zwingen. In diesem Abschnitt ist der Bezug der erarbeiteten Themen zur Verfahrens- und Prozesstechnik von höchstem Interesse. Daher ist die Durchführung eines Workshops mit Personen mit verfahrenstechnischem oder industriellen Hintergrundwissen anstrebenswert.

7.3 Szenarien generieren

Die Erstellung von Szenarien soll die identifizierten relevanten zukünftigen Innovationstreiber bildlich darstellen. Im Vordergrund steht das Erarbeiten von Auswirkungen und Zusammenhängen. Das generieren der Zukunftsbilder geschieht idealerweise im Workshop mit Kennern verschiedenster wissenschaftlicher Disziplinen.

Innovationstreiber werden als Schlüsselfaktoren zur Erstellung von Szenarien behandelt. Da sie bereits ein Merkmal in Richtung einer bestimmten Tendenz besitzen, ist das Erarbeiten von Ausprägungen nicht mehr sinnvoll. Die identifizierten relevanten zukünftigen Innovationstreiber stellen bereits die priorisierten Ausprägungen von Einflussfaktoren dar.

7.3.1 Konsistenzmatrix der relevanten Innovationstreiber

Um stimmige Szenarien zu erhalten, werden gut zueinander passende Innovationstreiber mithilfe einer Konsistenzmatrix ermittelt. Wie oben beschrieben, stellen die identifizierten relevanten zukünftigen Innovationstreiber die Ausprägungen der Einflussfaktoren dar, für welche ein paarweiser Konsistenzwert zwischen +3 und -3 ermittelt wird. Da die Anzahl der Paare mit maximal 100 zu erwarten ist, stellt ein Workshop das Mittel der Wahl dar, um eine Bewertung durchzuführen. Um umfangreiche Diskussionen nach der bereits erfolgten Auswahl der relevanten zukünftigen Innovationstreiber zu vermeiden, sollte der Workshop mit weniger als 10 Personen durchgeführt werden.

7.3.2 Erarbeitung von Szenarien

Die Erarbeitung der Szenarien anhand der Konsistenzmatrix erfolgt ebenfalls im Rahmen eines Workshops. Dabei werden diejenigen relevanten zukünftigen Innovationstreiber herausgesucht, die hohe Konsistenzwerte zu anderen Innovationstreibern aufweisen. Um eine Debatte über die bereits ermittelten Konsistenzwerte zu vermeiden, sollte die Gruppe aus der Menge jener Personen bestehen, mit welcher der Workshop zum Befüllen der Konsistenzmatrix durchgeführt wurde. Anschließend werden Zusammenhänge und Auswirkungen herausgearbeitet. Ziel ist es, stimmige, umfangreiche und detaillierte Zukunftsbilder zu erschaffen. Diese werden anschließend in Form eines beschreibenden Textes im Umfang von je 1 bis 2 Seiten festgehalten.

Da diese Erarbeitung der Szenarien nicht unternehmensspezifisch durchgeführt wird, ist darauf zu achten, dass keine best-case- oder worst-case-Szenarien gestaltet werden. Vielmehr sollen schlagende Bilder erschaffen werden, die innovationsförderliche Rahmenbedingungen der verfahrenstechnischen Branche in den Vordergrund bringen. Die Anzahl der sich ergebenden Szenarien ist von der Anzahl und der Stimmigkeit der identifizierten relevanten zukünftigen Innovationstreiber abhängig. Ein Umfang von 2 bis 4 Szenarien sollte jedoch ausreichen, um die wesentlichen Rahmenbedingungen zu skizzieren.

Das im Rahmen dieses Kapitels vorgestellte Vorgehensmodell zur Identifikation und Darstellung von Innovationstreibern in der Verfahrenstechnik wird fortfolgend im Praxisteil dieser Arbeit angewendet. Es stellt sich aus Konzepten zusammen, die als geeignet erachtet werden, um relevante Aspekte ausfindig zu machen, herauszufiltern und ihre Bedeutung aufzuzeigen. Dem Leser sollen sich abschließend mithilfe der erarbeiteten Szenarien zukunftsrelevante Aspekte der verfahrenstechnischen Branche verständlich erschließen.

8 RECHERCHE ANTHROPOGENER ENTWICKLUNGEN

Die Verfahrenstechnik ist, wie in Kapitel 2.1 ausgeführt, eine interdisziplinäre Ingenieurwissenschaft. Neben dem klassischen Maschinen- und Anlagenbau steht sie vor allem mit der Physik, der Chemie und der Biologie in einem partnerschaftlichen Verhältnis. Diese vielfältigen Vernetzungen unterwerfen die Verfahrenstechnik einem sehr dynamischen Wandel:¹⁶⁷ Entdeckungen, Erfindungen und Umbrüche der verwandten Disziplinen stellen ein wichtiges Innovationspotential dar, wie in Kapitel 4 aufgezeigt wird. Doch nicht nur technische Neuerungen, auch Änderungen des Unternehmensumfeldes und der gesellschaftlichen Rahmenbedingungen bilden eine Ausgangsbasis für die Umsetzung von Innovationen. In diesem Kapitel wird daher eine breit angelegte Recherche zu Trends, Prognosen und zukünftigen Entwicklungen durchgeführt, um ein umfassendes Spektrum an zukünftigen Treibern für Innovationen in der Verfahrenstechnik zu erhalten.

Diese anschließend vorgestellte Recherche stellt die Grundlage für die fortführende Systematik des in Kapitel 7 beschriebenen Vorgehensmodells dar. In den folgenden Abschnitten werden auf dieser Grundlage zukünftige Innovationstreiber der Verfahrens- und Prozesstechnik erarbeitet: Im ersten Schritt werden die identifizierten Entwicklungen einer Umfeldanalyse unterzogen, um sicherzustellen, dass sie im Umfeld von Unternehmen der Branche liegen. Im anschließenden zweiten Schritt erfolgt die Bewertung der Veränderung ihres Ausprägungsgrades, sprich im welchem Umfang sich die Ausprägung des Entwicklungszustandes verändert. Im dritten und letzten Schritt findet eine Beurteilung ausgewählter Entwicklungen durch Experten statt. Dabei werden die behandelten Entwicklungen auf ihre Branchenrelevanz hin untersucht.

8.1 Identifikation anthropogener Entwicklungen

Die in diesem Kapitel durchgeführte Recherche bildet die Basis zur Identifikation relevanter zukünftiger Innovationstreiber in der Verfahrenstechnik. Damit sollen Bedingungen identifiziert werden, unter welchen die Branche einerseits zukünftig arbeiten wird, und die andererseits hinreichendes Potential für Innovationen bieten.

Allen identifizierten und im Folgenden beschriebenen Entwicklungen ist eigen, dass es sich um vom Menschen angestoßene Veränderungen handelt. Im Rahmen dieser Arbeit werden daher nur Wandeleffekte betrachtet, die von der globalen Gesellschaftskultur verursacht oder beeinflusst werden. Somit stehen die getroffenen Aussagen stets in einem Zusammenhang mit gesellschaftlichen, kulturellen, technologischen, wirtschaftlichen oder anderweitigen Aspekten der Menschheit.

¹⁶⁷ Vgl. Brauer (1998), S. 235 ff.

Ungeachtet dessen, dass, wie in Kapitel 3.1 erläutert, keine exakte Voraussage der Zukunft möglich ist, werden in diesem Zusammenhang Themen diskutiert, von denen Experten annehmen, dass sie, zumindest in groben Zügen, in der Zukunft eine Rolle spielen werden. Um möglichst anschauliche Ergebnisse zu erhalten, wird bereits in diesem Kapitel auf die Schaffung einer demensprechend scharfen Ausgangslage geachtet: Wenn möglich, wird auf quantitative Prognosen zurückgegriffen, um die Aussagen für den späteren Verlauf der Bearbeitung möglichst greifbar und eindeutig zu gestalten.

8.1.1 Auswahl der Quellen und Fokus der Recherche

Bereits die Identifikation der Trends und Prognosen ist auf die allgemeine Verfahrenstechnik ausgerichtet: Neben der zahlreich vorhandenen Literatur zu gesellschaftspolitischen Trends wird versucht, Themen zu erarbeiten, welche im Sinne von Kapitel 4 als besonders interessante Innovationstreiber für die Verfahrenstechnik gelten. Dazu gehören vor allem technologische Neuerungen sowie der allgemeine Wandel des Geschäftsumfeldes. Letzteres umfasst auch komplexe gesellschaftliche und für die Branche zukünftig relevante Strukturen rund um die Themen Ernährung, Gesundheit, Energie, Rohstoffe, Kommunikation sowie einer menschenfreundlichen Umwelt.¹⁶⁸

Die Schwerpunkte bei der Recherche sind daher zum einen auf die Prognose der globalen Gesellschaftsentwicklung samt Wirtschafts-, Konsum- und der Entwicklung gesellschaftlicher Trends gelegt. Zum anderen werden auch literarisch festgehaltene Aussagen von Experten über die in Zukunft wesentlicher Innovationstreiber in der Industrie herangezogen. Dabei kann davon ausgegangen werden, dass diese Expertenaussagen bereits sehr gutes Rohmaterial für die anschließende Extraktion von Innovationstreibern für die Verfahrenstechnik liefern. Darüber hinaus werden Veröffentlichungen zu spezifischen verfahrenstechnischen Schwerpunkten, beispielsweise über zukünftige Entwicklungen im Energiesektor und der chemischen Industrie, als ergänzende Informationsquellen verwendet.

Im anschließenden Kapitel 8.1.2 findet sich die Auflistung und Beschreibung der identifizierten Entwicklungen. Sie stellen die Grundlage der fortführenden Arbeiten dar.

8.1.2 Identifizierte anthropogene Entwicklungen: Rechercheergebnisse

Die im Folgenden beschriebenen Entwicklungen bilden die Grundlage zur Identifikation von Innovationstreibern in der Verfahrens- und Prozesstechnik. Die 34 anschließend angeführten Entwicklungen resultieren aus einer umfangreichen Literaturrecherche. Die Prinzipien zur Auswahl der Quellen sind Kapitel 8.1.1 zu entnehmen.

¹⁶⁸ Vgl. Brauer (1998), S. 236 ff.

Entwicklung 1: Der weltweite Konsum wird langsamer zunehmen – *Die Menschheit wird weiterhin mehr konsumieren können und wollen, allerdings wird 2050 ein Hochpunkt erreicht sein.*

Der globale Konsum wird bis 2050 weiter zunehmen, allerdings langsamer als bisher. Nennenswerte Veränderungen werden sich erst ab 2030 einstellen.¹⁶⁹ Ab 2050 wird der globale Konsum, aufgrund des Bevölkerungsrückganges abfallen. Die Zunahme an volkswirtschaftlichen Investitionsausgaben wird das Konsumwachstum regional bedingt stärker zurückgehen lassen. Davon betroffen sind vor allem heute entwickelte, westliche Länder.¹⁷⁰

Entwicklung 2: China wird wirtschaftlich die vorherrschende Weltmacht werden – *China wird die USA überholen und in Zukunft der wirtschaftliche Drehpunkt der Welt sein.*

China wird im Jahr 2050 weltweit führend sein. Die Bevölkerung Chinas wird dreieinhalb Mal so groß sein wie jene der Vereinigten Staaten und die Wirtschaft zweieinhalb Mal größer. China wird 2050 die treibende Macht des Planeten sein. Chinas Wirtschaft wird 2030 2,3-mal, und 2050 beinahe viermal so groß sein wie heute.¹⁷¹ Das wirtschaftliche Wachstum Chinas wird einen riesigen neuen Absatzmarkt schaffen und es wird im Welthandel eine bedeutende Rolle einnehmen.¹⁷²

Entwicklung 3: Der Markt wird sich in Zukunft schneller verändern – *Die zunehmende Globalisierung führt zu einem stetig schärfer werdenden Wettbewerb und damit zur Verkürzung der Lebenszeit von Produkten und Absatzmärkten.*

Die zunehmende Globalisierung wird einerseits die internationalen Wirtschaftsbeziehungen erleichtern, andererseits aber auch zu einer weiteren Verschärfung des Wettbewerbs beitragen.¹⁷³ Die verschärfte Konkurrenz wird zu einem verstärkten Interesse der Unternehmen an Innovationen führen. Dies hat eine zunehmende Verkürzung der Produktlebenszeiten zur Folge.¹⁷⁴ Die Globalisierung fordert auch ein schnelleres Reagieren auf Marktveränderungen. Daher werden Unternehmen, die flexibel und „lean“ aufgestellt sind, Vorteile haben. Aufgrund von kurzen Entscheidungswegen und der Nähe des Managements zum Markt werden mittelständische Unternehmen einen Vorteil gegenüber großen Konzernen haben.¹⁷⁵

¹⁶⁹ Vgl. Randers (2012), S. 274.

¹⁷⁰ Vgl. Randers (2012), S. 123 ff.

¹⁷¹ Vgl. Randers (2012), S. 320 f.

¹⁷² Vgl. Garn/Mohr/Utikal (2012), S.114.

¹⁷³ Vgl. Garn/Mohr/Utikal (2012), S. 112.

¹⁷⁴ Vgl. Garn/Mohr/Utikal (2012), S.113.

¹⁷⁵ Vgl. Garn/Mohr/Utikal (2012), S.115.

Entwicklung 4: Der Strompreis wird steigen – *Der Strompreis wird bis 2030 um rund 30 % steigen, verglichen mit 2010.*

Randers¹⁷⁶ prognostiziert, dass Energie künftig um etwa 30 Prozent teurer sein wird als heute. Die BCG sieht eine Erhöhung des deutschen Strompreises um 25 bis 35 % bis 2030.¹⁷⁷ Die USA werden weiterhin den Industriestrom zum halben Preis, verglichen mit Deutschland, anbieten können.¹⁷⁸

Entwicklung 5: Der Wohlstand wird sich umverteilen – *Der Wohlstand wird von den USA nach China wandern. Die Jugend in heute entwickelten Ländern wird eine niedrigere Lebensqualität haben, als ihre Eltern hatten.*

Der Wohlstand der globalen Bevölkerung wird bis 2050 geringfügig zunehmen. Ausnahme sind zum einen die Vereinigten Staaten, hier wird der Wohlstand abnehmen. In China sowie in den BRISE-Länder¹⁷⁹ (Brasilien, Russland, Indien, Südafrika sowie die zehn aufstrebenden Schwellenländer Indonesien, Mexiko, Vietnam, Türkei, Iran, Thailand, Ukraine, Argentinien, Venezuela und Saudi-Arabien) wird der Wohlstand hingegen stärker zunehmen.¹⁸⁰ In heute entwickelten Ländern wird sich die gegenwärtige Jugend keine so gute Wohnqualität leisten können, wie ihre Eltern es konnten. Sie müssen außerdem für die von ihren Eltern angehäuften Staatsschulden aufkommen sowie die Altersversorgung ihrer Eltern übernehmen.¹⁸¹ Verlierer werden vor allem OECD-Länder sein, angeführt von den Vereinigten Staaten.¹⁸²

Entwicklung 6: Die Kunden werden in Zukunft „mehr“ bewirken wollen – *Der Kunde wird in Zukunft mehr Nachhaltigkeit und Individualität fordern.*

Der demographische Wandel und die Sättigung der Märkte aufgrund von geringerem Wirtschaftswachstum wird Hand in Hand mit sich verändernden Kundenanforderungen gehen. Die Kundenwerte werden sich vom heutigen Massenkonsum wegbewegen.¹⁸³ Erfolg wird stärker darauf beruhen, ein dauerhaftes emotionales Band zum Konsumenten zu knüpfen.¹⁸⁴ Den Kunden wird es immer wichtiger werden, dass sie beim Kauf die Welt verbessern. Zugleich wollen sie aber nicht auf gewohnte Annehmlichkeiten und hohe Qualität verzichten. Für Unternehmen, welche den Kunden ein ökologisches und soziales Verhalten nur vorgaukeln, wird es allerdings gefährlich: Durch die zunehmende Transparenz und das Engagement von NGO`s birgt ein solcher ökologischer Heiligschein ein hohes Risiko für den vollständigen Verlust der Seriosität des Unternehmens.¹⁸⁵ Zum anderen bewirken die demographischen Verschiebungen einen Wandel: Die

¹⁷⁶ Vgl. Randers (2012), S. 287.

¹⁷⁷ Vgl. Gerbert et al. (2013), S. 4 f.

¹⁷⁸ Vgl. Gerbert et al. (2013), S. 51 f.

¹⁷⁹ Vgl. Randers (2012), S.334 ff.

¹⁸⁰ Vgl. Randers (2012), S. 282 f.

¹⁸¹ Vgl. Randers (2012), S. 205.

¹⁸² Vgl. Randers (2012), S. 199.

¹⁸³ Vgl. Shell (Hrsg.) (2008), S. 18.

¹⁸⁴ Vgl. Garn/Mohr/Utikal (2012), S.12.

¹⁸⁵ Vgl. Garn/Mohr/Utikal (2012), S.12.

„neuen“ Alten sind gesünder, mobiler und finanzkräftiger als die ihnen vorausgehende Generation. Es wird wichtig, ihnen das Gefühl „ewiger Jugend“ zu vermitteln.¹⁸⁶

Entwicklung 7: Die Beschäftigungsquote wird gleichbleiben – *Die verfügbaren Arbeitsplätze werden nicht weniger werden.*

In Zukunft wird es in Relation zur Erwerbsbevölkerung etwa genauso viele Arbeitsplätze geben wie heute, obwohl es auf Grund des abnehmenden BIP-Wachstums schwieriger sein wird, Vollbeschäftigungen zu sichern. Jedoch werden auch in hoch entwickelten Volkswirtschaften lange Phasen höherer Arbeitslosigkeit in Zeiten wirtschaftlicher Rezession üblich werden.¹⁸⁷

Entwicklung 8: Erneuerbare Energien werden verstärkt eine dezentrale Energieerzeugung ermöglichen – *In Zukunft wird regionaler und verbrauchsnahe Energie erzeugt werden als heute üblich ist. Verbesserte Speichermöglichkeiten werden diese Entwicklung unterstützen.*

Erneuerbare Energien werden in Zukunft mehr im Einsatz sein, als sie es heute sind.¹⁸⁸ Die durch die deutsche Regierung ausgelöste Energiewende wird zu einem Aufschwung von Energietechnologien hinsichtlich Erzeugung, Netze, Speicher und intelligentem Verbrauch führen.¹⁸⁹ Die Möglichkeit elektrische Energie zu speichern, wird zunehmen. Dies wird die Bildung von Mikronetzwerken stark fördern. Es geht hin zu dezentralisierter Energieproduktion.¹⁹⁰ Gebäude mit vorgehängten Photovoltaik-Fassaden werden zu Netto-Energiequellen.¹⁹¹ Der Vormarsch der erneuerbaren Energien wird zu einer zunehmenden Entwicklung von kurz-, mittel und langfristigen Speichertechnologien für elektrische Energie führen. Vor allem „Power-to-Gas“-Anlagen bieten noch ein großes Entwicklungspotential.¹⁹²

Entwicklung 9: Die Urbanisierung wird zunehmen – *In Zukunft wird ein größerer Anteil der Bevölkerung in Städten leben. Der städtische Lebensstil wird stärker trendbestimmend sein, als er es heute ist.*

Die Zukunft wird bestimmt durch Urbanisierung. Das tägliche Leben wird sich in Hochhausapartments in der Großstadt abspielen. Erholung wird immer mehr zu einer virtuellen Angelegenheit. Etwa 70 % der Bevölkerung werden 2050 in Großstädten leben¹⁹³ und die politischen Entscheidungen werden sich an den Problemen der Stadtbewohner orientieren: Verkehr, Luftqualität, Lärm, Kanalisation, Trinkwasser und Energieversorgung. Somit wird die Welt der Zukunft deutlich städtischer und von städtischen Werten und Perspektiven geprägt sein.¹⁹⁴ Optisch wird sich die Stadt der Zukunft nicht großartig von heutigen Städten

¹⁸⁶ Vgl. Garn/Mohr/Utikal (2012), S.12.

¹⁸⁷ Vgl. Randers (2012), S. 283 f.

¹⁸⁸ Vgl. Gerbert et al. (2013), S. 11.

¹⁸⁹ Vgl. Gerbert et al. (2013), S. 6.

¹⁹⁰ Vgl. Randers (2012), S. 316 f; Gerbert et al. (2013), S.7, S.26.

¹⁹¹ Vgl. Randers (2012), S. 319.

¹⁹² Vgl. Gerbert et al. (2013), S. 28 ff.

¹⁹³ Vgl. Garn/Mohr/Utikal (2012), S. 98; Randers (2012), S. 207.

¹⁹⁴ Vgl. Randers (2012), S. 207.

unterschieden, allerdings wird sich in Sachen Energieeffizienz einiges ändern: Moderne Hybrid- und Elektrobusse sowie U-Bahnen werden den Energieverbrauch und Lärm senken und zu einem Anstieg der Luftqualität beitragen.¹⁹⁵ Ein wesentliches funktionales Element der nachhaltigen Stadt werden die Gebäude sein. Sie weisen ein enormes Einsparpotenzial hinsichtlich ihres Energieverbrauches auf. So werden sie über eine automatisierte Gebäudesteuerung zur Kontrolle und Bedienung von Klimatisierungs- und Beleuchtungssystemen verfügen.¹⁹⁶ Auch der Einsatz von Photovoltaik, wie beispielsweise in Gebäude integrierte Anlagen, wird eine Rolle spielen. Insbesondere photovoltaische Vorhangfassaden an städtischen Hochhäusern, werden die Regel sein.¹⁹⁷ Jedes Gebäude wird sich damit in ein Mikrokraftwerk verwandeln.¹⁹⁸

Entwicklung 10: Das Gesundheitssystem wird verstärkt in den Fokus rücken – Lifestyle-Krankheiten werden selbstverständlich werden und die Altenpflege wird durch die gesteigerte Lebenserwartung einen Aufschwung erfahren.

Künftige Generationen werden stärker durch Krankheit belastet sein, insbesondere durch Life-Style-Krankheiten wie Fettsucht, Diabetes oder Alzheimer. Infektionskrankheiten werden allgemein abnehmen, chronische Erkrankungen werden zunehmen. Die durchschnittliche Lebenserwartung wird rasch ansteigen, in vielen Staaten wird sie im Jahre 2050 über 90 Jahren liegen. Es werden vermehrt computergestützte Pflegeprogramme, automatische Sensoren und virtuelle Lifestyle-Trainer zum Einsatz kommen. In Summe werden aber die Ausgaben für den Gesundheitssektor in allen Ländern steigen. Generell geht der Trend hin zu einer umfassenden Gesundheitsvorsorge, auch in den heutzutage armen Ländern.¹⁹⁹

Entwicklung 11: Nachhaltigkeit wird zur allgemeinen Lebenseinstellung – Nachhaltigkeit wird in Zukunft ein gesellschaftlich akzeptiertes Paradigma sein und verstärkt Auswirkungen auf politische Entscheidungen haben.

2050 wird das Paradigma „nachhaltiger Wohlstand auf Basis erneuerbarer Energien“ entscheidenden Einfluss auf politische Entscheidungen haben. Die globale Gesellschaft wird verstärkt eine weitreichende Perspektive wertschätzen.²⁰⁰

¹⁹⁵ Vgl. Garn/Mohr/Utikal (2012), S.102.

¹⁹⁶ Vgl. Garn/Mohr/Utikal (2012), S.104.

¹⁹⁷ Vgl. Randers (2012), S. 319.

¹⁹⁸ Vgl. Garn/Mohr/Utikal (2012), S. 38.

¹⁹⁹ Vgl. Randers (2012), S. 216 ff.

²⁰⁰ Vgl. Randers (2012), S. 244.

Entwicklung 12: Erdöl und Kohle werden in Zukunft „out“ sein – *Fehlende gesellschaftliche Akzeptanz und neue technologische Rahmenbedingungen werden Erdöl und Kohle zunehmend unattraktiv machen.*

Eine nachhaltige Lebenseinstellung wird die Abwendung von Erdöl und Kohle als Energieträger begünstigen. Der weltweite Ölverbrauch wird wahrscheinlich vor 2025 seinen Höhepunkt erreichen und anschließend abfallen.²⁰¹ Gas wird zwischen 2020 und 2040 einen kurzfristigen Aufschwung erhalten²⁰², unter anderem Aufgrund der Möglichkeit, Schiefergas zu nutzen. Diese Technik wird über die USA hinaus Verwendung finden.²⁰³ Dieser Aufschwung wird durch die Zunahme erneuerbarer Energien gestärkt werden: Gaskraftwerke werden notwendig sein, um die erforderliche Flexibilität und Versorgungssicherheit zu gewährleisten.²⁰⁴

Entwicklung 13: Der weltweite Energieverbrauch wird zunehmen – *Der Gesamtenergieverbrauch wird regional unterschiedlich stark ansteigen.*

Der weltweit durchschnittliche pro Kopf-Energieverbrauch wird steigen, aber nur bis etwa 2040.²⁰⁵ Demgegenüber wächst der globale Gesamtenergieverbrauch um etwa 50 % bis 2040.²⁰⁶ Laut der BCG²⁰⁷ wird der Stromverbrauch in Deutschland bei ambitionierten Effizienzsteigerungen und moderatem Wirtschaftswachstum sogar annähernd konstant bleiben.

Entwicklung 14: Die staatliche Einflussnahme wird zunehmen – *Staatliche Regulierungsmaßnahmen werden in Zukunft üblicher und gesellschaftlich akzeptierter sein als heute.*

Der Staat wird in Zukunft mehr Einfluss nehmen. Die bis jetzt fortschreitende Liberalisierung wird abnehmen, der Staat wird stärker intervenieren und mehr Entscheidungen treffen, vor allem vor dem Hintergrund des fortschreitenden Klimawandels. Im Jahr 2050 wird dies auch von der Gesellschaft wesentlich stärker akzeptiert sein, als es heute der Fall ist.²⁰⁸ Royal Dutch Shell²⁰⁹ spricht davon, dass zunehmende Finanzregulationen höchstwahrscheinlich Investitionen verringern und Innovationen verlangsamen werden.

²⁰¹ Vgl. Randers (2012), S. 134.

²⁰² Vgl. Randers (2012), S. 136.

²⁰³ Vgl. Shell (Hrsg.) (2008), S. 25.

²⁰⁴ Vgl. Shell (Hrsg.) (2008), S. 24; Randers (2012), S. 136.

²⁰⁵ Vgl. Randers (2012), S. 287

²⁰⁶ Vgl. Randers (2012), S. 274.

²⁰⁷ Vgl. Gerbert et al. (2013), S. 4.

²⁰⁸ Vgl. Randers (2012), S. 292 f.

²⁰⁹ Vgl. Shell (Hrsg.) (2008), S. 18.

Entwicklung 15: Die Auswirkungen des Klimawandels werden stärker werden – Die Ökosysteme betroffener Regionen werden sich verändern.

Der Klimawandel wird die Menschheit ab 2040 ernsthaft betreffen. Es wird mehr Dürreperioden in dürrgefährdeten Regionen geben, mehr Regen in niederschlagsreichen Gebieten und mehr extreme Wetterbedingungen. Durch das Abschmelzen der Gletscher und des arktischen Eises sowie die höheren Temperaturen werden die Ökosysteme immer weiter Richtung Polregionen wandern.²¹⁰

Entwicklung 16: Der Staat wird Klimaschutz verstärkt durchsetzen - Steuern auf CO₂ und Wasser werden steigen und staatliche Regulierungen zu Klimaschutzzwecken werden zunehmen. Nichtregierungsorganisationen werden verstärkt zu Treibern dafür werden.

Die Investitionen zur Verminderung der Folgen des Klimawandels werden zunehmen. Die Maßnahmen zur Erreichung der weltweiten Klimasziele, kosten etwa 1 % der weltweiten Wirtschaftsleistung. Werden die Maßnahmen jedoch unterlassen, so ist mit Schäden in der Höhe von 5 % der weltweiten Wirtschaftsleistung zu rechnen.²¹¹ Steuern oder Gebühren auf CO₂ und Wasser werden gesellschaftlich immer mehr Akzeptanz finden. Dies bedeutet mehr staatliche Regulierungen, höhere Steuern, höherer Anteil der Investitionen am BIP.²¹² Nichtregierungsorganisationen werden verstärkt zu Treibern des Klimaschutzes werden, da sie im Vergleich zur Politik schnell und unbürokratisch sind.²¹³

Entwicklung 17: Der Kunde wird nachhaltige Produkte besser erkennen können – Die Kennzeichnung schädlicher Produkte wird zukünftig üblicher und weiter verbreitet sein als heute.

Der Markt wird in Zukunft stärker von *choice editing* beeinflusst sein. Choice editing sorgt dafür, dass dem Konsumenten geholfen wird, schädliche Produkte von nachhaltigen Produkten zu unterscheiden. Beispiele dafür sind das Entfernen von abträglichen Produkten aus dem Angebot oder die Kennzeichnung unbedenklicher Produkte.²¹⁴

Entwicklung 18: Mobilität wird weiterhin zunehmen – Der Mensch wird in Zukunft mobiler sein als heute. Die Verfügbarkeit verschiedenster Transportmittel wird selbstverständlich sein.

Die Mobilität der Bevölkerung wird weiter zunehmen.²¹⁵ Allerdings wird es eine höhere Diversität an Transportmöglichkeiten geben, die es Menschen erlaubt, situationsbezogen unterschiedliche Fahrzeuge zu bewegen. Die Elektromobilität wird darin nur ein Puzzleteil des zur Verfügung stehenden Mobilitätsmixes darstellen. Die Entscheidung, welches Transportmittel am schnellsten, günstigsten oder bequemsten ist, wird von Apps vorgeschlagen werden. Dementsprechend wird auch ein Unternehmen allein nicht mehr in der

²¹⁰ Vgl. Randers (2012), S. 285.

²¹¹ Vgl. Garn/Mohr/Utikal (2012), S. 50.

²¹² Vgl. Randers (2012), S. 203 f.

²¹³ Vgl. Garn/Mohr/Utikal (2012), S. 53.

²¹⁴ Vgl. Randers (2012), S. 248 f.

²¹⁵ Vgl. Garn/Mohr/Utikal (2012), S. 78.

Lage sein, die Dienstleistung der Mobilität in ihrer ganzen Breite anzubieten.²¹⁶ Die großen Themen der Mobilität der Zukunft werden die Kohlendioxidemissionen, die Sicherheit und der Transportkomfort sein.²¹⁷

Entwicklung 19: Der Automobilmarkt wird weiterhin wachsen – Der Bedarf nach Automobilen wird nicht abreißen. Speziell im asiatischen Raum wird die Nachfrage stark steigen.

Der Automobilmarkt wird in den nächsten 15 Jahren einen großen Wachstumsschub in Asien, speziell in China und Indien, erleben.²¹⁸ Ein wichtiger Treiber dafür wird das aggressive chinesische Programm zum Bau von Autobahnen sein.²¹⁹ Ein damit einhergehender Trend ist die Forderung nach leichtbaufähigen Materialien, z.B. kohlefaserverstärkten Kunststoffen.²²⁰

Entwicklung 20: Biokraftstoffe werden einen Aufschwung erfahren – Sie werden in bestimmten Regionen eine prominente Übergangslösung bei der Ablösung von fossilen Brennstoffen innehaben.

Biokraftstoffe werden, zumindest in bestimmten Regionen wie Südafrika und Südamerika, für mobile Anwendungen wie Automobile eine bedeutende Rolle spielen und als Übergangslösung zwischen fossilen Brennstoffen und elektrischen Antrieben dienen.²²¹ Dies wird in weiterer Folge zu einer zunehmenden Technologisierung der Agrarwirtschaft führen.²²²

Entwicklung 21: Die Recyclingbranche wird aufblühen – Es wird wirtschaftlicher werden, seltene und wertvolle Rohstoffe zu rezyklieren.

Es wird einen Rohstoffengpass an seltenen Metallen geben. Dieser wird zu einer wirtschaftlich sinnvollen Anwendung des *urban mining* führen. Damit wird auch die gesamte Abfallbranche einen Aufschwung erfahren.²²³ Recycling und die Nutzung von Abfallstoffen wird ein wichtiges Thema werden.²²⁴

Entwicklung 22: Das Bedürfnis nach Individualisierung wird zunehmen – Der Kunde wird sich speziell auf ihn zugeschnittene Produkte erwarten.

Das Bedürfnis nach individualisierten Produkten wird stark zunehmen. Das Potenzial der Massenproduktion ist erschöpft, eine Ausdifferenzierung der Produkt- und Dienstleistungsportfolios wird weiterhin eine Daueraufgabe für Unternehmen bleiben. Um diesem Individualisierungstrend Herr zu werden, wird das Internet zunehmend eine stärkere Relevanz als Vertriebs- und Informationskanal haben.²²⁵

²¹⁶ Vgl. Garn/Mohr/Utikal (2012), S. 83 ff.

²¹⁷ Vgl. Garn/Mohr/Utikal (2012), S. 93.

²¹⁸ Vgl. Garn/Mohr/Utikal (2012), S. 95.

²¹⁹ Vgl. Shell (Hrsg.) (2008), S. 24.

²²⁰ Vgl. Schulz et al. (2012), S. 10.

²²¹ Vgl. Randers (2012), S. 338 f.

²²² Vgl. Randers (2012), S. 341.

²²³ Vgl. Randers (2012), S. 186 ff.

²²⁴ Vgl. Randers (2012), S. 341; Schulz et al. (2012), S. 10.

²²⁵ Vgl. Garn/Mohr/Utikal (2012), S. 12.

Entwicklung 23: Unternehmerische Verantwortung wird selbstverständlich werden – *In Zukunft wird es von der Gesellschaft erwartet werden, dass Unternehmen sich sozial engagieren und soziale Verantwortung übernehmen.*

Der Zugang zu unternehmerischen Investitionen wird sich ändern, da Unternehmen politisch gezwungen sein werden, auch über die ökologischen und gesellschaftlichen Konsequenzen ihres Handelns Rechenschaft abzulegen. Dies wird Teil ihrer normalen gesellschaftlichen Pflicht werden.²²⁶ Auch die Finanzmärkte werden das Thema Nachhaltigkeit immer verstärkter in die Gesamtbewertung von Unternehmen einfließen lassen.²²⁷ Daher werden Investoren vermehrt ihr Kapital abziehen, wo nur kurzfristig die höchsten Erträge eingefahren werden.²²⁸ Es werden Investitionen in langfristige und nachhaltige Projekte von der Gesellschaft gefordert werden. Die Wertschöpfung wird in den kommenden zwei Jahrzehnten von nachhaltigen Lösungen geprägt sein.²²⁹ Die globale Investition in energieeffiziente Güter wird bis 2050 um 50 % steigen. Dieses Vorgehen kann man mit dem Begriff *corporate social responsibility* (CSR) abbilden. Allerdings wird sich dieses bis 2050 von heutigen Vorgehensweisen dadurch unterscheiden, dass in Zukunft die Berufung auf Codes, Standards und Richtlinien unzureichend sein wird. Unternehmen werden eine aktivere Rolle einnehmen. Ein Beispiel für zukünftiges CSR ist die Einführung eines ganzheitlichen Produktlebenszyklusmanagements. Dies beinhaltet die Zielsetzung der abfall-, kohlendioxid-, und wasserneutralen Produktion nach allen technischen Möglichkeiten sowie die Durchführung eines verpflichtenden Rückgabesystems für vom Konsumenten verbrauchte Produkte.²³⁰ Unternehmen, die auf Ressourceneffizienz und grüne Innovationen setzten, werden an die Spitze kommen, andere werden zurückgedrängt oder vom Markt verschwinden.²³¹

Entwicklung 24: Unternehmenskooperationen werden zunehmen – *Partnerschaftliche Zusammenarbeit mit dem Ziel, Innovationen und Wettbewerbsvorteile zu generieren, werden häufiger werden.*

Die Vernetzung zwischen Unternehmen und anderen Institutionen wie Kunden, Zulieferern, Geschäftspartnern oder Nichtregierungsorganisationen wird zunehmen, und jene die das nicht begreifen, werden aussterben. Diese Kooperationen werden zu Innovationen führen, die nicht auf technischen Neuerungen begründet sind. Weiche Innovationen werden zu Änderungen der Gewohnheiten, des Verhaltens und der Lebensweise eines jeden Einzelnen führen. Weltweit erwarten 40 % der Unternehmensführer, dass der Großteil der künftigen Innovationen mit Partnern außerhalb des Unternehmens entsteht. Die Grenze zwischen den internen Ideen einer Unternehmung, und den Ideen seiner Umgebung, wird zunehmend verschwimmen.²³² In der Folge werden sich Unternehmen unterschiedlicher Branchen nicht mehr fremd gegenüberstehen, sondern kooperieren, sofern eine win-win-Situation möglich ist.²³³

²²⁶ Vgl. Randers (2012), S. 250 ff.

²²⁷ Vgl. Garn/Mohr/Utikal (2012), S. 60.

²²⁸ Vgl. Randers (2012), S. 251.

²²⁹ Vgl. Garn/Mohr/Utikal (2012), S. S04.

²³⁰ Vgl. Randers (2012), S. 251 ff.

²³¹ Vgl. Garn/Mohr/Utikal (2012), S. 77.

²³² Vgl. Randers (2012), S. 259 ff.

²³³ Vgl. Garn/Mohr/Utikal (2012), S. S04.

Entwicklung 25: Kollektive Innovationen werden zunehmen – *Durch eine wachsende open-source-Mentalität werden Entwicklungen, vor allem im Software-Bereich, vorangetrieben.*

Kollektive Innovationen werden durch die gesteigerte Vernetzung zunehmen. Aktuelles Beispiel ist die open-source-Bewegung der Softwareentwicklung, die Erfolge wie Mozilla-Firefox oder Wikipedia hervorgebracht hat.²³⁴ Diese Art der nicht profitorientierten Organisationen wird zunehmen, und sie werden eine neue Form von Wettbewerbern auf konventionellen Märkten darstellen.

Entwicklung 26: Das Internet wird eine ubiquitäre Selbstverständlichkeit werden – *Jeder wird immer und überall Zugriff auf das Internet haben. Diese ständige Vernetzung wird als Selbstverständlichkeit betrachtet werden.*

Das Internet wird allgegenwärtig sein, Computer werden mehr und mehr Bestandteil der uns umgebenden Gegenstände, und somit unserer Umgebung, sein.²³⁵ Jeder wird von überall und zu jeder Zeit auf das gesamte Wissen der Menschheit zugreifen können. Durch die Veröffentlichung der Meinung vieler Individuen werden sich politische Entscheidungen stärker an der Meinung der Öffentlichkeit orientieren.²³⁶ Die Privatsphäre wie wir sie kennen, wird letztendlich auf der Strecke bleiben²³⁷, oder nur für diejenigen zur Verfügung stehen, die dafür bezahlen können und wollen.²³⁸ Allerdings wird sich auch unsere Arbeits- und Lebenskultur dadurch verändern. Menschen werden global zusammenarbeiten, unabhängig von Zeitzonen, Hierarchien oder Abteilungen. Feste Arbeitszeiten werden von flexibleren Arbeitszeitmodellen abgelöst werden.²³⁹ Das alles wird Teil des Unternehmens der Zukunft sein, welches aus einem Netzwerk von Firmen und freien Mitarbeitern bestehen, höchst projektbezogen arbeiten und seine Kunden als Projektpartner integrieren wird.²⁴⁰

Entwicklung 27: Das „Internet of Things“ – *Die Digitalisierung und Vernetzung wird Gegenstände in Alltag und Industrie revolutionieren. Sie wird der Auslöser der 4. Industriellen Revolution sein.*

Die zunehmende Vernetzung wird Einfluss auf die Entwicklung des „Internet der Dinge“ und dessen Integration in die Industrie haben. Die allgegenwärtige Informatisierung wird sich in allen Lebensbereichen und Branchen durchsetzen. Die digitale Durchdringung von Unternehmen wird sich weiter fortsetzen, es kommt zu einer verstärkten Optimierung von inner- und zwischenbetrieblichen Abläufen.²⁴¹ Die Perspektive von autonomen, dezentralen Produktionsprozessen mit globaler Steuerung wird befeuert werden von der Möglichkeit, dass Objekte sowie Produktionselemente selbstständig Informationen austauschen²⁴², z.B. in

²³⁴ Vgl. Randers (2012), S. 261.

²³⁵ Vgl. Garn/Mohr/Utikal (2012), S. 105.

²³⁶ Vgl. Randers (2012), S. 211 f.

²³⁷ Vgl. Randers (2012), S. 213.

²³⁸ Vgl. Garn/Mohr/Utikal (2012), S. 105.

²³⁹ Vgl. Garn/Mohr/Utikal (2012), S. 133.

²⁴⁰ Vgl. Garn/Mohr/Utikal (2012), S. 13.

²⁴¹ Vgl. Garn/Mohr/Utikal (2012), S. 13.

²⁴² Vgl. Garn/Mohr/Utikal (2012), S. S04.

Form von intelligenten Behältern. Das „Internet der Dinge“ wird sich in der Industrie als 4. Industrielle Revolution abzeichnen.²⁴³ Die Zunahme erneuerbarer Energien und dezentraler Stromerzeuger wird zu einem Fortschritt in der Vernetzung und „Smartifizierung“ von komplexen Energiesystemen führen²⁴⁴ und Technologien zur Systemregelung sowie -integration vorantreiben und bereitstellen.

Entwicklung 28: Die Logistik wird als Wettbewerbsfaktor an Relevanz gewinnen – Die Logistikbranche wird wachsen.

Transport und Logistik wird zunehmend an Bedeutung gewinnen um der Forderung des Menschen nach individualisierten Produkten sowie dem zunehmend schnelleren und globaleren Leben gerecht werden zu können. Güter werden in immer kleineren Einheiten zu einem beliebigen Zeitpunkt an einem beliebigen Ort bestellt. Wer Waren nicht wettbewerbsfähig in einem bestimmten Zeitrahmen liefern kann, wird vom Markt verdrängt.²⁴⁵ Branchenübergreifende Wertschöpfungssysteme werden an Relevanz gewinnen, Unternehmen werden sich mit komplexeren logistischen Aufgaben konfrontiert sehen, wenn sie dem globalen Wettbewerb standhalten wollen. Logistikprozesse werden verstärkt in den Entwicklungsablauf von Produkten mit einfließen und es wird zu einer verstärkten Integration der Logistik in Prozesse kommen.²⁴⁶ Die Logistik wird auch in den Megastädten der Zukunft eine große Rolle spielen, sowohl beim Personen- als auch beim Frachttransport.²⁴⁷

Entwicklung 29: Produkthersteller werden zu Serviceanbietern werden – Produkthersteller werden zum Anbieter ganzheitlicher, serviceintegrierter Systemlösungen werden.

Die Wertschöpfung von reifen Volkswirtschaften wird sich durch eine Verringerung des Bruttoinlandsproduktes und die Überalterung in den Dienstleistungs- und Pflegesektor verlegen.²⁴⁸ Die Trennlinie zwischen Gütern und Dienstleistungen wird sich auch im produzierenden Gewerbe auflösen. Ursache dafür ist, dass sich Unternehmen von reinen Produktherstellern zu Anbietern ganzheitlicher Lösungen wandeln. Diese Öffnung gegenüber dem Servicegedanken und der Abwendung vom klassischen Industrieunternehmen verlangt jedoch einen Umschwung der Unternehmenskultur. Daher werden Unternehmen, die offen für Neues, Unbekanntes und Interdisziplinarität sind, einen erheblichen Vorteil haben.²⁴⁹

Entwicklung 30: Kohlendioxid wird teuer werden – Kohlendioxid wird ein teures Nebenprodukt industrieller Produktion werden.

Kohlendioxid wird ein teures Nebenprodukt werden; die neue „clean technology“ wird *Carbon Capture and Sequestration* (CCS) werden, allerdings erst ab etwa 2030 aktiv vorangetrieben werden.²⁵⁰ Europäische

²⁴³ Vgl. ten Hompel/Rehof/Heistermann (2014), S. 16.

²⁴⁴ Vgl. Gerbert et al. (2013), S. 31 f.

²⁴⁵ Vgl. ten Hompel/Rehof/Heistermann (2014), S.9.

²⁴⁶ Vgl. Garn/Mohr/Utikal (2012), S. 124 f.

²⁴⁷ Vgl. Garn/Mohr/Utikal (2012), S. 127.

²⁴⁸ Vgl. Randers (2012), S. 198.

²⁴⁹ Vgl. Garn/Mohr/Utikal (2012), S. 12.

²⁵⁰ Vgl. Randers (2012), S. 148 f.

und amerikanische Fonds zur Förderung dieser Technologie sind momentan noch nicht gesichert.²⁵¹ Die Kosten für CO₂ können in Deutschland mit 40 €/t Zertifikatspreis für 2030 und mit 70 €/t Zertifikatspreis für 2050 abgeschätzt werden.²⁵² Der Jahresschnitt (07.15 bis 07.16) liegt momentan bei etwa 7 € je Tonne CO₂.²⁵³

Entwicklung 31: Wasser wird regional knapp werden – *Bestimmte Länder werden in Zukunft an einer akuten Wasserarmut leiden.*

Global gesehen wird Wasser ein rares Gut werden. Wenn momentane Trends andauern, könnte in bestimmten Regionen im Jahr 2030 die Nachfrage um 40 % höher sein, als die Versorgungskapazität. Vor allem in wasserarmen Ländern ist mit einer starken Regulation von Wasser, und damit einhergehenden operationalen und wirtschaftlichen Herausforderungen, zu rechnen.²⁵⁴

Entwicklung 32: Photovoltaik wird selbstverständlich werden – *Günstige Komponenten werden Photovoltaik-Anlagen zum gesellschaftlichen Standard für jeden Haushalt machen.*

Photovoltaik wird einen enormen gesellschaftlichen Aufschwung erleben. Photovoltaikkomponenten werden extrem billig und immer mehr zu einem integralen Bestandteil des Alltages werden. Bis zum Jahr 2030 kann davon ausgegangen werden, dass in weiten Teilen der Welt Solarstrom die günstigste Alternative erneuerbarer Energien darstellt.²⁵⁵

Entwicklung 33: Das Wachstum der chemischen Industrie wird sich reduzieren – *Wirtschaftliche Profite aufgrund von technischen Fortschritten wird es vor allem in Nischenanwendungen geben.*

Das globale Wachstum der chemischen Industrie wird, von jährlich 7 % zwischen 1985 und 2010, auf 3 % zwischen 2010 und 2030 fallen.²⁵⁶ Es ist davon auszugehen, dass die chemische Industrie dem Trend der nächsten Jahre folgen wird und es zu keinen revolutionären Innovationen kommt.²⁵⁷ Fortschritt wird es vor allem in Nischenanwendungen, wie in der Biotechnologie und der Brennstoffzellentechnologie geben.²⁵⁸

Entwicklung 34: Regionale Verlagerung der chemischen Industrie – *Die asiatische Chemieindustrie wird wachsen, während europäische und amerikanische Unternehmen an globaler Bedeutung verlieren werden.*

Die Wertschöpfung der chemischen Industrie wird sich weiterhin stärker nach China und den mittleren Osten verschieben. Bis 2030 werden asiatische Unternehmen zwei Drittel des Weltmarkts innehaben,

²⁵¹ Vgl. Shell (Hrsg.) (2008), S. 46.

²⁵² Vgl. Gerbert et al. (2013), S. 15.

²⁵³ Vgl. Finanzen.at (2016), Onlinequelle [19.07.16].

²⁵⁴ Vgl. Shell (Hrsg.) (2008), S. 48.

²⁵⁵ Vgl. Randers (2012) S. 139 f.

²⁵⁶ Vgl. Schulz et al. (2012), S. 2.

²⁵⁷ Vgl. Schulz et al. (2012), S. 2.

²⁵⁸ Vgl. Schulz et al. (2012), S. 4.

heute sind es rund 50 %.²⁵⁹ Die Ursache dafür ist das steigende Wirtschaftswachstum in Asien sowie die Migration von Unternehmen bestimmter Industrien nach Asien²⁶⁰ und der damit verbundene Bedarf an Basischemikalien.²⁶¹ Das Wirtschaftswachstum der chemischen Industrie in Europa wird bis 2030 auf etwa 1 % fallen. Durch steigende Effizienz in der Produktion wird eine Beschäftigungsverringerung um 30 % erwartet.²⁶² Der Absatzmarkt europäischer Unternehmen wird vor allem Europa selbst sein, den Rest der Welt wird größtenteils China beliefern.²⁶³

Diese 34 oben aufgeführten und diskutierten Entwicklungen stellen die Grundlage zur fortführenden Gestaltung dieser Arbeit dar. Anschließend erfolgt die Einordnung der identifizierten Entwicklungen in ein PESTEL-Schema. Damit werden sie in die Umwelt von Unternehmen der Verfahrens- und Prozesstechnik eingegliedert.

8.2 Einordnung der Entwicklungen in das PESTEL-Schema

In diesem Kapitel folgt die Kategorisierung der gefundenen Trends und Prognosen in Form eines PESTEL-Schemas. Zum einen hilft diese Strukturierung, eine bessere Übersicht zu schaffen, indem sie eine Einteilung in verschiedene Kategorien bietet. Zum anderen stellt dieser Schritt den ersten Filter anhand von Abbildung 22 dar: Es wird sichergestellt, dass es sich bei den identifizierten Entwicklungen um unternehmensexterne Faktoren handelt. Da die PESTEL-Analyse einer Umweltanalyse entspricht, beschreiben ihre Faktoren unternehmensexterne Zustände. Damit werden jene Entwicklungen herausgefiltert, die nicht zukünftig als externe Innovationstreiber wirken können.

Der Betrachtungshorizont zur Klassifizierung stellt die Branche der Verfahrens- und Prozesstechnik dar. Anhand dieser erfolgt die Zuordnung und Beurteilung der verschiedenen Entwicklungen als Faktor des PESTEL-Systems.

8.2.1 Der Unternehmensumwelt zuordenbare Faktoren

Die Darstellung der kategorischen Zuordnung der einzelnen Faktoren erfolgt grafisch in Form von Mind-Maps. Jeder einzelne der PESTEL-Faktoren wird in einer Grafik mit den ihm zugehörigen Entwicklungen dargestellt. Abbildung 26 bis Abbildung 31 zeigen die der Unternehmensumwelt zuordenbaren Entwicklungen auf.

Abbildung 26 stellt die dem Faktor Politik zuordenbaren Entwicklungen dar. Aus den in Summe 34 identifizierten Entwicklungen können diesem Faktor zwei zugeteilt werden.

²⁵⁹ Vgl. Schulz et al. (2012), S. 3 f.

²⁶⁰ Vgl. Schulz et al. (2012), S. 10.

²⁶¹ Vgl. Schulz et al. (2012), S. 5.

²⁶² Vgl. Schulz et al. (2012), S. 2.

²⁶³ Vgl. Schulz et al. (2012), S. 8 f.

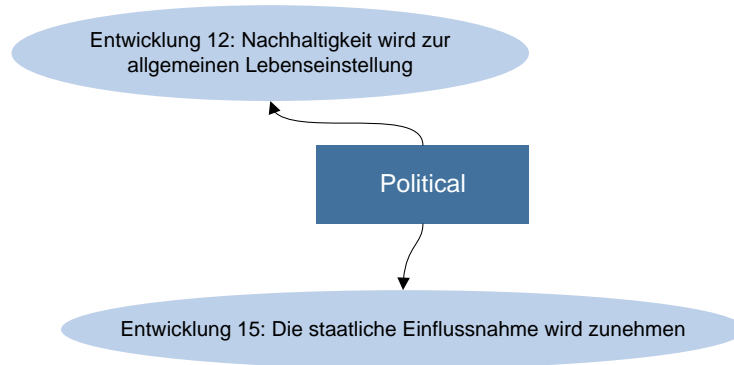


Abbildung 26: Als politischer Faktor klassifizierbare Entwicklungen, Quelle: Eigene Darstellung.

Entwicklungen, die als ökonomischer Faktor in der Umwelt von Unternehmen der Verfahrens- und Prozessbranche klassifiziert werden können, sind in Abbildung 27 dargestellt. Diesem Faktor können elf der identifizierten Entwicklungen zugeteilt werden.

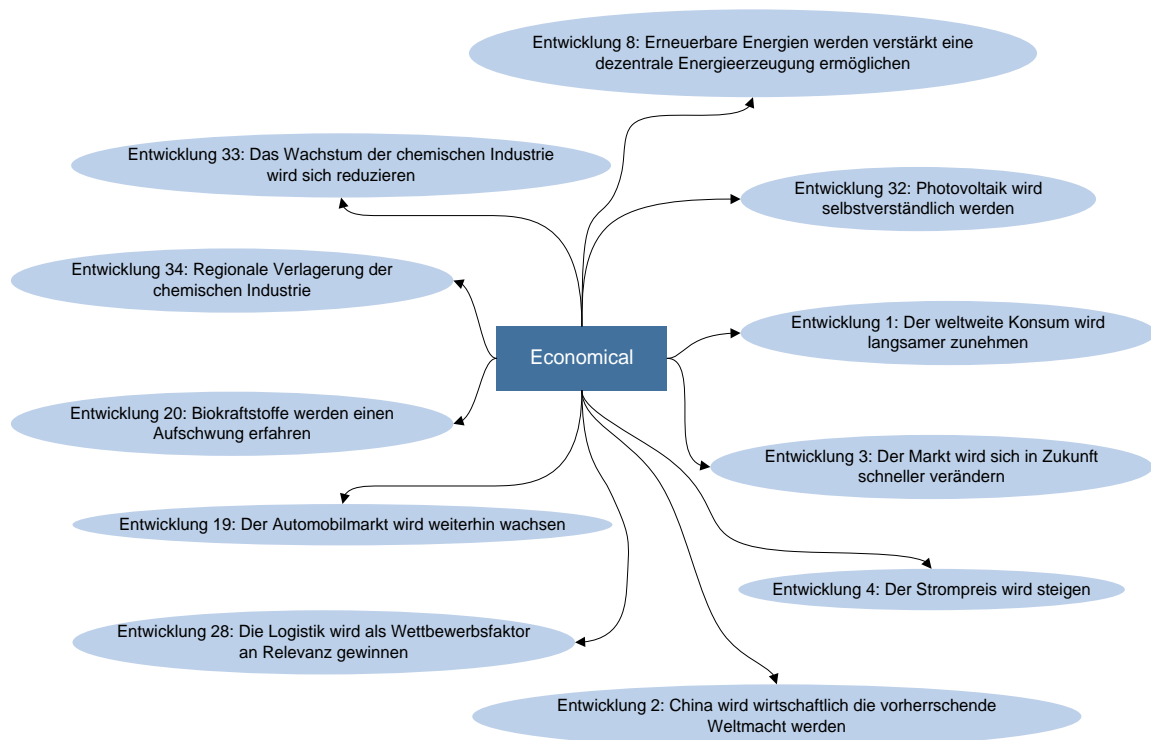


Abbildung 27: Als ökonomischer Faktor klassifizierbare Entwicklungen, Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 28 zeigt auf, welche Entwicklungen als soziale Faktoren der verfahrenstechnischen Unternehmensumwelt betrachtet werden können. Insgesamt sind elf Faktoren zu identifizieren, die als sozialer Einfluss kategorisiert werden können.

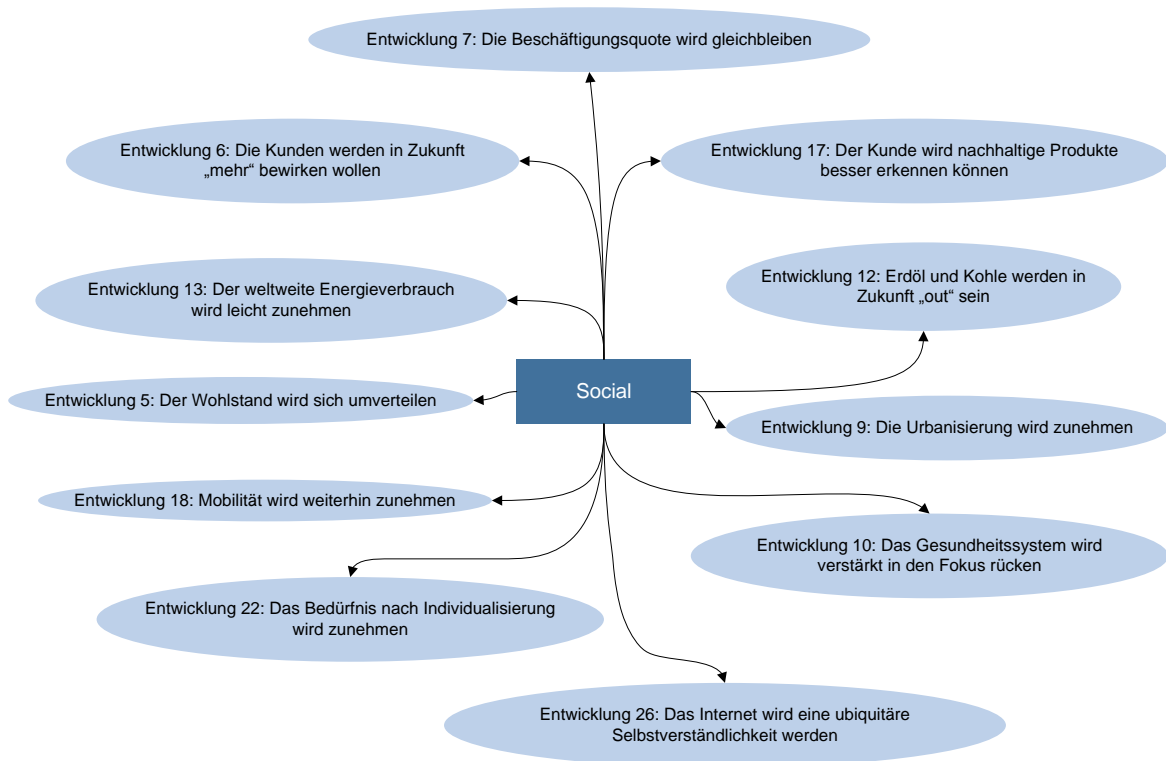


Abbildung 28: Als sozialer Faktor klassifizierbare Entwicklungen, Quelle: Eigene Darstellung.

Als technologische Einflüsse der Unternehmensumwelt können zwei Entwicklungen diesem Faktor zugeordnet werden. Sie sind in Abbildung 29 aufgezeigt.

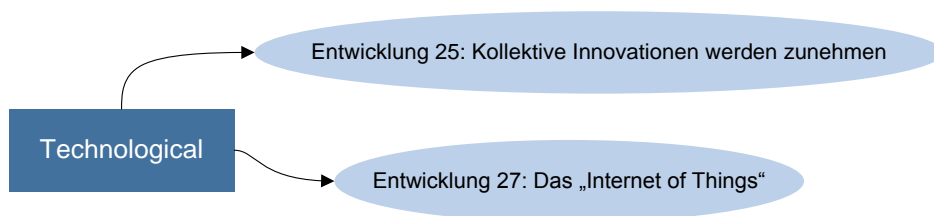


Abbildung 29: Als technologischer Faktor klassifizierbare Entwicklungen, Quelle: Eigene Darstellung.

Ökologische Einflussfaktoren der verfahrens- und prozesstechnischen Branche sind in Abbildung 30 dargestellt. Diesem Faktor sind vier Entwicklungen zuzuordnen.

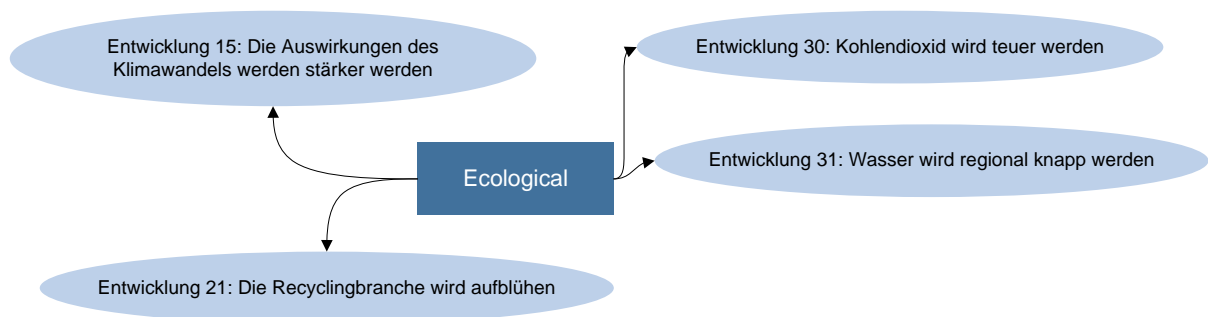


Abbildung 30: Als ökologischer Faktor klassifizierbare Entwicklungen, Quelle: Eigene Darstellung.

Der Kategorie der rechtlichen Faktoren ist nur eine einzige Entwicklung zuteilbar. Sie ist in Abbildung 31 dargestellt.

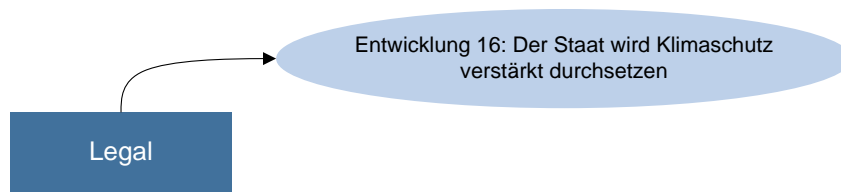


Abbildung 31: Als rechtlicher Faktor klassifizierbare Entwicklungen, Quelle: Eigene Darstellung.

8.2.2 Nicht der Unternehmensumwelt zuordenbare Faktoren

Jene Entwicklungen, welche nicht in das oben aufgezeigte PESTEL-Schema zuordenbar sind, werden als nicht unternehmensextern erachtet. Demnach sind sie als Entwicklungen innerhalb eines Unternehmens zu verstehen. Sie wirken nicht von außen auf ein Unternehmen, sondern stellen interne Veränderungen dar und werden daher im weiteren Verlauf der Arbeit nicht näher betrachtet. Abbildung 32 zeigt diese Entwicklungen auf. Sie sind das Ergebnis der in Abbildung 22 dargestellten ersten Filterstufe.

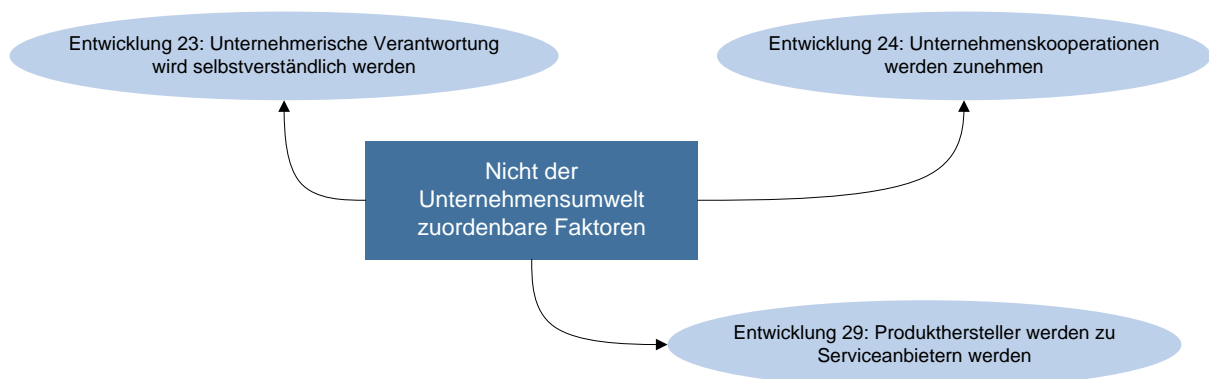


Abbildung 32: Entwicklungen, welche nicht der Unternehmensumwelt zuordenbar sind, Quelle: Eigene Darstellung.

Die aufbauenden Filterstufen zwei und drei werden im folgenden Kapitel 9 durchgeführt. Dabei werden auf Basis der in diesem Kapitel vorgenommenen PESTEL-Klassifizierung Innovationstreiber extrahiert. Dazu wird die Veränderung des Ausprägungsgrades und die Branchenrelevanz der einzelnen Entwicklungen betrachtet.

9 EXTRAKTION VON INNOVATIONSTREIBERN

Um Innovationen auslösen zu können, muss eine unternehmensexterne Gegebenheit über zwei grundsätzliche Merkmale verfügen: zeitliche Wandlungsfähigkeit und Relevanz für die Unternehmensgeschäfte. Dass sie eine zeitliche Wandlungsfähigkeit aufweisen muss, bedeutet, dass ihre Charakteristik oder ihre Ausprägungsstärke sich über die Zeit verändern können muss. Nur durch sich ändernde Umstände ist es möglich, eine neue, für die eigene Marktposition vorteilhafte Produktlösung auf den Markt zu bringen. Je stärker sich eine unternehmensexterne Gegebenheit über die Zeit verändert, desto größer ist ihr Potential, als relevanter Innovationstreiber wirksam zu werden. Für die in Kapitel 8 identifizierten und der Unternehmensumwelt zugeordneten anthropogenen Entwicklungen wird diese zeitliche Veränderung des Ausprägungsgrades in Kapitel 9.1 behandelt.

Zum anderen kann eine unternehmensexterne Gegebenheit vor allem dann als Triebkraft für Innovationen dienen, wenn sie auch für das Unternehmen relevant ist. Nur wenn sie einen Zusammenhang mit dem Geschäft des Unternehmens aufweist, bietet sie realistische Chancen für neue Produkte, Absatzmärkte oder technologische Prozessverbesserungen. Um diesen Zusammenhang zu gewährleisten, werden in Kapitel 9.2 die identifizierten Entwicklungen durch Experten hinsichtlich ihrer Relevanz für die Branche der Verfahrens- und Prozesstechnik, unabhängig von einzelnen Unternehmen, beurteilt. Um die Informationstiefe der Experteninterviews möglichst umfangreich zu gestalten, werden nur jene Entwicklungen in die Experteninterviews mit hineingenommen, die über eine ausreichend hohe Veränderung des Ausprägungsgrades verfügen. Kapitel 9.1 stellt damit die Vorauswahl der Entwicklungen für die anschließenden Experteninterviews dar.

9.1 Ermittlung der Veränderung des Ausprägungsgrades

Um relevante zukünftige Innovationstreiber entsprechend der in Kapitel 7 vorgestellten Vorgehensweise zu gewinnen, wird in diesem Kapitel die Veränderung des Ausprägungsgrades der identifizierten anthropogenen Entwicklungen bewertet. Die Ausgangsbasis bilden jene 31 Entwicklungen, welche in Kapitel 8 in das PESTEL-Schema eingegliedert, und somit als unternehmensextern klassifiziert werden können.

Ziel der folgenden Bewertungen ist es, die 31 Entwicklungen anhand der Veränderung ihres Ausprägungsgrades zu reihen. Entwicklungen mit den höchsten Veränderungen ihrer Ausprägungen werden im anschließenden Schritt zu Experteninterviews zur Beurteilung ihrer Branchenrelevanz für die Prozess- und Verfahrenstechnik herangezogen.

9.1.1 Vorgehensweise

Die Bewertung zur Veränderung des Ausprägungsgrades erfolgt zweistufig. Zuerst wird eine Recherche zur Ermittlung von Prognosewerten durchgeführt. Dies ist als eine quantitative Bewertung der behandelten Entwicklungen zu verstehen. Anschließend wird für jene Entwicklungen, für die keine Werte aus Prognosen oder Studien verfügbar sind, eine qualitative Bewertung vorgenommen. Diese dient als Vervollständigung der quantitativen Bewertung. Die dazu verwendeten Methoden sind der *paarweise Vergleich* und die *Drei-Punkt-Peilung*, siehe Abbildung 33.

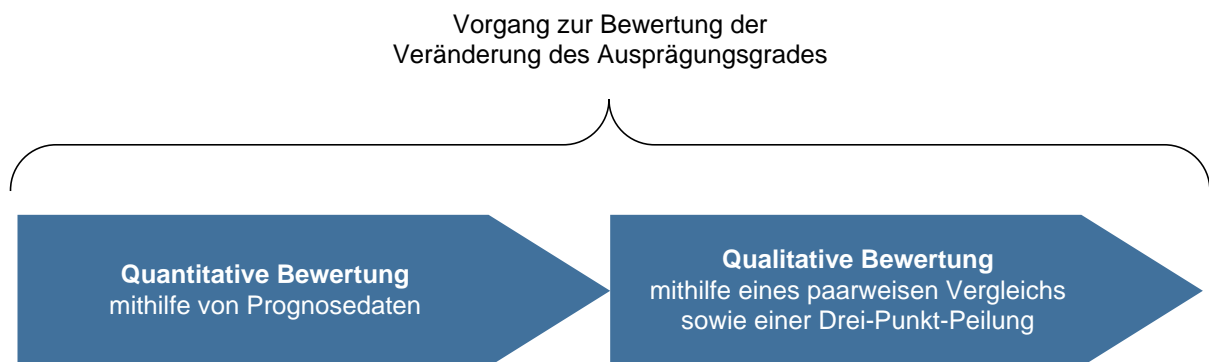


Abbildung 33: Vorgangsweise zur Bewertung der Veränderung des Ausprägungsgrades. Wo es möglich ist, werden Prognosewerte zur Berechnung herangezogen. Liegen keine Prognosewerte für eine Entwicklung vor, so wird ihr künftiger Ausprägungsgrad mit einem paarweisen Vergleich abgeschätzt. Quelle: Eigene Darstellung.

9.1.1.1 Quantitative Bewertung

Wo es möglich ist, sprich Prognosedaten zur Verfügung stehen, wird eine quantitative Bewertung unternommen. Zur Berechnung der konkreten Werte der Veränderung des Ausprägungsgrades werden (2) und (3) herangezogen. Diese Bewertung wird der qualitativen Beurteilung vorgezogen, da damit auf wissenschaftlich untermauerten Studien aufgebaut wird. Wesentlich hierbei ist, abzuwägen, inwieweit verfügbare Prognosewerte auf die jeweiligen zu bewertenden Entwicklungen direkt anwendbar sind. Diese Art der Bewertung wird auch herangezogen, wenn aus den recherchierten Entwicklungstendenzen ersichtlich ist, dass sich keine relevante Änderung des Ausprägungsgrades einstellen wird.

9.1.1.2 Qualitative Bewertung

Jene Entwicklungen, für die keine Prognosedaten zur Verfügung stehen, werden qualitativ beurteilt. Analog zur quantitativen Bewertung stellt sich dabei die Frage, wie stark sich die Ausprägungsform in Zukunft von ihrer heutigen unterscheiden wird. Diese qualitative Bewertung wird mit einem paarweisen Vergleich durchgeführt. Dabei werden stets zwei Entwicklungen miteinander verglichen und anschließend qualitativ beurteilt, welche der beiden erwartenswerterweise stärker eintritt. Zur Beurteilung ist die in Kapitel 8 durchgeführte Recherche, sowie die sich daraus ergebenden Zukunftsbilder behilflich.

Um den Vergleich und dessen Bewertung möglichst konkret zu gestalten, wird für die qualitative Bewertung eine Drei-Punkt-Peilung, entsprechend Kapitel 6.1, herangezogen. Abbildung 34 verdeutlicht dieses Vorgehen.

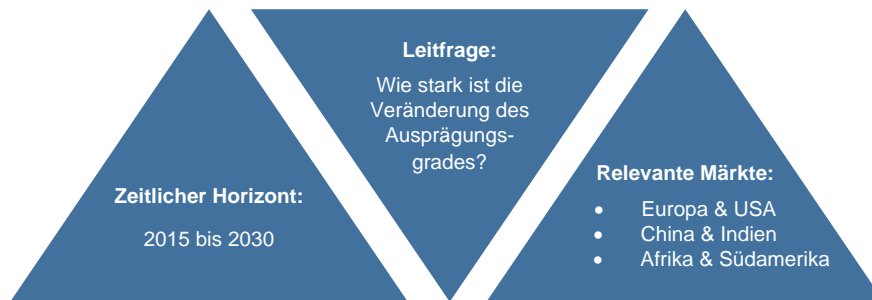


Abbildung 34: Drei-Punkt-Peilung zur qualitativen Abschätzung der Veränderung des Ausprägungsgrades im Zuge eines paarweisen Vergleichs. Quelle: Eigene Abbildung.

Bei der Durchführung des paarweisen Vergleichs wird zuerst die Fragestellung fest umrissen: Die *Leitfrage* beschreibt wie stark sich die Ausprägung von Entwicklung A im Verhältnis zur Ausprägung von Entwicklung B verändert. Wesentlich ist, dass es sich dabei nicht um die absolute Stärke eines Aspekts in der Zukunft handelt, sondern um die Änderung seiner Stärke, verglichen mit der heutigen Ausprägungsstärke. Diese Betrachtung bildet die Bedeutung von (2) ab.

Den zweiten Aspekt der Drei-Punkt-Peilung stellt der *zeitliche Horizont* dar: Dieser wird für die vorliegende Untersuchung auf das Jahr 2030 festgelegt. Die Veränderung der Ausprägung einer Entwicklung wird somit zwischen 2015 und dem Jahr 2030 beurteilt.

Den dritten Aspekt repräsentiert der *relevante geographische Markt*. Für diese Analyse werden alle global potentiell wirtschaftlich relevanten Regionen herangezogen. Im Fall der quantitativen Bewertung bedeutet dies, dass die verwendeten Prognosewerte die globale Entwicklung möglichst exakt abbilden müssen. Für die qualitative Bewertung macht es Sinn, dieses komplexe Bild der globalen Entwicklung herunterzubrechen, und anhand mehrerer Teillösungen wieder zusammensetzen, um eine möglichst zuverlässige Bewertung zu gewährleisten. Im Detail bedeutet dies, dass bei jeder qualitativen Bewertung eines Paares des paarweisen Vergleichs die Ausprägungsänderungen anhand von drei regionalen Entwicklungen miteinander abgeglichen werden:

- Europa und USA
- China und Indien
- Südamerika und Afrika

Für jede Region wird qualitativ beurteilt, wie sich eine Entwicklung verhält, beziehungsweise wie sich ihr Erscheinen im Jahr 2030, verglichen zu heute, darstellt. Die erste Region stellt die heute westliche Welt, sprich Europa und die USA, dar. Die zweite ist Asien, im Wesentlichen der Großraum China und Indien. Die dritte Region wird durch die Kontinente Afrika und Südamerika abgebildet. Mit dieser Aufteilung kann für jede Region qualitativ bewertet werden, wie stark eine Entwicklungsänderung regional eintreten wird. Die kumulierte Betrachtung aller drei Regionen erleichtert die Aussage, wie sich die Entwicklungsänderung von Entwicklung A zur Entwicklungsänderung von Entwicklung B global verhält.

In den anschließenden Kapiteln 9.1.2 und 9.1.3 werden die Ergebnisse dieser soeben beschriebenen Bewertungsmethoden vorgestellt. In Kapitel 9.1.4 folgt eine Zusammenführung der Ergebnisse beider Methoden in eine einheitliche Skala.

9.1.2 Ergebnisse der quantitativen Bewertung

Tabelle 3 zeigt die Ergebnisse der quantitativen Bewertung. Die Berechnung der Veränderung der Ausprägung erfolgt durch die Zuhilfenahme von (2).

Die zur quantitativen Bewertung herangezogenen Prognosedaten werden zum einen den Recherchen der identifizierten anthropogenen Entwicklungen aus Kapitel 8.1 entnommen. Zum anderen werden dort, wo grundsätzlich eine qualitative Abschätzung möglich ist, aber aus Kapitel 8.1 keine Daten zu entnehmen sind, zusätzliche Quellen herangezogen. Diese Maßnahme wird ergriffen, da im Rahmen dieser Arbeit die quantitative Bewertung der qualitativen Bewertung vorzuziehen ist: Im Gegensatz zur qualitativen Bewertung steht sie auf soliden Beinen durch wissenschaftlich fundierte Daten.

Nr.	Bezeichnung	Veränderung des Ausprägungsgrades	Berechnungsgrundlagen und beschreibender Vergleich der Ausprägungsgrade von 2015 bis 2030
1	Der weltweite Konsum wird langsamer zunehmen	0,00	Keine nennenswerte Änderung bis 2030.
2	China wird wirtschaftlich die vorherrschende Weltmacht werden	1,30	China 2030: 2,3-fache Wirtschaftsleistung verglichen mit heute.
4	Der Strompreis wird steigen	0,30	30 % Steigung bis 2030 erwartet.
5	Der Wohlstand wird sich umverteilen	0,00	Geringe globale Wohlstandszunahme. Teilweise Abnahme der Lebensqualität in bekannten Märkten wird erwartet.
7	Die Beschäftigungsquote wird gleichbleiben	0,00	Keine nennenswerte Änderung.
9	Die Urbanisierung wird zunehmen	0,30	Heute: 54 % der Bevölkerung lebt in urbanen Zentren ²⁶⁴ ; 2030: 70 % der Bevölkerung lebt in urbanen Zentren.
10	Das Gesundheitssystem wird verstärkt in den Fokus rücken	0,45	Kosten des Gesundheitssystems in Österreich 2016: 7,5 % des BIP; Kosten des Gesundheitssystems in Österreich 2030: 10,9 % des BIP. ²⁶⁵ Annahme: Weltweiter Durchschnitt ist mit österreichischer Entwicklung vergleichbar: Die westliche Welt hat gleichermaßen mit überalternder Bevölkerung zu kämpfen. Indien, Afrika und Südamerika sind davon nicht betroffen, allerdings ist bei erwarteter mäßiger Zunahme des Gesundheitssystems bis 2030 eine große Menschenmenge zu versorgen.
13	Der weltweite Energieverbrauch wird leicht zunehmen	0,30	Eine Zunahme des globalen Gesamtenergieverbrauches um 50 % bis 2040 wird erwartet. Interpoliert ergibt sich eine 30 %ige Zunahme bis 2030.

Anmerkung: Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgeführt

²⁶⁴ Vgl. Statista (2016), Onlinequelle [19.07.16].

²⁶⁵ Vgl. Czypionka et al. (2012), S. 14.

15	Die Auswirkungen des Klimawandels werden stärker werden	2,00	Kosten der Klimawandel-Schäden in Deutschland 2016: ca. $50 \cdot 10^6$ €; Kosten der Klimawandel-Schäden in Deutschland 2030: ca. $150 \cdot 10^6$ €. ²⁶⁶ Annahme: Weltweiter Durchschnitt ist mit deutscher Entwicklung vergleichbar: Der Klimawandel ist global und nicht auf eine Region begrenzt. Deutschland wird als „globaler Durchschnitt“ betrachtet.
19	Der Automobilmarkt wird weiterhin wachsen	0,45	Umsatz globaler Automobilmarkt 2016: $0,97 \cdot 10^{12}$ USD; Umsatz globaler Automobilmarkt 2030: $1,41 \cdot 10^{12}$ USD. ²⁶⁷
30	Kohlendioxid wird teuer werden	4,71	1-Jahres-Schnitt 2015-2016: 7 € Emissionsrecht je Tonne CO ₂ . ²⁶⁸ Die Preise werden für 2030 mit 40 €/t CO ₂ prognostiziert.
31	Wasser wird regional knapp werden	0,10	Basis: Im Jahr 2030 wird es regional eine 40 % höhere Nachfrage geben, als Angebot verfügbar ist. Annahme 1: Nachfragemenge und Angebotsmenge sind heute global äquivalent: Der weltweite Wasserüberschuss entspricht dem weltweiten Wassermangel. Annahme 2: 1/4 der Erdbevölkerung wird davon betroffen sein, dass ihre Wassernachfrage um 40 % höher als das regional verfügbare Wasserangebot ist.
33	Das Wachstum der chemischen Industrie wird sich reduzieren	1,33	Wachstum chemische Industrie 1985-2010: 7 %; prognostiziertes Wachstum chemische Industrie 2010-2030: 3 %.
34	Regionale Verlagerung der chemischen Industrie	0,33	Asiatische Chemieindustrie hat 2010 rund 50 % des Weltmarktes inne, 2030 werden es 2/3 sein.

Tabelle 3: Ergebnisse und Berechnungsgrundlagen der quantitativen Bewertung, Quelle: Eigene Darstellung

9.1.3 Ergebnisse der qualitativen Bewertung

Anthropogene Entwicklungen, für die keine Prognosedaten zur Verfügung stehen, oder bei denen eine quantitative Bewertung als nicht sinnvoll erachtet wird, werden mithilfe eines paarweisen Vergleiches qualitativ bewertet. Die Ergebnisse dieses Vergleiches sind in Tabelle 4 dargestellt. Wie bereits oben erwähnt, bildet die in Kapitel 8 vorangegangene Recherche eine wichtige Entscheidungsgrundlage bei der Durchführung des paarweisen Vergleiches. Die oben genannte Drei-Punkt-Beurteilung im Allgemeinen, sowie das regionale Herunterbrechen der zu beurteilenden Entwicklungen im Speziellen, stellen die wichtigste Bewertungsmethodik zur Beurteilung eines Paares dar.

Um die dem paarweisen Vergleich generisch zugrundeliegende Inkonsistenz zu vermeiden, wird die Symmetrie der Matrix zu Hilfe genommen: Jedes Entscheidungspaar wird nur einmal bewertet, sein Komplement wird der ersten Bewertung entsprechend befüllt. Zum einen wird damit sichergestellt, dass die Sum-

²⁶⁶ Vgl. Hennike/Fischedick (2007), S. 27.

²⁶⁷ Vgl. Manager-Magazin (2012), Onlinequelle [19.07.16].

²⁶⁸ Vgl. Finanzen.at (2016), Onlinequelle [19.07.16].

men der Bewertung in sich schlüssig sind und die Aussagekraft der Beurteilung jeder einzelnen Entwicklung im Gesamtkontext stichhaltig ist. Zum anderen wird dadurch die Anzahl der zu bewertenden Paare halbiert, wodurch die Qualität der Bewertung einen erheblichen Aufschwung erfährt.

	3	6	8	11	12	14	16	17	18	20	21	22	25	26	27	28	32	
	Der Markt wird sich in Zukunft schneller verändern	-	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1
	Die Kunden werden in Zukunft „mehr“ bewirken wollen	1	-	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1
	Erneuerbare Energien werden verstärkt eine dezentrale Energieerzeugung ermöglichen	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
	Nachhaltigkeit wird zur allgemeinen Lebenseinstellung	1	0	1	-	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1
	Erdöl und Kohle werden in Zukunft „out“ sein	0	0	1	0	-	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	
	Die staatliche Einflussnahme wird zunehmen	1	0	1	1	1	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Der Staat wird Klimaschutz verstärkt durchsetzen	0	0	1	0	0	0	-	0	0	0	0	0	1	1	0	1	
	Der Kunde wird nachhaltige Produkte besser erkennen können	1	1	1	1	1	0	1	-	1	1	1	0	1	1	1	1	
	Mobilität wird weiterhin zunehmen	0	0	1	0	0	0	1	0	-	0	0	0	1	0	0	1	
	Biokraftstoffe werden einen Aufschwung erfahren	1	0	1	1	1	0	1	0	1	-	1	1	0	1	1	1	
	Die Recyclingbranche wird aufblühen	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	-	0	0	1	1	0	1
	Das Bedürfnis nach Individualisierung wird zunehmen	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	-	0	1	1	1	1
	Kollektive Innovationen werden zunehmen	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	-	1	1	1	1
	Das Internet wird eine ubiquitäre Selbstverständlichkeit werden	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0
	Das „Internet of Things“	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	-	0	1
	Die Logistik wird als Wettbewerbsfaktor an Relevanz gewinnen	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	-	1
	Photovoltaik wird selbstverständlich werden	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-	
	Summe	8	3	15	6	10	1	12	2	12	4	9	4	1	16	12	7	14

Tabelle 4: Paarweiser Vergleich und Ergebnisse der qualitativen Bewertung, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Summe der jeweiligen Entwicklungen ist das wesentliche Ergebnis des in Tabelle 4 dargestellten paarweisen Vergleichs. Das Verhältnis der einzelnen Summenwerte zueinander beschreibt, wie stark sich der Ausprägungsgrad einzelner Entwicklungen im Verhältnis zueinander, aufgrund von qualitativen Einschätzungen, verändert.

Im anschließenden Kapitel 9.1.4 wird das Ergebnis von Tabelle 4 mit den Ergebnissen der quantitativen Bewertung aus Kapitel 9.1.2 zusammengeführt.

9.1.4 Reihung anhand der Veränderung des Ausprägungsgrades

Um eine Reihung der Entwicklungen anhand der bewerteten Stärke ihres Eintretens zu ermöglichen, ist eine Zusammenführung der quantitativen und der qualitativen Bewertung notwendig. Die Skalen beider Bewertungen sind derart aufeinander abzustimmen, dass sie zueinander stimmig sind.

Um dies zu erreichen wird die qualitative Bewertung auf die Skala der quantitativen Bewertung umgelegt. Dabei erfolgt eine Überlagerung anhand der arithmetischen Mittelwerte beider Skaleninhalte sowie ein Stauchen der qualitativen Skala, sodass sich die kleinsten Werte beider Skalen decken. Abbildung 35 veranschaulicht dieses Vorgehen.

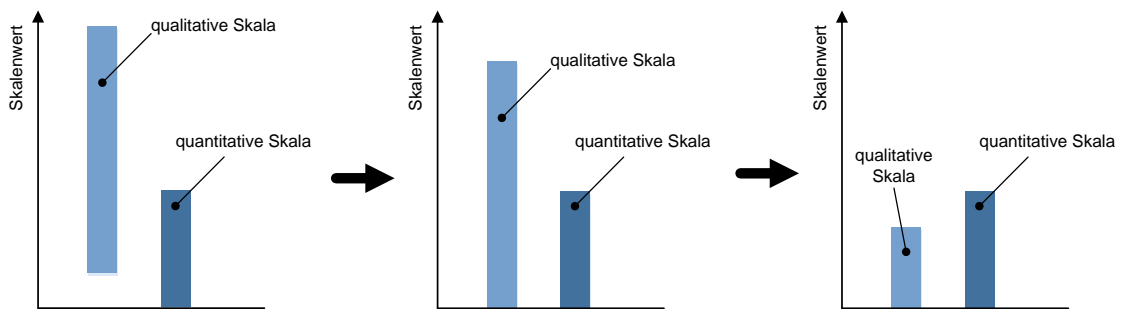


Abbildung 35: Die Transformation der Skala der qualitativen Bewertungen erfolgt in zwei Schritten: Zuerst werden die Nullpunkte beider Skalen gleichgesetzt. Anschließend folgt ein Stauchen der qualitativen Skala mithilfe der arithmetischen Mittelwerte beider Skaleninhalte. Quelle: Eigene Darstellung.

Zur mathematischen Beschreibung und Berechnung sind zu betrachten: die Menge der quantitativen Bewertungen $A = \{b_{quant}^1, \dots, b_{quant}^x\}$, die Menge der qualitativen Bewertungen $B = \{b_{qual}^1, \dots, b_{qual}^y\}$ und die Gesamtmenge der Skala $G = \{b^1, \dots, b^z\}$ mit $z = x + y$. Die Werte der quantitativen Beurteilung b_{quant}^i für $i \in \{1, \dots, x\}$ werden unverändert als Wert b^n für $n \in \{1, \dots, z\}$ in die Menge der Gesamtskala $G = \{b^1, \dots, b^z\}$ übertragen, wie in (5) dargestellt ist.

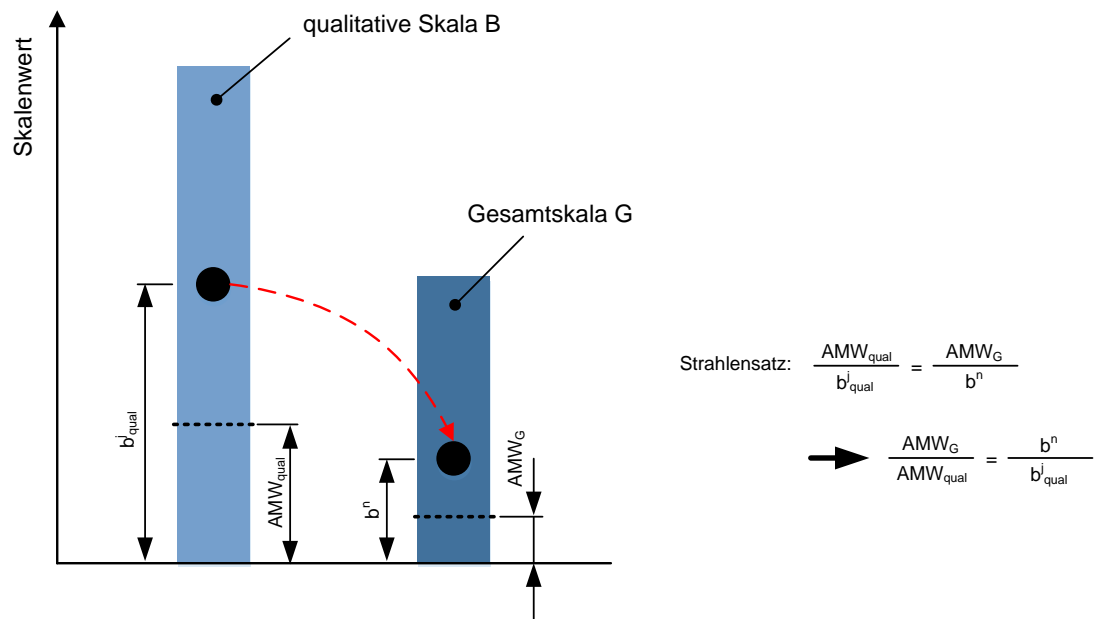
$$b^n = b_{quant}^i \quad (5)$$

- $b^n / -$ Veränderung des Ausprägungsgrades in der Gesamtskala
- $b_{quant}^i / -$ Veränderung des Ausprägungsgrades in der quantitativen Skala

Die Werte der qualitativen Bewertung b_{qual}^j für $j \in \{1, \dots, y\}$ werden hingegen bei der Übertragung in die Menge der Gesamtskala transformiert, wie durch (9) zum Ausdruck gebracht wird. Dabei werden die Werte der qualitativen Skala linear gestaucht. Dies geschieht anhand von zwei Restriktionen: Zum einen wird der Nullpunkt der qualitativen Skala $NP_A = \min\{b_{qual}^1, \dots, b_{qual}^y\}$ gleich dem Nullpunkt der Gesamtskala $NP_G = \min\{b^1, \dots, b^z\} = \min\{b_{quant}^1, \dots, b_{quant}^x\}$ gesetzt. Dies geschieht dadurch, dass die geringste qualitative Bewertung mit der geringsten quantitativen Bewertung gleichgesetzt wird. Formell wird dabei jeder qualitative Wert b_{qual}^j um den kleinsten in der Skala vorkommenden Wert $\min\{b_{qual}^1, \dots, b_{qual}^y\} = \min\{B\}$ reduziert. Zum anderen wird der arithmetische Mittelwert beider Skaleninhalte, also die durchschnittliche Bewertung eines Elements, gleichgesetzt. Die Berechnung der Mittelwerte der Skaleninhalte ist in (6) und (7) dargestellt.

$AMW_{qual} = \frac{\sum_{k=1}^y b_{qual}^k}{y} \quad (6)$	$AMW_{qual} / -$ Arithmetischer Mittelwert der qualitativen Skala
$AMW_G = AMW_{quant} \frac{\sum_{k=1}^x b_{quant}^k}{x} \quad (7)$	$AMW_G / -$ Arithmetischer Mittelwert der Gesamtskala $b_{qual}^k / -$ Bewertungselement der qualitativen Skala $b_{quant}^k / -$ Bewertungselement der quantitativen Skala $y / -$ Anzahl der Bewertungselemente in der qualitativen Skala $x / -$ Anzahl der Bewertungselemente in der quantitativen Skala $k / -$ Laufindex

Das Abgleichen der arithmetischen Mittelwerte der Skaleninhalte geschieht durch Zuhilfenahme des Strahlensatzes. Das Verhältnis der arithmetischen Mittelwerte der Skaleninhalte entspricht dabei dem Verhältnis der jeweiligen Werte der Skalen. Abbildung 36 zeigt das Schema der Berechnung. Die Werte b_{qual}^j aus der qualitativen Skala werden damit in die Gesamtskala G übertragen.



Strahlensatz: $\frac{AMW_{qual}}{b^j_{qual}} = \frac{AMW_G}{b^n}$

$\rightarrow \frac{AMW_G}{AMW_{qual}} = \frac{b^n}{b^j_{qual}}$

Abbildung 36: Die Verwendung des Strahlensatzes ermöglicht ein Stauchen der Werte b^j_{qual} der qualitativen Skala B auf die Gesamtskala G. Quelle: Eigene Darstellung.

Das Heranziehen des Strahlensatzes sowie das Gleichsetzen der Skalenminima ist in (8) dargestellt. Der Term b^n bildet den Wert der qualitativen Beurteilungen b^j_{qual} auf der Gesamtskala G ab. Durch die Anwendung des Strahlensatzes werden die Werte der qualitativen Skala $B = \{b^1_{qual}, \dots, b^y_{qual}\}$ auf die Gesamtskala $G = \{b^1, \dots, b^z\}$ transformiert. Durch Herausheben des gesuchten Terms b^n ergibt sich

die in (9) $b^n = \frac{(b^j_{qual} - \min\{B\}) * y}{\sum_{l=1}^y b^l_{qual}} * \frac{\sum_{k=1}^x b^k_{quant}}{x}$ (9)

abgebildete Darstellungsform.

$$\frac{\left(\frac{\sum_{k=1}^x b^k_{quant}}{x}\right)}{\left(\frac{\sum_{k=1}^y b^k_{qual}}{y}\right)} = \frac{b^n}{b^j_{qual} - \min\{B\}} \quad (8)$$

$b^k_{qual} / -$

Bewertungselement der qualitativen Skala

$b^k_{quant} / -$

Bewertungselement der quantitativen Skala

$y / -$

Anzahl der Bewertungselemente in der qualitativen Skala

$x / -$

Anzahl der Bewertungselemente in der quantitativen Skala

$k / -$

Laufindex

$b^n / -$

Betrachtetes Bewertungselement in der Gesamtskala

$b^j_{qual} / -$

Betrachtetes Bewertungselement in der

Damit ergibt sich eine Eingliederung der qualitativen Skala, die durch ihren Nullpunkt und ihren Mittelwert festgelegt ist, aber in Richtung der größten Bewertungen hin offen ist. Im Gegensatz zu einem linearen Anpassen der Skalenminima und -maxima, wird dadurch verhindert, dass Ausreißer beider Bewertungen einen zu großen Einfluss auf die Skalenzusammenführung haben. Der Einfluss der Ausreißer beschränkt sich somit auf ihren Anteil am arithmetischen Mittelwert aller Bewertungen der betrachteten Menge.

Die Ergebnisse der Skalenzusammenführung sind in Tabelle 5 dargestellt. Die identifizierten Entwicklungen sind darin anhand der erwarteten Veränderung ihres Ausprägungsgrades gereiht.

Reihung	Entwicklung Nr.	Entwicklungsbezeichnung	Veränderung des Ausprägungsgrades
1	30	Kohlendioxid wird teuer werden	4,71
2	15	Die Auswirkungen des Klimawandels werden stärker werden	2,00
3	26	Das Internet wird eine ubiquitäre Selbstverständlichkeit werden	1,55
4	8	Erneuerbare Energien werden verstärkt eine dezentrale Energieerzeugung ermöglichen	1,45
5	32	Photovoltaik wird selbstverständlich werden	1,34
6	33	Das Wachstum der chemischen Industrie wird sich reduzieren	1,33
7	2	China wird wirtschaftlich die vorherrschende Weltmacht werden	1,30
8	16	Der Staat wird Klimaschutz verstärkt durchsetzen	1,14
9	18	Mobilität wird weiterhin zunehmen	1,14
10	27	Das „Internet of Things“	1,14
11	12	Erdöl und Kohle werden in Zukunft „out“ sein	0,93
12	21	Die Recyclingbranche wird aufblühen	0,83
13	3	Der Markt wird sich in Zukunft schneller verändern	0,72
14	28	Die Logistik wird als Wettbewerbsfaktor an Relevanz gewinnen	0,62
15	11	Nachhaltigkeit wird zur allgemeinen Lebenseinstellung	0,52
16	19	Der Automobilmarkt wird weiterhin wachsen	0,45
17	10	Das Gesundheitssystem wird verstärkt in den Fokus rücken	0,45
18	34	Regionale Verlagerung der chemischen Industrie	0,33
19	20	Biokraftstoffe werden einen Aufschwung erfahren	0,31
20	22	Das Bedürfnis nach Individualisierung wird zunehmen	0,31
21	4	Der Strompreis wird steigen	0,30
22	13	Der weltweite Energieverbrauch wird leicht zunehmen	0,30
23	9	Die Urbanisierung wird zunehmen	0,30
24	6	Die Kunden werden in Zukunft „mehr“ bewirken wollen	0,21
25	17	Der Kunde wird nachhaltige Produkte besser erkennen können	0,10
26	31	Wasser wird regional knapp werden	0,10
27	1	Der weltweite Konsum wird langsamer zunehmen	0,00
28	5	Der Wohlstand wird sich umverteilen	0,00
29	7	Die Beschäftigungsquote wird gleichbleiben	0,00
30	14	Die staatliche Einflussnahme wird zunehmen	0,00
31	25	Kollektive Innovationen werden zunehmen	0,00

Tabelle 5: Bewertung und Reihung anhand der Veränderung des Ausprägungsgrades, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Verwertung der in Tabelle 5 dargestellten Ergebnisse erfolgt im anschließenden Kapitel 9.2. Die zu den im Folgenden beschriebenen Experteninterviews herangezogenen Entwicklungen werden auf Basis der in Tabelle 5 enthaltenen Bewertung ausgewählt.

9.2 Experteninterviews zur Bestimmung der Branchenrelevanz

Zur Bestimmung der Relevanz einzelner anthropogener Entwicklungen für die Verfahrenstechnik werden Experten herangezogen. In Experteninterviews werden ausgewählte Entwicklungen hinsichtlich ihres Zusammenhanges zur Verfahrens- und Prozesstechnik beurteilt.

9.2.1 Vorbereitung der Experteninterviews

Die Vorbereitungen zu den Experteninterviews umfassen die Recherche und die Auswahl geeigneter Experten sowie die Auswahl der im Rahmen der Interviews diskutierten Entwicklungen. Ebenso ist über die Anzahl der zu behandelten Themen abzuwägen, um ein Einverständnis der ausgewählten Experten hinsichtlich der Interviewdauer zu erhalten.

9.2.1.1 Auswahl der Experten

Die Auswahl geeigneter Experten erfolgt anhand der in Kapitel 5.2.1.2 dargestellten Kriterien: Alle Experten weisen zum einen entweder privilegierten Zugang zu Informationen oder Entscheidungsprozessen auf, oder tragen Verantwortung für den Entwurf, die Umsetzung oder die Kontrolle einer Problemlösung. In der Regel sind jedoch beide Voraussetzungen erfüllt. Zum anderen weisen alle ausgewählten Experten mehr als 10 Jahre Erfahrung in der Branche auf. Des Weiteren wird darauf geachtet, dass alle ausgewählten Experten Interesse am Thema der Befragung zeigen.

Im Zuge der Interviews werden sowohl Experten aus universitären Einrichtungen, als auch aus der Industrie befragt. Damit soll einerseits einer einseitigen Bewertung entgegengewirkt, und andererseits versucht werden, die größtmögliche Bandbreite der Verfahrenstechnik abzudecken. Eine Auflistung der zu den Interviews herangezogenen Experten ist im Anhang zu finden.

9.2.1.2 Auswahl und Bewertung der Entwicklungen

Aus den 31 in Tabelle 5 dargestellten Entwicklungen werden jene 15 Entwicklungen ausgewählt, welche die stärkste Veränderung ihres Ausprägungsgrades aufweisen, siehe Abbildung 37. Ihre Veränderung des Ausprägungsgrades ist größer als 0,5 und sie werden als *potentielle zukünftige Innovationstreiber* bezeichnet.

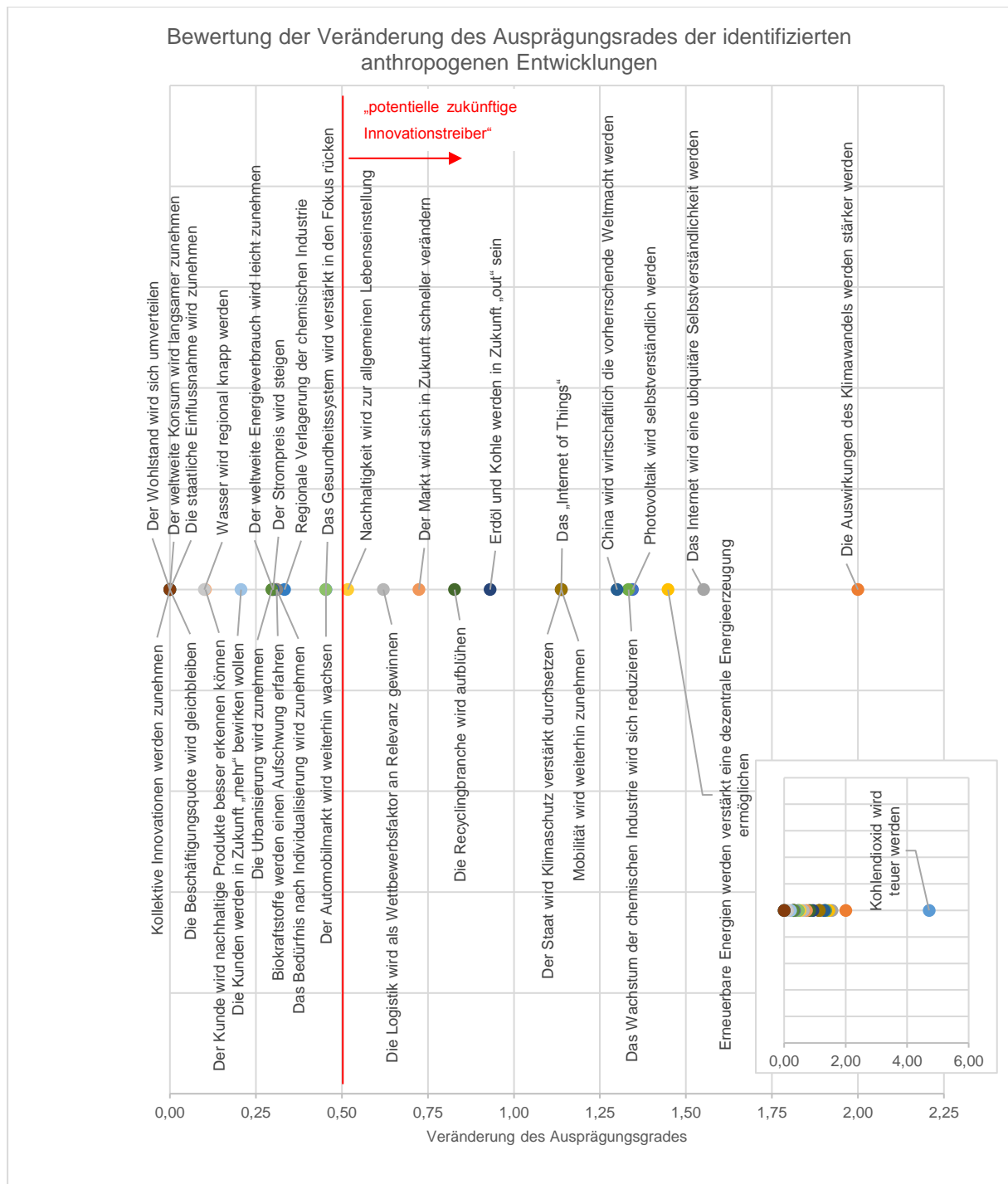


Abbildung 37: Zu den Experteninterviews wurden jene 15 anthropogene Entwicklungen mit der höchsten Veränderung des Ausprägungsgrades ausgewählt. Sie werden als *potentielle zukünftige Innovationstreiber* bezeichnet. Quelle: Eigene Darstellung.

Die ausgewählten Entwicklungen werden in Form eines Interviewleitfadens (siehe Anhang) aufbereitet und den Experten zur Beurteilung vorgelegt. Der Interviewer stellt den Experten die Entwicklungen vor und macht ihm ihre Erscheinungsform deutlich. Der Experte bewertet diese Entwicklungen anschließend hinsichtlich ihrer Relevanz für die Verfahrenstechnik.

Um Fehlinterpretationen durch den Interviewer möglichst zu vermeiden, wird vom Experten eine konkrete Stellungnahme gefordert: Die Beurteilungsmöglichkeiten, ob bzw. inwieweit eine Entwicklung branchenrelevant ist, wird vorgegeben. Dazu hat der Experte drei Möglichkeiten, die Branchenrelevanz zu beurteilen:

- Die Entwicklung hat Einfluss auf den Großteil der Branche
- Die Entwicklung hat Einfluss auf Nischenanwendungen oder Teile der Branche
- Die Entwicklung hat keinen/kaum Einfluss auf die Branche

Mit dieser Vorgehensweise ist eine quantitative Weiterverarbeitung der qualitativen Expertenbeurteilungen, wie im anschließenden Kapitel dargestellt, möglich.

9.2.2 Ergebnisse der Experteninterviews

Die Auswertung der Experteninterviews erfolgt auf zweifache Art und Weise:

Zum einen findet eine quantitative Bewertung der Relevanz jeder identifizierten anthropogenen Entwicklung durch jeden Experten statt. Wie in Kapitel 9.2.1.2 aufgezeigt, hat der Experte die Möglichkeit, die Relevanz einer Entwicklung in drei Kategorien einzuteilen. Diese Einteilung wird mit einem Bewertungsschlüssel, wie er in Tabelle 6 dargestellt ist, hinterlegt.

Beurteilung der Branchenrelevanz	Quantitative Wert-zuschreibung
Die Entwicklung hat Einfluss auf den Großteil der Branche	1
Die Entwicklung hat Einfluss auf Nischenanwendungen oder Teile der Branche	0,5
Die Entwicklung hat keinen/kaum Einfluss auf die Branche	0

Tabelle 6: Wertzuschreibung zur Quantifizierung der Expertenbeurteilungen. Quelle: Eigene Darstellung.

Die Bewertung einer Entwicklung wird über alle Experten summiert. Diese kumulierte Bewertung, dargestellt in Kapitel 9.2.2.1, wird als Maß für die Relevanz einer Entwicklung für die Verfahrenstechnik angesehen: Je größer ihr Wert, desto stärker betrifft diese Entwicklung zukünftig das Geschäft der Verfahrenstechnik. Ist der Wert klein, kann davon ausgegangen werden, dass auch ein übermäßig starkes Eintreten keinen wesentlichen Einfluss auf die Verfahrenstechnik in Zukunft haben wird.

Die zweite Art der Bewertung stellt die qualitative Beurteilung durch jeden Experten dar. Sie unterstreicht seine quantitative Bewertung und begründet sie mit Fallbeispielen, Zusammenhängen oder persönlichen Annahmen. Diese im Rahmen der Diskussion auftretenden Begründungen und Argumentationen werden als Expertenmeinungen zu den behandelten Themen dargestellt. Als expertenübergreifende Zusammenfassung stellen sie ein wesentliches Ergebnis der Interviews dar: Eine Übersicht, weshalb die diskutierten Entwicklungen einen Zusammenhang zur Verfahrenstechnik aufweisen und inwiefern sich diese ausprägen werden. Darüber hinaus werden konkrete Beispiele hervorgehoben, mit denen sich die Branchenrelevanz fallspezifisch verdeutlichen lässt. Ihre Darstellung erfolgt in Kapitel 9.2.2.2.

9.2.2.1 Quantitative Auswertung der Experteninterviews

In diesem Kapitel findet die Auswertung der diskreten Beurteilungen der Experteninterviews statt. Die kumulierte Bewertung der Experten zur Relevanz der identifizierten anthropogenen Entwicklungen sowie die sich daraus ergebende gemittelte Branchenrelevanz sind in Tabelle 7 dargestellt. Die ermittelten Bewertungen basieren auf der in Tabelle 6 dargestellten Wertzuschreibungen der Expertenbewertungen. Je höher die in Tabelle 7 aufgeführten Bewertungen, desto stärker ist ein Zusammenhang der jeweiligen Entwicklung zur Verfahrenstechnik vorhanden. Die gemittelte Branchenrelevanz \bar{r}_k wird entsprechend (4) berechnet und stellt den Mittelwert aller der von den Experten abgegebenen Bewertungen dar.

Entwicklung Nr.	Bezeichnung	kumulierte Bewertung	Gemittelte Branchenrelevanz \bar{r}_k
2	China wird wirtschaftlich die vorherrschende Weltmacht	7	1,00
16	Der Staat wird Klimaschutz verstärkt durchsetzen	6,5	0,93
21	Die Recyclingbranche wird aufblühen	6,5	0,93
12	Erdöl und Kohle werden in Zukunft "out" sein	6	0,86
30	Kohlendioxid wird teuer werden	6	0,86
11	Nachhaltigkeit wird zur allgemeinen Lebenseinstellung	5,5	0,79
33	Das Wachstum der chemischen Industrie wird sich reduzieren	4,5	0,64
3	Der Markt wird sich in Zukunft schneller verändern	4	0,57
18	Mobilität wird weiterhin zunehmen	4	0,57
27	Das "Internet of Things"	3,5	0,5
32	Photovoltaik wird selbstverständlich	3,5	0,5
15	Die Auswirkungen des Klimawandels werden stärker werden	3	0,43
28	Die Logistik wird als Wettbewerbsfaktor an Relevanz gewinnen	3	0,43
8	Erneuerbare Energie werden verstärkt eine dezentrale Energieerzeugung ermöglichen	2,5	0,36
26	Das Internet wird eine ubiquitäre Selbstverständlichkeit werden	2,5	0,36

Tabelle 7: Kumulierte Expertenbewertung der Branchenrelevanz der identifizierten anthropogenen Entwicklungen.
Quelle: Eigene Darstellung.

Da die Anzahl der Experten bei 7 liegt, ist eine statistische Auswertung der Ergebnisse nicht hinreichend aussagekräftig. Um dennoch eine Aussage über die Einigkeit der Experten bei der Beurteilung der Entwicklungen treffen zu können, werden in Abbildung 38 Box-Plots der Expertenbewertungen dargestellt.

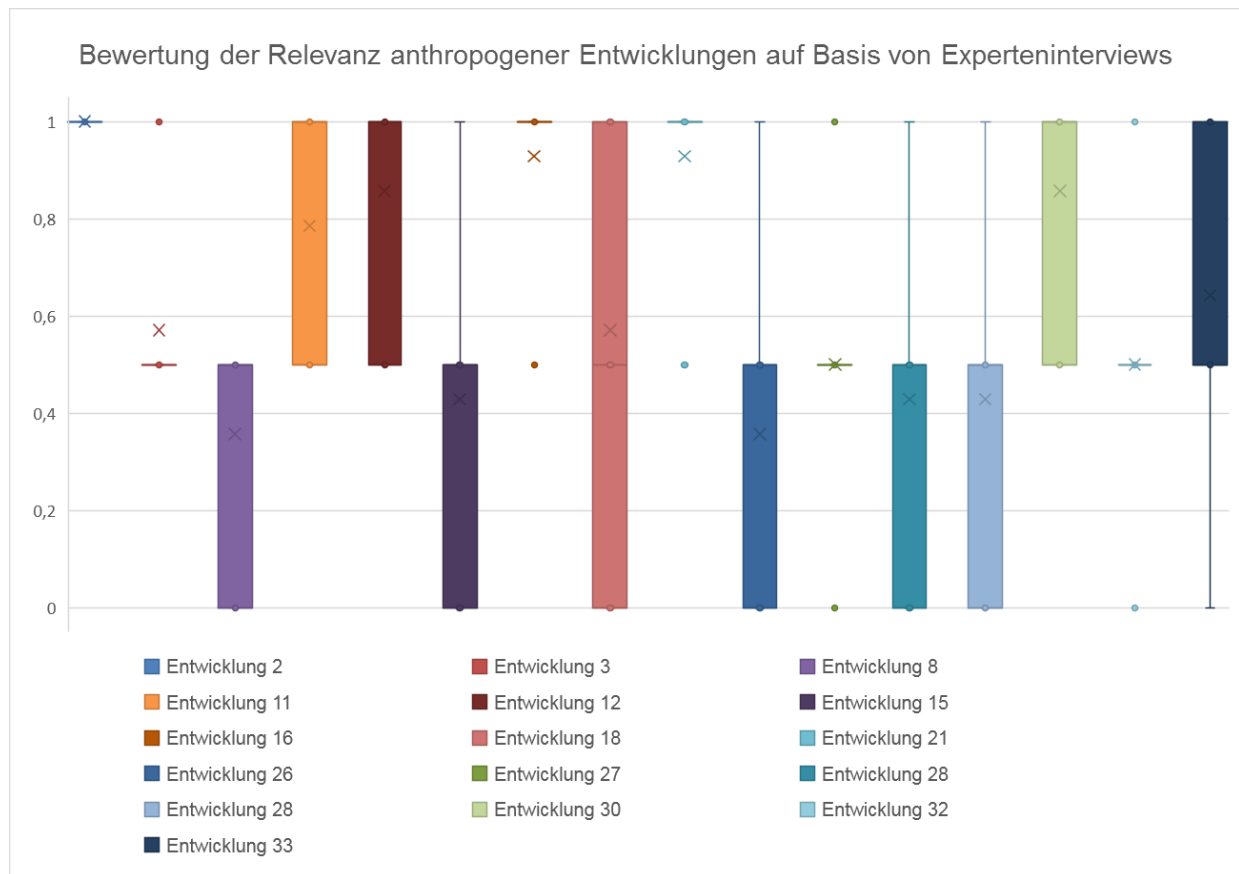


Abbildung 38: Box-Plots der Expertenbewertungen zur Relevanz der Entwicklungen. Die Kreuze stellen den Mittelwert der Bewertungen dar, die Hälfte aller entwicklungs-spezifischen Beurteilungen liegt in der Box und Ausreißer werden durch die zugehörigen Punkte abgebildet. Quelle: Eigene Darstellung.

Die in Abbildung 38 aufgezeigten Box-Plots halten fest, in welchem Ausmaß die Bewertungen der Experten zur Relevanz voneinander abweichen. Die Darstellung der Entwicklungen erfolgt chronologisch von links nach rechts. Das Kreuz-Symbol stellt den Mittelwert der Expertenbewertungen dar. Die farbige Box stellt jenen Bereich dar, in dem die Hälfte aller Expertenbewertungen liegt. Ist anstelle einer Box nur ein horizontaler Strich vorhanden, so hat die Hälfte aller Experten die Entwicklung mit der dem Wert des Striches zugeordneten Relevanz beurteilt. Ausreißer werden durch die zugehörigen Punkte nach oben und nach unten dargestellt.

Aus Abbildung 38 ist erkennbar, dass sich die Experten vor allem bei Entwicklung 18 über die Relevanz für die Branche uneinig sind. Darüber hinaus herrscht bei den Entwicklungen 2, 3, 16, 21, 27 und 32 eine große Einigkeit über ihre Relevanz.

Im anschließenden Kapitel werden die soeben in Tabelle 7 aufgeführten Bewertungen der Experten näher betrachtet. Dabei wird vor allem auf die Argumentation der Experten zu den Bewertungen eingegangen.

9.2.2.2 Qualitative Auswertung der Experteninterviews: Bezüge zur Verfahrenstechnik

Die in Kapitel 9.2.2.1 zusammengefassten Expertenmeinungen über die zukünftige Relevanz der verschiedenen Entwicklungen für die Verfahrenstechnik werden in diesem Kapitel mit konkreten Aussagen der Experten untermauert. Zum einen sollen damit die Beurteilungsgrundlagen der Experten vermittelt werden. Zum anderen werden konkrete Beispiele herangezogen, anhand derer der Zusammenhang zur Verfahrens- und Prozesstechnik exemplarisch hervorgehoben wird. Die Personenzuweisungen zu den Abkürzungen [Ern], [Gam], [Gla], [Kon], [Lob], [Schwai] und [Sieb] sind im Anhang zu finden.

Entwicklung 2: China wird wirtschaftlich die vorherrschende Weltmacht

Diese Entwicklung wird für die Verfahrenstechnik relevant sein. Die Zunahme der Industrialisierung und die Größe dieses Marktes werden mehrere Auswirkungen auf die gesamte Verfahrenstechnik [Gla] haben:

Erstens wird China einen großen Absatzmarkt im Bereich der Umwelttechnik darstellen [Gam], [Kon], [Schwaig], [Lob], [Gla]. Bis dato sind die dortigen Umweltschutzbemühungen eher gering. Die wachsende Industrie wird Änderungen diesbezüglich erfordern. Verfahrenstechnische Umwelttechnologien werden stark gefragt sein. Die zunehmende Produktion wird auch die Recyclingbranche in China wichtiger werden lassen – die Masse der produzierten Güter muss beseitigt werden [Schwai].

Darüber hinaus wird die Zunahme der Industrialisierung Energieeffizienz zu einem wichtigen Thema werden lassen [Lob]. Diese wachsende Industrie wird auch für den Chemieanlagenbau stark relevant sein, da sich dadurch ein riesiger Markt eröffnet [Kon].

Ebenso wird China eine Rohstoffmonopolstellung einnehmen. Bereits heute werden über 90% aller Seltenen Erden in China gefördert. In Zukunft wird sich dieses Monopol noch verstärken, dies wird sich vor allem auf die Elektronikindustrie auswirken [Gam]. Durch diese Monopolstellung werden in diesem Bereich neue Verfahren verstärkt benötigt werden [Lob].

Die Zunahme der Lebensqualität der Bevölkerung wird ihren Energiebedarf erhöhen. Neben der Notwendigkeit von Biokraftstoffen für Mobilität in den nächsten 5 - 10 Jahren, wird auch der chinesische Primärenergiebedarf bis etwa 2050 klimafreundliche Anteile enthalten [Ern].

Durch die steigende Marktfähigkeit chinesischer Verfahrenstechnikbetriebe wird ein Umdenken europäischer Unternehmen notwendig werden [Gam]. Die Konkurrenz wird zukünftig nicht mehr in Europa oder den USA sitzen, sondern im asiatischen Raum. Ein wesentlicher Faktor wird sein, dass China über sehr gut ausgebildete Techniker verfügt und dadurch in der Verfahrens- und Technologieentwicklung künftig eine stärkere Rolle spielen wird als heutzutage [Kon]. Dem steht gegenüber, dass chinesische Unternehmen bis heute über eine relativ schwache Produkt-Eigenentwicklung verfügen [Lob].

Entwicklung 3: Der Markt wird sich in Zukunft schneller verändern

Diese Entwicklung wird allgemein nur einen mäßigen Einfluss auf die Verfahrenstechnik haben, wird in Nischenmärkten jedoch an Relevanz gewinnen. Allgemein ist die Verfahrenstechnik diesbezüglich eine langlebige Branche [Schwai], verglichen mit der Automobil-, IT- oder Elektronikbranche [Kon], daher sind Produktlebenszyklen kaum betroffen [Lob].

Für Betreiber verfahrenstechnischer Anlagen wird vor allem in der Produktion von Grundchemikalien kaum ein Einfluss vorhanden sein. Hier kommen langfristig etablierte Verfahren zum Einsatz, die einer langsamen aber kontinuierlichen Optimierung unterliegen [Gam]. Hingegen wird im Bereich von Spezialchemikalien der schneller werdende Markt eine Rolle spielen [Gam], [Gla]. Prominentes Beispiel ist die Pharmabranche, hier ist eine Verkürzung der Lebenszyklen und eine Zunahme der Anzahl pharmazeutischer Produkte zu beobachten [Gla]. Da Erdöl aus Ausgangsbasis momentaner Verfahren für Spezialchemikalien verwendet wird, wird die Erdölentwicklung eine wesentliche Rolle bei der Entwicklung neuer Verfahren für diese Chemikalien spielen [Gam].

Für Hersteller verfahrenstechnischer Anlagen ist ein schneller Wandel der Wettbewerbssituation, bedingt durch zunehmende Globalisierung, erkennbar [Lob], [Kon]. Folge sind die Notwendigkeit, immer günstiger produzieren zu müssen, sowie die Priorisierung des konkreten Kundennutzens durch den Kunden selbst [Lob]. Darüber hinaus wird eine Verkürzung der Amortisationszeiten von den Kunden gefordert [Schwai]. Vor allem in den USA sind Amortisationszeiten verfahrenstechnischer Anlagen von 3 bis 4 Jahren heute Standard [Ern], [Gla]. In Europa sind längere Amortisationszeiten zu beobachten, allerdings werden sich diese auch hier zukünftig verkürzen [Ern]. Im Zuge einer günstigeren und schnelleren Auslegung von Anlagen wird ein optimiertes Scale-Up von Laboranlagen besonders wichtig werden [Gam].

Entwicklung 8: Erneuerbare Energien werden verstärkt eine dezentrale Energieerzeugung ermöglichen

Dezentrale Stromerzeugung und Speicherung wird die Verfahrenstechnik in vor allem Nischenanwendungen betreffen. Für die künftige dezentrale Strom- und Energieerzeugung wird, neben der Steuerungs- und Regelungstechnik, ist viel Prozesstechnik notwendig sein [Kon]. Der Zusammenhang zur klassischen Verfahrenstechnik ist dennoch gering [Ern]. Trotzdem werden Produktionsanlagen zur Umsetzung dieser neuen Technologien jedenfalls notwendig sein [Sieb]. Vor allem verfahrenstechnische Nischen werden betroffen sein, in denen starker Einfluss vorhanden sein wird [Kon].

Für die Verfahrenstechnik interessante Kerngebiete stellen im Wesentlichen nur die für Energiespeicher- oder Transportzwecke verwendbaren Wasserstofftechnologien dar [Schwai]. Vor allem die Energiespeicherung ist zurzeit ein großes Thema, das als sozialer Trend von Unternehmen aufgefasst wird. Bis zu 50% der Innovationsprojekte in verfahrenstechnischen Unternehmen weisen aktuell einen Zusammenhang mit dem Thema Energiespeichertechnologien auf [Gla]. Vor allem die Höhe der Energieverluste bei chemischen Speichertechnologien wird über deren Erfolg entscheiden [Gam]. Allerdings wird auch der Transport regional überschüssiger Energie in energieärmere Gebiete ein wesentliches Problem sein, in dem die Verfahrenstechnik gefragt sein wird [Gam].

Die Veränderung der Energieerzeugung wird die Verfahrenstechnik auch durch einen Wandel der heute üblichen Kraftwerkstechnik beeinflussen: Absatzmärkte wie Kohle- und Gaskraftwerke, Biomasse und Blockheizkraftwerke werden sich verändern [Lob], [Schwai]. Damit wird auch im Bereich der Rauchgasreinigung eine Veränderung der Kundenbedürfnisse Einzug halten [Gam].

Entwicklung 11: Nachhaltigkeit wird zur allgemeinen Lebenseinstellung

Das Paradigma „Nachhaltigkeit als Lebenseinstellung“ wird einen mittleren bis starken Einfluss auf die Verfahrenstechnik haben. Bereits heute muss die Verfahrenstechnik das Thema Nachhaltigkeit als wesentliches Prozesselement betrachten [Sieb].

Um Nachhaltigkeit beurteilen zu können, wird ein Festhalten der Fakten mit Zahlen immer wichtiger werden. Um diesem Bedürfnis nachkommen zu können, wird branchenübergreifend die Bilanzierung als Kernwerkzeug der Verfahrenstechnik stärker in den Fokus rücken [Gam]. Damit schlagen sich die allgemeinen Nachhaltigkeitsgedanken in der gesamten Industrie als Betätigungsfeld für die Verfahrenstechnik nieder [Gla].

Allerdings ist speziell in bestimmten Branchen von einer starken Relevanz auszugehen [Ern]. Vor allem Bereiche wie die Abluftreinigung und die Recyclingtechnologie werden von diesem Trend stark geprägt werden. Die von Regierungen gesetzten Abluft-Schadstoffgrenzwerte werden Entwicklungen in der Abluftreinigung massiv betreffen [Lob]. Ebenso werden Recyclingbestrebungen, eine möglichst geschlossene Kreislaufwirtschaft zu schaffen, von verfahrenstechnischen Technologien getragen [Schwai] und von gesellschaftlichen Einstellungen sowie politischen Entscheidungen beeinflusst werden [Ern]. Ursache dieser Kreislaufwirtschaft können sowohl finanziell-energiegetriebene Aspekte sein [Schwai], als auch die Erkenntnis, dass Abfallstoffe als Wertstoffe dienen können [Ern]. Speziell in der Recyclingindustrie wird die aktuelle Fokusverschiebung anhalten: Recyclinganlagen müssen mit immer stärker verschmutzten Einsatzströmen zurechtkommen und dabei einen stabilen Betrieb gewährleisten. Beispielsweise stellen im Bereich der Biodieselherstellung Feedströme mit 10 % unbekanntem Inhaltsstoffen heutzutage keine Seltenheit mehr dar [Ern]. Um nachhaltigere Prozesslösungen zu finden, wird es für Betreiber und Hersteller prozesstechnischer Anlagen wichtiger werden, immer weiter in Richtung Prozessanfang zu blicken [Lob]: Weg von End-of-Pipe-Technologien, hin zum integrierten Umweltschutz.

Entwicklung 12: Erdöl und Kohle werden in Zukunft „out“ sein

Der Trend zur Abwendung von Kohle und Erdöl wird die Verfahrenstechnik stark beeinflussen. Vor allem die chemische Industrie als Kernanwendungsgebiet der Verfahrenstechnik basiert heutzutage zum allergrößten Teil auf dem Einsatz von Erdöl [Gam], [Kon]. Daher wird sich für weite Bereiche der Verfahrenstechnik die Frage nach alternativen Produkten und Anlagen stellen [Kon], [Gla]. Für Hersteller verfahrenstechnischer Anlagen wird sich nicht nur eine notwendige Änderung des Prozessdesigns ergeben, auch die gesamte Fertigungskette wird von diesem Trend beeinflusst sein [Lob].

Da Erdöl den universellen Grundbaustein der modernen organischen Chemie bildet, ist eine vollständige Abwendung davon heute nicht denkbar [Gam]. Um die Umweltverträglichkeit zu erhöhen, wird es jedoch verstärkt zu Beimengungen biogener Anteile kommen [Ern], [Gam]. Im Zuge einer vollständigen oder teilweisen Substituierbarkeit [Ern] tritt die *Food-to-Fuel*-Problematik in den Vordergrund [Gam]: Inwieweit ist es ethisch vertretbar, Erdölsubstitute aus Pflanzen zu gewinnen, die hinsichtlich ihrer benötigten Anbaufläche eine Konkurrenz zu Lebensmitteln darstellen?

Die Erdgasentwicklung wird die biochemische Verfahrenstechnik im Rahmen von Biogaszusätzen zum Erdgas betreffen [Ern]. Aus Sicht des Anlagenbaus wird sie sich vor allem in Form von veränderten Ablufttechnologien für den Kraftwerksbau ausprägen [Gam].

In welchem Umfang sich der Trend zur Abwendung von Kohle und Erdöl auf die Industrien auswirken wird, wird stark davon abhängig sein, wie zukünftige asiatische Industriezentren mit Kohle und Erdöl umgehen: Bleiben dort Umweltbestrebungen weiterhin gering, wird auch in der westlichen Welt der Umbruch abgeschwächt werden [Schwai]. Die globale Konkurrenzfähigkeit erdölfreier Technologien wird entscheiden, wie stark auf Erdöl und Kohle verzichtet werden kann [Gla], [Kon].

Entwicklung 15: Die Auswirkungen des Klimawandels werden stärker werden

Die sich durch den Klimawandel verändernden Ökosysteme werden eine Relevanz für die Verfahrenstechnik aufweisen, wenn auch keine sehr starke. In erster Linie ist der sich dadurch ergebende Trend zur Nachhaltigkeit von Interesse [Kon]. Erst wenn die veränderten Umweltbedingungen vom Menschen wahrgenommen werden, und dies Nachhaltigkeit gesellschaftlich an Priorität gewinnen lässt, wird ein merklicher Einfluss vorhanden [Ern] und Produktionsprozesse betroffen sein [Sieb]. Erst dadurch wird der Mensch seinen Einfluss auf die Umwelt zu verändern versuchen, z.B. indem Technologien zum Abscheiden und Speichern von CO₂ vorangetrieben werden, oder der zunehmende CH₄-Ausstoß aufgrund der steigenden Fleischproduktion eingedämmt wird [Gam]. Erst wenn gesellschaftliche oder politische Konsequenzen zur Behebung solcher Missstände gesetzt werden [Schwai], werden Alternativen zur Ablösung oder Verbesserung bestehender Prozesse erforderlich sein [Gam]. Die Auswirkungen des Klimawandels selbst werden keine direkten nennenswerten Veränderungen der Branche hervorrufen [Gla], da sich dadurch nichts an der Rohstoffsituation, beispielsweise den Holz- oder Kalkvorräten [Lob], oder den Abfallströmen für Recyclingunternehmen [Ern], für die industrielle Produktion verändert.

Entwicklung 16: Der Staat wird Klimaschutz verstärkt durchsetzen

Staatliche Regulierungen zu Klimaschutzzwecken werden künftig eine starke Relevanz für die Verfahrenstechnik haben. Mit Sanktionen und Förderungen hat der Staat ein wichtiges Mittel zur Lenkung inne. Vor allem im Rahmen biologischer Prozesse und Recyclingtechnologien entscheidet es oftmals über die Wirtschaftlichkeit des Betriebes einer verfahrenstechnischen Anlage [Ern]. Allerdings werden diese Sanktionen oder Förderungen auch Anlagenbetreiber, welche prozessbedingt viel CO₂ emittieren, sowie deren Anlagelieferanten, stark betreffen [Lob]. Auch im Rahmen von industriellen Energieeinsparungsvorschriften wird die Verfahrenstechnik eine wichtige Rolle spielen [Gla].

Die wesentliche Frage ist, auf welche Themen in Zukunft konkret die Schwerpunkte dieser Regulierungsmaßnahmen gesetzt werden. Erst durch ihre Beantwortung kann abgeschätzt werden, in welchem Umfang und welcher Form die Verfahrenstechnik davon betroffen sein wird [Gam]. Allerdings ist davon auszugehen, dass viele der heute üblichen Prozesse einer Anpassung an diese künftigen Regulierungen bedürfen [Kon]. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass einzelne Staaten wenig Einfluss auf eine solche Entwicklung haben: Um solche Regulierungen umzusetzen werden globale Allianzen notwendig sein [Gla]. Zum einen, um ihnen eine weltweite Gewichtung zu verleihen und somit eine tatsächliche Wirksamkeit sicherzustellen.

Zum anderen würden einzelne Staaten beim Auferlegen von Sanktionen für nationale Unternehmen diesen einen erheblichen Wettbewerbsnachteil aufbürden [Schwai]. Dies ist die Ursache, weswegen es bis heute relativ wenige derartige Regulierungen gibt [Schwai].

Entwicklung 18: Mobilität wird weiterhin zunehmen

Die stetig wachsende Mobilität wird die Verfahrenstechnik auch zukünftig betreffen. Sich daraus ergebende Veränderungen werden sich allerdings auf Nischenanwendungen beschränken. Für die Breite der Verfahrenstechnik besteht nur ein mäßiger Zusammenhang, da die verfahrenstechnische Wertschöpfung in der Regel zu weit vom Endnutzer entfernt liegt [Gla]. Relevante Zusammenhänge sind maximal im Bereich der Energiespeicher denkbar [Kon].

Zusammenhänge werden vor allem im kleinen Maßstab erkennbar sein. So wächst in der Automobilbranche zunehmend der Bedarf nach Prozesstechnik z.B. zur Reinigung belasteter Abluft [Lob]. Darüber hinaus ist die Verfahrenstechnik bei der Umsetzung potentieller Zukunftstechnologien beteiligt: Bei der Herstellung neuer Materialien elektrischer Akkumulatoren, dem Betrieb und der Versorgung von Wasserstofffahrzeugen, sowie der Herstellung und dem Betrieb notwendiger elektrischer Infrastruktur [Gam]. Allgemein ist die Verfahrenstechnik bei der Bereitstellung jeglicher Art von Energie für verschiedenste Transportmedien beteiligt [Schwai].

Ein stärkerer Zusammenhang kristallisiert sich bei der Zunahme konventioneller Automobilität heraus: Die Versorgung des Individualverkehrs mit Flüssigkraftstoffen als verfahrenstechnische Nische wird stark davon abhängen, wie massiv sich der Trend zur Elektrifizierung zukünftig ausbilden wird [Ern]. Im Rahmen einer nachhaltigen, aber in der Breite konventionellen Mobilität, wird die Verfahrenstechnik durch die Zunahme der Relevanz von Biokraftstoffen betroffen sein [Schwai], [Ern].

Entwicklung 21: Die Recyclingbranche wird aufblühen

Die zunehmende Tendenz, Abfall als Wertstoffe zu betrachten, steht in einem starken Zusammenhang mit der Verfahrenstechnik [Ern], [Schwai]. Um den aus Abfallstoffen gewonnenen Einsatzstoffen gerecht zu werden, ist es unumgänglich bestehende Prozesse anzupassen oder neue Prozesse zu designen [Kon]. Auch vom Wiedereinsatz traditioneller, aber heutzutage unwirtschaftlicher Verfahren, ist auszugehen [Kon]. Recyclingverfahren setzen sich heute und in Zukunft dort durch, wo es sich wirtschaftlich rechnet [Gla]. Eine wichtige Voraussetzung dafür ist, dass entsprechende Mengen des jeweiligen Abfallstoffes zur Verfügung stehen [Schwai]. In der Papierbranche, sowie der Metall- und Glasindustrie ist Recycling heute selbstverständlich, ebenso wie die teilweise Wiederverwertung von Elektronikschrott. Zukünftig erweiterte Anwendungsgebiete der Verfahrenstechnik sind im Bereich der Kompostierung oder der Vergärung von Biotonne-Abfällen, sowie der molekularen Zerlegung von gebrauchten Polymerkunststoffteilen zu sehen [Gam]. Ebenso wird sich die Basis der Abfallquellen verbreitern: Heute kaum beachtete Quellen, wie beispielsweise Fettabscheider in Kläranlagen, werden zukünftig an Bedeutung gewinnen [Ern]. Ebenso werden momentan nicht berücksichtigte Inhaltsstoffe von Recyclingmaterial zukünftig verstärkt extrahiert und wiedergewonnen werden, da sich eine Ressourcenknappheit bei bestimmten chemischen Elementen, z.B.

Phosphor, einstellen wird [Ern]. Darüber hinaus wird künftig auch eine verschärfte Gesetzgebung ein wesentlicher Treiber für den Einsatz und die Anpassung von Recyclingverfahren sein [Lob].

Entwicklung 26: Das Internet wird eine ubiquitäre Selbstverständlichkeit werden

Die zunehmende Vernetzung wird einen mäßigen Einfluss auf die Verfahrenstechnik haben. Vor allem aus Sicht der Produktion notwendiger Infrastruktur und Endgeräte befinden sich nur die Hersteller von Mikrochips und die dazu notwendigen Materialien im Anwendungsgebiet der Prozesstechnik [Gam]. Die zunehmende Wertsteigerung digitaler Medien und virtueller Technologien wird hingegen sogar zu einem gesellschaftlichen Bedeutungsverlust realer Produktion, wie z.B. durch verfahrenstechnische Prozesse, beitragen [Schwai]. Den größten Zusammenhang wird die Nutzung der Internettechnologien auf die Arbeitsprozesse in der Branche haben. Die Vernetzung führt zu einer Vereinfachung und Beschleunigung der Arbeit [Ern], [Gla]. Zum einen verändert sich dadurch die Art und Weise wie der Kontakt zwischen Mitarbeitern und Kunden stattfindet: Telefonkonferenzen halten im Arbeitsalltag immer mehr Einzug und elektronische Angebote ohne persönlichen Kontakt zum Kunden werden auch im Anlagenbau selbstverständlicher [Lob]. Darüber hinaus wird speziell in der wissensintensiven Dienstleistungsbranche die Recherche durch eine verbesserte Zugänglichkeit zu notwendigen Informationen erheblich erleichtert [Gla]. Allerdings kann die im Arbeitsalltag zunehmende Flut an Informationen auch zu einer Behinderung und somit einer Ablenkung von der tatsächlichen Arbeitsaufgabe führen [Ern].

Entwicklung 27: Das "Internet of Things"

Das Zukunftsbild einer 4. Industriellen Revolution hat nur begrenzte Auswirkungen auf die Verfahrenstechnik. Zudem ist es schwer vorstellbar, inwiefern sich die Vernetzung in der Industrie durchsetzen wird [Ern], [Gla], [Schwai]. Dies liegt auch darin begründet, dass viele der vorhandenen Technologien bereits heute genutzt und als selbstverständlich erachtet werden, z.B. im Rahmen der Mess- und Regelungstechnik, dem Erkennen von außerplanmäßigen Betriebszuständen sowie im Zuge von Fernwartungen [Gla], [Lob], [Schwai].

Dennoch sind mit der Verfügbarkeit neuer technologischer Möglichkeiten neue technische Potentiale im Anlagenbau zu erwarten. So wird eine umfassendere Regelungstechnik eine Abnahme der Personalanzahl aus Sicht des Anlagenbetreibers bewirken [Gam]. Für bestehendes Personal werden sich vor allem im Bereich der Anlagenwartung neue Möglichkeiten ergeben: Steigende Datenverfügbarkeit wird zur Unterstützung und Erleichterung von Wartungsaufgaben beitragen [Lob]. Ebenso werden bei Störfällen vor-Ort Serviceteams durch erweiterte Fernwartungsmöglichkeiten zunehmend überflüssig und unwirtschaftlicher werden, womit auch einem allgemeinen Kundenwunsch entgegengekommen werden kann [Ern].

Durch vermehrtes Erfassen von Sensorparametern jeglicher Art wird es zu einer erleichterten Datengewinnung und somit zu einer verstärkten Datennutzung zur Anlagenregelung und Optimierung kommen. Dabei wird speziell die optimierte Auslegung des Designpunktes der Anlage auf den im realen Betrieb vorkommenden Lastbereich eine große Rolle spielen [Lob].

Entwicklung 28: Die Logistik wird als Wettbewerbsfaktor an Relevanz gewinnen

Diese Entwicklung wird für die Verfahrenstechnik eine begrenzte Relevanz aufweisen. Die Logistik selbst stellt kein großes Betätigungsfeld der Prozesstechnik dar [Gla]. Allerhöchstens die zunehmende Optimierung von Energie- und Produktströmen in der Industrie spiegelt den Schnittpunkt mit der Prozesstechnik wider [Gam]. Dennoch spielt sie eine wesentliche Rolle bei der Errichtung und dem Betrieb einer Anlage. Einen wesentlichen Zusammenhang von Logistik und Verfahrenstechnik stellt die Lagerhaltung von Produkten und Edukten dar [Sieb]. Vor allem dort, wo riesige Einsatzmassen üblich sind, wie es beispielsweise in der auf Zellulosematerialien basierten Prozesstechnik der Fall ist, ist der Standort sowie dessen Anbindung an vorhandene Infrastruktur ein wesentliches Wettbewerbskriterium: Je geringer die Transportkosten, desto wirtschaftlicher ist eine Anlage zu betreiben. In bestimmten Branchen folgt daraus der Trend, den *economies of scale* zu folgen: Die Zusammenlegung kleiner dezentraler Produktionsstätten zu einer einzigen mit optimierter Lage verbessert die Situation der Rohstoffzulieferung und der Logistikkosten [Ern].

Die Errichtung einer Anlage stellt für die Logistik an sich eine Herausforderung dar. Allerdings wird diese aus Sicht der Anlagenproduzenten bereits heutzutage in zufriedenstellendem Ausmaß umgesetzt [Gla]. Dennoch ergeben sich aus den teils sehr hohen Logistikkosten Einflüsse auf die Konstruktion der Anlagen: Modulare Bauweisen werden hinsichtlich standardisierter Containermaße zur maximalen Nutzung des zur Verfügung stehenden Fachtraumes stetig wichtiger [Lob].

Innovationspotentiale in Zusammenhang mit der Logistik stellen speziell Ansätze zur vor-Ort-Produktion von Teilen oder gesamten Anlagen dar. Damit können Kosten und transportbedingte Konstruktionseinschränkungen weitestgehend umgangen werden. Herausforderungen eines solchen Konzeptes liegen in der Verfügbarkeit angemessener Fertigungspartner sowie der Fertigungsqualität bestimmter Schlüsselbauteile [Lob].

Entwicklung 30: Kohlendioxid wird teuer werden

Steigende Kohlendioxidkosten werden einen erheblichen Einfluss auf die Verfahrenstechnik haben. Ob, und im welchem Ausmaß Kohlendioxidzertifikats-Preise zukünftig relevant sein werden, wird speziell an der Entwicklung der asiatischen Wirtschaft, sowie ihrer Bereitschaft zur Mitgestaltung eines globalen Konzeptes, liegen [Schwai].

Die Auswirkungen steigender CO₂ Preise werden direkt als akute Unwirtschaftlichkeit bestimmter Produktionsverfahren zu erkennen sein [Lob], sowohl in hochenergieintensiven Branchen als auch im Rahmen von CO₂-intensiven Herstellungsverfahren, wie z.B. der anorganischen Zementproduktion [Gla], [Lob].

Einerseits wird es dadurch zu verstärkten Bemühungen der Energieeinsparung kommen, wobei energiearme Branchen nur geringfügig betroffen sein werden [Gla]. Andererseits werden Forderungen nach Kohlendioxid-Abtrennung und -Speicherung, speziell im Zuge von organischen Oxidationsverfahren, ein neues technologisches Geschäftsfeld eröffnen [Gam]. Vor allem im Bereich der Kraftstoff- und Feuerungsindustrie werden die CO₂-Kosten geschäftsfeldbestimmend und der Treiber für die Entwicklung technologischer Alternativen sein [Ern].

Entwicklung 32: Photovoltaik wird selbstverständlich werden

Die zunehmende Produktion und Verwendung von Photovoltaikkomponenten wird die Verfahrenstechnik nur in Nischenanwendungen betreffen. Abgesehen davon ist für die Breite der Branche kaum ein Einfluss vorhanden [Ern], [Lob].

Zum einen wird die Herstellung der notwendigen Materialien sowie deren artgerechte Entsorgung und Wiederverwertung angepasste verfahrenstechnische Prozesse benötigen [Gam], [Lob].

Zum anderen ist die durch Photovoltaikanlagen produzierte Menge an elektrischem Strom von Interesse. Dadurch wird sich die heute übliche Energieversorgung verändern [Sieb]. Speichermöglichkeiten für überschüssige Elektrizität stellen das wesentliche Innovationspotential in diesem Betätigungsfeld dar [Gla]. Dabei ist auch ein Biogas-Aufschwung zur komplementären Stromspeicherung und -erzeugung denkbar [Ern].

Entwicklung 33: Das Wachstum der chemischen Industrie wird sich reduzieren

Die künftige Entwicklung der chemischen Industrie wird einen Großteil der Verfahrenstechnik betreffen.

Die Chemie stellt traditionell einen großen Teil der klassischen Prozesstechnik dar, dementsprechend sind nennenswerte gegenseitige Abhängigkeiten vorhanden [Gla]. Geringeres Wachstum und dadurch verschärfter Wettbewerb erfordern optimierte Ressourcennutzung und verbesserte Selektivität der Prozesse [Sieb]. Ein zukünftiges Wachstum der chemischen Industrie von 3 % ist in diesem Zusammenhang für die Prozesstechnik jedoch als durchaus positiv zu betrachten [Kon], [Gla].

Aufgrund zunehmender Diversifizierung chemischer Technologien und der steigenden Relevanz von Nischen wie Biochemie oder Elektrochemie, werden die Abhängigkeiten der beiden Disziplinen Chemie und Verfahrenstechnik jedoch stetig komplexer und schwieriger zu beurteilen [Gam].

Abgesehen davon ist die moderne Verfahrenstechnik derart breit gestreut, dass sie teilweise einen nur sehr geringen, oder nicht relevanten Zusammenhang mit der Chemie aufweist [Ern], [Lob].

Die in diesem Kapitel soeben vorgestellten qualitativen Expertenaussagen stehen parallel zu der quantitativen Bewertung der Branchenrelevanz, wie sie in Tabelle 7 dargestellt ist. Die Expertenmeinungen unterstreichen die Ergebnisse der quantitativen Bewertung und schaffen ein umfassenderes Wissen über die Zusammenhänge der behandelten Entwicklungen zur Verfahrenstechnik. Damit stellen sie eine wesentliche Ausgangsbasis für die weitere Bearbeitung dieser Themen dar. Im anschließenden Kapitel 10 bilden diese Expertenaussagen eine wichtige Grundlage zur Einteilung der Entwicklungen in Innovationstreiberklassen. Obwohl in dieser folgenden Betrachtung der Branchenrelevanz keine Bedeutung zukommt, sind die gewonnenen Erkenntnisse zu den einzelnen Entwicklungen hinsichtlich ihrer Zusammenhänge zur und ihrer Wechselwirkungen mit der Branche wichtig, um ihre Auswirkungen auf die Verfahrens- und Prozesstechnik beurteilen zu können.

10 RELEVANTE ZUKÜNFTIGE INNOVATIONSTREIBER

Auf Basis der in Kapitel 9 durchgeführten Experteninterviews werden aus den zur Befragung herangezogenen potentiellen zukünftigen Innovationstreibern in diesem Kapitel die für die Verfahrenstechnik relevanten zukünftigen Innovationstreiber extrahiert. Diese Auswahl erfolgt auf Grund der Expertenbewertungen, in welchem Ausmaß ein potentieller zukünftiger Innovationstreiber einen Zusammenhang mit der Verfahrenstechnik aufweist.

10.1 Expertenbewertung: Auswahl relevanter Entwicklungen

Die Auswahl der für die weitere Betrachtung herangezogenen relevanten zukünftigen Innovationstreiber geschieht auf Basis der Experteninterviews. Als relevant werden jene Entwicklungen bezeichnet, welche eine gemittelte Branchenrelevanz von $\bar{r}_k > 0,5$ aufweisen. Dies bedeutet, dass der Durchschnitt der befragten Experten die jeweilige Entwicklung eher als relevant als nicht relevant bewertet. Im Zuge dieser Vorgehensweise ergeben sich neun relevante zukünftige Innovationstreiber für die Verfahrens- und Prozesstechnik, welche in Abbildung 39 dargestellt werden.

Abbildung 39 verdeutlicht, nach welchem Prinzip die relevanten zukünftigen Innovationstreiber ausgewählt werden. Zum einen muss eine ausreichend hohe Veränderung des Ausprägungsgrades vorliegen. Die Auswahl dazu ist in Abbildung 37 verdeutlicht. Zum anderen muss die auf Basis der Experteninterviews erhaltene gemittelte Branchenrelevanz \bar{r}_k genügend hoch sein. Sowohl bei der Veränderung des Ausprägungsgrades, als auch bei der gemittelten Branchenrelevanz \bar{r}_k , liegt die Grenze bei einem Wert von 0,5.

Jene Entwicklungen, sie sich aufgrund dieser Beurteilung als relevante zukünftige Innovationstreiber qualifizieren, werden im anschließenden Kapitel 10.2 als solche behandelt. Dabei werden sie verschiedenen Innovationstreiberklassen zugeordnet und hinsichtlich ihres Wirkens als Innovationstreiber in der Verfahrens- und Prozesstechnik diskutiert.

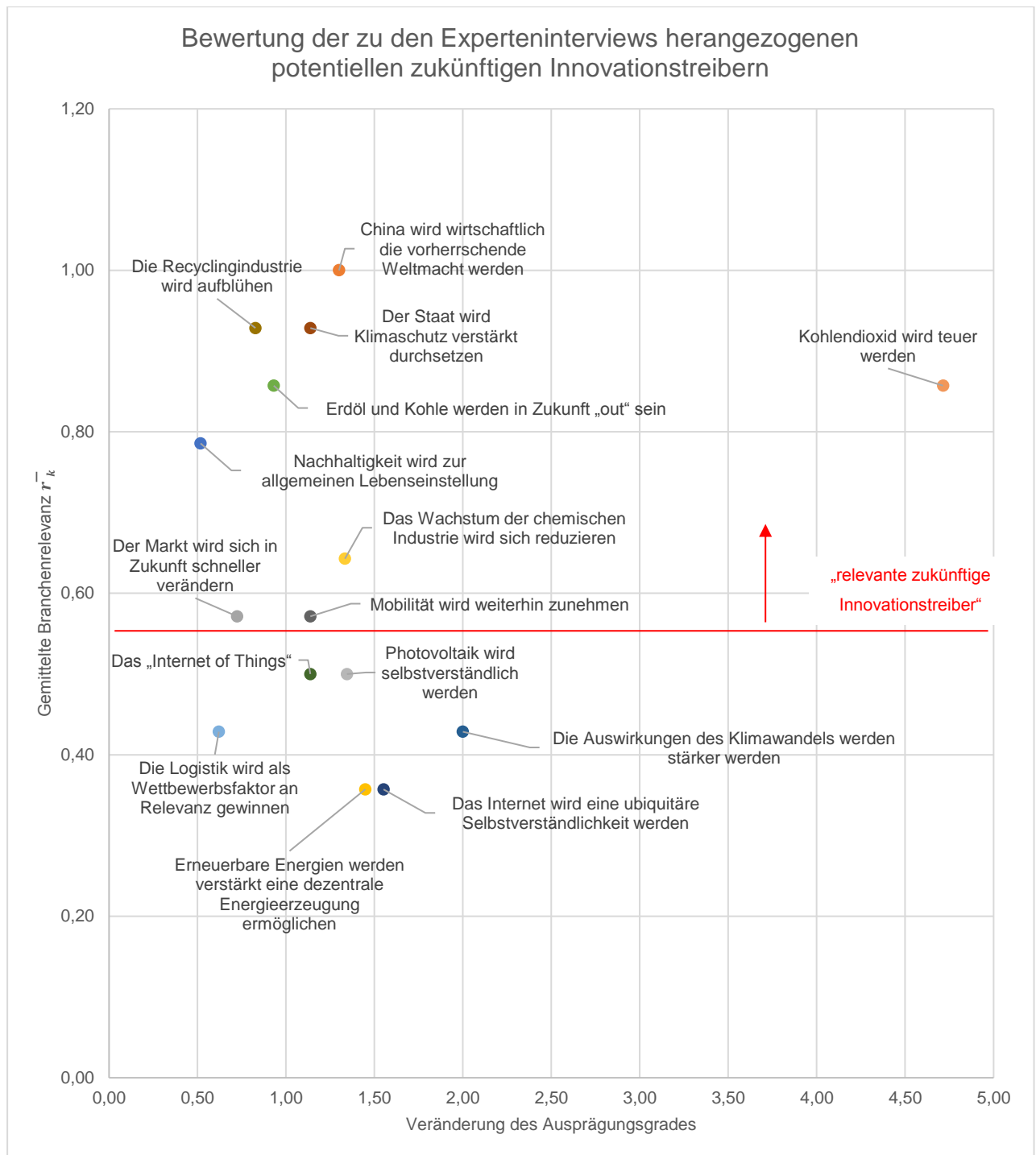


Abbildung 39: Auswahl relevanter zukünftiger Innovationstreiber auf Basis von Expertenbewertungen.
Quelle: Eigene Darstellung.

10.2 Anthropogene Entwicklungen als Innovationstreiber

Die von den Experten als für die Verfahrenstechnik relevant beurteilten anthropogenen Entwicklungen können als zukünftige Innovationstreiber interpretiert werden. Durch die Veränderung der relevanten Unternehmensumwelt werden die Unternehmen gezwungen, sich an diese Veränderungen anzupassen. Sie sind daher wesentliche Auslöser für unternehmensinterne Innovationen jeglicher Art.

Das Bild der stetigen evolutionären Innovation verdeutlicht die Wirkungsweise der identifizierten Entwicklungen: Veränderte Bedingungen erfordern eine kontinuierliche Anpassung und Veränderung der firmenspezifischen Produktpalette. Nur dadurch kann die Grundlage zu einer beständigen Wettbewerbsfähigkeit geschaffen werden.

Im Gegensatz zu vergangenen oder heutigen Innovationstreibern, zeigen die identifizierten anthropogenen Entwicklungen Zustände in der Zukunft auf. Daher sind sie nicht als aktuelle Innovationstreiber in der Verfahrenstechnik zu missverstehen. Mit dem Betrachtungshorizont bis ins Jahr 2030 beschreiben sie Zustände, mit denen Unternehmen in Zukunft konfrontiert sein werden. Auf ihrer Basis wird sich der Bedarf und die Marktfähigkeit von Neuentwicklungen entscheiden. Die in Abbildung 39 hervorgehobenen Entwicklungen sind daher als wesentliche zukünftige Treiber von Innovationen für die gesamte Branche der Verfahrens- und Prozesstechnik zu betrachten.

10.2.1 Zuordnung in Innovationstreiberklassen

Auf welche Art und Weise diese relevanten zukünftigen Innovationstreiber Neuentwicklungen und Innovationen fördern werden, ist individuell zu beurteilen. Generell sind, wie in Kapitel 3.2.2 aufgezeigt, verschiedenartige Auslöser von Innovationen zu unterscheiden. Wie sich diese Kategorien von Treibern in der Vergangenheit auf die Entwicklungstätigkeit und den Markterfolg in der Verfahrenstechnik ausgewirkt haben, ist in Kapitel 4.2 umrissen.

Für eine fortführende Analyse ist eine Klassifizierung der relevanten zukünftigen Innovationstreiber in die in Kapitel 3.2.2 und Kapitel 4.2 herangezogenen Kategorien sinnvoll. Damit kann beurteilt werden, als welche Art externer Treiber eine zukünftige Entwicklung wirken kann. Durch eine solche Analyse sind konkretere Aussagen über die Möglichkeit bzw. die Notwendigkeit unternehmensbezogener Anpassungen möglich, wie in Kapitel 10.2.2 diskutiert wird.

Tabelle 8 zeigt auf, als welche Art von Innovationstreiber eine Entwicklung klassifiziert werden kann. Da es sich bei den Entwicklungen um Umstände handelt, welche bis dato nicht eingetreten sind, verfügen sie über keine tatsächlich beobachtbaren oder bereits beobachteten Zustände oder Eigenschaften. Daher ist eine wissenschaftlich fundierte Zuordnung grundsätzlich nicht möglich.

Auf dieser Ursache basiert auch der Umstand, dass keine eindeutige Einteilung in einzelne Innovationstreiberklassen möglich ist. Es kann nur gemutmaßt werden, inwiefern sich eine Entwicklung tatsächlich ausprägen wird und welcher Aspekt wettbewerbs- und marktrelevant sein wird.

Daher erfolgt die in Tabelle 8 dargestellte Einteilung auf Basis aktueller, denkbar realistischer und relevanter Zusammenhänge, welche in Kapitel 10.2.2 ausführlicher diskutiert werden.

Entwicklung Nr.	Bezeichnung	Innovationstreiberklasse			
		Technologischer Fortschritt	Veränderte Kundenbedürfnisse	Verschärfter Wettbewerb	Verändertes Geschäftsumfeld
2	China wird wirtschaftlich die vorherrschende Weltmacht	x		x	
3	Der Markt wird sich in Zukunft schneller verändern		x		x
11	Nachhaltigkeit wird zur allgemeinen Lebenseinstellung		x		x
12	Erdöl und Kohle werden in Zukunft "out" sein		x		x
16	Der Staat wird Klimaschutz verstärkt durchsetzen		x	x	
18	Mobilität wird weiterhin zunehmen		x		
21	Die Recyclingbranche wird aufblühen		x		
30	Kohlendioxid wird teuer werden		x	x	
33	Das Wachstum der chemischen Industrie wird sich reduzieren			x	

Tabelle 8: Zuordnung der relevanten zukünftigen Innovationstreiber in Innovationstreiberklassen nach Goffin/Herstatt/Mitchell (2009). Quelle: Eigene Darstellung.

10.2.2 Wirkungen anthropogener Entwicklungen als Innovationstreiber

Um die Wirkung der relevanten zukünftigen Innovationstreiber für die Verfahrens- und Prozesstechnologie deutlich zu machen, wird im Folgenden die in Tabelle 8 vorgenommene Einteilung diskutiert. Dabei wird herausgearbeitet, inwiefern Anlagenbetreiber und Anlagenhersteller zu Veränderungen bewegt werden. Es wird aufgezeigt, wie die relevanten zukünftigen Innovationstreiber auf Unternehmen der Branche konkret wirken und weshalb sie zu Neuentwicklungen und Innovationen drängen. Die beschriebenen Wirkungen und Einflüsse stammen zum Teil aus der Durchführung des Workshops „Wirkungen von anthropogenen Entwicklungen als Innovationstreiber“. Das zugehörige Workshop-Setting ist im Anhang zu finden.

Entwicklung 2: China wird die wirtschaftlich vorherrschende Weltmacht

Das Aufstreben Chinas wird die Verfahrens- und Prozesstechnik in umfassender Weise beeinflussen. Da es sich dabei um die Entwicklung einer global tätigen Wirtschaft in ihrer Gesamtheit handelt, ist anzunehmen, dass ihre Auswirkungen viele mögliche Auslöser für Innovationen in der Verfahrenstechnik beinhalten. Konkrete Einflüsse sind für Unternehmen vor allem in Bezug eines technologischen Fortschrittes, sowie eines verschärften Wettbewerbes, zu erwarten.

Der wirtschaftliche Aufschwung Chinas und ein damit einhergehendes erhöhtes Bildungsniveau ermöglichen Forschungstätigkeiten, aus denen neue Technologien hervorgehen. Eine wesentliche Unterstützung erfährt die Entwicklung neuer Technologien in China durch die ansässigen Produktionsstätten internationaler Betriebe: Die Produktion führt zu innerbetrieblichem Know-how, lokaler Wissenskonzentration, z.B. in Form von FE-Einheiten, sowie der darauf aufbauenden Kooperation mit regionalen Forschungsinstituten. Die Verfahrenstechnik hat sich, wie in Kapitel 4.2 gezeigt, in der Vergangenheit in großem Umfang auf technologische Entwicklungen anderer Branchen gestützt.

Demensprechend ist davon auszugehen, dass ein Aufkommen neuer Technologien neue Potentiale für marktfähige Neuentwicklungen in der Prozesstechnik schaffen wird.

Durch das Eintreten ressourcenstarker und stetig wachsender chinesischer Mitbewerber wird sich der Wettbewerb sowohl für Anlagenbetreiber, als auch Anlagenbauer verschärfen. Bestehende und erfolgreiche, außerhalb von China sitzende Unternehmen werden sich mit einem Verlust von Marktanteilen konfrontiert sehen. Ehemals erfolgreiche Betreiber von Anlagen zur Herstellung von Grundchemikalien sind heute kaum mehr fähig, gegen chinesische Mitbewerber im Preiskampf zu konkurrieren. Wenig komplexe Prozesse sind neben chinesischen Mitbewerbern nicht konkurrenzfähig. Mit dem technologischen Aufschwung werden künftig auch Hersteller von Spezialchemikalien oder Pharmazeutika vermehrt Schwierigkeiten mit Konkurrenten aus China haben. Mit steigendem Bildungsniveau werden ebenso Dienstleister des Anlagenbaues den Wettbewerb aus China am internationalen Markt verstärkt zu spüren bekommen. Daher werden sowohl Produzenten als auch Dienstleister, die mit Vorsprung durch Know-how punkten, künftig mit stärkerem Wettbewerb aus dem asiatischen Raum zu rechnen haben. Beide werden in Zukunft angehalten sein, ihre Unternehmensstruktur möglichst „lean“ zu gestalten, um einerseits dem globalen Preiskampf gewachsen zu sein und andererseits keine Einbußen in der Produktqualität hinnehmen zu müssen.

Entwicklung 3: Der Markt wird sich in Zukunft schneller verändern

Kürzere Produktlebenszyklen erfordern sowohl aus Sicht von Anlagenbetreibern als auch von Anlagenbauern eine Anpassung an die veränderten Bedürfnisse ihrer Kunden. Anlagenbetreiber werden verstärkt gefordert sein, immer schneller neue Materialien herzustellen. Vor allem, wenn sie Stoffe für die Elektronik-, IT-, Automobil- oder Pharmabranche produzieren, wird die Zeitspanne der Nachfrage eines bestimmten Materials weiterhin abnehmen. Somit sind Verfahren gefragt, die (a) kürzere Amortisationszeiten aufweisen, oder (b) anpassungsfähig hinsichtlich ihrer Einsatz- und Produktstoffe sind. In beiden Fällen ist der Anlagenproduzent gefordert, diesem Bedarf nachzukommen: Kürzere Amortisationszeiten erfordern eine schlankere und effizientere Auslegung von Neu- und Pilotanlagen. Ebenso wird eine optimierte Konstruktion, z.B. mithilfe von modularen Bausätzen, sowie eine günstigere Produktion der Anlagenbauteile notwendig werden, um die Herstellungs- und Inbetriebnahmekosten der Anlage zu verringern. Mit Verfahren, die hinsichtlich ihrer Ein- und Ausgangsstoffe flexibel sind, ist ein schnelles Anpassen an veränderte Produktbedürfnisse möglich. Anlagenbetreiber werden sich daher in Zukunft verstärkt eine „All-in-One“-Anlage wünschen, um schnell und einfach auf den aktuellen Kundenbedarf zu reagieren.

Eine schnellere Veränderung des Absatzmarktes fordert sowohl die Entwicklungstätigkeit des Anlagenbetreibers als auch des Anlagenbauers: Für den Anlagenbetreiber ist es vorteilhaft, stets ein zusätzliches Absatzprodukt in der Tasche haben, um bei einem raschen oder frühzeitigen Verfall seines aktuellen Kernproduktes gegen geschäftsgefährdende Gewinneinbußen gewappnet zu sein. Für den Anlagenbauer hingegen eröffnet sich ein Wettbewerbsvorteil, wenn er selbst agiert, statt auf die Bedürfnisse seiner Kunden und des Marktes zu reagieren: Betreibt er selbst Marktforschung, welche Produkte der Endkonsument zukünftig benötigt, so kann er dem Anlagenbetreiber bereits beim konkreten Erscheinen dieses Bedarfes ein Anlagenkonzept vorlegen. Dieser wird mit einem frühestmöglichem Markteintritt befähigt, einen möglichst großen Teil des Monopolgewinns einer Region abzuschöpfen.

Entwicklung 11: Nachhaltigkeit wird zur allgemeinen Lebenseinstellung

Das Nachhaltigkeitsbewusstsein der Gesellschaft schlägt sich sowohl in Form eines veränderten Geschäftsumfeldes als auch durch eine Veränderung der Kundenbedürfnisse nieder. Je stärker ein nachhaltiges Wirtschaften als wesentliche Aufgabe eines Unternehmens gesellschaftlich gefordert wird, desto stärker werden Unternehmen auf diese Forderungen eingehen. Für Unternehmen relevante Treiber werden, neben dem gesellschaftlichen Nachhaltigkeitsbild, auch der Druck durch Nichtregierungsorganisationen, sowie gesetzlich vorgeschriebene Umweltschutzaufgaben, sein.

Maßnahmen, die mit dem Begriff *corporate social responsibility* abgebildet werden können, werden zunehmen. Dementsprechend muss jedes Unternehmen individuelle Maßnahmen setzen, um ihr Wirtschaften gesellschaftlich nachhaltig zu gestalten. Zur Umsetzung werden Unternehmen vermehrt gezwungen sein, auf Nachhaltigkeit spezialisierte Personen oder Abteilungen in ihre Struktur einzugliedern. Ein Großteil der Unternehmen wird auf freiwilliger Basis Taten setzen: Die Unternehmerlandschaft wird sich verstärkt zu gesellschaftlicher Verpflichtung bekennen. Schließt sich ein einzelnes Unternehmen diesem Trend nicht an, so wird es immer schwieriger, erfolgreiches Unternehmensmarketing zu betreiben. Hinzu werden gesetzliche Regulierungen, beispielsweise verschärfte Umweltschutzaufgaben oder die Veröffentlichung von Energie- oder Schadstoffkennwerten, Unternehmen zu mehr Nachhaltigkeit zwingen.

Neben dieser Veränderung des allgemeinen Geschäftsumfeldes werden konkret auch Kunden von diesem Phänomen betroffen sein: Im B2C-Bereich repräsentiert die Gesellschaft selbst den Kunden. Dementsprechend wird dieser Markt vom Nachhaltigkeitstrend an stärksten beeinflusst sein. Auch im B2B-Bereich, welcher vor allem für die Verfahrenstechnik relevant ist, wird es zu einem Abfärben dieses Trends kommen: Kunden verfahrenstechnischer Produkte sowie Anlagenbetreiber werden mehr Wert auf allgemeine Nachhaltigkeit legen, da diese wiederum von ihren eigenen Kunden gefordert wird. Dieser Trend wird sich daher, wenn auch stetig abschwächend, durch gesamte Produktionskette der Anlagenherstellung ziehen.

Entwicklung 12: Erdöl und Kohle werden in Zukunft „out“ sein

Im Zuge der zunehmenden Nachhaltigkeit werden Erdöl und Kohle an gesellschaftlicher Akzeptanz stetig verlieren. Dies wird zu einer Veränderung des Geschäftsumfeldes vieler Unternehmen der Prozesstechnik-Branche führen. Vor allem jene Generationen, die den Klimawandel bereits im Schulalter mitbekommen, werden sie als Schädiger der Umwelt und Treiber des Klimawandels ansehen. Damit werden Erdöl und Kohle gesellschaftlich einen schweren Stand haben. Speziell das direkte thermische Verwerten fossiler Brennstoffe wird zunehmend kritisch betrachtet werden: Angesichts des Vorhandenseins weniger umweltbelastender Stoffe wie Holz oder Biogas, wird es gesellschaftlich legitim werden zu fragen, weswegen überhaupt noch Kohle und Erdöl zur Energiegewinnung verwendet wird. Die Gesellschaft wird Kohle und Erdöl nicht mehr in direktem Zusammenhang mit wirtschaftlichem Wachstum und Wohlstand sehen, sondern als partielle Ursache fallender Lebensqualität und ethisch fragwürdige Beeinflussung des Planeten Erde.

Von dieser gesellschaftlichen Abwertung werden auch Verfahren betroffen sein, welche Erdöl oder Kohle als Ausgangsprodukte zur Stoffumwandlung heranziehen. Allerdings ist davon auszugehen, dass dies in weit geringerem Ausmaß, als im Zuge einer direkten thermischen Verwertung, geschehen wird: Zum einen

sind sich (a) die wenigsten Endverbraucher darüber bewusst, welche und wie viele ihrer alltäglichen Produkte auf Erdöl basieren. Zum anderen sind (b) die Einsatzmengen geringer sowie werden (c) die darin vorhandenen Erdölbestandteile nur schwer als klimaschädlich, wenn auch möglicherweise als umweltschädlich, breitenwirksam klassifizierbar. Des Weiteren wird (d) der Konsumdrang der Gesellschaft eine mögliche produktbedingte Umweltschädigung an Relevanz verlieren lassen. Ob und in wie weit Produkte aus Verfahren auf Basis nicht-fossiler biologischer Einsatzstoffe hinsichtlich Preis und Wirksamkeit konkurrenzfähig sind, ist fraglich. Allerdings ist aufgrund des heute erkennbaren Trends dahin eine relevante Zunahme des Marktanteils zu erwarten.

Wie im Rahmen von Entwicklung 11 geschildert, wird sich diese Veränderung des Geschäftsumfeldes sowohl auf die Kundenbedürfnisse von Anlagenbetreibern als auch von Anlagenproduzenten auswirken: Das Bedürfnis des Endkunden nach erdölfreien Produkten wird sich durch die gesamte Fertigungskette ziehen. Für Anlagenbauer bedeutet dies einerseits, dass (a) der Bedarf nach Verfahren mit alternativen Einsatzstoffen zunehmen wird. Andererseits wird es (b) dem Anlagenbetreiber als Kunde stets wichtiger werden, klimaschädliche Emissionen durch prozesstechnische Maßnahmen so weit wie möglich zu reduzieren, um gesellschaftliche Imageeinbußen seines Geschäfts so gering wie möglich zu halten.

Entwicklung 16: Der Staat wird Klimaschutz verstärkt durchsetzen

Staatlich vorgegebener Klimaschutz wird in erster Linie zu einem verschärften Wettbewerb in der Branche führen. Vor allem Anlagenbetreiber werden davon betroffen sein: Zu erfüllende Klimaschutzvorgaben bedeuten in der Regel erheblichen anlagenbautechnischen und somit finanziellen Aufwand. Dieser schlägt sich entweder in erhöhten Produktpreisen und somit geringerer Wettbewerbsfähigkeit, oder verringerter Wirtschaftlichkeit eines Verfahrens nieder. Ein wesentliches Kriterium spielt dabei der Absatzmarkt: Ist dieser national begrenzt und ohne Relevanz internationaler Mitbewerber, so werden erhöhte Produktpreise relativ einfach direkt an den Endkunden weiterzugeben sein. Bei internationalen Märkten und Konkurrenten, die keine zusätzlichen Kosten aufgrund von Klimaschutzvorgaben zu tragen haben, wird der Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit die wesentliche zu bewältigende Aufgabe sein. Vor allem bei Produkten oder Zulieferprodukten der Konsumgüterindustrie wird ein Preisaufschlag sich rasch mit dem Verfall von Marktanteilen auswirken. Offen bleibt die Frage, wie engagiert Regierungen, vor dem Bild international schwächerer Heimatkonzerne, verminderter Unternehmensansiedelungen und vermehrter Unternehmensabwanderungen, solche Klimaschutzregulierungen umsetzen werden.

Dass sich durch diese Wettbewerbsverschärfung für Anlagenbetreiber eine wesentliche Verschärfung des Wettbewerbsmarktes für Anlagenbauer ergibt, ist unwahrscheinlich. Zum einen sind Anlagenhersteller (a) in der Regel international tätig, also vor eventuell regional abnehmender Verfahrensindustrie weitestgehend gefeit, und (b) auch bei Vorhandensein von eigenen Fertigungseinrichtungen sind diese üblicherweise untergeordnet von Klimaschutzregulierungen betroffen.

Für Anlagenhersteller ergeben sich hingegen veränderte Kundenbedürfnisse: Anlagenbetreiber benötigen Prozesse, welche die geforderten gesetzlichen Auflagen möglichst zuverlässig erfüllen. Die Anforderungen an das Anlagendesign werden sich daher von der Optimierung der Ausbeute und Selektivität verstärkt hin zur Reduktion von Schadstoffen verlagern.

Um dies zu erreichen, werden Anlagenbauer gefordert sein, (a) über die optimale Anlagenauslastung und (b) über die Rechtfertigung bisheriger Verfahrensprinzipien nachzudenken. Ebenso wird dem Kunden (c) eine modulare Bauweise zum einfachen und kostengünstigen Nachrüsten der Neuanlage sowie (d) die Flexibilisierung des Betriebes, z.B. durch erhöhte Prozessstabilität bei starker Prozessparametervariation, wichtig werden.

Um dies zu erreichen, wird der Anlagenbauer speziell hinsichtlich seiner technologischen Weiterentwicklung gefordert sein. In diesem Rahmen wird das Technologiemanagement eine zentrale Rolle spielen, da die Marktfähigkeit von Neu- und Weiterentwicklungen vor allem von einer möglichst korrekten Abschätzung zukünftig relevanter Schadstoffspezies und Schadstoffgrenzwerte abhängig ist.

Parallel zur Optimierung von Kernprozessen wird sich kundenseitig eine steigende Nachfrage von Anlagennachrüstungen zur Erfüllung von Grenzwertvorschriften einstellen. Damit wird sich für Spezialisten im Bereich von End-of-Pipe-Technologien ein wachsender Markt eröffnen.

Entwicklung 18: Mobilität wird weiterhin zunehmen

Die Zunahme von Mobilität wird sich vor allem auf die Kundenbedürfnisse von Anlagenherstellern und -betreibern auswirken. Es werden jedoch nur jene Unternehmen nennenswert betroffen sein, welche in den Branchen der Kraftstofferzeugung und Energiespeicherung beheimatet sind.

Aufgrund der Mobilitätszunahme im asiatischen Raum, basierend auf günstigen, konventionellen Verbrennungskraftmotoren, wird speziell die Nachfrage an raffinierten, auf fossilen Brennstoffen basierenden Flüssigkraftstoffen steigen. Eine Steigerung der geforderten Produktionsmenge wird damit Anlagenbetreiber betreffen. Optimierungen und Effizienzsteigerungen bestehender Verfahren werden somit weiterhin wirtschaftlich sein.

Ein Wandel hin zu nachhaltigen Lösungen individueller Mobilität und Technologien wie der Elektromobilität oder Wasserstofftechnologien, ergeben sowohl für Anlagenbetreiber als auch Anlagenbauer veränderte Bedürfnisse ihrer Kunden: Für Betreiber bestehender Kraftstoffproduktionsverfahren ergeben sich mit der Veränderung des Mobilitäsmixes zusätzliche Marktpotentiale auf dem Gebiet der elektrischen Energieversorgung sowie der Gas- und Wasserstoffproduktion. Betreiber bestehender Anlagen müssen sich daher Alternativen zu ihrem bisherigen Kerngeschäft überlegen, um den Anschluss zum Wettbewerb nicht zu verlieren. Dazu ist es einerseits notwendig (a) selbstständig in Entwicklungsprojekte und angewandte Forschung zu investieren sowie (b) die Frage zu klären, wie die bis dato konventionell genutzte vorhandene Betriebsinfrastruktur bei der Umstellung auf neue Technologien oder Produkte am sinnvollsten genutzt werden kann.

Die Umstellung der Produktion und der Bedarf nach neuen Produkten wird dementsprechend auch den Anlagenbauer betreffen. Neues Marktpotential wird bestehende Kraftstoffproduzenten sowie Markteinsteiger dazu bewegen, mithilfe neuer Technologien zu produzieren. Diese müssen entweder in bestehende Infrastruktur integriert oder in Form neuer Prozesse von Anlagenherstellern bereitgestellt werden. Damit folgt auch für Anlagenbauer eine Veränderung der Bedürfnisse ihrer Kunden, vor allem hinsichtlich eines konkreten Bedarfes zur Umsetzung junger Technologien in großem industriellen Maßstab.

Entwicklung 21: Die Recyclingbranche wird aufblühen

Eine gesteigerte Recyclingtätigkeit wird die Kundenbedürfnisse von Anlagenbauern insofern verändern, da die Recyclingbranche zum Großteil auf verfahrenstechnischen Prozessen beruht. Demensprechend wird die Nachfrage an Recyclingverfahren allgemein ansteigen. Anlagenbauer werden in der Recyclingbranche einen aufblühenden Absatzmarkt, jedoch mit sich verändernden Bedürfnissen ihrer Kunden, vorfinden.

Vor allem im Recycling mithilfe mechanischer Verfahrenstechnik werden Kunden eine erhöhte Anlagenselektivität hinsichtlich Stoffeigenschaften und Korngröße erwarten: Je höher die Selektivität mechanischer Trennanlagen und je höher die Reinheit ihrer Produkte, desto wirtschaftlicher lassen sich diese verkaufen oder weiterverarbeiten.

Es ist davon auszugehen, dass die zunehmende Wirtschaftlichkeit von mechanischen Recyclingverfahren auch eine verstärkte Integration bisher nicht umgesetzter Stoffrückgewinnungsprozesse in Großanlagen bewirkt. Vor allem in Bereichen, wo sich Verfahrens- und Fertigungstechnik überschneiden, wie beispielsweise in der Elektronikindustrie oder der Herstellung von Verbundkartonagen, eröffnet sich damit die Möglichkeit, auch Ausschussware an Zwischen- oder Fertigprodukten wirtschaftlicher in den internen Produktionsprozess wiederinzugliedern.

Die prozesstechnische Besonderheit chemischer Recyclingverfahren liegt darin, dass die Einsatzstoffe in der Regel nur über eine begrenzte Spezifizierbarkeit verfügen. Abfallstoffe weisen, auch nach vorgeschalteten Reinigungsstufen, üblicherweise eine höhere Belastung unerwünschter Begleitstoffe als chemische Reinstoffe auf. Demensprechend müssen abfallgespeiste Stoffumwandlungsprozesse (a) in der Lage sein, einen stabilen Betrieb auch bei Vorhandensein unerwünschter Produktreste des Einsatzstoffes zu gewährleisten und (b) eine hohe Selektivität gegenüber den rückzugewinnenden Stoffen besitzen. Letzteres ist erforderlich um Nebenreaktionen weitestgehend zu vermeiden und ein möglichst reines Produkt zu gewährleisten. Kunden werden daher Anlagen fordern, welche über eine ausgesprochene Betriebsrobustheit sowie Stoffselektivität verfügen – zwei Attribute, welche aus thermodynamischer und reaktionstechnischer Sicht ein starkes Widerspruchspotential beherbergen. Darüber hinaus ist für den Kunden (c) ein möglichst variabler Prozessbetrieb vorteilhaft: Durch eine Anpassung der Prozessparameter kann der Betrieb an die Zusammensetzung der jeweiligen Einsatzstoffe angepasst werden. Damit wird sowohl der Betriebsstabilität als auch der Produktreinheit entgegengekommen. Einen dazu parallelen Ansatz stellt das Zumischen von Reinstoffen zum jeweiligen Eingangsstrom auf Basis dessen Zusammensetzung dar.

Auch abseits der Recyclingbranche werden Anlagenbetreiber eine Anpassung des Verfahrensdesigns fordern. Durch die Steigerung des Marktwertes von Abfallströmen wird sowohl (a) die Schließung von produktionsinternen Kreisläufen sowie (b) die Optimierung von Abfallströmen hinsichtlich der Speziesreinheit zur Weitervermarktung wirtschaftlich sinnvoller werden. Ebenso wird die erleichterte Recycling-Fähigkeit von Stoffen in fertigungsnahen Bereichen, wie oben erwähnt, eine verstärkte Rolle spielen: Zur Umsetzung dieses Gedankens sind Anpassungen des Anlagendesigns, z.B. zur Umsetzung des dafür optimierten Produktdesigns oder zur frühestmöglichen Entfernung von beim Recycling unerwünschten Begleitstoffen, notwendig.

Entwicklung 30: Kohlendioxid wird teuer werden

Steigende CO₂-Kosten werden für Anlagenbetreiber und Anlagenhersteller verschiedenste Folgen haben. Anlagenbetreiber werden sich dadurch vor allem einem verschärften Wettbewerb gegenübersehen, während Anlagenhersteller auf die sich verändernden Forderungen ihrer Kunden einstellen müssen.

Erhöhte Preise von CO₂ als industrielles Neben- oder Abfallprodukt werden institutionell getrieben sein. Sowohl national als auch übernationale Vereinbarungen stellen im wesentlichen Klimaschutzmaßnahmen, wie sie in Entwicklung 16 diskutiert werden, dar. Für Anlagenbetreiber werden diese Maßnahmen in erster Linie einen finanziellen Aufwand bedeuten, welcher den Gewinn schmälert: Sowohl Sanktionsabgaben als auch apparative Kohlendioxid-Abtrennungsverfahren sowie -Speicherungs- oder Weiterverarbeitungsverfahren erfordern den Einsatz finanzieller Mittel. Da davon ausgegangen werden kann, dass eine CO₂-Besteuerung nicht global zum selben Zeitpunkt und im selben Ausmaß wirksam wird, können diese zusätzlich anfallenden Kosten nicht einfach durch eine branchenumfassende Produktpreiserhöhung auf den Endverbraucher abgewälzt werden. Im Gegenteil: Betroffene Unternehmen werden sich einem verschärften Konkurrenzdruck ausgesetzt sehen, Mitbewerber in Regionen ohne derartige Bestimmungen werden einen Wettbewerbsvorteil haben. Betreiber CO₂-intensiver Anlagen werden gezwungen sein, einen Ausweg aus dieser Misere zu finden.

Für Anlagenhersteller bedeutet dies, dass ihre Kunden auch seitens Neuanlagen oder im Zuge von Anlagenanierungen verringerte CO₂-Werte fordern. Damit werden geringe CO₂-Werte zu einem konkreten Kundenbedürfnis. Somit wandert (a) ein ressourcen- und energieeffizientes Anlagendesign verstärkt in den Kundenfokus. Ebenso wird sich (b) das Anlagendesign insofern ändern, als dass sich der Betriebspunkt mit maximaler Anlagenrentabilität durch erhöhte CO₂-Kosten in Richtung niedriger Produktionsmenge verschieben wird. Darüber hinaus stellt sich bei ausreichend hohen CO₂-Zusatzkosten (c) die Frage, ob bisherige Verfahrensprinzipien überhaupt ausreichendes Optimierungspotential bieten. Unter Umständen erfordern die veränderten Kundenbedürfnisse die Verwendung alternativer, CO₂-ärmerer Prozesstechnologien.

Entwicklung 33: Das Wachstum der chemischen Industrie wird sich reduzieren

Ein sinkendes relatives Wirtschaftswachstum der chemischen Industrie bedeutet eine reduzierte Auftragslage für Hersteller verfahrenstechnischer Anlagen, da chemische Prozesse im industriellen Maßstab einem Klassiker der Prozesstechnik entsprechen.

Sinkende Auftragszahlen der chemischen Industrie werden Anlagenlieferanten daher einem verstärkten Konkurrenzdruck aussetzen: Durch ein übermäßiges Angebot an Anlagenlieferanten werden sich deren Kunden stärker einem Verkäufermarkt gegenübersehen. Für Anlagenbauer werden sich dadurch zwei wesentliche Konsequenzen einstellen:

- (i) In Summe wird es für Unternehmen schwieriger werden, Aufträge zum Bau chemischer Anlagen zu erhalten. Darunter werden vor allem jene Unternehmen leiden, welche über (a) ein schwaches Image aus Sicht der chemischen Branche sowie eine schwache Kundenbindung verfügen, oder (b) geringe Alleinstellungsmerkmale oder Spezialisierungen aufweisen. Auch

jene Unternehmen werden betroffen sein, welche über eine (c) unzureichende preisliche Konkurrenzfähigkeit, z.B. aufgrund von geringer Mitarbeiterproduktivität oder aufwändigen innerbetrieblichen Prozessen, verfügen. Solche Unternehmen werden es schwieriger haben, im Stadium des Verkaufes Schritt halten zu können.

- (ii) Die Anlagenqualität wird stärker in den Fokus rücken. Um Aufträge zu erhalten, werden Anlagenbauer vermehrt vertragliche Sonderleistungen und Kostenübernahmen zu Gunsten des Kunden hinnehmen. Anlagenbauer, welche günstige Anlagen mit minderer Qualität bereitstellen, werden stärkere Probleme mit der Anlagenabnahme und Nachbesserungsarbeiten auf Basis von Garantieleistungen haben. Die Wirtschaftlichkeit eines Anlagenverkaufs wird sich also nicht mehr nur über die beim Verkauf der Anlage erzielbaren Marge definieren. Nachträgliche Korrekturen und für den Kunden kostenfreie, vertraglich vereinbarte Serviceleistungen werden zu einem größeren finanziellen Stolperstein werden, als sie es heute bereits sind.

Darüber hinaus werden diese oben genannten Umstände, sowie der sich daraus ergebende verschärfte Wettbewerb zu weiteren, durch Vertreter des Anlagenbaues selbst induzierten, Verschärfungen führen: Zum einen werden (a) Anlagenbauer aufgrund der wirtschaftlich harten Zeiten versuchen, sich über ihre Kernkompetenz, der Forschung und Entwicklung neuer Prozesse, hervorzuheben. Dadurch wird ein wesentlicher finanzieller Aufwand entstehen, ohne dass die absoluten Absatzzahlen der Branche steigen. Viele Unternehmen sehen sich damit einem stärkeren finanziellen Druck ausgesetzt. Zum anderen ist (b) davon auszugehen, dass Anlagenbauer auf der Suche nach neuen Geschäftsfeldern vermehrt dem Service-Trend folgen und als Dienstleister für Anlagenwartungen auftreten werden. Entfällt diese, üblicherweise im Rahmen der Anlagenbereitstellung enthaltene Aufgabe, wird das Geschäft des klassischen Anlagenbauers weiterhin geschmälert.

Wie im Verlauf dieses Kapitels dargestellt, können die behandelten Themen vielfältige Auswirkungen auf die Verfahrens- und Prozesstechnik haben. Der von den betrachteten zukünftigen relevanten Innovationstreibern ausgehende Zwang zur Veränderung ist stark von der Ausrichtung eines Unternehmens der Branche, sowie dessen Einbettung in das Wettbewerbsumfeld abhängig. Um mögliche, sich aus den behandelten zukünftigen relevanten Innovationstreibern ergebende Geschäftsumfelder von Unternehmen der Branche zu betrachten, werden im anschließenden Kapitel 11 Szenarien generiert. Mithilfe dieser können zum einen beispielhafte zukünftige Umgebungsbedingungen der Verfahrens- und Prozesstechnik skizziert werden. Zum anderen ist es anschließend möglich, auf Basis dieser Szenarien potentielle oder wahrscheinliche Veränderungen und Anpassungen der Branche selbst zu diskutieren.

11 SZENARIEN

In diesem Kapitel werden verschiedene Szenarien auf Basis der identifizierten relevanten zukünftigen Innovationstreiber für die Verfahrenstechnik entwickelt. Diese Zukunftsbilder sollen mögliche Erscheinungsformen und Charakteristika der herangezogenen Ausprägungen darstellen. Die Szenarien betonen einzelne relevante Entwicklungen und veranschaulichen sich daraus ergebende Gesellschaftsbilder. Aufbauend auf diesen werden im Anschluss mögliche Charakteristika und Ausprägungen einer den jeweiligen Szenarien angepassten Verfahrens- und Prozesstechnik dargestellt.

Die Erarbeitung und Detaillierung erfolgt im Zuge der beiden Workshops „Szenarien“ sowie „Entwicklung der Verfahrenstechnik in den Szenarien“. Das jeweilige Workshop-Setting ist im Anhang zu finden.

11.1 Konsistenzmatrix erarbeiten

Die Basis bildet die Bewertung einer Konsistenzmatrix. Dabei werden die Workshopteilnehmer erstmals mit den auszuarbeitenden Themen konfrontiert. Die Befüllung der Matrix hat daher zwei Ziele: Zum einen die Meinungsbildung der einzelnen Personen durch die Diskussion in der Gruppe, und zum anderen die Generierung von Konsistenzwerten der verschiedenen Ausprägungspaare. Diese Konsistenzwerte stellen die Grundlage zur Erarbeitung und Diskussion der Zukunftsszenarien dar. Sie werden einstimmig durch die Gruppe verliehen und spiegeln ihre Meinung über die vorherrschenden Zusammenhänge wider:

Eine Bewertung von +3 bedeutet, dass die betrachteten Zusammenhänge gut zusammenpassen und sich gegenseitig ergänzen, -3 hingegen, dass sich die Ausprägungen voneinander abstoßen oder nicht miteinander auftreten können. Ein Wert von 0 wird zugeschrieben, wenn die Gruppe keinen Zusammenhang der Ausprägungen erkennt. Das Heranziehen von dazwischenliegenden Werten ermöglicht den Workshopteilnehmern eine weitere Ausdifferenzierung der Ausprägungsbeziehungen. Das Ergebnis dieser Bewertung ist in Tabelle 9 dargestellt.

Aus dieser ist ersichtlich, dass vor allem Entwicklung 11 in starker Wechselwirkung zum Großteil der übrigen Entwicklungen steht. Hingegen zeigen Entwicklung 3 sowie Entwicklung 33 eher geringe Abhängigkeiten zum Rest. Darüber hinaus ist Entwicklung 16 die einzige, die keine Unverträglichkeit mit anderen Entwicklungen aufweist. Die anschließende Bildung der in diesem Kapitel vorgestellten Szenarien geschieht über Zusammenhänge, die den Workshopteilnehmern aus der Konsistenzmatrix ersichtlich sind.

Nr.		2	3	11	12	16	18	21	30	33
		China wird wirtschaftlich die vorherrschende Weltmacht	Der Markt wird sich in Zukunft schneller verändern	Nachhaltigkeit wird zur allgemeinen Lebenseinstellung	Erdöl und Kohle werden in Zukunft "out" sein	Der Staat wird Klimaschutz verstärkt durchsetzen	Mobilität wird weiterhin zunehmen	Die Recyclingbranche wird aufblühen	Kohlendioxid wird teuer werden	Das Wachstum der chemischen Industrie wird sich reduzieren
2	China wird wirtschaftlich die vorherrschende Weltmacht	-	1	-2	0	2	3	2	-1	-2
3	Der Markt wird sich in Zukunft schneller verändern	-	-	-2	0	1	1	3	0	-2
11	Nachhaltigkeit wird zur allgemeinen Lebenseinstellung	-	-	-	3	2	-2	2	3	0
12	Erdöl und Kohle werden in Zukunft "out" sein	-	-	-	-	3	-1	0	2	1
16	Der Staat wird Klimaschutz verstärkt durchsetzen	-	-	-	-	-	0	1	3	1
18	Mobilität wird weiterhin zunehmen	-	-	-	-	-	-	0	0	-1
21	Die Recyclingbranche wird aufblühen	-	-	-	-	-	-	-	0	-2
30	Kohlendioxid wird teuer werden	-	-	-	-	-	-	-	-	0
33	Das Wachstum der chemischen Industrie wird sich reduzieren	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 9: Bewertung der Konsistenzmatrix durch die Workshopteilnehmer. Quelle: Eigene Darstellung.

11.2 Szenarien generieren

Die Bildung der Szenarien geschieht in der Gruppe der Teilnehmer des Workshops „Szenarien“ auf Basis der Diskussion zur Konsistenzmatrix sowie der dabei gefundenen Konsistenzwerte. In Form eines Brainstormings bringen die Workshopteilnehmer ihrer Meinung nach wichtige oder mögliche Zusammenhänge vor. Die Sammlung dieser von den einzelnen Personen abgegebenen Statements wird anschließend von der Gruppe in stimmige Kategorien zusammengefasst. Aus den sechs sich daraus ergebenden Clustern werden vier Szenarien herauskristallisiert. Diese vier Szenarien werden anschließend in der Gruppe durchdiskutiert und durch die Workshopteilnehmer ausdetailliert.

Aufbauend auf den Szenarien wird die jeweilige Verfahrens- und Prozesstechnik in diesen Zukunftsbildern betrachtet. Dazu wird der ergänzende Workshop „Entwicklung der Verfahrenstechnik in den Szenarien“

durchgeführt. In diesem wird erarbeitet, welche Auswirkungen die einzelnen Szenarien auf die Verfahrenstechnik hat und wie sich die Verfahrenstechnik in den einzelnen Szenarien entwickeln würde. In den anschließenden Kapiteln 11.2.1 bis 11.2.4 finden sich einerseits die Beschreibungen der vier erarbeiteten, den gesellschaftlichen Standpunkt festhaltenden Szenarien, sowie andererseits die Darstellung einer daran angepassten Verfahrens- und Prozesstechnik.

11.2.1 Szenario 1: Politik bewirkt gesellschaftliche Bewusstseinsbildung

In diesem Szenario erachtet die Gesellschaft es als notwendig, aktiven Umweltschutz zu betreiben. Die Menschheit hat erkannt, dass ein ökologisch und gesellschaftlich verantwortungsvolles Handeln notwendig ist, um den Planeten Erde für folgende Generationen zu erhalten.

11.2.1.1 Szenarienbeschreibung

Der Nachhaltigkeitsgedanke ist ein gestaltendes Element der Gesellschaft. Die Bevölkerung hat erkannt, dass Nachhaltigkeit eine ethische und gesellschaftliche Verpflichtung ist. Sie sieht es als Notwendigkeit an, eine transparente Gestaltung und Aufklärung zur Formung eines zukunftsfähigen Gesellschaftssystems zu betreiben. Diese gesellschaftliche Einstellung beflügelt politische Parteien, welche für ökologisch tragfähiges Handeln plädieren. Damit steigt deren politische Macht, um vermehrt gesetzliche Regulierungen zu Zwecken der Umweltverträglichkeit umzusetzen. Die verbreiteten politischen Botschaften fördern die gesellschaftliche Bewusstseinsbildung zum Thema Nachhaltigkeit.

Ein wesentliches Mittel zum Festhalten der Nachhaltigkeit ist die Einführung eines Kennzahlensystems, mit dem der Käufer eines Produktes selbst entscheiden kann, ob dieses für ihn ausreichend umweltverträglich ist oder nicht. Eine Folge davon ist, dass bestimmte Produkte auf diese Weise vom Markt verdrängt werden, ohne dass gesetzliche Reglementierungen diese konkret verbieten. Die Kunden wollen das Produkt schlichtweg nicht mehr kaufen. Ebenso ist für Unternehmen eine Bewertung der Umweltverträglichkeit ihres Wirtschaftens üblich. Durch die Veröffentlichungspflicht ihrer Kennzahlen stehen sie damit der kritischen Beurteilung der Gesellschaft gegenüber. Auf diese Weise erfahren augenscheinlich nicht ausreichend ökologisch wirtschaftende Unternehmen oder Branchen massive gesellschaftliche Imageeinbußen.

Ein weiteres politisches Mittel stellt das über die sozialen Medien verbreitete Angstdenken dar. Der Bevölkerung wird vor Augen geführt, dass nachhaltiges Handeln absolut notwendig zum Fortbestand der Menschheit ist. Wer nicht umweltverträglich lebt, gefährdet seine eigene, sowie die Zukunft seiner Kinder massiv.

Damit ist es der Politik möglich, nicht nur die zum Großteil an der Ausbildung des Nachhaltigkeitsdenkens beteiligten Akademikerschichten zu erreichen, sondern alle Bildungsschichten gleichermaßen. Diese Indoktrination prägt die mit ihr aufwachsende Generation stark.

Eine Folge dieses Angstdenkens ist, dass der Güterstrom aus Asien eingedämmt wird. Die nicht ausreichend nachhaltige Produktion im Großraum China bewirkt, dass chinesische Produkte von der Bevölkerung allgemein als schlechter bewertet werden.

Ein politisches Importverbot von nicht umweltverträglich hergestellten chinesischen Waren existiert nicht, allerdings ist durch das Kaufverhalten der Bevölkerung ein stark reduzierter Produktimport aus Asien gegeben. Die Menschen kaufen daher verstärkt Produkte aus Europa, von denen sie wissen, dass sie ausreichend nachhaltig produziert sind. Dies hat zu einer Stärkung des europäischen Wirtschaftsraumes geführt, welcher sich von Asien aufgrund der ökologischen Einstellung seiner Bevölkerung distanziert. Um unter keiner Energie- und Ressourcenknappheit zu leiden, hat Europa eine Allianz mit Russland gebildet. Damit ist eine weitestgehend wirtschaftliche Unabhängigkeit vom Großraum China möglich.

Diese Stärkung der regionalen, europäischen Wirtschaft führt zu einer erleichterten Umsetzung von gesetzlichen Regulierungen zu Zwecken der ökologischen und gesellschaftlichen Zukunftsfähigkeit. So ist die Einführung einer auf Europa begrenzten CO₂-Steuer leicht umsetzbar gewesen, da der innereuropäische Absatz von Produkten auswärtiger, nicht CO₂-besteuert, Unternehmen nur sehr gering ist. Dementsprechend ergeben sich für europäische Unternehmen keine Wettbewerbsnachteile, wenn sie Produkte in Europa verkaufen, da die Kostenerhöhung durch die CO₂-Besteuerung zum großen Teil direkt an den Endkunden weitergegeben werden kann. Darüber hinaus steht die Bevölkerung hinter der Einführung einer CO₂-Steuer, da es gesellschaftlich akzeptiert ist, nicht nachhaltiges Wirtschaften, sowie die daraus entstehenden Produkte, zu besteuern. Die CO₂-Steuer hat jedoch insofern nur beschränkte unternehmerische Beachtung, da die Kunden sowieso verstärkt ökologisch hergestellte Produkte kaufen. Dementsprechend verlieren in der Herstellung CO₂-intensive Produkte bereits durch die freiwillige Kundenentscheidung ihre breitenwirksame Absatzfähigkeit.

Der Nachhaltigkeitsgedanke in Bezug auf Müll und Deponiewirtschaft, steht dem Bedarf des Menschen nach Konsumgütern entgegen. Der Mensch ist es weiterhin gewohnt in einer Konsumgesellschaft zu leben, auch wenn er dies möglichst ökologisch und gesellschaftlich verantwortungsvoll tut. Einen veritablen Verzicht auf Luxus- und Konsumgüter kann er sich jedoch nicht vorstellen. Hinzu kommt, dass auf Deponien abgelagerter Müll die Bevölkerung nicht im selben Ausmaß betrifft wie z.B. die Klimaschädigung durch CO₂: Durch den Klimawandel ausgelöste Überschwemmungen, Dürren und Wetterextreme sind offensichtlich und betreffen jedermann, während von Deponiemüll ausgehende Gefahren, wie z.B. Grundwasserverseuchung, weniger breitenwirksam sind. Damit ist der Wille zur Umsetzung umweltverträglicher Verhaltensweisen in Bezug auf Konsumgüter beschränkt. Um ihm entgegenzukommen, stellen Recyclingverfahren für die Bevölkerung ein wesentliches Element zur Lösung dieses Konfliktes dar. Daher ist der Kunde einerseits bereit, für rezyklierte, sowie gut rezyklierbare Produkte mehr zu bezahlen. Andererseits zeigt die Bevölkerung eine hohe Bereitschaft, Haushaltsmüll möglichst sauber zu trennen, um ein effizientes und umweltschonendes Recycling zu gewährleisten.

Die Politik ihrerseits steht zwischen den Interessen der Wirtschaft und der Bevölkerung. Sie sieht sich vor allem einem starken gesellschaftlichen Druck ausgesetzt, den Bedürfnissen der Bevölkerung nach ökologischer Verantwortung nachzukommen.

Da der europäische Wirtschaftsraum nur verhältnismäßig wenig Güter aus anderen Wirtschaftsräumen importiert, ist das Export-/Import-Verhältnis groß, und sowohl Unternehmen als auch die Bevölkerung leben in Wohlstand. Der Einfluss von Unternehmen auf politische Entscheidungen ist im Vergleich zur Bevölkerung gering: Die Wirtschaft ist so stabil, dass sie gesetzliche Regulierungen zu Nachhaltigkeitszwecken tragen kann, ohne dass die konkrete Gefahr eines Zusammenbruches besteht.

11.2.1.2 Entwicklung der Verfahrenstechnik

Die in diese Gesellschaft eingebettete Verfahrenstechnik erfährt als Zwischenprodukthersteller den Zwang, ökologisch verträgliche Produkte herzustellen. Davon ist sowohl der Herstellungsprozess, als auch das Produkt selbst betroffen.

Um eine möglichst geringe CO₂-Gesamtbelastung der Produkte zu erreichen, wird bereits bei der Rohstoffauswahl auf eine ökologisch verträgliche Verfügbarkeit geachtet. Zum einen fordert die breite Masse der Anlagenbetreiber Verfahren, die auf umweltverträglichen Edukten basieren. Die Ära der fossilen Rohstoffe ist vorüber, neue Prozesse setzen auf biologische Einsatzstoffe. Damit ist eine Zunahme der Prozessstabilität notwendig, da die Qualität der biologischen Einsatzstoffe je nach Charge stärker schwankt, als die jener chemisch reiner Einsatzstoffe. Zum anderen wird versucht, die Transportwege möglichst kurz zu halten. Davon sind speziell jene Verfahren betroffen, deren Rohstoffe eine geringe volumetrische Energiedichte aufweisen. Daher sind vor allem Anlagen zur Aufbereitung von biologischen Grundmaterialien an einen infrastrukturell optimierten Standort gebunden. Demensprechend sind keine kleinen, dezentralen Anlagen dieser Art zu finden. Die wenigen Produktionsstätten verfügen hingegen über riesige Ausmaße, wie sie zu früheren Zeiten kaum vorstellbar gewesen wären.

Über die gesamte Branche der Verfahrens- und Prozesstechnik hinweg sind umfangreiche apparative Maßnahmen zur Energierückgewinnung ein Standard. So werden Prozesse beispielsweise ausgiebig hinsichtlich ihrer Wärmeverluste optimiert. Die Beurteilung, in wie weit solche Maßnahmen wirtschaftlich sind, ist deutlich schwieriger zu beurteilen, als es früher war: Heute ist die Wirtschaftlichkeit nicht mehr nur an die sich dadurch ergebende prozessinterne Energierückgewinnung gebunden. Zusätzlich spielen auch die Absatzfähigkeit und der erzielbare Preis durch die umweltverträglichere Herstellung der Produkte eine Rolle. Eine weitere, in der Industrie zu beobachtende Herangehensweise zur Reduktion der CO₂-Belastung ihrer Produkte ist die Integration von vor- und nachgelagerten Prozessschritten. Damit hat der Anlagenbetreiber eine verlängerte Wertschöpfungskette zur Verfügung. Somit kann er den Gesamtprozess bestmöglich auf Umweltverträglichkeit optimieren, ohne auf den Zustand von zu transportierenden Zwischenprodukten achten zu müssen. Eine sich daraus ergebende Problematik ist allerdings die Gefahr eines schwindenden Absatzes: Durch die gesteigerten Fixkosten der Anlageninvestition weisen solch umfangreiche Prozesse eine deutlich höhere Amortisationszeit, und damit ein höheres Investitionsrisiko, auf.

Bei der Konzeption neuer Prozesse ist ebenso eine veränderte Vorgehensweise zu beobachten: War früher der Fokus hauptsächlich auf das Endprodukt gerichtet, so verlagert sich dieser immer stärker in Richtung Rohstoff. Die Frage, was aus einem ökologisch nachhaltigen Rohstoff alles produziert werden kann, rückt aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten in den Vordergrund. Ebenso nimmt die Nachfrage an Verfahren zur Herstellung biologisch abbaubarer Produkte stetig zu.

11.2.2 Szenario 2: Regionale Bodenständigkeit

In diesem Szenario schließen sich die Menschen zu regionalen Gruppierungen zusammen und führen ein energieautarkes und weitestgehend unabhängiges Leben. Mit geringer werdendem Haushaltseinkommen ist die ehemalige Konsumgesellschaft vergangen. Werte wie Bodenständigkeit und Selbstversorgertum werden in der Gesellschaft hochgehalten.

11.2.2.1 Szenarienbeschreibung

Die Bevölkerung lebt in regional zusammengehörigen Gemeinschaften, die versuchen, weitestgehend unabhängig von ihrer Umgebung zu sein. Am Land steigt das Zugehörigkeitsgefühl zum lokalen Dorf oder der Gemeinde, in der Stadt bilden sich Viertel, in denen man stolz ist, dort zu leben.

Die Bildung solcher lokalen Zusammenschlüsse ist die Folge mehrerer Faktoren. Ein wesentlicher Treiber dazu war jedoch die technologische Möglichkeit, sich energieautark zu machen. Zentrale Stromanbieter sind heute nur noch eine Randerscheinung. Strom und Wärme wird möglichst verbrauchsnahe in regionalen Mikronetzwerken oder Gemeindenetzen produziert. Der Großteil der Haushalte besitzt eine Solarkollektoren-Anlage zur Heißwasseraufbereitung sowie eine Photovoltaikanlage mit Puffersystemen zur Stromerzeugung. Um Netzstabilität zu gewährleisten und um in Ausnahmeweiten die Energiebereitstellung zu sichern, verfügen die lokalen Netzwerke der Gemeinden oder Stadtviertel über gemeinsam genutzte Blockheizkraftwerke, Biogasanlagen sowie Wasser- oder Windkraftanlagen. Die Bevölkerung ist froh, dass sie unabhängig von Stromimporten aus Europa, Erdgas aus Russland und Erdöl aus dem Nahen Osten ist. Das weltpolitische Geschehen verliert an Wichtigkeit, die Menschen schätzen ihre lokale Gemeinschaft und sind selbst Herr ihrer Energieversorgung.

Mit dieser technologischen Entwicklung hat auch das Motto „zurück zu den Wurzeln“ einen Aufschwung erfahren. Die Konzentration auf das Lokale und Heimelige lässt in vielen Bewohnern ein Bedürfnis nach körperlicher und handwerklicher Arbeit sprießen. Handwerksberufe sind in Mode, ein neuartiges Kleinbauernertum hat sich herausgebildet: Mit dem Bedürfnis nach Selbstversorgung, sowie regional und ökologisch angebaute Lebensmittel erfährt der Agrarbereich, vor allem im kleinen Maßstab, einen Aufschwung. Der nachhaltige Anbau regional verwendeter Lebensmittel profitiert von staatlichen Förderungen. Damit wird dem Bedürfnis der Bevölkerung nachgekommen, lokal und nachhaltig zu produzieren und zu wissen, woher die Produkte kommen.

Dieser Trend wird sowohl von Jüngeren als auch von Älteren getragen: Die Jungen identifizieren sich damit, weil es modern ist und sie nicht in einer derart umweltzerstörerischen und nicht nachhaltigen Welt leben wollen, wie es ihre Eltern taten. Für die ältere Generation ist es ein Ausweg aus dem Trott ihres früheren Lebens: Sie haben genug davon, ihr Leben auf die Erfüllung ihrer Karriereerwartungen auszurichten. Denn diese bestand in der Realität nicht aus heroischen Führungspositionen, sondern aus mentalem Stress und engstirnigen Arbeitstagen vor dem PC.

Darüber hinaus sind sich beide Generationen einig, dass die Zeiten des großen Wohlstandes vorüber sind. Die heutige in den Arbeitsprozess eingegliederten Generationen sind sich bewusst, dass sie nicht mehr an die Lebensqualität ihrer Eltern herankommen werden. Die Aussichten für ihre Kinder sind nicht besser, ganz im Gegenteil: Auch sie werden es nicht schaffen, sich den Wohlstand ihrer Eltern, in dem sie jetzt aufwachsen, aufzubauen. Deshalb ist es allen verständlich: Bodenständigkeit und lokale Verwurzelung schafft Zufriedenheit und Stabilität für die Region. Die Konsumgesellschaft von früher erscheint als unverständlich.

Doch die Aussichten dieser Zeit schweißen die Menschen zusammen. Sie bekennen sich zu ihrer Gemeinschaft und sind sich dessen bewusst, dass das Handeln jedes Individuums den Wohlstand und die Lebens-

qualität ihrer Region beeinflusst. Der Einzelne übernimmt Verantwortung für die Nachhaltigkeit seiner Gesellschaft. Damit entsteht der Ansporn, Energie und Ressourcen zu sparen, aus der Bevölkerung selbst. Dies führt dazu, dass die Gemeinschaften bestrebt sind, sich gegenüber anderen Gemeinschaften hinsichtlich ihres Nachhaltigkeitsverhaltens abzuheben. Wo die Lebensbedingungen am besten sind, ist dort, wo am wenigsten Müll produziert, am wenigsten Strom verbraucht wird und die Luftqualität am höchsten ist. Dieses Image ist für die Gemeinschaft wichtig, um Menschen zum Zuwandern zu bewegen und damit die Region zu stärken.

11.2.2.2 Entwicklung der Verfahrenstechnik

In der Industrie sehen sich Anlagenbetreiber massiven Absatzproblemen gegenüber. Aufgrund des verringerten Bedarfes an Konsumgütern ist die Prozesstechnik mit einem stark abnehmenden Absatzmarkt konfrontiert. Große Anlagen zur massenweisen Herstellung von verfahrenstechnischen Produkten gehören der Vergangenheit an. Die schwindende Nachfrage begünstigt vor allem kleine Anlagen und flexible Prozesse mit kurzen An- und Abfahrzeiten. Die Erfahrung hat gezeigt, dass diese geringeren Wirtschaftlichkeitsprobleme mit schwankenden Absatzzahlen haben, als größere Anlagen. Diese Entwicklung geht einher mit der heute üblichen Praxis, nur mehr geringe Mengen auf zu Lager produzieren. Damit werden finanzielle Außenstände verringert sowie die Gefahr eingedämmt, dass auf Lager liegende Produkte nicht mehr wirtschaftlich verkauft werden können.

Ebenso hat sich die Produktpalette von Anlagenbetreibern verkleinert. Die meisten heute erfolgreichen Unternehmen der Prozessindustrie haben sich auf wenige, am Markt nachgefragte Produkte spezialisiert. Ein Beispiel dafür ist die Düngemittelindustrie: Durch den Boom der Selbstversorgung und den damit einhergehenden Wegfall eines erheblichen Teiles der Bauern, ist der Bedarf an konventionellen Düngemitteln deutlich zurückgegangen. Die Folge war die überaus erfolgreiche Etablierung von biologischen Düngemittelpräparaten für den Selbstversorger.

Als eine erfolgreiche Nische hat sich die Wiederaufnahme von alten Prozessen herausgestellt. Die Rückkehr der Bevölkerung zu einer einfachen Lebensweise hat den Bedarf an einfachen, zu früheren Zeiten üblichen Produkten, ansteigen lassen. Diese Verfahren ermöglichen heute ein wirtschaftliches Herstellen von grundlegenden Gütern wie Bekleidung und Mobiliar, für das Leben des einfachen Mannes.

11.2.3 Szenario 3: Wirtschaftswachstum und graue Realität

In diesem Szenario fordert die Menschheit ein starkes Wirtschaftswachstum, um ihrem Bedarf nach Konsum- und Luxusgütern nachkommen zu können. Ob die Produzenten dabei ökologisch nachhaltig handeln, ist von keinem Interesse. Der Bevölkerung ist vor allem der Erhalt ihres Lebensstandards sowie ihrer gewohnten Bequemlichkeit wichtig.

11.2.3.1 Szenarienbeschreibung

Der Großteil der Gesellschaft hegt keinen nennenswerten Nachhaltigkeitsgedanken. CO₂-Steuern und Sanktionen aufgrund von Umweltverschmutzung sind nur schwach ausgeprägt, daher werden sie von Unternehmen weitestgehend ignoriert.

Themen wie Umweltverschmutzung und Klimawandel erfahren nur eine geringe mediale Aufmerksamkeit. Daher hat die Gesellschaft nur wenig Bezug zum Thema Nachhaltigkeit. Forderungen nach politischen Entscheidungen zu nachhaltigem Wirtschaften sind kaum vorhanden. Die Bevölkerung setzt sich mit dem Thema nur nebenbei auseinander. Dies hat auch damit zu tun, dass der Einzelne bis jetzt vom Klimawandel nicht relevant betroffen ist. Die Situation ist noch nicht so schlimm, als dass es einer Änderung des momentanen Zustandes bedarf. Die Folge davon ist, dass weiterhin mit alten Technologien produziert und mit bestehenden Strukturen gearbeitet wird. Eine Veränderung ist aus gesellschaftlicher Sicht nicht notwendig. Darüber hinaus weist die Mehrheit der Gesellschaft eine besonders verhärtete Einstellung auf: So wie alles bis jetzt gemacht wurde, so soll es auch weitergehen geschehen. In der Bevölkerung besteht keine Offenheit für neue, nachhaltige Ideen und Ansätze. Dies hängt stark damit zusammen, dass die Menschen ihre bisherige Lebensqualität nicht reduzieren wollen: Zum einen erfordern nachhaltige Lösungen eine Abwendung von alten Gewohnheiten. Dieser Umstand hindert das Vorankommen des Nachhaltigkeitsgedankens massiv. Denn wenn nachhaltige Lösungen nicht den altbekannten, gewohnten Standard an Bequemlichkeit liefern, werden diese von der Gesellschaft nicht akzeptiert und verschwinden damit wieder vom Markt. Zum anderen existiert eine Konsumgesellschaft, welche nicht bereit ist, für nachhaltig produzierte Waren mehr zu bezahlen, als für konventionell hergestellte Produkte. Nur wenn nachhaltige Güter bei gleichem Preis mindestens die selbe Qualität aufweisen, werden sie konventionellen Produkten gegenüber vorgezogen. Dies ist auch die Ursache dafür, dass die Umstellung auf nachhaltige Technologien in ehemaligen Schwellen- und Entwicklungsländern einfacher und schneller vonstatten ging, als in entwickelten Ländern: Je niedriger der regionale Lebensstandard und der Grad der Bequemlichkeit, desto eher nahm die Bevölkerung alternative Technologien an.

Diese widerwillige Einstellung des Konsumenten zur Nachhaltigkeit prägt damit auch die Prinzipien der Industrie: Nachhaltige Produkte werden vom Kunden nicht oder nur begrenzt angenommen. Daher produzieren Unternehmen mit möglichst wirtschaftlichen Technologien und günstigen Rohstoffen. Ein Fokus auf nachhaltige Produktion ist durch eine damit verbundene geringere Marge existenzgefährdend. Ebenso ist keine Bereitschaft vorhanden, für zugekaufte Halbzeuge oder Rohstoffe mehr zu bezahlen, wenn der Hersteller diese mit nachhaltigen Technologien produziert. Damit handelt die Industrie nur so nachhaltig, wie es ihr im Rahmen von gesetzlichen Regulierungen vorgeschrieben wird. Optimierungen von Wasserverbrauch oder Schadstoffemissionen sind aufgezwungene Vorschriften, aber Umweltschutz und gesellschaftliche Verantwortung ist kein Bestandteil der Unternehmensphilosophie. Erdöl und Kohle sind in ausreichendem Umfang vorhanden und es ist absehbar, dass sich daran in nächster Zeit nichts ändern wird. Damit besteht keine Notwendigkeit, über alternative Technologien nachzudenken. Erdöl und Kohle werden als Energielieferanten genutzt, weil sie die billigste und damit wirtschaftlichste Energiequelle darstellen.

Die sich daraus ergebenden Probleme, wie schadstoffbeladene Abluft und Smogbelastung in Ballungszentren, löst die Gesellschaft auf einfache Art und Weise: Industriestandorte werden zukünftig nur mehr abseits von Großstädten errichtet, sodass sie keine Gefahr für die Lebensqualität der Stadtbewohner darstellen.

Abluftgrenzwerte und -sanktionen sind für Produktionsstätten in Stadtnähe schärfer, als abseits der Ballungszentren. Diese Industriezentren sind mit dem Stadtgebiet mit ausgezeichneter Infrastruktur verbunden: Neben Autobahnen und Schnellstraßen wird vermehrt auf öffentliche Verkehrsmittel gesetzt, da die transportierten Menschenmassen ein wirtschaftliches Betreiben sinnvoll machen.

Ein Umschwenken auf eine nachhaltigere Gesellschaft ist aktuell nicht im Gange. Allerdings ist der Großteil der Bevölkerung der Ansicht, dass sich dies in Zukunft ändern wird: Auf Universitäten und Forschungseinrichtungen wird umfangreiche Grundlagen- und angewandte Forschung betrieben, um nachhaltige Technologien marktfähig zu machen. Eine konkrete Ablösung alter Technologien ist dennoch nicht in Sicht. Zu dieser wird es erst dann kommen, wenn nachhaltige Ideen sowohl wirtschaftlich als auch hinsichtlich der technischen Zuverlässigkeit mit konventionellen Technologien gleichwertig sind. Zur Zeit ist dies aber noch nicht der Fall.

11.2.3.2 Entwicklung der Verfahrenstechnik

Die Prozesstechnik arbeitet hauptsächlich mit altbewährten Verfahren, große Weiterentwicklungen gibt es in der Branche kaum. Anlagenbetreiber arbeiten nach den Prinzipien der maximalen Wirtschaftlichkeit. Daher werden nur solche Prozessoptimierungen umgesetzt, welche der Produktion einen klaren wirtschaftlichen Vorteil erbringen. Ein häufig vorkommendes Beispiel dafür ist die Optimierung von Abfallströmen: Es wird weitestgehend versucht, diese reiner aufzubereiten, um einen höheren Absatzpreis des Nebenproduktes zu erreichen. Vor allem die Aussicht auf einen neuen Absatzmarkt ist ein Treiber für Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen in der Prozessoptimierung.

Anlagenbetreiber fordern von Anlagenbauern Prozesse mit möglichst kurzer Amortisationszeit. Die durch den Preiskampf verursachte, fallende Lebenszeit der Anlagen hat erhöhten Wartungsaufwand des Anlagenbetreibers zur Folge. Dieser versucht, den Prozess mit kostengünstigen Reparaturen möglichst lange am Laufen zu erhalten, um die Anlagenauslastung, und somit den erwirtschafteten Gewinn zu maximieren. Der stetig steigende Konsum der Gesellschaft sowie das Fehlen gesetzlicher Regulierungen zu Nachhaltigkeitszwecken hat zu einer starken Zunahme der Anlagengröße geführt: Es wird versucht, dem Konsumbedarf der Menschheit mit allen für den Anlagenbetreiber wirtschaftlich sinnvollen Mitteln nachzukommen. Die Prozesstechnik in der Recyclingbranche hat einen Aufschwung erfahren. Aufgrund des übermäßigen gesellschaftlichen Konsums an elektronischen Endgeräten besteht eine akute Knappheit an spezifischen Metallen. Die zur Neige gehenden geologischen Quellen machen ein Aufarbeiten alter Elektronikprodukte zur Rückgewinnung spezieller Metalle wirtschaftlich.

In der Neuentwicklung von Verfahren steht, wie überall in der Branche, die Wirtschaftlichkeit an vorderster Stelle. Es werden nur jene Verfahren erforscht und umgesetzt, welche einen ausreichenden monetären Profit versprechen. Die Folge davon ist, dass angewandte Grundlagenforschung in der Industrie quasi nicht vorhanden ist. Ausnahme bilden potentielle Absatzmärkte mit vielversprechendem Marktvolumen. Ein wichtiger Teil der industriellen Forschung wird von wohlhabenden Idealisten mit Visionen einer besseren Zukunft finanziert. Dies führt zur zunehmenden Privatisierung und Geheimhaltung von Forschungen zu isolierten Ideen. Ehemalige Ansätze von open-Innovation-Modellen sind damit aus der Branche zur Gänze verschwunden. Im Gegenzug dazu ist die Technologieabsicherung zu einem Schwerpunkt des Innovations- und Technologiemanagements geworden.

11.2.4 Szenario 4: Nachhaltige Konsumgesellschaft

In diesem Szenario versucht die Gesellschaft, ihren Konsumdrang mit einem nachhaltigen Recyclingsystem in Einklang zu bringen. Daher ist der Konsument auch bereit, einen höheren Preis für ökologische und recyclingfähige Produkte zu bezahlen. Die Industrie bedient sich moderner Technologien, um ihre Arbeitsabläufe möglichst nachhaltig zu gestalten.

11.2.4.1 Szenarienbeschreibung

Als Triebkraft der Wirtschaft ist vor allem der Konsumdrang der Gesellschaft zu sehen. Zunehmende Vernetzung und Digitalisierung führen dazu, dass sich die Konsummärkte schnell verändern. Die Gesellschaft legt trotz ihres übermäßigen Konsums Wert auf Nachhaltigkeit. Parallel dazu sind staatliche Regierungen ein Treiber zur Durchsetzung von gesetzlichen Vorschriften zu Nachhaltigkeitszwecken. Die Reinigung belasteter Abluft ist Standard. Anlagen, die CO₂ großindustriell aus Abluft extrahieren, gewinnen stetig an Wirtschaftlichkeit. Ursache dafür sind CO₂-Steuern, die vor allem Unternehmen energieintensiver Branchen einer erheblichen Sanktionslast aussetzen.

Die Bevölkerung bekennt sich zur Notwendigkeit, nachhaltig zu wirtschaften. Um ihren Konsumdrang mit dieser Einstellung in Einklang zu bringen, spielt Recycling eine wichtige gesellschaftliche Rolle. Mülldeponien gelten als Schandflecke, da sie dem Bild einer grünen und umweltfreundlichen Gesellschaft widersprechen. Daher werden sowohl gesellschaftliche, als auch industrielle Stoffkreisläufe so weit wie möglich geschlossen. Dies geschieht nicht nur so weit, wie es wirtschaftlich sinnvoll ist; der Grad der Wiederverwendung wird hauptsächlich durch die ökologische Sinnhaftigkeit der notwendigen Energiemenge begrenzt. Da Recycling die Grundlage dieser nachhaltigen Konsumgesellschaft darstellt, werden Altstoffe als Wertstoffe betrachtet. Jedes Gemeinschaftsmitglied ist sich dessen bewusst, daher funktioniert die vollständige Auftrennung des anfallenden Hausmülls einwandfrei: Jeder erkennt die Notwendigkeit und ist vertraut mit der Trennung seines Mülls in die vielen verschiedenen Klassen. Ebenso ist ein ordnungsgemäßes Entsorgen von alten oder defekten Elektronikwaren selbstverständlich. Ein intelligentes Produktdesign ermöglicht es dem Endnutzer, das Gerät manuell in seine verhältnismäßig sortenreinen Hauptbestandteile zu zerlegen und somit korrekt zu trennen. Aufgrund dieser Tatsache wird Hausmüll als Wertstoff gehandelt: Unternehmen kaufen den getrennten Müll aus der Bevölkerung zu und verkaufen diesen weiter. So war es möglich, dass die Recyclingindustrie zu einem wirtschaftlich tragfähigen Standbein der Gesellschaft wurde.

Die Bereitschaft der Konsumenten ist vorhanden, für leicht oder besonders gut recyclebare Produkte mehr zu bezahlen. Dementsprechend kommt die Industrie diesem Wunsch nach und setzt auf Verfahren, mit denen Konsumgüter erzeugt werden können, die bis zu einem hohen Grad mit geringem Energieverbrauch rezykliert werden können.

Ebenso ist die Gesellschaft der Auffassung, dass industrielle Nachhaltigkeit sich nicht nur auf ihre Produkte beschränken sollte. So wird Nachhaltigkeit auch im Zuge industrieller Arbeitsprozesse gefordert. Unternehmen sehen dieser Forderung positiv entgegen, da sie für sich erkannt haben, dass ökologisch nachhaltiges Handeln in der Regel auch ökonomische Vorteile mit sich bringt. So fließen in die Planung von Produktionszahlen nicht nur harte wirtschaftliche Fakten mit ein, sondern auch ökologische Interessen: Es wird so produziert, dass alle Güter sicher verkauft, und damit die Lageraufwendungen niedrig gehalten werden

können. Lagerflächen zur Bereitstellung von Ersatzteilen existieren kaum mehr. Flexible Fertigungsverfahren, allgemein als 3D-Druck bekannt, ermöglichen die kostengünstige, umweltschonende und schnelle Produktion von Einzelteilen.

Im Rahmen der Lagerhaltung ist eine Just-In-Time-Produktion zu einem industriellen Standard, vor allem in der Konsumgüterindustrie, geworden. Bei der Herstellung von Halbzeugen oder Basismaterialien bzw. -chemikalien davorliegender Industrien hat sich diese Praktik nur begrenzt durchgesetzt, da hier eine geringere ökologische Sinnhaftigkeit vorliegt.

Ein für die Industrie wichtiges Hilfsmittel zur Umsetzung von ökologischeren Prozessen war der Durchbruch der Industrie 4.0: Mithilfe von intelligenten und vernetzten Computersystemen wurde es möglich, Daten zur ökonomischen und ökologischen Optimierung von Arbeitsabläufen zu gewinnen und diese in die Realität umzusetzen.

11.2.4.2 Entwicklung der Verfahrenstechnik

Die Verfahrenstechnik sieht sich vor allem mit steigenden finanziellen Belastungen aufgrund von CO₂-Ausstoß und der Deponierung von unverwertbaren Reststoffen konfrontiert. Daher werden Prozesse derart optimiert, dass im Laufe der Produktion möglichst wenig feste, flüssige oder gasförmige Schadstoffe entstehen. Dazu wird auch zu ökonomisch begrenzt sinnvollen Maßnahmen gegriffen, z.B. der Aufwertung von deponiefähigen Stoffen hin zu minderwertigen Einsatzstoffen anderer Verfahren. Den Maßstab zur Bewertung von Nachhaltigkeit stellt der gesamte Lebenszyklus eines Produktes, samt vor- und nachgelagerten Produktions- und Wiederverwertungsprozessen, dar.

Unternehmen der Prozesstechnik-Branche nehmen es wahr, dass der Kunde bereit ist, für ein leicht rezyklierbares oder ein bereits rezykliertes Produkt mehr zu bezahlen. Dieser Umstand fließt zum einen in die Wirtschaftlichkeitsüberlegungen bei der Konzeption neuer Prozesse ein. Zum anderen ergibt sich damit eine zunehmende Interdisziplinarität von Verfahrens- und Fertigungstechnik: Die Erfahrung hat gezeigt, dass sich die überlappende Forschung zur Entwicklung von leicht rezyklierbaren Produkten wirtschaftlich bezahlt macht.

Das weitgehende Schließen von gesellschaftlichen Stoffkreisläufen führt zu einem stark zunehmenden Bedarf an Recyclingverfahren. Durch den Versuch, möglichst viele Altstoffe als Wertstoffe zu verwenden, haben Recyclingunternehmen jedoch mit einem erhöhten Anteil an stärker verschmutzten Einsatzstoffen zu kämpfen. Die Folge davon ist, dass sich große Recyclinganlagen zur einer groben Vorsortierung durchgesetzt haben. Daraus folgende Fraktionen werden in sehr spezifischen kleinen bis mittelgroßen Anlagen aufbereitet. Die Ursache für die geringe Einsatzkapazität dieser Prozesse liegt darin begründet, dass viele neue Verfahren zur Aufbereitung der verschiedensten Stoffe entwickelt worden sind, und sich am Markt etabliert haben.

Darüber hinaus hat vor allem bei Anlagenbetreibern eine neue Organisationabteilung Einzug gehalten. Quer durch die Branchen der Verfahrenstechnik ist die Abteilung „Nachhaltige Prozessoptimierung“ zu einem praktisch bewährten Standard geworden. Diese hat zur Aufgabe, das Unternehmen auf die aktuellen unternehmensexternen Herausforderungen technologisch vorzubereiten. So fällt in diesen Bereich beispielsweise die Flexibilisierung bestehender Anlagen, um Produktvariationen an die sich schnell ändernden

Marktbedürfnissen anzupassen. Andererseits ist aber auch die Prozessstabilisierung zum umfangreichen Einsatz von Altstoffen in bestehende Verfahren eine wesentliche Herausforderung dieser Abteilung.

11.3 Conclusio: Verhältnis von Verfahrenstechnik und Gesellschaft

Wie im vorausgegangenen Kapitel dargestellt, ist die Verfahrenstechnik wesentlich mit dem vorherrschenden gesellschaftspolitischen Zustand verknüpft. Obwohl sie kaum direkt vom Kunden konsumierte Güter herstellt, spielt die Prozesstechnik in der Fertigungslinie der meisten Produkte dennoch eine wesentliche Rolle. Als Hersteller von Basischemikalien, Halbzeugen und industriellen Grundstoffen sind ihre Absatzmärkte breit gestreut. Dementsprechend sind ihre Wachstumscharakteristika stark von der sie umgebenden Wirtschafts- und Gesellschaftsstruktur abhängig. Der Endkonsument muss einen Bedarf für Produkte aufweisen, welche im Rahmen ihrer Herstellung Stoffe aus verfahrenstechnischer Produktion bedürfen.

Ebenso ist die Entwicklung der Sparten der Verfahrenstechnik, sowie der ihnen eigenen Prozesstechnologien, vom wirtschaftlichen Umfeld abhängig. Es bestimmt, ob und in welchem Umfang Prozessoptimierungen vorgenommen werden und ob sich neue Verfahren durchsetzen oder nicht. Dabei sind Anlagenbetreiber dem Konsumgütermarkt näher als Anlagenbauer: Sie sehen sich nicht nur im prozesstechnischer Hinsicht mit Herausforderungen konfrontiert, sondern in erster Linie in Bezug auf die Absatzfähigkeit ihrer Produkte. Bei Anpassungen der Produktpalette ist die gesamte vorhandene Prozessinfrastruktur, und damit ein Großteil des Unternehmenswertes, betroffen. Anlagenbauer hingegen können auch durch für Anlagenbetreiber einhergehende Einschnitte profitieren. Solange die Branche über genügend Kapazität und ein ausreichendes Wachstum verfügt, ist ihnen ihr Wohlergehen gesichert.

Abschließend kann zusammengefasst werden, dass die Innovationskraft in der Verfahrenstechnik, sowie die daraus resultierende Technologie, wesentlich vom wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Umfeld abhängig ist. Der Erfolg von prozesstechnologischen Anpassungen und Neuentwicklungen ist damit stark vom Konsumverhalten der Bevölkerung geprägt.

12 ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit behandelt Treiber und Charakteristika von Innovationen in der Verfahrens- und Prozesstechnik. Zur Einführung in das Thema finden sich zu Beginn Abhandlungen zu ausgewählten Kapiteln und Methoden der Verfahrenstechnik und Innovationsforschung. Als Ergebnis des Theorieteils ergibt sich in Kapitel 7 ein Vorgehensmodell zur Identifikation von für die Verfahrenstechnik relevanten Innovationstreibern. Im Praxisteil dieser Arbeit werden diese anschließend anhand eines dreistufigen Filtermodelles erarbeitet. Den ersten Schritt dazu bildet eine Recherche über anthropogene Entwicklungen, mit welchen sich die Menschheit in Zukunft konfrontiert sieht. Eine anschließende PESTEL-Klassifizierung ermöglicht die Einordnung dieser Entwicklungen in die Umwelt von Unternehmen der Branche. Darauf aufbauend werden als unternehmensextern beurteilte Entwicklungen einer Analyse hinsichtlich der Veränderung ihres Ausprägungsgrades bis ins Jahr 2030 unterzogen. Diese ist einerseits als zweite Filterstufe, andererseits auch als Selektion für die anschließenden Experteninterviews zu verstehen. In diesen folgenden Interviews wird die Branchenrelevanz ausgewählter Entwicklungen für die Verfahrens- und Prozesstechnik anhand von Expertenbeurteilungen ermittelt. Als Ergebnis des Vorgehensmodells stehen 9 Entwicklungen, die als für die Verfahrenstechnik relevante zukünftige Innovationstreiber bezeichnet werden. Im Anschluss findet sich eine Hand in Hand gehende Diskussion über die Wirkung dieser Entwicklungen als Innovationstreiber und die Einteilung in verschiedene Innovationstreiberklassen. Den Abschluss bildet die Darstellung von vier Szenarien auf Basis der identifizierten relevanten Innovationstreiber. Szenario eins und Szenario vier beschreiben Gesellschaften, in denen der Nachhaltigkeitsgedanke eine wichtige öffentliche Geisteshaltung repräsentiert. Szenario zwei bildet regionale Gemeinschaften ab, die den Weg zur lokalen Bodenständigkeit gefunden haben und Szenario drei zeigt eine Gesellschaft voll Wirtschaftswachstum ohne Rücksicht auf die damit einhergehende Umweltverschmutzung. In diesen beschriebenen Zukunftsbildern wird anschließend speziell auf die Charakteristika einer szenarienspezifischen Verfahrens- und Prozesstechnik eingegangen. Dabei werden mögliche Entwicklung dieser Industrie aufgrund der sie umgebenden Gesellschaft umrissen.

In Bezug auf die in Kapitel 1 formulierten Zielsetzungen ist festzuhalten, dass diese in ausreichend erschöpfendem Ausmaß behandelt und erfüllt wurden. Zum einen konnten relevante Entwicklungen identifiziert und als Treiber von Veränderungen in der Branche aufgezeigt werden. Zum anderen wurden mögliche, relevante Wandlungen der Branche, sowie ihres Umfeldes, im Rahmen von Szenarien umfassend und plausibel erörtert. Damit konnte der gesamte Umfang der dieser Arbeit zugrundeliegenden Forschungsfrage angemessen beantwortet werden.

Auf Basis dieser Arbeit ist eine fortführende und vertiefende Auseinandersetzung mit dem Thema Innovationen in der Verfahrenstechnik möglich. Zum einen gibt sie einen Überblick über für die Verfahrenstechnik wichtigen Entwicklungen, welche im Sinne des Erhaltes der Wettbewerbsfähigkeit für Unternehmen der Branche von Relevanz, und damit im Auge zu behalten sind. Dabei ist festzuhalten, dass sich das im Theorieteil entwickelte Vorgehensmodell für fortführende Untersuchungen zu diesem Zwecke eignet. Zum anderen bietet sie richtungsweisende Ansätze für spezifische Sparten der Branche. Vor allem für Anlagenbauer und Engineering-Dienstleister werden im Rahmen dieser Arbeit zukunftssträchtige Konzeptgrundlagen präsentiert. Des Weiteren bildet sie eine Grundlage zum Verständnis von Innovationsmechanismen in der Verfahrenstechnik. Damit schafft sie einerseits eine Basis zur weiterführenden Erarbeitung der Wirkmechanismen von Innovationen in individuellen Sparten der Verfahrens- und Prozesstechnik. Andererseits bildet sie einen Ausgangspunkt für Überlegungen zum Aufbau eines spezifischen Innovationsmanagementsystems in der Verfahrenstechnik. Darauf aufbauend sind weiterführende Abwägungen zu inhärenten Maßnahmen wie Personalentwicklung, Technologiemanagement oder Marktanalysen möglich. In Summe stellt diese Arbeit damit einen elementaren Ansatz zur praktischen Bewertung von innovativen Lösungen in der Verfahrenstechnik dar.

LITERATURVERZEICHNIS

Gebundene Quellen:

- acatech (Hrsg.), 2012. *Technikzukünfte. Vorausdenken - Erstellen - Bewerten*, acatech IMPULS
- Baur, N. & Blasius, J., 2014. *Handbuch der Methoden der empirischen Sozialforschung*, Springer
- Blass, E., 1996. Innovation gleich Information plus Intuition. *Chemie Ingenieur Technik*, (68), pp.1533–1536
- Brauer, H.P., 1998. Verfahrenstechnik im Wandel. *Chemie Ingenieur Technik*, 70, pp.51–63
- Canavas, C., 1995. Geschichte der Regelung und Automatisierung in der Verfahrenstechnik. *Chemie Ingenieur Technik*, 67(6), pp.709–717
- Czypointka, T. et al., 2012. Zukunft der Gesundheitsausgaben und Gesundheitsfinanzierung in Österreich II. *Institut für Höhere Studien*
- Dönitz, E., 2008. *Effizientere Szenariotechnik durch teilautomatische Generierung von Konsistenzmatrizen*, Gabler Edition Wissenschaft
- Garn, M., Mohr, R. & Utikal, H., 2012. *Die Zukunft der Industrie in Deutschland - Innovationstreiber für Wirtschaft und Gesellschaft*, F.A.Z.-Institut für Management-, Markt- und Medieninformationen GmbH
- Gerbert, P. et al., 2013. Trendstudie 2030+ - Kompetenzinitiative Energie des BDI. *Berlin: The Boston Consulting Group*
- Goffin, K., Herstatt, C. & Mitchell, R., 2009. *Innovationsmanagement*, FinanzBuch Verlag
- Hennike, P. & Fishedick, M., 2007. *Erneuerbare Energien*, Verlag C.H. Beck oHG
- Holleman, A.F., Wiberg, E. & Wiberg, N., 2007. *Lehrbuch der anorganischen Chemie* 102nd ed., Walter de Gruyter & Co
- ten Hompel, M., Rehof, J. & Heistermann, F., 2014. Logistik und IT als Innovationstreiber für den Wirtschaftsstandort Deutschland - Die neue Führungsrolle der Logistik in der Informationstechnologie. *Positionspapier, Bundesvereinigung Logistik (BVL) e.V*
- Horx, M., 2010a. Szenario-Technik. *Horx Zukunftsinstitut GmbH*, pp.1–6
- Horx, M., 2010b. Trend-Definitionen. *Horx Zukunftsinstitut GmbH*, pp.1–4
- Hungenberg, H., 2014. *Strategisches Management in Unternehmen, Ziele-Prozesse-Verfahren*, SpringerGabler
- Kappaun, S., 2016. Szenariotechnik im Überblick
- Kerth, K., Asum, H. & Stich, V., 2011. *Die besten Strategietools in der Praxis*, Hanser Verlag
- Kolbusa, M., 2013. *Der Strategie-Scout*, SpringerGabler
- Krug, K., 1990. Zur Entwicklungsgeschichte des Chemieingenieurwesens. *Chemie Ingenieur Technik*, 62(3)
- Krüger, D. & Riemeier, T., 2013. *Die qualitative Inhaltsanalyse - eine Methode zur Auswertung von Interviews*, SpringerSpektrum
- Linde, H., 1995. „Verflüssigung der Luft mit vorzüglichem Erfolg erreicht.“ – Telegramm Carl Lindes vom Mai 1895 – aus der Geschichte der Tieftemperatur-Verfahrenstechnik. *Chemie Ingenieur Technik*,

- 67(9), p.51368
- Meuser, M. & Nagel, U., 1991. ExpertInneninterviews - vielfach erprobt, wenig bedacht : ein Beitrag zur qualitativen Methodendiskussion. *Qualitativ-empirische Sozialforschung: Konzepte, Methoden, Analysen*, pp.441–471
- Mieg, H.A. & Brunner, B., 2001. Experteninterviews (MUB Working Paper 6). *Professur für Mensch-Umwelt-Beziehung, ETH Zürich*
- Möhrle, M. & Isenmann, R., 2008. *Technologie-Roadmapping: Zukunftsstrategien für Technologieunternehmen*, Springer
- Popp, R. & Schüll, E., 2009. *Zukunftsforschung und Zukunftsgestaltung*, Springer.
- Puppe, L., 1986. Zeolithe – Eigenschaften und technische Anwendungen. *Chemie in unserer Zeit*, 20(4), pp.117–127
- Radermacher, F.J. & Beyers, B., 2007. *Welt mit Zukunft*, Murmann Verlag GmbH
- Randers, J., 2012. *2052 - eine globale Prognose für die nächsten 40 Jahre*, Chelsea Green Publishing.
- Rautenbach, R. & Rauch, K., 1977. Ultrafiltration und Umkehrosmose Grundlagen und Technologie. *Chemie Ingenieur Technik*, 62(12), pp.223–231
- Schallmo, D., 2013. *Methode der Geschäftsmodell-Innovation*, SpringerGabler
- Schaub, G. & Turek, T., 2011. *Energy Flows, Material Cycles and Global Development*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- Schiefer, K., 1970. *Lexikon der Verfahrenstechnik*, Deutsche Verlags-Anstalt Stuttgart
- Schnitzer, H., 2009. *Stoff- und Energiebilanzen*, Verlag der Technischen Universität Graz
- Schopp, P., 2016. *Triacetinsynthese durch kontinuierliche Reaktivdestillation - Simulation der Reaktionskinetik und Konzeptionierung der Produktaufbereitung*, Konstruktionsübung Technische Universität Graz
- Schulz, O. et al., 2012. Chemical Industry Vision 2030: A European Perspective. *AT Kearny*, pp.1–15.
- Schwister, K., 2007. *Taschenbuch der Verfahrenstechnik*, Carl Hanser Verlag München
- Seiter, C. & Ochs, S., 2013. Megatrends verstehen und systematisch analysieren - Ein Framework zur Identifikation von Wachstumsmärkten. *markeZin*, (5), pp.4–16
- Shell (Hrsg.), 2008. Shell energy scenarios to 2050. *Shell*, p.52
- Thonemann, U., 2010. *Operations Management: Konzepte, Methoden und Anwendungen*, Pearson Studium
- Tiberius, V., 2011. *Zukunftsorientierung in der Betriebswirtschaftslehre*, SpringerGabler
- Timm, B., 1968. Wettbewerb zwischen Kohle und Erdöl bei der Rohstoffversorgung der chemischen Großindustrie. *Chemie Ingenieur Technik*
- Vahs, D. & Brem, A., 2015. *Innovationsmanagement*, Schäffer Poeschl Verlag
- Verbund (Hrsg.), 2012. Thema: Klimaschutz. *flow 03/2012*, p.8
- Weissensteiner, C., 2013. *Reputation als Risikofaktor in technologieorientierten Unternehmen*, SpringerGabler
- Wintermantel, K., 2007. Zum Verhältnis von Chemischer Industrie und Verfahrenstechnik. In *Verfahrenstechnik und Wiedervereinigung*. pp. 96–112
- Zweck, A., 2010. Zukunftsforschung – quo vadis? *Wissenschaftsmanagement*, pp.50–54

Online-Quellen:

Ebert, Marius (2012): Delphi-Prognose, Kritik, <https://www.youtube.com/watch?v=yK3LCgpiL7w>, [Stand 19.07.16]

Recklies, Dagmar (2006): Die PEST(LE) Analyse, <http://www.themanagement.de/Management/PEST-Analyse.htm>, [Stand 19.07.16]

Sztuka, Achim (2016): Makro-Umfeldanalyse (PEST-Analyse), <http://www.manager-wiki.com/externe-analyse/19-makroumweltanalyse-pest-analyse>, [Stand 19.07.16]

Statsita (2016): Urbane Bevölkerungsentwicklung, <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/37084/umfrage/anteil-der-bevoelkerung-in-staedten-weltweit-seit-1985/>, [Stand 19.07.16]

Manager Magazin (2012): Automobilindustrie, <http://www.manager-magazin.de/unternehmen/autoindustrie/a-866390.html>, [Stand 19.07.16]

Finanzen.at: Emmisionsrechte CO₂, <http://www.finanzen.at/rohstoffe/co2-emissionsrechte> , [Stand 17.07.16]

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Untersuchungsdesign der vorliegenden Arbeit, Quelle: Eigene Darstellung.	2
Abbildung 2: Einsatzgebiete der Verfahrenstechnik, Quelle: In Anlehnung an Schnitzer (2009), S.4.....	5
Abbildung 3: Planet Erde, Quelle: NASA [30.05.16].	7
Abbildung 4: Modell zur Bilanzierung der Erde als geschlossenes System, Quelle: Eigene Darstellung. ..	8
Abbildung 5: Vorgehensweise bei der Zukunftsforschung, Quelle: Möhrle/Isenmann (2008), S.99 (leicht modifiziert).	15
Abbildung 6: Wellenförmige Entwicklung von verschiedenen Trends, Quelle: Horx (2010b), S. 2.	20
Abbildung 7: Innovationstreiber nach Vahs/Brem, Quelle: Vahs/Brem (2015), S. 115 (leicht modifiziert).	21
Abbildung 8: Innovationstreiber nach Goffin/Herstatt/Mitchell, Quelle: Goffin/Herstatt/Mitchell (2005), S. 20 (leicht modifiziert).	22
Abbildung 9: Auswirkungen von Trends auf Innovationstreiber, Quelle: Eigene Darstellung.....	25
Abbildung 10: Fließschema eines Verfahrens zur Triacetin-Synthese, Quelle: Schopp (2016), S. 36.....	27
Abbildung 11: Welt-Sodaproduktion 1870 bis 1910, Quelle: Krug (1990), S. 186.	29
Abbildung 12: Ausprägungen der PESTEL-Faktoren, Quelle: In Anlehnung an Weißensteiner (2013), S. 24 f; Schallmo (2013), S. 35.	35
Abbildung 13: Vorgehensweise der Delphi-Methode, Quelle: Thonemann (2010), S. 37 (leicht modifiziert).	42
Abbildung 14: Portfoliodarstellung der PESTEL-Faktoren, Quelle: Eigene Darstellung.....	44
Abbildung 15: Zeitliche Veränderung von Einflussfaktoren. Die Faktoren können Zustände wie Kosten, Marktveränderung, Bevölkerungszahl etc. darstellen. Quelle: Eigene Darstellung.	44
Abbildung 16: Darstellung des Weges in die Zukunft in einem Szenario-Trichter, Quelle: In Anlehnung an Hungenberg (2014), S. 183.....	46
Abbildung 17: Ablauf des Forward-Approach zur Bildung von Szenarien, Quelle: Hungenberg (2014), S. 184 (leicht modifiziert).	50
Abbildung 18: Aufbau eines Szenarienraumes zur Generierung von Szenarien, Quelle: Kolbusa (2013), S. 95 (leicht modifiziert)	51
Abbildung 19: Aufbau eines Subsznenarienraumes zur Bildung eines Szenarienraumes, Quelle: Kolbusa (2013), S. 96 (leicht modifiziert).	52
Abbildung 20: Konsistenzmatrix als Hilfsmittel zur Szenarienraumgenerierung, Quelle: Kolbusa (2013), S. 97 (leicht modifiziert).	53
Abbildung 21: Übersicht der Vorgehensweise zum Praxisteil, Quelle: Eigene Darstellung.....	54
Abbildung 22: Dreistufiges Filtermodell zur Identifikation von relevanten zukünftigen Innovationstreibern, Quelle: Eigene Darstellung.....	55

Abbildung 23: Selektionsprinzipien zur Findung von relevanten zukünftigen Innovationstreibern, Quelle: Eigene Darstellung.	57
Abbildung 24: Bewertung der Veränderung des Ausprägungsgrades, Quelle: Eigene Darstellung.	58
Abbildung 25: Bewertung der Branchenrelevanz, Quelle: Eigene Darstellung.	59
Abbildung 26: Als politischer Faktor klassifizierbare Entwicklungen, Quelle: Eigene Darstellung.	76
Abbildung 27: Als ökonomischer Faktor klassifizierbare Entwicklungen, Quelle: Eigene Darstellung.	76
Abbildung 28: Als sozialer Faktor klassifizierbare Entwicklungen, Quelle: Eigene Darstellung.	77
Abbildung 29: Als technologischer Faktor klassifizierbare Entwicklungen, Quelle: Eigene Darstellung. ..	77
Abbildung 30: Als ökologischer Faktor klassifizierbare Entwicklungen, Quelle: Eigene Darstellung.	77
Abbildung 31: Als rechtlicher Faktor klassifizierbare Entwicklungen, Quelle: Eigene Darstellung.	78
Abbildung 32: Entwicklungen, welche nicht der Unternehmensumwelt zuordenbar sind, Quelle: Eigene Darstellung.	78
Abbildung 33: Vorgangsweise zur Bewertung der Veränderung des Ausprägungsgrades. Wo es möglich ist, werden Prognosewerte zur Berechnung herangezogen. Liegen keine Prognosewerte für eine Entwicklung vor, so wird ihr künftiger Ausprägungsgrad mit einem paarweisen Vergleich abgeschätzt. Quelle: Eigene Darstellung.	80
Abbildung 34: Drei-Punkt-Peilung zur qualitativen Abschätzung der Veränderung des Ausprägungsgrades im Zuge eines paarweisen Vergleichs. Quelle: Eigene Abbildung.	81
Abbildung 35: Die Transformation der Skala der qualitativen Bewertungen erfolgt in zwei Schritten: Zuerst werden die Nullpunkte beider Skalen gleichgesetzt. Anschließend folgt ein Stauchen der qualitativen Skala mithilfe der arithmetischen Mittelwerte beider Skaleninhalte. Quelle: Eigene Darstellung.	85
Abbildung 36: Die Verwendung des Strahlensatzes ermöglicht ein Stauchen der Werte $b_{qual j}$ der qualitativen Skala B auf die Gesamtskala G. Quelle: Eigene Darstellung.	87
Abbildung 37: Zu den Experteninterviews wurden jene 15 anthropogene Entwicklungen mit der höchsten Veränderung des Ausprägungsgrades ausgewählt. Sie werden als potentielle zukünftige Innovationstreiber bezeichnet. Quelle: Eigene Darstellung.	90
Abbildung 38: Box-Plots der Expertenbewertungen zur Relevanz der Entwicklungen. Die Kreuze stellen den Mittelwert der Bewertungen dar, die Hälfte aller entwicklungspezifischen Beurteilungen liegt in der Box und Ausreißer werden durch die zugehörigen Punkte abgebildet. Quelle: Eigene Darstellung.	93
Abbildung 39: Auswahl relevanter zukünftiger Innovationstreiber auf Basis von Expertenbewertungen. Quelle: Eigene Darstellung.	103

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Schema einer Cross-Impact-Analyse, Quelle: Tiberius (2011), S. 65 (leicht modifiziert).	18
Tabelle 2: Entwicklung des Koks-Preises im Vergleich zu Rohbenzin und Heizöl, Quelle: Timm (1968), S. 1 (leicht modifiziert).	32
Tabelle 3: Ergebnisse und Berechnungsgrundlagen der quantitativen Bewertung, Quelle: Eigene Darstellung	83
Tabelle 4: Paarweiser Vergleich und Ergebnisse der qualitativen Bewertung, Quelle: Eigene Darstellung.	84
Tabelle 5: Bewertung und Reihung anhand der Veränderung des Ausprägungsgrades, Quelle: Eigene Darstellung.	88
Tabelle 6: Wertzuschreibung zur Quantifizierung der Expertenbeurteilungen. Quelle: Eigene Darstellung.	91
Tabelle 7: Kumulierte Expertenbewertung der Branchenrelevanz der identifizierten anthropogenen Entwicklungen. Quelle: Eigene Darstellung.	92
Tabelle 8: Zuordnung der relevanten zukünftigen Innovationstreiber in Innovationstreiberklassen nach Goffin/Herstatt/Mitchell (2005). Quelle: Eigene Darstellung.....	105
Tabelle 9: Bewertung der Konsistenzmatrix durch die Workshopteilnehmer. Quelle: Eigene Darstellung.	114

ANHANG

Experteninterview - Relevanz globaler anthropogener Entwicklungen bis 2030 für die Verfahrenstechnik

Wie schätzen Sie die Relevanz der aufgelisteten Entwicklungen für die Verfahrenstechnik ein? Hat eine Entwicklung zukünftigen Einfluss auf die Branche?

- a.) Hat starken Einfluss auf den Großteil Branche
- b.) Hat mittelmäßigen Einfluss auf Nischenanwendungen oder Teile der Branche
- c.) Hat keinen/kaum Einfluss auf die Branche

Entwicklung 2: China wird wirtschaftlich die vorherrschende Weltmacht – *China wird die USA überholen und in Zukunft der wirtschaftliche Drehpunkt der Welt sein.*

China wird 2050 die treibende Macht des Planeten sein. Chinas Wirtschaft wird 2030 2,3-mal, und 2050 beinahe viermal so groß sein wie heute. Das wirtschaftliche Wachstum Chinas wird auch einen riesigen neuen Absatzmarkt schaffen und es wird im Welthandel eine bedeutende Rolle einnehmen.

Starker Einfluss auf die Branche		Mittlerer Einfluss z.B. für Nischenanwendungen/Teile der Branche		Betrifft die Branche kaum/gar nicht

Notizen:

Entwicklung 3: Der Markt wird sich in Zukunft schneller verändern – *Die zunehmende Globalisierung führt zu einem stetig schärfer werdenden Wettbewerb und damit zur Verkürzung der Lebenszeit von Produkten und Absatzmärkten.*

Die zunehmende Globalisierung wird die internationalen Wirtschaftsbeziehungen erleichtern, andererseits aber auch zu einer weiteren Verschärfung des Wettbewerbs beitragen. Dies hat eine zunehmende Verkürzung der Produktlebenszeiten zur Folge.

Starker Einfluss auf die Branche		Mittlerer Einfluss z.B. für Nischenanwendungen/Teile der Branche		Betrifft die Branche kaum/gar nicht

Notizen:

Entwicklung 8: Erneuerbare Energien werden verstärkt eine dezentrale Energieerzeugung ermöglichen – *In Zukunft wird regionaler und verbrauchsnahe Energie erzeugt werden als heute üblich ist. Verbesserte Speichermöglichkeiten werden diese Entwicklung unterstützen.*

Die Energiewende wird zu einem Aufschwung von Energietechnologien hinsichtlich Erzeugung, Netze, Speicher und intelligentem Verbrauch führen. Die Möglichkeit elektrische Energie zu speichern, wird zunehmen. Dies wird die Bildung von Mikronetzwerken stark fördern. Es geht hin zu dezentralisierter Energieproduktion. Der Vormarsch der erneuerbaren Energien wird zu einer zunehmenden Entwicklung von kurz-, mittel und langfristigen Speichertechnologien für elektrische Energie führen.

Starker Einfluss auf die Branche		Mittlerer Einfluss z.B. für Nischenanwendungen/Teile der Branche		Betrifft die Branche kaum/gar nicht

Notizen:

Entwicklung 11: Nachhaltigkeit wird zur allgemeinen Lebenseinstellung – *Nachhaltigkeit wird in Zukunft ein gesellschaftlich akzeptiertes Paradigma sein und verstärkt Auswirkungen auf politische Entscheidungen haben.*

2050 wird das Paradigma „nachhaltiger Wohlstand auf Basis erneuerbarer Energien“ entscheidenden Einfluss auf politische Entscheidungen haben. Die globale Gesellschaft wird verstärkt eine weitreichende Perspektive wertschätzen.

Starker Einfluss auf die Branche		Mittlerer Einfluss z.B. für Nischenanwendungen/Teile der Branche		Betrifft die Branche kaum/gar nicht

Notizen:

Entwicklung 12: Erdöl und Kohle werden in Zukunft „out“ sein – *Fehlende gesellschaftliche Akzeptanz und neue technologische Rahmenbedingungen werden Erdöl und Kohle zunehmend unattraktiv machen.*

Die Nachhaltigkeit als Lebenseinstellung wird die Abwendung von Erdöl und Kohle als Energieträger begünstigen. Der weltweite Ölverbrauch wird wahrscheinlich vor 2025 seinen Höhepunkt erreichen und anschließend abfallen. Gas wird zwischen 2020 und 2040 einen kurzfristigen Aufschwung erhalten.

Starker Einfluss auf die Branche		Mittlerer Einfluss z.B. für Nischenanwendungen/Teile der Branche		Betrifft die Branche kaum/gar nicht

Notizen:

Entwicklung 15: Die Auswirkungen des Klimawandels werden stärker werden – *Die Ökosysteme betroffener Regionen werden sich verändern.*

Der Klimawandel wird die Menschheit ab 2040 ernsthaft betreffen. Es wird mehr Dürreperioden in dürrgefährdeten Regionen geben, mehr Regen in niederschlagsreichen Gebieten und mehr extreme Wetterbedingungen. Durch das Abschmelzen der Gletscher und des arktischen Eises, die höheren Temperaturen werden die Ökosysteme immer weiter Richtung Polregionen wandern. Anzeichen für diese Veränderungen wird es bereits bis 2030 geben.

Starker Einfluss auf die Branche		Mittlerer Einfluss z.B. für Nischenanwendungen/Teile der Branche		Betrifft die Branche kaum/gar nicht

Notizen:

Entwicklung 16: Der Staat wird Klimaschutz verstärkt durchsetzen - *Steuern auf CO₂ und Wasser werden steigen und staatliche Regulierungen zu Klimaschutzzwecken werden zunehmen. Nichtregierungsorganisationen werden verstärkt zu Treibern dafür werden.*

Steuern oder Gebühren auf CO₂ oder Wasser werden gesellschaftlich immer mehr Akzeptanz finden. Das heißt mehr staatliche Regulierungen, höhere Steuern, höherer Anteil der Investitionen am BIP. Nichtregierungsorganisationen werden verstärkt zu Treibern des Klimaschutzes werden, sie sind im Vergleich zur Politik schnell und unbürokratisch.

Starker Einfluss auf die Branche		Mittlerer Einfluss z.B. für Nischenanwendungen/Teile der Branche		Betrifft die Branche kaum/gar nicht

Notizen:

Entwicklung 18: Mobilität wird weiterhin zunehmen – *Der Mensch wird in Zukunft mobiler sein als heute. Die Verfügbarkeit verschiedenster Transportmittel wird selbstverständlich sein.*

Die Mobilität der Bevölkerung wird weiter zunehmen. Allerdings wird es eine höhere Diversität an Transportmöglichkeiten geben, die es Menschen erlaubt situationsbezogen unterschiedliche Fahrzeuge zu bewegen. Die Elektromobilität wird darin nur ein Puzzleteil des zur Verfügung stehenden Mobilitätsmixes darstellen. Die großen Themen der Mobilität der Zukunft werden die Kohlendioxidemissionen, die Sicherheit und der Transportkomfort sein.

Starker Einfluss auf die Branche		Mittlerer Einfluss z.B. für Nischenanwendungen/Teile der Branche		Betrifft die Branche kaum/gar nicht

Notizen:

Entwicklung 21: Die Recyclingbranche wird aufblühen – *es wird wirtschaftlicher werden, seltene und wertvolle Rohstoffe zu rezyklieren.*

Es wird einen Rohstoffengpass an seltenen Metallen geben. Dieser wird zu einer wirtschaftlich sinnvollen Anwendung des „urban mining“ führen. Damit wird auch die gesamte Abfallbranche einen Aufschwung erfahren.

Starker Einfluss auf die Branche		Mittlerer Einfluss z.B. für Nischenanwendungen/Teile der Branche		Betrifft die Branche kaum/gar nicht

Notizen:

Entwicklung 26: Das Internet wird eine ubiquitäre Selbstverständlichkeit werden– *jeder wird immer und überall Zugriff auf das Internet haben. Diese ständige Vernetzung wird als Selbstverständlichkeit betrachtet werden.*

Das Internet wird allgegenwärtig sein, Computer werden mehr und mehr Bestandteil der uns umgebenden Gegenstände und somit unserer Umgebung. Jeder wird von überall und zu jeder Zeit auf das gesamte Wissen der Menschheit zugreifen können.

Starker Einfluss auf die Branche		Mittlerer Einfluss z.B. für Nischenanwendungen/Teile der Branche		Betrifft die Branche kaum/gar nicht

Notizen:

Entwicklung 27: Das „Internet of Things“ – *Die Digitalisierung und Vernetzung wird Gegenstände in Alltag und Industrie revolutionieren. Sie wird der Auslöser der 4. Industriellen Revolution sein.*

Die zunehmende Vernetzung wird aber auch Einfluss auf die Entwicklung des „Internet der Dinge“ und dessen Integration in die Industrie haben. Die Perspektive von autonomen, dezentralen Produktionsprozessen mit globaler Steuerung wird befeuert werden von der Möglichkeit, dass Objekte wie Produktionselemente selbstständig Informationen austauschen, z.B. in Form von intelligenten Behältern. Das „Internet der Dinge“ wird sich in der Industrie als 4. Industrielle Revolution abbilden.

Starker Einfluss auf die Branche		Mittlerer Einfluss z.B. für Nischenanwendungen/Teile der Branche		Betrifft die Branche kaum/gar nicht

Notizen:

Entwicklung 28: Die Logistik wird als Wettbewerbsfaktor an Relevanz gewinnen – *Die Logistikbranche wird wachsen.*

Waren werden in immer kleineren Einheiten zu einem beliebigen Zeitpunkt an einem beliebigen Ort bestellt. Wer Waren nicht wettbewerbsfähig in einem bestimmten Zeitrahmen liefern kann, wird vom Markt verdrängt. Die Logistik wird auch in den Megastädten der Zukunft eine große Rolle spielen, sowohl beim Personen- als auch beim Frachttransport.

Starker Einfluss auf die Branche		Mittlerer Einfluss z.B. für Nischenanwendungen/Teile der Branche		Betrifft die Branche kaum/gar nicht

Notizen:

Entwicklung 30: Kohlendioxid wird teuer werden – *Kohlendioxid wird ein teures Nebenprodukt industrieller Produktion werden.*

Die Kosten für CO₂ können in Deutschland mit 40 €/t für 2030 und mit 70 €/t Zertifikatspreis für 2050 abgeschätzt werden. Der Jahresschnitt (07.15 bis 07.16) liegt momentan bei etwa 7 € je Tonne CO₂.

Starker Einfluss auf die Branche		Mittlerer Einfluss z.B. für Nischenanwendungen/Teile der Branche		Betrifft die Branche kaum/gar nicht

Notizen:

Entwicklung 32: Photovoltaik wird selbstverständlich werden – *Günstige Komponenten werden Photovoltaik-Anlagen zum gesellschaftlichen Standard für jeden Haushalt machen.*

Photovoltaik wird einen enormen gesellschaftlichen Aufschwung erleben. Photovoltaikkomponenten werden extrem billig werden und immer mehr zu einem integralen Bestandteil des Alltages werden. Bis zum Jahr 2030 kann davon ausgegangen werden, dass in weiten Teilen der Welt Solarstrom die günstigste Alternative erneuerbarer Energien darstellt.

Starker Einfluss auf die Branche		Mittlerer Einfluss z.B. für Nischenanwendungen/Teile der Branche		Betrifft die Branche kaum/gar nicht

Notizen:

Entwicklung 33: Das Wachstum der chemischen Industrie wird sich reduzieren – *Wirtschaftliche Profite aufgrund von technischen Fortschritten wird es vor allem in Nischenanwendungen geben.*

Das globale Wachstum der chemischen Industrie wird, von jährlich 7 % zwischen 1985 und 2010, auf 3 % zwischen 2010 und 2030 fallen.

Starker Einfluss auf die Branche		Mittlerer Einfluss z.B. für Nischenanwendungen/Teile der Branche		Betrifft die Branche kaum/gar nicht

Notizen:

Experteninterviews zur Beurteilung der Branchenrelevanz potentieller zukünftiger Innovationstreiber

Ablauf:

- Anreise zum individuellen Interviewtermin mit dem Experten.
- Begrüßung und kurzes Vorstellen der Masterarbeit, ihres Inhaltes und ihrer Ziele. Aufzeigen des Bezuges zur Verfahrenstechnik.
- Erläuterung des Interviewablaufes; Vorstellung des Interviewleitfadens sowie der behandelten Themen.
- Durchführen des Interviews anhand des Leitfadens und Dokumentation der Diskussion in Form einer Audiodatei.

Teilnehmerliste:

Name	Organisation	Kürzel
Prof. Dr. Siebenhofer Matthäus	TU Graz - Institut für chemische Verfahrenstechnik und Umwelttechnologien	[Sieb]
Prof. Dr. Gamse Thomas	TU Graz - Institut für chemische Verfahrenstechnik und Umwelttechnologien	[Gam]
Dr. Schwaiger Nikolaus	TU Graz - Institut für chemische Verfahrenstechnik und Umwelttechnologien, BDI - BioEnergy AG	[Schwai]
Dr. Ernst Martin	BDI - BioEnergy AG	[Ern]
Dr. Koncar Michael	VTU GmbH	[Kon]
Dipl.Ing. Glasl Wolfgang	VTU GmbH	[Gla]
Dipl.Ing. Lobmair Markus, MSc	Scheuch GmbH	[Lob]

Workshop „Wirkungen von anthropogenen Entwicklungen als Innovationstreiber“

Ablauf:

- Anreise der Teilnehmer und Begrüßung.
- Kurzes Vorstellen der Masterarbeit, Erläuterung des Workshop-Settings und der Workshop-Ziele.
- Einleitung zum Thema Innovation und Innovationstreiber.
- Einführen der Teilnehmer in das Thema Innovationen in der Verfahrenstechnik, Erläutern konkreter Beispiele und Diskussion ihrer Innovationstreiber.
- Vorstellen der zu bearbeitenden anthropogenen Entwicklungen.
- Abarbeiten der zu behandelnden Entwicklungen. Offene Diskussion der Workshopteilnehmer zum Thema. Dokumentation und methodische Unterstützung durch den Moderator. Dokumentation der Diskussion in Form einer Audiodatei.

Teilnehmerliste:

Name	Ausbildung/Erfahrung in den Fachbereichen
Achatz Anna, BSc	Verfahrenstechnik, Maschinenbau
Außerleitner Julia, BSc	Verfahrenstechnik, Chemie
Klonner Dietmar, BSc	Verfahrenstechnik, Anlagenschweißer
Schlackl Klaus, BSc	Verfahrenstechnik, Werkstofftechnik
Schopp Philipp, BSc	Verfahrenstechnik, Maschinenbau, Innovationsmanagement

Workshop „Szenarien“

Ablauf:

- Anreise der Teilnehmer und Begrüßung.
- Kurzes Vorstellen der Masterarbeit, Erläuterung des Workshop-Settings und der Workshop-Ziele.
- Einleitung zum Thema Szenarien und Szenarienbildung und Konsistenzmatrix.
- Vorstellen der zu bearbeitenden anthropogenen Entwicklungen.
- Befüllen der Konsistenzmatrix durch die Workshopteilnehmer in offener Diskussion. Methodische Durchführung wird vom Moderator sichergestellt. Für Fragen zu den einzelnen Entwicklungen steht ebenfalls der Moderator den Workshopteilnehmern beiseite.
- Individuelles Brainstorming der Workshopteilnehmer auf Basis der erarbeiteten Konsistenzmatrix.
- Clustern der gesammelten Schlagwörter durch die Workshopteilnehmer in Rohszenarien.
- Ausdetaillieren der Rohszenarien durch eine offene Diskussion in der Gruppe.
- Dokumentation der Diskussion in Form einer Audiodatei.

Teilnehmerliste:

Name	Ausbildung/Erfahrung in den Fachbereichen
Demmelmair Kathrin, BSc	Mathematik, Mediendesign
Maunz Bernhard, BSc	Verfahrenstechnik, Elektrotechnik
Pflanzl Lukas, BSc	Biomedical Engineering, Innovationsmanagement
Schlackl Klaus, BSc	Verfahrenstechnik, Werkstofftechnik
Schopp Philipp, BSc	Verfahrenstechnik, Maschinenbau, Innovationsmanagement

Workshop „Entwicklung der Verfahrenstechnik in den Szenarien“

Ablauf:

- Anreise der Teilnehmer und Begrüßung.
- Erläuterung des Workshop-Settings und der Workshop-Ziele.
- Rekapitulieren der erarbeiteten Szenarien und deren Ausprägungen.
- Bearbeiten der Fragestellung „Wie würde sich die Verfahrenstechnik im behandelten Szenario entwickeln?“.
- Ausdetaillieren der Zustände und Charakteristika der Verfahrenstechnik in den jeweiligen Szenarien durch eine offene Diskussion in der Gruppe. Bewertung und Plausibilitätskontrolle des erarbeiteten Inhaltes durch die Teilnehmer.
- Dokumentation der Diskussion in Form einer Audiodatei.

Teilnehmerliste:

Name	Ausbildung/Erfahrung in den Fachbereichen
Maunz Bernhard, BSc	Verfahrenstechnik, Elektrotechnik
Schlackl Klaus, BSc	Verfahrenstechnik, Werkstofftechnik
Schopp Philipp, BSc	Verfahrenstechnik, Maschinenbau, Innovationsmanagement