

MASTERARBEIT

SYSTEMATISCHE IDENTIFIKATION VON ENTWICKLUNGSNIVEAUS UND ENTWICKLUNGSKORRIDOREN IN TECHNISCHEN SYSTEMEN

ausgeführt am



Fachhochschul-Masterstudiengang Innovationsmanagement

Von: **DI Christof Brenner, BSc**
Personenkennzeichen: 1510318005

betreut und begutachtet von
DI (FH) Andreas Rehklaue, MBA

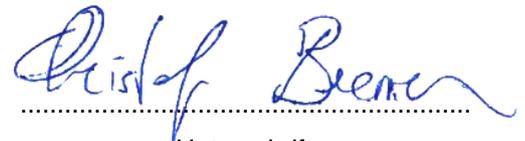
Graz, am 17. Januar 2017



Handwritten signature of Christof Brenner in blue ink, written over a horizontal dotted line. Below the signature, the word 'Unterschrift' is printed in a small, black, sans-serif font.

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.


.....
Unterschrift

GLEICHHEITSGRUNDSATZ

Aus Gründen der Lesbarkeit wurde in dieser Arbeit darauf verzichtet, geschlechtsspezifische Formulierungen zu verwenden. Jedoch möchte ich ausdrücklich festhalten, dass die bei Personen verwendeten maskulinen Formen für beide Geschlechter zu verstehen sind.

DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen Personen bedanken, die mich über die vergangenen Jahre hinweg auf meinem Weg begleitet haben.

Besonderer Dank gilt meinem Betreuer DI (FH) Andreas Rehklaue, MBA, für die jederzeit freundlich gewährte Unterstützung und Hilfsbereitschaft bei der wissenschaftlich korrekten Erstellung dieser Arbeit.

Christof Brenner

Graz, am 17. Januar 2017

KURZFASSUNG

Produktinnovationen gelten als zentrale Wirtschaftsmotoren. Doch anstatt zur Identifikation ungenutzter Potentiale auf systematische Ansätze zurückzugreifen, werden Produkte oftmals auf Basis von Intuition weiterentwickelt. Zentrale Entscheidungen am Beginn von Produktentwicklungsprozessen werden anhand von Kundenwünschen und subjektiven Vermutungen getroffen.

Das Ziel dieser Masterarbeit ist die Entwicklung eines geeigneten Werkzeuges zur Identifikation von Entwicklungsniveaus und Entwicklungskorridoren in technischen Systemen. Zu diesem Zweck wurde eine Literaturrecherche durchgeführt und relevante Quellen erarbeitet. Zusätzlich wurde ein Werkzeug definiert, welches einem strukturierten und systematischen Ansatz folgt. Schlussendlich wurde das Werkzeug in mehreren Workshops zum Zwecke des Tests und der Validierung in der Praxis angewandt.

Als Resultat konnte festgestellt werden, dass ein systematischer und abstrakter Zugang zur Identifikation von ungenutzten Entwicklungspotentialen möglich ist und durch Anwender angenommen wird. Das Werkzeug ermöglicht einen holistischen Blick auf technische Systeme, welcher für die Produktentwicklung zu nützlichen Resultaten führt. Trotz alledem werden in den meisten Fällen von Anwendern ungenutzte Potentiale nur dann als verwertungswürdig angesehen, wenn parallel dazu passende Kundenwünsche existieren.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass das erstellte Werkzeug als nützlicher Baustein den frühen Phasen der Produktentwicklung angesehen werden kann. In dieser Phase bietet ein holistischer Ansatz den Anwendern die Möglichkeit das Suchfeld für weitere Entwicklungsaufgaben für technische Systeme stark einzuschränken.

ABSTRACT

Product innovations are main economic drivers. Yet instead of relying on systematic approaches to identify untapped development potentials, companies more often than not improve their products based on intuition. Essential decisions at the very beginning of product development are being made based on customer's wishes and subjective guesswork.

The aim of the underlying Master's Thesis was to develop a tool apt to identify development levels and development corridors in technical systems. To this end, relevant literature has been analysed. Additionally a tool has been created by linking the Contradiction Based Innovation Strategy to General Systems Theory for the purpose of providing a structured and systematic approach. Finally the provided tool has been practically applied during several workshops for validation and testing purposes.

As a result it can be shown that a systematic and abstract approach for identifying untapped development potentials is feasible and well-received by users. The tool provides a holistic view on technical systems that yields useful insights for fostering product development. However, in most cases users still rely on existing customer needs to see untapped development potential as worthy for development.

In conclusion it can be stated that the presented tool is perceived as a useful addition to the early stages of the product development process. At this point in time its holistic approach allows users to narrow the search field for future development tasks for the improvement of technical systems.

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	9
1.1	Ausgangssituation	9
1.2	Zentrale Problemstellung.....	10
1.3	Zielsetzung und Bezug zum Innovationsmanagement.....	10
1.4	Gliederung der Arbeit.....	11
2	THEORETISCHE GRUNDLAGEN	13
2.1	TRIZ.....	13
2.1.1	Definition und Entwicklung	13
2.1.2	Grundkonzepte und Fundamentale Ideen.....	15
2.1.3	Anwendungsgebiete	22
2.2	Widerspruchorientierte Innovationsstrategie	23
2.2.1	Definition und Entwicklung	24
2.2.2	Grundkonzepte und fundamentale Ideen	25
2.2.3	Ablauf eines Problemlösungsprozesses	28
2.3	Systemtheorie.....	31
2.3.1	Systeme in der Technik	31
2.3.2	Klassifizierung von Systemen.....	33
2.3.3	Der Funktionsbegriff im Kontext technischer Systeme.....	34
2.3.4	Ziel, Mittel und Zweck im Kontext technischer Systeme	36
2.3.5	Struktur technischer Systeme.....	39
2.3.6	Organisation technischer Systeme.....	41
2.3.7	Systemischer Effekt und Systemqualität	44
2.3.8	Varietät, Konnektivität, Komplexität und Variabilität.....	45
2.4	Generische Modelle des Systemaufbaus	47
2.4.1	Qualität von Modellen und Befangenheit	48
2.4.2	Modelle der allgemeinen Systemtheorie	50
2.4.3	Modelle zur Systemdarstellung in TRIZ.....	53
2.4.4	Modelle zur Systemdarstellung in der Widerspruchorientierten Innovationsstrategie.....	57
2.5	Systementwicklung	59
2.5.1	Systementwicklung in TRIZ	59

2.5.2	Systementwicklung in der Widerspruchsorientierten Innovationsstrategie	62
2.6	Ausgewählte Ansätze zur Vorhersage zukünftiger Entwicklungen von technischen Systemen	66
3	ENTWICKLUNG DES ANALYSEWERKZEUGES	69
3.1	Ziele und erwartete Ergebnisse	69
3.2	Grundlegende Vorgehensweise und Strategie	69
3.3	Auswahl des Systemmodells	71
3.4	Auswahl des Modells zur Analyse der Entwicklungsstände	73
3.5	Verhinderung von Befangenheit	73
3.6	Vorgehensweise im Detail	74
3.6.1	Definition des Untersuchungsobjektes	74
3.6.2	Analyse des technischen Systems	74
3.6.3	Analyse der Informationsflüsse	76
3.6.4	Analyse der Energieflüsse	78
3.6.5	Analyse der Stoffflüsse	80
3.6.6	Ermittlung der Entwicklungskorridore	82
3.6.7	Interpretation und Darstellung der Ergebnisse	83
4	ANWENDUNG DES ANALYSEWERKZEUGES	85
4.1	Ziele	85
4.2	Vorbereitung	86
4.2.1	Grundlegende Feststellungen	86
4.2.2	Vorgehensweise	87
4.2.3	Idealtypischer Ablauf eines Workshops	89
4.2.4	Rollen im Workshop	90
4.2.5	Auswahl der Teilnehmer und Anonymisierung	91
4.2.6	Räumliche und zeitliche Kriterien	92
4.3	Anwendung	92
4.3.1	Workshop 1	94
4.3.2	Workshop 2	99
4.3.3	Workshop 3	104
4.3.4	Anpassung des Analysewerkzeuges	107
4.3.5	Workshop 4	111
4.3.6	Workshop 5	114
4.3.7	Workshop 6	118

5	ERKENNTNISSE AUS DER ANWENDUNG DES ANALYSEWERKZEUGES	121
5.1	Erkenntnisse aus der praktischen Anwendung	121
5.1.1	Durchlaufzeit der Analyse von technischen Systemen	121
5.1.2	Lerneffekte durch wiederholte Anwendung der Methode	122
5.1.3	Kreativität durch holistische Betrachtungsweise	122
5.2	Erkenntnisse aus der Analyse technischer Systeme	123
5.2.1	Zeitlicher Kontext	123
5.2.2	Erkenntnisse zu den festgestellten Entwicklungsniveaus	123
5.2.3	Erkenntnisse aus der Analyse von Systemen in hierarchischer Beziehung	125
5.2.4	Erkenntnisse zu den festgestellten Entwicklungskorridoren	126
5.2.5	Auffälligkeiten und Problematiken bei der Analyse technischer Systeme	127
5.3	Verwertbarkeit und Nutzen	127
5.4	Ableitungen für die Praxis.....	128
6	INTERPRETATION UND CONCLUSIO.....	130
6.1	Beantwortung der Forschungsfragen	130
6.2	Ausblick und offene Fragestellungen	131
6.2.1	Exaktere Ermittlung der Entwicklungsniveaus	131
6.2.2	Massenerhebung von Analysedaten	131
6.2.3	Anwendung des Werkzeuges auf Organisationen	131
6.2.4	Künstliche Intelligenz und technische Systeme	132
	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	133
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	134
	TABELLENVERZEICHNIS	136
	LITERATURVERZEICHNIS.....	137
	ANHANG 1: ENTSCHEIDUNGSFRAGEN ZU FLÜSSEN IN TECHNISCHEN SYSTEMEN	141
	ANHANG 2: ABHÄNGIGKEITEN ZWISCHEN ENTSCHEIDUNGSFRAGEN.....	143
	ANHANG 3: ÜBERARBEITETE ENTSCHEIDUNGSFRAGEN	144
	ANHANG 4: GESAMMELTE ERGEBNISSE DER FLUSSANALYSEN.....	146

1 EINLEITUNG

"Zu den großen Entdeckungen vergangener Jahrhunderte zählten der Verbrennungsmotor und die Dampflokomotive. Und was kommt heute aus dem Silicon Valley, dem immerhin innovativsten Flecken Land der Erde? Ein Onlineentsafter und eine Website, auf der man darauf wetten kann, welche Spieler einander bei virtuellen Schießereien schneller umlegen."¹

Die Entwicklung und Weiterentwicklung technischer Systeme stellt eine zentrale Herausforderung im Kontext der erfinderischen Tätigkeit dar. Es besteht der Bedarf die Konkurrenzfähigkeit von Produkten am Markt zu gewährleisten und über den Lebenszyklus aufrecht zu erhalten. Oftmals wird, um dies zu erreichen, kein systematisches Vorgehen verfolgt, sondern auf Basis von Vermutungen entschieden, welche Entwicklungspotentiale in Produkten bestehen und in weiterer Folge verwertet werden sollen.

Zu Beginn eines derartigen Entwicklungsprozesses eines technischen Systems stehen unterschiedliche Innovationsauslöser. Einerseits werden Innovationen durch noch unbefriedigte Kundenbedürfnisse im Sinne von *Market Pull* gefördert, wobei grundsätzlich anzuzweifeln ist, ob der Markt bereits heute seinen Bedarf von morgen kennen kann. Andererseits werden über *Technology Push* Innovationen unabhängig von am Markt identifizierten Kundenbedürfnissen realisiert, was oftmals zu radikaleren Innovationen führt. Ist nun jedoch nicht bekannt, welche neu aufgetretenen Kundenbedürfnisse durch das Weiterentwickeln eines technischen Systems erfüllt werden sollen, so wird nicht die erfinderische Tätigkeit, sondern das Ermitteln von erfolgsversprechenden Erfindungsaufgaben selbst zur Herausforderung.

1.1 Ausgangssituation

Für die Entwicklung beziehungsweise Weiterentwicklung technischer Systeme stellt sich die zentrale Frage, in welche Richtung die Entwicklung vorangetrieben werden soll. Dies impliziert, dass ebenso festgestellt werden muss, ob bestehende Systeme noch ungenutztes Entwicklungspotential innehaben, welche für eine Höherentwicklung genutzt werden kann. Oftmals wird dabei auf Intuition oder Erfahrung zurückgegriffen. Zumeist wird jedoch das Vorhandensein von ungenutztem Entwicklungspotential mit dem Vorhandensein von Ideen für Verbesserungen gleichgesetzt. Es wird somit bei zentralen Entscheidungen zu Beginn eines Produktentwicklungsprozess allzu oft entweder auf den Kunden oder auf subjektive Vermutungen und das sprichwörtliche Bauchgefühl als Innovationsmotor zurückgegriffen. Im Zuge dieser Arbeit soll eine alternative, systematische Herangehensweise zur Feststellung von Entwicklungsniveaus und Entwicklungskorridoren in technischen Systemen erarbeitet werden.

¹ Szigetvari (2016).

1.2 Zentrale Problemstellung

Als dieser Arbeit zu Grunde liegende Problemstellung kann einerseits das systematische Feststellen von Entwicklungsniveaus technischer Systeme angeführt werden. Dies soll insbesondere durch die Analyse der im technischen System enthaltenen Teilsysteme erfolgen. Somit kann als erste zentrale Frage die folgende angeführt werden: *Wie können Entwicklungsstände von technischen Systemen und Teilsystemen festgestellt werden?* Eine zu diesem Zweck durchgeführte Analyse soll jedenfalls unter objektiven und systematischen Gesichtspunkten erfolgen.

In Verbindung damit soll zusätzlich ermittelt werden, ob die analysierten Systeme ungenutzte Entwicklungsreserven aufweisen und welche Möglichkeiten zur Weiterentwicklung bestehen. Dementsprechend lautet die zweite Forschungsfrage: *Wie können potentielle zukünftige Entwicklungsrichtungen von technischen Systemen auf Basis des aktuellen Entwicklungsstandes der Teilsysteme abgeleitet werden?* Anhand dieser zwei Forschungsfragen werden nun die in dieser Arbeit zu verfolgenden Ziele definiert.

1.3 Zielsetzung und Bezug zum Innovationsmanagement

Ziel dieser Arbeit ist es, die in Abschnitt 1.2 aufgestellten zentralen Problemstellungen zu lösen. Nachdem diese Arbeit in einen theoretischen und einen praktischen Teil gegliedert wird, können daher zwei separate Hauptziele angeführt werden. Als erstes Ziel kann die Entwicklung eines Werkzeuges angeführt werden, mit welchem die Kernfragen beantwortet werden können. Es muss somit geeignet sein auf systematische Art und Weise Entwicklungsniveaus und Entwicklungskorridore in technischen Systemen zu ermitteln. Zusätzlich wird der Anspruch gestellt, dass mit diesem Werkzeug möglichst alle technischen Systeme unabhängig von ihrer Beschaffenheit oder Funktion analysiert werden können. Die Entwicklung des Werkzeuges soll unter Verwendung relevanter Literatur erfolgen. Aufbauend auf eine Literaturrecherche wird daher zum Abschluss des theoretischen Teils dieser Arbeit das genannte Werkzeug entwickelt.

Als zweites, hierarchisch gleichrangiges Ziel erfolgt im praktischen Teil dieser Arbeit eine Validierung und Erprobung des zuvor entwickelten Werkzeuges. Es wird dabei zur Analyse realer Produkte angewendet. Dadurch sollen für die untersuchten Objekte Entwicklungslücken und Entwicklungskorridore ermittelt werden. Die Validierung des Werkzeuges erfolgt in diesem Kontext auf Basis des Feedbacks der Anwender. Von besonderem Interesse ist hierbei ebenso die Feststellung, welcher Mehrwert und Nutzen durch die Anwendung des Werkzeuges generiert werden kann.

Als Zielgruppe dieser Arbeit können Unternehmen genannt werden, welche Produkte im Sinne von technischen Systemen entwickeln. Insbesondere Produktentwickler beziehungsweise für die Produktentwicklung verantwortliche Personen können als Adressaten genannt werden. Dienstleistungen und immaterielle Produkte, wie zum Beispiel Software, liegen jedoch explizit nicht im Fokus. Dem genannten Adressatenkreis soll mit dem zu entwickelnden Werkzeug schlussendlich eine Möglichkeit geboten werden, um Bauchgefühl und Intuition durch Systematik ersetzen. Es dient in diesem Zusammenhang als Entscheidungsgrundlage zur Lenkung der Entwicklung technischer Systeme.

Das Innovationsmanagement beschäftigt sich im Kern sowohl mit der Entwicklung von Ideen als auch deren erfolgreichen Verwertung in Form von Produkten. Der Bezug dieser Arbeit zum Fachbereich des Innovationsmanagement wird insofern hergestellt, als dass das zu entwickelnde Werkzeug schlussendlich als Grundlage zur *Einschränkung des Suchfeldes zur Ermittlung erfinderischer Aufgaben* dienen soll. Dadurch ist es möglich, fokussiert innovative Systeme zu entwickeln, welche das Potential besitzen erfolgreiche Produkte zu werden. Das zu entwickelnde Werkzeug soll somit im weiteren Sinn das Innovationsklima in Unternehmen fördern.

Die besondere Herausforderung im Umfeld des Innovationsmanagements stellt dabei der äußerst hohe Abstraktionsgrad dar. Es muss ein Werkzeug entwickelt werden, welches es erlaubt reale Systeme in abstrakte Modelle zu transformieren und daraus in weiterer Folge abzuleiten, welche Möglichkeiten zur Weiterentwicklung bestehen. Dies erfordert es, ein hohes Maß an Systematik im Kontext abstrakter wissenschaftlicher Materie beizubehalten, um nicht in erfolgloser Träumerei zu verweilen. Vorstellungskraft und Offenheit, welche Studierende der Fachrichtung Innovationsmanagement im Zuge ihrer Studien durch das Verwenden diverser Methoden erlernen, sind dabei in höchstem Maße von Wert.

1.4 Gliederung der Arbeit

In diesem Abschnitt wird die Gliederung dieser Arbeit kurz dargestellt. Einleitend werden theoretische Grundlagen sowie relevante Begriffe anhand einer Literaturrecherche vorgestellt. Insbesondere soll dabei die Theorie zur Lösung erfinderischer Probleme und die Widerspruchorientierte Innovationsstrategie in Verbindung mit der allgemeinen Systemtheorie betrachtet werden. Im Zentrum der Literaturrecherche steht die Erarbeitung von Grundlagen bezüglich Systemen, deren Aufbau sowie Entwicklungsverlauf. Auf dieser Basis erfolgt die Definition eines Werkzeuges, welches zur systematischen Identifikation von Entwicklungsniveaus und Entwicklungskorridoren in technischen Systemen geeignet ist. Im darauffolgenden praktischen Teil wird einleitend festgelegt, welche Ziele mit der praktischen Anwendung des Werkzeuges verfolgt werden und in welcher Form Vorbereitungen im Sinne von Rahmenbedingungen nötig sind. In weiterer Folge werden die Anwendung des Werkzeuges und die direkt daraus gewonnenen Erkenntnisse beschrieben.

Zum Abschluss werden die gesammelten Erkenntnisse aus der Anwendung des Analysewerkzeugs erörtert. Insbesondere Verwertbarkeit und Nutzen sowie Ableitungen für die Praxis sind hier von zentraler Bedeutung. In weiterer Folge werden im Kontext von Interpretation und Conclusio die Forschungsfragen beantwortet. Zusätzlich erfolgt ein Ausblick auf die zukünftige, potentielle Weiterentwicklungen des Werkzeuges. Schlussendlich werden offene Fragestellungen, welche im Zuge dieser Arbeit nicht vollständig betrachtet werden konnten, angeführt. Die sequentielle Gliederung der Arbeit wird in der folgenden Abbildung 1 im Sinne eines grafischen Bezugsrahmens dargestellt.

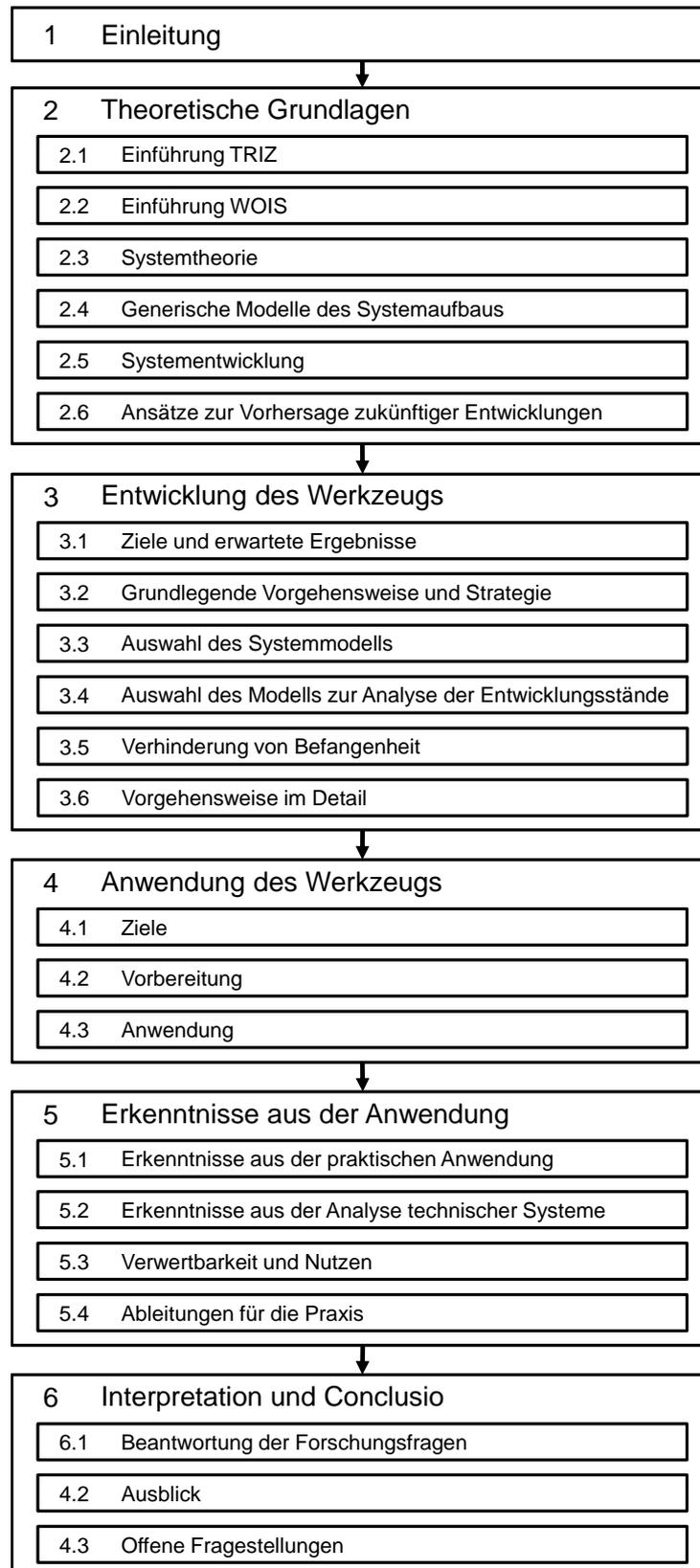


Abbildung 1: Gliederung der Arbeit, Quelle: Eigene Darstellung

2 THEORETISCHE GRUNDLAGEN

„What kind of process can this be which unlike all others is not subject to control?“²

In diesem Kapitel werden themenrelevante Begriffe beschrieben und ihre Beziehung zueinander erörtert. Als Basis für die Beantwortung der Forschungsfragen wird dabei grundsätzlich auf zwei Methodenwerke zurückgegriffen. Einerseits ist dies die *Theorie des erfinderischen Problemlösens* oder *Theorie zur Lösung erfinderischer Probleme* (теория решения изобретательских задач, TRIZ), andererseits die *Widerspruchorientierte Innovationsstrategie* (WOIS). In den folgenden Abschnitten werden diese beschrieben und der Grundstein für Ausführungen in den weiteren Kapiteln in Form einer Literaturrecherche gelegt. Einleitend wird TRIZ als Werkzeugsammlung zur Analyse und Lösung von technischen Problemen erörtert, um in weiterer Folge einen Bezug zu WOIS und den darin enthaltenen Methoden und Strukturen herzustellen.

2.1 TRIZ

In diesem Abschnitt werden die Grundlagen von TRIZ erörtert. Ziel ist es, ein fundamentales Verständnis für die darin enthaltene Denkweise und daraus folgend einen theoretischen Rahmen in Bezug auf diese Arbeit zu schaffen. Zu Beginn wird TRIZ definiert sowie die Entwicklung dieser Methodensammlung dargestellt. In weiterer Folge werden die fundamentalen Ideen von TRIZ sowie abschließend die Anwendungsgebiete behandelt, in denen TRIZ hauptsächlich eingesetzt wird.

2.1.1 Definition und Entwicklung

TRIZ wurde in den 1950er Jahren in der ehemaligen Sowjetunion entwickelt. Es unterstützt Ingenieure und Naturwissenschaftler bei der Lösung von erfinderischen Problemen durch Wiederverwendung von Wissen vorangegangener Erfinder und stellt dafür eine Sammlung an Werkzeugen zur Verfügung, um Probleme aus verschiedensten Blickwinkeln zu lösen.³ TRIZ stellt einen systematischen Zugang in allen Schritten des Prozesses dar und beinhaltet eine Vielzahl an Werkzeugen und Strategien zur erfinderischen Lösung anspruchsvoller Problemstellungen.⁴ Zu diesem Zweck wird, wie in Abbildung 2 dargestellt, die Prämisse verfolgt, spezifische Probleme zu abstrahieren, dazu abstrakte Lösungen zu erarbeiten und diese schlussendlich in eine spezifische Lösung zu transformieren.

² Altshuller (1984). Vorwort.

³ Vgl. Möhrle (2005), S. 3.

⁴ Vgl. Altshuller (1999), S. 67.

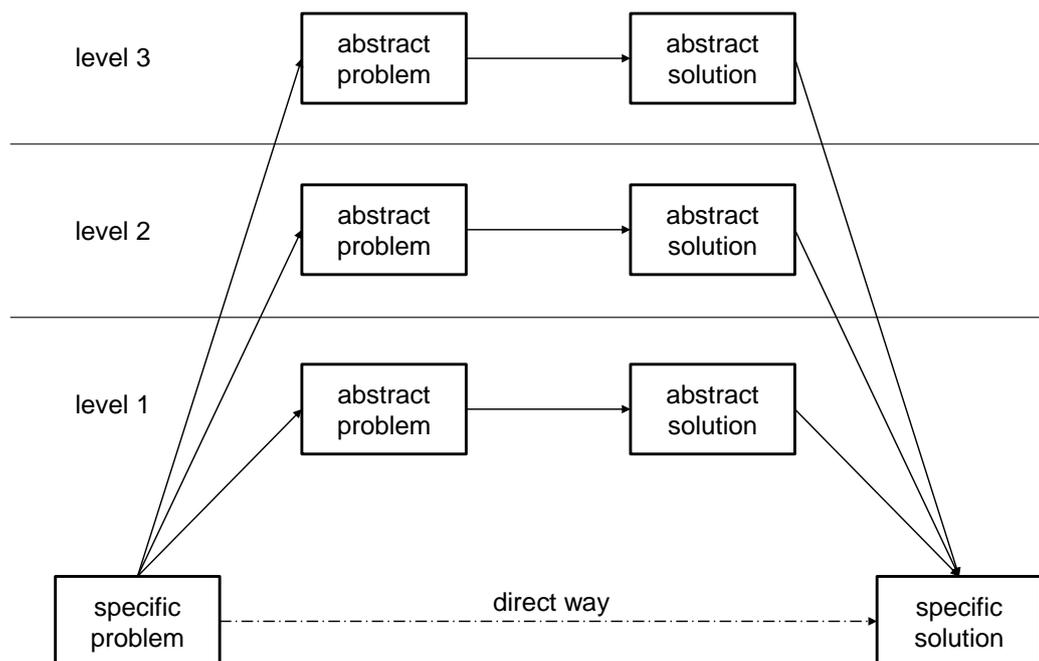


Abbildung 2: Problemlösung mit Werkzeugen aus TRIZ auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen, Quelle: In Anlehnung an Möhrle (2005), S. 4.

Historisch betrachtet kann festgestellt werden, dass TRIZ von seinen Anfängen bis zum heutigen Tage stetig weiterentwickelt wurde. Die ersten Ansätze und Ideen für diese Denkweise können in die Jahre 1946-1949 zurückdatiert werden. Während dieser Zeit erkannte der Schöpfer von TRIZ, Genrikh Saulovitsch Altshuller, dass der Entwicklung von Technologie Systematik zu Grunde liegt und ein Kernelement der erfinderischen Lösung die *Bewältigung technischer Widersprüche* darstellt. Daraus ergab sich für ihn die Feststellung, dass dem erfinderischen Prozess nicht Zufall und unkontrollierte Kreativität, sondern zielgerichtete Entwicklungen zu Grunde liegen.⁵ 1956 wurde der Artikel *About Technical Creativity* veröffentlicht, welcher erstmalig zentrale Elemente dieser Vorgehensweise, wie zum Beispiel die ersten Gesetze des Aufbaus technischer Systeme, enthielt.⁶

Den ersten Namen erhielt die entwickelte Methodensammlung 1963, zu welchem Zeitpunkt diese noch als *Algorithmus zur Lösung der Erfindungsprobleme* (Алгоритм решения изобретательских задач, ARIZ) bezeichnet wurde. Die Bezeichnung TRIZ wurde erstmals 1970 im Rahmen eines Trainingsprogrammes in der Informationsschrift *Theory and Practice of Solving Inventive Problems: A Training Program* verwendet.⁷ 1979 veröffentlichte Altshuller mit *Creativity as an Exact Science* das in diesem Kontext als zentrales Werk angesehene Buch. Parallel dazu schuf er eine *Theorie der Entwicklung von technischen Systemen* (Теория Развития Технических Систем, TRTS), welche in weiterer Folge als die *Neun Gesetze der Entwicklung technischer Systeme* in TRIZ aufgenommen wurde.⁸

⁵ Vgl. Souchkov (2008), S. 1.

⁶ Vgl. Altshuller/Shapiro (1956).

⁷ Vgl. Souchkov (2008), S. 3.

⁸ Vgl. Souchkov (2008), S. 4.

Bis ins Jahr 1988 erfolgte die Entwicklung von TRIZ, welches bis zu diesem Zeitpunkt noch Synonym mit ARIZ betitelt wurde, hauptsächlich durch Altshuller selbst. Bereits mit der Veröffentlichung der seiner Meinung nach ausreichend entwickelten Version im Jahre 1985 begann er, seinen Entwicklungsfokus auf andere Bereiche, wie zum Beispiel die Untersuchung kreativer Persönlichkeiten, zu setzen. Dementsprechend wird der Zeitraum von 1946 bis 1980 auch als die *Klassische Ära* von TRIZ bezeichnet.⁹ Mit der Gründung der *TRIZ Association* 1989 und der Veröffentlichung der Zeitschrift *Journal of TRIZ* im darauffolgenden Jahr begann der Kern der Entwicklung von TRIZ nicht mehr von Altshuller selbst, sondern von der um TRIZ begründeten Gemeinschaft auszugehen. 1998, im Jahr seines Todes, veröffentlichte Altshuller, um den Verdienst bestimmter Persönlichkeiten im Umfeld von TRIZ Respekt zu zollen, eine Liste von 65 *TRIZ Masters* in Anerkennung ihrer Leistungen. Auch nach seinem Tod schritt die Weiterentwicklung von TRIZ voran und ist bis heute nach wie vor in Gange.¹⁰

Im Umfeld dieser Arbeit, die hauptsächlich den Aufbau und die Entwicklung technischer Systeme behandelt, findet grundsätzlich das Schaffenswerk von Altshuller Anwendung. Sofern sinnvoll und benötigt werden alternative, aktuellere Konzepte ebenso aus Quellen bezogen, welche im *TRIZ Body of Knowledge* enthalten sind. Auf den Inhalt dieser Sammlung einigten sich die International TRIZ Association, das Altshuller Institute for TRIZ Studies und die European TRIZ Association. Ziel dieser Übereinkunft war es, eine klare Definition und Abgrenzung von TRIZ zur Verfügung zu stellen.¹¹ Folgend werden nun Grundkonzepte und fundamentale Ideen von TRIZ im Kontext dieser Arbeit betrachtet, um einen Bezug zur behandelten Thematik und den damit verbundenen Forschungsfragen herzustellen.

2.1.2 Grundkonzepte und Fundamentale Ideen

In diesem Abschnitt werden Grundkonzepte und fundamentale Ideen von TRIZ behandelt. Zu Beginn ist es notwendig, den Quellbestand von TRIZ einzugrenzen. Wie in Abschnitt 2.1.1 abschließend erwähnt wurden gemeinschaftlich durch mehrere Organisationen Bestrebungen betrieben, um den Kern von TRIZ klar zu definieren und streng einzugrenzen. Der Verlauf der definierten Grenzen zur Aufnahme in diesen Wissensbestand erfolgte dabei für Konzepte, Komponenten oder Werkzeuge von TRIZ anhand folgender Kriterien:¹²

- Verwendung in einem Großteil von Schulungseinrichtungen für TRIZ. Aufgrund dieser Einschränkung wurden hauptsächlich Werke inkludiert, welche entweder von Altshuller selbst oder mit seiner Unterstützung entwickelt wurden.
- Verwendung in einem Großteil der nichtkommerziellen Veröffentlichungen zu TRIZ, welche durch die in Abschnitt 2.1.1 genannten TRIZ Master veröffentlicht wurden.
- Verwendung in der Mehrheit der TRIZ Kurse, welche zu diesem Zeitpunkt angeboten wurden.

⁹ Vgl. Madara (2015), S. 88f.

¹⁰ Vgl. Souchkov (2008), S. 4f.

¹¹ Vgl. Litvin/Petrov/Rubin/Fey (2007), S. 1.

¹² Vgl. Litvin/Petrov/Rubin/Fey (2007), S. 2.

Auf Basis dieser Einschränkungen werden folgend die daraus resultierenden Grundkonzepte als Kern von TRIZ dargestellt, um diese im Kontext dieser Arbeit anzuwenden. Zu Beginn ist diesbezüglich als erste philosophische Grundlage von TRIZ die darin enthaltene Dialektik zu nennen, welche darauf abzielt, systematisch den Prozess der erfinderischen Problemlösung darzustellen.¹³ Altshuller teilt diesen Ablauf logisch in drei beziehungsweise fünf Hauptphasen ein, welche es sequentiell zu durchlaufen gilt und die in Abbildung 3 im Überblick grafisch dargestellt werden.¹⁴ Der neuere, fünfstufige Algorithmus aus 1971 wird dabei von Altshuller präferiert, da er die Analyse selbst erleichtert und darauf aufbauend in folgenden Phasen bessere Ergebnisse erzielt werden können.

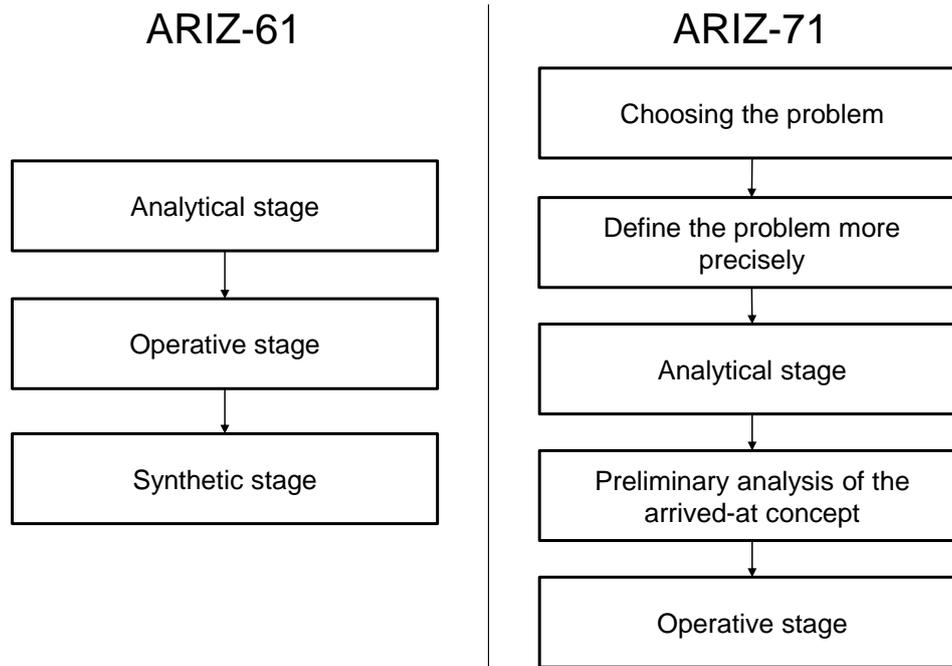


Abbildung 3: Dialektik in ARIZ-61 und ARIZ-71, Quelle: Eigene Darstellung

Als zweites Grundkonzept kann die *gerichtete Evolution technischer Systeme* genannt werden. In Bezug auf diese Arbeit stellt es ein zentrales Element zur Erarbeitung der Forschungsfragen dar. Die Ansätze bezüglich der Entwicklung von technischen Systemen werden in Abschnitt 2.5 detailliert behandelt und an dieser Stelle ausschließlich zur Vorstellung der grundlegenden Konzepte dargelegt. Auf Basis der Untersuchung von bestehenden technischen Systemen und deren Entwicklungsgeschichte konnten bereits 1956 die ersten Theorien und Ansätze für die Gesetze der Entwicklung technischer Systeme aufgestellt werden. Grundsätzlich können die folgenden Ideen in diesem Umfeld genannt werden:¹⁵

- Einzelne Elemente einer Maschine, eines Mechanismus oder auch eines Prozesses arbeiten zusammen.
- Die Entwicklung ist uneinheitlich. Manche Elemente entwickeln sich schneller, während andere zurückbleiben.

¹³ Vgl. Altshuller (1999), S. 103.

¹⁴ Vgl. Altshuller (1999), S. 104–119.

¹⁵ Altshuller/Shapiro (1956).

- Die geplante, zielgerichtete Entwicklung eines Systems im Sinne einer Maschine, eines Mechanismus oder auch eines Prozesses ist möglich, solange diese den Widerspruch zwischen weiterentwickelten und unterentwickelten Elementen nicht erhöht.
- Der Widerspruch zwischen Elementen ist eine Entwicklungsbremse für das gesamte System. Die Lösung des Widerspruchs entspricht einer erfinderischen Tätigkeit.
- Eine radikale Änderung in einem Teil des Systems basiert auf dem Bedarf für mehrere funktionelle Änderung in anderen Teilen des Systems.

In engem Zusammenhang mit der gerichteten Evolution technischer Systeme steht der Begriff des *technischen Systems* selbst, welcher den Systembegriff erweitert. Als System kann jedwede Entität, unabhängig ihrer Natur betrachtet werden.¹⁶ Es besteht auf jeder Stufe seiner Zerlegung des Systems aus interagierenden Elementen und diese wiederum ebenfalls aus weiteren Elementen bis hinab zur Grenze der elementaren Partikel. Dieses Limit wird jeweils auf Basis des Standes der modernen Wissenschaft festgelegt.¹⁷ Ein technisches System definiert sich im Gegensatz dazu über verschiedene Eigenschaften, die diesem eigen sind. Ist eine dieser Eigenschaften nicht als gegeben anzusehen, so liegt kein technisches System vor. Shulyak bezeichnet ein technisches System generisch als *alles, was eine Funktion erfüllt* und führt als Beispiele Automobile, Bücher, Messer und Stifte an.¹⁸ Um dies zu konkretisieren, wird auf die empfohlene Definition¹⁹ gemäß Salamatov verwiesen, welche dem technischen System vier Grundeigenschaften zuschreibt:²⁰

- Funktionalität: Das System wurde für den Zweck der Erfüllung einer nützlichen Funktion erstellt.
- Integrität und Struktur: Das System besteht aus Elementen beziehungsweise Teilen und hat demzufolge eine Struktur.
- Organisation: Die Elemente eines Systems sind miteinander verbunden und sind in Zeit und Raum organisiert.
- Systemqualität: Jedes System in seiner Gesamtheit entspricht nicht nur der Summe seiner Teile, sondern ist so aufgebaut oder verbunden, dass eine spezielle Qualität erkennbar ist. Als Beispiel kann eine Menge an Buchstaben (U, A, H, S) genannt werden, die durch Ihre Anordnung in der Form H, A, U, S an Qualität und Bedeutung über die Summe ihrer Teile hinaus gewinnen.

Aus der Definition des Begriffes des technischen Systems ergibt sich in weiterer Folge Bedarf zur Klärung des Terminus Funktion. Funktionen sind der Zweck, zu dem technische Systeme existieren. Wird zum Beispiel ein Produkt von einem Kunden erworben, so bezahlt er grundsätzlich für die Funktionen, die das Produkt erfüllt. Um eine Funktion zu definieren, wird sowohl ein Werkzeug als auch ein Objekt benötigt. Das Objekt stellt in diesem Zusammenhang die Entität dar, welche durch das Werkzeug beeinflusst wird. Die Formen dieser Beeinflussung sind mannigfaltig, wie zum Beispiel bewegen, messen, wiegen,

¹⁶ Vgl. Litvin/Petrov/Rubin/Fey (2007), S. 3.

¹⁷ Vgl. Fey/Rivin (2005), S. 11.

¹⁸ Vgl. Altshuller/Shulyak/Fedoseev (1998).

¹⁹ Vgl. Litvin/Petrov/Rubin/Fey (2007), S. 4.

²⁰ Vgl. Salamatov (1991).

trennen, verbinden oder beschichten. Das Werkzeug stellt das Mittel zur Beeinflussung des Objektes dar, da dieses sich im Regelfall nicht selbst beeinflussen kann. Die Begriffe Funktion, Werkzeug und Objekt können daher im Umfeld von TRIZ folgend definiert werden:²¹

- Eine Funktion ist eine beabsichtigte, direkte Aktion des Werkzeugs am Objekt.
- Ein Objekt ist eine zu beeinflussende Komponente (Aktionsempfänger).
- Ein Werkzeug ist eine Komponente, welche die physikalischen Parameter des Objektes direkt beeinflusst.

Das Ziel der Entwicklung technischer Systeme und der damit verbundenen Umsetzung erforderlicher Funktionen ist die *ideale technische Maschine*. Wird eine neue Maschine erfunden, so ist diese in Bezug auf ihre Entwicklung als schwach anzusehen und wird durch viele Erfindungen sequentiell weiterentwickelt. Zwischen diesen Verbesserungen steht die Entwicklung still, wobei jedoch eine Verkürzung dieser Intervalle über den Kurs der Geschichte beobachtet werden konnte. Aber nicht jeder Entwicklungsschritt löst neue Probleme. Dies ist zumeist nur sporadisch der Fall. Während der Großteil der Entwickler dieser Maschinen auf Probleme wartet, die es zu lösen gibt, ist nur eine Minderheit dieser Personen damit beschäftigt, aktiv nach Lösungen für bisher ungelöste Probleme zu suchen.²²

Jede Maschine strebt dabei nach einer idealen Stufe der Entwicklung. Es existieren jedoch unterschiedliche Wege, um dieses Ziel zu erreichen. Am Ende der Entwicklung konvergieren die Pfade und alle Wege der technischen System- beziehungsweise Maschinenentwicklung enden bei der idealen Maschine. Diese stellt ein willkürliches, fiktives, technisches System dar, welches die folgenden Eigenschaften innehat:²³

- Gewicht, Volumen und Fläche des Objektes, mit dem die Maschine interagiert, stimmen mit Gewicht, Volumen und Fläche der Maschine selbst überein.
- Alle Teile des Systems erfüllen nützliche Funktionen mit der größtmöglichen Leistung.
- Das Aussehen der idealen Maschine ist irrelevant und erzeugt ausschließlich psychologische Barrieren in der Weiterentwicklung der Maschine.

Die ideale Maschine selbst stellt dabei nicht das zu erreichende Ziel dar, sondern ist ein Mittel zur Aufgabenbeschaffung. Diese steht also für ein System, dass in seiner Idealität alle erforderlichen Funktionen erfüllt, ohne zu existieren, mit demselben Resultat, als würde es existieren. Implizit kann durch dieses also festgestellt werden, dass weder ein System jemals perfekt erfunden, noch zur absoluten Perfektion weiterentwickelt wurde oder jemals werden kann. Die ideale Maschine stellt somit im Umfeld von TRIZ die Richtung zur Suche der Lösung und somit eine grobe Eingrenzung des Suchfeldes zur Verfügung. Dies schließt Intuition unter keinen Umständen aus, sondern unterstützt Intuition durch die Verwendung eines strukturierten Denkprozesses.²⁴

²¹ Vgl. Fey/Rivin (2005), S. 14f.

²² Vgl. Altshuller (1999), S. 77–83.

²³ Vgl. Altshuller (1999), S. 84f.

²⁴ Vgl. Altshuller (1999), S. 86.

Ein geeignetes Mittel zur Formulierung und der damit verbundenen Modellierung von Problemen zur aktiven Weiterentwicklung von technischen Systemen stellt die sogenannte *Stoff-Feld-Analyse* dar. Diese basiert auf der Idee, dass das kleinstmögliche, funktionsfähige System aus drei Komponenten besteht: Zwei Stoffe und ein Feld. Ein Stoff ist in diesem Zusammenhang als ein beliebiges System unabhängig von seiner Komplexität definiert. Der Begriff Feld ist im Gegensatz dazu sehr breit definiert und reicht von einer physikalischen bis zu beinahe jedweder Interaktion zwischen den Stoffen.²⁵ Die Stoff-Feld-Analyse dient im Umfeld von TRIZ zur Beschreibung der in Abbildung 4 dargestellten Beziehung zwischen Objekten, Werkzeug und Energie.

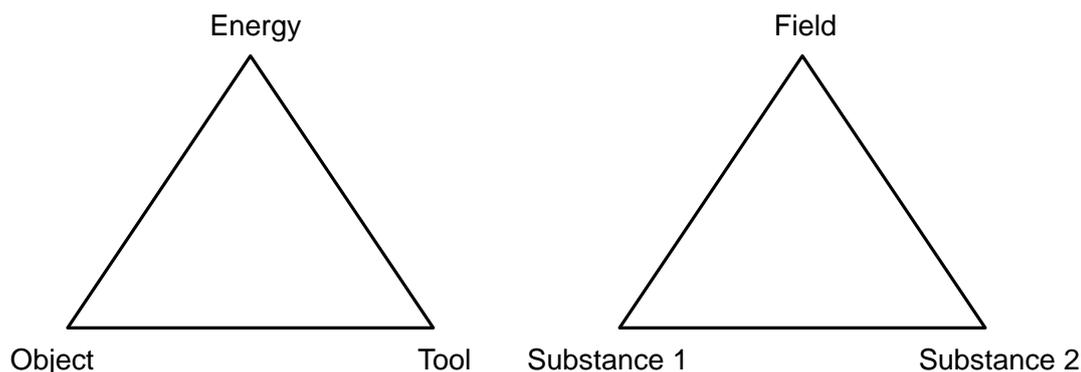


Abbildung 4: Elemente eines minimalen technischen Systems und minimale, vollständige Stoff-Feld Struktur, Quelle: In Anlehnung an Fey/Rivin (2005), S. 48f.

Eng verbunden mit dem Begriff der idealen Maschine ist der *ideale Stoff*, der ebenso im TRIZ-Kanon enthalten ist.²⁶ Der ideale Stoff definiert sich in diesem Zusammenhang und in Bezug auf die Stoff-Feld-Analyse als einer, der nicht existiert, aber seine Funktionen als Teil seiner Eigenschaften trotz alledem zur vollen Erfüllung der Anforderungen ausführt.²⁷ Der ideale Stoff ist dabei immer passend zur idealen Maschine zu wählen.²⁸ Das fiktive Ziel der Entwicklung des technischen Systems stellt das *ideale Endresultat* (Ideal Final Result, IFR) dar. Dieses dient als Orientierungshilfe zur Findung und Umsetzung einer Lösung für ein spezifisches Problem. Aufgrund des fiktiven Charakters ist das IFR per Definition der bestmögliche, im Regelfall aber nicht erreichbare Systemzustand. Die Grundidee bei der Entwicklung von technischen Systemen besteht dabei darin, sich zu jedem Zeitpunkt als Ziel das IFR vor Augen zu halten und nur so wenig als irgend möglich von diesem abzuweichen. Als abstraktes, generisches Beispiel kann in diesem Kontext ein technisches System genannt werden, das, ohne dass etwas verändert, verkompliziert oder hinzugefügt wird alle negativen Effekte ablegt und weiterhin alle erforderlichen, nützlichen Funktionen erfüllt. In der klassischen Denkweise von Ingenieuren ist in solchen Szenarien zumeist eine Bereitschaft vorhanden, für nützliche Veränderungen an Systemen negative Auswirkungen ebenso in Kauf zu nehmen. Im IFR wird der negative Effekt niemals akzeptiert, außer, um ihn in eine nützliche Funktion zu überführen.²⁹

²⁵ Vgl. Altshuller (1984), S. 52f.

²⁶ Vgl. Litvin/Petrov/Rubin/Fey (2007), S. 3.

²⁷ Vgl. Altshuller (1984), S. 83.

²⁸ Vgl. Petrov/Seredinski (2005), S. 203f.

²⁹ Vg. Altshuller (1984), S. 82f.

Am Anfang einer jeden Entwicklung steht in TRIZ immer die *erfinderische Situation*. Sie ist der Ausgangspunkt für alle Ausführungen und dient als Kontext zur Formulierung des *erfinderischen Problems* und in weiterer Folge des IFR. Eine erfinderische Situation definiert sich in diesem Zusammenhang als jede technische Situation, an der mehrere technische Systeme³⁰ beteiligt sind, welche unerwünschte, verbesserungswürdige Eigenschaften innehaben.³¹ Der nächste, elementare Schritt ist die Ableitung beziehungsweise Auswahl eines erfinderischen Problems aus der erfinderischen Situation. Die Situation kann in diesem Zusammenhang als Rahmen für die betrachteten Systeme bezeichnet werden. Die Lösung oder Verbesserung einer Eigenschaft in diesem Verbund an Systemen hat die Verbesserung des gesamten Systemkomplexes zur Folge. Das erfinderische Problem beschäftigt sich in weiterer Folge nur noch mit einem einzigen technischen System und schlussendlich wird als Vorbereitung für die Stoff-Feld-Analyse auf zwei Stoffe und ein Feld reduziert. Mit jedem Schritt wird das Suchfeld weiter eingegrenzt, und die Diagnose exakter ausgestaltet.³²

Um die Vorgangsweise des erfinderischen Prozesses verstehen zu können, ist es als eines der Grundkonzepte von TRIZ ebenso notwendig die Stufen von Erfindungen zu erörtern. Dabei wird der kreative Prozess in Stufen (levels) und Phasen (stages) unterteilt und als Matrix dargestellt. Die folgenden Stufen wurden dabei identifiziert:³³

- Stufe 1: Verwendung eines existierenden Objekts ohne Berücksichtigung weiterer Objekte.
- Stufe 2: Auswahl eines Objektes aus einer Menge an Objekten.
- Stufe 3: Teilweise Änderung des ausgewählten Objektes.
- Stufe 4: Entwicklung eines neuen Objektes oder die vollständige Änderung des ausgewählten Objektes.
- Stufe 5: Entwicklung eines neuen Systemkomplexes.

Auf Basis dieser Einteilung und mehreren Befragungen und persönlicher Erfahrungen von erfinderisch tätigen Personen konnte Altshuller feststellen, dass im erfinderischen Prozess für die Lösung von Problemen auf höheren Stufen Methoden angewendet werden, welche nur für niedrigere Stufen relevant sind. Das bedeutet, dass es zwischen den Stufen eine quantitative Differenz in Form von Versuchen beziehungsweise Experimenten gibt.³⁴ Als qualitative Differenz identifiziert Altshuller diesbezüglich das betrachtete Umfeld, welches vom Kontext eines Berufszweiges auf Stufe eins bis zu den Grenzen der gegenwärtigen Wissenschaft auf Stufe fünf und einer damit verbundenen, neuen wissenschaftlichen Erkenntnis reicht. Unsere Gehirne sind darauf trainiert, einfache Lösungen für einfache Probleme zu finden, aber Mechanismen für exakte und langwierig entwickelte Lösungen sind ihm fremd. Dies stellt eine zentrale Ursache für Altshullers *Erfindung einer Methode des Erfindens* dar.³⁵

³⁰ Vgl. Altshuller/Shulyak (2004), S. 116.

³¹ Vgl. Altshuller (1975).

³² Vgl. Altshuller/Shulyak (2004), S. 117.

³³ Vgl. Altshuller (1999), S. 43.

³⁴ Vgl. Altshuller (1999), S. 52f.

³⁵ Vgl. Altshuller (1999), S. 55.

Zur Lösung erfinderischer Probleme auf den zuvor genannten Stufen ist das Konzept der *Widersprüche* in TRIZ verankert. Im Gegensatz zu Problemen bezüglich Technik, Ingenieurwesen oder Design ist es bei erfinderischen Problemen nötig, einen Widerspruch zu überwinden. Altshuller stellt im Allgemeinen fest, dass für Lösungen von Problemen erster Stufe kein Widerspruch überwunden werden muss. Es handle sich dabei um Probleme für Designer, nicht aber für Erfinder. Der Widerspruch ist inhärent im Ursprung erfinderischer Probleme enthalten und kann in drei Kategorien eingeteilt werden:³⁶

- *Administrative Widersprüche*: Diese liegen an der Oberfläche des Problems und sind augenscheinlich. Um diese aufzulösen muss etwas verändert werden. Es ist aber weder bekannt, wie dies zu erfolgen hat, noch in welcher Richtung die Lösung liegt.
- *Technische Widersprüche*: Ein Element oder Parameter eines technischen Systems wird verbessert, was eine Verschlechterung eines anderen Elementes oder Parameters nach sich zieht. Nur durch die bloße Feststellung des Widerspruches ergibt sich keine direkte, potentielle Antwort darauf. Um den Widerspruch aufzulösen, darf die Qualität aller daran beteiligten Elemente oder Parameter niemals niedriger sein als im Ausgangszustand des technischen Systems.
- *Physikalische Widersprüche*: Der Widerspruch wird zum absurden und eigentlich unzulässigen Extrem. Als Beispiel kann ein Stoff angeführt werden, der gleichzeitig flüssig und fest vorliegt. Die Stärke des physikalischen Widerspruches liegt in seiner Auflösung, beispielsweise durch eine temporäre, örtliche Trennung der flüssigen und festen Teile des Stoffes.

TRIZ stellt zur Lösung erfinderischer Probleme und der damit verbundenen Widersprüche, insbesondere solcher technischer Natur, geeignete Methoden zur Verfügung. Das Kernelement dafür stellen die Gesetze der Entwicklung technischer Systeme dar, welche in Abschnitt 2.5 im Detail erörtert werden.³⁷

Zum Abschluss der Vorstellung der Grundkonzepte von TRIZ wird folgend kurz der *9-Fenster-Ansatz* vorgestellt, welcher auch als *talentiertes Denken* oder *System Operator* bezeichnet wird.³⁸ Dieser wird eingesetzt, um technische Systeme und ihre Elemente oder auch erfinderische Probleme im Kontext ihrer Umgebung zu verstehen. Dabei werden sowohl das System als auch seine Elemente und das dem System übergeordnete System betrachtet. Aus diesen drei Ebenen entstehen durch die jeweilige Betrachtung in der Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft neun Blickweisen auf das betrachtete System. Das Ziel dabei ist es, die Entwicklung des technischen System, seiner Umwelt und seiner Teile über den Verlauf der Zeit zu betrachten. Ändert sich das System, so müssen sich sowohl über- als auch untergeordnete Systeme ebenfalls ändern. Die dabei gewählte Granularität mit neun Teilen, welche in Abbildung 5 dargestellt wird, ist laut Altshuller nur als simplifizierte Sicht anzusehen. Talentiertes Denken soll nicht bei drei System- und Zeitebenen enden, sondern es sollen beliebig viele Zeiten und Ebenen betrachtet werden.³⁹

³⁶ Vgl. Altshuller (1984), S. 27ff.

³⁷ Vgl. Altshuller (1984), S. 30f.

³⁸ Vgl. Ilevbare/Probert/Phaal (2013), S. 32.

³⁹ Vgl. Altshuller (1984), S. 119–122.

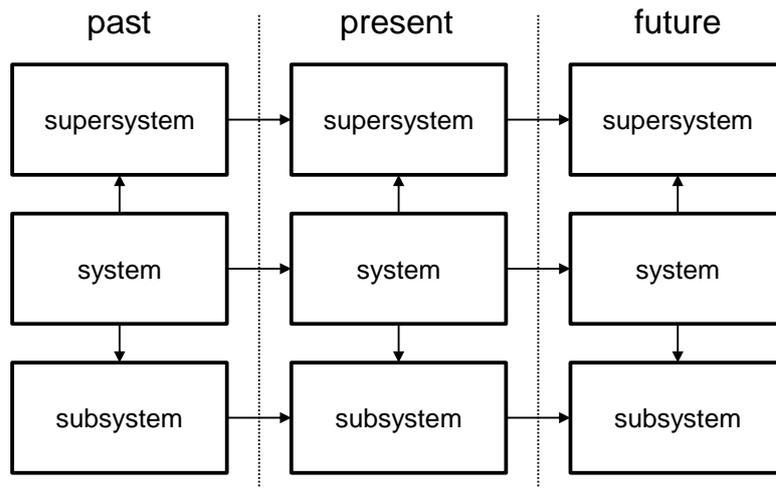


Abbildung 5: 9-Fenster-Ansatz, Quelle: In Anlehnung an Altshuller (1984), S. 120.

Alle in diesem Abschnitt genannten Konzepte ergeben die Basis, die TRIZ innewohnt. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird im Anlassfall auf anwendbare Konzepte und Grundgedanken verwiesen, um eine Verbindung zur Methodenwelt von TRIZ herzustellen. Folgend wird nun dargestellt, in welchen Gebieten TRIZ anwendbar ist, um einen Überblick über die potentielle Nutzung und Reichweite dieser Methodensammlung zur Verfügung zu stellen.

2.1.3 Anwendungsgebiete

Nachdem in Abschnitt 2.1.2 die Grundkonzepte von TRIZ erörtert wurden, sollen nun die Anwendungsgebiete von TRIZ betrachtet werden. Grundsätzlich kann diesbezüglich primär per Definition die Lösung technischer Probleme angeführt werden, wobei dabei die Erkennung unterschiedlicher valider Lösungen für dieselben Probleme ebenso möglich und relevant ist. ARIZ als Bestandteil von TRIZ dient im Gegensatz dazu dem Zweck, die *beste* Lösung für ein Problem zu generieren.⁴⁰ Daraus lässt sich ableiten, dass eine der Stärken von TRIZ die Generierung von mehreren potentiellen Lösungswegen für technische Probleme ist.

Im Umfeld von Methoden zur Lösung von Problemen, welche nicht technischer Natur sind, kann TRIZ als Bestandteil von *systematischem kreativem Design* betrachtet werden und stellt Werkzeuge zur Verfügung, welche der Generierung von Ideen, beispielsweise im Zuge eines Designprozesses, dienen. Zumeist wird dafür auf das *Brainstorming* zurückgegriffen. TRIZ bietet für diesen Anwendungsfall jedoch systematische Ansätze und Strategien.⁴¹ Obwohl TRIZ also grundsätzlich für Anwendungen mit technischem Kontext konzipiert wurde, ist die Anwendung auch in nicht-technischen Bereichen möglich. So werden Methoden von TRIZ auch in einem Business- und Managementumfeld angewandt, da Innovationen als einer der Haupttreiber für den Erfolg von Unternehmen angesehen werden und dadurch beispielsweise ein effektiveres Risikomanagement möglich ist. In Bezug auf Organisationen lassen sich diverse Grundprinzipien aus TRIZ, wie zum Beispiel die Stoff-Feld Analyse oder auch das Konzept des

⁴⁰ Vgl. Altshuller (1999), S. 103f.

⁴¹ Vgl. Mann (2002), S. 1.

IFR direkt anwenden.⁴² Im Fokus dieser Arbeit steht jedoch die Anwendung von TRIZ in Verbindung mit technischen Systemen, welche in Abschnitt 2.1.2 einführend und in Abschnitt 2.5 detailliert erläutert wird. Vor allem im Produktentwicklungsprozess wird TRIZ häufig angewendet, da es dabei unterstützt, vor allem die zwei ersten Schritte in einem typischen Produktentwicklungsprozess zu systematisieren und dadurch bessere Ergebnisse zu erzielen. Ein typischer Produktentwicklungsprozess wird in Abbildung 6 dargestellt. Dadurch, dass TRIZ von der Prämisse lebt, dass technische Systeme sich nicht zufällig, sondern entlang von Gesetzmäßigkeiten entwickeln, können die nächsten, wahrscheinlichsten Schritte in der Entwicklung gemäß Theorie prognostiziert und konzipiert werden.⁴³

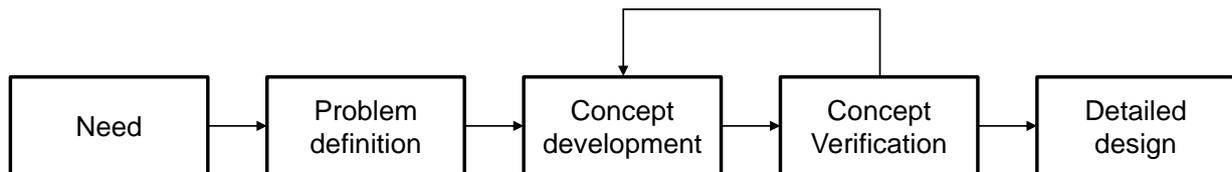


Abbildung 6: Phasen eines typischen Produktentwicklungsprozesses,
Quelle: In Anlehnung an Fey/Rivin (2005), S. 2.

Nachdem nun die Grundlagen von TRIZ als erster Baustein des theoretischen Fundamentes erörtert wurden, folgt eine grundsätzliche Betrachtung der *Widerspruchorientierten Innovationsstrategie*. Diese basiert zu Teilen auf TRIZ, ist aber als eigenständige Methodensammlung und nicht als Variante davon anzusehen. Grundideen aus TRIZ finden sich darin wieder, jedoch erweitert und verfeinert WOIS diese in mehreren Bereichen, so auch in Bezug auf technische Systeme und deren Entwicklungsrichtungen.

2.2 Widerspruchorientierte Innovationsstrategie

„Die meisten Entwicklungsaufgaben, die gestellt werden, sind falsch formuliert, es fragt sich nur, wie sehr.“⁴⁴

Folgend werden die Grundzüge der Widerspruchorientierten Innovationsstrategie erläutert. Als zweite Säule der für diese Arbeit relevanten Theorie ist es analog zu Abschnitt 2.1 Ziel, ein Grundverständnis zu schaffen, während detaillierte Ausführungen und Verweise in den Abschnitten 2.3, 2.4 sowie 2.5 folgen. Einführend wird der Begriff der Widerspruchorientierten Innovationsstrategie definiert und die Entwicklung dieser in weiten Teilen aus TRIZ hervorgegangenen Ansätze über den Verlauf der Zeit betrachtet. In weiterer Folge werden fundamentale Konzepte erörtert und zusätzlich abschließend Anwendungsgebiete für WOIS angeführt.

⁴² Vgl. Mann (2000).

⁴³ Vgl. Fey/Rivin (2005), S. 1–8.

⁴⁴ Linde/Hill (1993), S. 3.

2.2.1 Definition und Entwicklung

Historisch betrachtet können zwei unterschiedliche Strömungen als Quellen des konstruktiven Entwicklungsprozesses angeführt werden. Einerseits ist dies die Konstruktionswissenschaft, welche auf der Kombination von Lösungselementen zur Generierung der maximalen Anzahl von Lösungsvarianten basiert, ohne die dabei auftretende Zielkonflikte zu betrachten. Andererseits kann die von Altshuller erarbeitete Systematik genannt werden, welche ebendiese Zielkonflikte gezielt betrachtet und bei der Entwicklung technischer Systeme berücksichtigt. Die Verschmelzung diese beiden Geisteshaltungen wird als Widerspruchsorientierte Innovationsstrategie bezeichnet und fordert eine gegenseitige methodische Ergänzung durch die geeignetsten Elemente beider Ansätze im Entwicklungsprozess. Dadurch wird die Erhöhung der Entwicklungskreativität im Prozess gefördert. Eine diesbezügliche Grobeinteilung der Methoden wird in Abbildung 7 vorgestellt.⁴⁵

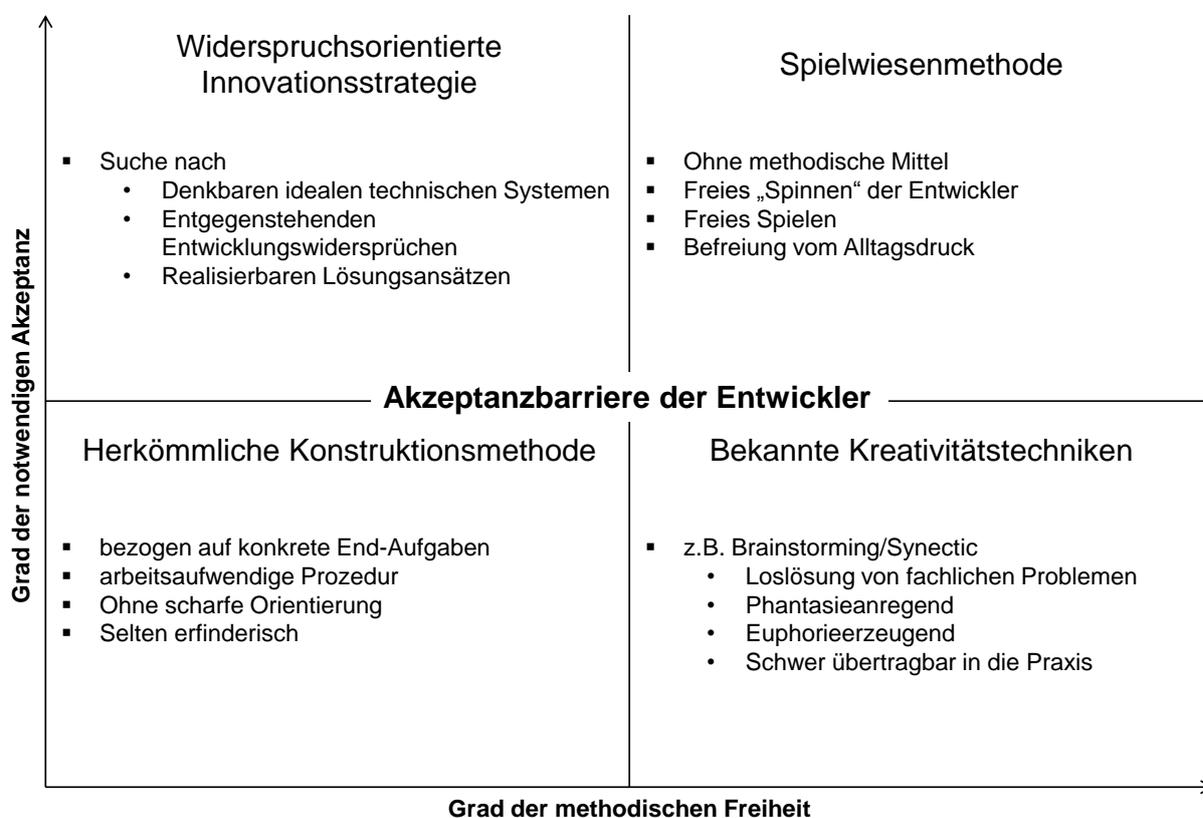


Abbildung 7: Klassifizierung der Methoden zur Erhöhung der Entwicklungskreativität, Quelle: In Anlehnung an Linde/Hill (1993), S. 4.

WOIS findet seinen Ursprung in der 1987 von Hansjürgen Linde erstmalig in Form seiner Dissertation an der Technischen Universität Dresden vorgelegten Forschung. Neben der damals vorherrschenden systematischen Heuristik war es dem verdienten Erfinder gelungen, seine eigene Herangehensweise an eine Entwicklungsstrategie zu schaffen.⁴⁶ 1993 erschienen Auszüge seiner Dissertation inklusive Ergänzungen durch Bernd Hill in Buchform unter dem Titel *Erfolgreich Erfinden: Widerspruchsorientierte*

⁴⁵ Vgl. Linde/Hill (1993), S. 1f.

⁴⁶ Vgl. Thiel (2005).

Innovationsstrategie für Entwickler und Konstrukteure. Dieses Werk stellt eine der Grundsäulen für die theoretische Erarbeitung der relevanten Thematik im Kontext dieser Arbeit dar. 1991 wurde Linde zu einer Professur an der Fachhochschule Coburg berufen und gründete dort in weiterer Folge das *WOIS Institut*. Jährlich wurden dort seit 1998 Symposien mit stetig steigender internationaler Beteiligung aus dem Industriesektor abgehalten.⁴⁷

Folgend werden nun die zentralen Konzepte und Grundideen der Widerspruchsorientierten Innovationsstrategie vorgestellt. Analog zu den Ausführungen in Abschnitt 2.1.2 erfolgt diesbezüglich die Darstellung eines Überblicks, um relevante Grundkonzepte zu erörtern. Dies dient der weiteren Einführung in die Thematik zum Ziel der weiterführenden Vertiefung.

2.2.2 Grundkonzepte und fundamentale Ideen

In diesem Abschnitt erfolgt die Erläuterung der theoretischen Grundlagen von WOIS. Im Gegensatz zu TRIZ ist diese weitaus weniger umfangreich, nichtsdestoweniger ist die Schaffung eines Überblicks notwendig, um auf die relevanten Grundkonzepte im weiteren Verlauf der Arbeit verweisen zu können. WOIS basiert auf der ursächlichen Feststellung, dass der Aufwand für die rechtzeitige Bestimmung geeigneter und erfolgsversprechender Entwicklungsaufgaben zumeist unterschätzt wird. Die Identifikation und Konkretisierung neuer Entwicklungsaufgaben rückt daher in WOIS in den Fokus. Weitaus wichtiger sei es, Entwicklungen auf Basis der rechtzeitig ermittelten, korrekten Aufgaben vorzunehmen, als fachliches Können an den falschen Aufgaben zu vergeuden. Die Aufstellung der richtigen Aufgabe ist dementsprechend das erste zu nennende Grundkonzept von WOIS. Die Lösungsfindung wird im Vergleich dazu nahezu als trivial angesehen.⁴⁸

Oftmals basiert die Auswahl der erfinderischen Aufgabe ausschließlich auf Marktanalysen. Die Erfolgsträchtigkeit dieser Vorgehensweise muss jedoch langfristig angezweifelt werden, da nur solche Aufgaben von den Marktverhältnissen abgeleitet werden können, welche dem Markt selbst bereits bekannt sind. Ziel muss es aber sein, den Markt offensiv zu beeinflussen und dadurch noch unbekannte Bedürfnisse zu erwecken.⁴⁹ Auf der Feststellung, dass die Evolution sowohl in der Natur als auch in technischen Systemen Gesetzmäßigkeiten folgt, wurden jene identifiziert, welche unter dem Aspekt einer zielorientierten Nutzung die Effektivität von Entwicklungsprozessen steigern. Darauf aufbauend kann die Widerspruchsorientierte Innovationsstrategie abstrakt ebenso als die bewusste Identifikation der Nutzbarkeit von Selbstbewegung in den Gesetzmäßigkeiten der Evolution gesellschaftlicher Bedürfnisse, Werte und Ressourcen, der Natur, der Technik und der menschlichen Kreativität definiert werden.⁵⁰

Kreativität als weiteres zentrales Element wird in der Widerspruchsorientierten Innovationsstrategie als die Fähigkeit zur Überwindung von Entwicklungswidersprüchen definiert. Diese wiederum können als Barrieren bei der Weiterentwicklung technischer Systeme, welche zunächst unüberwindbar scheinen, beschrieben werden. Das Ziel dieser Weiterentwicklung ist die Erhöhung der Effektivität des betrachteten

⁴⁷ Vgl. Thiel (2005).

⁴⁸ Vgl. Linde/Hill (1993), S. 3.

⁴⁹ Vgl. Linde/Hill (1993), S. 4.

⁵⁰ Vgl. Linde/Hill (1993), S. 6.

- *Ökonomische Aspekte:* Erzielung langfristiger Wettbewerbsvorteile durch Orientierung an Effektivitätssteigerung anstelle von Effizienzsteigerung und Absicherung der Ergebnisse.
- *Philosophische Aspekte:* Orientierung an Entwicklungen der Gesellschaftsstrukturen und der damit verbundenen Erkenntnisse von Märkten und Bedürfnissen zur Identifikation neuer, effektivitätssteigernder Anforderungen.
- *Psychologische Aspekte:* Basis zur Suche nach innovativen Ansätzen ist das Verlangen, einen neuen Ansatz finden zu wollen und existierende Grenzen aufzubrechen. Dabei werden analoge Erscheinungen aus fremden Bereichen von konkreten Erscheinungen über abstrakte Muster auf konkrete Erweiterungen umgelegt.
- *Evolutionstheoretische Aspekte:* Verdeckte, immer wieder auftretende Merkmale in der Höherentwicklung von Natur, Gesellschaft und Technik definieren auf abstrakter Ebene die Muster erfolgreicher Entwicklungspfade.

Unter Berücksichtigung der genannten Aspekte und dem technischen Widerspruch als Treiber der Kreativität in WOIS kann der Bedarf für eine *innovative Innovationsstrategie* in Abbildung 9 grafisch dargestellt werden.

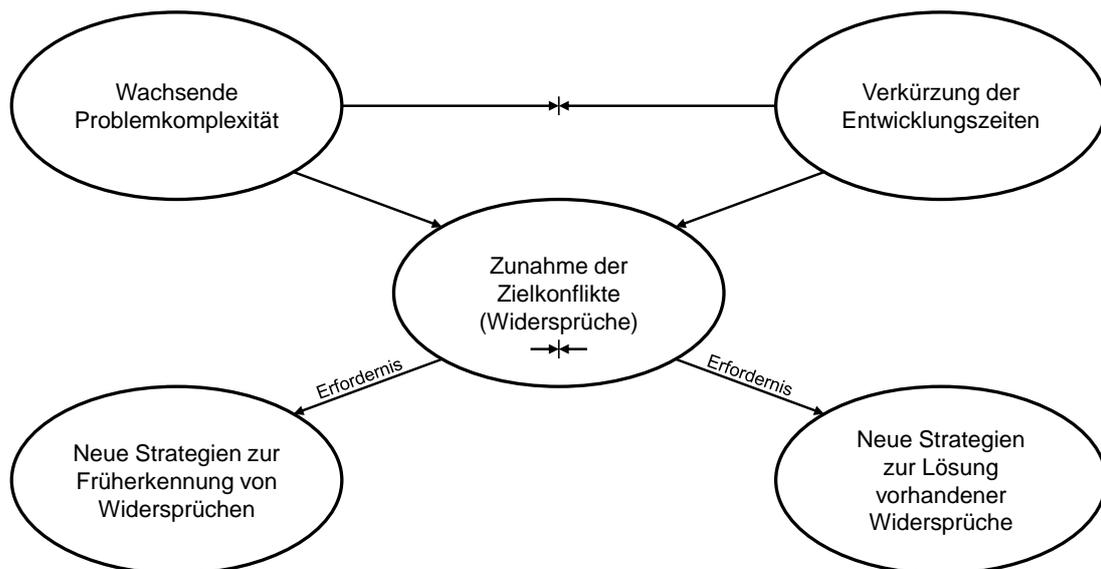


Abbildung 9: Zunahme der Zielkonflikte, Quelle: In Anlehnung an Linde/Hill (1993), S. 4.

Der generelle Erkenntnisprozess in WOIS verläuft immer vom Konkreten über das Abstrakte und schlussendlich wieder zurück zum Konkreten, weshalb metaphorisch auch oft der Begriff der *Vogelperspektive* genannt wird. Unter diesem Aspekt ist es für den kreativen Denkprozess notwendig, bei der Anwendung von WOIS ein Umfeld der emotionalen Sicherheit und psychologischen Freiheit zu schaffen. *Emotionale Unsicherheit* kann einerseits durch die Beteiligung von Personen überwunden werden, welche es erlauben und unterstützen, noch ungesicherte Aussagen vorzubringen. Zusätzlich ist es auf psychologischer Ebene nötig, eine Atmosphäre des Vertrauens, ohne äußere Bewertung und mit einfühlendem Verständnis zu schaffen.⁵⁵

⁵⁵ Vgl. Linde/Hill (1993), S. 9.

Zur Schaffung von *psychologischer Freiheit* als zweitem Faktor ist es unerlässlich, in einem Umfeld tätig zu sein, welches die Freiheit des symbolischen Ausdruckes würdigt und nicht durch Konventionen wie zum Beispiel die Verwendung von Fachtermini eingeschränkt wird. Es existiert also bezüglich der Kreativitätserhöhung das Paradoxon, dass zu ihrer Erhöhung sowohl eine stärkere Strukturierung der Denkprozesse an sich als auch eine Verringerung der Strukturierung des Denkens nötig ist.⁵⁶ Um eine Strukturierung des Denkprozesses zu schaffen, wird in WOIS ein geordneter, in drei Phasen geteilter Problemlösungsprozess vorgeschlagen, welcher im folgenden Abschnitt vorgestellt wird.

2.2.3 Ablauf eines Problemlösungsprozesses

„Ein Problem lösen heißt, sich von dem Problem lösen.“⁵⁷

Grundsätzlich basiert WOIS auf der Idee, dass die Entwicklung technischer Systeme entlang einer *Evolutionsspirale* verläuft. Eine Problemlösung stellt im Kontext dieser Metapher eine Abkürzung zur schrittweisen und potentiell langwierigeren Entwicklung des technischen Systems ohne Verwendung von systematischen Methoden dar.⁵⁸ Ein solcher Problemlösungsprozess wird in WOIS grundsätzlich in drei Abschnitte unterteilt:⁵⁹

- Orientierung
- Entwicklungsbarriere
- Lösungsfindung

Im Gegensatz zu anderen Herangehensweisen wird in der Orientierungsphase von WOIS ein starker Fokus auf die Auswahl und Analyse des relevanten technischen Problems gelegt.⁶⁰ Zur initialen Orientierung wird oftmals das *Oberziel* bestimmt, welches den Problembereich definiert und in weiterer Folge der Identifikation der relevanten und führenden Trends der Produktevolution dient. In weiterer Folge werden das zu bearbeitende System, dessen Umfeld, Funktionen und auch Teilfunktionen analysiert, um die zu lösende Aufgabe näher zu spezifizieren. Ebenso erfolgt eine Untersuchung der Beziehungen zwischen den Systemelementen und dem Lebenszyklus des zurzeit existierenden Systems. Funktionen werden den einzelnen Systemkomponenten zugeordnet, um Redundanz und Ineffizienz zu identifizieren. Durch diese Vorgehensweise ergibt sich in weiterer Folge eine Parallelbetrachtung sowohl auf spezifischer als auch abstrakter Ebene, was die Generierung kreativer Ideen fördert.⁶¹

⁵⁶ Vgl. Linde/Hill (1993), S. 9.

⁵⁷ Linde/Hill (1993), S. 11.

⁵⁸ Vgl. Linde/Drews (1996), S. 43f.

⁵⁹ Vgl. Linde/Hall/Herr (1999), S. 206f.

⁶⁰ Vgl. Pannenbäcker (2001), S. 209.

⁶¹ Vgl. Linde/Hall/Herr (1999), S. 207–214.

Nach der Feststellung des Ist-Zustandes werden im Problemlösungsprozess die Generationen des Systems betrachtet. Ziel ist es zu identifizieren, welche technischen Widersprüche bereits in der Vergangenheit überwunden werden mussten und dementsprechend geeignete Lösungsansätze gegebenenfalls wiederzuverwenden. Anschließend erfolgt eine Untersuchung der sogenannten Gesetzmäßigkeiten der Technikevolution und daraus abgeleitet eine Evolutionsprognose. Diese basiert in der Urform auf den aus TRIZ bekannten Gesetzen zur Entwicklung technischer Systeme und dient in weiterer Folge der Erstellung eines idealen technischen Systems⁶², welches mit dem aus TRIZ bekannten und in Abschnitt 2.1.2 vorgestellten Ansatz übereinstimmt.⁶³ Nachfolgend werden systemspezifische Steuerungsvariablen identifiziert, um auf Basis von abstrakten Interdependenzen weitere Systemparameter zu identifizieren und in der sogenannten *Problem-Feld-Matrix* anzuwenden. Diese dient sowohl der systematischen Aufzeichnung der Ziele und Systemparameter als auch der systematischen und verständlichen Darstellung der zwischen diesen vorliegenden Interdependenzen. Symbolisch wird hierbei festgehalten, ob der Systemparameter sich erhöhen oder verringern muss, um das zugehörige Ziel zu erreichen. Ebenso kann der Fall auftreten, dass der aufgezeichnete Systemparameter für die Zielerreichung irrelevant ist, jedoch sollten aus Gründen der Übersichtlichkeit nur solche Parameter dargestellt werden, welche das höchstmögliche Nutzenpotential für die zukünftige Lösung innehaben.⁶⁴

Zum Abschluss der Orientierungsphase ist es anhand der durchgeführten Analysen möglich, ideale technische Systeme zu beschreiben. Idealität entspricht in diesem Zusammenhang dem gleichbedeutenden Begriff aus TRIZ, welcher in Abschnitt 2.1.2 erörtert wurde. Das ideale technische System ist mit dem IFR aus TRIZ vergleichbar und entspricht einem System, das die gewünschte Funktion bereitstellt, wobei der Aufwand an Stoff, Energie, Raum und Zeit gegen Null tendiert.⁶⁵

Die *Entwicklungsbarriere* als zweite Phase im Problemlösungsprozess inkludiert die Formulierung der Entwicklungsaufgabe. Sie stellt die letzte Phase vor der Lösungsfindung dar. Dabei werden die identifizierten Systemparameter und Ziele sowie ihre Zusammenhänge beschrieben. Um nun ein Ziel zu erreichen, müssen Systemparameter beeinflusst werden. In Bezug auf Abbildung 8 ist der Begriff des Systemparameters im Kontext des technischen Widerspruchs analog zur Führungsgröße und Ziele analog zu Zielgrößen anzuwenden. Es entsteht zur Erreichung eines Ziels und der damit verbundenen Veränderung gegenläufiger Systemparameter somit hier ein technischer Widerspruch, der gelöst werden muss. Dazu wird eine paradoxe Entwicklungsaufgabe formuliert. Die Betrachtungsebene verschiebt sich also von den gegenläufigen Zielen beziehungsweise Zielgrößen auf den Systemparameter. Dieser darf und kann sich nur in eine Richtung weiterbewegen, welche anhand der idealen Entwicklungsrichtung des Systems identifiziert wird. Eines der Ziele ist somit sofort erfüllt, während die zweite Zielgröße negativ beeinflusst wird. Die erfinderische Aufgabe leitet sich in weiterer Folge davon ab, dass die zweite Zielgröße trotz negativer Beeinflussung durch den in die ideale Richtung verschobenen Systemparameter voll und kompromisslos erfüllt werden muss.⁶⁶

⁶² Vgl. Linde/Drews (1996), S. 43.

⁶³ Vgl. Linde/Hall/Herr (1999), S. 216f.

⁶⁴ Vgl. Linde/Hall/Herr (1999), S. 218ff.

⁶⁵ Vgl. Linde/Mohr/Neumann (1994), S. 80.

⁶⁶ Vgl. Linde/Hall/Herr (1999), S. 220.

In der Lösungsfindung wird abschließend versucht die erarbeiteten Widersprüche unter Anwendung von Werkzeugen aus TRIZ und der Konstruktionslehre zu überwinden. Dabei werden bekannte Widerspruchs- oder Prinziplösungen angewendet und auf allen Ebenen Assoziationen und Analogiebetrachtungen genutzt.⁶⁷ Ökonomisch-technologische Widersprüche werden hierbei zumeist über Konstruktionskataloge gelöst, technologisch-technische Widersprüche über die erfinderischen Lösungsprinzipien gemäß Altshuller aus TRIZ und technisch-naturbedingte Widersprüche über sogenannte allgemeine Regeln, naturgesetzliche Effekte sowie sogenannte Lösungsstandards auf Basis der Stoff-Feld-Analyse und Stoff-Feld-Modulation.⁶⁸ Für alle Arten von Widersprüchen finden zusätzlich die Gesetzmäßigkeiten der Technikevolution Anwendung. Über Variation und Kombination als allgemeine Werkzeuge werden zum Abschluss die Ansätze zur Lösung ausgestaltet.⁶⁹ Das Strategiemodell zur Bestimmung und Lösung von Entwicklungsaufgaben wird zur Veranschaulichung in Abbildung 10 gesamtheitlich dargestellt.

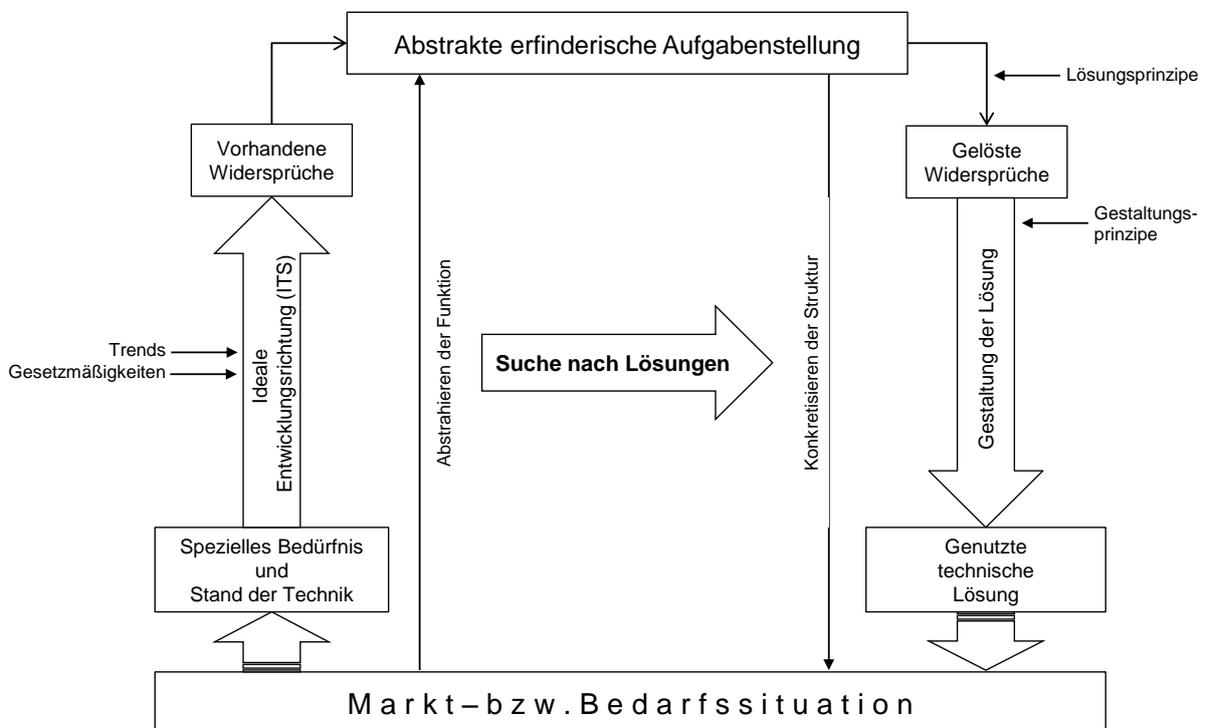


Abbildung 10: Grundelemente des Strategiemodell zur Bestimmung und Lösung von Entwicklungsaufgaben, Quelle: In Anlehnung an Linde/Hill (1993), S. 35.

Nach der nun erfolgten Darstellung der Grundkonzepte von WOIS und dem damit eng verbundenen Ablauf eines Problemlösungsprozesses ist die theoretische Basis von TRIZ und WOIS in ausreichender Form erläutert worden. In weiterer Folge kann somit auf diesen Grundlagen fortgefahren werden. Folgend wird nun ein Einblick in die allgemeine Systemtheorie geboten, welche als Ausgangspunkt für weitere Ausführungen dient und essentielle Grundlagen für die Verwendung des Systembegriffs im Kontext dieser Arbeit enthält.

⁶⁷ Vgl. Linde/Hill (1993), S. 42f.

⁶⁸ Vgl. Pannenbäcker (2001), S. 211.

⁶⁹ Vgl. Linde/Drews (1996), S. 43.

2.3 Systemtheorie

Nach der Erörterung der zwei theoretischen Grundlagenblöcke, auf welchen diese Arbeit basiert, ist es nun erforderlich, Begriffe, welche essentiell für die Beantwortung der Forschungsfragen sind, zu erläutern. Zu Beginn wird der Systembegriff allgemein definiert. In weiterer Folge wird eine Möglichkeit Klassifizierung von Systemen erörtert. Dies erscheint sinnvoll, da im Kontext dieser Arbeit die Forschungsfragen nur in Bezug auf technische Systeme erarbeitet werden sollen und dadurch gewährleistet ist, dass eine klare Abgrenzung besteht. Die definierenden Attribute von Systemen werden darauffolgend ebenso dargestellt. Zusätzlich werden weitere Begrifflichkeiten, wie beispielsweise der systemische Effekt, erläutert, um die theoretische Basis im Umfeld des Systembegriffs abzurunden.

2.3.1 Systeme in der Technik

Grundsätzlich können mehrere Strömungen der modernen Systemtheorie identifiziert werden. Einerseits ist dies die *Allgemeine Systemlehre*, welche in den 1930er Jahren durch von Bertalanffy aufgestellt wurde. Das darin begründete Systemkonzept basiert auf einer Verschränkung von mechanistischen und vitalistischen Vorstellungen. Der inkludierte holistische Ansatz beschreibt, dass das Ganze mehr ist als die Summe seiner Teile: Es ist die Summe seiner Teile und die Summe der Beziehungen zwischen den Teilen. Darauf begründet wurden logisch übereinstimmende Merkmale und formal gleichartige Beziehungen in verschiedenen Bereichen erkannt, was den holistischen Charakter des Systembegriffs unterstützt.⁷⁰ Als zweite Wurzel ist die *Kybernetik* zu nennen, welche ein Jahrzehnt darauf von Wiener etabliert wurde. Die Kybernetik strebt nach der Erkenntnis formaler Ähnlichkeiten zwischen Objekten unterschiedlicher Wirklichkeitsbereiche. Eine eindeutige Definition des Systembegriffs wurde in der Kybernetik in seiner Urform nicht angeführt, obwohl die starke Bearbeitung der Themen Information, Kommunikation und Steuerung und die darauf basierenden Komplexe, welche Wiener beschreibt, nach heutigem Stand der Technik als Systeme gelten.⁷¹

Als dritter Grundstein können die *Ansätze zur Verwissenschaftlichung praktischem Problemlösens* angesehen werden. Damit verbunden ergab sich die Herausforderung, dass Problemlösungen die in der Wissenschaft abgegrenzten Disziplinen zumeist ignorieren und eine interdisziplinäre Herangehensweise vorausgesetzt werden muss. Der holistische Ansatz ergibt sich hierbei aus der Notwendigkeit, praktische Probleme zu lösen. Anders als in der allgemeinen Systemtheorie und der Kybernetik wird hierbei ausgehend von der praktischen Anwendung versucht, über eine Abstrahierung und die Aufstellung von Modellen die praktische Problemlösung zu optimieren. Als Beispiel für eine solche Form der Herangehensweise kann die Methodik des *Operations Research* angeführt werden, welche während des zweiten Weltkrieges interdisziplinäres Systemdenken für die Planung militärischer Operationen heranzog.⁷²

⁷⁰ Vgl. Ropohl (2009), S. 72.

⁷¹ Vgl. Wiener (1973), S. 60–94.

⁷² Vgl. Wiener (1973), S. 73f.

Grundsätzlich können in der allgemeinen Systemtheorie drei zentrale Strömungen zur Deutung des Systembegriffs unterschieden werden. Jede dieser Strömungen stellt einen unterschiedlichen Aspekt des Systems in den Vordergrund, sie schließen einander jedoch gegenseitig nicht aus. Vielmehr rückt jede Betrachtungsweise einen anderen Blickwinkel des Systemkonzeptes in den Vordergrund. Eine vereinte Definition unter Berücksichtigung aller drei Ansätze wurde erstmals von Ropohl vorgeschlagen. Demnach definiert sich ein System als ein Modell einer Ganzheit, welches die folgenden drei Eigenschaften aufweist:⁷³

- *Funktion:* Es bestehen Beziehungen zwischen Attributen, beispielsweise Zuständen, Inputs und Outputs.
- *Struktur:* Es besteht aus miteinander verknüpften Teilen beziehungsweise Subsystemen.
- *Hierarchie:* Es ist von seiner Umgebung und dem Supersystem, also dem übergeordneten System, abgegrenzt.

Können alle drei Aspekte beschrieben werden, so liegt ein System im Sinne der allgemeinen Systemtheorie vor. Die drei Konzepte als obligatorische Eigenschaften für das Vorliegen von Systemen gemäß allgemeiner Systemtheorie werden folgend in Abbildung 11 dargestellt.

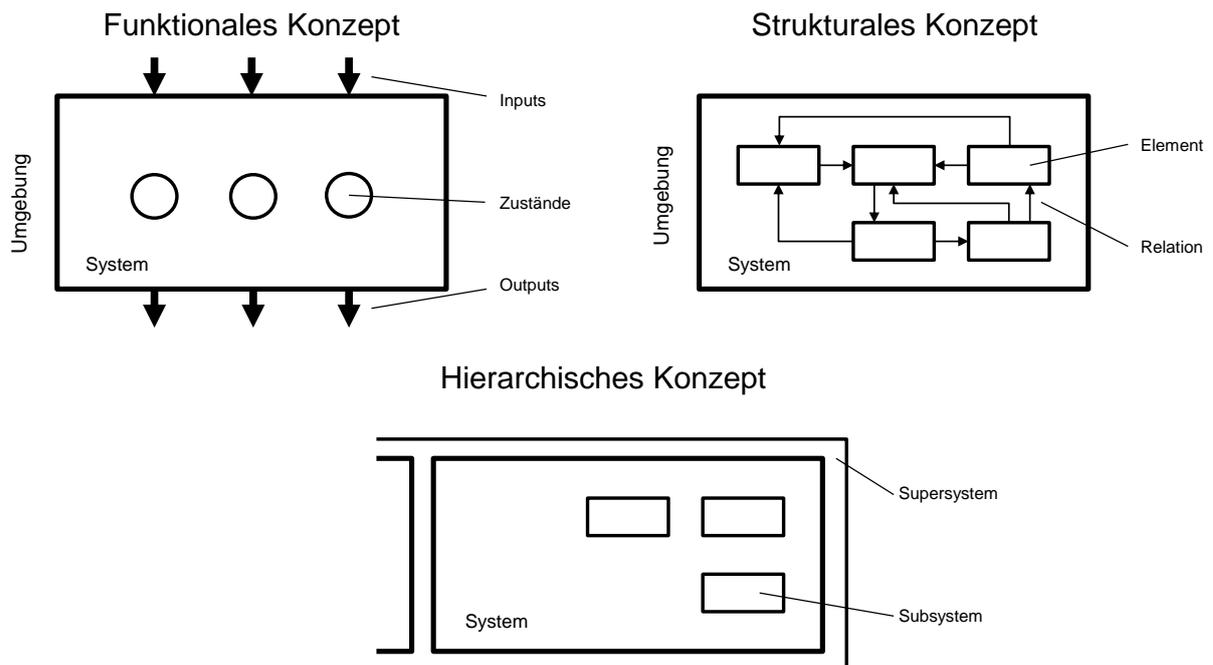


Abbildung 11: Konzepte der Systemtheorie, Quelle: In Anlehnung an Ropohl (2009), S. 76.

In weiterer Folge wird nun ein Klassifizierungsansatz für Systeme vorgestellt. Dies dient der Einordnung des Begriffes des technischen Systems, welcher in Abschnitt 2.1.2 dargestellt wurde. Ein oberflächlicher Vergleich der Definitionen von Systemen laut allgemeiner Systemtheorie und technischen Systemen in TRIZ und WOIS soll in diesem Kontext erfolgen.

⁷³ Vgl. Ropohl (2009), S. 71.

2.3.2 Klassifizierung von Systemen

Der Begriff des technischen Systems wurde im Kontext von TRIZ einführend in Abschnitt 2.1.2 erörtert und soll in diesem und weiteren Sektionen im Detail betrachtet werden. Die früheste Veröffentlichung zu dieser Thematik kann bereits auf das Jahr 1956 zurückdatiert werden.⁷⁴ Im Kontext von TRIZ definiert sich das technische System als ein System, das Funktion, Struktur, Organisation und Systemqualität aufweist. Kann ein Kriterium nicht festgestellt werden, so liegt kein technisches System vor.⁷⁵ Diese Definition deckt sich mit der in Abschnitt 2.3.1 genannten der Allgemeinen Systemtheorie. Der Begriff der Systemqualität ist in dieser zwar nicht als eigenständige Eigenschaft ausformuliert, ergibt sich aber aus der holistischen Betrachtung des Systembegriffes.⁷⁶ Auch in WOIS wird der Begriff des technischen Systems grundsätzlich analog verwendet, da es in einigen Bereichen stark auf den Erkenntnissen von Altshuller beziehungsweise TRIZ basiert.⁷⁷ Eine Einordnung von technischen Systemen anhand einer hierarchischen Klassifizierung kann beispielsweise ausgehend von einer Trennung nach natürlichen und künstlichen Systemen vorgenommen werden. Eine solche Klassifizierung hilft bei der Abgrenzung der verschiedenen Arten von Systemen und wird in Abbildung 12 dargestellt.⁷⁸

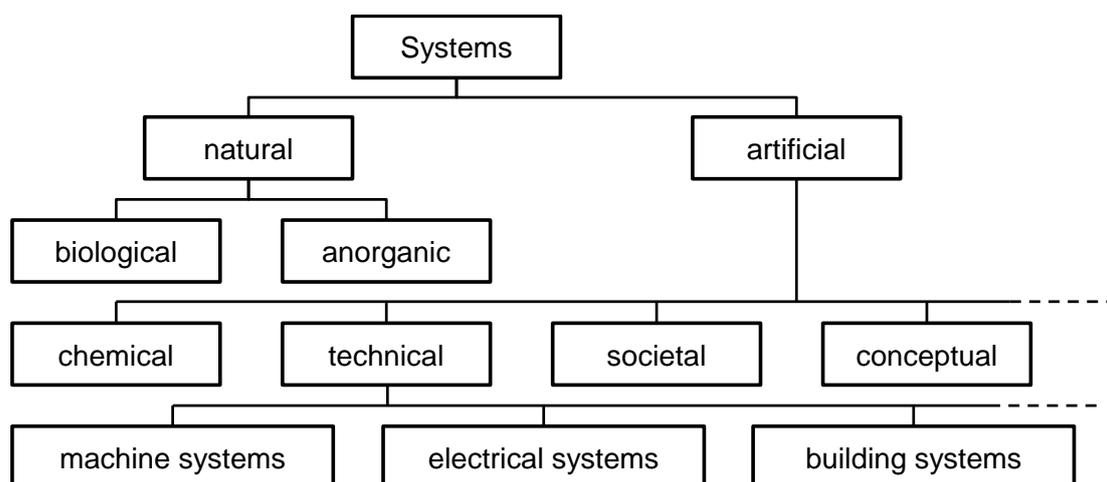


Abbildung 12: Klassifizierung von Systemen, Quelle: In Anlehnung an Hubka/Eder (1988), S. 8.

Gemäß dieser Klassifizierung ist ein technisches System ein künstliches System. Arten von technischen Systemen stellen beispielsweise Maschinensysteme oder elektrische Systeme dar. Werden technische Systeme anhand des Prinzips ihrer Wirkungsweise (mechanisch, elektrisch, hydraulisch, pneumatisch,...) klassifiziert, so kann festgestellt werden, dass die meisten modernen technischen Systeme Hybriden darstellen. Dementsprechend kann kein uniformes Kriterium der Klassifizierung dieser Art festgestellt werden und demzufolge wird das technische System analog oftmals als *abstrakte Maschine* bezeichnet.⁷⁹

⁷⁴ Vgl. Madara (2015), S. 88.

⁷⁵ Vgl. Salamatov (1991).

⁷⁶ Vgl. Ropohl (2009), S. 71.

⁷⁷ Vgl. Möhrle (2005), S. 10.

⁷⁸ Vgl. Hubka/Eder (1988), S. 7f.

⁷⁹ Vgl. Hubka/Eder (1988), S. 8.

2.3.3 Der Funktionsbegriff im Kontext technischer Systeme

Weiterführend erfolgt nun eine nähere Betrachtung des Funktionsbegriffes im Umfeld von technischen Systemen. Eine grundlegende Definition von Funktionen wurde in Abschnitt 2.1.2 als eines der Grundkonzepte von TRIZ angeführt. Bei weiterführender Betrachtung erweist sich die Funktion als eine zentrale Eigenschaft eines jeden technischen Systems und beschreibt die Fähigkeit zur Erfüllung eines Zweckes, nämlich der Umwandlung eines Input in einen erforderten und erwünschten Output.⁸⁰ Dieser wird bei der Erstellung des technischen Systems von Menschen festgelegt, was impliziert, dass ein Bedarf für das Eintreten von Zuständen bereits bei Systemkonzeption bekannt ist. In diesem Zusammenhang ist es also wiederum der Mensch, der durch das Erkennen dieses Bedarfes danach strebt seine Umwelt nach seinen Vorstellungen zu verändern. Als abstrahiertes Beispiel können in diesem Zusammenhang Geldsysteme genannt werden. Der Bedarf besteht im Austausch von Waren und Dienstleistungen für Äquivalente. Die Funktion kann auf mehrere Arten implementiert werden, so zum Beispiel in Form von Edelmetallen, Bargeld, Muscheln, Haifischzähnen oder auch einem Guthaben auf einem digitalen Bankkonto. Das technische System kann sich analog dazu also in Bezug auf die Erfüllung von Funktionen unterschiedlich entwickeln, unterliegt aber diesbezüglich der definierenden Vorstellung von Menschen.⁸¹

Grundsätzlich können unterschiedliche Interpretation des Funktionsbegriffes identifiziert werden, welche auf verschiedenen Klassifikationsansätzen beruhen. In der allgemeinen Systemtheorie und damit einhergehend ebenso in TRIZ und WOIS wird der Funktionsbegriff deskriptiv verwendet. Dieser auch in der Mathematik und Physik weit verbreitete Blickwinkel beschreibt Funktionen dabei als Zusammenhänge zwischen Attributen eines Systems. Eine alternative Betrachtungsweise existiert in den Sozialwissenschaften, in denen die Funktion eines Systems *teleologisch*, also in Bezug auf ein Ziel, verstanden wird.⁸² Im Kern bedeutet dies, dass das System als Mittel zur Zweckerreichung und zur Stillung eines Bedarfes dient. Der teleologische Funktionsbegriff beschreibt im Wesentlichen die Frage nach dem Anwenderproblem und der durch das System zu erreichenden Lösung.⁸³

Ein Beispiel zur Differenzierung von deskriptivem und teleologischem Ansatz kann anhand des Schaltgetriebes eines Kraftfahrzeuges gegeben werden. Die deskriptive Funktionsbeschreibung des Getriebes ist es, den Input in Form der Drehbewegung des Motors nach Drehzahl und Drehmoment in die Drehbewegung der Antriebsräder als Output umzuwandeln. Im Gegensatz dazu kann die Funktion des Getriebes teleologisch als ein Anpassen der Drehzahl und des Drehmoment der Antriebsräder an die jeweiligen Fahrerfordernisse dargestellt werden. Es wird also der zielorientierte Zweck des Systems über die teleologische Funktionsbeschreibung beschrieben. Dieser stellt den Fokus also auf den *Verwendungszusammenhang* und damit auf die Bedarfe der Systeme, deren Erfüllung durch den Output des technischen Systems erfolgen soll.⁸⁴

⁸⁰ Vgl. Hubka/Eder (1988), S. 72.

⁸¹ Vgl. Salamatov (1991).

⁸² Vgl. Ropohl (2009), S. 79.

⁸³ Vgl. Pfeiffer/Weiß/Volz/Wettengl (1997), S. 85.

⁸⁴ Vgl. Ropohl (2009), S. 79.

Beide Auslegungen setzen an unterschiedlichen Punkten im funktionalen Systemkonzept an. Während die deskriptive Funktionsbegriffsbeschreibung als technischer Ansatz die Potentialseite betrachtet, liegt der Fokus der teleologischen Auslegung des Funktionsbegriffes auf der Betrachtung der Bedarfsseite.⁸⁵ Der Zweck im Kontext von Systemen wird in Abschnitt 2.3.4 detailliert betrachtet. Bereits an dieser Stelle kann aber festgestellt werden, dass dieser außerhalb der Systemgrenze liegt und ebenso den Menschen als Urheber des Zweckes impliziert.⁸⁶

In WOIS werden Funktionen ergänzend dazu als „Systemeigenschaften welche unter gegebenen Umständen/Bedingungen bestimmte Eingangsgrößen (Stoff, Energie, Information) in Ausgangsgrößen überführen (Überföhrungsfunktion) oder innere Zustände annehmen, erhalten beziehungsweise verändern (Entwicklungsfunktion)“⁸⁷ definiert. Diese Feststellung orientiert sich stark am funktionalen Systemkonzept, welches in Abschnitt 2.3.1 erörtert wurde, unterteilt den Funktionsbegriff jedoch weiter. Einerseits bestehen Funktionen, welche Inputs in gewünschte Outputs überführen. Andererseits kann die Funktion auch daraus bestehen, das System in einem Zustand zu erhalten oder diesen Zustand gezielt zu verändern. Dies entspricht sowohl der deskriptiven als auch der soeben erläuterten teleologischen Funktionsdefinition.

Im Gegensatz dazu werden in TRIZ Funktionen grundsätzlich deskriptiv verstanden, jedoch auf anderen Ebenen granularer definiert. Im Prinzip wird zwischen nützlichen und schädlichen Funktionen unterschieden. Der Koeffizient dieser beiden Funktionstypen ist ein Maß für den Grad an Idealität, den das technische System erreicht hat.⁸⁸ Zusätzlich können Unterstützungsfunktionen identifiziert werden. Die Primärfunktion des technischen Systems erfüllt einen Bedarf, während die unterstützenden Funktionen innerhalb des technischen Systems von dessen Teilsystemen erbracht werden, um die Erfüllung der Primärfunktion zu ermöglichen.⁸⁹ Ebenso können Sekundärfunktionen identifiziert werden, welche zur Erfüllung von Nebenzielen beziehungsweise sekundären Bedarfen dienen. Schlussendlich existieren auch Hilfsfunktionen, welche die Ausführung von höherstufigen Funktionen sicherstellen.⁹⁰ Es kann abgeleitet werden, dass analog zum technischen System selbst auch Funktionen dem hierarchischen Konzept folgen, welches in Abschnitt 2.3.1 beschrieben wurde. Dementsprechend schwierig kann sich die Feststellung der Primärfunktion eines technischen Systems gestalten, wenn Subsysteme, Obersysteme und angrenzende Systeme ebenso in Betracht gezogen werden müssen. Dies kann anhand eines einfachen Beispiels mit Ziegelsteinen grundlegend erläutert werden.⁹¹

- *Einzelner Ziegelstein:* Seine Funktion ist die Formerhaltung. Der Ziegelstein soll nicht auseinanderbrechen und er soll ein gewisses Gewicht, Härte und Struktur aufweisen. An angrenzende Systeme, also weitere Ziegelsteine, muss er passgenau anliegen und eine Verbindung durch beispielsweise Mörtel ermöglichen.

⁸⁵ Vgl. Volz (1997), S. 37ff.

⁸⁶ Vgl. Ropohl (2009), S. 79.

⁸⁷ Linde/Hill (1993), S. 50.

⁸⁸ Vgl. Becattini/Cascini/Rotini (2011), S. 244.

⁸⁹ Vgl. Salamatov (1991).

⁹⁰ Vgl. Ilevbare/Phaal/Probert/Padilla (2011).

⁹¹ Vgl. Salamatov (1991).

- *Wand*: Die gewünschte Funktion ist zu tragen, vertikal zu sein und sich nicht durch Temperaturänderungen, Feuchtigkeit oder Last zu verformen. Sie soll etwas beschützen oder etwas tragen. Der Ziegelstein muss die Primärfunktion der Wand unterstützen.
- *Gebäude*: Erzeugung von erwünschten Zuständen im Innenraum. Schutz vor Umwelteinflüssen und bestimmtes Aussehen. Sowohl der Ziegelstein als auch die Wand müssen Teile dieser Anforderungen in ihrer Funktion miterfüllen.
- *Stadt*: Architektonische Erscheinung, Klima und rechtliche Anforderungen.

Die Primärfunktion des Ziegelsteines muss also mit dem nächsthöheren System, der Wand, in Einklang gebracht werden. Je weiter die Systeme hierarchisch voneinander entfernt sind, desto kleiner ist die Auswirkung auf das betrachtete System. Die Anforderungen des hierarchisch weiter entfernten Systems der Stadt können durch andere Systeme erfüllt werden und müssen nicht vom Ziegelstein erfüllt werden. Im Umkehrschluss kann das System des Ziegelsteines auch an anderen, übergeordneten Systemen teilnehmen und dort andere Funktionen selbst erfüllen oder auch im Systemkomplex ermöglichen beziehungsweise unterstützen.⁹² Die Funktion des Systems orientiert sich somit immer auch an den Anforderungen an Funktionen des direkt übergeordneten Systems. Dementsprechend soll an dieser Stelle ein Exkurs zur Definition des Zweckbegriffes erfolgen. Obwohl dieser laut allgemeiner Systemtheorie kein explizit genannter, zwingender Bestandteil von technischen Systemen ist, so erscheint er für zentrale Systemkonzepte von relevanter Bedeutung zu sein.

2.3.4 Ziel, Mittel und Zweck im Kontext technischer Systeme

Vor allem im Umfeld des teleologischen Funktionsbegriffes wird oftmals der Zweck des Systems in den Vordergrund gestellt. Dieser definiert sich als die Wirkung des Outputs eines Systems im Sinne einer teleologischen Systembeschreibung. Analog zum Zweck kann hier auch vom Ziel gesprochen werden. Die Aufgabe des technischen Systems ist es somit, das erwünschte, erforderliche Ziel unter Verwendung der Inputs und unter bestimmten Bedingungen zu erreichen. Die Erfüllung der Aufgabe basiert auf der Tauglichkeit des Systems, das Ziel zu erreichen. Die Aufgabe beschreibt somit das Soll, während die technische Funktion das Ist, also das, was das System tatsächlich leistet, widerspiegelt. Die Aufgabe gilt als erfüllt, wenn das System die gewünschte Funktion realisiert. Die objektiv feststellbare Funktion des Systems muss also der subjektiv gesetzten Aufgabe entsprechen.⁹³

Vor allem in der deutschsprachigen Literatur werden der teleologische und deskriptive Funktionsbegriff oft nicht klar voneinander getrennt. Ein alternativer Ansatz definiert deshalb die Funktion im deskriptiven Sinn als systeminterne Eigenschaft und im teleologischen Sinn als Effekt des Systems. Der Zweck eines technischen Systems ergibt sich in dieser Betrachtungsvariante als ein System der als Output generierten Effekte. Dieses System der Effekte wird oftmals als die *Gesamtfunktion des technischen Systems* bezeichnet, was jedoch als nicht generell zutreffende Bezeichnung anzusehen ist.⁹⁴

⁹² Vgl. Salamatov (1991).

⁹³ Vgl. Ropohl (2009), S. 126.

⁹⁴ Vgl. Hubka/Eder (1988), S. 61.

Auch Ropohl stellt fest, dass eine klare begriffliche Abgrenzung des Zweckbegriffes nicht eindeutig möglich ist. In der Philosophie hat sich die Ansicht verbreitet, dass es sowohl ein Reich der Mittel als auch ein Reich der Zwecke gibt, die durch klare Grenzen voneinander getrennt existieren.⁹⁵ Der Begriff des Zweckes wird hierbei analog zum Ziel angesehen und wird erweitert als Oberbegriff für mögliche Sachverhalte oder Klassen von Sachverhalten normativ verwendet. So werden Bedürfnisse, Wünsche, Zwecke, Interessen, Normen und Werte ebenso als Variationen des Zielbegriffes verstanden. Als Ziel und somit als Zweck wird ein Sachverhalt definiert, dessen Verwirklichung angestrebt wird. Als Sachverhalt werden dabei beispielsweise Zustände, Gegenstände, Handlungen, Prozesse oder auch Beziehungen erachtet. Die Formulierung eines Zieles erfolgt in einem Zielsatz, welcher zwei Bestandteile aufweist:⁹⁶

- Eine deskriptive Kennzeichnung des Sachverhaltes.
- Die Auszeichnung dieses Sachverhaltes als erstrebt, erwünscht oder gefordert.

Systeme folgen nicht nur einem, sondern mehreren Zielen, welche zumeist in Zusammenhang stehen. Demzufolge definiert sich ein Zielsystem als ein System aus Zielen und zwischen diesen bestehenden Relationen. Zielsysteme folgen als Untergattung von Systemen ebenso den in Abschnitt 2.3.1 genannten Konzepten und sind demnach Teil einer Hierarchie von Zielsystemen mit Oberzielen und untergeordneten Zielen. Die konkretesten, in der Hierarchie am niedrigsten anzusehenden Ziele werden diesbezüglich als Zwecke und die ranghöchsten, generischen Ziele als Werte bezeichnet. An dieser Stelle soll zusätzlich der Begriff der *Instrumentalrelation* erörtert werden, welcher auch als Zweck-Mittel-Beziehung bezeichnet werden kann. Dieser besagt, dass zur Erfüllung bestimmter Ziele bereits andere, vorgelagerte Ziele erfüllt sein müssen. Das Mittel dient in diesem Kontext der Erreichung des Zwecks im Sinne eines Zieles. Die Instrumentalrelation kann als sogenannte Zielkette mehrerer Zweck-Mittel-Beziehungen zueinander strukturell in Beziehung gestellt werden. Dadurch ergibt sich, dass ein Mittel je nachdem, ob es als der Instrumentalrelation vor- oder nachgelagert angesehen wird, ebenso als Ziel betrachtet werden kann.⁹⁷ Nachfolgend wird in Abbildung 13 eine vereinfachte Form einer Zielkette dargestellt.

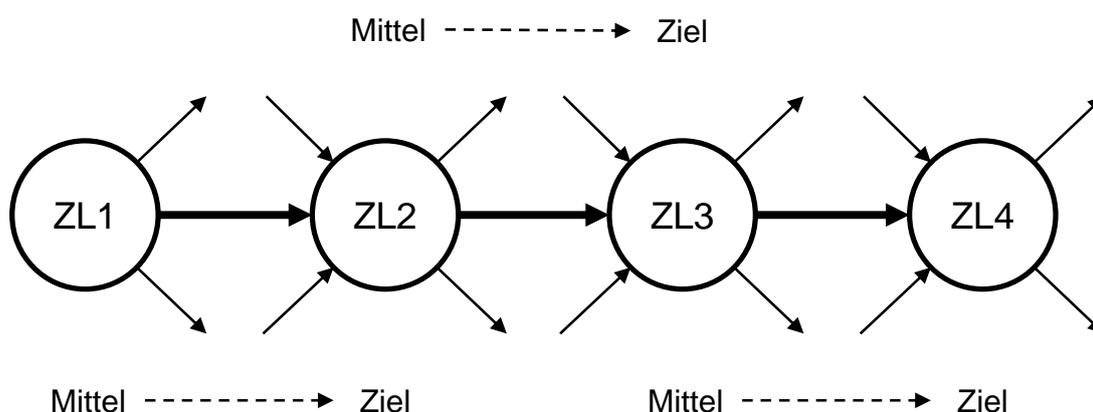


Abbildung 13: Zielkette, Quelle: In Anlehnung an Ropohl (2009), S. 154.

⁹⁵ Vgl. Ropohl (2009), S. 155.

⁹⁶ Vgl. Ropohl (2009), S. 151.

⁹⁷ Vgl. Ropohl (2009), S. 152ff.

Mittel und Zweck lassen sich somit nicht klar trennen, obschon grundsätzlich eine Assoziation von Mitteln mit dem objektiv Gegebenen und des Zweckes mit dem subjektiv Gemeinten angenommen wird.⁹⁸ Mittel und Zweck begründen jedoch einen kausalen Zusammenhang, der den Zweck zum Mittel und das Mittel zum Zweck werden lässt, je nachdem, welche Position in der Instrumentalrelation angenommen wird. Während die Zwecke jedoch grundsätzlich mögliche Sachverhalte darstellen, sind die Mittel als wirkliche Sachverhalte anzusehen.⁹⁹

Die Erreichung des Zweckes und analog des Ziels kann oftmals durch mehrere, äquivalente, alternative Mittel erfolgen. In der Regel erfolgt eine Auswahl des Mittels aufgrund seiner Tauglichkeit zur Zweckerfüllung. Bei gleichwertigen Alternativen wird das Mittel gewählt, welches die niedrigste Anzahl an negativen und die höchste Anzahl an positiven Nebenwirkungen erfüllt. Diese Tauglichkeit zur Erfüllung von Nebenzielen wird als der Eigenwert des Mittels bezeichnet. Die gesamte Kausalstruktur wird in ein Zielsystem überführt und darin alle möglichen Ursachen und Wirkungen dargestellt, da im Regelfall nicht ein Ziel, sondern eine Menge an Zielen explizit gefordert ist. Im Hinblick auf die in Abbildung 13 dargestellte Zielkette lässt sich ebenso feststellen, dass die Wahl des Zieles mit einer praktischen Schlussfolgerung erfolgen kann, je nachdem, welches Folgeziel besser erfüllt wird und welche Nebenziele von der Auswahl profitieren. Eine normative Letztbegründung auf Basis der Verfolgung des finalen Zieles in der Zielkette ist jedoch in der Realität zumeist nicht klar möglich.¹⁰⁰ Die in der Instrumentalrelation begründete Äquivalenz und Multivalenz von Mitteln wird folgend in Abbildung 14 dargestellt.

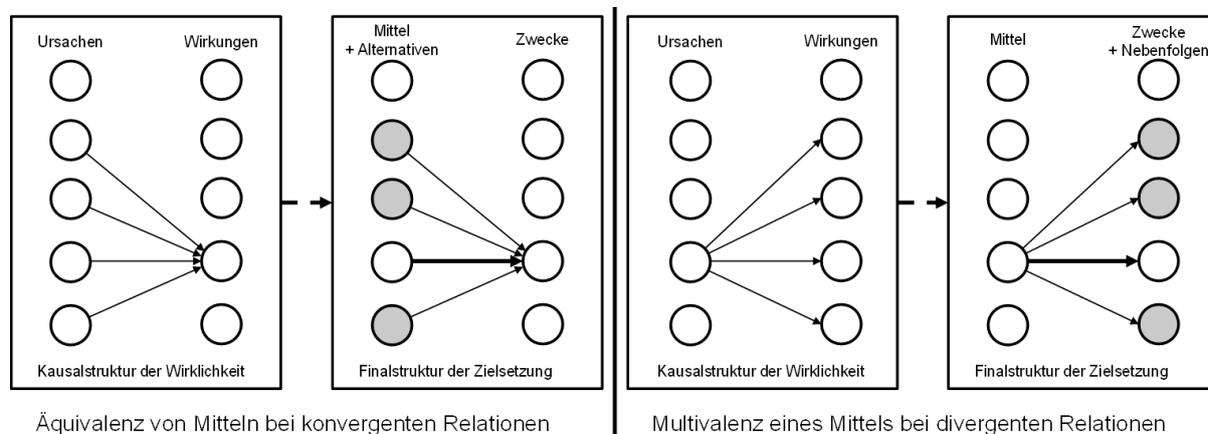


Abbildung 14: Valenz von Mitteln bei konvergenten und divergenten Relationen, Quelle: In Anlehnung an Ropohl (2009), S. 158.

Wie bereits in Abschnitt 2.3.3 festgestellt, liegt der Zweck eines Systems außerhalb der Systemgrenzen und bezieht sich auf Bedarfe von Systemen, welche den Output als Input weiterverwenden. Nach diesem Exkurs in die Welt der Ziele, Mittel und Zwecke werden folgend die übrigen Eigenschaften technischer Systeme, insbesondere Struktur, Organisation und Systemqualität, betrachtet.

⁹⁸ Vgl. Ropohl (2009), S. 155.
⁹⁹ Vgl. Ropohl (2009), S. 158f.
¹⁰⁰ Vgl. Ropohl (2009), S. 159f.

2.3.5 Struktur technischer Systeme

Nach der detaillierten Betrachtung des Funktionsbegriffes im Kontext des technischen Systems wird nun der Strukturbegriff dargestellt. Struktur und Integrität des technischen Systems stellen zentrale Elemente zur Erfüllung der Funktion dar. Systeme bestehen in Ihrer Urform zumeist als sogenannte *Protosysteme*. In diesen sind die Elemente entweder vollkommen unabhängig oder nur lose miteinander verbunden, sodass beispielsweise das Entfernen von einzelnen Teilen keinen Effekt auf die anderen hat. Ein technisches System kann sich aus solchen Protosystemen entwickeln, wenn zwischen den einzelnen Elementen funktionale Verbindungen aufgebaut werden.¹⁰¹ Der Übergang von Protosystemen zu technischen Systemen wird in Abbildung 15 exemplarisch dargestellt.

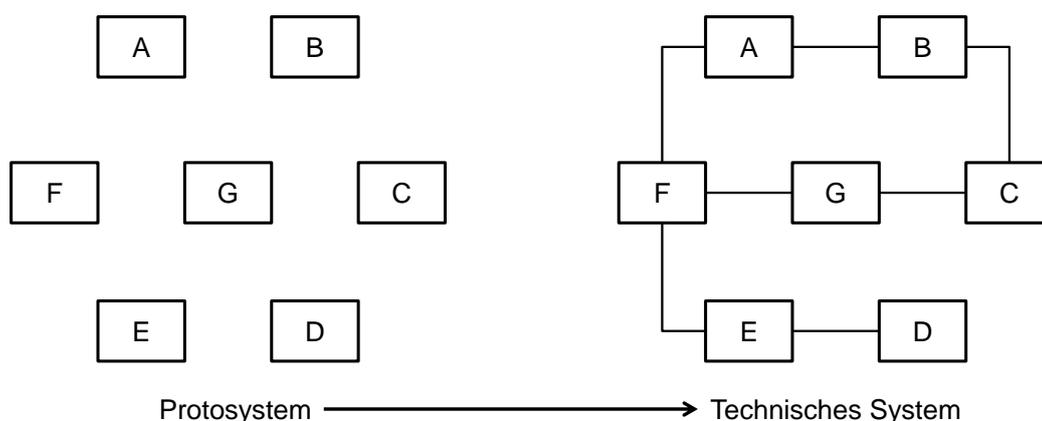


Abbildung 15: Übergang von Protosystem zu technischem System, Quelle: In Anlehnung an Fey/Rivin (2005), S. 13.

Dementsprechend kann festgestellt werden, dass Systeme aus Elementen und den Beziehungen zwischen diesen bestehen. Ein Element definiert sich primär über seine Zugehörigkeit zum System. Daher sind Elemente als Grundbestandteile, aus denen sich Systeme zusammensetzen, zu definieren.¹⁰² Eine Gliederung von Elementen nach objektiven Kriterien ist nicht klar möglich, da diese verschiedenste Eigenschaften besitzen können. Ihnen gemein ist jedoch, dass sie durch ihre Anordnung den formalen Aufbau des Systems definieren. In der allgemeinen Systemtheorie werden die folgenden grundlegenden Eigenschaften von Elementen definiert:¹⁰³

- Sie besitzen Beziehungen zu anderen Elementen, Systemen oder zur Umwelt.
- Sie haben das Vermögen, einen Zustand anzunehmen.
- Sie können ein Verhalten an den Tag legen.

Neben diesen Attributen besitzen Elemente weitere, durch Struktur und Funktion des Systems festgelegte Eigenschaften, welche es ermöglichen sie einander logisch zuzuordnen. Dadurch wird das System erst ermächtigt seine Wirkung zu entfalten.^{104,105}

¹⁰¹ Vgl. Fey/Rivin (2005), S. 12f.

¹⁰² Vgl. Wegner (1969), S. 22.

¹⁰³ Vgl. Fuchs (1973), S. 42.

¹⁰⁴ Vgl. Wegner (1969), S. 23.

¹⁰⁵ Vgl. Kosiol/Szyperski/Chmielewicz (1965), S. 339.

Verbindungen und Beziehungen zwischen den einzelnen Elementen bestehen im Gegensatz dazu in der Form von Stoff, Energie und Information und besitzen im Umfeld des hierarchischen Systemkonzeptes sowohl in Subsystemen, Systemen und Obersystemen Gültigkeit.¹⁰⁶ Sie sind entweder qualitativer oder quantitativer Natur. Während qualitative Beziehungen in der Form von physikalischen Größen ordinal messbar sind, können quantitative Relationen nur indirekt nominal gemessen werden. Beziehungen rufen in Systemen aufgrund des Beziehungskontextes unterschiedliche Zustände und Verhaltensweisen hervor. Neben der Existenz von Elementen geht somit die Existenz von Beziehungen zwischen Elementen logisch einher. Beziehungen zwischen Systemelementen können formal typisiert werden, womit sich Systeme näher beschreiben lassen:¹⁰⁷

- Reale oder ideale Beziehungen.
- Natürliche oder künstliche Beziehungen.
- Zeitabhängige oder zeitunabhängige Beziehungen.
- Interne oder externe Beziehungen.
- Aktive oder inaktive Beziehungen.
- Einseitige oder wechselseitige Beziehungen.

Darauf aufbauend definiert sich die Struktur eines technischen Systems als eine Menge an Elementen und deren Beziehung zueinander, welche der erwünschten, zu erfüllenden Funktion dienen. Während der eigentlichen Verwendung des technischen Systems bleibt die Struktur selbst unverändert. Diese kann jedoch grundsätzlich unterschiedliche Ausprägungen annehmen. Die folgende Liste dient als beispielhafte Aufzählung für mögliche Strukturen:¹⁰⁸

- *Korpuskular*: Gleichartige Systemelemente, welche lose miteinander verbunden sind. Das Verschwinden einzelner Elemente hat beinahe keinen Effekt auf das Gesamtsystem. Als Beispiel hierfür kann Sand angeführt werden.
- *Baustein*: Gleichartige, starr miteinander verbundene Systemelemente. Ein Beispiel für diese Strukturierung ist eine Ziegelsteinwand.
- *Kette*: Gleichartige, miteinander sequentiell verkettete Systemelemente, wie zum Beispiel bei einem Schnellzug.
- *Netzwerk*: Unterschiedliche Systemelemente, welche entweder direkt oder über Zwischenelemente miteinander verbunden sind. Als Beispiel kann eine Bibliothek oder ein Telefonnetzwerk angeführt werden.
- *Multiplikation*: Eine Variante des Netzwerks, in dem mehrfach Querverweise zwischen den Systemelementen bestehen.
- *Hierarchie*: Unterschiedliche Systemelemente, welche auch direkt Teile von übergeordneten Systemen darstellen und somit horizontal auf derselben Systemebene und vertikal auf unterschiedlichen Systemebenen Beziehungen zu weiteren Systemelementen besitzen.

Die angeführten unterschiedlichen Strukturarten werden folgend in Abbildung 16 grafisch dargestellt, um die dargelegten, abstrakten Konzepte vereinfacht zu vermitteln.

¹⁰⁶ Vgl. Petrov (2002).

¹⁰⁷ Vgl. Fuchs (1973), S. 43f.

¹⁰⁸ Vgl. Salamatov (1991).

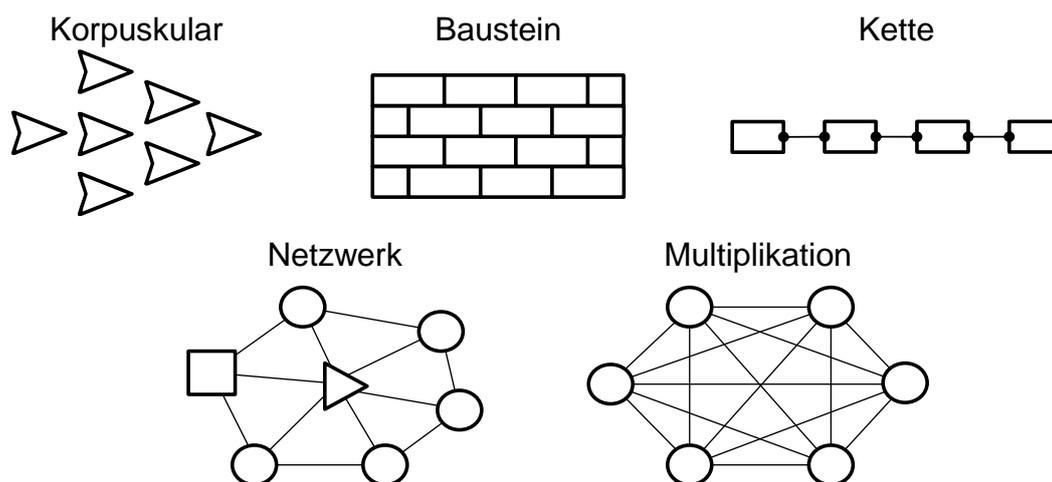


Abbildung 16: Typen von Strukturen in technischen Systemen, Quelle: In Anlehnung an Salamatov (1991).

Von besonderem Interesse ist der hierarchische Strukturansatz, welcher in TRIZ jedem technischen System zugeordnet wird. Eine hierarchische Struktur ist nur dann möglich, wenn das System über- und untergeordnete Systeme besitzt. Jedes System beinhaltet Subsysteme und ist selbst Bestandteil von verschiedenen Obersystemen. Ein Mikroprozessor kann demnach als Teil des Obersystems Motherboard angesehen werden, welches selbst wiederum Teil des Systems Computer oder aber auch Mobiltelefon ist. Der Mikroprozessor selbst besteht wiederum aus Subsystemen und schlussendlich auf niedrigster Ebene nach heutigem Stand der Technik aus Atomen. Auf Basis dieses Umstandes kann jedoch auch der Fall auftreten, dass gegensätzliche Anforderungen an ein System als Teil unterschiedlicher Obersysteme gestellt werden.¹⁰⁹

Ein Systemelement weist innerhalb der Struktur andere Eigenschaften auf, als wenn es nicht Teil der Struktur wäre. Dies impliziert, dass die Summe der Eigenschaften der Elemente innerhalb des Systems nicht gleich der Summe der Eigenschaften des Elements außerhalb des Systems ist. In der holistischen Betrachtung machen die Elemente des technischen Systems daher in ihrer Gesamtheit mehr aus als die Summe der einzelnen Elemente. Dies wird als systemischer Effekt oder auch als Systemqualität bezeichnet und stellt ebenso eine Voraussetzung für das Bestehen eines technischen Systems dar.¹¹⁰ Der systemische Effekt als Konsequenz der Struktur des Systems wird in Abschnitt 2.3.7, nach der folgenden Betrachtung der Organisation in technischen Systemen, erörtert.

2.3.6 Organisation technischer Systeme

Organisation als weiteres zentrales Element der Definition technischer Systeme tritt in Verbindung mit der Struktur auf, da diese eine Zusammenarbeit der Systemelemente in Raum und Zeit darstellt. Hauptkriterien für das Auftreten von Organisation im Kontext des Systembegriffes sind einerseits die Kommunikation zwischen den Systemelementen in Form der in Abschnitt 2.3.5 genannten Beziehungen, sowie andererseits die Steuerung.¹¹¹

¹⁰⁹ Vgl. Fey/Rivin (2005), S. 12.

¹¹⁰ Vgl. Salamatov (1991).

¹¹¹ Vgl. Salamatov (1991).

Über die Beziehung zwischen den Systemelementen lässt sich die Grenze des technischen Systems definieren. Diese müssen zwischen den Systemelementen stärker sein als mit Elementen, die nicht Teil des Systems sind. Dadurch kann eine Trennung zwischen System und Systemumwelt erfolgen.¹¹² Eine Beziehung zwischen zwei Elementen liegt vor, wenn der Input eines Elementes gleich dem Output eines anderen Elementes ist. Dies basiert auf einem Ungleichgewicht, einer sogenannten *Potentialdifferenz*. Die Analyse des Austausches von Energie, Stoff und Information zwischen Elementen oder Systemen stellt auf dieser Basis ein effizientes Mittel zur Erforschung von Systemen und deren Organisation dar.¹¹³ Die Kommunikation kann in diesem Kontext funktional erforderlich, unterstützend oder schädigend sein. Die Relationen können dabei grundsätzlich die in Abbildung 17 dargestellten Formen annehmen.

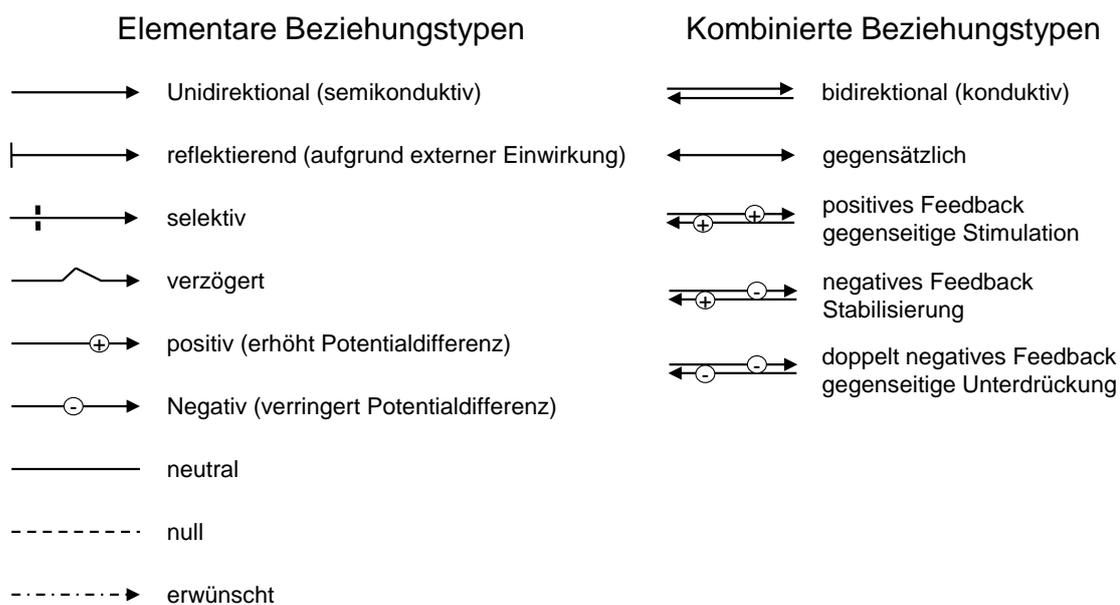


Abbildung 17: Typen von Beziehungen im technischen System, Quelle: In Anlehnung an Salamatov (1991).

Die Anzahl der Verbindungen zwischen den Systemelementen kann dabei als Maß für den erreichten Grad an Organisation angesehen werden. Eine Erhöhung des Organisationsgrades tritt dabei durch das Aufnehmen von Systemen in Obersysteme oder durch den Aufbau von Verbindungen auf unteren Organisationsstufen auf. Durch das Erhöhen der Anzahl an Verbindungen zu einem einzelnen Systemelement steigt im Regelfall die Anzahl der nützlichen Eigenschaften der damit verbundenen Elemente.¹¹⁴

Aufgrund der Feststellung, dass Systemelemente über ihre Beziehungen zueinander Stoff, Energie und Information austauschen, kann auch eine Abgrenzung zwischen offenen und geschlossenen Systemen erfolgen. Grundsätzlich ist es möglich, dass Systeme Relationen zur Umwelt besitzen. Während alle Systeme mit der Umwelt Energie austauschen, wird Stoff beziehungsweise Materie nur selten mit der Umwelt getauscht. Dementsprechend wird von einem offenen System gesprochen, wenn das System Relationen zur Übertragung von Materie mit der Umwelt besitzt.¹¹⁵

¹¹² Vgl. Salamatov (1991).

¹¹³ Vgl. Fuchs (1973), S. 45.

¹¹⁴ Vgl. Salamatov (1991).

¹¹⁵ Vgl. Bertalanffy (1953), S. 11.

Sind die Beziehungen zur Umwelt ausschließlich energetischer Natur, so wird grundsätzlich von einem geschlossenen System gesprochen. Materie und Information stellen jedoch physikalisch betrachtet nur eine Sonderform von Energie dar. Grundsätzlich existieren hierzu jedoch auch alternative Definitionen. So wird von offenen Systemen gesprochen, wenn ein *fortwährender Austausch von Materie, Energie und Informationen* mit der Umwelt besteht. Das System nimmt in dieser Betrachtung die Strömungsgrößen aus der Umwelt auf, verarbeitet diese in einem Prozess und gibt diese in umgewandelter Form wieder an die Umwelt ab.¹¹⁶

Auf Basis der erweiterten Definition von offenen und geschlossenen Systemen über die permanent aktive Verbindung mit der Umwelt können drei Arten des Austausches festgestellt werden. Im Einzelfall ist allenfalls Kenntnis von System und Umwelt nötig, um die Relationen und in weiterer Folge Systeme zu klassifizieren.¹¹⁷

- Offene Systeme, welche mit der Systemumwelt Energie und Materie austauschen.
- Geschlossene Systeme, welche mit der Umwelt ausschließlich Energie austauschen.
- Isolierte Systeme, welche mit der Umwelt weder Energie, noch Materie austauschen.

Eine weitere Eigenschaft der Organisation von Systemen ist das Vorliegen von Steuerung, also der Fähigkeit den Zustand von Elementen während der Verwendung des Systems zu erhalten oder zu verändern. Unter Steuerung wird demzufolge eine Folge an Befehlen über den Verlauf der Zeit verstanden. Zusätzlich bestehen Faktoren, welche den Organisationsgrad von Systemen negativ beeinflussen. Einerseits sind dies externe Faktoren, wie zum Beispiel Einflüsse von Obersystemen. Beginnen die Relationen zwischen dem Obersystem und Teilen des Systems stärker zu werden, als jene, die systemintern bestehen, so wird die Kommunikation im untergeordneten System nachhaltig gestört. Andererseits können auch interne Faktoren die Kommunikation in Systemen negativ beeinflussen. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn schädliche, dem System inhärent anhaftende Eigenschaften die Kommunikation im System behindern. Als dritter negativer Einflussfaktor auf den Organisationsgrad in Systemen kann Entropie genannt werden. Durch eine bedingte Lebenszeit der Systemelemente kann zum Beispiel durch Verschleiß, Rost, oder Materialermüdung ein negativer Effekt eintreten.¹¹⁸

Als letzte Voraussetzung für eine Klassifizierung als technisches System wird folgend der Begriff der Systemqualität erörtert. Grundsätzlich handelt es sich dabei um die Feststellung, dass das System mehr darstellt als die bloße Summe seiner Teile und somit ein *systemischer Effekt* nachweisbar ist.

¹¹⁶ Vgl. Fuchs (1973), S. 63f.

¹¹⁷ Vgl. Bertalanffy (1953), S. 11.

¹¹⁸ Vgl. Salamatov (1991).

2.3.7 Systemischer Effekt und Systemqualität

Bereits in der Antike erkannten griechische Philosophen, dass den Dingen als einheitliches Ganzes ein Ziel innewohnt, das über kausale Zusammenhänge hinausgeht.¹¹⁹ In ihrem Verständnis unterschieden sie zwischen der bloßen Menge und der Ganzheit, also *pan* und *holon*. Die bloße Menge definiert sich in diesem Zusammenhang als strukturlose Anordnung von Elementen. Dem Ganzheitsbegriff liegen zusätzlich dazu die Verbindungen zwischen Elementen im Sinne des im Abschnitt 2.3.1 beschriebenen strukturalen Systemkonzepts zu Grunde.¹²⁰

Jedes System besitzt durch seine Funktion, Struktur und Organisation eine Anzahl an Charakteristiken, die es von der Summe seiner Bestandteile unterscheidet. Wäre dies nicht der Fall, so würde das System keinen Zweck erfüllen. Dieser Umstand wird als *systemischer Effekt* bezeichnet und wurde bereits anhand eines einfachen Beispiel in Abschnitt 2.1.2 kurz umrissen. Im Kontext dieses Effekts ist es auch möglich, dass ein System als Ganzes Eigenschaften annimmt, welche denen ihrer separaten Elemente vollkommen entgegengesetzt sind.¹²¹ Als Beispiel dafür kann der Cocktail Gin-Tonic genannt werden, der aus den folgenden Zutaten besteht:

- *Gin*: Eine bittere, farblose Spirituose mit einem unangenehmen, alkoholischen Geschmack.
- *Tonic Water*: Eine chininhaltige Bitterlimonade.
- *Limette*: Zitrusfrucht mit extrem herben Geschmack, stärker als der einer Zitrone.
- *Eis*.

Als Kombination aus diesen separat betrachtet nicht sehr ansprechenden Elemente ergibt sich ein Cocktail, der sehr angenehm, erfrischend und von vielen Menschen als schmackhaft empfunden wird. Dementsprechend sind die Charakteristiken des Systems Gin-Tonic ungleich der rein addierten Charakteristiken von Gin, Tonic Water, Limetten und Eis. Eine dazu gegensätzliche Herangehensweise für das Feststellen des systemischen Effektes ist über all jene Eigenschaften möglich, die verloren gehen, wenn das System in seine Subsysteme aufgeteilt wird. Als Beispiel hierfür kann das Flugzeug genannt werden. Wird das System Flugzeug in seine Subsysteme, wie zum Beispiel Flügel, Turbine, Cockpit, Ruder, Flossen, Korpus und Elektronik aufgeteilt, so verliert jedes der identifizierten Teile Fähigkeiten des Gesamtsystems, beispielsweise die Flugfähigkeit.¹²²

Auf Basis der Feststellung, dass die Gesamtheit eines Systems mehr ist als bloß die Summe seiner Elemente oder Subsysteme, kann beobachtet werden, dass die Eigenschaften der Systeme sich auf zweierlei Weise von denen der Summe der Teilsysteme unterscheiden. Einerseits geht mit der Existenz eines Systems im Gegensatz zu den einzelnen Elementen eine *disproportionale Erhöhung oder Verminderung der vorgefundenen Eigenschaften* einher. Andererseits kann beobachtet werden, dass das System als Ganzes *neue Eigenschaften* besitzt, welche die einzelnen Systemelemente nicht innehaben.

¹¹⁹ Vgl. Fuchs (1973), S. 5.

¹²⁰ Vgl. Ropohl (2009), S. 71.

¹²¹ Vgl. Fey/Rivin (2005), S. 13.

¹²² Vgl. Salamatov (1991).

Durch den Aufbau der Struktur und der damit verbundenen Bildung von Relationen zwischen Systemelementen ergeben sich drei Fälle des systemischen Effektes:¹²³

- Positive Eigenschaften treten neu auf oder werden beidseitig verstärkt, negative Eigenschaften bleiben unverändert.
- Positive Eigenschaften treten neu auf, negative Eigenschaften neutralisieren sich.
- Zur Summe der positiven Eigenschaften werden solche hinzugefügt, welche negativen Eigenschaften gegenüberstehen.

In weiterer Folge werden Begriffe erörtert, welche für die genauere Beschreibung von Systemen von hoher Relevanz sind. Insbesondere handelt es sich dabei um Varietät, Konnektivität, Komplexität und Variabilität, welche in der allgemeinen Systemtheorie verankert sind. Diese Begriffe werden oftmals uneinheitlich angewendet, weshalb eine exaktere Betrachtung als hilfreich anzusehen ist.

2.3.8 Varietät, Konnektivität, Komplexität und Variabilität

Zur Beschreibung von Strukturen und Zuständen von Systemen kann eine Vielzahl von Begriffen verwendet werden. Auf Basis dieser Eigenschaften, Verhaltensweisen und Systemzuständen kann auf die Qualität von Systemen geschlossen werden.¹²⁴ Dazu können beispielsweise die vier in diesem Abschnitt behandelten Begriffe herangezogen werden.

Zu Beginn ist es notwendig, den Begriff der *Diskretheit* kurz darzustellen. Eine mathematische Variable kann entweder stetig oder diskret sein. Sie ist stetig, wenn sie innerhalb eines Intervalls alle reellen Werte annehmen kann. Von Diskretheit wird gesprochen, wenn die Variable nur Werte annehmen kann, die nicht infinitesimal voneinander getrennt sind.¹²⁵ Als Beispiel für ein diskretes Merkmal kann das biologische Geschlecht von Menschen angeführt werden, welches nur zwei Werte annehmen kann. Ein stetiges Merkmal ist beispielsweise das Gewicht von Menschen.

Als elementares Merkmal von Systemen beschreibt die *Varietät* im Kontext von Systemen die Anzahl diskreter Elemente, also unterschiedlicher Elementgruppen, die ein System besitzt. Eine Elementgruppe definiert sich dabei über Elemente, die gleiche Eigenschaften besitzen. Ein System bestehend aus den Elementen c, b, c, a, c, c, a, b, c, b, b, a enthält demzufolge 12 Elemente, aber eine Varietät von drei basierend auf den Elementgruppen a, b und c. Die Varietät unterliegt dabei jedoch immer sowohl der subjektiven Definition der Elementgruppen durch den Betrachter als auch dessen Fähigkeit, unterschiedliche Eigenschaften von Elementen unterscheiden zu können.¹²⁶ Im Systembeispiel aus Buchstaben wäre es auch denkbar, die Elementgruppen nach sequentiellen Buchstabenkombinationen der Länge zwei zu definieren. Demzufolge sind die vorhandenen Elementgruppen cb, bc, ca, ac, cc, ab, bb und ba und die Systemvarietät wäre demnach nicht drei, sondern acht.

¹²³ Vgl. Salamatov (1991).

¹²⁴ Vgl. Fuchs (1973), S. 47.

¹²⁵ Vgl. Joshi (1989), S. 7.

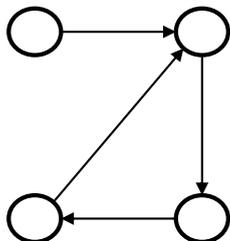
¹²⁶ Vgl. Ashby (1956), S. 126.

Neben der Anzahl diskreter Elemente kann Varietät alternativ dazu ebenso als die Anzahl an Zuständen, welche ein System im Sinne des funktionalen Systemkonzeptes annehmen kann, definiert werden.¹²⁷ Die dabei möglichen Zustände entsprechen einer Anzahl von unterschiedlichen Eigenschaften oder Klassen von Eigenschaften.¹²⁸ Kann ein System drei diskrete Zustände annehmen, so besitzt es folgerichtig eine Varietät von drei.

Die Varietät eines Systems ist ausschlaggebend für das Potential die Varietät der Systemumwelt durch Steuerung zu vermindern. Nur Varietät kann Varietät zu zerstören.¹²⁹ Diese ist jedoch kein Maß für die Effizienz eines Systems. Nur die *Konnektivität*, also der *aktive Beziehungszusammenhang zwischen den Elementen* kann als geeignetes Kriterium dafür herangezogen werden.¹³⁰ Diese wird als die Anzahl der tatsächlich zwischen Systemelementen bestehenden Relationen definiert.¹³¹ Nicht in jedem System ist diese bis zum Maximum ausgereizt, denn dies würde implizieren, dass in jedem System alle Systemelemente beidseitig miteinander relational verbunden sind.¹³²

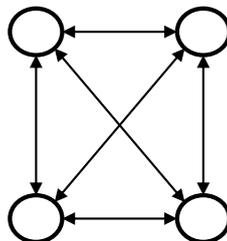
Komplexität im Sinne von Kompliziertheit wird als weiterer elementarer Faktor zur Kennzeichnung der Qualität von Systemen verstanden. Einerseits wird diese über die Anzahl und Art der Beziehungen zwischen den Elementen definiert.¹³³ In alternativen Betrachtungen wird Komplexität teilweise mit Varietät gleichgesetzt.¹³⁴ Schlussendlich sprechen beide Definitionen bezüglich der Komplexität von der *maximal möglichen Anzahl an wechselseitigen Relationen zwischen Systemelementen*. Die Komplexität entspricht demzufolge der maximalen Konnektivität.¹³⁵ Dieser Umstand wird beispielhaft in der folgenden Abbildung 18 dargestellt.

Konnektivität_{min} = 4



Konnektivität_{max} = 12

entspricht Systemkomplexität



→ Unidirektionale Relation = 1
 ↔ Bidirektionale Relation = 2

Abbildung 18: Konnektivität und Komplexität, Quelle: Eigene Darstellung

Abschließend soll in diesem Zusammenhang ergänzend der Begriff der *Variabilität* erläutert werden. Darunter wird das Maximum der möglichen Wirkungsbeziehungskonstellationen und damit verbundenen Systemzuständen verstanden. Erhöht sich beispielsweise in einem System die Anzahl der vorliegenden

¹²⁷ Vgl. Mirow (1969), S. 71.

¹²⁸ Vgl. Fuchs (1973), S. 46.

¹²⁹ Vgl. Ashby (1958).

¹³⁰ Vgl. Wieser (1959), S. 26f.

¹³¹ Vgl. Beer (1959), S. 24.

¹³² Vgl. Fuchs (1973), S. 48.

¹³³ Vgl. Wieser (1959), S. 26.

¹³⁴ Vgl. Beer (1959), S. 24.

¹³⁵ Vgl. Fuchs (1973), S. 48.

Elemente um ein Element, so bedeutet dies im Kontext der Variabilität eine Erhöhung der Systemkomplexität. Dies setzt voraus, dass das Hinzufügen des Systemelements den Beziehungsreichtum durch neue Eigenschaften und Zustände im System ebenfalls erhöht.¹³⁶ Die Feststellung der Systemkomplexität über Konnektivität und Variabilität ist in der Praxis oftmals nicht möglich. Diesbezüglich wird eine empirische Untersuchung des zu betrachtenden Systems und auf Basis der erhobenen Daten eine Berechnung als Anteil der vorliegenden Konnektivität im Verhältnis zur maximal möglichen Konnektivität empfohlen.¹³⁷

Auch die Qualität der Elemente selbst nimmt neben den genannten Begriffen einen entscheidenden Einfluss.¹³⁸ Der Beziehungskontext ist daher nicht als einziges Kriterium für die Feststellung der Qualität eines Systems anzusehen. Eigenschaften von Teilsystemen können latent vorliegen und in anderen Beziehungsumfeldern Verwendung finden. Dies basiert auf der Fähigkeit eines Systems, bei gleichbleibender Elementanzahl aufgrund der Elementeigenschaften unterschiedliche Konstellationen an Relationen anzunehmen. Ohne das Austauschen von Elementen ist es somit möglich, Aktivitäten oder Relationskontexte aufgrund der Eigenschaften ihrer Elemente zu aktivieren, um sich so geänderten Bedingungen in der Umwelt anzupassen. Erst wenn die Elemente keine geeigneten Eigenschaften aufweisen um sich anzupassen, ist es nötig Elemente auszutauschen oder neue Elemente ins System aufzunehmen.¹³⁹

Die Qualität eines Systems ergibt sich schlussendlich somit einerseits über die Konnektivität und Variabilität, andererseits über die von diesen abhängenden Beziehungskonstellationen. Durch eine Veränderung der Anzahl der systemspezifischen Elemente oder der Nutzung bisher ungenutzter Elementeigenschaften erfolgt ebenso eine Veränderung der Konnektivität, des Komplexitätsgrades und der Variabilität. So können sich unterschiedliche Systemqualitäten aufgrund von Eigenschaften, Zuständen und Verhaltensweisen ergeben.¹⁴⁰ Nachdem nun die theoretischen Grundlagen zu Systemen im Detail erörtert wurden, wird in weiterer Folge ein Überblick über bestehende Erklärungsmodelle für technische Systeme dargelegt. Diesbezüglich werden insbesondere Modellansätze aus der allgemeinen Systemtheorie, TRIZ und WOIS beschrieben, welche reale Inkarnationen technischer Systeme über generische Modelle erklären und umschreiben.

2.4 Generische Modelle des Systemaufbaus

In den nachfolgenden Abschnitten werden generische Modelle vorgestellt, welche es erlauben den Aufbau technischer Systeme sowohl möglichst genau als auch allgemeingültig darzustellen. Diese Modellansätze werden im Kontext dieser Arbeit dazu verwendet um Systeme zu beschreiben. Dazu sollen nicht nur Teilsysteme oder Obersysteme, sondern auch relevante Beziehungen zwischen diesen Systemelementen identifiziert werden.

¹³⁶ Vgl. Fuchs (1973), S. 49.

¹³⁷ Vgl. Fuchs (1973), S. 50.

¹³⁸ Vgl. Wieser (1959), S. 27.

¹³⁹ Vgl. Fuchs (1973), S. 50f.

¹⁴⁰ Vgl. Fuchs (1973), S. 51.

Auf dieser Analysebasis soll in weiterer Folge schlussendlich die Feststellung potentieller Entwicklungsrichtungen im Sinne von Entwicklungskorridoren erfolgen. Einleitend werden Faktoren zur Feststellung der Qualität von Modellen vorgestellt. Zusätzlich wird der Begriff der Befangenheit in diesem Kontext erläutert. Erst nach dieser Grundsatzbetrachtung werden relevante Ansätze zur Darstellung von Systemen in repräsentativen Modellen erörtert.

2.4.1 Qualität von Modellen und Befangenheit

Zur Darstellung, Analyse und Simulation von Systemen werden Modelle verwendet. Abhängig von den Fragen, welche durch diese beantwortet werden sollen, werden unterschiedliche Modellarten verwendet. Dementsprechend können für ein und dasselbe System mehrere unterschiedliche Abbilder existieren, welche jeweils verschiedenen Zwecken dienen.¹⁴¹ Auch in der allgemeinen Systemtheorie wird dieser Umstand durch die Dreifaltigkeit der Systemkonzepte, welche in Abschnitt 2.3.1 erörtert wurden, anerkannt. So kann ein System beispielsweise aufgrund von strukturalen, funktionalen oder hierarchischen Gesichtspunkten betrachtet und auch analysiert werden. Modelle zeichnen sich durch die folgenden drei Kriterien aus:¹⁴²

- *Abbildungsmerkmal*: Modelle sind stets Abbildungen oder Repräsentation natürlicher oder künstlicher Originale.
- *Verkürzungsmerkmal*: Modelle stellen zumeist nicht alle Eigenschaften des repräsentierten Originales dar, sondern nur jene, die für den Ersteller oder Verwender des Modells von Relevanz sind.
- *Pragmatisches Merkmal*: Modelle sind ihren Originalen nicht eindeutig zuordenbar. Sie repräsentieren das Original für bestimmte Modellbenutzer im Kontext einer gewissen Zeitspanne und unter Einschränkung auf bestimmte Tätigkeiten oder Operationen.

Modelle werden immer von einem Beobachter, welcher damit bestimmte Zwecke verfolgt, erzeugt. Das Modell stellt daher nur ein partielles Abbild der Realität dar. Der Beobachter und sein Verständnis und Verhältnis zur Realität sind ausschlaggebend für das erstellte Modell. Es ist daher immer eine subjektive Sicht auf das Original. In der allgemeinen Systemtheorie werden nur formale Regeln für die Modellbildung definiert, es werden jedoch Minimalannahmen über die Realität getroffen. So ist es beispielsweise als gegeben anzusehen, dass jedes betrachtete Original eine Außenseite im Sinne der Funktion, eine Innenseite in Form einer Struktur sowie Zusammenhänge in Form einer Hierarchie besitzt. Dies allein genügt jedoch nicht, um ein realistisches Modell zu erstellen.¹⁴³ Folgend werden grafisch die Interdependenzen zwischen Modell, Realität, Beobachter und Theorie in dargestellt.

¹⁴¹ Vgl. Åström/Murray (2008), S. 27.

¹⁴² Vgl. Stachowiak (1973), S. 131ff.

¹⁴³ Vgl. Ropohl (2009), S. 84f.

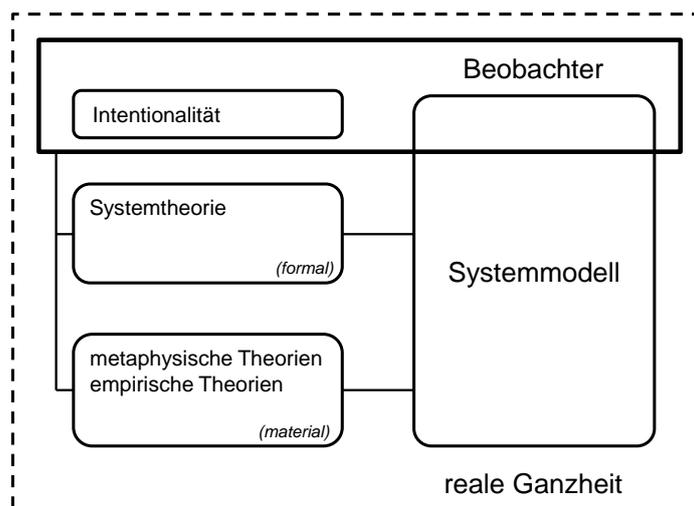


Abbildung 19: Systemtheorie und Modellkonstruktion, Quelle: In Anlehnung an Ropohl (2009), S. 84.

In diesem Zusammenhang erfolgt ein Exkurs in das Gebiet des Process Mining, welches sich stark mit den Eigenschaften von repräsentativen Modellen beschäftigt. Dieses junge Forschungsgebiet befasst sich grundsätzlich mit der automatisierten Generierung und Validierung von Prozessmodellen aus Ereignis- und Änderungsprotokollen von Informationssystemen. Dabei sind grundsätzlich vier essentielle Qualitätsmerkmale zu beachten:¹⁴⁴

- Tauglichkeit: Das Modell muss das in der Realität auftretende Verhalten erklären können.
- Präzision: Das Modell soll kein Verhalten erlauben, welches in keiner Relation zum tatsächlich Beobachteten steht.
- Generalisierung: Das Modell soll das beobachtete Verhalten generalisieren.
- Simplizität: Das Modell soll so einfach wie möglich gestaltet sein.

Bei der Auswahl potentieller Systemmodelle für die Verwendung im Kontext dieser Arbeit, insbesondere im Abschnitt 3.3, sollen diese Faktoren Beachtung finden. Auf diese Art soll festgestellt werden, von welcher Qualität und Eignung die verfügbaren Modelle für die weitere Verwendung im Umfeld dieser Arbeit sind.

Ein elementarer Aspekt bei der Betrachtung von Modellen ist der Begriff der Befangenheit. Zumeist besteht diese sowohl bei der Erstellung als auch in der Repräsentation des Modells selbst. Dies kann anhand eines einfachen Beispiels dargelegt werden. Es wird die Zahlenfolge 2,3,5,7,11 betrachtet. Die logische Lösung auf die Frage, was die nächste Zahl in dieser Folge wäre, ist 13 als nächste Primzahl. Jedoch existiert eine Vielzahl an korrekten Lösungen, da eine Vielzahl an Reihen existiert, die mit diesen Zahlen beginnen. Dieser Umstand lässt sich als *induktive Befangenheit* definieren. Es wird einer Lösung der Vorzug gegeben, da aufgrund der vorhandenen Daten auf keine andere geschlossen werden kann. Die Wahl der Lösung basiert demnach auf dem Menschen als externen Faktor, der die Lösung implizit auswählt.¹⁴⁵

¹⁴⁴ Vgl. van der Aalst (2011), S. 128.

¹⁴⁵ Vgl. van der Aalst (2011), S. 88f.

Dieses Problem kann beispielsweise bei allen Algorithmen des Maschinlernens beobachtet werden. Wird das Suchfeld des Algorithmus eingeschränkt, so unterliegt der Algorithmus induktiver Befangenheit. Wird dem Algorithmus kein Suchfeld vorgegeben, so kann keine Induktion stattfinden, die bessere Lösungen liefert als zufälliges Raten.¹⁴⁶ Generell betrachtet kann induktive Befangenheit keinesfalls als negativ erachtet werden. Es muss jedoch bei der Modellierung darauf geachtet werden, dass implizit bereits Entscheidungen durch die Wahl des Suchfeldes und die darauf basierende Modellierung gefällt wurden.

Eine weitere Form der Befangenheit bei der Modellierung stellt die *repräsentative Befangenheit* dar. Diese bezeichnet den Umstand, dass durch die Wahl der Modellnotation beziehungsweise der Repräsentationsform implizit eine Interpretation der vorhandenen Fakten erfolgt. Durch die Darstellung in einem Modell und die dabei verwendete Notationsform wird das Suchfeld eingeschränkt, wodurch das weitere Vorgehen zwar geleitet, jedoch a priori gute Lösungen ausgeschlossen werden können.¹⁴⁷ Die nachfolgend vorgestellten, generischen Modelle für technische Systeme sollen nun grundsätzlich erörtert werden. Zu Beginn wird ein Modell aus der allgemeinen Systemtheorie vorgestellt, in welcher der Begriff des technischen Systems analog zum technischen Sachsystem verwendet wird.¹⁴⁸

2.4.2 Modelle der allgemeinen Systemtheorie

Grundsätzlich wird als zentrales Systemmodell in diesem Abschnitt jenes des technischen Sachsystems erläutert. Dieses stellt ausgehend von der allgemeinen Systemtheorie eine Weiterentwicklung der darin enthaltenen Konzepte von Handlungssystemen dar. Als Handlungssystem wird in diesem Zusammenhang *ein System, das handelt* beziehungsweise *ein System von Handlungen* verstanden. Ein allgemeines Handlungssystem kann als Modell beliebige Handlungsträger, wie zum Beispiel Organisationen, Menschen oder Staaten, abbilden. All das, was erforderlich ist, um Handlungen auszuführen, ist Teil des Handlungssystems.

Die Umgebung des Handlungssystems im Sinne von natürlichen, technischen oder gesellschaftlichen Phänomenen besteht aus Entitäten. Mit diesen ist das Handlungssystem durch Beziehungen verbunden oder tritt mit diesen in Beziehung. Die Umgebung des Handlungssystems ergibt in Verbindung mit dem Handlungssystem selbst die *Situation*. Wo die Grenze zwischen Handlungssystem und Umgebung gezogen wird, ist jedenfalls abhängig von den Intentionen, die zur Modellierung des Systems geführt haben. Unterschiedliche Modellzwecke führen demzufolge zu unterschiedlichen Abgrenzungen. Das Handlungssystem ist jedenfalls *Teil der Situation* und verfolgt das Ziel, diese zu verändern. Bei funktionaler Betrachtung im Kontext von Raum und Zeit nimmt das Handlungssystem Input in den folgenden Formen auf beziehungsweise gibt diese als Output in veränderter Form wieder ab:¹⁴⁹

¹⁴⁶ Vgl. Mitchell (1990), S. 186.

¹⁴⁷ Vgl. van der Aalst (2011), S. 88.

¹⁴⁸ Vgl. Ropohl (2009), S. 118.

¹⁴⁹ Vgl. Ropohl (2009), S. 93ff.

Dementsprechend sind die darin enthaltenen Subsysteme in der Realität oftmals nicht als separat erkennbare Entitäten vorhanden. Das Informationssystem wird auf Basis einer Funktionszerlegung in die folgenden Subsysteme unterteilt.¹⁵¹

- *Rezeptorsystem*: Aufnahme von Informationen aus der Systemumgebung.
- *Effektorsystem*: Abgabe von Informationen an die Systemumgebung sowie Weiterleitung an das Ausführungssystem, beispielsweise in der Form von Steuerbefehlen.
- *Informationsverarbeitungssystem*: Auswertung und Umwandlung der vom Rezeptorsystem bereitgestellten Informationen. Leistet somit ebenso Regelungsfunktionen, beispielsweise durch Vergleich der Informationen aus der Systemumgebung mit den gesetzten Systemzielen und der darauf basierenden Ableitung von Steuerbefehlen.
- *Informationsspeicherungssystem*: Aufbewahrung und Bereitstellung von Informationen im Sinne von Systemerfahrung.

In ähnlicher Weise erfolgt eine Zerlegung des Ausführungssystems. Dieses wird, wie in Abbildung 20 angedeutet, aus der Systemumgebung durch Inputs in Form von Stoff und Energie versorgt. Für den Informationsfluss ist das Informationssystem verantwortlich, weshalb das Ausführungssystem die Systemumgebung nur über einen Umweg in gefilterter und aufbereiteter Form wahrnimmt. Daher können die folgenden Teilsysteme und Verbindungen zu weiteren Schwestersystemen für das Ausführungssystem identifiziert werden.¹⁵²

- *Aufnahmesystem*: Aufnahme von Energie und Stoff aus der Systemumgebung.
- *Abgabesystem*: Abgabe von Energie und Stoff aus der Systemumgebung.
- *Energiewandlungssystem*: Transformation der Energie in für andere Subsysteme und die Systemumwelt benötigte Formen.
- *Handhabungssystem*: Stellt den aufgenommenen Stoff vom Aufnahmesystem für die verändernde Einwirkung bereit und gibt ihn nach der Umwandlung ans Abgabesystem weiter.
- *Einwirkungssystem*: Zuständig für die unmittelbare stoffliche Veränderung an Arbeitsobjekten.
- *Führungssystem*: Rekonstruktion des für die Einwirkung benötigten Bewegungsablaufes aus dem Informationssystem.

Wie in Abbildung 20 ersichtlich, ist das Ausführungssystem stark an das Informationssystem gekoppelt und steht mit diesem in Wechselwirkung. Für das Zielsetzungssystem erfolgt im Gegensatz zu den beiden zuvor dargestellten Teilsystemen keine weitere Funktionszerlegung. Technische Systeme, welche in der allgemeinen Systemtheorie technische Sachsysteme genannt werden, stellen eine Form von Handlungssystemen dar. Der zentrale Unterschied zwischen diesen beiden Systemtypen ist, dass technische Sachsysteme kein systeminternes Zielsetzungssystem besitzen und selbst auch keine Ziele für sich definieren können. Es ist jedoch möglich, durch technische Systeme menschliche Ziele zu verkörpern.¹⁵³ Die somit bereits vollständig definierte Feinstruktur eines technischen Sachsystems inklusive de facto externem Zielsetzungssystem wird folgend in Abbildung 21 dargestellt.

¹⁵¹ Vgl. Ropohl (2009), S. 103ff.

¹⁵² Vgl. Ropohl (2009), S. 105.

¹⁵³ Vgl. Ropohl (2009), S. 119.

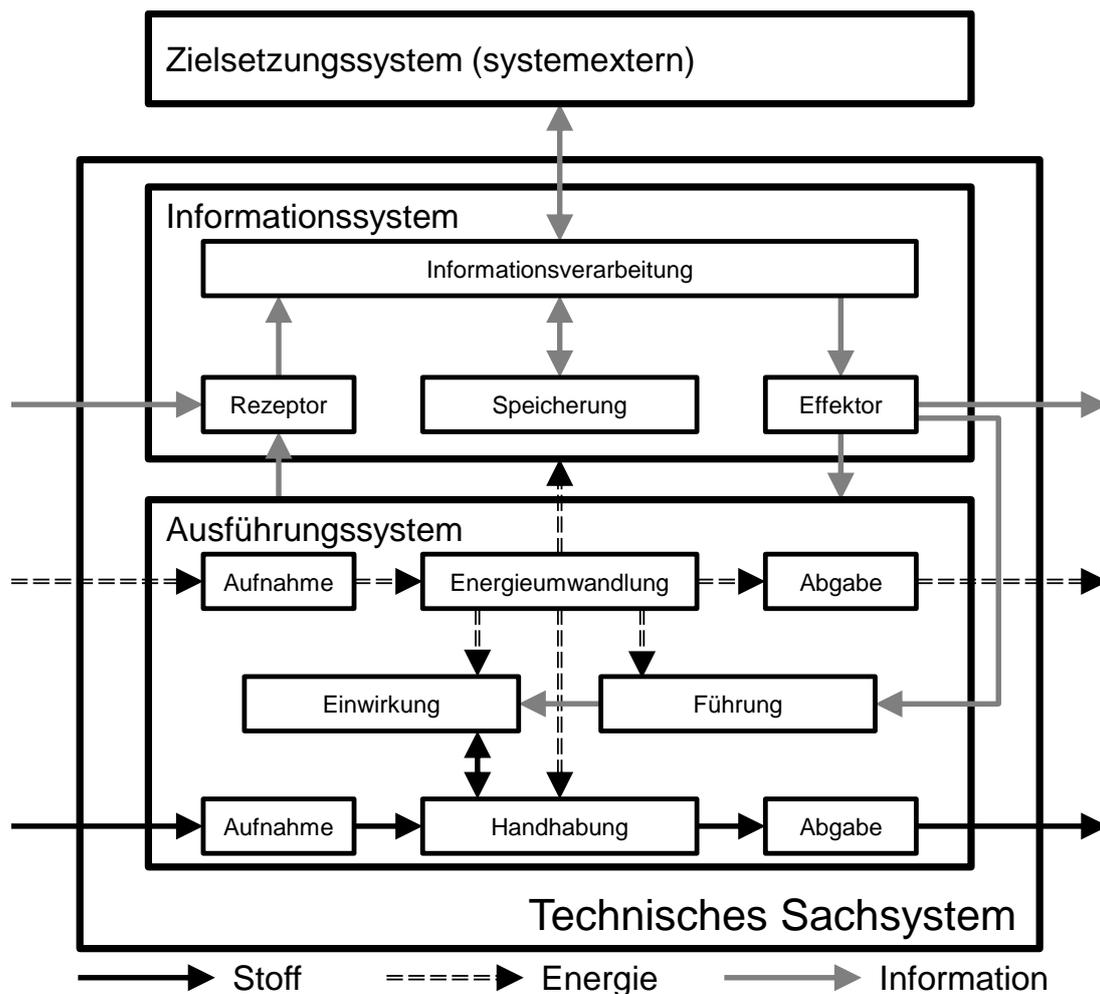


Abbildung 21: Feinstruktur eines technischen Sachsystems, Quelle: In Anlehnung an Ropohl (2009), S. 104.

In weiterer Folge werden nun Modelle von technischen Systemen aus TRIZ und WOIS vorgestellt. Wesentlich ist dabei, dass diese weitere Ansätze zur Modellierung darstellen und dementsprechend Ähnlichkeiten zu dem bereits vorgestellten Modell aus der allgemeinen Systemtheorie bestehen. Während diese den Fokus auf den Aufbau von Systemen und die Abbildung der Realität legt, ist es der Ansatz von TRIZ oder WOIS, diese Systeme nicht zur Abbildung, sondern in weiterer Folge Entwicklungsaufgaben abzuleiten, um diese weiterzuentwickeln.

2.4.3 Modelle zur Systemdarstellung in TRIZ

Grundsätzlich bestehen in TRIZ Gesetzmäßigkeiten, welche sich sowohl mit dem Aufbau als auch der Entwicklung von technischen Systemen beschäftigen. Die ersten Artikel zu diesem Thema wurden 1956 veröffentlicht.¹⁵⁴ Grundsätzlich können ausgehend von diesen Ausführungen drei Kategorien von Gesetzen der Evolution technischer Systeme identifiziert werden.¹⁵⁵

¹⁵⁴ Vgl. Madara (2015), S. 88.

¹⁵⁵ Vgl. Altshuller (1984), S. 223–227.

- *Statische Gesetze*: Beschreiben die Voraussetzungen für die Viabilität von technischen Systemen
- *Kinematische Gesetze*: Beschreiben die Systementwicklung unabhängig von den konkreten technischen und physikalischen Faktoren, die zu dieser Entwicklung beitragen.
- *Dynamische Gesetze*: Beschreiben die Systementwicklung in direkter Abhängigkeit von den konkreten technischen und physikalischen Faktoren.

Nachdem dieser Abschnitt den Modellen des Aufbaus technischer Systeme gewidmet ist, werden an dieser Stelle ausschließlich statische Gesetze aus TRIZ erörtert. Die Entwicklungsgesetze werden im Gegensatz dazu in Abschnitt 2.5 erläutert. Grundsätzlich existieren drei statische Gesetze in TRIZ. Das *Gesetz der Vollständigkeit der Teile eines Systems* beschreibt die Minimalforderung an Teilsysteme, die ein System aufweisen muss, um seine Funktion auszuführen. Diese Subsysteme müssen sowohl existieren, minimal funktionsfähig sein und das System selbst befähigen, seine Funktion auszuführen. Explizit werden die folgenden vier zwingend notwendigen Teilsysteme angeführt:¹⁵⁶

- *Engine (Antriebssystem)*: Erzeugt selbst eine antreibende Kraft, beispielsweise wie bei einer Dampfmaschine oder erhält Impulse aus der Systemumgebung, beispielsweise durch fallendes Wasser bei einem Wasserrad.
- *Transmission (Übertragungssystem)*: Stellt die Verbindung zwischen den Bestandteilen des Systems dar und dient der Übertragung und Transformation von Energie zwischen diesen. Um zum Beispiel dem Fahrrad als Fortbewegungsmittel zum Durchbruch zu verhelfen, war es nötig, die Kettenübersetzung in das Fahrrad zu integrieren, damit die Kraft aus dem Antriebssystem passend auf die das Fahrrad fortbewegenden Räder umgesetzt werden kann.
- *Working organ (Arbeitssystem)*: Steht in Kontakt mit dem Objekt, mit dem das System interagiert.
- *Organ of control (Steuerungssystem)*: Zuständig für die Steuerung des Systems und somit dessen Teilsysteme. Zumindest ein Teilsystem muss zu diesem Zweck steuerbar sein. Durch das Steuerungssystem ist es möglich, Systemeigenschaften gemäß dem Willen desjenigen, der das System steuern will, zu verändern.

Analog zu Abschnitt 2.4.2 gilt auch hier der Grundsatz, dass nicht jedes Teilsystem explizit in der Realität vorhanden und im System identifizierbar sein muss. Die vier Teilsysteme sind in diesem Kontext wiederum in einer idealisierten Abstraktion dargestellt. In frühen Entwicklungsstadien von Systemen ist es so beispielsweise möglich, dass Funktionen von Teilsystemen von Menschen durchgeführt werden. Mit steigender Entwicklungsstufe des Systems wird die menschliche Beteiligung graduell verringert.¹⁵⁷ Trotz alledem ist der Mensch im Modell nicht als Bestandteil der Systemumgebung angesehen, sondern aus Sichtweise der Funktionserfüllung als Teil des Systems selbst.

¹⁵⁶ Vgl. Altshuller/Shapiro (1956).

¹⁵⁷ Vgl. Fey/Rivin (2005), S. 10.

In neuerer Literatur wird zusätzlich als fünftes, explizit genanntes Teilsystem das *Hüllsystem* angeführt. Es schützt das technische System vor der Systemumgebung und umgekehrt. Somit dient es nicht nur der Sicherheit, sondern auch der Ästhetik und erhält die Struktur und Form des technischen Systems. In diesem Kontext wird teilweise die strikte Notwendigkeit für das explizite Vorhandensein aller Teilsysteme aufgebrochen. So müssen gemäß diesen Quellen nicht in allen Fällen alle angeführten Teilsysteme im technischen System existieren. Je nachdem, welcher Typ von technischem System vorliegt, ergeben sich die in der folgenden Tabelle 1 dargestellten, obligatorischen Teilsysteme.¹⁵⁸

Grundtyp des Subsystems	Typ des technischen System	Funktion
Arbeitssystem	Jedes	Interagiert direkt mit dem Objekt, um das benötigte Ergebnis zu erhalten
Antriebssystem	Jedes dynamische	Stellt die initiale Energie im Regelfall in der für das Arbeitssystem benötigten Form bereit
Übertragungssystem	Jedes, in dem das Arbeitssystem vom Antriebssystem getrennt ist	Überträgt Energie vom Antriebssystem zum Arbeitssystem
Steuerungssystem	Jedes, in dem die Funktion mit der Änderung von Charakteristika oder Parametern zusammenhängt	Sammelt Informationen, erzeugt Steuerungsaktionen und überträgt diese zu oder vom Arbeitssystem zu anderen Subsystemen
Hüllsystem	Jedes mit mehreren Teilsystemen, deren Anordnung für die Funktion des Systems notwendig ist	Stellt die Form des Systems und die Anordnung der Teilsysteme zur Verfügung

Tabelle 1: Grundlegende Subsystemrollen

Als zweites statisches Gesetz ist das *Gesetz der energetischen Leitfähigkeit eines Systems* zu nennen. Es besagt, dass für die Lebensfähigkeit eines technischen Systems ein ungehinderter Fluss von Energie durch alle Teile des Systems gegeben sein muss. Unter Energie wird in diesem Zusammenhang nicht Energie im physikalischen Sinn verstanden. Analog zu der in Abschnitt 2.1.2 genannten Stoff-Feld-Analyse wird hier Energie als in drei Erscheinungsformen auftretend definiert. Einerseits als Stoff, beispielsweise durch Hebel, Schalter oder Zahnräder und andererseits als Feld, beispielsweise als Magnetfeld. Als dritte Energieform wird zusätzlich eine Kombination aus Stoff und Feld angeführt, so zum Beispiel bei einem Energietransfer mit einem gerichteten Strom geladener Teilchen. Der Energiefluss muss durch alle Teilsysteme erfolgen, insbesondere auch durch das Steuerungssystem, um die Steuerbarkeit des Systems zu gewährleisten.¹⁵⁹

Ohne die Beachtung aller potentiellen internen und externen energetischen Verbindungen kann ein System seine Funktion nicht ordnungsgemäß erbringen. Bei einer Missachtung ist es möglich, dass angrenzende Systeme, Subsysteme oder Obersysteme negativ beeinflusst werden. In diesem Zusammenhang wird auf dem Energiefluss basierend von *Wechselbeziehungen*, welche das System mit seiner Umgebung verbindet und *Interferenzen*, welche eine gegenseitige Beeinflussung hervorrufen, gesprochen.¹⁶⁰

¹⁵⁸ Vgl. Savransky (2000), S. 41f.

¹⁵⁹ Vgl. Altshuller (1984), S. 225.

¹⁶⁰ Vgl. Petrov (2002).

Als drittes statisches Gesetz ist das *Gesetz der Abstimmung der Rhythmik der Teile eines Systems* zu nennen. Es besagt, dass es für die Viabilität eines technischen Systems notwendig ist, die Rhythmik aller Teilsysteme im Sinne von Periodizität aufeinander abzustimmen.¹⁶¹ In alternativen Beschreibungen wird in diesem Zusammenhang oftmals von Koordination oder zweckerfüllender Nicht-Koordination der Periodizität der durchgeführten Operationen gesprochen¹⁶².

Auf Basis der drei in diesem Abschnitt erörterten Gesetze der Evolution technischer Systeme kann ein Modell eines minimalen technischen Systems definiert werden. Zumeist wird dabei einer funktionsorientierten Darstellung der Vorzug gegeben, um sowohl die vom System bereitgestellten Funktionen, die inkludierten Teilsysteme, vorherrschende Einflüsse auf die Entwicklung von Hilfsfunktionen und unerwünschte Nebeneffekte analysieren zu können. Entsprechend der Intention, aufgrund welcher die Analyse des Systems durchgeführt wird, kann es nötig sein, das System auf mehreren Hierarchiestufen zu betrachten.¹⁶³ Dementsprechend ergibt sich das in Abbildung 22 dargestellte Referenzmodell zur Analyse technischer Systeme in TRIZ.

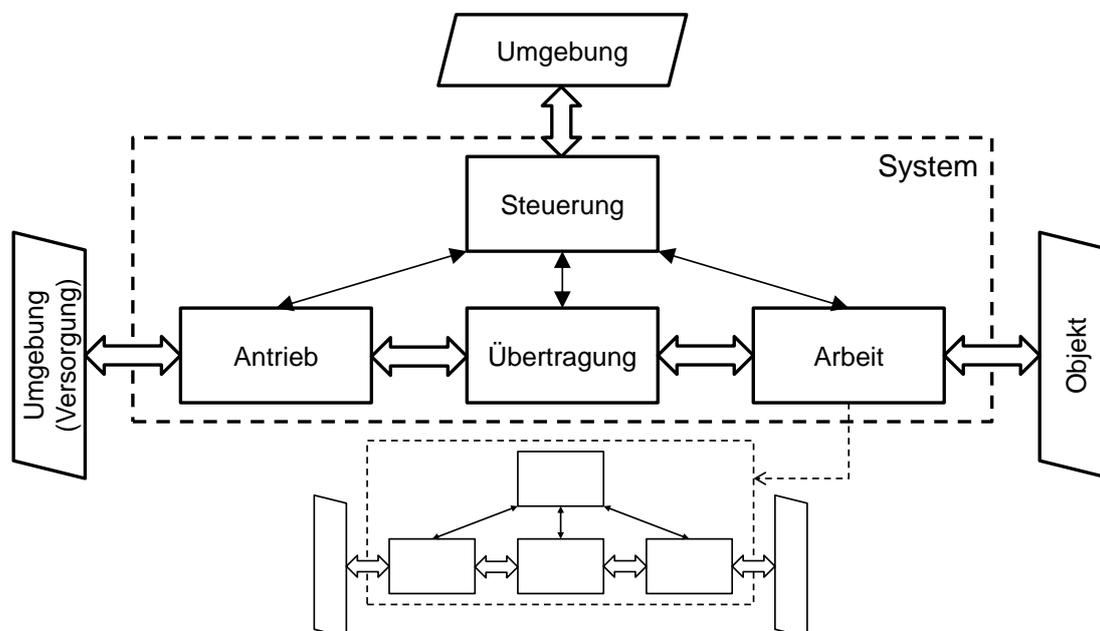


Abbildung 22: Minimales technisches System und hierarchische Zerlegung seiner Elemente, Quelle: In Anlehnung an Cascini/Rotini/Russo (2009), S. 374.

Bezüglich des vorgestellten Modells aus TRIZ ist festzuhalten, dass hierbei keine Aussage über die Varietät des Systems getroffen wird. Im Referenzmodell scheint der Eindruck gegeben, dass von jedem Subsystemtyp jeweils eine Ausprägung vorhanden ist. Bezüglich der Konnektivität ist das Modell dem in Abschnitt 2.4.2 insofern ähnlich, als dass auch hier Energie-, Materie- und Informationsflüsse aus der Systemumwelt in das System dringen und auch wieder in diese abgegeben werden. Während Antriebs-, Übertragungs- und Arbeitssystem bereits im minimalen technischen System einen hohen Grad an Konnektivität aufweisen, so entspricht dieser durchaus nicht der Maximalausprägung.

¹⁶¹ Vgl. Altshuller (1984), S. 227.

¹⁶² Vgl. Pezzotta/Regazzoni/Cavaliere/Rizzi (2011), S. 226.

¹⁶³ Vgl. Cascini/Rotini/Russo (2009), S. 373f.

Ebenso wird im Referenzmodell im Gegensatz zu den in Tabelle 1 genannten Kriterien davon ausgegangen, dass ein Übertragungssystem in jedem Fall existiert. Das Informationssystem ist im Gegensatz zur allgemeinen Systemtheorie kein explizit genannter Bestandteil des Referenzmodelles, obwohl TRIZ in seinen Grundzügen diesbezügliche Ansätze anführt. Ebenso wird auch ein Zielsetzungssystem, wie beispielsweise in der allgemeinen Systemtheorie, nicht explizit angeführt. Nachdem nun das Referenzmodell aus TRIZ erörtert wurde, werden folgend Systemmodelle vorgestellt, welche in WOIS Anwendung finden. Von besonderem Interesse ist hierbei das darin enthaltene *Modell der Top-Teilsysteme*, welches eine weitaus höhere Anzahl an explizit genannten Subsystemen enthält als das in diesem Abschnitt vorgestellte Referenzmodell aus TRIZ.

2.4.4 Modelle zur Systemdarstellung in der Widerspruchsorientierten Innovationsstrategie

Initial orientiert sich das Systemmodell in WOIS stark an dem aus TRIZ bekannten Referenzmodell. So wird auch in WOIS für die Definition eines minimal funktionstauglichen technischen Systems auf die in Abschnitt 2.4.3 genannten Aufbaugesetze aus TRIZ referenziert. Im Unterschied zu Quellen des klassischen TRIZ wird hier neben Antriebs-, Steuerungs-, Übertragungs- und Arbeitssystem ebenso von obligatorischen Stütz- und Hüllsystemen ausgegangen, welche in WOIS als ein gemeinsamer, singulärer Subsystemtyp angesehen werden.¹⁶⁴ Dementsprechend ist dieses Referenzmodell weitestgehend mit dem in Abbildung 22 vorgestellten Modell aus TRIZ gleichzusetzen. Als weiteres Referenzmodell aus WOIS ist das *Top-Teilsystem Modell* zu nennen. Die Intention ist es bei diesem Modell, Systeme in eine allgemeingültige Struktur aufzugliedern. Das Modell wird folgend in Abbildung 23 in der Ausprägung aus dem Jahr 2005 in dargestellt.

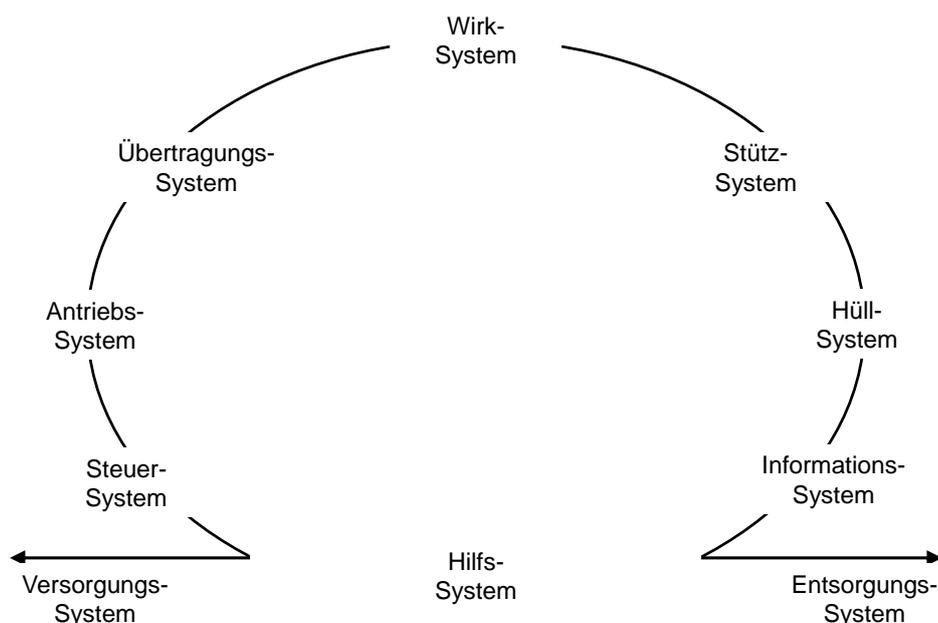


Abbildung 23: Modell der Top 10-Teilsysteme, Quelle: In Anlehnung an Linde/Herr/Rehklau (2005).

¹⁶⁴ Vgl. Linde/Hill (1993), S. 61ff.

Die im Top-Teilsystem Modell dargestellte Gliederung ist nötig, da moderne Systeme in ihrem inneren Aufbau immer komplexer ausgestaltet sind und Betrachtungen auf Basis des gesamten Systems dahingehend an ihre Grenzen stoßen. Ein weiterer positiver Effekt durch die Verwendung der in WOIS vorgestellten Struktur ist, dass durch die Anwendung dieses Modells die Wahrscheinlichkeit, dass relevante Aspekte unberücksichtigt bleiben, verringert wird. In WOIS wird dieses Modell zur Produktanalyse herangezogen und in weiterer Folge ebenso für die Bestimmung des Entwicklungsstandes der Teilsysteme. Es besitzt Gültigkeit für alle eigenständig funktionsfähigen Systeme und ist dementsprechend nicht nur auf Produkte, sondern ebenso auf Sozialstrukturen und organische Systeme anwendbar.¹⁶⁵

Die logische Fortführung dieses Modells findet sich im *Organismusmodell*. Es wird zur Analyse technischer Systeme herangezogen und basiert auf dem in Abschnitt 2.4.3 erläuterten Gesetz der Vollständigkeit der Teilsysteme eines Systems. Aus hochentwickelten Systemen wurde ein generelles Muster abgeleitet, das allen Systemen zu Grunde liegt. Das abgeleitete Modell inkludiert zehn Teilsysteme, die durch Stoff-, Energie- und Informationsflüsse miteinander verbunden sind. Versorgungs- und Entsorgungssystem werden jedoch nicht mehr als Teile des Systems angesehen, sondern als benachbarte Systeme dargestellt. Ebenso wird der Wirkpartner im Modell explizit angeführt, welcher dem Arbeitsobjekt aus TRIZ, mit dem das System interagiert, vergleichbar ist.¹⁶⁶ Das Organismusmodell zur Analyse technischer Systeme aus WOIS wird nachfolgend in Abbildung 24 grafisch dargestellt.

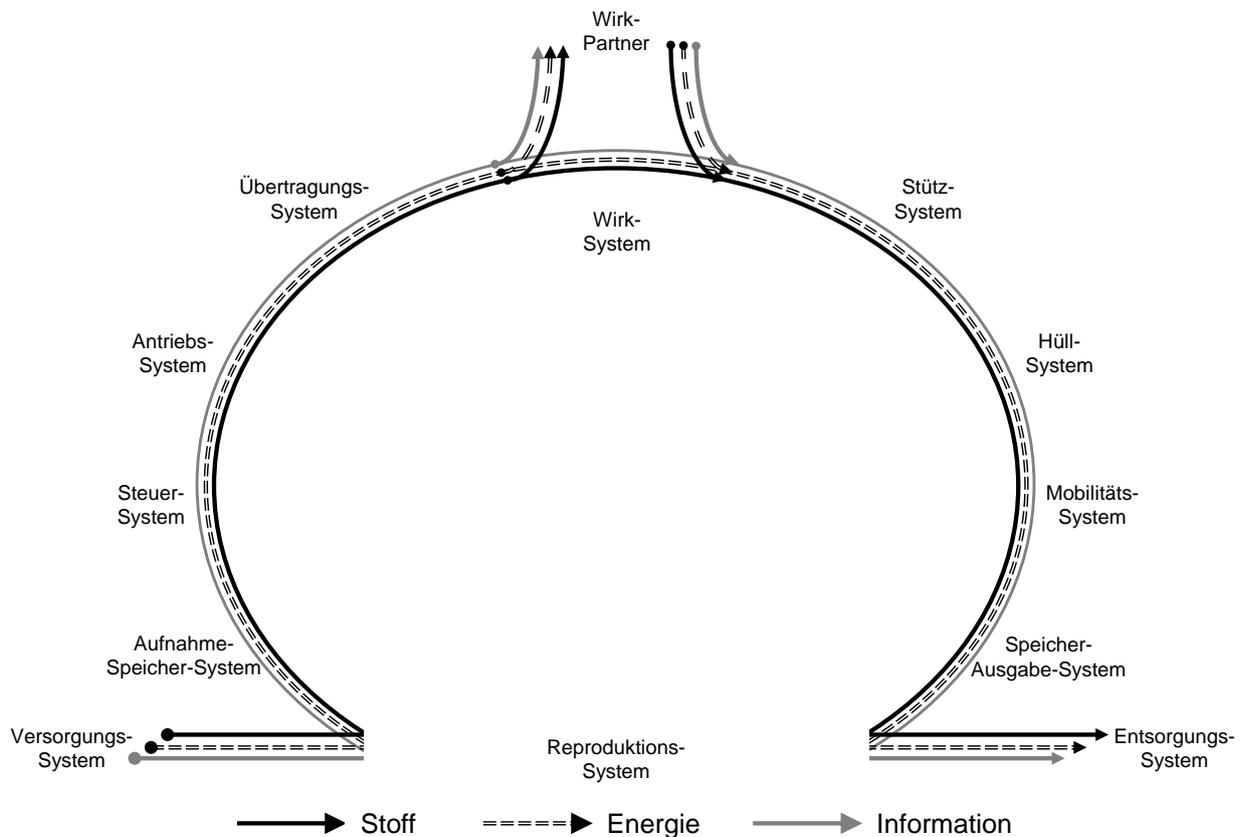


Abbildung 24: WOIS-Organismusmodell, Quelle: In Anlehnung an Linde/Herr (2009)

¹⁶⁵ Vgl. Linde/Herr/Rehklau (2005).

¹⁶⁶ Vgl. Linde/Herr (2009).

Grundsätzlich stellt Abbildung 24 den aktuellen Stand der Modellentwicklung in WOIS dar. In kleinerem Umfang werden diese jedoch stetig weiterentwickelt. So wurde zwischenzeitlich auch ein Reproduktionssystem in das Organismusmodell aufgenommen, welches mit den übrigen Teilsystemen durch Stoff-, Energie- und Informationsflüsse verbunden sein muss.¹⁶⁷ Zur grundsätzlichen Analyse eines Systems anhand dieses Modells wird vorgeschlagen, mit dem Wirksystem und dem Wirkpartner zu beginnen, da diese die Hauptfunktion des Systems erbringen. Die übrigen Teilsysteme sollten ihrer Reihenfolge nach im Uhrzeigersinn analysiert werden.¹⁶⁸

Nachdem nun Referenzmodelle für technische Systeme aus TRIZ, WOIS und der allgemeinen Systemtheorie vorgestellt wurden, soll in weiterer Folge betrachtet werden, auf welche Art und Weise und auf Basis welcher Gesetzmäßigkeiten sich technische Systeme entwickeln und weiterentwickeln. Der zentrale Teil der Literatur zu diesem Thema ist TRIZ zuzurechnen. Erweiterungen der Konzepte aus TRIZ erfolgten in WOIS, weshalb grundsätzlich beide Ansätze von Relevanz sind.

2.5 Systementwicklung

Neben den in Abschnitt 2.4.3 erörterten, aus TRIZ stammenden statischen Gesetze zum Aufbau technischer Systeme werden folgend sowohl die kinematischen als auch die dynamischen Gesetzmäßigkeiten näher betrachtet. Diese beschreiben die Entwicklung technischer Systeme. Der Begriff der Entwicklung wird in diesem Zusammenhang als die *zukünftige Entwicklung des Systems* verstanden. Während die kinematischen Gesetze unabhängig von konkreten technischen und physikalischen Faktoren zu verstehen sind, beziehen die dynamischen Gesetze in die Systementwicklung mit ein. Die zentralen Fragen dabei sind, welche Entwicklungsstufen ein System über seinen Lebenszyklus durchläuft und in welche Richtung es sich grundsätzlich entwickelt.

2.5.1 Systementwicklung in TRIZ

Zu den kinematischen Gesetzen wird in TRIZ das *Gesetz der Erhöhung des Grades der Idealität eines Systems* gezählt. Der Begriff des idealen technischen Systems wurde bereits zuvor in Abschnitt 2.1.2 erläutert. Ein ideales technisches System ist ein unerreichbarer, fiktiver Entwicklungsstand, bei dem die gewünschte Funktion ohne das Existieren eines technischen Systems erbracht wird. Das Gesetz besagt dazu, dass jedes System in seiner Entwicklung in Richtung dieses Idealzustandes strebt. Bei der gezielten Weiterentwicklung technischer Systeme soll dieses Ziel immer Beachtung finden.¹⁶⁹

Ebenfalls Teil dieser Kategorie der Entwicklungsgesetzmäßigkeiten ist das *Gesetz der Ungleichmäßigkeit der Entwicklung der Teile eines Systems*. Die Prämisse ist hierbei, dass mit steigender Kompliziertheit des Systems die Entwicklung der Teilsysteme ungleichmäßiger verläuft.¹⁷⁰ Ein Erklärungsansatz für den Begriff der Systemkomplexität im Sinne von Kompliziertheit wurde in Abschnitt 2.3.8 dargestellt.

¹⁶⁷ Vgl. Herr/Nijmeh (2013).

¹⁶⁸ Vgl. Gergert (2014), S. 11.

¹⁶⁹ Vgl. Altshuller (1984), S. 227ff.

¹⁷⁰ Vgl. Altshuller (1984), S. 229.

Dementsprechend wird in der allgemeinen Systemtheorie unter der Komplexität eines Systems der maximale Grad an Konnektivität verstanden.¹⁷¹ In WOIS, dessen Ansätze zur Systementwicklung in Abschnitt 2.5.2 erarbeitet werden, findet dieses Gesetz ebenso Anwendung. Je höher die Komplexität des technischen System, desto ungleichmäßiger sind die Teilsysteme des Systems entwickelt. Als letztes kinematisches Gesetz ist das *Gesetz des Übergangs in ein Obersystem* anzuführen. Hat ein System auf seiner Entwicklungsstufe alle Möglichkeiten zur Weiterentwicklung ausgeschöpft, so kann diese nur noch auf Ebene des übergeordneten Systems fortgesetzt werden. Das System wird als Teilsystem des Obersystems weiterentwickelt.¹⁷²

Schlussendlich sollen die zwei dynamischen Gesetze der Systementwicklung aus TRIZ ebenso erörtert werden. Einerseits ist dies das *Gesetz des Übergangs von der Makroebene zur Mikroebene*, als eine der Haupttendenzen, wenn nicht die zentrale Tendenz der Entwicklung technischer Systeme dargestellt werden kann. Das Gesetz besagt, dass das Arbeitsteilsystem sich unweigerlich von einer Wirkungsweise auf der Makroebene zur Mikroebene entwickeln muss. Ist das Entwicklungspotential auf der Makroebene ausgeschöpft, so erfolgt eine weitere Entwicklung immer auf der Mikroebene. Die Funktion des Arbeitssystems bleibt bei diesem Übergang erhalten, das Wirkprinzip wird jedoch geändert, so dass diese auf physikalisch niedrigerer Ebene, zum Beispiel durch atomare Teilchen, erfolgt.¹⁷³

Ebenfalls an dieser Stelle ist das *Gesetz der Erhöhung des Anteils von Stoff-Feld-Systemen* zu nennen. Die Stoff-Feld-Analyse wurde bereits als Grundkonzept von TRIZ in Abschnitt 2.1.2 vorgestellt. Das Gesetz besagt, dass das System in Bezug auf Stoff-Feld-Beziehungen nach folgenden Entwicklungen strebt:¹⁷⁴

- Systeme ohne Stoff-Feld-Beziehungen streben danach diese zu entwickeln.
- Systeme mit Stoff-Feld-Beziehungen streben danach, die Relationen von mechanischen Feldern zu elektromagnetischen Feldern weiterzuentwickeln. Dieser Umstand erhöht den Verteilungsgrad von Stoffen und die Anzahl an Verbindungen zwischen den Elementen und damit in weiterer Folge die Reaktionsfähigkeit des Systems.

Als Konglomerat all dieser Gesetzmäßigkeiten wird in TRIZ der grundsätzliche Lebenszyklus von Systemen in Form einer Kurve beschrieben. Diese stellt dar, wie sich die Eigenschaften des Systems, beispielsweise Kraft, Produktivität, Geschwindigkeit oder Anzahl der produzierten Einheiten, über den Verlauf der Zeit verändern. Für alle technischen Systeme ist dabei zu beobachten, dass Sie schematisch dieselbe Kurve durchlaufen. In Einzelfälle können jedoch beträchtliche Abweichungen von der Modellkurve festgestellt werden. Im Allgemeinen wird der Lebenszyklus des Systems in Form der genannten Kurve in die folgenden vier Abschnitte unterteilt:¹⁷⁵

¹⁷¹ Vgl. Fuchs (1973), S. 48.

¹⁷² Vgl. Altshuller (1984), S. 229.

¹⁷³ Vgl. Altshuller (1984), S. 230.

¹⁷⁴ Vgl. Altshuller (1984), S. 231.

¹⁷⁵ Vgl. Altshuller (1984), S. 206.

- *Kindheit*: Entstehung und langsame Entwicklung des technischen Systems.
- *Wachstum*: Rapide Verbesserung des technischen Systems und damit verbundene Massenanzahl.
- *Reife*: Verbesserungsraten beginnen zu sinken.
- *Alter*: Letztstadium der Systementwicklung, in welchem 2 Fälle eintreten können.
 - *Verfall und Neubildung*: Das technische System wird zu einem neuen System mit verringerter Leistungsfähigkeit. Als Beispiel dafür können moderne Segelschiffe angeführt werden, welche zwar nach wie vor existieren, aber nicht mehr die Geschwindigkeit der Segelschiffe erreichen können, welche vor 150 Jahren existierten.
 - *Stillstand*: Gleichbleibende Entwicklungsniveaus herrschen im System vor, wie beispielsweise im Fahrrad, welches seit mehr als 50 Jahren ohne nennenswerte Veränderungen in seinen Entwicklungsstand hält.

Um Abweichungen in Einzelfällen festzustellen und Systeme einfacher auf der Kurve einordnen zu können, werden oftmals die Systemressourcen, die verfügbaren Ressourcen und die physikalischen Grenzen der Ressourcen im Obersystem als Geraden der Kurve gegenübergestellt.¹⁷⁶ Die schematische Entwicklungskurve wird folgend in ihrer Grundform in Abbildung 25 dargestellt, wobei die vertikale Achse als Hauptmetrik des Systems als Grad der Idealität zu verstehen ist.¹⁷⁷

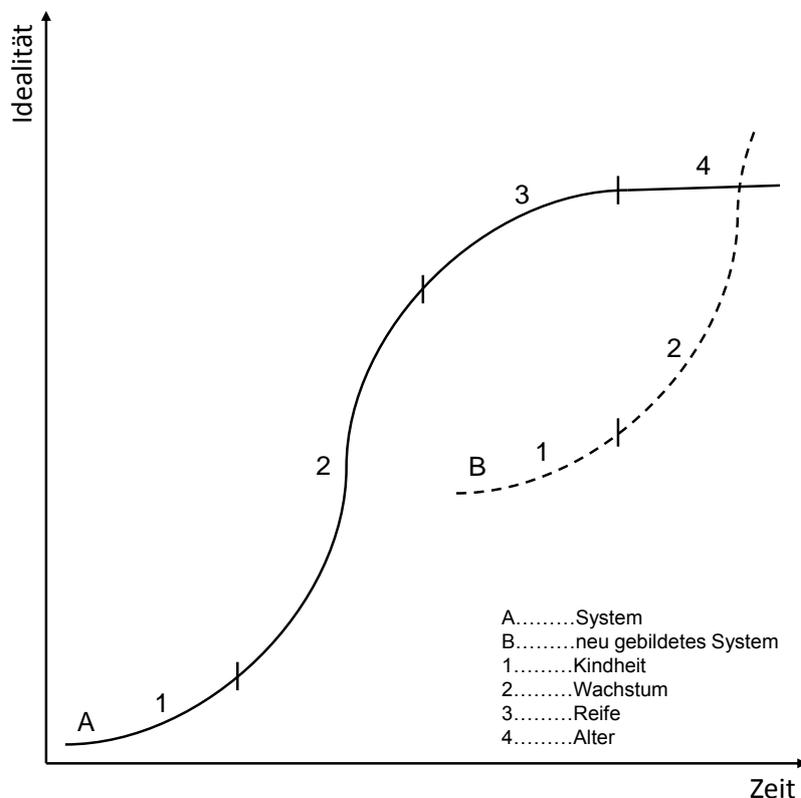


Abbildung 25: S-Kurve der Entwicklung technischer Systeme, Quelle: In Anlehnung an Altshuller (1984), S. 206.

¹⁷⁶ Vgl. Altshuller (1984), S. 207.

¹⁷⁷ Vgl. Kucharavy/Guio (2011), S. 563.

Im Gegensatz zur Natur sind die Entwicklungsgesetze als *weiche Gesetze* anzusehen. Während die Naturgesetze als grundsätzlich unüberwindbar angesehen werden, ist es in der Realität möglich und üblich die Evolutionsgesetze der Technik zu übertreten. Dies ist immer dann der Fall, wenn nichttechnologische Faktoren eine Verzögerung der Entwicklung der nächsten Generation technischer Systeme verursachen. Diese Abweichungen vom Evolutionspfad ziehen eine Verschwendung von Ressourcen und einen Verlust der Wettbewerbsfähigkeit nach sich.¹⁷⁸

Nachfolgend wird nun beschrieben, wie das Konzept der Systementwicklung in WOIS definiert ist. Grundsätzlich kann auch hierbei festgestellt werden, dass einige der Grundgedanken aus TRIZ darin ebenfalls Anwendung finden. WOIS bietet jedoch zusätzlich einige erweiterte Ausführungen bezüglich der Entwicklung technischer Systeme.

2.5.2 Systementwicklung in der Widerspruchsorientierten Innovationsstrategie

Zur Beschreibung der Höherentwicklung technischer Systeme wird in WOIS grundsätzlich auf die in den Abschnitten 2.4.3 und 2.5.1 beschriebenen Gesetze der Entwicklung technischer Systeme zurückgegriffen. Diese werden im Sinne einer Checkliste interpretiert, mit welcher das zu verbessernde System analysiert werden kann. Diesbezüglich werden Orientierungshinweise angeführt, welche zur Feststellung der Erfüllung dieser Entwicklungsgesetze herangezogen werden können.¹⁷⁹

In gleicher Weise wird auch die Gültigkeit der kurvenförmigen Entwicklung technischer Systeme über ihren Lebenszyklus aus TRIZ in WOIS anerkannt. Als Ansatz zur Feststellung, ab wann ein technisches System nicht mehr durch sequentielle Verbesserungen, sondern durch einen Generationensprung weiterentwickelt werden soll, wird auf die sogenannte *85%-Regel* verwiesen. Bei Erreichung dieser objektiven Leistungsgrenze lohnt es sich nicht mehr um die übrigen Prozentpunkte zu ringen, sondern es ist sinnvoller, den Generationsprung zu initiieren.¹⁸⁰

In WOIS definiert sich die Entwicklung technischer Systeme neben dem Entwicklungsweg in Form einer Kurve auch über sogenannte Entwicklungsetappen. Diese beschreiben vier charakteristische Phasen, welche technische Systeme auf dem Weg der Höherentwicklung durchlaufen. Während die Grundprinzipien dieser Entwicklungsetappen ebenfalls durch Altshuller gelegt wurden, formuliert Linde diesbezüglich die vier Entwicklungsetappen und die dazugehörigen Merkmale aus.¹⁸¹ Über den Verlauf der Zeit wurden die identifizierten Entwicklungsetappen mehrmals angepasst und ergänzt. Dementsprechend werden in Abbildung 26 die identifizierten Varianten der Entwicklungsetappen aus WOIS dargestellt.

¹⁷⁸ Vgl. Fey/Rivin (2005), S. 114.

¹⁷⁹ Vgl. Linde/Hill (1993), S. 61–75.

¹⁸⁰ Vgl. Linde/Hill (1993), S. 77.

¹⁸¹ Vgl. Linde/Hill (1993), S. 77–81.

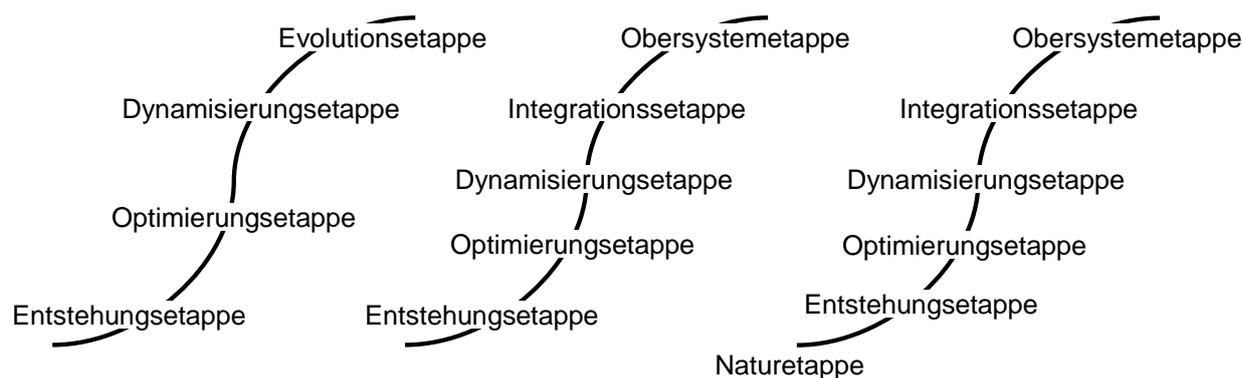


Abbildung 26: Entwicklungsetappen in WOIS über den Verlauf der Zeit, Quelle: Eigene Darstellung

Unter Verwendung der Entwicklungsetappen ist es möglich, den Entwicklungsstand von technischen Systemen festzustellen und erfinderische Aufgaben für die weitere Entwicklung abzuleiten. Auf Basis der Ermittlung der *Entwicklungsfrent* können so funktionsorientierte Benchmarks durchgeführt werden.¹⁸² Dadurch erhöht sich die Prognosesicherheit bei der Identifizierung zukünftiger Entwicklungsrichtungen.¹⁸³ Folgend werden nun die Entwicklungsetappen beschrieben. Im Bezug zu Abbildung 26 werden dabei variantenfein die unterschiedlichen Etappen betrachtet. In der ursprünglichen Version des Konzeptes der Entwicklungsetappen wurden vier Etappen angeführt, welche sequentiell durchlaufen werden müssen.¹⁸⁴ Die initiale Etappe ist die *Entstehungsetappe*, welche der Geburt eines neuen technischen Systems entspricht. Als Beispiel für ein System in der Entstehungsetappe können die ersten Fluggeräte der Gebrüder Wright angeführt werden, welche entgegen der geltenden Auffassung fliegen konnten, obwohl ihre Dichte größer war als die der Luft. Das System Flugzeug besteht in der Entstehungsetappe beispielsweise noch aus starren Tragflächen und wird durch einen Verbrennungsmotor angetrieben, entspricht aber im Grundaufbau bereits dem, was unter einem Flugzeug verstanden wird. Die folgenden Merkmale deuten auf ein System in der Entstehungsetappe hin:¹⁸⁵

- Das System erfüllt entgegen bisher bestehender Meinung eine gewünschte Funktion, mit neuartigem Prinzip und Struktur.
- Es entstehen mehrere, parallele Realisierungsansätze für die gewünschte Funktion.
- Der Effektivitätsgrad der Funktionserfüllung ist verhältnismäßig gering.

Auf die Entstehungsetappe folgt die *Optimierungsetappe*. In dieser bildet sich die klassische Struktur des Systems heraus. Ein klassischer Propellerflugzeug, beispielsweise ein Doppeldecker bis hin zum klassischen Verkehrsflugzeug entspricht einem System in dieser Etappe. Diese besitzen zum Beispiel mehr als einen Motor als Antrieb und eine unterschiedliche Anzahl und differenzierte Positionierung der Tragflächen. Das technische System verhält sich in der Luft zwar optimal, am Boden jedoch noch nicht. Die folgenden Merkmale werden dementsprechend der Optimierungsetappe zugeordnet:¹⁸⁶

¹⁸² Vgl. Linde/Herr/Rehklau (2005), S. 28.

¹⁸³ Vgl. Linde/Herr/Rehklau (2005), S. 14.

¹⁸⁴ Vgl. Linde/Hill (1993), S. 77–81.

¹⁸⁵ Vgl. Linde/Hill (1993), S. 77f.

¹⁸⁶ Vgl. Linde/Hill (1993), S. 79.

- Das klassische Bild des technischen Systems bildet sich heraus. Dessen Struktur wird auf Basis mehrerer bestehender Varianten ausgebildet.
- Das funktionserfüllende Grundprinzip wird optimiert.
- Die Effektivität des technischen Systems ist für eine Phase der Wechselwirkung mit der Umgebung optimal, jedoch in den übrigen nicht.

In der darauffolgenden *Dynamisierungsetappe* wird das technische System an die Wechselwirkungen mit der Umwelt angepasst. Ein Überschallverkehrsflugzeug mit verstellbaren Tragflächenstellungen, einziehbarem Fahrwerk und schwenkbarer Rumpfspitze entspricht einem technischen System in dieser Etappe. Demzufolge deuten die folgenden Merkmale auf die Dynamisierungsetappe hin:¹⁸⁷

- Die Struktur des technischen Systems ist an verschiedene Phasen der Wechselwirkung mit der Umgebung angepasst.
- Durch die Anpassungsfähigkeit an wechselnde Bedingungen der Systemumwelt ist das System in diesen jeweils in der Funktionserfüllung stabil.
- Die wesentlichen Entwicklungsmöglichkeiten des Systems wurden ausgereizt.
- Die Effektivität des technischen Systems ist in mehreren Phasen der Wechselwirkung mit der Umgebung optimal, jedoch in vereinzelt Phasen noch nicht.

Schlussendlich sind die Entwicklungsmöglichkeiten des Systems als ausgeschöpft zu betrachten. Zur weiteren Höherentwicklung muss das technische System in ein Obersystem, also ein übergeordnetes System, integriert werden. Dementsprechend wird von der *Evolutionsetappe*, der *Etappe der Obersystembildung* oder der *Obersystemetappe* gesprochen.¹⁸⁸ Für das Beispiel des Flugzeuges würde dies bedeuten, dass das eigentliche System als Teil des Transportsystems analog zum Space Shuttle in das Raumflugsystem integriert wird. Die folgenden Merkmale identifizieren ein technisches System in der Obersystemetappe:¹⁸⁹

- Die Möglichkeiten zur Weiterentwicklung des technischen Systems in der bisherigen Form sind ausgeschöpft.
- Das technische System wird in ein Obersystem integriert.
- Die Höherentwicklung des technischen Systems erfolgt als Teilsystem des Obersystems und ist nur in dieser möglich.
- Überwindung von zuvor nicht lösbaren Entwicklungswidersprüchen durch die Integration in das Obersystem auf höherer Ebene.
- Die Effektivitätserhöhung erfolgt durch Multifunktionalität im Obersystem.

Neben den bisher genannten vier Entwicklungsetappen wurde das zu Grunde liegende Modell über den Verlauf der Zeit angepasst und wie in Abbildung 26 dargestellt um weitere Etappen ergänzt. So wird den klassischen Etappen beispielsweise oftmals die *Naturetappe* vorgelagert.¹⁹⁰ In dieser Etappe besteht noch kein technisches System, jedoch gibt es Vorbilder der Natur, welche strukturell und funktional erfüllen, was das technische System ebenso erfüllen soll.

¹⁸⁷ Vgl. Linde/Hill (1993), S. 80.

¹⁸⁸ Vgl. Linde/Herr/Rehklau (2005), S. 14.

¹⁸⁹ Vgl. Linde/Hill (1993), S. 81.

¹⁹⁰ Vgl. Linde (2010), S. 10.

In Bezug auf das Beispiel der Flugzeuge kann hierbei der Flügel eines Vogels als sogenannte *funktionale Analogie* herangezogen werden. Abgeleitet von diesem Naturvorbild erfolgt ein Analogieschluss im technischen Entwicklungsprozess vom Ausgangsobjekt auf das zu entwickelnde technische System. Die folgenden Merkmale können für die Naturetappe abgeleitet werden:¹⁹¹

- Gewünschte Funktion oder Struktur werden in biotischen, technischen oder gesellschaftlichen Ausgangssystemen beobachtet.
- Diese bestehen im technischen System noch nicht beziehungsweise besteht das technische System selbst noch nicht.
- Merkmale, die im strukturalen oder funktionalen Analogieschluss betrachtet werden, sollen für diese Schlüsse wesentlich sein.

Schlussendlich wird in neueren Varianten des Modells zwischen der Dynamisierungs- und Obersystemetappe zusätzlich die *Integrationsetappe* angeführt.¹⁹² Diese kann aus TRIZ hergeleitet werden. Durch die Erhöhung der Diversität der Teilsysteme kann die Effektivität eines Systems erhöht werden. Systeme, welche somit eine hohe Varietät aufweisen, können demzufolge geänderte systemische Effekte hervorbringen. Unter zwei Voraussetzungen kann die Leistung des technischen Systems zumeist nur durch die Absorption zusätzlicher Teilsysteme erfolgen. Einerseits muss das technische System dazu bereits existenzfähig sein und seine Funktion erbringen können. Andererseits sind die Ressourcen zur Verbesserung der Primärfunktion im System erschöpft oder die weitere Verbesserung des Systems ist nicht praktikabel oder nicht kosteneffizient.¹⁹³

Dementsprechend kann eine Integrationsetappe als eine umgekehrte Obersystemetappe verstanden werden. Neue Teilsysteme werden im betrachteten System aufgenommen, wodurch die Effektivität des Systems über das Maß der Dynamisierungsetappe hinaus gesteigert werden kann. Wird als Ausgangssystem im Beispiel der Obersystemetappe nicht das Flugzeug sondern das Raumflugsystem betrachtet, so wird das Flugzeug in dieses System integriert und dadurch die Effektivität der Erbringung der gewünschten Funktion gesteigert. Abgeleitet von der Obersystemetappe können für die Integrationsetappe die folgenden Merkmale identifiziert werden:¹⁹⁴

- Die Möglichkeiten zur Weiterentwicklung des technischen Systems in der bisherigen Form sind ausgeschöpft.
- In das technische System werden neue Teilsysteme integriert.
- Die Höherentwicklung des technischen Systems erfolgt als Obersystem des Teilsystems und ist nur in dieser möglich.
- Überwindung von zuvor nicht lösbaren Entwicklungswidersprüchen durch die Integration von Teilsystemen in das technische System.

Um aufgrund der erläuterten Etappenbetrachtung eine Ableitung erfinderischer Aufgaben durchzuführen, wird in weiterer Folge eine Entwicklungsstrategie benötigt. Als Ausgangspunkt dieser Strategie dient primär die technologische Basis.

¹⁹¹ Vgl. Linde/Hill (1993), S. 102f.

¹⁹² Vgl. Linde/Herr/Rehklau (2005), S. 14.

¹⁹³ Vgl. Fey/Rivin (2005), S. 134–137.

¹⁹⁴ Vgl. Linde/Hill (1993), S. 81.

Aus unterschiedlichen Anforderungen und Bedingungen können grundsätzlich unterschiedliche Entwicklungsstrategien abgeleitet werden.¹⁹⁵ Von besonderem Interesse ist im Kontext dieser Arbeit die *Strategie der progressiven Frontbegradigung*. Das Gesetz der Ungleichmäßigkeit der Entwicklung der Teile eines Systems, welches in Abschnitt 2.5.1 erörtert wurde, besagt, dass mit steigender Kompliziertheit des Systems die Differenz der Entwicklungsniveaus zwischen den Teilsystemen steigt. Auf Basis des Gesetzes werden bei der Strategie der progressiven Frontbegradigung Entwicklungsaufgaben aus diesen Differenzen abgeleitet.¹⁹⁶ Das Ziel dieser Strategie ist es somit, die Differenzen in den unterschiedlichen Entwicklungsständen der Teilsysteme auszugleichen beziehungsweise zu reduzieren. Diese Strategie kann auf das Gesetz des Minimums zurückgeführt werden, welches besagt, dass die Wachstumsrate von Pflanzen nur von der rarsten Ressource abhängig ist.¹⁹⁷ Als die rarste Ressource ist hierbei das am niedrigsten entwickelte Teilsystem zu verstehen und dementsprechend ist über diesen Analogieschluss die Begradigung der Entwicklungsfront als Strategie anwendbar. Die Priorität liegt dabei also in der Höherentwicklung des Systems durch Höherentwicklung des am niedrigsten entwickelten Teilsystems.

Nachdem nun die Prinzipien der Systementwicklung in TRIZ und WOIS dargelegt wurden, werden nachfolgend ausgewählte Ansätze zur Vorhersage zukünftiger Entwicklungen von technischen Systemen sowie dabei auftretende Problematiken vorgestellt. Von Relevanz ist hierbei, welche Methoden gewählt und wie die Qualität der Methoden bewertet wurden.

2.6 Ausgewählte Ansätze zur Vorhersage zukünftiger Entwicklungen von technischen Systemen

In diesem Abschnitt werden ausgewählte Ansätze zur Vorhersage zukünftiger Entwicklungen von Systemen dargestellt. Sowohl in TRIZ als auch WOIS wird dabei der in Abschnitt 2.1.2 genannte Begriff der Idealität beziehungsweise der idealen Maschine herangezogen, um diesen in Relation mit dem in Einzelfall betrachteten technischen System zu setzen und darauf basierend Vorhersagen zu treffen. Vorab kann bereits festgestellt werden, dass in der Gesamtmenge aller Methoden zur Vorhersage zukünftiger Entwicklungsrichtungen keine allgemeingültigen existieren und die Ergebnisse der Methodenanwendung immer von den ausführenden Personen abhängen und diese oftmals nicht reproduzierbar sind.¹⁹⁸ Folgend werden ausgewählte Ansätze im Überblick erörtert, um auftretende Probleme bei der Vorhersage zukünftiger Entwicklungen technischer Systeme aufzuzeigen.

Bezüglich der Vorhersage zukünftiger Entwicklungen technischer Systeme unter Verwendung des IFR können zwei Grundstrategien identifiziert werden. Einerseits ist es möglich eine kontinuierliche Verbesserung ausgehend von einem bestehenden System in Richtung der Idealität anzustreben. Dies wird im Umfeld der Produktentwicklung in Unternehmen zumeist als angenehmer empfunden und kann

¹⁹⁵ Vgl. Reichel (1984) zitiert nach Linde/Hill (1993), S. 61.

¹⁹⁶ Vgl. Linde/Hill (1993), S. 61.

¹⁹⁷ Vgl. Gorban/Pokidysheva/Smirnova/Tyukina (2011), S. 2013.

¹⁹⁸ Vgl. Cascini/Rotini/Russo (2009), S. 371.

ebenso aufgrund von Einschränkungen im operativen Geschäft zwingend nötig sein. Als alternative Strategie kann ausgehend vom IFR rückentwickelt werden. Dies tritt oftmals als Bedrohung für bestehende Produkte außerhalb der betrachteten Organisationen auf und sollte dementsprechend nicht vernachlässigt werden. Zusätzlich stellen Funktionen, die auf Obersystemebene realisiert werden, im Regelfall eine Gefahr für Teilsysteme dar, die dadurch obsolet werden können. Eine Strategie ausgehend von bestehenden technischen Systemen ist jedenfalls immer dann von Nutzen, wenn ein besseres Verständnis über das technische System und eine Aussage über den Entwicklungsstand von Systemen getroffen werden soll.¹⁹⁹

Für die Analyse eines technischen Systems und potentieller Entwicklungen wird in TRIZ die Anwendung der in Abschnitt 2.5.1 erörterten Kurve als Verhältnis von Idealität und Zeit in Verbindung mit den Entwicklungsgesetzen empfohlen.²⁰⁰ Als problematisch kann in diesem Zusammenhang die Feststellung des erreichten Idealitätsgrades genannt werden. Dieser kann nicht quantifiziert werden, weshalb die vertikale Achse der Kurve, welche beispielsweise in Abbildung 25 dargestellt wird, zumeist auf willkürlichen Parametern beruht. Die Anwendung der Kurvendarstellung ist somit nur für qualitative Analysen zu empfehlen. Ein weiterer Kritikpunkt ist, dass unter anderem die zeitliche Komponente nicht ausreichend beachtet wird. Es können zwar Aussagen darüber getroffen werden, dass bestimmte Entwicklungen eintreten werden, aber nicht wann, wo, oder für welche Anwendungen.²⁰¹

Die Wahl der Kurvenbetrachtung birgt den Vorteil, dass sie eine Repräsentation der Entwicklung in der Natur darstellt. Dadurch können quantitative Analysen positiv zur Verlässlichkeit der Vorhersagen zukünftiger Entwicklungen beitragen. Der Nachteil besteht darin, dass historische Daten verwendet werden müssen, um die Kurve darzustellen. Dies impliziert, dass die Kurve umso genauer ist, je mehr historische Daten vorhanden sind. Die Vorhersage mittels der Kurve unter Verwendung historischer Daten ist somit exakter, wenn das System sich dem Ende seines Lebenszyklus nähert. Die Verwendung der Kurve zur Vorhersage ist daher nur zu empfehlen, wenn Idealität über Parameter quantifiziert werden kann. Trotz alledem unterscheidet sich die Qualität der Ergebnisse je nach gewähltem Parameter drastisch.²⁰² Die folgenden Fehlerquellen können für unzuverlässige und inkonsistente Entwicklungsvorhersagen aufgrund der Kurvendarstellung identifiziert werden:²⁰³

- Auswahl der Parameter zur Charakterisierung der Systementwicklung.
- Feststellung der Grenze der Systemevolution.
- Auswahl des Wirkprinzips, für das die Grenze der Systemevolution ermittelt werden soll.
- Verbindung der Ergebnisse der Analyse von unterschiedlichen gewählten Parametern.

¹⁹⁹ Vgl. Mann (2003), S. 794f.

²⁰⁰ Vgl. Altshuller (1984), S. 205–231.

²⁰¹ Vgl. Kucharavy/Guio (2011), S. 564.

²⁰² Vgl. Kucharavy/Guio (2011), S. 570.

²⁰³ Vgl. Akselrod/Petersburg (2010), S. 53.

Cascini, Rotini und Russo entwickelten auf Basis von TRIZ ein Vorgehensmodell, welches schrittweise das technische System und seine primäre Funktion ermittelt und auf unterschiedlichen Detailstufen betrachtet. Danach werden unterschiedliche Generationen des Systems analysiert und darauf aufbauend Szenarios zur Evolution des technischen Systems ermittelt. Der Fokus liegt auf der Analyse des technischen Systems und einer strukturierten Vorgehensweise. Diese basiert auf dem funktionalen Strukturkonzept sowie dem Referenzmodell technischer Systeme. Im Gegensatz zu anderen, in TRIZ bestehenden Vorhersagemethoden wird hierbei nicht der Fokus auf die reine Interpretation der Entwicklungsgesetze, sondern auf die eigentliche Analyse des technischen Systems gelegt.²⁰⁴

Mann schlägt im Gegensatz dazu eine qualitative Analyse des Evolutionspotentials vor, mit welcher er jedweden noch ungenutzten Entwicklungsschritt beschreibt. Diesbezüglich wird die Entwicklungskurve nicht angewendet, sondern der Erfüllungsgrad von Trends in Relation zur Idealität ausgewertet und als Radardiagramm dargestellt, um das ungenutzte Entwicklungspotential zu visualisieren.²⁰⁵ Hierbei werden ohne Verwendung von Referenzmodellen für den Aufbau von Systemen ausschließlich Trenderfüllungsgrade gemessen, um Entwicklungspotentiale zu identifizieren.

Um den Anteil an menschlicher Interpretation und damit verbunden dem Grad an Befangenheit in der Vorhersage zukünftiger Entwicklungen von technischen Systemen zu reduzieren, werden auch automatisationsunterstützte Vorgehensweisen in Betracht gezogen. So schlagen Yoon und Kim vor, dies über eine automatisierte Analyse von Patenten durchzuführen. Dabei werden zu Beginn Relationen zwischen Patenten über linguistische Datenverarbeitungsmethoden identifiziert. Folgend werden Trends und Trendphasen durch das Messen semantischer Ähnlichkeiten im Satzbau analysiert. Als Ergebnis wird wiederum ein Radardiagramm ausgegeben, welches zur Unterstützung des Entwicklungsprozesses dient und hierbei potentielle Entwicklungsrichtungen identifiziert.²⁰⁶

Im Gegensatz zur automatisierten Analyse auf Basis von Patenten kann diese auch in Form einer qualitativen Befragung erfolgen. Um ein technisches System unter Verwendung der Entwicklungsgesetze aus TRIZ weiterzuentwickeln, wird beispielsweise vorgeschlagen, ein strukturiertes, geleitetes Interview durchzuführen und so die Erfüllung der statischen Gesetzmäßigkeiten zu prüfen. Darauf aufbauend wird der Anwender durch eine Funktionsanalyse geleitet und schlussendlich Vorschläge für die Weiterentwicklung des Systems getroffen.²⁰⁷

Auf Basis der bisherigen theoretischen Ausführungen wird folgend ein Werkzeug entwickelt, welches der Analyse technischer Systeme und daraus abgeleitet der Aufdeckung von unterentwickelten Teilsystemen dient. Als Ergebnis dieses Analysewerkzeuges soll eine Aussage getroffen werden, welchen Entwicklungsstand die Teilsysteme des technischen Systems erreicht haben. Daraus abgeleitet ergeben sich offene Entwicklungspotentiale innerhalb des Systems. Je nach Entwicklungsstand soll ebenso eine Empfehlung abgegeben werden, ob Entwicklungsaufgaben innerhalb oder nur noch außerhalb des betrachteten technischen Systems zu definieren sind.

²⁰⁴ Vgl. Cascini/Rotini/Russo (2009), S. 371f.

²⁰⁵ Vgl. Mann (2003), S. 781f.

²⁰⁶ Vgl. Yoon/Kim (2011), S. 15540f.

²⁰⁷ Vgl. Zouaoua/Crubleau/Choulier/Richir (2015), S. 926.

3 ENTWICKLUNG DES ANALYSEWERKZEUGES

*"The ultimate test of the forecaster is an accurate and reliable forecast
not the elegant or easily applied method."²⁰⁸*

In diesem Abschnitt wird als Abschluss des theoretischen Teils dieser Arbeit das entwickelte Werkzeug vorgestellt. Dieses dient in weiterer Folge im praktischen Teil als Grundlage für die durchzuführenden Analysen von technischen Systemen und der Identifikation von Entwicklungsniveaus und Entwicklungskorridoren. Zusätzlich werden in Bezug auf die theoretischen Erörterungen in den vorangegangenen Kapiteln Argumente für die verfolgte Strategie sowie die Auswahl der Referenzmodelle sowie Vorgehensweisen angeführt. Zu Beginn erfolgt eine kurze Erörterung der Ziele und erwarteten Ergebnisse des Analysewerkzeuges.

3.1 Ziele und erwartete Ergebnisse

Das erarbeitete Werkzeug hat es zum Ziel, den Anwender strukturiert und systematisch durch die Analyse eines technischen Systems zu leiten. Zusätzlich soll Aufschluss über die Entwicklungsniveaus der Teilsysteme gegeben werden. Schlussendlich werden anhand der festgestellten Entwicklungsstände Handlungsempfehlungen abgeleitet, welche auf abstrakter Ebene Vorschläge für die Höherentwicklung des technischen Systems geben.

Der Nutzen der Methode ergibt sich dabei aus der Kenntnis der Entwicklungsstände selbst sowie der Entwicklungsempfehlungen auf Basis der im Verhältnis zu den übrigen Teilsystemen unterentwickelten Subsysteme des technischen Systems. So kann der weitere Problemlösungsprozess durch eine Vorauswahl des weiterzuentwickelnden Teilsystems beispielsweise fokussiert werden. Zusätzlich soll im Sinne einer holistischen Herangehensweise das System möglichst in seiner Gesamtheit betrachtet werden.

3.2 Grundlegende Vorgehensweise und Strategie

Das Analysewerkzeug kann als Bestandteil der in Abschnitt 2.1.1 erörterten sowie in Abbildung 2 grafisch dargestellten Vorgangsweise angesehen werden. Dabei wird ein spezifisches Problem abstrahiert, auf abstrahierter Ebene Lösungsvorschläge erarbeitet und erst danach spezifische Lösungen für das definierte Problem erarbeitet. Analog dazu wird im Analysewerkzeug vorgegangen. Es wird eine spezifische Analyse des technischen Systems vorgenommen und aufgrund dieser abstrakte

²⁰⁸ Kucharavy/Guio (2011), S. 571.

Entwicklungsrichtungen zur Höherentwicklung des Systems vorgeschlagen. Alternativ kann das Werkzeug in den Problemlösungsprozess gemäß WOIS eingeordnet werden. Dabei ist das Modell in der in Abschnitt 2.2.3 erläuterten Orientierungsphase zu positionieren, da Ist-Zustände von technischen Systemen ermittelt sowie das Suchfeld auf potentielle Entwicklungsrichtungen für den weiteren Problemlösungsprozess eingeschränkt werden kann.

Bezugnehmend auf die in Abschnitt 2.6 genannten Ansätze zur Vorhersage der zukünftigen Entwicklung technischer Systeme liegt auch der hier angeführten Analysemethode eine Strategie zu Grunde. Die Prämisse hierbei ist es, ausgehend von bestehenden Systemen mögliche Entwicklungsrichtungen aufzuzeigen, die gemäß der erarbeiteten theoretischen Grundlagen in Richtung eines idealen technischen Systems streben. Dieses Konzept wurde sowohl in Abschnitt 2.1.2 in Form der idealen Maschine sowie in Abschnitt 2.5.1 erörtert. Dabei wird in Kauf genommen, dass die Ergebnisse des Analysewerkzeuges in geringerer Extremität auftreten als es potentiell bei einem Vorgehen, bei dem vom Konzept der Idealität zurückentwickelt wird, der Fall ist. Dem Konzept der Idealität wird um Umfeld dieser Arbeit Kontext geringere Bedeutung zugemessen, da zur Anwendung dieses Konstruktes oftmals keine allgemeingültigen Kennzahlen eruiert werden können. So wird auch in Abschnitt 2.6 dargelegt, dass bei Anwendung des Konzeptes der Idealität durch die Auswahl des Hauptparameters die Feststellung des Entwicklungsstandes eines Systems teilweise willkürlicher Veränderung unterliegt.

Das in diesem Abschnitt erörterte Analysewerkzeug stellt eine qualitative Analyse dar. Als Metriken werden in diesem Zusammenhang ausschließlich die Entwicklungsstände von Teilsystemen herangezogen, auf deren Basis weitere Aussagen getroffen werden. Das grundlegende Vorgehen bei der Anwendung der Methode wird folgend in Abbildung 27 dargestellt.

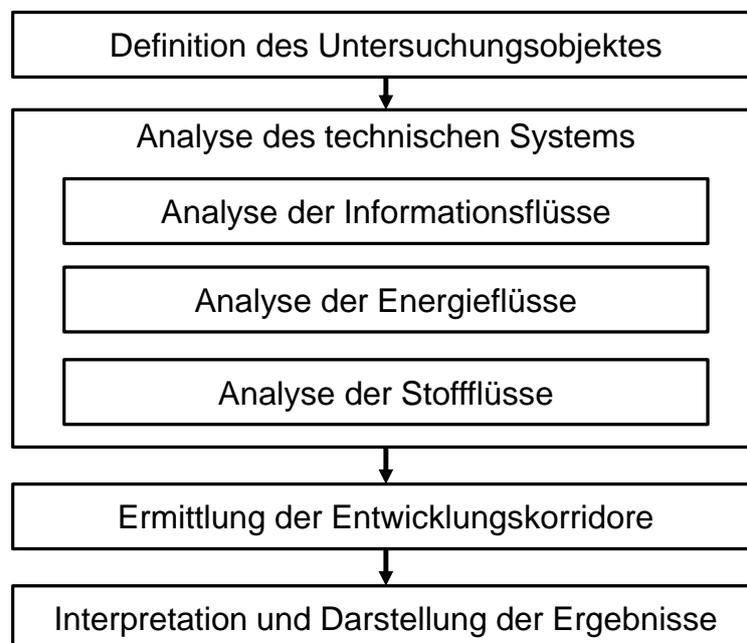


Abbildung 27: Grobstruktur der Vorgehensweise des Analysewerkzeuges, Quelle: Eigene Darstellung

Bezugnehmend auf die Grobstruktur der Methode ist es notwendig zwei weitere Begriffe für den Gebrauch zu definieren. Das *Entwicklungsniveau* wird im Kontext dieser Arbeit als das Erreichen eines Entwicklungsstandes verstanden.

Es kann somit als Meilenstein in der Höherentwicklung technischer Systeme angesehen werden. Als *Entwicklungskorridor* wird auf Basis der Entwicklungsniveaus von Teilsystemen eine potentielle, zukünftige Entwicklungsrichtung verstanden. Zusätzlich dazu enthält der Entwicklungskorridor implizit Informationen darüber, ob das betrachtete System noch ungenutztes Entwicklungspotential besitzt oder eine Höherentwicklung nur noch in übergeordneten Systemen in Verbindung mit dem betrachteten System in Betracht gezogen werden kann.

Um die im Werkzeug durchzuführenden Analysen zu ermöglichen, ist es nötig, ein Referenzmodell für technische Systeme als Grundlage heranzuziehen. Zusätzlich wird ebenso ein Modell benötigt, das eine nachvollziehbare Feststellung von Entwicklungsständen von Systemen erlaubt. Dementsprechend wird in den folgenden zwei Abschnitten eine Auswahl für die zu verwendenden Referenzmodelle getroffen.

3.3 Auswahl des Systemmodells

Um die Teilsysteme eines technischen Systems strukturiert analysieren zu können ist es nötig, ein Referenzmodell mit einer einheitlichen Struktur als Basis heranzuziehen. An dieser Stelle wird folgend eine Auswahl über das im weiteren Verlauf dieser Arbeit Anwendung findende Systemmodell getroffen. Grundsätzlich werden die relevanten Modelle unter Verwendung von vier in Abschnitt 2.4.1 genannten Kriterien bewertet. Die folgenden, in ausreichender Detaillierung vorliegenden Referenzmodelle, welche in den Abschnitten 2.4.2 bis einschließlich 2.4.4 vorgestellt wurden, werden untersucht:

- Modell des technischen Sachsystems gemäß allgemeiner Systemtheorie.
- Modell des minimalen technischen Systems gemäß TRIZ.
- Organismusmodell gemäß WOIS.

Die verfügbaren Referenzmodelle werden hinsichtlich ihrer Tauglichkeit, Präzision, Generalisierung und Simplizität untersucht und soweit möglich eine objektive, ansonsten eine subjektive Einschätzung dieser Parameter vorgenommen. Dabei werden die in Abschnitt 2.3.8 erläuterten Parameter logisch so mit den bisher erörterten theoretischen Grundlagen verkettet, dass die Modelle danach bewertet werden können.

Die *Tauglichkeit* eines Modells wird im Zuge dieser Arbeit zu Bewertungszwecken mit der Varietät, also der Anzahl diskreter Teilsysteme, gleichgesetzt. Nachdem in allen drei Referenzmodellen auf generische Funktionsbeschreibungen für Teilsysteme zurückgegriffen wird, ist logisch nachvollziehbar das System mit den meisten unterschiedlich definierten Teilfunktionen gleichzeitig das tauglichste Referenzmodell.

Um die *Präzision* eines Referenzmodells zu bewerten, wird in diesem Zusammenhang auf die Konnektivität als Reihungskriterium zurückgegriffen. Die Vermutung ist, dass Modelle für komplexe Systeme potentiell eine höhere Anzahl an Verhaltensweisen widerspiegeln und demzufolge Komplexität, also das Maximum der Konnektivität, als definierender Faktor für Präzision interpretiert werden kann. Zur Berechnung wird die Logik, welche auch in Abbildung 18 dargestellt wurde, verwendet. Die Komplexität errechnet sich hierbei aus der Anzahl der Systemelemente multipliziert mit der maximalen Anzahl bidirektionaler Verbindungen. Die Bewertung der Tauglichkeit und der Präzision als proportionale Größen wird auf Basis dieser Logik in Tabelle 2 dargestellt.

Referenzmodell	Varietät	maximale Konnektivität	Rang
Modell des technischen Sachsystems	12	132	1
Organismusmodell	10	90	2
Modell des minimalen technischen Systems	4	12	3

Tabelle 2: Bewertung der Tauglichkeit und Präzision von Referenzmodellen technischer Systeme

Um die betrachteten Referenzmodelle auch nach ihrer Eigenschaft zur *Generalisierung* zu beurteilen, muss auf die theoretische Basis zurückgegriffen werden. Eine Eignung soll folgend durch die Reichweite potentiell durch das Modell darstellbarer Systeme im Sinne eines Verwendungszwecks bewertet werden. Das Organismusmodell kann hierbei als das am meisten generalisierende angesehen werden, da es per Definition und wie in Abschnitt 2.4.4 erläutert auf alle Systeme anwendbar ist. Das Modell des technischen Sachsystems ist analog zum Modell des minimalen technischen Systems auf die Anwendung auf technische Systeme ausgelegt. Nachdem das Modell aus TRIZ jedoch nur die Minimalstufe repräsentiert, muss angenommen werden, dass es weniger stark generalisierend ist als sein Gegenstück aus der allgemeinen Systemtheorie. Die Reihung der Modelle nach dem Kriterium der Generalisierung wird in Tabelle 3 dargestellt.

Referenzmodell	Rang
Organismusmodell	1
Modell des technischen Sachsystems	2
Modell des minimalen technischen Systems	3

Tabelle 3: Bewertung der Generalisierung von Referenzmodellen technischer Systeme

Zur Reihung *der Simplizität* wird auf die Konnektivität in Relation zur Varietät zurückgegriffen. Die sich daraus ergebende durchschnittliche Anzahl der Verbindungen pro Teilsystem ist bei einfachen Modellen geringer. Sie schaffen es also, mit weniger ausführlichem Beziehungskontext pro Teilsystem das beobachtete technische System zu beschreiben. Anhand dieser Logik ergibt sich folgende, in Tabelle 4 dargestellte Reihung der Referenzmodelle gemäß ihrer Simplizität.

Referenzmodell	Varietät	Konnektivität	Quotient	Rang
Modell des technischen Sachsystems	12	17	1,42	1
Organismusmodell	10	24	2,40	2
Modell des minimalen technischen Systems	4	10	2,50	3

Tabelle 4: Bewertung der Simplizität von Referenzmodellen technischer Systeme

Um nun zusammenfassend das geeignetste Referenzmodell zu ermitteln, wird das arithmetische Mittel aus den erreichten Rängen pro Attribut errechnet. Die vier Attribute werden also schlussendlich als gleichwertig betrachtet. In Tabelle 5 wird folgend die Reihung der Referenzmodelle für technische Systeme in Abhängigkeit von allen vier bewerteten Kriterien angeführt.

Referenzmodell	Tauglichkeit	Präzision	Generalisierung	Simplizität	arithmetisches Mittel
Modell des technischen Sachsystems	1	1	2	1	1,25
Organismusmodell	2	2	1	2	1,75
Modell des minimalen technischen Systems	3	3	3	3	3

Tabelle 5: Übersicht der Bewertung der Referenzmodelle technischer Systeme

Aus der vorgenommenen Bewertung und daraus folgenden Reihung kann abgeleitet werden, dass für das in dieser Arbeit zu erstellende Analysewerkzeug das Modell des technischen Sachsystems aus der allgemeinen Systemtheorie das geeignetste ist. Dementsprechend wird dieses im weiteren Verlauf der Arbeit zur Verwendung herangezogen und stellt eine der Grundlagen für das zu entwickelnde Analysewerkzeug dar.

3.4 Auswahl des Modells zur Analyse der Entwicklungsstände

In Abschnitt 2.5 wurden Ansätze vorgestellt, welche die Feststellung von Entwicklungsständen von Systemen und Teilsystemen erlauben. Für die Anwendung im Analysewerkzeug ist folgend nötig, einen Ansatz zu wählen, mit dem in weiterer Folge als Teil eines Analysewerkzeuges Entwicklungsniveaus festgestellt werden können.

Die grundsätzlichen Ausführungen zu dieser Thematik stammen im Kontext dieser Arbeit entweder aus der Sphäre von TRIZ oder WOIS. Während in TRIZ mit den Konzepten der Entwicklungsgesetze und der Entwicklungskurve technischer Systeme gearbeitet wird, stellt WOIS diesbezüglich ein detaillierteres Modell zur Verfügung. Über die in Abschnitt 2.5.2 genannten Entwicklungsetappen ist eine exaktere Einordnung möglich, da diesbezüglich bereits in der Literatur Bedingungen angeführt werden, welche geprüft werden können und auf deren Basis eine Einordnung erfolgen kann. Als Variante des Entwicklungsmodells wird das Modell beginnend ab der Entstehungsetappe bis hin zur Obersystemetappe gewählt, welches in Abbildung 26 enthalten ist. Diese Auswahl erfolgt aufgrund der Feststellung, dass zumeist bestehende Systeme weiterentwickelt werden oder die funktionsdefinierenden Grundprinzipien bereits zuvor in technischen Systemen umgesetzt wurden. Daher wird der Naturetappe keine Relevanz beigemessen.

Zusätzlich impliziert das Modell der Höherentwicklung in WOIS die Kurvendarstellung aus TRIZ, da die Entwicklungsetappen analog dazu Aussagen darüber treffen, wie hoch das verbleibende Entwicklungspotential im Verhältnis zu einem fiktiven Maximum an Gesamtpotential ist. Die Darstellung der Kurve entspricht mit ihrer Steigung im Prinzip der Ausschöpfung dieser Entwicklungspotentiale. Demzufolge wird für das Analysewerkzeug das Modell der Systementwicklung aus WOIS verwendet. Die Feststellung der Entwicklungsetappen kann dabei analog zu einer Checkliste erfolgen, bei der Kriterien, die auf gewisse Entwicklungsetappen hinweisen, geprüft werden.

3.5 Verhinderung von Befangenheit

In Abschnitt 2.4.1 wurde neben der Qualität von Modellen ebenso der Begriff der Befangenheit erläutert. Um Befangenheit im Kontext der Methode entgegenzuwirken, werden die folgenden Ansätze verfolgt. Um *repräsentativer Befangenheit* im Umfeld der durchzuführenden Analyse möglichst entgegenzuwirken, wird das verwendete Systemmodell nicht in direkter Form angewendet. Die Analyse des technischen Systems basiert auf den Bestandteilen des Systemmodells aus der allgemeinen Systemtheorie. Dieses wird den Anwendern jedoch im Vorfeld der Analyse nicht explizit vorgestellt.

Erst im Zuge der Ergebnisdarstellung, also nach der eigentlichen Analyse des technischen Systems, soll bei Interesse das Basismodell vorgestellt werden. Dazu beitragend wird die Analyse des System nach Informations-, Energie- und Stoffflüssen gegliedert und nicht nach den im Systemmodell angeführten Teilsystemen, um Rückschlüsse auf ebendiese zu erschweren.

Um induktiver Befangenheit und der damit verbundenen engen Auslegung des Suchfeldes entgegenzuwirken, werden zwei Abstraktionsstufen angewendet. Einerseits erfolgt die Abstraktion durch die Anwendung des Systemmodells aus der allgemeinen Systemtheorie. Durch die generische Grundlage des Modells erfolgt diesbezüglich bereits eine Entfernung von der zu analysierenden Realität. Das System wird in ein Modell mit generischen Teilfunktionen transformiert. Durch die Gliederung der Analyse nach Informations-, Energie- und Stoffflüssen wird auch der eigentlichen Funktionalität des technischen Systems keine explizite Relevanz zugemessen, was ebenso einer weiteren Abstraktion zuträglich ist.

3.6 Vorgehensweise im Detail

Folgend wird nun die Vorgehensweise im Detail beschrieben. Dabei werden die Phasen, welche in Abbildung 27 dargestellt wurden, durchlaufen. Für jede Phase soll definiert werden, welche Ziele verfolgt werden und auf welche Art und Weise diese erreicht werden sollen. Vorab wird angemerkt, dass jedwede Analyse in diesem Kontext in der Form einer qualitativen Analyse erfolgt, weshalb in der Gesamtheit das zu erstellende Analysewerkzeug ebenso der Gruppe der *qualitativen Analysen* zuzuschreiben ist.

3.6.1 Definition des Untersuchungsobjektes

In der Phase *Definition des Untersuchungsobjektes* wird formlos festgelegt, welches technische System untersucht werden soll. Dieses bietet den gedanklichen Rahmen für die weiterführenden Analysen. Systemumwelt, Obersysteme oder aber auch Funktionen des zu analysierenden Systems sind nicht explizit von Interesse, da weiterführende Analysen ausschließlich auf Basis von generischen Teilfunktionen aus dem Systemmodell der allgemeinen Systemtheorie erfolgen. Als Ergebnis dieser Phase ist somit im Maximum eine Beschreibung des zu betrachtenden technischen Systems als gegeben anzusehen. Ziel ist es, ein grundlegendes Verständnis für den Untersuchungsgegenstand aufzubauen und dieses gedanklich in den weiteren Phasen anzuwenden.

3.6.2 Analyse des technischen Systems

Nach der Definition des Untersuchungsobjektes erfolgt die *Analyse des technischen Systems*. In dieser Phase werden unter Verwendung von strukturierten Entscheidungsfragen Kriterien geprüft, welche Aufschluss über den Entwicklungsstand von Teilsystem des generischen Systemmodells aus der allgemeinen Systemtheorie geben. Die geprüften Kriterien und somit auch die Entscheidungsfragen werden aus den in Abschnitt 2.5.2 erläuterten theoretischen Grundlagen zur Systementwicklung in WOIS abgeleitet. Die Fragen werden dabei nach Informations-, Energie- und Stoffflüssen gegliedert, welche im gewählten Systemmodell aus Abschnitt 2.4.2 enthalten sind.

Die Zuteilung der Teilsysteme erfolgt diesbezüglich nach den im Modell dargestellten Flüssen. Bei Überschneidungen der Flüsse, wie sie beispielsweise beim Einwirkungssystem vorliegen, erfolgt die Zuteilung auf Basis der generischen Funktion des Teilsystems. Daher kann die folgende Zuteilung vorgenommen werden:

- *Informationsflüsse*: Rezeptorsystem, Informationsverarbeitungssystem, Effektorsystem, Informationsspeicherungssystem, Führungssystem.
- *Energieflüsse*: Energieaufnahmesystem, Energieumwandlungssystem, Energieabgabesystem.
- *Stoffflüsse*: Stoffaufnahmesystem, Handhabungssystem, Einwirkungssystem, Stoffabgabesystem.

Über die generischen Funktionen der Teilsysteme wird dabei unter Verwendung des Entwicklungsmodells aus WOIS festgestellt, welche Entwicklungsniveaus diese erreicht haben. Dabei werden sequentiell jeweils Entstehungs-, Optimierungs-, Dynamisierungs- und Integrationsstufe einer Prüfung unterzogen. Dementsprechend sind die zu stellenden Fragen jeweils nach Fluss und Stufe gegliedert. Grundsätzlich folgen die Entscheidungsfragen innerhalb der Prüfung der Entwicklungsniveaus dem folgenden Grundschema:

- *Entstehungsstufe*: Erfüllung der in Abschnitt 2.4.2 beschriebenen generischen Funktion des Teilsystems.
- *Optimierungsstufe*: Erhöhung des Durchsatzes an Stoff, Energie oder Information beziehungsweise Effizienzsteigerung der generischen Funktion.
- *Dynamisierungsstufe*: Variierbarkeit der generischen Funktion sowie adaptive Erhöhung und Verringerung von Stoff-, Energie- und Informationsflüssen während der Systemnutzung.
- *Integrationsstufe*: Integration funktionsreduzierender, gleichartiger Teilsysteme und Prüfung, ob die Integration zusätzlicher Teilsysteme mit einem Komplexitätszuwachs ohne überproportionalen Nutzen verbunden ist.

Zur Auswahl der Entscheidungsfragen wird zusätzlich ein Schema angewendet, welches festhält, welche Prüfungen aufgrund der zuvor bejahten Entscheidungsfragen von Relevanz sind. Dies basiert grundsätzlich auf den folgenden drei Feststellungen, welche in den Abschnitten 2.4.2 sowie 2.5.2 über die vorgestellten Modelle erläutert wurden:

- Ist ein vorgelagertes Teilsystem im Kontext des jeweiligen Flusses nicht zumindest in der Entstehungsstufe vorhanden, so ist eine Prüfung der Kriterien für im Fluss folgende Teilsysteme irrelevant. Beispielsweise muss nicht geprüft werden, welches Entwicklungsniveau das Energieabgabesystem erreicht hat, wenn kein Energieaufnahmesystem zumindest in der Entstehungsstufe gemäß WOIS vorliegt.
- Eine Prüfung von höheren Entwicklungsniveaus ist nur dann von Relevanz, wenn die vorhergehenden Entwicklungsniveaus erfüllt wurden, da die Entwicklung technischer Systeme gemäß den Entwicklungsstufen wie in Abschnitt 2.5.2 beschrieben sequentiell verläuft. Eine Prüfung der Dynamisierungsstufe eines Teilsystems ist somit nur dann nötig, wenn die

Entscheidungsfragen zu Entstehungs- und Optimierungsetappe desselben Teilsystems positiv beantwortet werden konnten.

- Ist die Integrationsetappe für ein Teilsystem als erfüllt anzusehen, so erfolgt keine weitere Prüfung der Obersystemetappe, da dies bereits ausreicht, um eine Aussage über die zukünftige Höherentwicklung des Systems zu treffen. Diese ist nach erfüllter Integrationsetappe wie in Abschnitt 2.5.2 beschrieben nur noch auf der Obersystemebene möglich.

Aufgrund dieser Feststellungen wird folgend die Analyse der Informations-, Energie- und Stoffflüsse im Detail beschrieben. Einleitend wird jeweils ein Entscheidungsbaum dargestellt, welcher die relevanten Wege durch den Fragebogen visualisiert. Die Analyse erfolgt dabei aufgrund von einer oder mehrerer Entscheidungsfragen. Ist mehr als eine Entscheidungsfrage angegeben, so müssen alle bejaht werden, um das Kriterium als erfüllt anzusehen.

3.6.3 Analyse der Informationsflüsse

Im Zuge dieses Analyseschrittes werden die Informationsflüsse durch das betrachtete technische System durchleuchtet. Die in diesem Abschnitt relevanten Entscheidungsfragen folgen den in Abschnitt 3.6.2 festgelegten Relevanzkriterien. Dementsprechend kann auf Basis des gewählten System- und Entwicklungsmodells dargestellt werden, welche Fragen im Verlauf der Prüfung von Relevanz sind. So ist beispielsweise eine Prüfung von Informationsverarbeitungssystem, Effektorsystem, Informationsspeicherungssystem oder Führungssystem nur dann sinnvoll, wenn ein Effektorsystem zumindest in der Entstehungsetappe vorliegt. In Abbildung 28 wird dargestellt, welche Prüfungen bei positivem Ausgang vorhergehender Prüfungen durchgeführt werden müssen.

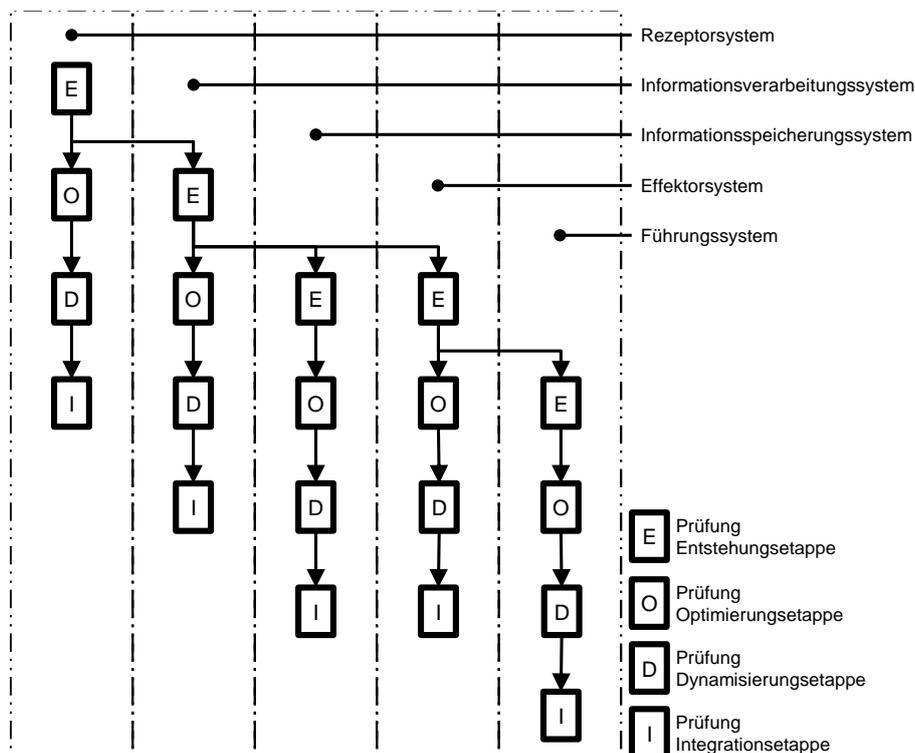


Abbildung 28: Relevanz der Prüfungen zu Informationsflüssen, Quelle: Eigene Darstellung

Zur Prüfung der Teilsysteme im Kontext des Informationsflusses sowie der vorliegenden Entwicklungsniveaus wurden auf Basis der Erörterungen in Abschnitt 2.4.2 sowie Abschnitt 2.5.2 die folgenden Entscheidungsfragen erarbeitet.

- *Rezeptorsystem:*
 - Entstehungsetappe: Werden Informationen, beispielsweise in Form von Daten oder Befehlen, vom System absorbiert?
 - Optimierungsetappe: Wurden Menge und/oder Qualität der absorbierten Daten oder Befehle im Sinne des Informationsflusses erhöht?
 - Dynamisierungsetappe: Ist die Informationsabsorption durch das System variierbar? Werden phasenweise mehr bzw. weniger Informationen während der Systemnutzung absorbiert?
 - Integrationsetappe: Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Absorption von Informationen integriert und führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?
- *Informationsverarbeitungssystem:*
 - Entstehungsetappe: Werden Informationen im System verarbeitet, umgewandelt oder eine Regelung durch diese initiiert?
 - Optimierungsetappe: Wurde die Menge und/oder Qualität der verarbeiteten oder umgewandelten Informationen erhöht? Wurde die Effizienz der Informationsverarbeitung beziehungsweise -umwandlung gesteigert?
 - Dynamisierungsetappe: Ist die Informationsverarbeitung beziehungsweise -umwandlung variierbar? Werden während der Systemnutzung phasenweise mehr beziehungsweise weniger Informationen verarbeitet oder umgewandelt?
 - Integrationsetappe: Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Informationsverarbeitung oder -umwandlung integriert und führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?
- *Informationsspeicherungssystem:*
 - Entstehungsetappe: Werden Informationen aufbewahrt und zeitlich entkoppelt wiederverwendet?
 - Optimierungsetappe: Wurde die Informationsaufbewahrung bereits hinsichtlich Struktur, Menge oder Qualität optimiert?
 - Dynamisierungsetappe: Ist die Informationsaufbewahrung variierbar? Werden während der Systemnutzung phasenweise mehr beziehungsweise weniger Informationen zeitlich entkoppelt wiederverwendet?
 - Integrationsetappe: Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Informationsspeicherung integriert und führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?
- *Effektorsystem:*
 - Entstehungsetappe: Werden Informationen, beispielsweise in Form von Daten oder Befehlen, systemintern weitergeleitet oder an die Systemumgebung emittiert?

- Optimierungsetappe: Wurden Menge und/oder Qualität der emittierten oder weitergeleiteten Daten oder Befehle im Sinne des Informationsflusses erhöht?
- Dynamisierungsetappe: Ist die Informationsemission beziehungsweise -weiterleitung variierbar? Werden während der Systemnutzung phasenweise mehr beziehungsweise weniger Informationen emittiert oder weitergeleitet?
- Integrationsetappe: Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Daten- oder Befehlsemission integriert und führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?
- *Führungssystem:*
 - Entstehungsetappe: Erfolgt eine Koordination der unterschiedlichen Systemkomponenten auf Basis vorhandener Informationen?
 - Optimierungsetappe: Wurde der Koordinationsgrad beziehungsweise die Effizienz der Koordination der Systemkomponenten erhöht?
 - Dynamisierungsetappe: Ist der Koordinationsgrad beziehungsweise die Effizienz der Koordination variierbar? Wird während der Systemnutzung teilweise ein höherer oder geringerer Grad an Koordination zwischen den Systemkomponenten benötigt?
 - Integrationsetappe: Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Koordination der Systemkomponenten integriert und führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?

Nach der Ermittlung der Entwicklungsniveaus der Teilsysteme im Kontext von Informationsflüssen wird in weiterer Folge der Energiefluss im System überprüft. Dabei wird schematisch analog vorgegangen, jedoch die laut Abschnitt 3.6.2 dem Energiefluss zuzuordnenden Teilsysteme untersucht.

3.6.4 Analyse der Energieflüsse

Folgend wird der Energiefluss im zu prüfenden technischen System betrachtet, an welchem das Energieaufnahmesystem, das Energieumwandlungssystem sowie das Energieabgabesystem beteiligt sind. Analog zu der zuvor behandelten Analyse des Informationsflusses wird diesbezüglich in Abbildung 29 dargestellt, welche Abhängigkeiten zwischen den positiven Ausgängen der durchzuführenden Prüfungen vorliegen.

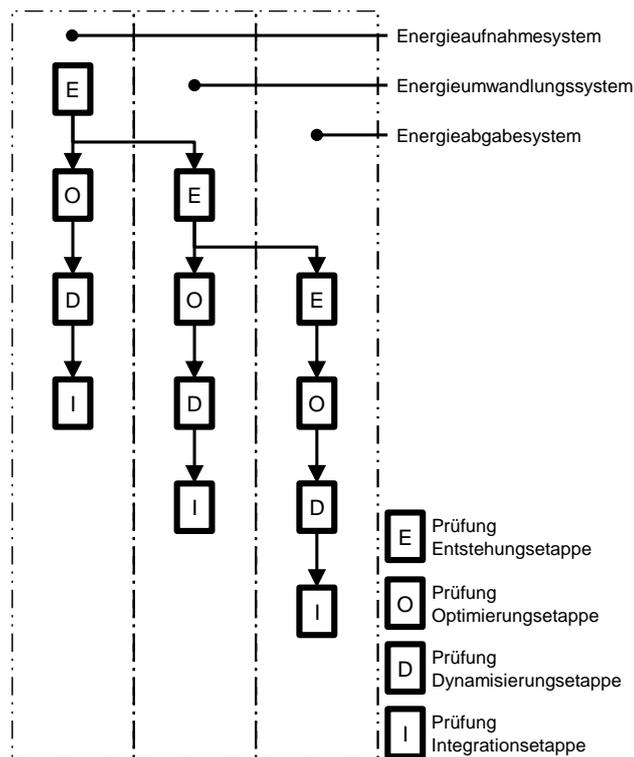


Abbildung 29: Relevanz der Prüfungen zu Energieflüssen, Quelle: Eigene Darstellung

Zur Prüfung der Teilsysteme im Kontext des Energieflusses sowie der vorliegenden Entwicklungsniveaus wurden aufgrund der Erörterungen in Abschnitt 2.4.2 sowie Abschnitt 2.5.2 die folgenden Entscheidungsfragen erarbeitet.

- **Energieaufnahmesystem:**
 - Entstehungsetappe: Wird Energie, beispielsweise in Form von thermischer oder elektrischer Energie, vom System absorbiert?
 - Optimierungsetappe: Wurde die Menge der absorbierten Energie oder die Effizienz der Energieaufnahme erhöht beziehungsweise die absorbierte Energieform verändert?
 - Dynamisierungsetappe: Ist die Energieabsorption variierbar? Wird während der Systemnutzung phasenweise mehr beziehungsweise weniger Energie absorbiert?
 - Integrationsetappe: Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Energieabsorption integriert und führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?
- **Energieumwandlungssystem:**
 - Entstehungsetappe: Wird eine Energieumwandlung durchgeführt? Wird beispielsweise elektrische Energie in thermische Energie umgewandelt?
 - Optimierungsetappe: Wurde die Menge der umgewandelten Energie, die Effizienz der Energieumwandlung oder die Anzahl der beteiligten Energieformen erhöht?
 - Dynamisierungsetappe: Ist die Energieumwandlung variierbar? Wird während der Systemnutzung phasenweise mehr beziehungsweise weniger Energie in mehr oder weniger Energieformen umgewandelt?

- Integrationsetappe: Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Energieumwandlung integriert und führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?
- **Energieabgabesystem:**
 - Entstehungsetappe: Wird Energie, beispielsweise in Form von thermischer oder elektrischer Energie, vom System emittiert?
 - Optimierungsetappe: Wurde die Menge der emittierten Energie oder die Effizienz der Energieabgabe erhöht beziehungsweise die emittierte Energieform verändert?
 - Dynamisierungsetappe: Ist die Energieemission variierbar? Wird während der Systemnutzung phasenweise mehr beziehungsweise weniger Energie emittiert?
 - Integrationsetappe: Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Energieemission integriert und führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?

Auf die Ermittlung der Entwicklungsniveaus der Teilsysteme, welche den Energieflüssen zuzuschreiben sind, folgt im abschließenden Schritt der Analyse des technischen Systems die Betrachtung von Stoffflüssen.

3.6.5 Analyse der Stoffflüsse

Das Stoffaufnahmesystem, das Handhabungssystem, das Einwirkungssystem und das Stoffabgabesystem werden abschließend einer Analyse im Kontext des betrachteten technischen Systems unterzogen. In Abbildung 30 werden die Abhängigkeiten dargestellt, welche zwischen den positiven Ausgängen der durchzuführenden Prüfungen der Entwicklungsniveaus vorliegen.

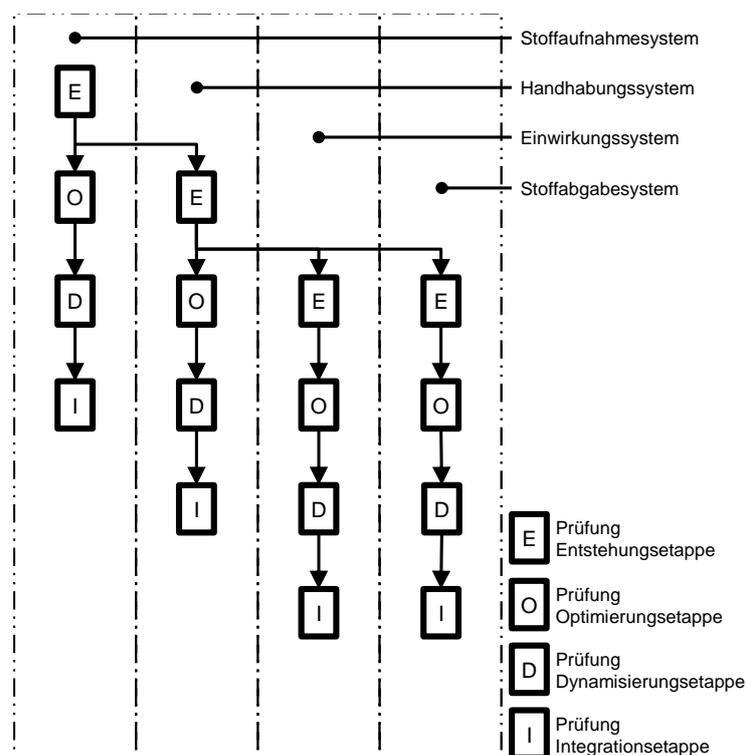


Abbildung 30: Relevanz der Prüfungen zu Stoffflüssen, Quelle: Eigene Darstellung

Zur Prüfung der dem Materialfluss zuordenbaren Teilsysteme sowie der vorliegenden Entwicklungsniveaus wurden auf Basis der Erörterungen in Abschnitt 2.4.2 und Abschnitt 2.5.2 die folgenden Entscheidungsfragen erarbeitet.

- *Stoffaufnahmesystem:*
 - Entstehungsetappe: Wird Stoff (analog dazu: Materie oder Substanz), beispielsweise in Form von Rohstoffen oder zu bearbeitenden Objekten, vom System absorbiert?
 - Optimierungsetappe: Wurde die Menge oder Qualität des absorbierten Stoffes erhöht?
 - Dynamisierungsetappe: Ist die Stoffabsorption variierbar? Wird phasenweise mehr beziehungsweise weniger Stoff während der Systemnutzung absorbiert?
 - Integrationsetappe: Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Stoffabsorption integriert und führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?
- *Handhabungssystem:*
 - Entstehungsetappe: Wird Stoff im System bewegt?
 - Optimierungsetappe: Wurde die Menge des bewegten Stoffes oder die Effizienz des Stofftransportes erhöht?
 - Dynamisierungsetappe: Ist die Stoffbewegung variierbar? Wird phasenweise mehr beziehungsweise weniger Stoff in unterschiedlichen Geschwindigkeiten bewegt?
 - Integrationsetappe: Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zum Stofftransport integriert und führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?
- *Einwirkungssystem:*
 - Entstehungsetappe: Wird Stoff im System verändert, verarbeitet beziehungsweise bearbeitet?
 - Optimierungsetappe: Wurde die Menge des veränderten, bearbeiteten oder verarbeiteten Stoffes oder die Effizienz der stofflichen Veränderung erhöht?
 - Dynamisierungsetappe: Ist die stoffliche Veränderung variierbar? Wird phasenweise mehr beziehungsweise weniger Stoff verändert, bearbeitet oder verarbeitet?
 - Integrationsetappe: Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Stoffbearbeitung oder -veränderung integriert und führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?
- *Stoffabgabesystem:*
 - Entstehungsetappe: Wird Stoff (analog dazu: Materie oder Substanz), beispielsweise in Form von Rohstoffen, vom System emittiert?
 - Optimierungsetappe: Wurde die Menge oder Qualität des emittierten Stoffes erhöht?
 - Dynamisierungsetappe: Ist die Stoffemission variierbar? Wird phasenweise mehr beziehungsweise weniger Stoff während der Systemnutzung emittiert?
 - Integrationsetappe: Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Stoffemission integriert und führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?

Nachdem nun sowohl Informations-, Energie- und Stoffflüsse im technischen System analysiert wurden, werden in weiterer Folge die potentiellen Korridore zur Weiterentwicklung des technischen Systems ermittelt. Der vollständige Fragenkatalog ist in Anhang A ersichtlich. Anhang B enthält einen Überblick über die Abhängigkeiten zwischen den Entscheidungsfragen. Die Kriterien zur Ermittlung der Entwicklungskorridore werden dementsprechend nun im folgenden Abschnitt beschrieben.

3.6.6 Ermittlung der Entwicklungskorridore

Auf Basis der in den Abschnitten 3.6.3, 3.6.4 sowie 3.6.5 erstellten Entscheidungsfragen können die Entwicklungsniveaus der Teilsysteme analysierter technischer Systeme festgestellt werden. Durch die Ergebnisse aus diesen Analysen sollen nun folgend Ableitungen getroffen werden, welche als Entwicklungskorridore das Suchfeld für potentielle Entwicklungsaufgaben einschränken. Die folgenden Kriterien, welche in Abschnitt 2.5.2 erläutert wurden, können als zentrale Elemente zur Richtungsweisung des möglichen Entwicklungskorridors herangezogen werden.

- *Strategie der progressiven Frontbegradigung beziehungsweise Gesetz des Minimums:* Es sind jeweils die am niedrigsten entwickelten Teilsysteme weiterzuentwickeln.
- *85%-Regel:* Eine Entwicklung in der Obersystemetappe ist nur dann anzustreben, wenn die Summe aller erfüllten Entwicklungsetappen 85% aller erfüllbaren Entwicklungsetappen von der Entstehungs- bis zur Integrationsetappe übersteigt.

Zusätzlich zu den zwei genannten wird unter Verwendung der erarbeiteten theoretischen Grundlagen ein weiteres Kriterium angewendet, welches nicht explizit in der Literatur zu finden ist. Unter der Bezeichnung *obligatorische Optimierungsetappe* sei weiterführend zu verstehen, dass zur Erfüllung der 85%-Regel zusätzlich für alle Teilsysteme die Optimierungsetappe bejaht werden muss, da diese als eine reine Optimierung des funktionserfüllenden Grundprinzips für sich bereits ausreichend großes Verbesserungspotential birgt. Auf Basis der genannten Kriterien wird folgend in Abbildung 31 ein Entscheidungsbaum dargestellt, welcher alle Ausgänge der Ergebnisermittlung beinhaltet.

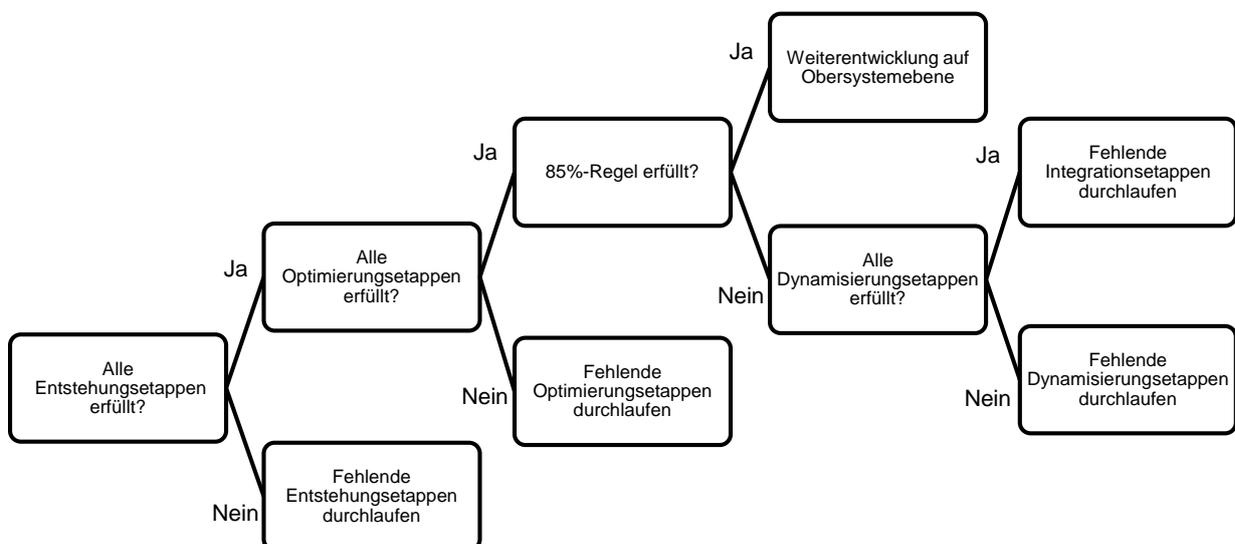


Abbildung 31: Entscheidungsbaum der Entwicklungskorridore, Quelle: Eigene Darstellung

Mit der erfolgten Ermittlung des Entwicklungskorridors liegt somit basierend auf dem bestehenden Entwicklungsniveau der Teilsysteme eines technischen Systems eine Empfehlung vor, welche Teilsysteme in welchen Etappen weiterentwickelt werden sollen. Die daraus abzuleitenden Entwicklungsaufgaben können implizit wiederum aus den in den vorangegangenen Abschnitten angeführten Entscheidungsfragen hergeleitet werden. So ist die Frage zu stellen, welche Anpassungen am vorliegenden technischen System nötig sind, um die Entscheidungsfragen zukünftig positiv beantworten zu können. Die Ableitung der Entwicklungsaufgabe ist jedoch nicht als Teil des konzipierten Analysewerkzeuges anzusehen. Im folgenden Abschnitt wird kurz erläutert, auf welche Art und Weise die Ergebnisse aus den bisherigen Phasen der Methode interpretiert werden können beziehungsweise wie eine visuelle Unterstützung zur Darstellung des Ergebnisses gestaltet werden kann.

3.6.7 Interpretation und Darstellung der Ergebnisse

Zum Abschluss, der *Interpretation und Darstellung der Ergebnisse*, werden diese kritisch diskutiert. Als Output dieser Phase besteht Konsens über die Aussagen als Ergebnis der Methode und deren Gehalt sowie die damit verbundenen Implikationen für die zukünftige Höherentwicklung des technischen Systems. Zur Unterstützung kann hierbei eine visuelle Darstellung in Form eines Diagrammes herangezogen werden. Dafür empfiehlt sich eine Kombination von Radar- und Kreisdiagramm. Die unterschiedlichen Teilsysteme werden dabei durch jeweils eine Kategorie im Diagramm repräsentiert, während die Achsen zur Darstellung der Entwicklungsniveaus herangezogen werden. Eine farbliche Differenzierung nach Energie-, Stoff- und Informationsflüssen wird zusätzlich empfohlen. Dadurch ist beispielsweise ersichtlich, ob gewisse Flüsse im System eine vorherrschende oder untergeordnete Stellung einnehmen. Eine beispielhafte Visualisierung der Ergebnisse wird folgend in Abbildung 32 dargestellt.

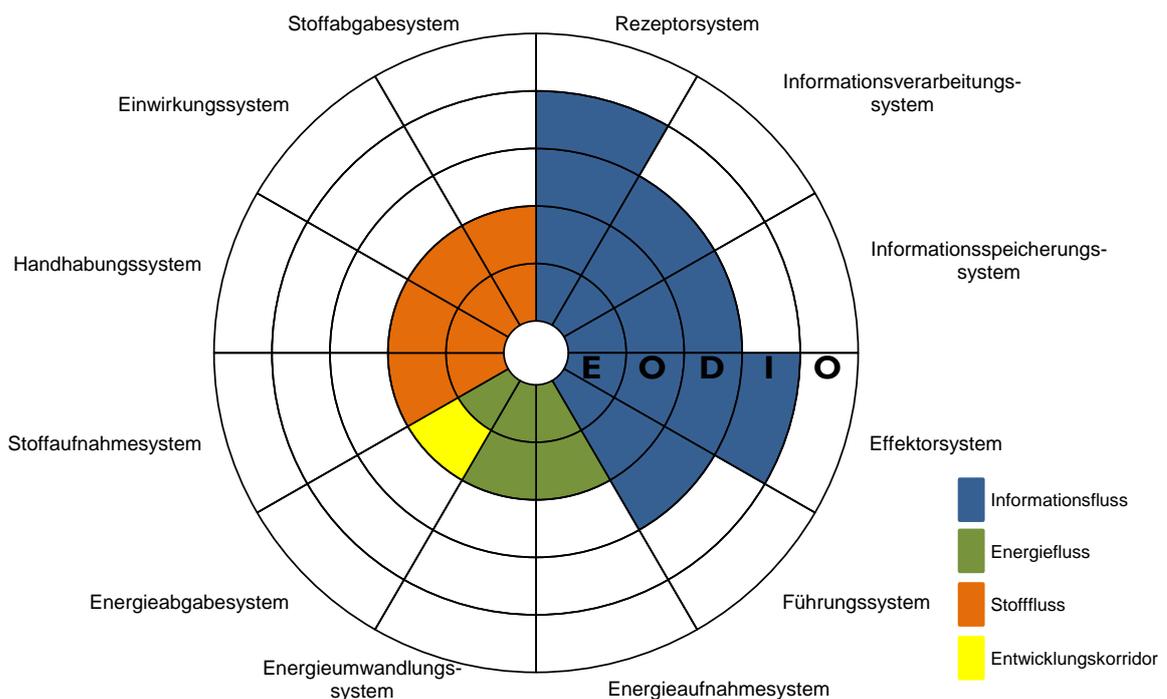


Abbildung 32: Beispielhafte Visualisierung der Ergebnisse, Quelle: Eigene Darstellung

Mit der detaillierten Darstellung des Modells zur systematischen Identifikation von Entwicklungsniveaus und Entwicklungskorridoren im Systemmodell ist der theoretische Teil dieser Arbeit als abgeschlossen zu betrachten. Im darauffolgenden praktischen Teil sollen zu Beginn die grundsätzlichen Rahmenbedingungen für die Anwendung der Methode dargestellt werden. Dabei werden technische Systeme in Form von Produkten befragter Unternehmen unter Befolgung der in Abschnitt 3.2 beschriebenen grundlegenden Vorgangsweise systematisch und strukturiert analysiert und darauf aufbauend abstrakte Empfehlungen zur Weiterentwicklung des Systems abgegeben.

4 ANWENDUNG DES ANALYSEWERKZEUGES

*"Die Antwort auf die Frage, ist Erfinden leicht oder schwer, kennen wir jetzt.
Alles hängt von der Aufgabe ab."²⁰⁹*

In diesem Kapitel wird die Anwendung der erstellten Methodik beschrieben. Zu Beginn erfolgt eine Erörterung der Rahmenbedingungen und Voraussetzungen, welche für den praktischen Gebrauch Geltung besitzen. Folgend wird die eigentliche Verwendung des Modells beschrieben und die für den Anwender direkt verfügbaren Ergebnisse dargestellt. Ein besonderer Fokus wird hierbei auf das Feedback gelegt, welches von den Anwendern sowohl während als auch nach der Anwendung des Werkzeuges gegeben wurde.

4.1 Ziele

Im theoretischen Teil dieser Arbeit wurde als singuläres Ziel die Erstellung des Analysewerkzeuges verfolgt. Dieses erhebt den Anspruch den Anwender bei der Analyse von technischen Systemen mit Struktur und Systematik zu unterstützen. Sowohl Informationen über die Beschaffenheit des Systems im Sinne der allgemeinen Systemtheorie sowie der Entwicklungsstände gemäß der Widerspruchsorientierten Innovationsstrategie sollen dadurch bereitgestellt werden. Zusätzlich sollen Handlungsempfehlungen abgeleitet werden, welche auf abstrakter Ebene Vorschläge für die Höherentwicklung des technischen Systems geben. Dadurch soll eine Stoßrichtung für die Findung erfinderischer Aufgaben bereitgestellt werden. Ziel ist es somit nicht, spezifische erfinderische Aufgaben abzuleiten.

Mit der praktischen Anwendung der Analysemethode werden im Gegensatz zum theoretischen Teil dieser Arbeit dazu mehrere komplementäre Ziele verfolgt. Einerseits ist dies die *Anwendung des Analysewerkzeuges auf real existierende technische Systeme*. Dadurch soll geprüft werden, ob eine abstrahierte Betrachtung im Sinne der allgemeinen Systemtheorie in Verbindung mit den Ansätzen aus der Widerspruchsorientierten Innovationsstrategie für den Anwender nachvollziehbar und nützlich ist, um damit Entwicklungsstände und Entwicklungskorridore systematisch und strukturiert zu identifizieren.

Zusätzlich kann als weiteres Ziel die *Validierung der Methode* angeführt werden. Diese erfolgt auf Basis des von den Anwendern im Zuge der Nutzung des Werkzeuges bereitgestellten Feedbacks. Die zu prüfenden Nutzenziele wurden bereits in Abschnitt 3.1 im Kontext der Ziele des Analysewerkzeuges

²⁰⁹ Altshuller/Seljuzki A. (1983), S. 18.

angeführt. Diese umfassen sowohl die Kenntnis der Entwicklungsstände des technischen Systems als auch der daraus abgeleiteten Empfehlungen für zukünftige Entwicklungsaufgaben, durch welche der weitere Problemlösungsprozess a priori durch eine Festlegung auf ein Suchfeld eingeschränkt werden kann. Zusätzlich soll festgestellt werden, ob die ausgearbeitete Herangehensweise für den Anwender praktikabel und ohne weitere Anleitung möglich ist.

Schlussendlich kann als drittes und letztes Ziel der praktischen Anwendung die *Interpretation der Ergebnisse* aus den Analysen der technischen Systeme angeführt werden. Diesbezüglich sollen in Kapitel 4 jeweils auf den Anwendungsfall bezogene Erkenntnisse dargestellt werden, während in Abschnitt 5 Erkenntnisse allgemeinerer Natur erörtert werden.

Im Hinblick auf die am Beginn dieser Arbeit gestellten Forschungsfragen kann festgestellt werden, dass die Erreichung der genannten Ziele durchwegs mit der praktischen Anwendung des Analysewerkzeuges einhergehen. Obschon die Forschungsfragen grundsätzlich durch Kapitel 2 und 3 geklärt scheinen, so ist es doch notwendig, die erarbeiteten Ansätze im Kontext real existierender Systeme zu prüfen und ihren Nutzen für die Praxis festzustellen. In weiterer Folge werden nun vorab gestellte Überlegungen sowie die nötigen Vorbereitungen für die Durchführung der praktischen Anwendung der Methode dargestellt.

4.2 Vorbereitung

In diesem Abschnitt werden nun vorbereitende Überlegungen zur Erreichung der in Abschnitt 4.1 genannten Ziele des praktischen Teiles dieser Arbeit angestellt. Zu Beginn ist es notwendig, grundlegende Feststellungen zur Anwendung des Analysewerkzeuges anzuführen. Zusätzlich wird ausgeführt, welche Vorgehensweise beziehungsweise Methode zur Erreichung der Ziele gewählt wurde. In weiterer Folge wird der Aufbau eines Durchlaufes zur Prüfung des erstellten Modells exemplarisch dargestellt sowie die Methodik zur Auswahl der Teilnehmer thematisiert. Abschließend erfolgt ein Blick auf den zeitlichen Rahmen, in dem die Validierung der Analysemethode erfolgte.

4.2.1 Grundlegende Feststellungen

Grundsätzlich wird durch die Anwendung der Methode im praktischen Umfeld die Erreichung der Ziele, welche in Abschnitt 4.1 genannt wurden, angestrebt. Die Aufgabenstellung besteht somit darin, das Analysewerkzeug auf reale Beispiele anzuwenden, dieses zu validieren und die aus der Anwendung gewonnenen Erkenntnisse aufzubereiten und zu interpretieren.

Wie in Abschnitt 3.2 dargelegt, stellt das zur Verfügung stehende Werkzeug eine qualitative Analysemethode dar. Die darin enthaltene, in Abbildung 27 dargestellte grundlegende Vorgehensweise soll dabei konsequent verfolgt werden. Als Ergebnis der Anwendung sind die bestehenden Entwicklungsniveaus des technischen Systems sowie potentielle Entwicklungskorridore festgestellt. Ein Nichtziel ist hierbei die Überführung der festgestellten Entwicklungskorridore in definitive Entwicklungsaufgaben für das technische System. Dadurch soll sichergestellt werden, dass die Anwender ausschließlich Bewertungen und Feedback über die Analysemethode sowie direkt daraus

generierte Ergebnisse zur Verfügung stellen. Indirekte Ableitungen und weiterführende Gedankengänge, welche nicht als unmittelbares Ergebnis aus der Nutzung der Methode entstehen, sollen so nicht die Einschätzung der Anwender über die verwendete Methode verfälschen.

Weiterführend wird nun erörtert, welche Vorgehensweise zur Erreichung der Ziele im Detail gewählt wurde. Insbesondere sollen diesbezüglich alle relevanten Parameter festgelegt werden, welche als Rahmenbedingung dafür nötig sind.

4.2.2 Vorgehensweise

Nachfolgend werden nun die Parameter festgelegt, gemäß denen die Zielerreichung im empirischen Teil dieser Arbeit angestrebt werden soll. Jegliche Festlegungen sind dabei strikt auf das im theoretischen Teil dieser Arbeit erstellte Analysewerkzeug ausgerichtet. Da es sich beim erstellten Modell de facto im Kern um eine Menge an Entscheidungsfragen handelt, welche zur qualitativen Analyse und Ableitung von Folgeschlüssen in Bezug auf ein technisches System dienen, liegt somit im zentralen Abschnitt der Vorgehensweise für den empirischen Teil eine *qualitative Befragung*.

Die qualitative Befragung soll grundsätzlich in Form von *Workshops* erfolgen. Jeder Durchlauf dieser Befragung inkludiert dabei einen Durchlauf des entwickelten Werkzeuges. Vorab kann somit festgestellt werden, dass *pro Befragung jeweils ein singuläres technisches System* analysiert wird. In direktem Zusammenhang dazu steht die Dauer einer jeden Analyse, welche vorab aufgrund von Inhalt und Umfang des Analysewerkzeuges auf *ein bis zwei Stunden* geschätzt wurde.

Einen weiteren Aspekt im Zuge der empirischen Ausführungen stellt die Kommunikationsform dar. Grundsätzlich sollen die *Workshops Angesicht zu Angesicht* stattfinden. Eine Durchführung mittels elektronischer Unterstützung, zum Beispiel Videotelefonie, wird jedoch vorab nicht kategorisch ausgeschlossen. Durch den hohen Abstraktionsgrad der Methode erscheint es jedoch vorteilhaft, hierbei auch die Möglichkeiten zu erklärenden Darstellungen durch den persönlichen Kontakt zu nutzen. Um eine effiziente Abwicklung der *Workshops* zu gewährleisten, wird zusätzlich festgelegt, dass *nicht mehr als drei weitere Personen* exklusive dem Moderator an einem solchen *Workshop* teilnehmen sollen.

Die Dokumentation der *Workshops* erfolgt parallel in zwei unterschiedlichen Formen. Einerseits werden die Entscheidungsfragen, welche im Zuge der Erstellung des Analysewerkzeuges aufgestellt wurden, in den *Workshops* beantwortet und dies in einer dafür erstellten Vorlage im Excel-Format dokumentiert. Die Vorlage ist dabei der Analysestruktur in Abschnitt 3.6 nachempfunden und in Abschnitte für den Informations-, Energie und Stofffluss gegliedert. Diese enthalten alle in den Abschnitten 3.6.3, 3.6.4 und 3.6.5 aufgeführten Fragen und die Möglichkeit, diese als positiv oder negativ beantwortet zu kennzeichnen. Zusätzlich wurde der Relevanz der zu stellenden Fragen, welche ebenso in den zuvor genannten Abschnitten erörtert und insbesondere in Abbildung 28, Abbildung 29 und Abbildung 30 dargestellt wurden, Folge geleistet. Diesbezüglich wurden die Fragen pro Bereich aufsteigend nummeriert und jeweils die vorhergehende, positiv zu beantwortende Frage als Bedingung beziehungsweise Indikator für die Relevanz der aktuellen Frage angeführt. Eine schematische Darstellung dieses Kataloges wird folgend in Abbildung 33 angeführt.

Nr.	Bed.	Abschnitt 1	Zutreffendes bitte ankreuzen
1.1		Subsystem 1	
1.1.1	-	Frage 1	<input type="checkbox"/>
1.1.2	1.1.1	Frage 2	<input type="checkbox"/>
1.1.3	1.1.2	Frage 3	<input type="checkbox"/>
1.1.4	1.1.3	Frage 4	<input type="checkbox"/>
1.2		Subsystem 2	
1.2.1	1.1.1	Frage 1	<input type="checkbox"/>
1.2.2	1.2.1	Frage 2	<input type="checkbox"/>
1.2.3	1.2.2	Frage 3	<input type="checkbox"/>
1.2.4	1.2.3	Frage 4	<input type="checkbox"/>

Nr.	Bed.	Abschnitt 2	Zutreffendes bitte ankreuzen
2.1		Subsystem 1	
2.1.1	-	Frage 1	<input type="checkbox"/>
2.1.2	2.1.1	Frage 2	<input type="checkbox"/>
2.1.3	2.1.2	Frage 3	<input type="checkbox"/>
2.1.4	2.1.3	Frage 4	<input type="checkbox"/>
2.2		Subsystem 2	
2.2.1	2.1.1	Frage 1	<input type="checkbox"/>
2.2.2	2.2.1	Frage 2	<input type="checkbox"/>
2.2.3	2.2.2	Frage 3	<input type="checkbox"/>
2.2.4	2.2.3	Frage 4	<input type="checkbox"/>

Abbildung 33: Dokumentationsform der qualitativen Befragung, Quelle: Eigene Darstellung

Die Dokumentationsvorlage dient in weiterer Folge zusätzlich der Unterstützung bei der Bestimmung der Entwicklungskorridore des technischen Systems. Hierbei wurden die im Abschnitt 3.6.6 festgelegten Regeln, insbesondere der in Abbildung 31 dargestellte Entscheidungsbaum so umgesetzt, sodass unmittelbar nach Abschluss der Analyse der Informations-, Energie- und Stoffflüsse ein Ergebnis im Sinne einer grafischen Darstellung analog zu Abbildung 32 generiert wird. Dies verkürzt im Zuge der Workshops den Zeitraum zwischen der Analyse selbst und der auf die Ermittlung der Entwicklungskorridore folgenden Interpretation der Ergebnisse.

In zweiter Form erfolgt die Dokumentation der Workshops indirekt über eine Audio-Aufzeichnung. Diese dient insbesondere dem Festhalten von relevanten Informationen abseits der strukturierten qualitativen Befragung. Zusätzlich dazu wird mit diesem Mittel das Feedback aufgezeichnet. Sollte seitens der Befragten der Wunsch zur Anonymisierung der Daten bestehen, so wird vorweg die Veröffentlichung der aufgezeichneten Audiodaten ausgeschlossen. In weiterer Folge wird nun idealtypisch der Ablauf eines einzelnen Workshops beschrieben. Auf Basis dieser Erörterung kann in den folgenden Abschnitten weiterführend die schriftliche Erarbeitung der tatsächlichen Workshops erfolgen.

4.2.3 Idealtypischer Ablauf eines Workshops

Folgend wird der grundsätzlich geplante Ablauf eines Workshops im Zuge des empirischen Teils dieser Arbeit erörtert. Die Rahmenbedingungen beziehungsweise Parameter, auf Basis derer diese erfolgen, wurden bereits in Abschnitt 4.2.2 dargestellt.

Grundsätzlich orientiert sich der Ablauf eines Workshops stark an der in Abschnitt 3.2 beschriebenen, grundlegenden Vorgehensweise. So ist zu Beginn notwendigerweise ebenso der Untersuchungsgegenstand formlos zu definieren, um einen Rahmen für das weitere Vorgehen zu schaffen. In weiterer Folge wird dem Vorgehen über alle Phasen hinweg gefolgt. Um jedoch die in Abschnitt 4.1 genannten Ziele zu erreichen, ist es notwendig, nach dem Durchlaufen der eigentlichen Anwendung der Methode zusätzlich Feedback über das Erarbeitete einzuholen. Dementsprechend kann, um den Ablauf eines singulären Workshops zu beschreiben, die Struktur des Analysewerkzeuges herangezogen und um eine Phase erweitert werden. Dies wird folgend in Abbildung 34 visualisiert.

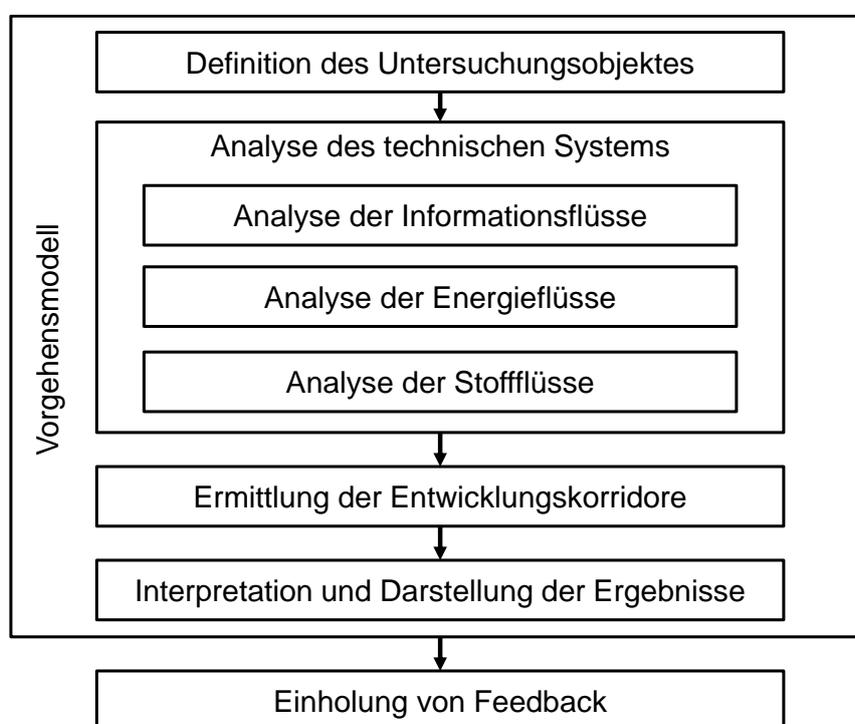


Abbildung 34: Idealtypischer Ablauf eines Workshops, Quelle: Eigene Darstellung

Bezugnehmend auf die in Abschnitt 4.2.2 beschriebenen Dokumentationsmethoden kann festgestellt werden, dass die Durchführung der Methode primär in elektronischer Form in der Excel-Vorlage dokumentiert werden soll. Im Gegensatz dazu wird das Feedback in erster Linie mittels einer Audioaufzeichnung festgehalten. Auf die Darstellung des grundsätzlichen Ablaufes eines Workshops folgt nun im nächsten Abschnitt die Beschreibung der Rollen, welche die am Workshop teilnehmenden Personen einnehmen.

4.2.4 Rollen im Workshop

In den im empirischen Teil durchzuführenden Workshops werden durch die teilnehmenden Personen zwei grundsätzliche Rollen eingenommen. Einerseits ist dies eine *informationsaufnehmende* Rolle, welche dem Moderator des Workshops zukommt. Dieser übernimmt dabei die Leitung des Workshops und lenkt die Anwender durch den Ablauf. Zusätzlich erfolgt durch diesen die Dokumentation der Informationen, welche durch die Nutzer zur Verfügung gestellt werden. Die Anwender nehmen während der Durchführung der Methode eine *informationsvermittelnde* Rolle ein. Der Ablauf des Workshops ist für sie a priori irrelevant. Sie folgen dem durch den Moderator bereitgestellten Rahmen und erarbeiten auf Basis ihrer technischen Expertise gemeinsam mit diesem die Informationen, welche für den Erhalt eines aussagekräftigen Ergebnisses im Kontext des Analysewerkzeuges notwendig sind.

Dem Moderator fällt im Laufe des Workshops ebenso die Bereitstellung von relevanten und geeigneten Beispielen zu. Insbesondere im Zuge der Analyse der Informations-, Energie- und Stoffflüsse kann dies zur Findung der Antwort zuträglich sein. Da in diesen Abschnitten eine abstrakte Denkweise zur Bearbeitung der Themengebiete nötig ist, können hier Beispiele aus der Literatur, insbesondere der Widerspruchsorientierten Innovationsstrategie herangezogen werden. So kann es bei Fragen zu Dynamisierungsetappen hilfreich sein, als Beispiel analog dazu die kippbare Cockpitkabine eines Überschallverkehrsflugzeugs²¹⁰ zur Veranschaulichung des Prinzips anzuführen.

Da dem Moderator grundsätzlich eine durch den Workshop führende Rolle zukommt, ist es sinnvoll, diesem ebenso die Verlesung der in den Abschnitten 3.6.3, 3.6.4 und 3.6.5 enthaltenen Entscheidungsfragen als Aufgabe zu erteilen. Dies erlaubt den Anwendern die Fokussierung auf die gestellten Fragen, anstatt sich mit Formalitäten wie zum Beispiel der Relevanz der zu stellenden Fragen zu befassen. Zusätzlich wird durch dieses Vorgehen der Anwender nicht dazu verleitet, alle Fragen vorab zu studieren und sich mit der für ihn ursächlich irrelevanten Vorgehensweise vertraut zu machen.

In Summe kann festgestellt werden, dass der Anwender als Wissender über das zu analysierende technische System so eng als möglich auf seine informationsvermittelnde Rolle beschränkt werden soll. Der Moderator übernimmt die Administration und Leitung des Workshops und unterstützt den Anwender mit aus der Literatur belegten Beispielen, welche es dem Anwender über Analogieschlüsse erlaubt die Entscheidungsfragen im Kontext des zu analysierenden technischen Systems ordnungsgemäß zu beantworten. In weiterer Folge erfolgt nun die Beschreibung der Auswahl der Teilnehmer an den Workshops. Ein besonderes Augenmerk wird hierbei auf den Aspekt der Anonymisierung gelegt. Da es sich bei der erstellten Methode im Umfeld von TRIZ und WOIS um ein Werkzeug handelt, welches als Anstoß für die Weiterentwicklung technischer Systeme angewendet werden soll, kann hierbei von Produktentwicklung im weiteren Sinn gesprochen werden. Dementsprechend kann a priori vermutet werden, dass Unternehmen, deren Mitarbeiter als Anwender an den Workshops teilnehmen, ein Interesse daran hegen, dass Daten und Fakten aus den Workshops vertraulich behandelt werden. Dies wird jedoch im Anlassfall zu Beginn jedes Workshops überprüft.

²¹⁰ Vgl. Linde/Hill (1993), S. 80.

4.2.5 Auswahl der Teilnehmer und Anonymisierung

In diesem Abschnitt wird zu Beginn die Auswahl der Teilnehmer an den Workshops beschrieben. In weiterer Folge wird eine potentielle Anonymisierung der Daten aus den Workshops beschrieben, welche auf Wunsch der Teilnehmer erfolgen kann. Im Detail soll diesbezüglich beschrieben werden, auf welche Art und Weise diese Anonymisierung im Zuge der Aufarbeitung der Workshops erfolgen soll. Die Auswahl der Teilnehmer erfolgte auf Basis von Parametern, welche zweckgemäß so gewählt werden, sodass eine möglichst aussagekräftige Verteilung der zu analysierenden technischen Systeme erreicht wird. Auf diese Weise soll eine größere Tiefe im Informationsgehalt der Ergebnisse erreicht werden. Die folgenden Parameter wurden daher für die Auswahl der zu analysierenden technischen Systeme als relevant erachtet:

- *Alter der technischen Systeme:* Das Alter der Systeme wird in diesem Zusammenhang als der Zeitraum verstanden, in welchem das technische System als Produkt bereits am Markt zum Erwerb erhältlich ist. Bezugnehmend auf die Abschnitte 2.5.1 sowie 2.5.2 soll eine möglichst gleichmäßige Verteilung zwischen Systemen in unterschiedlichen Phasen ihrer Lebenszyklen erreicht werden. Dadurch soll sichergestellt werden, dass die Validierung der Methode als Ergebnis für Systeme in allen Entwicklungsphasen realisiert werden kann.
- *Funktion der technischen Systeme:* Wie in Abschnitt 2.3.3 beschrieben erfüllen technische Systeme jedenfalls eine Primärfunktion. Dementsprechend ist eine Auswahl der zu analysierenden technischen Systeme und damit in weiterer Folge der Teilnehmer aufgrund der erfüllten Bedarfe im Sinne des deskriptiven Funktionsbegriffes grundsätzlich möglich. Da das Analysewerkzeug jedoch den Anspruch stellt für alle technischen Systeme Relevanz zu besitzen und eine Analyse der Funktionen prinzipiell nicht Teil der Methode, erfolgt die Auswahl der Teilnehmer in weiterer Folge nicht auf Basis von Primärfunktionen der zu betrachtenden technischen Systeme.
- *Beziehung des technischen Systems zu weiteren technischen Systemen:* In Abschnitt 2.3.1 wurden technische Systeme als solche beschrieben, welche Funktionen, Strukturen und Hierarchien innehaben. Insbesondere der Hierarchieaspekt ist für die Auswahl der zu analysierenden technischen Systeme von Relevanz. Diesbezüglich ist es von Interesse, sowohl ein technisches System selbst sowie dessen Obersystem zu analysieren, um aus dem Vergleich der Ergebnisse weitere Rückschlüsse zu erhalten.

Nachdem somit festgelegt wurde, welche Parameter für die Auswahl der zu analysierenden technischen Systeme wünschenswert sind, muss ebenfalls festgelegt werden, welche Personen aus den Unternehmen, welche diese Systeme herstellen, als Anwender an den Workshops teilnehmen sollen. Dies wurde in Kapitel 1 im Zuge der Einleitung kurz angeführt. Als Zielgruppe beziehungsweise wünschenswerte Teilnehmer an den durchzuführenden Workshops können demzufolge Produktentwickler sowie für die Produktentwicklung verantwortliche Personen im mittleren bis oberen Management angeführt werden. Durch diese Wahl der Teilnehmer soll sowohl ein hoher Grad an Wissen über das technische System sowie ein produktübergreifender Blick auf das Unternehmen gewährleistet

werden. In weiterer Folge wird nun dargestellt, unter welchen räumlichen und zeitlichen Kriterien die Workshops durchgeführt werden sollen. Dabei ist insbesondere festzuhalten, in welchem Zeitraum sowohl die Planung als auch die eigentliche Durchführung der Workshops erfolgen soll.

4.2.6 Räumliche und zeitliche Kriterien

Grundsätzlich ist für die zeitliche Komponente ein ausreichender Fertigstellungsgrad der Erarbeitung der theoretischen Grundlagen von Nöten. Diese stellen die Grundlage für den nun durchzuführenden praktischen Teil dieser Arbeit dar. Die Planung der Workshops begann im Mai 2016 und wurde im August 2016 abgeschlossen. Die eigentliche Durchführung der Workshops erfolgte darauffolgend im Zeitraum von Juli 2016 bis November 2016.

Bezüglich der räumlichen Kriterien zur Durchführung der Workshops kann durch die nicht restriktiv festgelegten Parameter zur Auswahl der zu analysierenden technischen Systeme, welche in Abschnitt 4.2.5 genannt werden, eine grobe Einschränkung auf Unternehmen in Österreich festgelegt werden. Diese Restriktion erfolgte ebenso im Hinblick auf die Vorgabe, dass die Workshops, wie in Abschnitt 4.2.2 definiert, im Optimalfall Angesicht zu Angesicht zu erfolgen haben. Demzufolge ergibt sich der Bedarf, dass der Moderator und die Anwender zum Zweck der Ausführung der Workshops ein Treffen vereinbaren.

Nachdem nun zum Abschluss der Festlegung der vorbereitenden Überlegungen schlussendlich räumliche und zeitliche Kriterien im Kontext der Workshops erörtert wurden, erfolgt in weiterer Folge die Darstellung der tatsächlich durchgeführten Analysen technischer Systeme. Zu Beginn des folgenden Abschnittes wird ein Gerüst definiert, welches als Vorlage zur Darstellung der praktischen Anwendung inklusive der Erhebung des Feedbacks dienen wird. Darauf aufbauend werden nachfolgend die durchgeführten Workshops im Detail beschrieben und jeweils spezifische Erkenntnisse daraus angeführt.

4.3 Anwendung

Bevor die Aufarbeitung der anhand der in Abschnitt 4.2 vorgestellten Prämissen durchgeführten Workshops erfolgen kann, muss definiert werden, wie diese durchzuführen ist. Insbesondere sollen alle Workshops anhand derselben Struktur dargestellt werden, um eine vereinfachte Möglichkeit zum Vergleich der unterschiedlichen Workshops zu bieten. Die Erörterung der durchgeführten Workshops erfolgt dabei anhand der dokumentierten Antworten der Fragebögen sowie auf Basis des aufgezeichneten Feedbacks. Dementsprechend sind die folgenden Abschnitte Teil der Darstellung eines jeden durchgeführten Workshops.

Zu Beginn erfolgt eine Vorstellung des Unternehmens: Hierbei wird die Organisation, welches das zu analysierende technische System entwickelt und weiterentwickelt, dargestellt. Ist eine Anonymisierung erwünscht, so wird dies explizit angeführt. Genannt werden darf allenfalls das Land des Firmensitzes sowie die Unternehmensgröße. Diese wird anhand der Mitarbeiteranzahl bewertet, welches von der Wirtschaftskammer Österreichs als das Hauptkriterium zur Einordnung der

Unternehmensgröße angesehen wird.²¹¹ Die Grenzwerte wurden dabei aus dem Vorschlag der Europäischen Kommission betreffend die Definition der Kleinstunternehmen sowie der kleinen und mittleren Unternehmen²¹² übernommen und werden folgend in Tabelle 6 dargestellt.

Unternehmensklasse	Mitarbeiter Untergrenze	Mitarbeiter Obergrenze
Kleinstunternehmen	1	9
Kleinunternehmen	10	49
Mittlere Unternehmen	50	249
Großunternehmen	ab 250	

Tabelle 6: Klassifizierung der Unternehmensgröße auf Basis der Mitarbeiteranzahl

In weiterer Folge werden die Personen genannt, welche als Vertreter der zuvor vorgestellten Unternehmen an den Workshops teilnehmen. Ist wiederum eine Anonymisierung erwünscht, so erfolgt an dieser Stelle eine bloße Nennung der Rollen beziehungsweise Stellen, welche die Personen in den Unternehmen erfüllen. Nachfolgend beginnt mit der Vorstellung des zu analysierenden technischen Systems die Verwendung von Daten, welche in den Workshops erarbeitet wurden. Auch in diesem Abschnitt muss wiederum anonymisiert werden, sofern dies von den Vertretern der Unternehmen gefordert wurde. Wie in Abschnitt 3.6.1 festgehalten, ist als Ergebnis an dieser Stelle ausschließlich eine formlose Beschreibung des zu betrachtenden technischen Systems anzunehmen. Zur leichteren Verständlichkeit soll jedoch im Anlassfall zusätzlich beschrieben werden, in welchem Kontext das System verwendet wird, sofern dadurch ein allfälliger Anonymisierungswunsch nicht verletzt wird.

Mit der eigentlichen Analyse des technischen Systems erfolgt an dieser Stelle der erste zentrale Schritt der Methode. Hierbei soll das Vorgehen bei der Systemanalyse dargestellt werden. Ziel ist es hierbei nicht, die Antwort jeder einzelnen Frage aus den Abschnitten 3.6.3, 3.6.4 sowie 3.6.5 in Form einer Liste anzuführen. Dies erfolgt stattdessen als zusammengefasste Darstellung der Flussanalysen in Anhang D. Es soll an dieser Stelle die Aufarbeitung der Durchführung selbst sowie die Dokumentation von Fragen, welche für den Anwender nicht ohne zusätzliche Leitung beantwortet werden konnten, erfolgen. Auf Basis dieser Feststellungen ist es dahingehend in weiteren Workshops möglich, sich auf diese Fälle vorzubereiten beziehungsweise geeignetere Beispiele für die Fragestellung vorzubringen. Im Extremfall kann hierbei auch der Bedarf festgestellt werden, dass Fragen geändert werden müssen.

Weiterführend erfolgt die Ermittlung der Entwicklungskorridore. Diese wird in den Workshops automatisationsunterstützt unter Verwendung der in Abschnitt 4.2.2 vorgestellten Vorlage im Excel-Format durchgeführt. Dementsprechend übernimmt dieser Schritt im Workshop eine untergeordnete Rolle und wird in der Beschreibung der einzelnen Analysen nicht näher erörtert. Von zentralem Interesse ist jedoch die direkt angeschlossene Interpretation und Darstellung der Ergebnisse, welche zum Abschluss ausführlich beschrieben werden soll. Ziel ist es an dieser Stelle festzustellen, wie die Ergebnisse wahrgenommen werden und welche Schlüsse die Anwender für sich aus den dargestellten Ergebnissen ziehen.

²¹¹ Vgl. *Wirtschaftskammer Österreich* (2016).

²¹² Vgl. *Europäische Kommission* (2003), Anhang.

Die Darstellung des Feedbacks erfolgt zum Abschluss eines jeden Workshops und soll analog dazu ebenso festgehalten werden. Von besonderem Interesse ist an dieser Stelle der wahrgenommene Nutzen durch die Anwendung der Methode sowie die Verwertbarkeit der Ergebnisse. Zusätzlich soll festgestellt werden, ob die Befragung für Konkurrenzvergleiche geeignet ist und ob eine regelmäßige Durchführung sinnvoll erscheint.

Nachdem nun der Modus, gemäß dem die Workshops erörtert werden sollen, dargestellt wurde, erfolgt nun die tatsächliche Beschreibung der durchgeführten Analysen. Nochmals zu erwähnen ist an dieser Stelle, dass in den folgenden Abschnitten keine zentralen Ableitungen von Ergebnissen, sondern vorerst nur singuläre Feststellungen dargestellt werden. Zentrale Erkenntnisse werden im Anschluss an diesen Abschnitt in Kapitel 5 angeführt.

4.3.1 Workshop 1

Folgend wird nun der erste durchgeführte Workshop beschrieben. Dieser erfolgte am 12. August 2016 mit einem österreichischen Kleinstunternehmen, welches als Spin-Out aus einer technischen Universität im Jahre 2015 hervorging. Das Unternehmen hat zum Zeitpunkt der Durchführung der Workshops nur einen Mitarbeiter. Nachdem dieses erst seit knapp über einem Jahr besteht, ist das Portfolio streng auf ein zentrales Produkt sowie komplementäres Zubehör ausgerichtet. Seitens des Unternehmens wird eine Anonymisierung erwünscht, weshalb in weiterer Folge weder Namen, Daten, oder Abbildungen, welche direkte Rückschlüsse auf das Unternehmen, Personen oder Produkte zulassen, angeführt werden.

Vertreten wird das Unternehmen im Workshop durch den Geschäftsführer, welcher ebenso als Entwickler des Produktes auftritt. Daher ist ein dualer Blick auf die Analyse des technischen Systems möglich. Das zu analysierende technische System stellt in diesem Zusammenhang das zentrale Produkt des Unternehmens dar. Dabei handelt es sich um ein System zur Überführung von pulverförmigen Materialien in homogene Proben. Es ist zum Zeitpunkt der Verfassung dieser Arbeit seit einem Jahr am Markt käuflich erwerbbar. Im Workshop wurde der Definition des Untersuchungsgegenstandes grundsätzlich eine untergeordnete Rolle zugemessen. Trotz alledem ist dieser Schritt als wichtig anzusehen, da während der abstrakten Systemanalyse die Frage auftreten kann, an welcher Stelle das System endet und dessen Umgebung beginnt.

Folgend wird nun beschrieben, welche Auffälligkeiten während der Analyse des technischen Systems im Sinne der in Abschnitt 3.6 angeführten Entscheidungsfragen aufgetreten sind. Zu Beginn wurden die Informationsflüsse analysiert. Grundsätzlich konnten diese Fragen durch den Anwender ohne Probleme beantwortet werden. Lediglich in Bezug auf das Führungssystem war es notwendig im Detail auf die generische Funktion dieses Teilsystems genauer einzugehen um die dazugehörigen Fragen akkurat zu beantworten. Dementsprechend wurde vermerkt, dass zusätzliche Beispiele angeführt werden sollen, welche Führungssysteme beschreiben.

Während der weiteren Analyse stellte sich heraus, dass Kombinationsfragen für den Anwender oftmals schwer nachzuvollziehen sind. Verknüpfungen der Fragen mit und beziehungsweise oder sind diesbezüglich zwar logisch korrekt werden jedoch in der Anwendung eher als hinderlich anstatt hilfreich

Zusätzlich konnte festgestellt werden, dass in Systemen Flüsse für den Entwickler bewusst oder unbewusst stattfinden. Unbewusste Flüsse, welche keinen offensichtlichen negativen Effekt erzielen, werden nicht als solche identifiziert. Hierzu kann als Beispiel abgegebener und nicht als störend empfundener Schall angeführt werden. Trotz alledem können solche unbewussten Flüsse ebenfalls im Zuge der Analyse eines technischen Systems von Relevanz sein.

Zum Ende der Betrachtung des Systems wurden die Stoffflüsse im Detail durchleuchtet. Hierbei wurde angemerkt, dass in Bezug auf Stoffaufnahmesysteme das Verb absorbieren als missverständlich erscheinen kann. Es wird impliziert, dass Stoff im System verbraucht wird. Dementsprechend wurde analog dazu im Workshop der Begriff des Aufnehmens in diesem Kontext verwendet. Ebenso wurde darüber diskutiert, wann eine Optimierung eines Stoffaufnahmesystems erfolgt ist. Laut dem in Abschnitt 3.6.5 angeführten Fragenkatalog muss hierfür eine Erhöhung von Menge oder Qualität des absorbierten Stoffes erhöht werden. Dies kann jedoch nur als Beispiel für eine Optimierung angesehen werden. Eine Optimierung des Stoffaufnahmesystems zielt darauf ab, dass diese für zumindest eine Phase der Wechselwirkung mit der Umgebung optimal ist.²¹³ Dies kann in Form von Menge oder Qualität des aufgenommenen Stoffes erfolgen, muss jedoch nicht der Fall sein. Daher wurde vermerkt, dass eine Überarbeitung der Fragen zu den Optimierungsetappen bei einer potentiellen Anpassung der Methode berücksichtigt werden sollen. In diesem Fall konnte die Frage der Optimierung des Stoffaufnahmesystems bejaht werden, da die das pulverisierte Material haltenden Kammern verändert und damit einhergehend die Art der Stoffeinbringung in ihrer Effektivität verbessert wurde. Zusätzlich wurde ebenso festgestellt, dass eine Verringerung des benötigten, aufzunehmenden Stoffes eine Optimierung in diesem Sinne darstellen kann.

Im Zuge der Betrachtung des Handhabungssystems, welches unter anderem für den Stofftransport im System zuständig ist, wurde festgestellt, dass im Analysewerkzeug nicht klar definiert ist, über welchen Betrachtungszeitraum die Fragestellungen von Relevanz sind. Soll zum Beispiel die Optimierungsetappe eines Teilsystems festgestellt werden, so ist in der Methode nicht klar definiert, in welchem Kontext eine Verbesserung als relevant zu betrachten ist und zur positiven Beantwortung von Fragen zur Optimierungsetappe führen kann. Diesbezüglich wurden drei potentielle Auslegungen festgestellt:

- *Betrachtung im Kontext der zu analysierenden Produktversion:* Eine Optimierung eines Teilsystems ist nur zu bejahen, wenn die Produktversion selbst im Verhältnis zur vorhergehenden Produktversion optimiert wurde.
- *Betrachtung im Kontext des Produktes in der Gesamtheit seines Lebenszyklus:* Eine Optimierung eines Teilsystems ist zu bejahen, wenn die Produktversion selbst im Verhältnis zu zumindest einer vorhergehenden Produktversionen optimiert wurde.
- *Betrachtung im Kontext aller primärfunktionsähnlicher Produkte über all ihre Lebenszyklen:* Eine Optimierung eines Teilsystems ist zu bejahen, wenn die Produktversion selbst im Verhältnis zu zumindest einem vom Unternehmen entwickelten Produkt mit ähnlicher Primärfunktion verbessert wurde.

²¹³ Vgl. Linde/Hill (1993), S. 79.

Es wurde festgelegt, dass die Option der *Betrachtung im Kontext aller primärfunktionsähnlichen Produkte über all ihre Lebenszyklen* die zu wählende ist. Dahingehend erhöhen sich die Anforderungen an die Anwender des Modells, da bekannt sein muss, welche funktionsähnlichen Produkte in der Vergangenheit im Unternehmen entwickelt wurden. Es müssen somit möglichst alle Generationen des technischen Systems bekannt sein. Für die zuvor durchgeführten Analysen im Zuge des ersten Workshops ist diese Auswahl nicht von Relevanz, da das Produkt erst seit etwa einem Jahr frei auf dem Markt erhältlich ist und daher nur eine einzige Produktversion existiert. Nichtsdestotrotz sind allenfalls auch bereits vorab entwickelte Prototypen für die durchgeführten Analysen von Interesse und dementsprechend zu berücksichtigen.

Nach Abschluss der Analyse der Flüsse im technischen Systems, welche in etwa 50 Minuten andauerte, wurden durch den Moderator mittels Vorlage die Ergebnisse auf Basis der in Abschnitt 3.6.6 dargestellten Kriterien vorbereitet, um diese daraufhin gemeinsam mit dem Anwender zu diskutieren und zu interpretieren. Die folgende Abbildung 36 veranschaulicht das Ergebnis aus den Analysen und dient dem Anwender als Grundlage zur Interpretation der Ergebnisse.

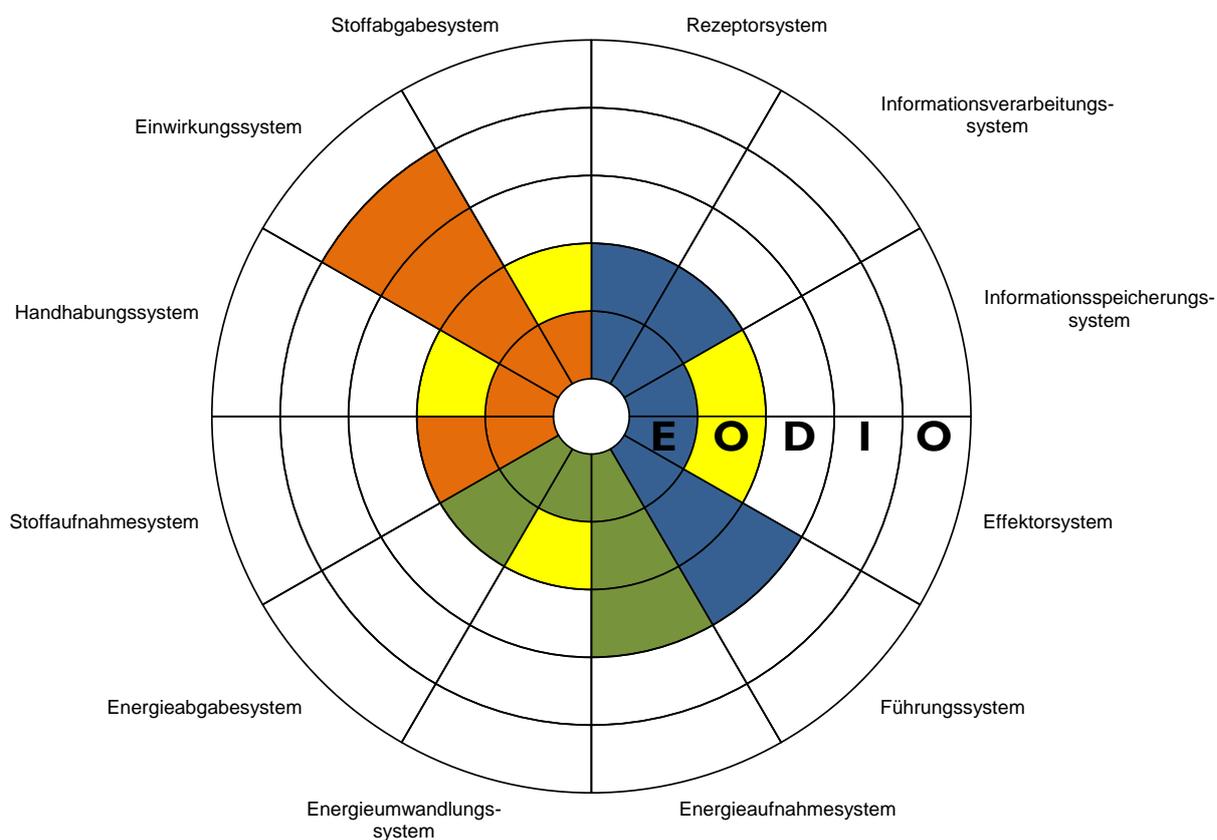


Abbildung 36: Ergebnisse aus Workshop 1, Quelle: Eigene Darstellung

In der Ergebnisdarstellung konnte festgestellt werden, dass das System in manchen Teilsystemen bereits sehr hohe Entwicklungsgrade erreicht hat, während andere Teilsystemen nicht im gleichen Maß fortgeschritten sind. Das Ergebnis der Analyse wurde vom Anwender als schlüssig angesehen, weshalb keine Nachjustierung oder erneute Durchführung der Analyse des technischen Systems erfolgte. Ebenso wurde geschlossen, dass dasjenige Teilsystem, welches als essentiell für die Erbringung der Primärfunktion angesehen wird, das am weitesten entwickelte darstellt. In diesem Fall liegt der Fokus auf dem Einwirkungssystem, welches insbesondere im betrachteten System für die stoffliche Veränderung an

den zugeführten Objekten verantwortlich ist und auch das zentrale Differenzierungsmerkmal zu Konkurrenzprodukten widerspiegelt. Als potentieller Entwicklungskorridor wurde die Durchführung der Optimierungsetappe für die folgenden Teilsysteme als Ergebnis der Analyse festgestellt:

- Informationsspeicherungssystem
- Effektorsystem
- Energieumwandlungssystem
- Handhabungssystem
- Stoffabgabesystem

Der Anwender hielt diesbezüglich fest, dass durch diese Erkenntnis zwar nicht klar ist, wie das Produkt in seiner Gesamtheit besser designt werden kann, ist sich aber auch darüber bewusst, dass dies nicht das Ziel dieses Analysewerkzeuges ist. Allenfalls erlaubt das Modell eine ganzheitliche Aufnahme des Status Quo sowie eine Erkennung von Optimierungspotentialen. Zusätzlich wurde ebenso festgestellt, dass die Methode keine Aussage darüber treffen kann, ob eine Verbesserung als sinnvoll zu erachten ist, sondern nur darüber, wie weit auf abstrakter Ebene die Entwicklung bestimmter Aspekte des Produktes fortgeschritten ist.

Nach der etwa zehn Minuten dauernden Diskussion und Interpretation der Ergebnisse wurde durch den Moderator zum Abschluss des Workshops Feedback zu Verwertbarkeit und Nutzen der Methode eingeholt. Betreffend der Analyse des technischen Systems wurde angegeben, dass der Nutzer durch die angeführte Vorgehensweise angeregt wird über alle Aspekte des technischen Systems nachzudenken und sich nicht auf die Betrachtung einer Primärfunktion zu beschränken. Zusätzlich wird die methodische Herangehensweise in der Analyse als effizient und zielführend empfunden. Der hohe Abstraktionsgrad, auf dem die Analyse erfolgt, stellt in dabei für den Anwender kein Problem dar.

Bezüglich der Darstellung der Ergebnisse wurde positiv rückgemeldet, dass eine ganzheitliche Darstellung eines Systems angeboten wird. Die ausschließliche Darstellung der Ergebnisse in Diagrammform bietet auf einen Blick alle relevanten Daten aus den Analysen und die ermittelten Entwicklungskorridore. Die gewählte Darstellungsform wird als äußerst geeignet empfunden und als willkommener Medienbruch im Verhältnis zu den strukturierten Fragestellungen in der Analyse und der Interpretation der Ergebnisse wahrgenommen. Durch das Analysewerkzeug können solchermaßen sowohl der Status Quo als auch Optimierungspotentiale ermittelt werden. Wie bereits festgestellt, ist die hier angewandte Vorgehensweise jedoch nur eine Vorstufe zur Herausarbeitung von eigentlichen Entwicklungsaufgaben. Trotz alledem wird gleichsam nach konkreten Ergebnissen, welche die Methode per Definition jedoch nicht bietet, gesucht. Für den Anwender wird das Analysewerkzeug diesbezüglich als ein Ausschnitt aus einem größeren Entwicklungsprozess empfunden.

Bezüglich der Fragestellung, ob eine regelmäßige Durchführung der Methode für den Anwender denkbar ist, so wird dies bejaht, sofern mehr als ein Produkt vorliegen. Eine mehrmalige Durchführung für dasselbe Produkt in kurzen zeitlichen Intervallen wird als nicht sinnvoll erachtet. Denkbar ist hierbei nur, dass mehrere Personen parallel und isoliert voneinander dasselbe technische System analysieren, um

genauere Ergebnisse zu erzielen. Die Verwendung der Methode zum Vergleich eigener technischer Systeme mit denen von Konkurrenzunternehmen wird ebenfalls als nicht sinnvoll erachtet, da das Modell diesbezüglich nur bekanntes Wissen über Konkurrenzprodukte darstellen, aber keine neuen Informationen generieren kann. Dementsprechend wird nur als positiv erachtet, dass die Ergebnisse in grafischer Weise einfach zu vergleichen wären, die Unterschiede zwischen zwei Systemen jedoch nur grob in Entwicklungsetappen gemessen werden können.

Nach dem Abschluss der Darstellung des ersten Workshops kann im Allgemeinen festgestellt werden, dass die entwickelte Methode als durchdacht und strukturiert wahrgenommen wird. Die Ergebnisse sind sinnvoll und nützlich, werden jedoch von dem Anwender als nicht direkt in den Entwicklungsprozess übertragbar empfunden. Folgend wird nun der zweite durchgeführte Workshop in gleicher Weise beschrieben.

4.3.2 Workshop 2

In diesem Abschnitt wird Workshop 2 beschrieben, welcher am 24. August 2016 stattfand. Dieser erfolgte mit einem österreichischen Unternehmen, welches als Teil einer Unternehmensgruppe auftritt. Diese entwickelt und produziert weltweit ein breites Sortiment an Dienstleistungen und Produkten. Die gesamte Unternehmensgruppe hat zum Zeitpunkt der Durchführung des Workshops in etwa 1.000 Mitarbeiter und besteht seit über 50 Jahren. Es kann daher in diesem Fall von einem Großunternehmen gesprochen werden. Auch in diesem Fall wird seitens der Unternehmensvertretung eine Anonymisierung sämtlicher Daten gewünscht. Daher werden keine Zahlen, Fakten, Bezeichnungen oder Abbildungen der analysierten Produkte angeführt.

Am Workshop nehmen als Vertreter des Unternehmens zwei Personen teil. Einerseits ist dies einer der für das technische System zuständigen Projektleiter von Entwicklungsprojekten, andererseits der Standortleiter für den Bereich, welchem das zu analysierende System zuzuordnen ist. Beide Personen sind mit dem technischen System und dessen Entwicklung über mehrere Systemgenerationen hinweg vertraut und haben maßgeblich zum heutigen Zustand des Produktes beigetragen.

Bei dem technischen System, welches im Zuge des Workshops behandelt werden soll, handelt es sich um einen Sensor, mit welchem chemische Informationen aufgenommen und in elektrische Informationen umgewandelt werden. Das Produkt ist im Verlaufe mehrerer Generationen zum Zeitpunkt der Verfassung der Arbeit seit über 40 Jahren am Markt erhältlich. Demzufolge wird auch bei Ermittlung der Entwicklungsetappen auf diesen Zeitraum zurückgegriffen. Die aktuelle Produktversion ist seit über 10 Jahren am Markt. Der betrachtete Sensor muss, damit seine Funktion ausgeführt werden, in ein Messgerät eingesetzt werden und ist somit isoliert nicht ohne weiteres nutzbar. Das Messgerät, welches als Obersystem fungiert, wurde ebenso von den Entwicklern des Sensors kreiert.

Im Zuge der Systemanalyse wurde gemäß Methode mit der Analyse der Informationsflüsse begonnen. Für die Informationsaufnahme, welche sich mit dem Import von Befehlen oder Daten ins System befasst, wurde die Frage zur Dynamisierungsetappe verneint, da der Sensor selbst keine Flexibilität in der Informationsaufnahme besitzt, sondern dies auf Ebene des Obersystems gesehen wird.

Als treffende Analogie wurde durch die Anwender ein klassisches Quecksilberthermometer angeführt, welches immer auf dieselbe Art und Weise die Temperatur misst und keine Flexibilität in der Nutzung im Kontext der Systemumgebung aufweist. Bezüglich der Informationsspeicherung wurde festgestellt, dass eine Änderung zu einem neueren Speichermedium ebenso einen Fall von Optimierung darstellt, auch wenn dieses Medium nicht selbst entwickelt wurde. In diesem Fall wird die Informationsspeicherung ausschließlich zur Ablage von Parametern verwendet, welche zeitlich entkoppelt wiederverwendet werden. Zusätzlich wurde festgehalten, dass sich das elektrochemische Messprinzip seit Jahrzehnten nicht geändert hat, weshalb eine Optimierung des Informationsabgabesystems ursprünglich verneint wurde. Schlussendlich wurde festgestellt, dass die Optimierung in diesem Zusammenhang durch die Entfernung von Messinterferenzen erfolgte und damit die Qualität der abgegebenen Information optimiert wurde.

Während der Analyse des Führungssystems als Teil des Informationsflusses wurde durch die Anwender angegeben, dass hier das größte Entwicklungspotential vermutet wird. Insbesondere wird dies in der steigenden Koordination einzelner Rezeptoren angesehen. Ebenso wurde angegeben, dass die Transformation zwischen abstraktem Flussdenken und realem Produkt für den Anwender nicht immer einfach ist. So ist die gedankliche Überführung der generischen Funktionen, die den Teilsystemen gemäß Abschnitt 2.4.2 zu Grunde liegen, oftmals nicht ad hoc herstellbar und mit etwas argumentativem und logischem Aufwand verbunden. Im Falle der Integrationsetappe ist hier beispielsweise ein Monitoring zusätzlicher Rezeptoren denkbar oder die exaktere Konzertierung der Rezeptoren zur weiteren Bereinigung von Interferenzen. Daher ist diesbezüglich noch ein überproportionaler Nutzen in der Verbesserung des Führungssystems zu bejahen. Zumindest ist die Koordination variierbar, da unterschiedliche chemische Komponenten während der Nutzung des Systems auf differenzierte und variierbare Weise miteinander flexibel reagieren können.

In der folgenden Analyse der Energieflüsse bot sich ein sehr klares und einheitliches Bild. Dies ergibt sich aus der Natur und dem Prinzip des elektrochemischen Sensors als Energieverarbeitungssystem. Dementsprechend sind Energieaufnahme, Energieumwandlung und Energieabgabe ähnlich weit entwickelt und haben jeweils das Entwicklungsniveau einer Dynamisierungsetappe erreicht. So wird beispielsweise auf Druck oder thermische Einflüsse dynamisch reagiert und dies bei der Messung berücksichtigt. Die Integrationsetappe konnte in keinem Fall bejaht werden, da in jedem Fall noch überproportionaler Nutzen durch Einbringung weiterer Teilsysteme zur Energiebehandlung erreicht werden kann.

Schlussendlich erfolgte die Analyse der Stoffflüsse im technischen System. Dabei erfolgt bei der Stoffaufnahme eine Dynamisierung, da flexibel auf durch Außeneinflüsse geändertes Verhalten des Probediums reagiert wird. Diese Einflüsse können potentiell Messergebnisse durch falsche Signalspitzen verfälschen. Für das Handhabungssystem konnte als für den Stofftransport verantwortliches Teilsystem die Integrationsetappe als erfüllt festgestellt werden. Dabei wurde festgehalten, dass bereits mehr als ein Transportsystem im Sensor enthalten ist und das Integrieren eines weiteren keinen überproportionalen Nutzen generieren würde. Der Schaden, in diesem Fall monetärer Natur, würde dies nicht aufwiegen. Zusätzlich dazu wäre ein weiteres Handhabungssystem aus Platzgründen nicht in den räumlich stark begrenzten Sensor implementierbar.

Einen interessanten Fall stellt bei der Analyse der Stoffflüsse ebenso das Einwirkungssystem dar: So beschreibt das Wirkprinzip hierbei einen Austausch atomarer Teilchen zwischen Sensor und Probemedium. Darauf basierend wird ein messbares elektrochemisches Signal erzeugt. Die Optimierung erfolgte in diesem Kontext beispielsweise durch die Anpassung der Geometrie einer Sensormembran, wodurch der Austausch atomarer Teilchen optimiert wird. Diese Optimierung verhindert jedoch implizit die Dynamisierung des Vorganges, da es nicht möglich ist, die Geometrie im derzeitigen Zustand während der Nutzung des Systems anzupassen. Demzufolge ist die Stoffbearbeitung als konstant und nicht variierbar anzusehen.

Als letztes Teilsystem wurde das Stoffabgabesystem analysiert. Dabei wurde die Optimierung in Form einer Verbesserung einer Sekundärfunktion festgestellt. Um korrekte Messergebnisse zu gewährleisten wurde diesbezüglich sichergestellt, dass Überreste der Probemedien rückstandsfrei entfernt werden können. Trotz alledem ist die Stoffabgabe nicht dynamisiert. Obwohl die Stoffaufnahme auf Gegebenheiten der Umgebung reagiert und den Input an Stoffen dynamisch anpasst, wird immer der gesamte Stoff, der im System enthalten ist, am Ende der Messung abgegeben. Dementsprechend konnte also analog zu Abschnitt 4.3.1 festgestellt werden, dass das Entwicklungsniveau eines beliebigen Aufnahmesystems keine Rückschlüsse auf im Fluss nachfolgende Systeme, insbesondere beteiligte Abgabesysteme, zulässt. Nach der etwa 35 Minuten dauernden Analyse des technischen Systems wurden in weiterer Folge die Ergebnisse grafisch dargestellt. Diese werden in Abbildung 37 präsentiert.

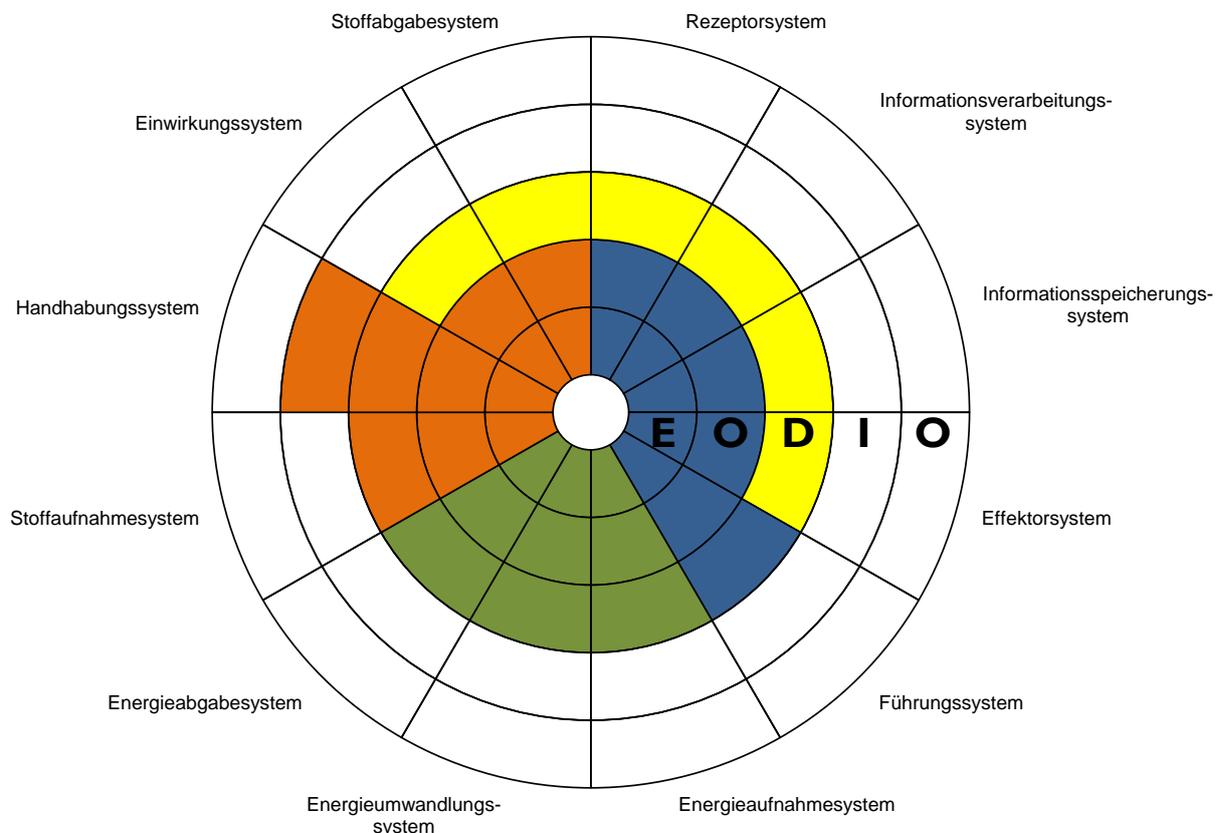


Abbildung 37: Ergebnisse aus Workshop 2, Quelle: Eigene Darstellung

Gemäß der Darstellung ist erkennbar, dass noch Entwicklungspotentiale im System selbst vorhanden sind. Obwohl das Führungssystem von den Anwendern als das Teilsystem mit dem größten offenen Entwicklungspotential angesehen wird, widerspricht das Ergebnis aus dem Analysewerkzeug insofern, als dass es dieses nicht als Entwicklungskorridor vorschlägt, sondern für folgende Teilsysteme eine Weiterentwicklung in der Dynamisierungsetappe vorsieht:

- Rezeptorsystem
- Informationsverarbeitungssystem
- Informationsspeicherungssystem
- Effektorsystem
- Einwirkungssystem
- Stoffabgabesystem

Das Analysewerkzeug schlägt in diesem Zusammenhang eine Weiterentwicklung vor allem auf Basis des Stoff- oder Informationsflusses vor. Dies impliziert, dass in diesen Bereichen das System phasenweise nicht optimal in der Anwendung ist, was von den Anwendern bejaht wird. Trotz alledem wird eingeworfen, dass hier seitens des Obersystems, also des eigentlichen Messgerätes, Limitationen bezüglich der Entwicklungsmöglichkeiten des Sensors bestehen. Das Ergebnis entspricht den Erwartungen der Anwender und wird positiv aufgenommen. Es wird abgeleitet, dass die homogenen Kanten in der Ergebnisdarstellung ein Indikator dafür sind, dass das System bereits viele Entwicklungsgenerationen durchlaufen hat und demzufolge seit geraumer Zeit existiert. Der Anwender erkennt bestehendes Potential des Systems im Ergebnis, insbesondere im Bereich der Informations- und Stoffdynamisierung an und interpretiert dies als das bedarfsinduzierte, dynamische Erbringen von Leistung durch den Sensor. Insbesondere bei der Vorbereitung einer Messung, beispielsweise beim Start des Gerätes, wird hier noch ausschöpfbares Potential vermutet. Es wird jedoch auch zu bedenken gegeben, dass in gewissen Bereichen physikalische Grenzen erreicht und dementsprechend nicht grenzenlos Verbesserungen generieren werden können.

Zum Abschluss des Workshops wurde wiederum Feedback von den Anwendern eingeholt. Grundsätzlich wurde angegeben, dass die Fragen im Zuge der Systemanalyse für die Anwender verständlich seien. Es wird jedoch etwas Zeit benötigt, um das eigene System gedanklich auf die Fragestellungen zu transformieren. Dies ist insbesondere dann schwierig, wenn die beteiligten Personen das betrachtete technische System seit geraumer Zeit kennen und dieses weiterentwickeln. Die Fragen beschäftigen sich diesbezüglich mit Grundeigenschaften eines technischen Systems, welche zu diesem späten Zeitpunkt in der Entwicklungsgeschichte über Generationen nicht mehr in Frage gestellt werden. Dieses wird als äußerst positiv empfunden, da zu einem ganzheitlichen Nachdenken angeregt wird. Das Feedback deckt sich diesbezüglich mit Abschnitt 4.3.1. Als ebenfalls positiv empfunden wird die Unkenntnis über das im Hintergrund der Analyse liegende Systemmodell aus der allgemeinen Systemtheorie. Dadurch wird gemäß Anwender gewährleistet, dass sowohl die Gedankengänge als auch die damit verbundene Diskussion nicht a priori eingeschränkt werden.

Die Ergebnisse zeigen in weiterer Folge Entwicklungspotentiale auf. Teilweise decken sich diese mit den Erwartungen der Anwender, teilweise widersprechen Sie diesen jedoch. Grundsätzlich sind den Entwicklern des technischen Systems die Wünsche ihrer Kunden bezüglich der Weiterentwicklung des technischen Systems bekannt. Nachdem das System in einem Prozess des Kunden eingebettet ist, ist ein gewisses Maß an Prognose zukünftiger Kundenanforderungen laut den Anwendern möglich. Die Sichtweise des Kunden auf das zu lösende Problem differiert jedoch oftmals in eklatanter Art und Weise von der Sichtweise der Produktentwickler. Oftmals werden Lösungen gewünscht, welche mit extremen technischen Aufwänden verbunden und teilweise schlichtweg unmöglich sind. Hier fließt ein hohes Maß an Entwicklungsaufwand in das System, wobei der erreichte Nutzen im Vergleich dazu oftmals gering ist. Daher wird die vorgenommene Analyse als nützliches Komplementärwerkzeug empfunden, da es den technischen Aspekt des Systems beleuchtet, den der Kunde oftmals nicht beurteilen kann.

Sowohl für die Entwicklung eines neuen Produktes sowie die Weiterentwicklung eines bestehenden wird das vorgestellte Modell als sinnvoll erachtet. Die Anwender werfen ein, dass die Ergebnisse dementsprechend interpretiert werden müssten. De facto gäbe es hier im Vorgehen keinen Unterschied, jedoch ist ein bereits bestehendes Produkt in dieser Branche gewissen Limitationen unterworfen. So ist insbesondere Auf- und Abwärtskompatibilität jedenfalls zwingend erforderlich, wodurch die Entwicklungsmöglichkeiten bei bestehenden Produkten eingeschränkt sind. Für neu zu entwickelnde Produkte könne versucht werden, Analysen vorangegangener Generationen heranziehen und weitere Entwicklungsetappen auf Basis von Analysen vorangegangener Generationen zu erfüllen, da hier der Entwicklungsspielraum größer sei.

Ebenso wurde mit den Anwender eine potentielle Anwendung des Analysewerkzeuges auf Konkurrenzprodukte besprochen, um diese mit den eigenen zu vergleichen. Ein Vergleich wird als interessant gewertet, aber es wird angenommen, dass eine Analyse von fremden Produkten nicht selbst durchgeführt werden könnte. Dazu wäre es nötig die exakten Funktionsweisen von Konkurrenzprodukten zu kennen. Zusätzlich stehen diese oftmals unter Geheimhaltung. Prinzipiell wird angegeben, dass Konkurrenzprodukte vermutlich ähnliche Ergebnisse liefern, die technische Umsetzung jedoch von der eigenen differiert. Bei Betrachtung eines Konkurrenzproduktes würde im Detail nur festgestellt werden können, wie bestimmte Probleme im Unterschied zu eigenen Produkten gelöst wurden, jedoch nicht, welche neuen Probleme beispielsweise dadurch aufgetreten sind. Der Kunde interessiert sich hierbei wiederum nur für das Endergebnis.

Im Abschluss kann zusammenfassend für diesen Workshop festgestellt werden, dass die entwickelte Methode und das daraus resultierende Ergebnis als schlüssig und valide erachtet wird. Die Ergebnisse werden von den Anwendern bestätigt und als nützlich erachtet. Bei der Weiterentwicklung technischer Systeme wird jedoch eingeworfen, dass hier oftmals Limitationen in Form von Abwärts- beziehungsweise Aufwärtskompatibilität eingehalten werden müssen. Insbesondere in Branchen mit langen Produktlebenszyklen kann dies dazu führen, dass die Ergebnisse der Methode nicht wertfrei zur Ermittlung von Entwicklungsaufgaben herangezogen werden können. Im nächsten Abschnitt wird folgend der dritte durchgeführte Workshop beschrieben.

4.3.3 Workshop 3

In diesem Abschnitt wird einer der durchgeführten Workshops in aufbereiteter Form dargestellt. Dieser wurde am 12. September 2016 mit einem österreichischen Kleinunternehmen, welches 2014 gegründet wurde, abgehalten. Das Unternehmen hat zum Zeitpunkt der Verfassung dieser Arbeit unter 50 Mitarbeiter und es ist bisher noch kein Produkt dieses Unternehmens am Markt erhältlich. Der Fokus des Unternehmens liegt zurzeit auf der Entwicklung des ersten Produktes. Daher wird eine Anonymisierung der Daten gewünscht und somit keine rückschlussermöglichenden Daten oder Abbildungen angeführt.

Am Workshop nimmt der Geschäftsführer, welcher in Personalunion ebenso die Leitung der Forschung und Entwicklung innehat, teil. In dieser Funktion werden über 20 Jahre Erfahrung mit der Entwicklung primärfunktionsähnlicher technischer Systeme in den Workshop eingebracht. Als Untersuchungsobjekt dient hierbei ein elektrochemisches Messgerät, mit welchem die Feststellung von Parametern flüssiger Stoffe durchgeführt werden kann. Das System befindet sich zum Zeitpunkt der Durchführung des Workshops noch in der Konzeptionsphase, also vor der Entwicklung eines ersten Prototyps. Dementsprechend erfolgt die Analyse anhand des zum Zeitpunkt der Durchführung des Workshops vorliegenden Produktkonzeptes. Folgend werden nun Beobachtungen und Auffälligkeiten während der Durchführung der eigentlichen Systemanalyse, insbesondere der Informations-, Energie- und Stoffflüsse beschrieben.

Im Gegensatz zu den zwei zuvor durchgeführten Analysen unterliegt diese der Annahme, dass nur das bestehende Produkt in der Gesamtheit seines Lebenszyklus betrachtet wird. Somit werden beispielsweise bei Fragen bezüglich der Optimierungsetappen vorhergehende Produktgenerationen nicht betrachtet. Der Betrachtungszeitraum ist daher sehr eng. Im Zuge der Analyse des Rezeptorsystems konnte bereits eine Dynamisierungsetappe festgestellt werden, da diesbezüglich auf wahrgenommene Artefakte dynamisch reagiert wird und demzufolge die Abtastzeit durch das Messgerät verlängert werden kann. Eine abgeschlossene Integrationsetappe konnte verneint werden, da hier noch Nutzenpotential, zum Beispiel durch das Ermitteln weiterer Parameter oder die Absicherung von Messwerten vorhanden ist.

In Bezug auf das Informationsverarbeitungssystem konnte ebenfalls eine begonnene Dynamisierungsetappe festgestellt werden. Der Anwender merkt an, dass diesbezüglich ein hoher Aufwand betrieben wird. Insbesondere wird hier eine an die Umgebung angepassten Kalibriermethodik weiterentwickelt. Ebenso elementar ist die Informationsspeicherung, welche zwar linear, trotz alledem aber ein zurzeit in Angriff befindliches Optimierungspotential innehat. Das Effektorsystem bedient im Kontext dieses Systems sowohl weitere Teilsysteme als auch die Systemumgebung mit Informationen. Diese zeichnet sich durch ein reaktives, dynamisches Verhalten in Bezug auf weitere Systemkomponenten aus und ist daher ebenso als variierbar einzuschätzen. Das Führungssystem ist in diesem System als Koordinator der Teilsysteme grundsätzlich nicht dynamisiert. Unter anderen wird dadurch eine Überwachung der Komponenten im Sinne eines Monitoring realisiert.

Während der Analyse der Energieflüsse im System konnte festgestellt werden, dass sowohl Energieaufnahme- als auch Energieabgabesystem zwar im System enthalten sind, jedoch beide noch keinerlei Optimierung erfahren haben. Dies liegt einerseits an der zuvor genannten, engen Auslegung der Betrachtung vorhergehender Produktversionen und andererseits an der Auslegung des Energiebegriffes durch den Anwender. Primär wird durch diesen initial Energie als elektrische Energie verstanden. Dementsprechend wenig Aufmerksamkeit wird einer Optimierung der Energieaufnahme in diesem Kontext geschenkt. Jedoch wird auf Nachfrage ebenso die Optimierung hinsichtlich kinetischer, thermischer oder elektrochemischer Energie verneint. Ein weitaus größerer Fokus liegt hier auf der Energieumwandlung, insbesondere der dem Messprinzip zu Grunde liegenden. So ist diese mehrmals optimiert und auch dynamisiert worden. Beispielsweise ist die Energieumwandlung an die Temperaturgegebenheiten der Systemumgebung angepasst. Die Energieabgabe erfolgt durch das System primär in Form von Abwärme. Hier ist zwar wie zuvor durch den Anwender festgestellt noch keine Optimierung erfolgt, jedoch wird dies im Zuge der Produktentwicklung als offene Entwicklungsaufgabe bereits wahrgenommen.

Im Zuge der Analyse des Stoffflusses wurde eine Dynamisierung des Stoffaufnahmesystems festgestellt. Diese erfolgt durch die Anpassung des Stoffflusses an die Form, in der das Messgut bereitgestellt wird. Abhängig davon erfolgt die Stoffaufnahme unterschiedlich und dem Gut entsprechend so, dass die Messung ordnungsgemäß durchgeführt werden kann. Generell konnte als dem Stofffluss zu Grunde liegende Prämisse festgestellt werden, dass hier Optimierungsetappen zu einem großen Anteil durch entweder Geschwindigkeitserhöhungen oder Verringerungen der benötigten Stoffmengen erreicht wurden.

Das Handhabungssystem als für den Transport verantwortliche Komponente des technischen Systems nimmt in diesem Zusammenhang eine besondere Rolle ein. Hier ist der Fall gegeben, dass eine Integration eines weiteren Handhabungssystems keinen überproportionalen Nutzen generieren würde. Nichtsdestotrotz musste eine erfüllte Integrationsetappe abgelehnt werden, da erst ein singuläres Handhabungssystem im System existiert. Prinzipiell würde dies als Schluss nach sich ziehen, dass die Integrationsetappe für das Handhabungssystem in diesem Fall niemals abgeschlossen werden kann, da eine der beiden Bedingungen nicht erfüllt werden kann. Grundsätzlich liegt gemäß Methode ein valider Fall vor, da die Analyse nur für die aktuelle Produktversion Gültigkeit besitzt. Zukünftige Generationen des technischen Systems müssen im Anlassfall unter allen Umständen neu analysiert werden und für diese müssen aktuelle Feststellungen nicht mehr zwingend Gültigkeit besitzen. Eine Integrationsetappe für das Handhabungssystem könnte daher in zukünftigen Generationen durchaus wieder möglich sein.

Ähnlich wie in der im Abschnitt 4.3.2 erläuterten Systemanalyse erfolgt die Einwirkung auf den Stoff auch in diesem System auf atomarer Ebene. Analog dazu ist auch hier keine Dynamisierung festzustellen, da die chemische Veränderung des Stoffes nicht an Umgebungsverhältnisse angepasst, sondern grundsätzlich stabil ist. Verändertes Verhalten ist hierbei nur in der Startphase des Messgerätes festzustellen. Hierbei wird jedoch nicht die stoffliche Veränderung dynamisiert, sondern Rezeptor- bzw. Informationsverarbeitungssystem passen sich im Sinne einer Kalibrierung der Umwelt an.

Schlussendlich wurde als letztes Teilsystem das Stoffabgabesystem betrachtet. Dieses wird durch den Anwender primär mit dem Abfallprozess im System in Verbindung gebracht. Sekundär inkludiert dieses auch das Reinigen des Probemediums von die Messung verfälschenden Fremdstoffen. Diese erfolgt nicht flexibel, jedoch wurden bereits Optimierungen an den beteiligten Komponenten vorgenommen. Nach der etwa 25 Minuten andauernden Analyse erfolgte die Darstellung der Ergebnisse gemäß Vorlage. Diese werden folgend in Abbildung 38 visualisiert und bilden die Grundlage für die folgende Interpretation des Ergebnisses im Zuge des Workshops.

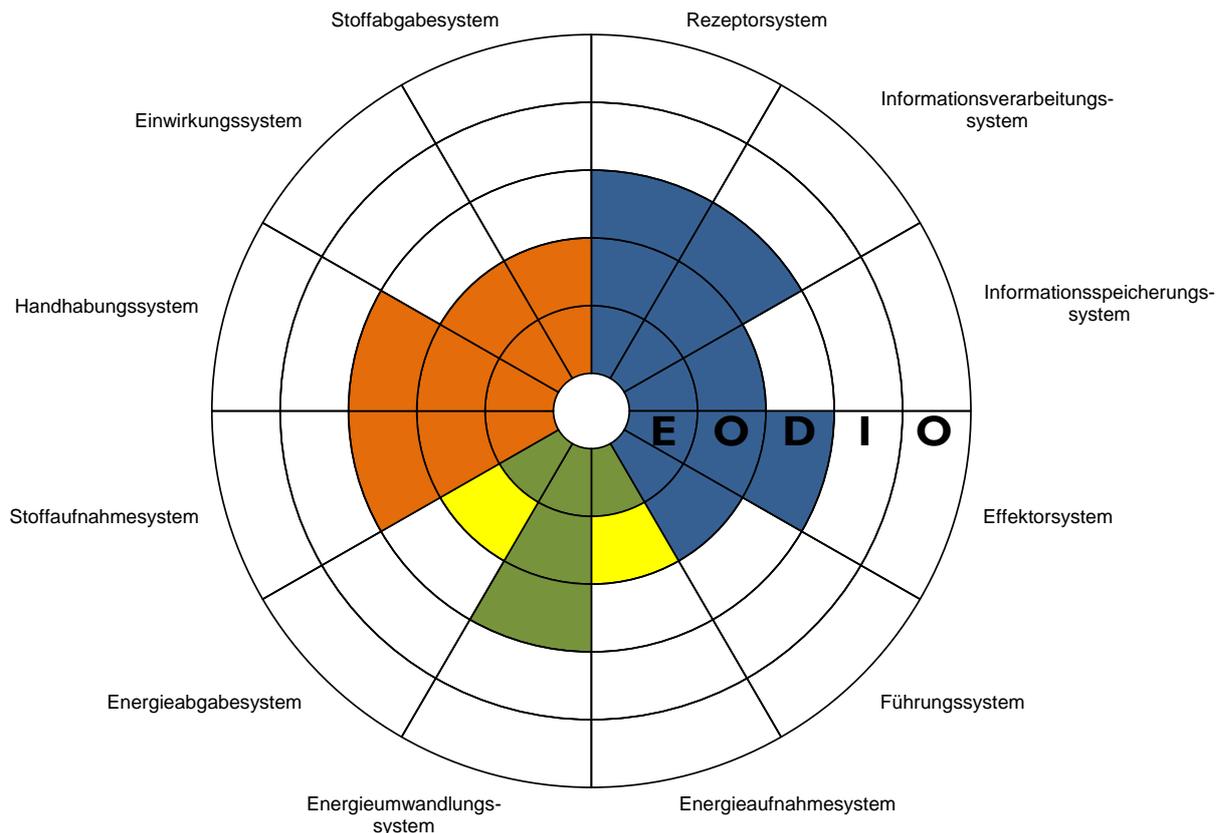


Abbildung 38: Ergebnisse aus Workshop 3, Quelle: Eigene Darstellung

Gemäß Analyse konnten die folgenden Entwicklungskorridore für das betrachtete technische System ermittelt werden. Es wird daher das Durchführen der Optimierungsetappe für die folgenden Teilsysteme vorgeschlagen:

- Energieaufnahmesystem
- Energieabgabesystem

Bezüglich einer Optimierung des Energieaufnahmesystems wird vom Anwender festgehalten, dass dies nicht als sinnvoll angesehen wird, sofern dies nicht im Umfeld von neuen Kundenanforderungen betrachtet wird. Insbesondere der *Verwendungszweck* des technischen Systems ist in diesem Kontext von immenser Bedeutung und darf gemäß Anwender bei der Suche nach Entwicklungsaufgaben nicht vernachlässigt werden. Eine Optimierung des Energieaufnahmesystems wäre diesbezüglich denkbar, wenn der Verwendungszweck in Richtung Mobilität des Messgerätes verschoben werden würde, was auf Basis der aktuellen Lage nicht Ziel des Entwicklungsprojektes dieses Produktes ist.

Funktionalitäten, welche beispielsweise eine Unabhängigkeit von einer permanenten Stromversorgung im Sinne einer Steckdose erlauben würden, sind in diesem Kontext zurzeit nicht von Interesse. Als zweiter Entwicklungskorridor wurde die Optimierung des Energieabgabesystems ermittelt. Wie zuvor erwähnt ist dies bereits Bestandteil des Entwicklungsplans für das technische System. So soll beispielsweise das Messgut geschützt werden, indem der Umgang mit Abwärme verbessert wird, um so lokale Überhitzungen zu vermeiden. Demzufolge ist dieser Entwicklungskorridor als nützliches Ergebnis anzusehen, da es zuvor geplante Entwicklungen bestätigt.

Zum Abschluss des Workshops wurde vom Anwender Feedback eingeholt. Bezüglich der Fragestellungen wurde festgehalten, dass diese nicht als kompliziert empfunden wurden. Diese unterstützen vielmehr den Anwender bei der Überführung des realen technischen Systems in das abstrakte Modell der allgemeinen Systemtheorie. Trotz alledem wird die Verwendung von fundierten Beispielen begrüßt, da viele Fragen ansonsten je nach Auslegung unterschiedlich beantwortet werden könnten. Der Anwender spricht diesbezüglich explizit die Möglichkeit an, die Analyse in einen Online-Fragebogen zu überführen und sieht dies als mögliche Durchführungsform an.

Grundsätzlich wird das Analysewerkzeug als ein nützliches Prozedere zur Statusaufnahme eines technischen Systems angesehen. Die Verwertbarkeit der Ergebnisse ist für den Anwender in diesem Fall ohne Miteinbeziehung weiterer Faktoren, insbesondere dem Verwendungszweck des Systems, nicht gegeben. Eine regelmäßige Durchführung der Analyse wird dementsprechend nicht durch den Anwender angestrebt.

Vergleiche mit Konkurrenzprodukten sieht der Anwender als grundsätzlich interessante Informationsquelle an. Es wird angegeben, dass 80% der Analyse auch für ein Fremdprodukt akkurat durchgeführt werden können. Jedoch wird vermutet, dass zwischen den eigenen und den Produkten der Konkurrenz auf dieser abstrakten Ebene keine eklatanten Unterschiede auftreten. Als nützliche Rückschlüsse könnte nach Meinung des Anwenders nur die Stärken anderer Produkte ausgewertet werden. Es wird die Vermutung geäußert, dass Entwickler von Konkurrenzprodukten des analysierten technischen Systems im konkreten Fall dieses nicht auf Ebene des Energieaufnahme- oder Energieabgabesystems weiterentwickeln. Diese zwei Teilsysteme fielen nur dann in den Fokus, wenn der Betrachtungsumfang auf Konkurrenzprodukte im weiteren Sinn, also mit erweitertem Verwendungszweck, gelegt werde. Es wird zusätzlich angenommen, dass die Konkurrenz im engeren Sinn sich primär mit dem Informationsverarbeitungssystem beziehungsweise den Informationsflüssen im System beschäftigt. Nach der Darstellung des dritten Workshops erfolgt nun die Betrachtung, ob und in welchem Maße die Methode angepasst werden muss. Vorab kann festgehalten werden, dass eine Änderung der Grundstruktur auf Basis des bisherigen Feedbacks nicht nötig ist. Anpassungen erscheinen potentiell ausschließlich in den Analysen der Informations-, Energie- und Stoffflüssen als sinnvoll.

4.3.4 Anpassung des Analysewerkzeuges

In diesem Abschnitt wird beschrieben, ob und in welcher Form eine Anpassung des Analysewerkzeuges gemäß dem Feedback aus den ersten drei Workshops durchgeführt werden muss. Grundsätzlich konnte aufgrund der zu diesem Zeitpunkt vorliegenden Erfahrungen festgestellt werden, dass die Grundstruktur,

welche in Abschnitt 3.2 beziehungsweise im Detail in Abschnitt 3.6 erörtert wurde, nicht verändert werden muss. Die Anwender lieferten im Zuge der Workshops durchwegs positive Rückmeldungen zur strukturierten Vorgehensweise.

Ein weiterer Aspekt ist in Bezug auf Optimierungen von Teilsystemen die Frage, wie weit in die Vergangenheit diese in Relation zum Status Quo relevant sind. In Abschnitt 4.3.1 wurden hierzu drei potentielle Sichtweisen vorgestellt. Während in den ersten beiden Workshops grundsätzlich eine *Betrachtung im Kontext aller primärfunktionsähnlichen Produkte über all ihre Lebenszyklen* durch die Anwender implizit gewählt wurde, wurde im dritten Workshop eine sehr enge Auslegung von Optimierungen durch den Anwender angenommen. So wurde hier im Kontrast zu den übrigen Workshops das bestehende Produkt nur in der Gesamtheit seines eigenen Lebenszyklus betrachtet, was den Argumentationshorizont für Optimierungen verkürzt. Wie zuvor ebenso in Abschnitt 4.3.1 angeführt wird für die übrigen Workshops die *Betrachtung im Kontext aller primärfunktionsähnlichen Produkte über all ihre Lebenszyklen* gewählt. Dies muss dem Anwender in der ersten Phase, der Definition des Untersuchungsgegenstandes, vermittelt werden, damit in weiterer Folge korrekte Antworten auf die Entscheidungsfragen während der Analyse des technischen Systems gegeben werden können.

In Bezug auf die Entscheidungsfragen als Bestandteil der Methode konnte zusätzlich festgestellt werden, dass insbesondere bei Fragen, die die Optimierungsetappe gemäß WOIS betreffen, Vereinfachungs- und Verbesserungspotential besteht. Werden beispielsweise die Fragestellung zur Optimierungsetappe des Rezeptorsystems betrachtet, so wird der Anwender befragt, ob Menge beziehungsweise Qualität der absorbierten Daten oder Befehle im Sinne des Informationsflusses im technischen System bereits erhöht wurden. Im Zuge der Workshops konnte festgestellt werden, dass die Anwender den Begriff der Optimierung korrekt im Kontext der Generationenbetrachtung auslegen und diese Frage dementsprechend vereinfacht werden kann. Gemäß Theorie verbirgt sich wie in Abschnitt 2.5.2 beschrieben hinter der Optimierungsetappe die Idee der Optimierung des funktionserfüllenden Grundprinzips.²¹⁴ Die allgemeine Systemtheorie zerlegt das technische System in generische Teilfunktionen.²¹⁵ Somit kann die Optimierungsetappe vereinfacht über die Optimierung der generischen Teilfunktion geprüft werden und die folgenden optimierten Fragen für die zwölf Teilsysteme des technischen Systems zukünftig in den Workshops verwendet werden:

- *Rezeptorsystem:* Wurde die Informationsaufnahme bereits optimiert?
- *Informationsverarbeitungssystem:* Wurde die Informationsverarbeitung bereits optimiert?
- *Informationsspeicherungssystem:* Wurde die Informationsaufbewahrung bereits optimiert?
- *Effektorsystem:* Wurde die Informationsabgabe an die Systemumwelt oder Informationsweiterleitung innerhalb des Systems bereits optimiert?
- *Führungssystem:* Wurde der Koordinationsgrad beziehungsweise die Effizienz der Koordination der Systemkomponenten bereits optimiert?

²¹⁴ Vgl. Linde/Hill (1993), S. 79.

²¹⁵ Vgl. Ropohl (2009), S. 103ff.

- *Energieaufnahmesystem:* Wurde die Energieaufnahme bereits optimiert?
- *Energieumwandlungssystem:* Wurde die Energieumwandlung bereits optimiert?
- *Energieabgabesystem:* Wurde die Energieabgabe bereits optimiert?
- *Stoffaufnahmesystem:* Wurde die Stoffaufnahme bereits optimiert?
- *Handhabungssystem:* Wurde der Stofftransport innerhalb des Systems bereits optimiert?
- *Einwirkungssystem:* Wurde die Stoffbearbeitung oder -verarbeitung beziehungsweise die stoffliche Veränderung bereits optimiert?
- *Stoffabgabesystem:* Wurde die Stoffemission bereits optimiert?

Diese Anpassung hat nicht zur Folge, dass die bisher durchgeführten Workshops nicht mehr länger valide und relevant sind. Die Inhalte der bisher verwendeten Fragen können insofern als geeignete Beispiele fungieren, falls die neuen Fragestellungen für die weiteren Anwender unklar sein sollten. Durch die Anpassung ergibt sich jedenfalls ein klareres, verständlicheres und unvoreingenommeneres Bild, da die bisherigen Fragestellungen das Potential hatten, den Anwender in eine bestimmte Denkrichtung zu lenken. So impliziert die eingangs erwähnte Frage zur Optimierung des Rezeptorsystems, dass diese nur über Menge oder Qualität des Informationsflusses erreicht werden kann. Allerdings führen viele Wege zum Ziel, beispielsweise in diesem Fall auch eine Reduktion der für die Informationsaufnahme benötigten Zeit.

Ebenso wurde im Zuge der Workshops festgestellt, dass die Fragen bezüglich der Integrationsetappe eines Teilsystems für unmittelbares Verständnis im Zuge eines Workshops zu kompliziert formuliert sind. Dementsprechend werden diese insofern angepasst, als dass eine semantische Zweiteilung vorgenommen wird. Im Gegensatz zu den recht langen, mit Bindeworten aneinander geketteten Hauptsätzen werden in den folgenden Workshops jeweils zwei zu bejahende Fragen getrennt gestellt. Falls eine der beiden verneint werden sollte, so ist die Prüfung der Integrationsetappe für das betroffene Teilsystem gescheitert. Die folgenden Fragen ersetzen demzufolge die in den Abschnitten 3.6.3, 3.6.4 und 3.6.5 genannten bei der Prüfung von Integrationsetappen:

- *Rezeptorsystem:* Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Absorption von Informationen integriert? Falls ja, führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?
- *Informationsverarbeitungssystem:* Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Informationsverarbeitung oder -umwandlung integriert? Falls ja, führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?
- *Informationsspeicherungssystem:* Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Informationsspeicherung integriert? Falls ja, führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?

- *Effektorsystem*: Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Daten- oder Befehlsemission integriert? Falls ja, führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?
- *Führungssystem*: Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Koordination der Systemkomponenten integriert? Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Koordination der Systemkomponenten integriert? Falls ja, führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?
- *Energieaufnahmesystem*: Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Energieabsorption integriert? Falls ja, führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?
- *Energieumwandlungssystem*: Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Energieumwandlung integriert? Falls ja, führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?
- *Energieabgabesystem*: Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Energieemission integriert? Falls ja, führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?
- *Stoffaufnahmesystem*: Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Stoffaufnahme integriert? Falls ja, führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?
- *Handhabungssystem*: Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zum Stofftransport integriert? Falls ja, führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?
- *Einwirkungssystem*: Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Stoffbearbeitung oder -veränderung integriert? Falls ja, führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?
- *Stoffabgabesystem*: Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Stoffemission integriert? Falls ja, führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?

Die überarbeitete Version der Entscheidungsfragen ist in Anhang C gesammelt verfügbar. Für die Ermittlung der Ergebnisse und deren Darstellung sowie Interpretation ergibt sich nach den ersten drei Workshops kein Änderungsbedarf. Demzufolge werden nun die nach der Anpassung der Methode durchgeführten Workshops gemäß dem in Abschnitt 4.3 beschriebenen Modus dargestellt.

4.3.5 Workshop 4

Der vierte Workshop wurde am 16. September 2016 durchgeführt. Dabei wurde in Kooperation mit dem Unternehmen, welches bereits an Workshop 2 teilnahm, erneut eine Systemanalyse mittels der entwickelten Methode durchgeführt. Eine Kurzbeschreibung des Unternehmens kann dementsprechend aus Abschnitt 4.3.2 entnommen werden. Als Teilnehmer stand bei diesem Prozessdurchlauf einer der für das technische System zuständigen Entwicklungsprojektleiter zur Verfügung. Für diesen Anwender handelt es sich hierbei um die zweite Anwendung der Methode, jedoch inklusive der Anpassungen aus Abschnitt 4.3.4. Analog zum ersten Workshop mit diesem Unternehmen besteht nach wie vor der Wunsch auf Anonymisierung der Daten.

Als zu untersuchendes technisches System wurde das Obersystem des in Workshop 2 analysierten Sensors gewählt, welches in weiterer Folge als Messgerät bezeichnet wird. Der Sensor stellt diesbezüglich ein Verbrauchsmaterial des Obersystems dar und ist nur temporär während seiner Lebensdauer mit diesem physisch verbunden. Nach der Erreichung seiner erwarteten Lebensdauer wird der Sensor durch einen baugleichen getauscht. In diesem Kontext wird das Messgerät als technisches System in seiner Gesamtheit inklusive dem Sensor als eines seiner Teilsysteme analysiert. Als Prämisse bezüglich der Betrachtung der Optimierungsetappen wurden als Kontext wiederum *alle vom Unternehmen entwickelten primärfunktionsähnlichen Produkte über all ihre Lebenszyklen* gewählt.

Im Zuge der Analyse des technischen Systems konnte festgestellt werden, dass der Anwender durch seine mit dem Analysewerkzeug gemachten Erfahrungen ad hoc Fakten vom realen Gegenstück in das abstrakte Modell überführen und somit die Fragen zumindest bezüglich Entstehungs- und Optimierungsetappen effizienter beantworten kann, als es bei der ersten Anwendung der Fall war. Während der Analyse der Informationsflüsse wurde identifiziert, dass sowohl das Effektorsystem als auch das Informationsverarbeitungssystem bereits in der Dynamisierungsetappe vorliegen. Angepasst an den Anwender als Systemumgebung wird dynamisch auf den gewünschten Informationsgehalt reagiert und die Informationsaufnahme und -verarbeitung flexibel gestaltet. Das Erreichen der Integrationsetappe ist nicht als gegeben anzusehen, da eine Integration weiterer Teilsysteme dieser Art keinen überproportionalen Nutzen generieren würde. Informationsspeicherungssystem und Effektorsystem sind im Gegensatz dazu noch unflexibel gestaltet, Daten werden immer in der gleichen Form gespeichert und intern, insbesondere aber an die Systemumgebung weitergeleitet. Auch das Führungssystem in seiner Koordinierungsfunktion liegt nicht dynamisiert vor, da diese immer stabil alle Systemkomponenten betrachtet.

Ähnlich gestaltet sich die Analyse der Energieflüsse im System, die der Anwender primär in elektrischer, chemischer und thermischer Form angibt. Sowohl Energieaufnahmesystem, Energieumwandlungssystem und Energieabgabesystem wurden optimiert und dynamisiert. Je nach Messbedarf werden unterschiedliche Energiebedarfe aus der Systemumgebung gestillt. Ebenso gilt dies für die sensorische Umwandlung von chemischer in elektrischer Energie. Zusätzlich wird das Messgut im Verhältnis zur Umgebungstemperatur dynamisch gewärmt oder gekühlt. Auch bei der Prüfung der Integrationsetappe für das Energieumwandlungssystem gibt der Anwender an, dass zwar bereits zwei separate Umwandlungssysteme existieren, die Integration eines weiteren Teilsystems jedoch immer noch

überproportionalen Nutzen generieren kann. Ebenso tritt das Energieabgabesystem in dynamischer Form auf. Im Kontext des analysierten Systems war die Verbesserung der thermischen Bilanz Bestandteil vieler in vorhergehenden Generationen erfolgter Optimierungen. Auch die Energieabgabe ist an die Umgebung variierbar, da beispielsweise je nach Messauftrag dynamisch über einen Thermodrucker Abwärme abgegeben wird.

Zum Abschluss der Analyse des technischen Systems wurden die Stoffflüsse analysiert. Auch in diesem Themenblock wurde wie in der bisherigen Analyse zumeist eine Dynamisierungsetappe erreicht. So erfolgt die Stoffaufnahme dynamisch je nachdem, welche Temperatur in der Systemumgebung besteht, wie viel Messgut zur Verfügung gestellt wird und wie es angeliefert wird.

Einen zu beachtenden Sonderfall stellt das Handhabungssystem dar. Auch der darin funktional enthaltene Stofftransport gestaltet sich im betrachteten technischen System dynamisch, da je nach zu messendem Parameter teilweise Hilfssubstanzen automatisiert zugeleitet werden müssen, um eine korrekte Messung durchzuführen. Dieses Teilsystem ist im Gegensatz zum Sensor, der in Abschnitt 4.3.2 analysiert wurde, nicht bis zur Integrationsetappe ausgeprägt. Sowohl im Sensor als auch im Messgerät sind bereits mehr als ein Handhabungssystem enthalten. Im Sensor würde das Einbringen eines weiteren Systems zum Stofftransport jedoch keinen überproportionalen Nutzen generieren können, da das System schlichtweg nicht genug physikalischen Raum dafür aufweist. Dementsprechend wäre die Komplexität im Verhältnis zum Zusatznutzen zu hoch. Im Messgerät ist diese physikalische Grenze noch nicht erreicht, weshalb eine Integrationsetappe für dieses nicht bejaht werden kann. Es scheint festzustehen, dass sich technische Systeme, welche in einer hierarchischen Beziehung stehen, hierbei unterscheiden können und dass physikalische Limitationen nicht über Hierarchien von Systemen vererbt werden.

Das Einwirkungssystem, über welches die Messleistung über den Sensor als Teil des Messgerätes erbracht wird, ist hier ebenso analog zum zuvor analysierten Sensor dynamisiert ausgeprägt. Für das Stoffabgabesystem konnte schlussendlich nur eine Optimierung festgestellt werden, welche laut Anwender ausschließlich von der Qualität des Abtransportes abhängt. Dieser ist so beschaffen, dass das am schwersten zu entfernende Messgut automatisiert entfernbar sein muss. Die Stoffabgabe passt sich jedoch nicht dynamisch an das Messgut beziehungsweise dessen Beschaffenheit an, weshalb keine Dynamisierung vorliegt.

Im Anschluss an die in 25 Minuten durchgeführte Analyse erfolgte die Darstellung der Ergebnisse. Analog zu den bisher durchgeführten Workshops wurde wiederum per Vorlage die grafische Darstellung des Ergebnisses generiert. Diese wird folgend in Abbildung 39 dargestellt und dient als Basis für die anschließende Interpretation der Ergebnisse.

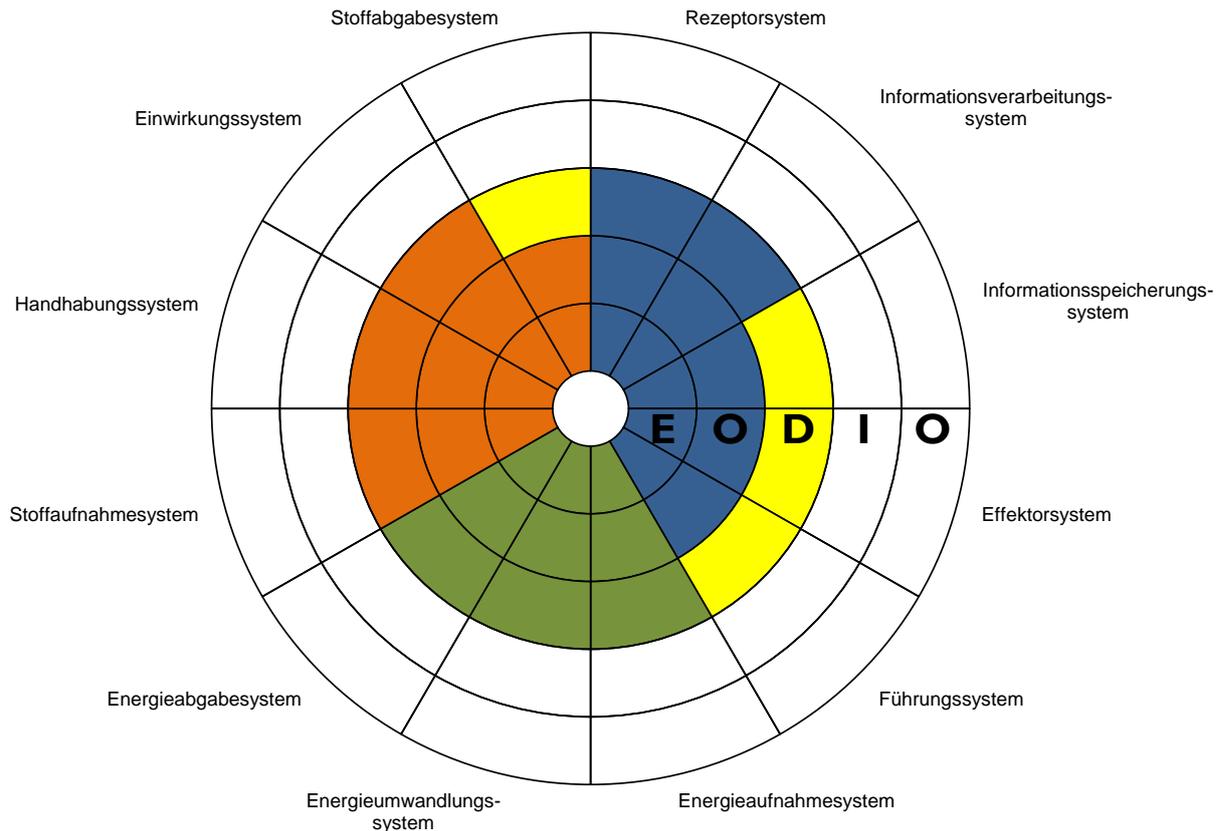


Abbildung 39: Ergebnisse aus Workshop 4, Quelle: Eigene Darstellung

Als Ergebnis der Analyse konnten die Entwicklungsniveaus des technischen Systems festgestellt werden. Werden diese mit den Ergebnissen der Sensoranalyse, welche in Abschnitt 4.3.2 dargestellt wurde, so können die folgenden Differenzen festgestellt werden.

- Rezeptorsystem, Informationsverarbeitungssystem und Einwirkungssystem sind im Sensor optimiert, während sie im Obersystem Messgerät bereits dynamisiert sind. Dies ist über die unterschiedliche Systemumgebung bei Betrachtung des Obersystems nachvollziehbar.
- Das Handhabungssystem ist im Sensor bereits in der Integrationsetappe, im Obersystem jedoch noch in der Dynamisierungsetappe, was auf einen Mangel an physikalischem Raum im Sensor zurückzuführen ist.
- Das Führungssystem koordiniert im Messgerät im Gegensatz zum Sensor selbst nicht dynamisiert. Logisch nachvollziehbar ist dies bei Betrachtung zweier separater Koordinationskreise. Das Messgerät koordiniert seine direkten Teilsysteme, während der Sensor selbst ebenfalls nur seine eigenen Teilsysteme koordiniert.

In den übrigen sieben von zwölf Fällen wurden für das Teilsystem Sensor und das Obersystem Messgerät dieselben Entwicklungsetappen ermittelt. Für den Anwender ist das Ergebnis dieses Vergleiches schlüssig und nachvollziehbar. Es wird festgestellt, dass das Ergebnis für das Messgerät insgesamt homogener auf den Anwender wirkt, da mehrere Teilsysteme dieselben erreichten Entwicklungsetappen aufweisen.

Die folgenden Entwicklungskorridore zur Ermittlung zukünftiger Entwicklungsaufgaben konnten dementsprechend für das Messgerät identifiziert werden:

- Informationsspeicherungssystem
- Effektorsystem
- Führungssystem
- Stoffabgabesystem

Auch die ermittelten Entwicklungskorridore decken sich nach Angaben des Anwenders mit dessen Intuitionen. So wird insbesondere im Informationsfluss im Bereich der Signalerfassung und Signalverarbeitung noch Verbesserungspotential vermutet. Dies entspricht teilweise der Dynamisierung des Effektor- und Führungssystems. Auch eine Weiterentwicklung des Informationsspeicherungssystems ist gemäß Anwender zielführend, da Speichertechnologien in diesen Messgeräten erst seit wenigen Systemgenerationen integriert sind. Über die genannten Ergebnisse schlussfolgert der Anwender, dass beispielsweise eine Verbesserung der Selbstkalibrierfunktion des Messgerätes während der Nutzung sich daraus ableiten ließe.

Dementsprechend wird analog zum zuvor mit diesem Anwender durchgeführten Workshop bestätigt, dass zwar abstrakte, aber weiterverwertbare Ergebnisse produziert werden. Das weitere Feedback bezüglich einer regelmäßigen Durchführung und der Analyse von Konkurrenzprodukten wurde nicht erneut vom Anwender eingeholt, da sich dieses mit dem in Workshop 2 gegebenen deckt. Somit kann nun in weiterer Folge die Betrachtung des fünften Workshops erfolgen.

4.3.6 Workshop 5

In diesem Abschnitt wird der fünfte durchgeführte Workshop im Detail beschrieben. Dieser fand am 27. September 2016 mit einem österreichischen Kleinunternehmen statt. Das Unternehmen besitzt ein breites Portfolio im Bereich optischer Messungen und bietet Messgeräte, Sensoren und Zubehör am Markt an. Es besteht seit etwa 15 Jahren und ging als Spin-Out aus einer technischen Universität hervor.

Seitens des Unternehmens wird eine Anonymisierung erwünscht, weshalb in weiterer Folge weder Namen, Abbildungen noch sonstige Daten, welche direkte Rückschlüsse auf das Unternehmen, Personen oder Produkte zulassen, angeführt werden. Vertreten wird das Unternehmen durch einen Entwicklungsprojektleiter, dessen Fokus in der Konzeptionierung kundenorientierter Speziallösungen liegt. Zusätzlich besitzt der Interviewpartner eine Ausbildung im Kontext von Innovationsmanagement und ist mit den WOIS-Modellen grundsätzlich vertraut.

Das betrachtete System ist ein optischer, kontaktloser Sensor, welcher in vielen unterschiedlichen, ebenfalls durch das Unternehmen entwickelten Obersystemen verbaut und eingesetzt werden kann. Zusätzlich ist auch eine Ausbringung in Verbindung mit Fremdsystemen denkbar. Das Produkt ist seit etwa vier Jahren am Markt erhältlich, ältere Produktgenerationen existieren seit etwa sechs Jahren. Diese bilden die Basis für Vergleiche zur Feststellung von bereits erfolgten Optimierungen. Die diesen Sensoren zu Grunde liegende Technologie wurde vor etwa 15 Jahren entwickelt.

Im Zuge der Analyse der Informationsflüsse konnte festgestellt werden, dass alle Teilsysteme mit Ausnahme des Führungssystems bereits die Dynamisierungsetappe erreicht haben. Für das Rezeptorsystem konnte beispielsweise festgestellt werden, dass mit weiteren Systemen zur Informationsaufnahme nach wie vor ein überproportionaler Nutzen generiert werden könnte. So wäre es möglich, mit einem zweiten optischen Sensor vorab und parallel zur eigentlichen Messung eine Defekterkennung durchzuführen und automatisiert nachzumessen, falls die Ergebnisse eine zu hohe Ungenauigkeit aufweisen. Wiederum zeigt sich in dieser Feststellung durch den Anwender, dass das Werkzeug diesen zu kreativem Denken motiviert. Im Zuge der Feststellung der Dynamisierungsetappen im Informationsfluss wurde der Anwender wiederholt mit dem Beispiel eines Überschallverkehrsflugzeuges mit schwenkbarem Cockpit zur Landung konfrontiert. Auf Basis dieses Vergleiches war es für diesen im Regelfall möglich sehr kurzfristig einen Analogieschluss für die Teilsysteme des betrachteten technischen Systems herzustellen. So konnte beispielsweise eine Dynamisierung der Informationsverarbeitung festgestellt werden, da in zeitlicher Abhängigkeit eine Anpassung der Datenverarbeitung während der Messung stattfindet.

Während der Analyse des Effektorsystems wurde festgestellt, dass Menge, Struktur und Qualität der emittierten Daten bisher nicht angepasst beziehungsweise optimiert wurde. Trotz alledem ist eine Optimierungsetappe zu bejahen, da der Modus der Übergabe der Datensätze an das Obersystem im Sinne einer Schnittstellenoptimierung verbessert wurde. Für das Führungssystem, welches der Koordination der Teilsysteme dient, konnte jedoch keine Dynamisierung festgestellt werden. Diese erfolgt gleichbleibend und wird nicht an unterschiedliche Phasen der Systemnutzung angepasst.

Zu Beginn der Analyse der Energieflüsse musste erörtert werden, ob Licht eine Form von Energie darstellt. Licht stellt eine Form von elektromagnetischer Strahlung in einem definierten Frequenzbereich dar und ist somit als Energie anzusehen. Wiederum konnte für die Energieaufnahme sowie die Energieumwandlung bereits eine Dynamisierung festgestellt werden, während dies für die Energieabgabe nicht gegeben ist. Das Erreichen einer Integrationsetappe scheitert an dem noch nicht ausgeschöpften Nutzenpotential im technischen System. Der Anwender war innerhalb kürzester Zeit in der Lage, diesbezüglich Verbesserungsmöglichkeiten im Sinne einer Integration weiterer Teilsysteme zu generieren. Als am wenigsten weit entwickeltes Teilsystem im Bereich der Energieflüsse konnte das Energieabgabesystem festgestellt werden. Dieses ist stabil und ist analog zum Führungssystem in diesem Fall ebenso nicht an unterschiedliche Gegebenheiten anpassbar.

Schlussendlich wurde die Analyse der Stoffflüsse durchgeführt. Analog zu den Energieflüssen musste auch hier zu Beginn erörtert werden, ob Licht eine Form von Materie darstellt. Dazu wurde die in Abschnitt 2.4.2 angeführte Definition von Stoff in Betracht gezogen, welche eine Grundlage des verwendeten Systemmodells aus der allgemeinen Systemtheorie darstellt. In dieser Betrachtung ist Licht, welches aus masselosen Photonen besteht, nicht als Stoff anzusehen, da es kein Gewicht besitzt. Bei der Feststellung der Existenz der dem Stofffluss angehörigen Teilsysteme wurde in weiterer Folge festgestellt, dass das betrachtete technische System de facto keinen Stofffluss besitzt. Der Stofffluss bezieht sich in diesem Zusammenhang auf die Aufnahme und Abgabe von Stoff aus der Systemumgebung, den innersystemischen Transport des Stoffes sowie eine stoffliche Veränderung an diesem.

Alle genannten Verwendungen von Stoffen müssen im Kontext des betrachteten Systems verneint werden. Die Schlussfolgerung daraus ist, dass das technische System keinen Stofffluss besitzt. Der Anwender bestätigt diese Feststellung zusätzlich dadurch, dass angemerkt wird, dass der Stofffluss in jedem Fall durch die Obersysteme, also beispielsweise Messgeräte, in denen der Sensor verbaut wird, erledigt wird. Das Ergebnis der Stoffflussanalyse ist somit als korrekt und nachvollziehbar anzusehen.

Nach der etwa 25 Minuten andauernden Analyse wurden die Ergebnisse grafisch aufbereitet. Dadurch, dass in diesem Workshop erstmalig der Fall auftrat, dass einer der Flüsse im technischen System nicht existiert, ist das Ergebnis anzuzweifeln. Der Schluss aus der Darstellung in Abbildung 40 wäre, dass die Entstehungsetappe für alle zum Stofffluss gehörigen Teilsysteme durchgeführt werden müsste.

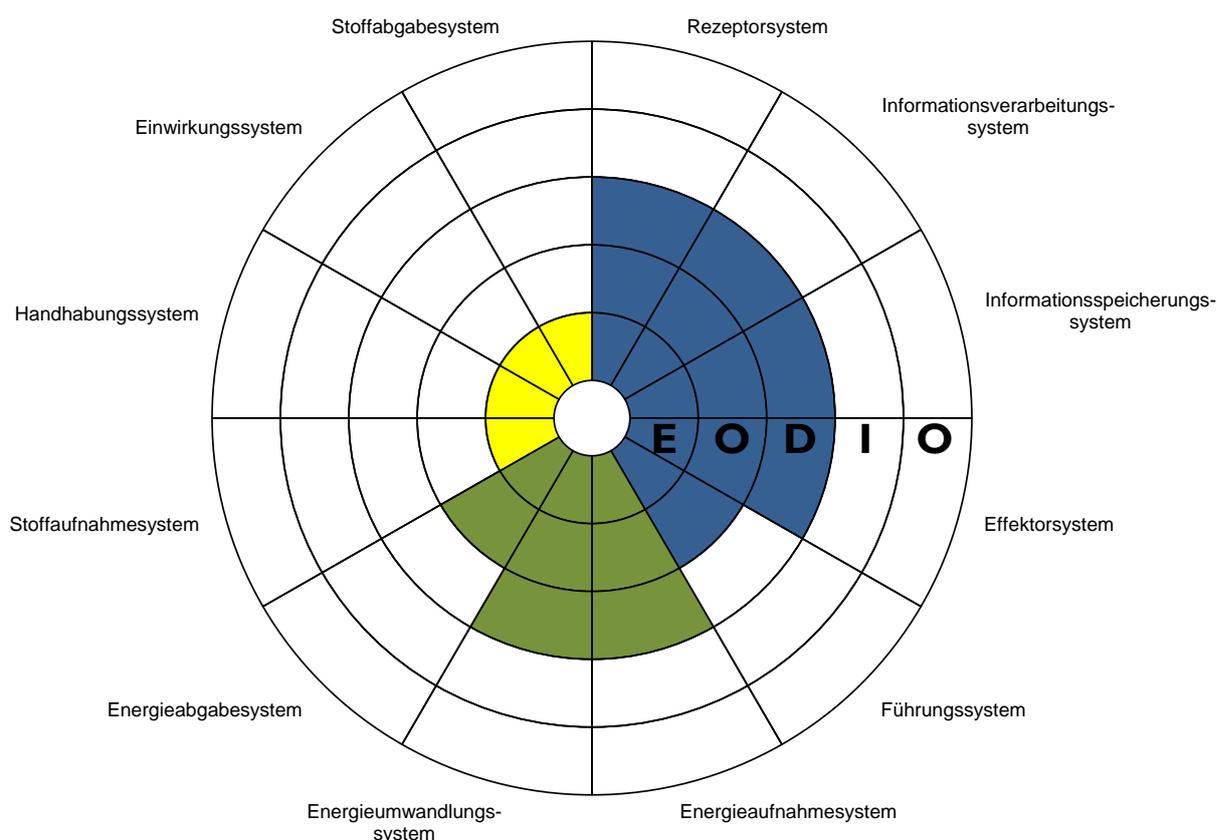


Abbildung 40: Ergebnisse aus Workshop 5, Quelle: Eigene Darstellung

Dieses Ergebnis ist insofern nicht verwertbar, als dass bisher kein Stofffluss im betrachteten technischen System existiert, da die zugehörigen Obersysteme diesen übernehmen. Dementsprechend konnte eine neue Erkenntnis gewonnen werden. Teilsysteme sind nur dann für eine Verbesserung relevant, wenn zumindest ein anderes, demselben Fluss zuordenbares Teilsystem bereits im selben technischen System existiert. Enthält ein System beispielsweise kein dem Stofffluss zuordenbares Teilsystem, so ist dieser aus der weiterführenden Logik zur Erzeugung des Ergebnisses auszuschließen. Die in Abschnitt 3.6.6 festgelegte Ergebnisermittlungslogik wurde an diesen Umstand angepasst. In diesem Fall ist der Stofffluss für die Ergebnisermittlung als irrelevant anzusehen, da keines der dem Stofffluss zuordenbaren Teilsysteme im technischen System existiert. Demzufolge wurde das Ergebnis auf Basis der angepassten Logik neu ermittelt. Dieses wird folgend in Abbildung 41 dargestellt.

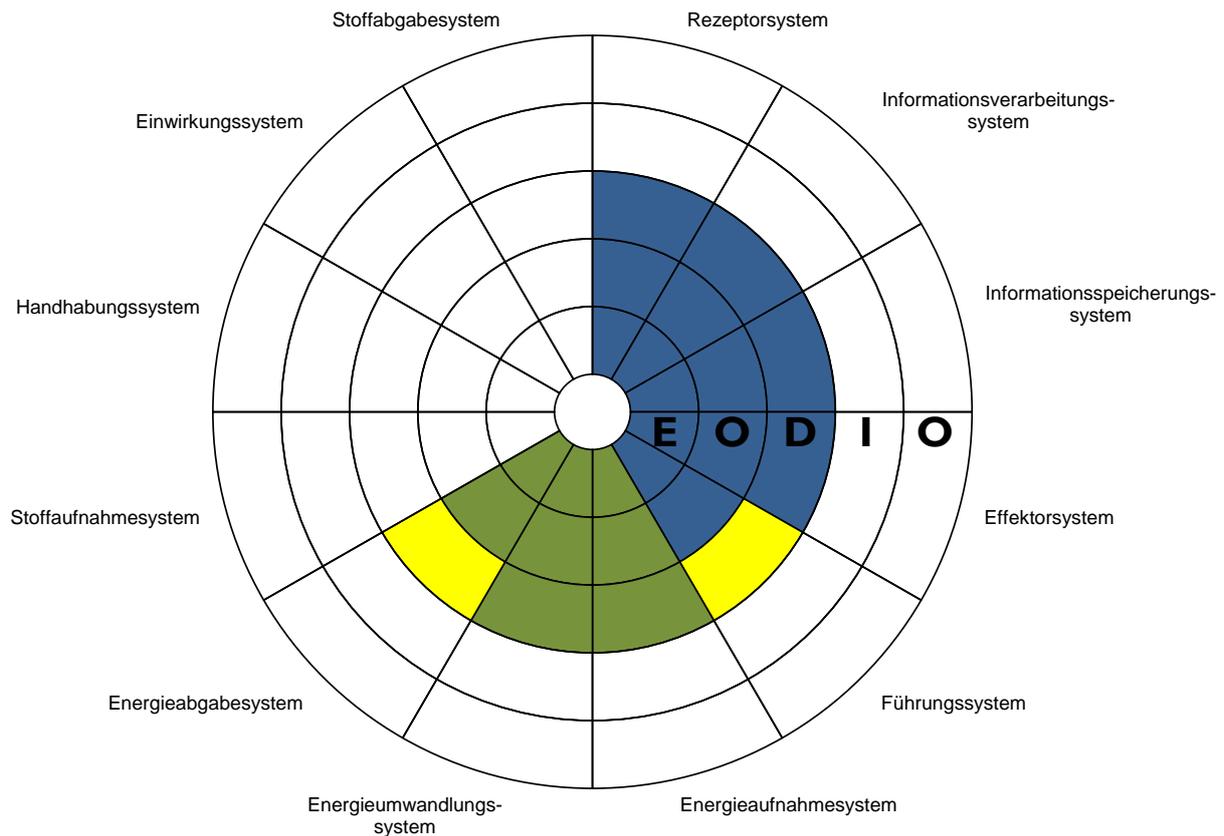


Abbildung 41: Ergebnisse aus Workshop 5 nach Korrektur der Ergebnisermittlung, Quelle: Eigene Darstellung

Als Ergebnis der angepassten Ermittlung der Entwicklungskorridore konnte das Durchführen der Dynamisierungsetappe für die folgenden zwei Teilsysteme festgestellt werden:

- Führungssystem
- Energieabgabesystem

Der Anwender bestätigt die Sinnhaftigkeit dieser Ergebnisse und gibt an, dass das betrachtete technische System aktuell bezüglich Verbesserungen in diesen Bereichen untersucht wird. Die Anwendung des Werkzeugs bestätigt also in diesem Fall die Vermutung bezüglich bestehender Entwicklungspotentiale durch das Unternehmen. Die Ergebnisse können somit als verwertbar angesehen werden. Zusätzlich führt der Anwender explizit an, dass das Modell eine interessante, abstrakte Analyseform für technische Systeme darstellt und dass sowohl Analyse als auch Ergebnis sich mit der Realität, wie sie vom Anwender empfunden wird, decken. Als Kritikpunkt führt der Anwender an, dass er zur Feststellung der Entwicklungskorridore nicht das Werkzeug verwenden müsste. Die Erkenntnis ist für ihn bereits zuvor ohne das Werkzeug eingetreten. Dementsprechend kann angenommen werden, dass der Nutzen des Werkzeugs für bestimmte Personengruppen gemindert ist, da aktuelles und tiefes Wissen über das System vorhanden ist, welches durch ständige Arbeit am System genährt wird.

Dieses Feedback kann auch bezüglich einer regelmäßigen Durchführung der Analyse für dasselbe technische System herangezogen werden. Der Anwender stellt fest, dass er darin zu diesem Zeitpunkt keinen Nutzen für sich feststellen kann. Dennoch wird eine Analyse von Konkurrenzsystemen über das vorgestellte Werkzeug als interessant und sinnvoll erachtet. Jedoch wird hier keine Vergleichsmöglichkeit in Betracht gezogen, da keine Aussage darüber getroffen werden kann, wie weit ein System innerhalb

einer Etappe entwickelt ist. Eine interessante Ableitung aus der Analyse der Konkurrenz liegt für den Anwender nur dann vor, wenn diese andere Technologien implementiert. Die Konkurrenz baut auf mehreren Technologien auf, während das betrachtete Unternehmen eine zentrale Technologie forciert. Im Anlassfall wird vermutet, dass Konkurrenzsysteme im Gegensatz zum betrachteten teilweise bereits die Integrationsetappe erreicht haben. Dies würde bedeuten, dass Konkurrenzsysteme weiter entwickelt wären. Dieser Schluss ist laut Anwender zulässig, da die Stufe der Weiterentwicklung keine Aussage über die Leistung des Systems erlaubt. Der Vergleich wird dadurch jedoch für den Anwender zum größten Teil nicht verwertbar. Trotz alledem wird die Analyse durch den Anwender als theoriebehaftet, aber systematisch und gut strukturiert empfunden. Als Verbesserungswunsch wurde angeführt, dass die Analyse eine Möglichkeit zur Feststellung der Qualität des Umgangs mit Informations-, Energie- und Stoffflüssen erlauben sollte, auf Basis welcher ein größerer Nutzen aus der Analyse gezogen werden könnte.

4.3.7 Workshop 6

Folgend wird der sechste Workshop, welcher am fünften November 2016 durchgeführt wurde, dargestellt. Dieser wurde mit einem österreichischen Großunternehmen durchgeführt, welches sein Produktportfolio im Umfeld von Funktionsoberflächen aufgebaut hat. Das Unternehmen besteht seit über 150 Jahren und wünscht in der Darstellung des durchgeführten Workshops eine Anonymisierung der Daten. Dementsprechend wird auch auf die Darstellung von produktspezifischen Abbildungen verzichtet.

Vertreten wird das Unternehmen durch einen Mitarbeiter, der Tätigkeiten im Bereich von Produktinnovationsprozessen im Unternehmen wahrnimmt. Der Interviewpartner besitzt eine Ausbildung im Umfeld des Innovationsmanagements und ist mit der Widerspruchsorientierten Innovationsstrategie grundsätzlich vertraut. Im Zuge dieses Workshops wurde als zu betrachtendes System eine Funktionsoberfläche gewählt. Das Unternehmen entwickelt seit etwa 60 Jahren Systeme dieser Art, das aktuelle Produkt ist seit etwa fünf Jahren am Markt erhältlich. Es ist vielseitig einsetzbar und stellt eine innovative Weiterentwicklung eines bewährten Konzeptes dar.

Analog zu den zuvor durchgeführten Workshops wurde zu Beginn der Informationsfluss untersucht. Jedoch konnten zum Einstieg in Verbindung mit dem Anwender keine Informationsflüsse identifiziert werden. Daher erfolgte die Fortsetzung der Analyse vorerst mit der Betrachtung der Energie- und Stoffflüsse, um zum Ende der Analyse erneut einen Blick auf die Informationsflüsse zu werfen. Nachdem die Abfolge der Analyseblöcke hierbei nicht von Relevanz ist, beeinflusst und verändert dies das Gesamtergebnis des Workshops nicht.

Sowohl bei den Energie- als auch den Stoffflüssen konnte hierbei ein einheitliches Bild gezeichnet werden. In jedem Fall fand für alle betroffenen Teilsysteme bereits eine Optimierung statt. Durch die passive Natur der betrachteten Funktionsoberfläche musste jedoch eine Dynamisierung in allen Fällen abgelehnt werden. In keinem Fall reagiert das System an die Umgebung auf angepasste Art und Weise und verändert sein Verhalten in unterschiedlichen Phasen der Nutzung.

Von besonderem Interesse ist im analysierten System der Stofffluss. Dieser manifestiert sich hierbei in der Form von negativen Stoffeinträgen, die die Funktionsoberfläche angreifen. Dementsprechend findet hier eine stoffliche Veränderung oder Einwirkung beispielsweise durch Umwelteinflüsse am System statt, wodurch an diesem Verschleißerscheinungen oder Schäden auftreten. Auch in diesen Fällen konnten Optimierungen in allen Fällen nachgewiesen werden, da mit zuvor durchgeführten Weiterentwicklungen diesen Einflüssen entgegengewirkt wurde.

Schlussendlich wurden zur Vervollständigung erneut die zu Beginn übersprungenen Informationsflüsse betrachtet. Es konnte festgestellt werden, dass Informationen durch das System zwar aufgenommen, aber weder weiterverarbeitet noch gespeichert werden. Dies deckt sich mit der durchwegs passiven Natur des Systems. Informationen werden während der Nutzung des Systems aufgenommen und in direkter Form, ähnlich dem Energiefluss, wieder abgegeben. Die Informationsaufnahme wurde diesbezüglich jedoch noch nicht optimiert. Im Gegensatz dazu konnte für die Abgabe der Informationen bereits eine Verringerung im Sinne einer Optimierung festgestellt werden. Auf die etwa 30 Minuten andauernde Analyse folgte die grafische Aufbereitung der Ergebnisse, welche in Abbildung 42 dargestellt wird.

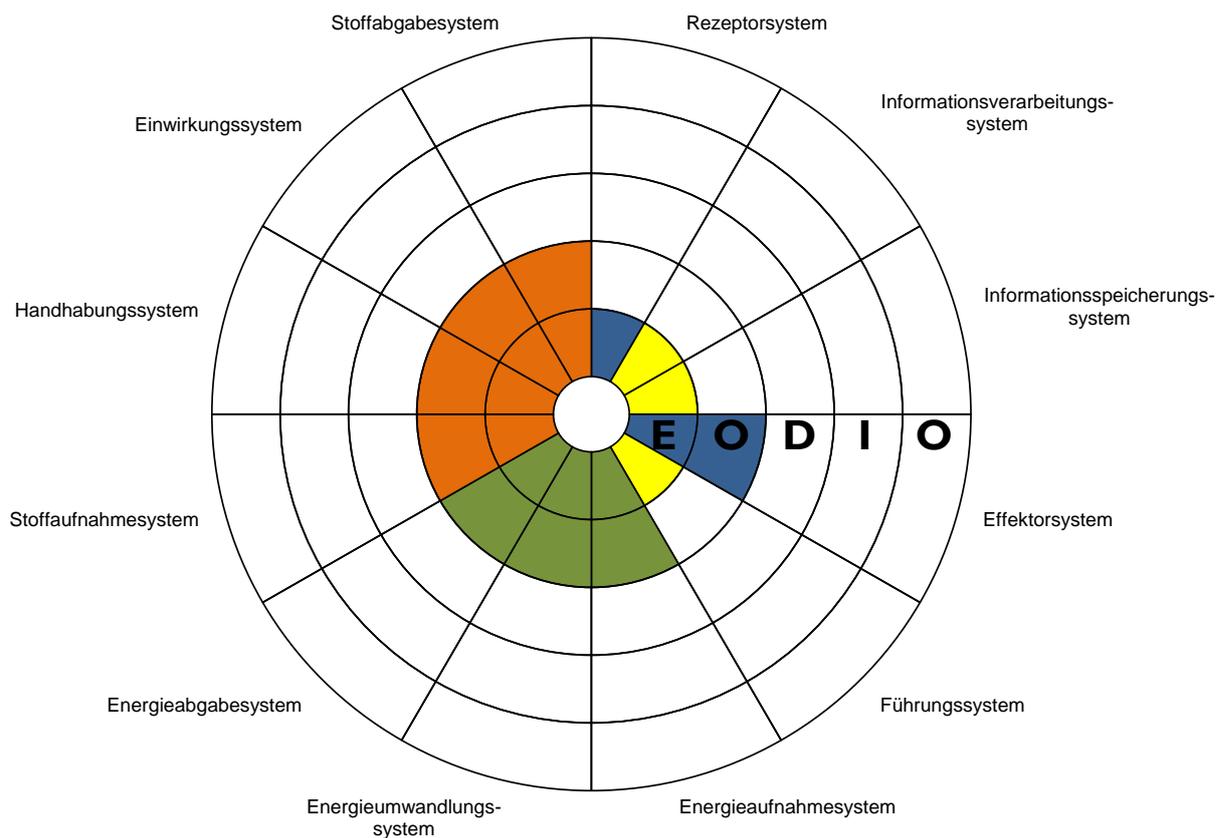


Abbildung 42: Ergebnisse aus Workshop 6, Quelle: Eigene Darstellung

Aus der durchgeführten Analyse in Verbindung mit der Ergebnisdarstellung konnte daher weiterführend abgeleitet werden, dass die Entstehungsetappe für die folgenden Teilsysteme als Entwicklungskorridor empfohlen wird.

- Informationsverarbeitungssystem
- Informationsspeicherungssystem
- Führungssystem

Dies bedeutet, dass der Informationsfluss im technischen System zu vervollständigen ist beziehungsweise im System vorhandene und importierte Informationen verwertet werden sollten. Der Anwender bestätigt den Nutzen dieses Ergebnisses und ergänzt, dass für das betrachtete technische System bereits zum aktuellen Zeitpunkt Verbesserungsmöglichkeiten in den durch das Werkzeug ermittelten Entwicklungskorridoren ausgelotet und geprüft werden. Das Ergebnis des Werkzeugs bestätigt somit exakt die Vermutungen des Unternehmens bezüglich des ausschöpfungswürdigen Entwicklungspotentials. Die Ergebnisse sind somit als verwertbar und nützlich zu betrachten.

Als Feedback bezüglich der Verwertbarkeit der Methode gibt der Anwender an, dass durch diese Form der Analyse in einer relativ kurzen Zeitspanne das potentiell größte Verbesserungspotential systematisch ermittelt werden kann. Der größte Nutzen wird darin gesehen, dass durch die Ergebnisse aus dem Tool Entwicklungsaufgaben auch dann abgeleitet werden könnten, wenn keine intuitiven Vermutungen von externer oder interner Seite vorhanden sind. In diesem Zusammenhang wird das Tool jedenfalls als hilfreiche Orientierungshilfe sowie als Unterstützung bei der Einschränkung und Bestimmung des Innovationssuchfeldes empfunden. Eine regelmäßige Durchführung ohne tatsächliche Weiterentwicklungsentention wird nicht als nützlich erachtet. Auch für eine Anwendung zum Vergleich von eigenen Produkten mit konkurrierenden wird kein potentieller Anwendungsfall gesehen.

Mit der Beschreibung des sechsten Workshops ist die Betrachtung der eigentlichen Anwendung des Analysewerkzeuges als abgeschlossen anzusehen. Folgend werden nun die durch die Nutzung der Methode gewonnenen Erkenntnisse aus der Praxis zusammenfassend erläutert.

5 ERKENNTNISSE AUS DER ANWENDUNG DES ANALYSEWERKZEUGES

In diesem Abschnitt werden Erkenntnisse aus der Anwendung des Analysewerkzeuges zur Feststellung der Entwicklungsniveaus und Entwicklungskorridore technischer Systeme dargestellt. Zu Beginn erfolgt eine Betrachtung von allgemeinen Erkenntnissen aus der praktischen Anwendung. Danach werden Erkenntnisse erörtert, welche aus den Analysen technischer Systeme gewonnen werden können. Schlussendlich wird anhand des zusammengefassten Feedbacks der in Abschnitt 4.3 beschriebenen Workshops die Verwertbarkeit und der Nutzen der entwickelten Methode festgestellt. Folgend wird dementsprechend mit der Betrachtung der Erkenntnisse aus der praktischen Anwendung des Analysewerkzeuges begonnen.

5.1 Erkenntnisse aus der praktischen Anwendung

In dieser Sektion werden Erkenntnisse beschrieben, welche sich durch die Anwendung des Werkzeuges ergeben haben. Diese sind insofern von den Erkenntnissen aus der Analyse technischer Systeme abzugrenzen, als dass hierbei insbesondere übergeordnete Erkenntnisse zur Anwendung, insbesondere der Zeitaufwand und der Lerneffekt in den Workshops, betrachtet werden sollen.

5.1.1 Durchlaufzeit der Analyse von technischen Systemen

Über die Ausführung aller Workshops hinweg konnte festgestellt werden, dass für die Analyse der Informations-, Energie- und Stoffflüsse die meiste Zeit aufgewendet wurde. Dies ist nachvollziehbar, da in diesem Abschnitt die schrittweise Analyse technischer Systeme und damit verbunden die gedankliche Transformation eines realen Produktes in ein abstraktes Denkmodell durch den Anwender erfolgt. Über alle durchgeführten Befragungen hinweg konnten beinahe konstante Durchlaufzeiten für die Analyse technischer Systeme festgestellt werden. Dabei wurden Steh- und Vorbereitungszeiten exkludiert. Während in den ersten beiden Workshops noch 50 beziehungsweise 35 Minuten zur Analyse benötigt wurden, so blieb die benötigte Dauer im Gegensatz dazu bei den weiteren Workshops beinahe konstant bei 25 Minuten. Auch wenn User die Analyse kannten und bereits selbst angewandt hatten, wird die Durchlaufzeit grundsätzlich nicht wesentlich verkürzt. Die auf fünf Minuten gerundeten Zeiträume, die für die Durchführung der Workshops benötigt wurden, werden folgend in Tabelle 7 dargestellt.

Workshop	Dauer der Systemanalyse in Minuten
Workshop 1	50
Workshop 2	35
Workshop 3	25
Workshop 4	25
Workshop 5	25
Workshop 6	30

Tabelle 7: Durchlaufzeiten der Analyse von Flüssen in technischen Systemen

Im folgenden Abschnitt wird nun betrachtet, welche Lerneffekte sowohl bei Moderator als auch Anwendern im Zuge der Workshops eingetreten sind. Insbesondere betrifft dies wiederum die abstrakte Denkweise bei der Analyse technischer Systeme

5.1.2 Lerneffekte durch wiederholte Anwendung der Methode

Durch das wiederholte Ausführen der Workshops können sowohl bei dem Moderator als auch den Anwendern Lerneffekte festgestellt werden. Für den Moderator wird durch das mehrmalige Vorgehen gemäß Modell die Beistellung von Beispielen im Zuge der Analyse vereinfacht, da auf Erfahrungen aus vergangenen Workshops zurückgegriffen werden kann. Dieser Lerneffekt kann ebenso für den Anwender bejaht werden. Dies vereinfacht zwar die Analyse und verringert die Menge an zu diskutierenden Entscheidungen, führt jedoch möglicherweise dazu, dass der in Abschnitt 3.5 beschriebenen Verhinderung von Befangenheit negativ entgegengewirkt wird. Schlussendlich müssen die Antworten durch den Anwender wahrheitsgetreu und möglichst wertfrei gegeben werden, um dauerhaft verwertbare Ergebnisse zu erzielen.

Als positiver Aspekt ist erkennbar, dass die Anwender es schaffen, in relativ kurzen Zeiträumen reale Gegebenheiten mit dem Flusskonzept im Systemmodell der allgemeinen Systemtheorie in Einklang zu bringen und die Entscheidungsfragen unter Verwendung des nötigen Wissens über das technische System ohne Hindernisse beantworten können. Daraus ergibt sich in Verbindung mit der ganzheitlichen Betrachtung des technischen Systems ein nützlicher Nebeneffekt, der im folgenden Abschnitt beschrieben wird.

5.1.3 Kreativität durch holistische Betrachtungsweise

In der Mehrzahl der durchgeführten Workshops wurde durch die Anwender begrüßt, dass ein holistischer, abstrakter Ansatz zur Analyse des technischen Systems gewählt wurde. Durch das sich aus dem verwendeten Systemmodell abgeleitete, strukturierte Vorgehen bei der Durchleuchtung des Untersuchungsobjektes wird der Anwender mit vielen Aspekten konfrontiert, welche oftmals nicht als wichtig angesehen werden, da sie die Primärfunktion des Systems nicht betreffen. Vernachlässigt werden zumeist ebenso Fakten oder Funktionsweisen, welche schon seit geraumer Zeit Gültigkeit besitzen und im Normalfall bei Betrachtungen des Systems nicht mehr in Frage gestellt werden.

Beide Aspekte tragen dazu bei, dass der Anwender im Zuge der Darstellung und Interpretation der Ergebnisse dazu verleitet ist nicht nur den Entwicklungskorridor wahrzunehmen, sondern bereits ad hoc die Entwicklungsaufgabe als zu lösendes erfinderisches Problem zu entwickeln. Diesbezüglich wird das Analysewerkzeug, wie in Workshop 2 durch den Anwender festgestellt, als potentieller Teil eines größeren Entwicklungsprozesses gesehen.

Im folgenden Abschnitt werden nun Erkenntnisse betrachtet welche in den Analysen technischer Systeme generiert werden konnten. Insbesondere sollen im Anschluss all jene Erkenntnisaspekte erörtert werden, welche im engeren Sinn im Kontext von technischen Systemen gewonnen werden konnten.

5.2 Erkenntnisse aus der Analyse technischer Systeme

Zu Beginn dieses Abschnittes wird der Einfluss der in Abschnitt 4.3.1 erstmalig entdeckten Generationenprämisse dargestellt. In weiterer Folge werden Erkenntnisse zu festgestellten Entwicklungsniveaus sowie Entwicklungskorridoren dargestellt. Zusätzlich wird separat beschrieben, welche Schlüsse aus dem Vergleich der Analyseergebnisse zweier Systeme, welche in hierarchischer Beziehung stehen, gezogen werden können. Zum Abschluss werden Problematiken bei der Analyse technischer Systeme und weiterführende Hypothesen angeführt.

5.2.1 Zeitlicher Kontext

Bereits während der Durchführung des ersten Workshops wurde festgestellt, dass für die Entscheidungsfragen bezüglich der Optimierungsetappen immer ein zeitlicher Kontext nötig ist. Je nachdem, wie dieser festgelegt wird, ist eine zuvor durchgeführte Optimierung dann zu bejahen oder zu verneinen. In den Workshops hat sich eine Analyse unter Beachtung aller durch die Organisationseinheit entwickelten, funktionsähnlichen Produkte bewährt. Diese Einschränkung ist insofern notwendig, da beispielsweise für Teilsysteme eines Bohrers eine durchgeführte Optimierung beinahe immer bejaht werden müsste. Die Optimierung könnte ohne zeitliche Einschränkung schließlich auch in der Antike stattgefunden und in der Form keine Korrelation mehr mit der aktuellen Funktionsweise des technischen Systems haben. Im Zuge dieser Arbeit wurde jedoch kein Konzept erarbeitet, wie bei Verwendung dieser Prämisse beispielsweise im Kontext von Unternehmensübergängen oder dem Verkauf von Rechten an Produkten umgegangen werden soll. Im Regelfall schafft die gewählte Prämisse jedoch einen geeigneten zeitlichen Referenzrahmen zur Analyse technischer Systeme.

5.2.2 Erkenntnisse zu den festgestellten Entwicklungsniveaus

Folgend werden Erkenntnisse beschrieben, welche aus den in den Workshops ermittelten Entwicklungsniveaus technischer Systeme ableiten lassen. Grundsätzlich konnte festgestellt werden, dass die Analyse der technischen Systeme sehr konservative Ergebnisse erzeugt. Keines der in den Workshops analysierten Systeme hat sein internes Entwicklungspotential soweit ausgeschöpft, dass eine Weiterentwicklung auf Ebene des Obersystems empfohlen wurde. Ebenso wurde nur in zwei Fällen die

Integrationsstufe erreicht. Eine nicht erreichte Obersystemstufe impliziert jedoch nicht, dass kein Obersystem existiert. Es bedeutet gemäß theoretischen Ausführungen in Abschnitt 2.5.2 nur, dass die Höherentwicklung des technischen Systems nur noch in diesem möglich ist. Im Umkehrschluss kann festgestellt werden, dass vor der Erreichung der Obersystemstufe eine Höherentwicklung *sowohl im System als auch im Obersystem* möglich ist. Dementsprechend koexistieren System und Obersystem und werden parallel weiterentwickelt. Ab einem gewissen Entwicklungsgrad, der in den Workshops in keinem Beispiel festgestellt wurde, ist eine Weiterentwicklung jedoch aufgrund der Ausschöpfung aller Entwicklungspotentiale im System nur noch auf der Ebene des Obersystems sinnvoll.

Zusätzlich konnte festgestellt werden, dass aufgrund eines erreichten Entwicklungsniveaus eines Teilsystems nicht auf das eines anderen geschlossen werden kann. Das Entwicklungsniveau eines beliebigen Aufnahmesystems erlaubt zum Beispiel keine Rückschlüsse auf im Fluss nachfolgende Teilsysteme, insbesondere beteiligte Abgabesysteme. Physikalische Gesetze wie zum Beispiel der Energieerhaltungssatz scheinen dadurch auf den ersten Blick verletzt zu werden. Wie jedoch bereits in Abschnitt 4.3.1 dargelegt und insbesondere in Abbildung 35 visualisiert, ist dies nicht der Fall. Die Darstellung des Ergebnisses zum Abschluss der Flussanalysen hilft hierbei, den Anwender nicht vorab dazu zu verleiten, sich auf die Entwicklungsniveaus anderer Teilsysteme als Analysebasis zu stützen.

Eine weitere Entdeckung konnte erst im fünften Workshop gemacht werden, in welchem ein System analysiert wurde, in dem keinerlei Stofffluss festgestellt werden konnte. Dies wurde in Abschnitt 4.3.6, vor allem jedoch in Abbildung 40, dargestellt. Der Stofffluss findet dabei erst über die Ebene des Obersystems statt. Wird das analysierte technische System isoliert betrachtet, so kann festgestellt werden, dass nicht alle Teilsysteme existieren. Dies widerspricht dem in Abschnitt 2.4.3 erörterten *Gesetz der Vollständigkeit der Teile eines Systems*. Die Gültigkeit des Gesetzes wird jedoch nicht angezweifelt. Vielmehr wird festgestellt, dass im Kontext der entwickelten Methode dieses Gesetz nicht auf das verwendete Systemmodell aus der allgemeinen Systemtheorie Anwendung findet. Das verwendete Systemmodell basiert auf einer detaillierteren Funktionszerlegung. Das genannte Gesetz aus TRIZ beschreibt ausschließlich, dass die im minimalen technischen System enthaltenen Teilsysteme, welches in Abschnitt 2.4.3 dargestellt wurde, jedenfalls vorhanden sein müssen. Das Gesetz der Vollständigkeit der Teile eines Systems kann daher nicht auf jedes beliebige Systemmodell übertragen werden und ist im Fall des entwickelten Analysewerkzeuges somit nicht anwendbar.

Ein Kritikpunkt an den ermittelten Entwicklungsniveaus ist, dass keinerlei Aussage darüber möglich ist, wie weit eine Entwicklungsstufe bereits fortgeschritten ist und diese nicht bewertet werden kann. Es gibt keinerlei Aussagen darüber, wie effizient die vollzogene Optimierung war. Werden zwei verschiedene Teilsysteme in der Optimierungsstufe verglichen, wird der Anschein erweckt, dass beide Teilsysteme gleich gut oder schlecht optimiert sind. Dies ist jedoch nicht im Zweck der Ermittlung der Entwicklungsstufen verankert. Dementsprechend die Kritik insofern als irrelevant anzusehen, als dass eine Änderung der Analyse diesbezüglich das Gesamtergebnis weder positiv noch negativ beeinflussen würde. Jedenfalls wird anerkannt, dass die Analyse der Entwicklungsstufen generell nicht den Anspruch erhebt, dass Art und Weise der Erreichung der Entwicklungsniveaus betrachtet werden sollen, sondern nur, ob diese erreicht wurden.

Im Zuge der Workshops wurden technische Systeme analysiert, welche teilweise seit mehreren Produktgenerationen existieren. Als Alter des technischen Systems wird in diesem Fall die Dauer in Jahren verstanden, die das technische System bereits gemäß dem in den Abschnitten 4.3.1 sowie 5.2.1 erörterten Kontext entwickelt wird. Es konnte dabei nicht beobachtet werden, dass mit zunehmendem Alter die Kluft zwischen am niedrigsten entwickeltem Teilsystem und am höchsten entwickeltem Teilsystem kleiner wird. Auch die räumliche Ausdehnung des technischen Systems nimmt gemäß den in den Abschnitt 4.3 dargestellten Analyseergebnissen keinen Einfluss auf die Entwicklungsunterschiede. Ebenfalls keine Korrelation konnte zwischen dem Alter von technischen Systemen und der Summe der erreichten Entwicklungsstapen festgestellt werden.

Schlussendlich wurde während der Durchführung der Workshops erkannt, dass die Primärfunktion des technischen Systems als Haupttreiber seiner Weiterentwicklung auftritt. Dies basiert zu einem nicht unerheblichen Teil auf dem Wünschen des Kunden nach effektiveren und effizienteren Produkten zur Stillung ihrer Kundenbedürfnisse. Demzufolge werden sowohl die Analyse des technischen Systems als auch die Ergebnisse daraus durch den Anwender primär in Bezug auf die zentrale Funktion des technischen Systems interpretiert. Erst im Verlauf der Analyse beziehungsweise im Zuge der Interpretation der Ergebnisse wird bewusst, dass bei einer holistischen Betrachtung auch Sekundär- und Nebenfunktionen für nutzenstiftende Weiterentwicklungen von Relevanz sein können.

Folgend wird nun als Spezialfall betrachtet, welche Erkenntnisse aufgrund der Analyseergebnisse zweier in direkter hierarchischer Beziehung stehender technischer Systeme gewonnen werden konnten. Insbesondere handelt es sich dabei um die in den Abschnitten 4.3.2 und 4.3.5 dargestellten Analysen.

5.2.3 Erkenntnisse aus der Analyse von Systemen in hierarchischer Beziehung

Werden ein technisches System und dessen Obersystem in Kontext zueinander gesetzt, so ist offensichtlich, dass beide in unterschiedlichen Systemumgebungen operieren. Ein Sensor ist beispielsweise Teil eines Messgerätes und dieses stellt die unmittelbare Systemumgebung gemäß Abschnitt 2.4.2 dar. Das Messgerät selbst wiederum ist Teil des Labors als Obersystems, welches für dieses die relevante Umgebung darstellt. Aus den durchgeführten Analysen ergibt sich, dass aufgrund dieser stark unterschiedlichen Systemumgebungen auf Basis der Analyse eines technischen Systems nur bedingt direkte Rückschlüsse auf das Obersystem gezogen werden können. Während das Messgerät den Sensor als relativ kontrollierbare Systemumgebung dominiert, ist es selbst weitaus weitläufigeren Einflüssen ausgesetzt.

Das Obersystem legt hierbei als relevante Systemumgebung Limitationen für die Entwicklung des technischen Systems fest. Daher fallen auch die Ausprägungen der Entwicklungsniveaus unterschiedlich aus und es kann festgestellt werden, dass für das technische System unlösbare Probleme auch schon vor Erreichung der Obersystemetappe im Obersystem gelöst werden müssen. Ein Beispiel dafür stellt das Handhabungssystem des Sensors dar, welcher in Abschnitt 4.3.2 analysiert wurde. Laut Analyse würde das Hinzufügen eines weiteren Handhabungssystems die Komplexität des Systems so weit steigern, dass kein weiterer, überproportionaler Nutzen dadurch generiert werden kann. Der Grund dafür ist das beschränkte Volumen, das der Sensor im Umfeld seines Obersystems beanspruchen darf.

Das in Abschnitt 4.3.5 analysierte Obersystem des Sensors ist dieser Vorgabe nicht unterworfen und dementsprechend wäre das Integrieren eines weiteren Handhabungssystems zum aktuellen Stand mit einer überproportionalen Nutzengenerierung verbunden.

Zusätzlich konnte festgestellt werden, dass technische Systeme in Bezug auf die Primärfunktion des Obersystems als obligatorisch oder optional klassifiziert werden können. Das Messgerät benötigt zum Ausführen der Primärfunktion als Teilsystem den Sensor. Das Autoradio ist für die Erbringung der Primärfunktion eines Automobils nicht nötig. Diese Art von Teilsystemen ist jedoch für Sekundär- und Hilfsfunktionen oftmals unerlässlich. Als logischer Schluss kann festgestellt werden, dass für die Primärfunktion optionale Teilsysteme auf eine Integrationsetappe hinweisen, während dies für jene Teilsysteme, welche für die Primärfunktion obligatorisch sind, nicht gilt.

5.2.4 Erkenntnisse zu den festgestellten Entwicklungskorridoren

In diesem Abschnitt werden Erkenntnisse beschrieben, welche aus den ermittelten Entwicklungskorridoren gewonnen werden konnten. Grundsätzlich wurde in allen durchgeführten Workshops als Ergebnis entweder die Durchführung fehlender Optimierungs- oder Dynamisierungsetappen vorgeschlagen. Das Ergebnis war für die Anwender bis auf einen Fall schlüssig und nachvollziehbar. In Workshop 3, welcher in Abschnitt 4.3.3 erörtert wird, wurde die Sinnhaftigkeit einer Optimierung des Energieaufnahmesystems angezweifelt.

Dies wurde vom Anwender auf den Verwendungszweck des Produktes zurückgeführt. Eine Weiterentwicklung der Energieaufnahme sei demnach nur bei geändertem *Verwendungszweck* zielführend. Der Anwender bezieht demnach in diesem Fall die Analyse immer in Bezug auf den bestehenden Verwendungszweck und damit auf zuvor festgelegte Kundensegmente. Die Erkenntnis, die daraus gezogen werden kann ist demnach, dass das erarbeitete und getestete Analysewerkzeug nicht anwendbar ist, wenn ein spezifischer Verwendungszweck des technischen Systems als Prämisse vorangestellt wird und dementsprechend nicht die Flexibilität zur Eröffnung neuer Verwendungszwecke vorhanden ist. In allen übrigen Fällen fallen die Ergebnisse in die jeweiligen Kategorien:

- Der ermittelte Entwicklungskorridor deckt sich mit Vermutungen der Anwender bezüglich noch ausschöpfbarem Entwicklungspotentials.
- Der ermittelte Entwicklungskorridor deckt sich mit aktuellen Entwicklungstätigkeiten der Anwender zur Ausschöpfung von Entwicklungspotential.
- Der ermittelte Entwicklungskorridor ist den Anwendern bisher nicht bekannt.

Während die Anwender in den ersten beiden Fällen die ermittelten Entwicklungskorridore als Bestätigung ihrer Vermutungen oder Entwicklungstätigkeiten ansehen, so wird im dritten Fall oftmals die Verbindung zum spezifischen Kundenbedarf vermisst. Vor allem bei technischen Systemen, die als Produkte bereits lange Zeit am Markt existieren, wird der Kundenbedarf sehr hoch gewertet. Entwickler von neuartigen Produkten, welche erst seit kurzem am Markt verfügbar sind, scheinen hierbei mehr Vertrauen in die Theorien zur Höherentwicklung technischer Systeme zu legen. Schlussendlich ist das Ergebnis für die Anwender in jedem Fall ein Denkanstoß für weitere Entwicklungen an ihren Systemen.

Im Allgemeinen konnte festgestellt werden, dass durch die Anwendung des entwickelten Analysewerkzeuges potentielle Entwicklungskorridore ermittelt werden können. Es kann jedoch auf Basis der Ergebnisse keine Aussage darüber getroffen werden, ob eine Verbesserung als sinnvoll zu erachten ist oder nicht. Als Ergebnis der Methode können nur Denkanstöße geliefert werden, welche Aspekte des Systems in der Suche nach Entwicklungsaufgaben überdacht beziehungsweise betrachtet werden sollen.

5.2.5 Auffälligkeiten und Problematiken bei der Analyse technischer Systeme

In diesem Abschnitt werden zum einen Auffälligkeiten beschrieben, welche während der Durchführung der Workshops aufgetreten sind. Zum anderem werden Problematiken aufgezeigt, die in der Anwendung des Analysewerkzeuges bestehen und demzufolge beachtet werden müssen. Als erste Feststellung wird angeführt, dass Anwender oftmals versucht sind, die Analyse des technischen Systems nur im Kontext der Primärfunktion zu sehen. So wird beispielsweise Energie nur in der offensichtlichen elektrischen Form gesehen, nicht aber als Abwärme oder kinetische Energie. Hier ist der Moderator in der Pflicht, den Anwender dementsprechend auch in andere Gebiete des technischen Systems zu leiten.

Durch die Anwender wurde zusätzlich zur erfolgten Durchführungsform angeregt, dass ein onlinebasierter Fragebogen ebenfalls für die Analyse technischer Systeme von Interesse sei. Dieser müsste jedoch mit geeigneten, grafischen Beispielen angereichert werden. Bei Verwendung dieser Analyseform wäre der Vorteil gegeben, dass die in Abschnitt 3.5 angeführte Befangenheit weiter verringert werden könnte. Bei einer entsprechend hohen Anzahl an Anwendern, welche dasselbe, bekannte technische System analysieren, wäre es möglich ein statistisch relevantes Mittel der Entwicklungsniveaus errechnen und objektivere Ergebnisse zu erhalten.

Schlussendlich wurde festgestellt, dass eine Prüfung von Systemen, welche bereits die Obersystemetappe erreicht haben, im Zuge dieser Arbeit nicht möglich war. Die gewählten technischen Systeme erwiesen sich allesamt in der Analyse als nicht weit genug entwickelt. Nachdem die Ergebnisse der Workshops von den Anwendern als schlüssig und nachvollziehbar bewertet wurden, wird angenommen, dass die Ermittlung des Ergebnisses, welche in Abschnitt 3.6.6 dargestellt wurde, trotz alledem auch für höher entwickelte Systeme anwendbar ist. Nachdem nun die Erkenntnisse aus der Analyse technischer Systeme beschrieben wurden, werden folgend die Verwertbarkeit und der Nutzen der Methode für die Anwender betrachtet.

5.3 Verwertbarkeit und Nutzen

Der geplante Nutzen durch die Anwendung des Analysewerkzeuges besteht grundsätzlich aus mehreren Komponenten. Einerseits soll es ermöglicht werden, systematisch und methodisch festzustellen, welche Stoßrichtung für die nächsten erfinderischen Aufgaben gewählt werden soll. Zusätzlich soll feststellbar sein, ob Entwicklungsreserven innerhalb des Systems bestehen oder auf Ebene des Obersystems weiterentwickelt werden muss. Schlussendlich stellt Systematik im Vorgehen selbst Nutzen dar, da das gesamte System in einer ganzheitlichen Sichtweise erfasst und betrachtet wird. Die *systematische und holistische Betrachtungsweise* kann daher als Nutzen für den Anwender angeführt werden.

Wie in Abschnitt 5.2.4 erläutert, fielen die Ergebnisse aus der Ermittlung der Entwicklungskorridore in drei Kategorien. Entweder wurde die Intuition oder bereits aktives Weiterentwickeln des Systems bestätigt oder ein neuer Entwicklungskorridor aufgedeckt. Der Nutzen für den Anwender ist hierbei dementsprechend einerseits eine *Bestätigung*, andererseits aber auch ein *Hinweis auf verdecktes Potential*.

Bezüglich einer regelmäßigen Durchführung der Analyse wurde durch die Anwender ambivalentes Feedback gegeben. Diese wurde teilweise als sinnvoll angesehen, in anderen Fällen jedoch auch schlichtweg als unmöglich abgelehnt. Die Analyse ist für bereits bestehende Produkte zumeist nur einmalig von Interesse. Die Ergebnisse der Ermittlung der Entwicklungsetappen bieten hierbei in einem absehbaren Zeitraum nahezu vollkommen idente Erkenntnisse. Für *neu zu entwickelnde Produkte* wird die Analyse aufgrund der holistischen Betrachtung als äußerst sinnvoll angesehen.

Schlussendlich konnte ebenso festgestellt werden, dass Vergleiche von technischen Systemen mit Konkurrenzprodukten für den Anwender nicht von Interesse sind. Die Gründe dafür sind mannigfaltig. Einerseits kann eine exakte Analyse aufgrund von fehlendem Wissen schlichtweg unmöglich sein. Andererseits liefern funktionsähnliche technische Systeme von Konkurrenten auf dieser abstrakten Ebene ähnliche Analyseergebnisse und es kann kein Mehrwert daraus generiert werden. Um diesen zu generieren, müsste die Analyse weitaus feiner ausgestaltet sein, was im Umkehrschluss wieder eine Notwendigkeit für exaktes Wissen über die Wirkungsweise von Konkurrenzsystemen bedeuten würde.

In Summe ist ein Nutzen in Form einer systematischen und holistischen Betrachtungsweise eines technischen Systems gegeben. Die Ergebnisse aus dieser Betrachtung können entweder bestehende Vermutungen oder Aktivitäten bestätigen oder neue Möglichkeiten zur Weiterentwicklung aufdecken. Schlussendlich werden folgend basierend auf den bisherigen Ausführungen Ableitungen für die Praxis aufgezeigt.

5.4 Ableitungen für die Praxis

Um den Nutzen aus dem entwickelten Analysewerkzeug in der Praxis generieren zu können, müssen sowohl die in Abschnitt 4.3 als auch in Abschnitt 5.3 angeführten Feststellungen beachtet werden. Nachdem die Anwender für eine regelmäßige Durchführung der Methode für dasselbe Produkt zumeist keinen Bedarf sehen, bietet es sich an, dass Produkt vor allem in der Neuentwicklung von technischen Systemen anzuwenden. Dies inkludiert insbesondere technische Systeme auf Basis von neuen Technologien oder wissenschaftlichen Erkenntnissen. Insbesondere während der Prototypenentwicklung kann hier ein Mehrwert generiert werden, da durch die holistische Betrachtungsweise weiteres Potential für Verbesserungen vor dem Launch des Produktes aufgedeckt werden können.

Das Analysewerkzeug sollte hierbei als Teil eines gesamten Produktentwicklungsprozess gesehen werden, wie er beispielsweise in Abbildung 6 dargestellt wurde. Dabei ist das vorgestellte Modell insbesondere in früheren Phasen des Produktentwicklungsprozesses von Nutzen, da es eine ganzheitliche Sicht auf das zu entwickelnde System bietet. Dies kann beispielsweise analog zu dem in Abschnitt 4.3.3 erläuterten Workshop, in dem ein technisches System vor der Erstellung eines Prototypen

analysiert wurde, erfolgen. Auch die Bestrebungen zur Verhinderung von Befangenheit erlauben hier einen objektiveren Blick für die weiterfolgende Entwicklungsarbeit. Schlussendlich erfolgt im nächsten Kapitel als Abschluss die Niederschrift der Interpretation und Conclusio dieser Arbeit. Insbesondere sollen dabei die Forschungsfragen beantwortet werden. Abschließend erfolgen ein Ausblick und eine Betrachtung offener Fragestellungen.

6 INTERPRETATION UND CONCLUSIO

Im Verlauf dieser Arbeit wurde unter Berücksichtigung der relevanten Literatur ein Werkzeug erstellt, welches es ermöglicht, systematisch bestehende Entwicklungsniveaus und potentielle Entwicklungskorridore in technischen Systemen zu ermitteln. Die Validierung der entwickelten Methode erfolgte dabei in mehreren Workshops, in denen Produkte als technische Systeme analysiert und auf Entwicklungspotentiale untersucht wurden. In diesem Abschnitt werden nun zu Beginn die Forschungsfragen beantwortet. Als Abschluss erfolgt ein Ausblick auf potentielle Weiterentwicklungsmöglichkeiten der Methode sowie eine Darstellung offener Fragestellungen, welche sich durch die in dieser Arbeit durchgeführten Forschungen ergeben.

6.1 Beantwortung der Forschungsfragen

Die zwei zentralen, dieser Arbeit zu Grunde liegenden Fragen wurden einleitend in Abschnitt 1.2 definiert. Auf Basis dieser wurden die Ziele festgelegt. Um dementsprechend die Forschungsfragen zu beantworten soll zuerst die Zielerreichung überprüft werden. Als Ziel des theoretischen Teiles dieser Arbeit wurde die Entwicklung eines Werkzeuges, welches es ermöglicht auf systematische Art und Weise Entwicklungsniveaus und Entwicklungskorridore in technischen Systemen zu identifizieren, festgelegt. Dieses Ziel wurde durch die Erarbeitung relevanter Literatur und das Entwickeln der Methode selbst erreicht. Das entwickelte Analysewerkzeug wurde ausführlich bereits in Abschnitt 3 vorgestellt. Es ist geeignet, um alle Arten von technischen Systemen zu analysieren, was implizit durch die Anwendung der Methode auf verschiedenste Produkte in Abschnitt 4 erwiesen wurde. Durch die praktische Anwendung wurde ebenso das zweite Ziel, die Analyse realer Produkte zum Zwecke der Validierung des Werkzeuges, erreicht. Die Erkenntnisse aus dieser Anwendung wurden in Abschnitt 5 detailliert vorgestellt. Auf Grundlage des Feedbacks der Anwender konnte die angewandte Methode als nützliches Werkzeug mit verwertbaren Ergebnissen klassifiziert werden.

Bei abschließender Betrachtung der Forschungsfragen kann festgestellt werden, dass diese als beantwortet angesehen werden können. Beide Forschungsfragen aus Abschnitt 1.2 wurden durch den theoretischen Teil der Arbeit und die Validierung der darin entwickelten Methode beantwortet. Entwicklungsstände von technischen Systemen und Teilsystemen können aufgrund der erarbeiteten Literatur festgestellt sowie aus diesen potentielle zukünftige Entwicklungsrichtungen von technischen Systemen abgeleitet werden. Im praktischen Teil der Arbeit wurde zusätzlich erwiesen, dass die gewählte Herangehensweise aus Synthese von WOIS und allgemeiner Systemtheorie in Form des entwickelten Werkzeuges geeignet ist, die definierten Ziele zu erreichen und die Forschungsfragen als beantwortet betrachtet werden können.

6.2 Ausblick und offene Fragestellungen

Zum Abschluss dieser Arbeit erfolgt in diesem Abschnitt eine Betrachtung offener Fragestellungen. Zusätzlich wird ein Ausblick auf potentielle zukünftige Verbesserungen der Methode gegeben. Die Argumentationen basieren diesbezüglich auf dem Feedback der Anwender während der Anwendung des Werkzeuges in Abschnitt 4.3.

6.2.1 Exaktere Ermittlung der Entwicklungsniveaus

Als einer der zentralen Gründe, weshalb eine Nutzung des Werkzeuges zu Vergleichen mit Konkurrenzprodukten als nicht nützlich erachtet wird, wurde von den Anwendern angeführt, dass nicht erkennbar ist, wie weit ein System auf einem Entwicklungsniveau vorangerückt ist. Die Feststellung ist hierbei binärer Natur. Als potentielle Weiterentwicklung des Werkzeuges kann hierbei eine Verfeinerung der Analyse angedacht werden, welche es erlaubt, eine graduelle Erfüllung eines Entwicklungsniveaus zu ermitteln. Dies ist jedoch mit erheblichem Analyseaufwand verbunden, weshalb angenommen werden kann, dass die für die Analyse aufgewandte Zeit um den Faktor zwei oder drei ansteigen könne. Nichtsdestotrotz stellt dies eine Möglichkeit dar, den Nutzen der Methode zukünftig weiter zu steigern.

6.2.2 Massenerhebung von Analysedaten

Durch zumindest einen der Anwender in den durchgeführten Workshops wurde angemerkt, dass eine Durchführung der entwickelten Analyse online ebenso von Nutzen sein könnte. Durch die Verwendung geeigneter Beispiele inklusive visueller Unterstützung ist es denkbar, die Rolle des Moderators, welche in Abschnitt 4.2.4 beschrieben wurde, durch einen den Anwender besser unterstützenden Analysemodus zu ersetzen. Auf diesem Wege wären in weiterer Folge durch entsprechende Ausbringung und Vernetzung Szenarien denkbar, in denen technische Systeme von vielen Personen parallel bewertet werden und schlussendlich ein aggregiertes, statistisch relevantes Ergebnis erzielt werden kann. In Verbindung mit einer exakteren Ermittlung der Entwicklungsniveaus kann hierbei der Nutzen der Methode weiter gesteigert werden. Zusätzlich kann durch eine Erhöhung der Anzahl der Anwender die potentielle Befangenheit einzelner Befragter neutralisiert werden.

6.2.3 Anwendung des Werkzeuges auf Organisationen

Wie in Abschnitt 2.4.2 festgestellt, sind technische Systeme als Unterkategorie von Handlungssystemen anzusehen, welche kein Zielsetzungssystem besitzen. Dementsprechend ist das vorgestellte Werkzeug nicht umgehend auf Handlungssysteme, wie es beispielsweise Organisationen sind, anwendbar. Mit einigen wenigen Anpassungen ist es jedoch denkbar, dass erstellte Werkzeug systematisch so zu erweitern, dass gemäß der allgemeinen Systemtheorie ebenso Organisationen als Untersuchungsobjekt herangezogen werden können. Hier ist jedoch zusätzlich festzustellen, inwieweit die Ansätze zur Systementwicklung aus TRIZ beziehungsweise WOIS direkt auch auf Organisationen angewandt werden können.

6.2.4 Künstliche Intelligenz und technische Systeme

Technische Systeme sind Handlungssysteme, welche kein Zielsetzungssystem besitzen. Dies wurde anhand der allgemeinen Systemtheorie in Abschnitt 2.4.2 dargestellt. Würde ein technisches System nun eine künstliche Intelligenz erhalten, so wäre es argumentativ tragbar zu behaupten, dass auch technische Systeme nun interne Zielsetzungssysteme besitzen können. Obwohl diese grundsätzlich durch Menschen erschaffen wurden, setzt wahre künstliche Intelligenz eigenmächtig zumindest kurzfristige Ziele. Demzufolge kann abgeleitet werden, dass sich die Klasse der technischen Systeme selbst weiterentwickelt, da sie zukünftig ebenso interne Zielsetzungssysteme innehaben können und de facto zu Handlungssystemen aufsteigen. Im Kontext der allgemeinen Systemtheorie ist es somit von Interesse zu prüfen, inwiefern Systemklassen selbst über den Verlauf der Zeit eine Weiterentwicklung erfahren können.

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

TRIZ	Theorie des erfinderischen Problemlösens
WOIS	Widerspruchsorientierte Innovationsstrategie
ARIZ	Algorithm for Inventive Problem Solving
TRTS	Theorie der Entwicklung von technischen Systemen
IFR	Ideales Endresultat, Ideal Final Result

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Gliederung der Arbeit, Quelle: Eigene Darstellung.....	12
Abbildung 2: Problemlösung mit Werkzeugen aus TRIZ auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen, Quelle: In Anlehnung an Möhrle (2005), S. 4.	14
Abbildung 3: Dialektik in ARIZ-61 und ARIZ-71, Quelle: Eigene Darstellung.....	16
Abbildung 4: Elemente eines minimalen technischen Systems und minimale, vollständige Stoff-Feld Struktur, Quelle: In Anlehnung an Fey/Rivin (2005), S. 48f.....	19
Abbildung 5: 9-Fenster-Ansatz, Quelle: In Anlehnung an Altshuller (1984), S. 120.....	22
Abbildung 6: Phasen eines typischen Produktentwicklungsprozesses, Quelle: In Anlehnung an Fey/Rivin (2005), S. 2.	23
Abbildung 7: Klassifizierung der Methoden zur Erhöhung der Entwicklungskreativität, Quelle: In Anlehnung an Linde/Hill (1993), S. 4.	24
Abbildung 8: Technischer Widerspruch, Quelle: In Anlehnung an Linde/Hill (1993), S. 7.	26
Abbildung 9: Zunahme der Zielkonflikte, Quelle: In Anlehnung an Linde/Hill (1993), S. 4.	27
Abbildung 10: Grundelemente des Strategiemodell zur Bestimmung und Lösung von Entwicklungsaufgaben, Quelle: In Anlehnung an Linde/Hill (1993), S. 35.	30
Abbildung 11: Konzepte der Systemtheorie, Quelle: In Anlehnung an Ropohl (2009), S. 76.	32
Abbildung 12: Klassifizierung von Systemen, Quelle: In Anlehnung an Hubka/Eder (1988), S. 8.	33
Abbildung 13: Zielkette, Quelle: In Anlehnung an Ropohl (2009), S. 154.	37
Abbildung 14: Valenz von Mitteln bei konvergenten und divergenten Relationen, Quelle: In Anlehnung an Ropohl (2009), S. 158.	38
Abbildung 15: Übergang von Protosystem zu technischem System, Quelle: In Anlehnung an Fey/Rivin (2005), S. 13.	39
Abbildung 16: Typen von Strukturen in technischen Systemen, Quelle: In Anlehnung an Salamatov (1991).....	41
Abbildung 17: Typen von Beziehungen im technischen System, Quelle: In Anlehnung an Salamatov (1991).....	42
Abbildung 18: Konnektivität und Komplexität, Quelle: Eigene Darstellung	46
Abbildung 19: Systemtheorie und Modellkonstruktion, Quelle: In Anlehnung an Ropohl (2009), S. 84. ...	49
Abbildung 20: Grobstruktur eines Handlungssystems, Quelle: In Anlehnung an Ropohl (2009), S. 102.....	51
Abbildung 21: Feinstruktur eines technischen Sachsystems, Quelle: In Anlehnung an Ropohl (2009), S. 104.....	53
Abbildung 22: Minimales technisches System und hierarchische Zerlegung seiner Elemente, Quelle: In Anlehnung an Cascini/Rotini/Russo (2009), S. 374.	56
Abbildung 23: Modell der Top 10–Teilsysteme, Quelle: In Anlehnung an Linde/Herr/Rehklau (2005).	57
Abbildung 24: WOIS-Organismusmodell, Quelle: In Anlehnung an Linde/Herr (2009).....	58
Abbildung 25: S-Kurve der Entwicklung technischer Systeme, Quelle: In Anlehnung an Altshuller (1984), S. 206.	61

Abbildung 26: Entwicklungsetappen in WOIS über den Verlauf der Zeit, Quelle: Eigene Darstellung	63
Abbildung 27: Grobstruktur der Vorgehensweise des Analysewerkzeuges, Quelle: Eigene Darstellung.....	70
Abbildung 28: Relevanz der Prüfungen zu Informationsflüssen, Quelle: Eigene Darstellung.....	76
Abbildung 29: Relevanz der Prüfungen zu Energieflüssen, Quelle: Eigene Darstellung	79
Abbildung 30: Relevanz der Prüfungen zu Stoffflüssen, Quelle: Eigene Darstellung	80
Abbildung 31: Entscheidungsbaum der Entwicklungskorridore, Quelle: Eigene Darstellung.....	82
Abbildung 32: Beispielhafte Visualisierung der Ergebnisse, Quelle: Eigene Darstellung	83
Abbildung 33: Dokumentationsform der qualitativen Befragung, Quelle: Eigene Darstellung	88
Abbildung 34: Idealtypischer Ablauf eines Workshops, Quelle: Eigene Darstellung.....	89
Abbildung 35: Absorbierte und emittierte Energieformen, Quelle: Eigene Darstellung.....	95
Abbildung 36: Ergebnisse aus Workshop 1, Quelle: Eigene Darstellung.....	97
Abbildung 37: Ergebnisse aus Workshop 2, Quelle: Eigene Darstellung.....	101
Abbildung 38: Ergebnisse aus Workshop 3, Quelle: Eigene Darstellung	106
Abbildung 39: Ergebnisse aus Workshop 4, Quelle: Eigene Darstellung.....	113
Abbildung 40: Ergebnisse aus Workshop 5, Quelle: Eigene Darstellung.....	116
Abbildung 41: Ergebnisse aus Workshop 5 nach Korrektur der Ergebnisermittlung, Quelle: Eigene Darstellung.....	117
Abbildung 42: Ergebnisse aus Workshop 6, Quelle: Eigene Darstellung.....	119

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Grundlegende Subsystemrollen	55
Tabelle 2: Bewertung der Tauglichkeit und Präzision von Referenzmodellen technischer Systeme	72
Tabelle 3: Bewertung der Generalisierung von Referenzmodellen technischer Systeme	72
Tabelle 4: Bewertung der Simplizität von Referenzmodellen technischer Systeme	72
Tabelle 5: Übersicht der Bewertung der Referenzmodelle technischer Systeme	72
Tabelle 6: Klassifizierung der Unternehmensgröße auf Basis der Mitarbeiteranzahl	93
Tabelle 7: Durchlaufzeiten der Analyse von Flüssen in technischen Systemen	122

LITERATURVERZEICHNIS

Gedruckte Werke

- Akselrod, B.;Petersburg, S. (2010), *Experience of Effective Technological Forecasting Retrospective Analysis of an Actual Project*, TRIZ-based forecasting methods, Heft 3, S. 51–78.
- Altshuller, G. S. (1984), *Creativity as an exact science. The theory of the solution of inventive problems*, Gordon and Breach Publishers, New York.
- Altshuller, G. S. (Hrsg.) (1999), *The innovation algorithm. TRIZ, systematic innovation and technical creativity*, Technical Innovation Center, Worcester.
- Altshuller, G. S.; Seljuzki A. (1983), *Flügel für Ikarus. Über die moderne Technik des Erfindens*, Verlag MIR; Urania Verlag, Moskau, Leipzig.
- Altshuller, G. S.; Shulyak, L. (2004), *And suddenly the inventor appeared. TRIZ, the theory of inventive problem solving*, 6. Aufl., Technical Innovation Center, Worcester.
- Altshuller, G. S.; Shulyak, L.;Fedoseev, U. (Hrsg.) (1998), *40 principles, TRIZ keys to technical innovation*, Technical Innovation Center, Worcester.
- Ashby, W. R. (1956), *An introduction to cybernetics*, Chapman & Hall, London.
- Ashby, W. R. (1958), *Requisite variety and its implications for the control of complex systems*, Cybernetica, 1. Jahrgang, Heft 2, S. 83–99.
- Åström, K. J.; Murray, R. M. (2008), *Feedback systems. An introduction for scientists and engineers*, Princeton University Press, Princeton.
- Becattini, N.;Cascini, G.;Rotini, F. (2011), *Correlations between the evolution of contradictions and the law of identity increase*, Procedia Engineering, 9. Jahrgang, S. 236–250.
- Beer, S. (1959), *Kybernetik und Management*, S. Fischer Verlag, Frankfurt am Main.
- Bertalanffy, L. v. (1953), *Biophysik des Fließgleichgewichts: Einführung in die Physik offener Systeme und ihre Anwendung in der Biologie*, Vieweg Verlag, Braunschweig.
- Cascini, G.;Rotini, F.;Russo, D. (2009), *Functional modeling for TRIZ-based evolutionary analyses*. In: *Bergendahl, M. N. (Hrsg.), Design has never been this cool. ICED 09, the 17th International Conference on Engineering Design; 24 - 27 August 2009, Stanford University, Stanford, California, USA; proceedings volume, Glasgow, S. 371–384.*
- Europäische Kommission (2003), *Empfehlung der Kommission vom 6. Mai 2003 betreffend die Definition der Kleinstunternehmen sowie der kleinen und mittleren Unternehmen. Amtsblatt der Europäischen Union, Aktenzeichen K(2003) 1422.*
- Fey, V. R.; Rivin, E. I. (2005), *Innovation on Demand. New Product Development using TRIZ*, Cambridge University Press, Cambridge.

- Fuchs, H. (1973), *Systemtheorie und Organisation. Die Theorie offener Systeme als Grundlage zur Erforschung und Gestaltung betrieblicher Systeme*, Gabler Verlag, Wiesbaden.
- Gergert, A. (2014), *Innovationen systematisch provozieren*, Alumni Magazin Campus of Excellence, 5. Jahrgang, Heft 9, S. 10–11.
- Gorban, A. N.;Pokidysheva, L. I.;Smirnova, E. V.;Tyukina, T. A. (2011), *Law of the minimum paradoxes*, Bulletin of mathematical biology, 73. Jahrgang, Heft 9, S. 2013–2044.
- Hubka, V.; Eder, W. E. (1988), *Theory of Technical Systems. A Total Concept Theory for Engineering Design*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Ilevbare, I. M.;Phaal, R.;Probert, D.;Padilla, A. T. (2011), *Integration of TRIZ and roadmapping for innovation, strategy, and problem solving*, Whitepaper.
- Ilevbare, I. M.;Probert, D.;Phaal, R. (2013), *A review of TRIZ, and its benefits and challenges in practice*, Technovation, 33. Jahrgang, 2-3, S. 30–37.
- Joshi, K. D. (1989), *Foundations of discrete mathematics*, Wiley-Interscience, New York.
- Kosiol, E.;Szyperski, N.;Chmielewicz, K. (1965), *Zum Standort der Systemforschung im Rahmen der Wissenschaften*, Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, Heft 17, S. 337–378.
- Kucharavy, D.;Guio, R. de (2011), *Application of S-shaped curves*, Procedia Engineering, 9. Jahrgang, S. 559–572.
- Linde, H. (2010), *World Opening Innovation Spirit WOIS... ContradictionOriented InnovationStrategy*, Unternehmenspräsentation.
- Linde, H.;Drews, R. (1996), *WOIS-Widerspruchorientierte Innovationsstrategie; theoretische Kernelemente und Erfahrungen in der Automobilentwicklung*, VDI Berichte, 1270. Jahrgang, S. 41–62.
- Linde, H.;Hall, D.;Herr, G. (1999), *Powerful and structured innovation using contradictions for gaining orientation*, Journal of engineering design, 10. Jahrgang, Heft 3, S. 205–222.
- Linde, H.;Herr, G. (2009), *WOIS - Weltwettbewerb der Innovationsstrategien*, Whitepaper.
- Linde, H.;Herr, G.;Rehklau, A. (2005), *WOIS - Widerspruchorientierte Innovationsstrategie. Philosophie und Technologie zur Innovation der Innovationsprozesse*, Whitepaper.
- Linde, H.; Hill, B. (1993), *Erfolgreich erfinden. Widerspruchorientierte Innovationsstrategie für Entwickler und Konstrukteure*, Hoppenstedt Technik Tabellen Verlag, Darmstadt.
- Linde, H.;Mohr, K.-H.;Neumann, U. (1994), *Widerspruchorientierte Innovationsstrategie (WOIS): ein Beitrag zur methodischen Produktentwicklung*, Konstruktion, 46. Jahrgang, Heft 3, S. 77–83.
- Madara, D. S. (2015), *Theory of inventive problem solving (TRIZ): his-story.*, IJISSET - International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology, 2. Jahrgang, Heft 7, S. 86–95.
- Mann, D. L. (2002), *Common Ground–Integrating The World’s Most Effective Creative Design Strategies*, Whitepaper.

- Mann, D. L. (2003), *Better technology forecasting using systematic innovation methods*, Technological Forecasting and Social Change, 70. Jahrgang, Heft 8, S. 779–795.
- Mirow, H. M. (1969), *Kybernetik. Grundlage einer allgemeinen Theorie der Organisation*, Gabler Verlag, Wiesbaden.
- Mitchell, T. M. (1990), *The need for biases in learning generalizations*. In: Shavlik, J. W. (Hrsg.), *Readings in machine learning*, San Mateo, S. 184–191.
- Möhrle, M. G. (2005), *What is TRIZ? From Conceptual Basics to a Framework for Research*, Creativity and Innovation Management, 14. Jahrgang, Heft 1, S. 3–13.
- Pannenbäcker, T. (2001), *Methodisches Erfinden in Unternehmen. Bedarf, Konzept, Perspektiven für TRIZ-basierte Erfolge*, Gabler Verlag, Wiesbaden.
- Petrov, V. (2002), *The laws of system evolution*, Whitepaper.
- Petrov, V.;Seredinski, A. (2005), *Progress and Ideality*. In: Jantschgi, J. (Hrsg.), *TRIZ future 2005*. November 16 to 18, 2005, Graz, Austria;, Graz, S. 195–204.
- Pezzotta, G.;Regazzoni, D.;Cavalieri, S.;Rizzi, C. (2011), *Enhancement in industrial PSS design based on TRIZ: a case study*. In: Hesselbach, J./Herrmann, C. (Hrsg.), *Functional Thinking for Value Creation*. Proceedings of the 3rd CIRP International Conference on Industrial Product Service Systems, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig, Germany, May 5th - 6th, 2011, Berlin, Heidelberg, S. 225–230.
- Pfeiffer, W.; Weiß, E.; Volz, T.; Wettengl, S. (1997), *Funktionalmarkt-Konzept zum strategischen Management prinzipieller technologischer Innovationen*, Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen.
- Reichel, R. (1984), *Dialektisch-materialistische Gesetzmäßigkeiten der Technikevolution*, Präsidium der Urania, Freiburg.
- Ropohl, G. (2009), *Allgemeine Technologie. Eine Systemtheorie der Technik*, Univ., Habil.-Schr.—Karlsruhe, 1978, 3. Aufl., Universitätsverlag Karlsruhe, Karlsruhe.
- Savransky, S. D. (2000), *Engineering of creativity. Introduction to TRIZ methodology of inventive problem solving*, CRC Press, Boca Raton.
- Stachowiak, H. (1973), *Allgemeine Modelltheorie*, Springer-Verlag, Wien.
- van der Aalst, W. (2011), *Process Mining. Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Volz, T. (1997), *Management ergänzender Dienstleistungen für Sachgüter. Der schwierige Weg vom Sachgut-Hersteller zum Problemlöser*, Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen.
- Wegner, G. (1969), *Systemanalyse und Sachmitteleinsatz in der Betriebsorganisation*, Gabler Verlag, Wiesbaden.
- Wiener, N. (1973), *Cybernetics or control and communication in the animal and the machine*, 2. Aufl., The M.I.T. Press, Cambridge.

Wieser, W. (1959), *Organismen, Strukturen, Maschinen*, Fischer Bücherei, Frankfurt.

Yoon, J.; Kim, K. (2011), *An automated method for identifying TRIZ evolution trends from patents*, Expert Systems with Applications, 38. Jahrgang, Heft 12, S. 15540–15548.

Zouaoua, D.; Crubleau, P.; Choulier, D.; Richir, S. (2015), *Application of Evolution Laws*, Procedia Engineering, 131. Jahrgang, S. 922–932.

Online-Quellen

Altshuller, G. S. (1975), *The Process of Inventive Problem Solving: Main Stages and Mechanisms*, in: <http://www.altshuller.ru/triz/triz1.asp>, abgerufen am 12. 11. 2016.

Altshuller, G. S.; Shapiro, R. (1956), *About Technical Creativity*, in: <http://www.altshuller.ru/triz/triz0.asp>, abgerufen am 12. 11. 2016.

Herr, G.; Nijmeh, A. (2013), *WiderspruchsOrientierten InnovationsStrategie. Neue Denktechnologie zu paradoxen Herausforderungen*, in: http://www.zeit-fuer-menschen.de/fileadmin/pdf/Zivilgesellschaft/13_Nijmeh.pdf, abgerufen am 13. 11. 2016.

Litvin, S.; Petrov, V.; Rubin, M.; Fey, V. R. (2007), *Triz body of knowledge*, in: https://aitriz.org/articles/TRIZ_Body_of_Knowledge.pdf, abgerufen am 11. 9. 2016.

Mann, D. L. (2000), *Application of TRIZ tools in a non-technical problem context*, in: <https://triz-journal.com/application-triz-tools-non-technical-problem-context/>, abgerufen am 13. 11. 2016.

Salamatov, Y. P. (1991), *A System of Laws of Technology Evolution. Foundations of the theory of technical systems development*, in: <http://www.trizminsk.org/e/21101300.htm>, abgerufen am 13. 11. 2016.

Souchkov, V. (2008), *A Brief history of TRIZ*, in: <http://www.xtriz.com/BriefHistoryOfTRIZ.pdf>, abgerufen am 26. 10. 2016.

Szigetvari, A. (2016), *Warum uns fehlende Innovation teuer zu stehen kommt*, in: <http://derstandard.at/2000037759415/Warum-uns-fehlende-Innovation-teuer-zu-stehen-kommt>, abgerufen am 1. 11. 2016.

Thiel, R. (2005), *Sechs Kerne von TRIZ, ihre Entwicklung und überwundene Defizite*, in: http://www.triz-online.de/uploads/media/artikel_2006_03_02.pdf, abgerufen am 13.11.16.

Wirtschaftskammer Österreich (2016), *Klein- und Mittelbetriebe in Österreich. KMU-Definition*, in: https://www.wko.at/Content.Node/Interessenvertretung/ZahlenDatenFakten/KMU_Definition.html, abgerufen am 13. 10. 2016.

ANHANG 1: ENTSCHEIDUNGSFRAGEN ZU FLÜSSEN IN TECHNISCHEN SYSTEMEN

1	Informationsflüsse im System
1.1	Rezeptorsystem
1.1.1	Werden Informationen, beispielsweise in Form von Daten oder Befehlen, vom System absorbiert?
1.1.2	Wurden Menge und/oder Qualität der absorbierten Daten oder Befehle im Sinne des Informationsflusses erhöht?
1.1.3	Ist die Informationsabsorption durch das System variierbar? Werden phasenweise mehr beziehungsweise weniger Informationen während der Systemnutzung absorbiert?
1.1.4	Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Absorption von Informationen integriert und führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?
1.2	Informationsverarbeitungssystem
1.2.1	Werden Informationen im System verarbeitet, umgewandelt oder eine Regelung durch diese initiiert?
1.2.2	Wurde die Menge und/oder Qualität der verarbeiteten oder umgewandelten Informationen erhöht? Wurde die Effizienz der Informationsverarbeitung beziehungsweise -umwandlung gesteigert?
1.2.3	Ist die Informationsverarbeitung beziehungsweise -umwandlung variierbar? Werden während der Systemnutzung phasenweise mehr beziehungsweise weniger Informationen verarbeitet oder umgewandelt?
1.2.4	Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Informationsverarbeitung oder -umwandlung integriert und führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?
1.3	Informationsspeicherungssystem
1.3.1	Werden Informationen aufbewahrt und zeitlich entkoppelt wiederverwendet?
1.3.2	Wurde die Informationsaufbewahrung bereits hinsichtlich Struktur, Menge oder Qualität optimiert?
1.3.3	Ist die Informationsaufbewahrung variierbar? Werden während der Systemnutzung phasenweise mehr beziehungsweise weniger Informationen zeitlich entkoppelt wiederverwendet?
1.3.4	Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Informationsspeicherung integriert und führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?
1.4	Effektorsystem
1.4.1	Werden Informationen, beispielsweise in Form von Daten oder Befehlen systemintern weitergeleitet oder an die Systemumgebung emittiert?
1.4.2	Wurden Menge und/oder Qualität der emittierten oder weitergeleiteten Daten oder Befehle im Sinne des Informationsflusses erhöht?
1.4.3	Ist die Informationsemission beziehungsweise -weiterleitung variierbar? Werden während der Systemnutzung phasenweise mehr beziehungsweise weniger Informationen emittiert oder weitergeleitet?
1.4.4	Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Daten- oder Befehlsemission integriert und führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?
1.5	Führungssystem
1.5.1	Erfolgt eine Koordination der unterschiedlichen Systemkomponenten auf Basis vorhandener Informationen?
1.5.2	Wurde der Koordinationsgrad beziehungsweise die Effizienz der Koordination der Systemkomponenten erhöht?
1.5.3	Ist der Koordinationsgrad beziehungsweise die Effizienz der Koordination variierbar? Wird während der Systemnutzung teilweise ein höherer oder geringerer Grad an Koordination zwischen den Systemkomponenten benötigt?
1.5.4	Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Koordination der Systemkomponenten integriert und führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?

2	Energieflüsse im System
2.1	Energieaufnahme-system
2.1.1	Wird Energie, beispielsweise in Form von thermischer oder elektrischer Energie, vom System absorbiert?
2.1.2	Wurde die Menge der absorbierten Energie oder die Effizienz der Energieaufnahme erhöht beziehungsweise die absorbierte Energieform verändert?
2.1.3	Ist die Energieabsorption variierbar? Wird während der Systemnutzung phasenweise mehr beziehungsweise weniger Energie absorbiert?
2.1.4	Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Energieabsorption integriert und führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?
2.2	Energieumwandlungssystem
2.2.1	Wird eine Energieumwandlung durchgeführt? Wird beispielsweise elektrische Energie in thermische Energie umgewandelt?
2.2.2	Wurde die Menge der umgewandelten Energie, die Effizienz der Energieumwandlung oder die Anzahl der beteiligten Energieformen erhöht?
2.2.3	Ist die Energieumwandlung variierbar? Wird während der Systemnutzung phasenweise mehr beziehungsweise weniger Energie in mehr oder weniger Energieformen umgewandelt?
2.2.4	Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Energieumwandlung integriert und führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?
2.3	Energieabgabesystem
2.3.1	Wird Energie, beispielsweise in Form von thermischer oder elektrischer Energie, vom System emittiert?
2.3.2	Wurde die Menge der emittierten Energie oder die Effizienz der Energieabgabe erhöht beziehungsweise die emittierte Energieform verändert?
2.3.3	Ist die Energieemission variierbar? Wird während der Systemnutzung phasenweise mehr beziehungsweise weniger Energie emittiert?
2.3.4	Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Energieemission integriert und führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?
3	Stoffflüsse im System
3.1	Stoffaufnahme-system
3.1.1	Wird Stoff (analog dazu: Materie oder Substanz), beispielsweise in Form von Rohstoffen oder zu bearbeitenden Objekten, vom System absorbiert?
3.1.2	Wurde die Menge oder Qualität des absorbierten Stoffes erhöht?
3.1.3	Ist die Stoffabsorption variierbar? Wird phasenweise mehr beziehungsweise weniger Stoff während der Systemnutzung absorbiert?
3.1.4	Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Stoffabsorption integriert und führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?
3.2	Handhabungssystem
3.2.1	Wird Stoff im System bewegt?
3.2.2	Wurde die Menge des bewegten Stoffes oder die Effizienz des Stofftransportes erhöht?
3.2.3	Ist die Stoffbewegung variierbar? Wird phasenweise mehr beziehungsweise weniger Stoff in unterschiedlichen Geschwindigkeiten bewegt?
3.2.4	Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zum Stofftransport integriert und führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?
3.3	Einwirkungssystem
3.3.1	Wird Stoff im System verändert, verarbeitet beziehungsweise bearbeitet?
3.3.2	Wurde die Menge des veränderten, bearbeiteten oder verarbeiteten Stoffes oder die Effizienz der stofflichen Veränderung erhöht?
3.3.3	Ist die stoffliche Veränderung variierbar? Wird phasenweise mehr beziehungsweise weniger Stoff verändert, bearbeitet oder verarbeitet?
3.3.4	Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Stoffbearbeitung oder -veränderung integriert und führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?
3.4	Stoffabgabesystem
3.4.1	Wird Stoff (analog dazu: Materie oder Substanz), beispielsweise in Form von Rohstoffen, vom System emittiert?
3.4.2	Wurde die Menge oder Qualität des emittierten Stoffes erhöht?
3.4.3	Ist die Stoffemission variierbar? Wird phasenweise mehr beziehungsweise weniger Stoff während der Systemnutzung emittiert?
3.4.4	Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Stoffemission integriert und führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?

ANHANG 2: ABHÄNGIGKEITEN ZWISCHEN ENTSCHEIDUNGSFRAGEN

Frage	Bedingung
1.1.1	-
1.1.2	1.1.1
1.1.3	1.1.2
1.1.4	1.1.3
1.2.1	1.1.1
1.2.2	1.2.1
1.2.3	1.2.2
1.2.4	1.2.3
1.3.1	1.2.1
1.3.2	1.3.1
1.3.3	1.3.2
1.3.4	1.3.3
1.4.1	1.2.1
1.4.2	1.4.1
1.4.3	1.4.2
1.4.4	1.4.3
1.5.1	1.4.1
1.5.2	1.5.1
1.5.3	1.5.2
1.5.4	1.5.3

Frage	Bedingung
2.1.1	-
2.1.2	2.1.1
2.1.3	2.1.2
2.1.4	2.1.3
2.2.1	2.1.1
2.2.2	2.2.1
2.2.3	2.2.2
2.2.4	2.2.3
2.3.1	2.2.1
2.3.2	2.3.1
2.3.3	2.3.2
2.3.4	2.3.3

Frage	Bedingung
3.1.1	-
3.1.2	3.1.1
3.1.3	3.1.2
3.1.4	3.1.3
3.2.1	3.1.1
3.2.2	3.2.1
3.2.3	3.2.2
3.2.4	3.2.3
3.3.1	3.2.1
3.3.2	3.3.1
3.3.3	3.3.2
3.3.4	3.3.3
3.4.1	3.2.1
3.4.2	3.4.1
3.4.3	3.4.2
3.4.4	3.4.3

ANHANG 3: ÜBERARBEITETE ENTSCHEIDUNGSFRAGEN

1	Informationsflüsse im System
1.1	Rezeptorsystem
1.1.1	Werden Informationen, beispielsweise in Form von Daten oder Befehlen, vom System absorbiert?
1.1.2	Wurde die Informationsaufnahme bereits optimiert?
1.1.3	Ist die Informationsabsorption durch das System variierbar? Werden phasenweise mehr beziehungsweise weniger Informationen während der Systemnutzung absorbiert?
1.1.4	Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Absorption von Informationen integriert? Falls ja, führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?
1.2	Informationsverarbeitungssystem
1.2.1	Werden Informationen im System verarbeitet, umgewandelt oder eine Regelung durch diese initiiert?
1.2.2	Wurde die Informationsverarbeitung bereits optimiert?
1.2.3	Ist die Informationsverarbeitung beziehungsweise -umwandlung variierbar? Werden während der Systemnutzung phasenweise mehr beziehungsweise weniger Informationen verarbeitet oder umgewandelt?
1.2.4	Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Informationsverarbeitung oder -umwandlung integriert? Falls ja, führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?
1.3	Informationsspeicherungssystem
1.3.1	Werden Informationen aufbewahrt und zeitlich entkoppelt wiederverwendet?
1.3.2	Wurde die Informationsaufbewahrung bereits optimiert?
1.3.3	Ist die Informationsaufbewahrung variierbar? Werden während der Systemnutzung phasenweise mehr beziehungsweise weniger Informationen zeitlich entkoppelt wiederverwendet?
1.3.4	Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Informationsspeicherung integriert? Falls ja, führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?
1.4	Effektorsystem
1.4.1	Werden Informationen, beispielsweise in Form von Daten oder Befehlen systemintern weitergeleitet oder an die Systemumgebung emittiert?
1.4.2	Wurden die Informationsabgabe an die Systemumwelt oder Informationsweiterleitung innerhalb des Systems bereits optimiert?
1.4.3	Ist die Informationsemission beziehungsweise -weiterleitung variierbar? Werden während der Systemnutzung phasenweise mehr beziehungsweise weniger Informationen emittiert oder weitergeleitet?
1.4.4	Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Daten- oder Befehlsemission integriert? Falls ja, führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?
1.5	Führungssystem
1.5.1	Erfolgt eine Koordination der unterschiedlichen Systemkomponenten auf Basis vorhandener Informationen?
1.5.2	Wurde der Koordinationsgrad beziehungsweise die Effizienz der Koordination der Systemkomponenten optimiert?
1.5.3	Ist der Koordinationsgrad beziehungsweise die Effizienz der Koordination variierbar? Wird während der Systemnutzung teilweise ein höherer oder geringerer Grad an Koordination zwischen den Systemkomponenten benötigt?
1.5.4	Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Koordination der Systemkomponenten integriert? Falls ja, führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?

2	Energieflüsse im System
2.1	Energieaufnahme-system
2.1.1	Wird Energie, beispielsweise in Form von thermischer oder elektrischer Energie, vom System absorbiert?
2.1.2	Wurde die Energieaufnahme bereits optimiert?
2.1.3	Ist die Energieabsorption variierbar? Wird während der Systemnutzung phasenweise mehr beziehungsweise weniger Energie absorbiert?
2.1.4	Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Energieabsorption integriert? Falls ja, führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?
2.2	Energieumwandlungssystem
2.2.1	Wird eine Energieumwandlung durchgeführt? Wird beispielsweise elektrische Energie in thermische Energie umgewandelt?
2.2.2	Wurde die Energieumwandlung bereits optimiert?
2.2.3	Ist die Energieumwandlung variierbar? Wird während der Systemnutzung phasenweise mehr beziehungsweise weniger Energie in mehr oder weniger Energieformen umgewandelt?
2.2.4	Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Energieumwandlung integriert? Falls ja, führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?
2.3	Energieabgabesystem
2.3.1	Wird Energie, beispielsweise in Form von thermischer oder elektrischer Energie, vom System emittiert?
2.3.2	Wurde die Energieabgabe bereits optimiert?
2.3.3	Ist die Energieemission variierbar? Wird während der Systemnutzung phasenweise mehr beziehungsweise weniger Energie emittiert?
2.3.4	Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Energieemission integriert? Falls ja, führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?
3	Stoffflüsse im System
3.1	Stoffaufnahme-system
3.1.1	Wird Stoff (analog dazu: Materie oder Substanz), beispielsweise in Form von Rohstoffen oder zu bearbeitenden Objekten, vom System absorbiert?
3.1.2	Wurde die Stoffaufnahme bereits optimiert?
3.1.3	Ist die Stoffabsorption variierbar? Wird phasenweise mehr beziehungsweise weniger Stoff während der Systemnutzung absorbiert?
3.1.4	Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Stoffabsorption integriert? Falls ja, führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?
3.2	Handhabungssystem
3.2.1	Wird Stoff im System bewegt?
3.2.2	Wurde der Stofftransport innerhalb des Systems bereits optimiert?
3.2.3	Ist die Stoffbewegung variierbar? Wird phasenweise mehr beziehungsweise weniger Stoff in unterschiedlichen Geschwindigkeiten bewegt?
3.2.4	Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zum Stofftransport integriert? Falls ja, führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?
3.3	Einwirkungssystem
3.3.1	Wird Stoff im System verändert, verarbeitet beziehungsweise bearbeitet?
3.3.2	Wurde die Stoffbearbeitung oder -verarbeitung beziehungsweise die stoffliche Veränderung bereits optimiert?
3.3.3	Ist die stoffliche Veränderung variierbar? Wird phasenweise mehr beziehungsweise weniger Stoff verändert, bearbeitet oder verarbeitet?
3.3.4	Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Stoffbearbeitung oder -veränderung integriert? Falls ja, führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?
3.4	Stoffabgabesystem
3.4.1	Wird Stoff (analog dazu: Materie oder Substanz), beispielsweise in Form von Rohstoffen, vom System emittiert?
3.4.2	Wurde die Stoffemission bereits optimiert?
3.4.3	Ist die Stoffemission variierbar? Wird phasenweise mehr beziehungsweise weniger Stoff während der Systemnutzung emittiert?
3.4.4	Wurden bereits zusätzliche, separate Systeme zur Stoffemission integriert? Falls ja, führt die Integration eines weiteren zu einem Komplexitätszuwachs ohne zusätzlichen, überproportionalen Nutzen?

ANHANG 4: GESAMMELTE ERGEBNISSE DER FLUSSANALYSEN

Workshop	1	2	3	4	5	6
Frage						
1.1.1	X	X	X	X	X	X
1.1.2	X	X	X	X	X	
1.1.3			X	X	X	
1.1.4						
1.2.1	X	X	X	X	X	
1.2.2	X	X	X	X	X	
1.2.3			X	X	X	
1.2.4						
1.3.1	X	X	X	X	X	
1.3.2		X	X	X	X	
1.3.3					X	
1.3.4						
1.4.1	X	X	X	X	X	X
1.4.2		X	X	X	X	X
1.4.3			X		X	
1.4.4						
1.5.1	X	X	X	X	X	
1.5.2	X	X	X	X	X	
1.5.3	X	X				
1.5.4						

Workshop	1	2	3	4	5	6
Frage						
2.1.1	X	X	X	X	X	X
2.1.2	X	X		X	X	X
2.1.3	X	X		X	X	
2.1.4						
2.2.1	X	X	X	X	X	X
2.2.2		X	X	X	X	X
2.2.3		X	X	X	X	
2.2.4						
2.3.1	X	X	X	X	X	X
2.3.2	X	X		X	X	X
2.3.3		X		X		
2.3.4						

Workshop	1	2	3	4	5	6
Frage						
3.1.1	X	X	X	X		X
3.1.2	X	X	X	X		X
3.1.3		X	X	X		
3.1.4						
3.2.1	X	X	X	X		X
3.2.2		X	X	X		X
3.2.3		X	X	X		
3.2.4		X				
3.3.1	X	X	X	X		X
3.3.2	X	X	X	X		X
3.3.3	X			X		
3.3.4	X					
3.4.1	X	X	X	X		X
3.4.2		X	X	X		X
3.4.3						
3.4.4						