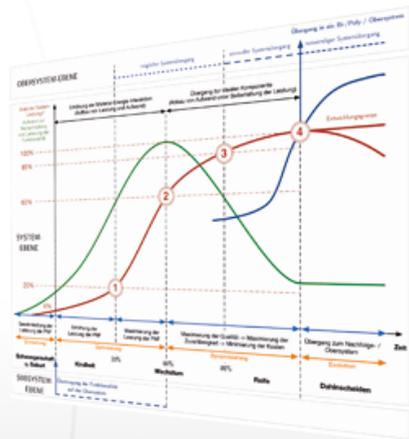
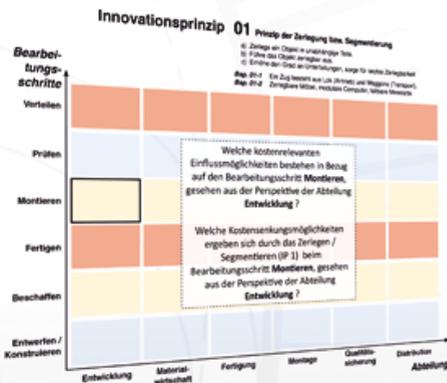


# EFFIZIENZSTEIGERUNG IM PRODUKTENTWICKLUNGSPROZESS DURCH DIE KOMBINIERTE ANWENDUNG VON WERTANALYSE UND TRIZ

TOBIAS WIGGER



LEHRSTUHL FÜR  
KONSTRUKTIONSTECHNIK-CAD-MECHATRONIK



# **Effizienzsteigerung im Produktentwicklungsprozess durch die kombinierte Anwendung von Wertanalyse und TRIZ**

Von der Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät der  
**Universität Siegen**

zur Erlangung des akademischen Grades  
**Doktor der Ingenieurwissenschaften**  
(Dr.-Ing.)

genehmigte  
DISSERTATION

vorgelegt von

**Dipl.-Wirt.-Ing. Tobias Wigger**

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Rainer Lohe
2. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier

### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

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

ISBN 978-3-8439-3254-7

Mitglieder der Promotionskommission

- 1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Rainer Lohe
- 2. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier
- Vorsitzender: Prof. Dr. rer. nat. Robert Brandt  
Prof. Dr.-Ing. Karsten Kluth

Tag der mündlichen Prüfung: 14. Juni 2017

Naturwissenschaftlich-Technische Fakultät  
Universität Siegen  
57068 Siegen

urn:nbn:de:hbz:467-11834

Gedruckt auf alterungsbeständigem holz- und säurefreiem Papier.

Hintergrund Einband © Sylverarts Vectors/Shutterstock

© Verlag Dr. Hut, München 2017  
Sternstr. 18, 80538 München  
Tel.: 089/66060798  
[www.dr.hut-verlag.de](http://www.dr.hut-verlag.de)

Die Informationen in diesem Buch wurden mit großer Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden. Verlag, Autoren und ggf. Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für eventuell verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der Vervielfältigung und Verbreitung in besonderen Verfahren wie fotomechanischer Nachdruck, Fotokopie, Mikrokopie, elektronische Datenaufzeichnung einschließlich Speicherung und Übertragung auf weitere Datenträger sowie Übersetzung in andere Sprachen, behält sich der Autor vor.

1. Auflage 2017





# I Zusammenfassung

Der Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit, welche durch die hohen Anforderungen der globalen Märkte und die steigende Komplexität der Produkte immer wieder auf die Probe gestellt wird, ist eine der Kernaufgaben von Unternehmen. Die systematische Entwicklung von (innovativen) Produkten ist dazu essentiell. Die Wertanalyse (WA) ist ein in der Industrieranwendung bewährtes Werkzeug zur systematischen Entwicklung, gekennzeichnet durch einen ganzheitlichen Ansatz zur Produktoptimierung und einen diesem Ansatz entsprechenden Arbeitsplan (nach EN12973).

Kern der systematischen Entwicklung nach diesem Arbeitsplan sind die Phasen 4 und 5. In deren Kontext erfolgen die Analyse und die Erarbeitung von Lösungsansätzen zur Optimierung dieser Systeme. In beiden Bereichen weist die Wertanalyse Potential zur weiteren Systematisierung der Vorgehensweise auf. Dies sind auch die zwei Bereiche, in denen insbesondere die Theorie des erfinderischen Problemlösens (TRIZ) geeignete Instrumente bietet.

Die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ist, ein Konzept zur Integration und Kombination von Methoden von WA und TRIZ zu entwickeln. Im Rahmen methodischer Vorbetrachtungen werden für die *Evolutionsanalyse* der TRIZ vereinheitlichte Beschreibungen von *Evolutionsgesetzen*, *Evolutionstrends* und der *S-Kurve* der Technologieentwicklung definiert. Ein weiterer Fokus ist der der Einsatz der TRIZ zur Kostensenkung in WA-Projekten. Ergebnis sind auf Grundlage der 40 Innovationsprinzipien definierte kreativitätsanregende Kostensenkungsfragen. Mit der *Root Conflict Analysis* wird zudem eine TRIZ-Methode zur Kostenursachenanalyse adaptiert, die Transparenz in Bezug auf Kostenursachenketten schaffen kann. Zusätzlich wird die WA um einen einfachen Ansatz zur *Komponenten-Potential-Analyse* erweitert. Dieser erlaubt die einfache Ableitung von Zielkosten für Komponenten, ausgehend von einem definierten Funktionen-Potential.

Die Definition einer standardisierten Beschreibung legt den Grundstein für die Methodenkombination. Die Sammlung der *Methodenpässe* bietet eine ganzheitliche und systematische Aufarbeitung, Verbesserung der Anwendung und Visualisierung der verschiedenen Methoden. Die definierten Hilfen für die Einschätzung der Methoden, die moderationsunterstützenden Elemente, die Handlungsanweisungen zur Durchführung sowie die erläuternden Anwendungsbeispiele erleichtern die Anwendung der einzelnen Methoden deutlich.

In Summe werden neben klassischen WA-Methoden wie dem *Funktionenbaum* oder der *Funktionen-Kosten-Analyse* auch TRIZ-Methoden, wie das *Funktionennetzwerk*, die *Root Conflict Analysis*, das *Trimmen* oder die *Widerspruchsanalyse* integriert. Diese Arbeit gibt zusätzlich einfache Hilfestellungen für die Auswahl der einzelnen Methoden. Abschließend wurden die sich aus der Kombination ergebenden vielversprechenden Ansätze zur Entwicklung / Optimierung von WA-Objekten an einem Projektbeispiel demonstriert. Diese Arbeit bereitet die Basis für eine effektive Kombination von Wertanalyse und TRIZ und verdeutlicht damit, wie deren Kombination die Effizienz in einem WA-Projekt steigern kann.

*I Zusammenfassung*

## II Abstract

Maintaining the competitive edge is one of the core tasks of an enterprise. Sophisticated requirements and the rising complexity of products make that increasingly difficult. One key ingredient for coping with these challenges is the systematic development of (innovative) products. Value Methodology (VA and VE) is a proven tool to holistically optimize Product and Processes, organized around the work plan after EN12973.

Core of the systematic development with this work plan are its phases 4 and 5. The analysis of problems and the conception of solution alternatives takes place in their context. Both phases are characterized by potential for further systematization of their approach. Both phases also represent the two areas, where the Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ / TIPS) provides very capable instruments.

The main goal of this thesis is to develop a concept to integrate and combine different methods of TRIZ and Value Methodology for use in Value-Studies. Within the scope of methodical preconsiderations, different attempts for the TRIZ-Evolution-Analysis are combined into a unified concept. Elements included are the laws of evolution, trends of evolution and the Technology-S-Curve. Additionally, TRIZ is reviewed in regard to potential uses in cost-saving contexts. One result of that review is the development of creativity-enhancing cost-saving-questions. Another result is the proposal to use the *Root Conflict Analysis (RCA+)* in the context of Cost-Cause-Analysis. The RCA+ can help here, to establish transparency regarding chains and neuralgic joints of cost causes. Finally, the Value Methodology was extended by a simple method for deriving component target costs, starting from a defined function potential.

The standardized way, in which the different methods are described, is the foundation of the integration. A method description provides a holistic presentation and provides facilities for easing the decision to apply it, simplifying the practical use and supporting its moderation. In total 27 different method descriptions were generated. Different methods from Value Methodology and TRIZ are incorporated into 27 method descriptions in total.

Summing up, this dissertation integrates classical VE-Methods like a *Function Tree*, *Function Cost Analysis* as well as TRIZ-methods like *Root Conflict Analysis*, *Trimming* and *Contradiction Analysis*. The method descriptions ease the application of the generated concepts including the decision about applying which method under which circumstances. Finally, a subset of the different methods were demonstrated in a practical example. This dissertation lays the foundation for an effective combination of Value Engineering and TRIZ and thereby illustrates how their combination can increase the efficiency within a Value Engineering project.

*II Abstract*

### III Veröffentlichungen

Teile dieser Arbeit wurden bereits in den folgenden Werken publiziert.

[MARCHTHALER et.al. 2008]

Marchthaler, J.; Wigger, T.; Lohe, R.: Innovatives Potential von Wertanalyse und Value Management. In: Maschinenbau – MB Revue 2008 Jahreshauptausgabe des Maschinenbau. 2008.

[MARCHTHALER et.al. 2009]

Marchthaler, J.; Wigger, T.: Funktionen-Potenzial-Analyse. In: Spektren der Produktentwicklung. WIS Verlag. Siegen. 2009.

[WIGGER et.al. 2009]

Wigger, T.; Marchthaler, J.; Lohe, R.: Durch die Integration von Wertanalyse und TRIZ die Effizienz technischer Problemlösungen steigern. In: Wertanalyse Praxis 2009. VDI-Gesellschaft Systementwicklung und Projektgestaltung (Hrsg.). VDI Verlag. Düsseldorf. 2009.

In [LINGOHR 2010]

Lohe, R.; Marchthaler, J.; Merten, S.; Wigger, T.: Kostenanalyse, Wertanalyse, Value Management und wertorientierte Unternehmensführung. Ein Beitrag zur Begriffsklärung. In: Best Practices im Value Management. Lingohr, T., Kruschel, M. (Hrsg.). Gabler-Verlag. Wiesbaden. 2010.

In [VDI-GPP 2011]

Marchthaler, J.; Wigger, T.; Lohe, R.: Funktionen-Potential-Analyse und Funktionskostenanalyse. In: Wertanalyse, das Tool im Value Management. VDI-Gesellschaft für Produkt- und Prozessgestaltung. Springer Verlag (Hrsg.). Düsseldorf. 2011.

Merten, S.; Marchthaler, J., Wigger, T.; Lohe, R.: Teamarbeit. In: Wertanalyse, das Tool im Value Management. VDI-Gesellschaft für Produkt- und Prozessgestaltung (Hrsg.). Springer Verlag. Düsseldorf. 2011.

Wigger, T.; Marchthaler, J.; Lohe, R.: TRIZ. In: Wertanalyse, das Tool im Value Management. VDI-Gesellschaft für Produkt- und Prozessgestaltung. Springer Verlag (Hrsg.). Düsseldorf. 2011.

[WIGGER et.al. 2011]

Wigger, T.; Gerson, D.; Scholer, J.; Lohe, R.: Verbesserung der Funktionen-Potential-Analyse durch die ganzheitliche Betrachtung der gegenseitigen Kostenbeeinflussung von Funktionen. In: Wertanalyse-Praxis 2011. VDI-Gesellschaft für Produkt- und Prozessgestaltung (Hrsg.). VDI-Verlag. Düsseldorf. 2011.

### *III Veröffentlichungen*

[MERTEN et.al. 2012]

Merten, S.; Wigger, T.; Lohe, R.: Wertanalyse-Ausbildung an der Universität Siegen. In: Wertanalyse-Praxis 2012. VDI-Gesellschaft für Produkt- und Prozessgestaltung (Hrsg.). VDI-Verlag. Düsseldorf. 2012.

[WIGGER et.al. 2014]

Wigger, T.; Lohe, R.: Effizienzsteigerung in der Produktentwicklung durch die Integration von TRIZ- Elementen in die Wertanalyse. In: Internationale Wertanalyse-Praxis 2014. VDI-Gesellschaft für Produkt- und Prozessgestaltung (Hrsg.). VDI-Verlag. Düsseldorf. 2014.

## IV Vorwort

Diese Dissertation sowie die zugrundeliegenden Forschungsergebnisse entstanden in meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Konstruktionstechnik-CAD-Mechatronik der Universität Siegen unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Rainer Lohe. Ich danke Prof. Lohe für die Betreuung meiner Dissertation und für die Gelegenheit, in der Moderation industrieller Wertanalyse-Projekte Erfahrung zu sammeln. Ich empfinde es als Privileg, die Möglichkeit zur Erstellung dieser Dissertation an seinem Lehrstuhl erhalten zu haben.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier möchte ich meinen Dank für die freundliche Übernahme des Koreferats ausdrücken, wodurch er zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat. Herrn Prof. Dr. rer. nat. Robert Brandt danke ich für die freundliche Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission. Außerdem danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Karsten Kluth dafür, dass er sich als vierter Prüfer zur Verfügung stellt.

Meinen Kollegen am Lehrstuhl, auch den Ehemaligen, möchte ich für die stets gute Arbeitsatmosphäre und die zahlreichen Diskussionen danken. Besonders danke ich Stephanie Inacker, Jörg Marchthaler, Wolfgang Lohr, Timo Scherer, Christian Ahl und Björn Kaufmann. Mein Dank gilt ebenfalls Frau Gudrun Geschke für ihre Unterstützung in administrativen Fragen.

Für die Möglichkeit, mich ursprünglich in dieses Thema einzuarbeiten, danke ich Frank Steinmeier von der Continental AG. Mein Dank gilt insbesondere auch Dirk Gerson und Joachim Scholer, beide Continental AG, die zu Anfang in vielen Diskussionen und teilweise mit Engelsgeduld zur Industrietauglichkeit so mancher entwickelter Konzepte beigetragen haben.

Für die Fehlersuche und hilfreiche Kritik danke ich meinen Korrekturlesern Anna, Jan, Simone, Stephan, Stephanie und Anna. Anna, Jan und Stephan danke ich insbesondere für die vielen aufmunternden Diskussionen, die mir geholfen haben, so manche Durststrecke während der Erstellung dieser Arbeit zu überwinden.

Mein besonderer Dank gilt meinen Eltern. Meinem zu früh verstorbenen Vater, der uns immer alle Möglichkeiten geschaffen hat, uns zu entfalten. Meiner Mutter, deren unerschütterliches Vertrauen in die Fähigkeiten Ihrer Kinder den Ton vorgab. Ohne die ermunternde Unterstützung meiner Eltern wäre diese Arbeit vermutlich nicht entstanden. Außerdem danke ich meinen Geschwistern und meinen langjährigen Freunden, die mir jederzeit helfend zur Seite standen.

Meiner Frau Anna danke ich dafür, dass sie mich immer unterstützt und jederzeit an meiner Seite ist.

*IV* Vorwort

# Inhaltsverzeichnis

<b>I</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>I</b>
<b>II</b>	<b>Abstract</b>	<b>III</b>
<b>III</b>	<b>Veröffentlichungen</b>	<b>V</b>
<b>IV</b>	<b>Vorwort</b>	<b>VII</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung und Motivation</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>3</b>
2.1	Value Management . . . . .	3
2.2	Wertanalyse . . . . .	5
2.2.1	Einführung . . . . .	5
2.2.2	Wert . . . . .	6
2.2.3	Funktionen . . . . .	8
2.2.4	Funktionenanalyse . . . . .	8
2.2.5	Der Wertanalyse-Arbeitsplan . . . . .	15
2.2.6	Wertplanung, Wertgestaltung und Wertverbesserung . . . . .	18
2.2.7	Value Analysis und Value Engineering . . . . .	19
2.3	TRIZ . . . . .	20
2.3.1	Einführung . . . . .	20
2.3.2	Kernelemente der TRIZ . . . . .	24
2.3.3	Analyse . . . . .	29
2.3.4	Wissen und Analogie . . . . .	43
<b>3</b>	<b>Stand der Technik und Ableitung der Detailziele</b>	<b>47</b>
3.1	Bisherige Ansätze zur Integration von Wertanalyse und TRIZ . . . . .	47
3.1.1	Ansatz nach Ideation International . . . . .	47
3.1.2	Ansatz nach Invention Machine . . . . .	50
3.1.3	Ansatz nach Mao . . . . .	52
3.2	TRIZ-Einsatz zur Kostensenkung . . . . .	54
3.3	Schlussfolgerungen und Detailziele . . . . .	57
<b>4</b>	<b>Methodische Vorbetrachtungen</b>	<b>59</b>
4.1	Darstellung von Methoden . . . . .	59
4.2	Evolutionanalyse im WA-Projekt . . . . .	62

## Inhaltsverzeichnis

4.2.1	Evolutionsgesetze . . . . .	62
4.2.2	Evolutionstrends und -linien . . . . .	67
4.2.3	Kombinierte S-Kurve . . . . .	87
4.2.4	Fazit . . . . .	92
4.3	TRIZ-unterstützte Kostenanalyse und -senkung . . . . .	93
4.3.1	Root Conflict Analysis (RCA+) zur Analyse von Kostenursachen	93
4.3.2	TRIZ-basierte Kostensenkungsfragen . . . . .	102
4.3.3	Fazit . . . . .	110
4.4	Komponenten-Potential-Analyse . . . . .	111
4.4.1	Komponenten-Zielkosten im Target Costing . . . . .	112
4.4.2	Ermittlung von Komponenten-Bedeutsamkeiten . . . . .	114
<b>5</b>	<b>Methodenintegration</b>	<b>121</b>
5.1	PHASE 4: Analyse . . . . .	121
5.1.1	Funktionen erfassen (MG 4.A) . . . . .	123
5.1.2	Potential analysieren (MG 4.B) . . . . .	141
5.1.3	Probleme analysieren (MG 4.C) . . . . .	152
5.1.4	Detailziele festlegen (MP 4.17) . . . . .	157
5.2	PHASE 5: Ideenfindung . . . . .	159
5.2.1	Effizienz verbessern (MG 5.A) . . . . .	159
5.2.2	Probleme lösen (MG 5.B) . . . . .	173
5.2.3	Evolution antizipieren (MP 5.11) . . . . .	179
5.3	Fazit . . . . .	180
<b>6</b>	<b>Einsatz von kombinierten WA- und TRIZ-Methoden</b>	<b>183</b>
6.1	Projektdefinition, Zieldefinition und Projektplanung . . . . .	183
6.2	Auswahl der Vorgehensweise . . . . .	186
6.3	Phase 4 Funktionen, Kosten, Detailziele festlegen . . . . .	189
6.3.1	MP 4.1 - Funktionen sammeln . . . . .	189
6.3.2	MP 4.5 - Funktionennetzwerk erstellen . . . . .	189
6.3.3	MP 4.8 - Funktionen zur Potentialanalyse auswählen . . . . .	192
6.3.4	MP 4.9 - Funktionen-Bedeutsamkeit ermitteln . . . . .	193
6.3.5	MP 4.10 - Funktionen Kosten zuordnen . . . . .	194
6.3.6	MP 4.11 - Funktionen-Potential analysieren . . . . .	194
6.3.7	MP 4.12 - Komponenten-Potential analysieren . . . . .	197
6.3.8	MP 4.15 - Probleminformationen verdichten . . . . .	199
6.3.9	MP 4.17 - Detailziele festlegen . . . . .	200
6.4	Phase 5 - Lösungsideen entwickeln . . . . .	201
6.4.1	Detailziele Kostensenkung und Effizienzsteigerung . . . . .	202
6.4.2	Detailziel Problemlösung . . . . .	212
6.5	Finales Konzept und Fazit . . . . .	218
<b>7</b>	<b>Diskussion und Ausblick</b>	<b>221</b>
<b>8</b>	<b>Literatur</b>	<b>225</b>

*Inhaltsverzeichnis*

<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>241</b>
<b>Anhang</b>	<b>243</b>

*Inhaltsverzeichnis*

# Abbildungsverzeichnis

2.1	Methodenpool des VM . . . . .	4
2.2	Wertkonzept von WA und Value Management . . . . .	7
2.3	Struktur des Funktionenbaumes . . . . .	10
2.4	Struktur des FAST-Diagramms . . . . .	11
2.5	Funktionen-Kosten-Zuordnung . . . . .	13
2.6	Visualisierung der Wertindizes von Funktionen . . . . .	15
2.7	WA-Arbeitsplan . . . . .	16
2.8	Wertfälle in der WA . . . . .	18
2.9	Value Engineering Job Plan im Rahmen einer Value Study . . . . .	20
2.10	Psychologische Trägheit - Methodischer Suchkegel durch TRIZ . . . . .	21
2.11	4-Phasen-Schema der TRIZ-Anwendung . . . . .	22
2.12	Methodischer Werkzeugkasten der TRIZ . . . . .	23
2.13	Schema des technischen Widerspruchs. . . . .	25
2.14	Schema des physikalischen Widerspruchs . . . . .	25
2.15	ENV-Modell der OTSM-TRIZ . . . . .	26
2.16	S-Kurve der Technologieentwicklung in der TRIZ . . . . .	28
2.17	Bestandteile eines technischen Systems in der TRIZ . . . . .	29
2.18	Nomenklatur der Root Conflict Analysis . . . . .	31
2.19	Klassische Struktur des <i>System Operator</i> . . . . .	33
2.20	Kurzbeschreibung der Innovationscheckliste . . . . .	34
2.21	Nomenklatur einer Stoff-Feld-Triade . . . . .	36
2.22	Struktur des Funktionennetzwerks . . . . .	38
2.23	Nomenklatur des Objektmodells . . . . .	39
2.24	Struktur des Objektmodells am Bsp. Computermaus . . . . .	40
2.25	Trimm-Regeln . . . . .	41
3.1	Module des TechOptimizers . . . . .	51
3.2	Vorgehensmodell für VE/TRIZ Workshop . . . . .	53
4.1	Nomenklatur eines Methodenpasses (MP) . . . . .	60
4.2	Methodenpass - Kategorien im Vergleich zu anderen Autoren . . . . .	61
4.3	Zuordnung der Evolutionsgesetze 1 bis 4 . . . . .	63
4.4	Zuordnung der Evolutionsgesetze 5 bis 8 . . . . .	65
4.5	Zuordnung des Evolutionsgesetzes 9 . . . . .	66

## Abbildungsverzeichnis

4.6	Zusammenführung von Evolutionstrends (ET) und -linien (EL) mit Zuordnung zu den <i>Evolutionsgesetzen (EG) 3 - Energetische Leitfähigkeit</i> und <i>4 - Koordination</i> . . . . .	68
4.7	Zusammenführung von Evolutionstrends (ET) und -linien (EL) mit Zuordnung zu den <i>Evolutionsgesetzen (EG) 7 - Über Komplexität zur Einfachheit</i> , <i>8 - Übergang in ein Obersystem</i> und <i>9 - Erhöhung von Dynamik und Steuerung</i> . . . . .	69
4.8	Zusammenführung Evolutionstrends - Nomenklatur . . . . .	70
4.9	Zusammenführung des ET 1 - Erhöhung des Energie-Leitvermögens . . . . .	71
4.10	Zusammenführung des ET 2 - Abstimmung der Systemrhythmik . . . . .	73
4.11	Zusammenführung des ET 3 - Erhöhung der Fläche der Wechselwirkung . . . . .	74
4.12	Zusammenführung des ET 4 - Erhöhung der Formkoordination . . . . .	75
4.13	Zusammenführung des Evolutionstrends 5 - Nutzung von Asymmetrien und Symmetrien . . . . .	76
4.14	Zusammenführung des ET 6 - Expansion - Kontraktion . . . . .	77
4.15	Zusammenführung des ET 7 - Übergang in ein Bi-/Poly- oder Obersystem . . . . .	78
4.16	Zusammenführung des ET 8 - Erhöhung der Anpassungsfähigkeit - Teil 1 . . . . .	79
4.17	Zusammenführung des Evolutionstrends 8 - Erhöhung der Anpassungsfähigkeit - Teil 2 . . . . .	80
4.18	Zusammenführung des ET 9 - Erhöhung der Steuerbarkeit von Feldern . . . . .	81
4.19	Zusammenführung des ET 10 - Segmentierung in die Mikroebene - Teil 1 . . . . .	83
4.20	Zusammenführung des ET 10 - Segmentierung in die Mikroebene - Teil 2 . . . . .	84
4.21	Zusammenführung des ET 11 Teil 1 - Erhöhung des Automatisierungsgrades . . . . .	85
4.22	Zusammenführung des ET 11 Teil 2 - Erhöhung des Automatisierungsgrades . . . . .	86
4.23	Zusammengeführtes Modell der Technologieentwicklung mit Systemübergängen . . . . .	88
4.24	Zusammengeführtes Modell der Technologieentwicklung mit Systemübergängen und zugeordneten Evolutionstrends . . . . .	91
4.25	Nomenklatur Kostenursachenanalyse mit RCA+ . . . . .	94
4.26	Vorgehensweise zur Kostenursachenanalyse . . . . .	95
4.27	MP 5.7: Vorgehensweise zur Eliminierung von Kostenursachen . . . . .	97
4.28	Root Conflict Analysis - Anwendung Kostenreduktion am Bsp. einer Abtriebswelle - Analyse . . . . .	99
4.29	Root Conflict Analysis - Anwendung Kostenreduktion am Bsp. einer Abtriebswelle - Auswertung . . . . .	100
4.30	Root Conflict Analysis - Anwendung Kostenreduktion am Bsp. einer Abtriebswelle - Idee und Lösung . . . . .	101
4.31	Organisation der Kostenfragen . . . . .	104
4.32	Bsp. Innovationsprinzip 1 mit zugeordneten Hilfsfragen . . . . .	106
4.33	Bsp. Kostensenkungsfrage mit zugrundeliegendem Innovationsprinzip und zugeordneten Schlagworten . . . . .	107
4.34	Auswahlhilfssoftware für Kostensenkungsfragen . . . . .	109

4.35	Target Costing: Ermittlung der Komponenten-Bedeutsamkeit aus der Funktionen-Bedeutsamkeit . . . . .	113
4.36	WA-Matrix: Berechnung von Komponenten-Bedeutsamkeiten . . . . .	115
4.37	Bsp. Komponenten-Potential-Analyse: Skizze Grill . . . . .	116
4.38	Bsp. Grill: Fkt.-Baum . . . . .	116
4.39	Bsp. Grill: Funktionen-Bedeutsamkeit durch Anwendung der Eigenvektormethode . . . . .	117
4.40	Bsp. Grill: Fkt-Komponenten-Zuordnung zur Ermittlung von Funktionskosten und Komponenten-Bedeutsamkeit . . . . .	118
4.41	Bsp. Grill: Funktionen- und Komponentenpotential . . . . .	119
5.1	Methodenauswahl in Phase 4 . . . . .	122
5.2	Methodenauswahl in der <i>MG 4.A Funktionen erfassen</i> . . . . .	124
5.3	<i>MP 4.1 Funktionen sammeln</i> - Ablaufplan . . . . .	125
5.4	<i>MP 4.1 Funktionen sammeln</i> - Komponentenanalyse (Schritte 2 und 3) . . . . .	126
5.5	<i>MP 4.1 Funktionen sammeln</i> - <i>System Operator</i> mit moderationsunterstützenden Fragen zur Funktionenensammlung (Schritte 4 und 5) . . . . .	127
5.6	<i>MP 4.1 Funktionen sammeln</i> - Formulierung von SOLL-Funktionen . . . . .	128
5.7	<i>MP 4.2 Funktionenstrukturierung planen</i> - Kriterien zur Methodenauswahl . . . . .	129
5.8	<i>MP 4.3 Funktionenbaum erstellen</i> - Ablaufplan . . . . .	131
5.9	<i>MP 4.4 FAST erstellen</i> - Ablaufplan . . . . .	132
5.10	<i>MP 4.4 FAST erstellen</i> - Vorlagen zur Problem- und Widerspruchsformulierung . . . . .	133
5.11	<i>MP 4.5 Funktionennetzwerk erstellen</i> - Ablaufplan . . . . .	135
5.12	<i>MP 4.6 Objektmodell erstellen</i> - Ablaufplan . . . . .	137
5.13	Anwendungsbsp. <i>MP 4.6: Interaktionsmatrix Papierlocher</i> . . . . .	138
5.14	<i>MP 4.7 Funktionen spezifizieren</i> - Ablaufplan . . . . .	140
5.15	Methodenauswahl in der <i>MG 4.B Potential analysieren</i> . . . . .	142
5.16	<i>MP 4.8 Funktionen für die Potentialanalyse auswählen</i> - Ablaufplan . . . . .	143
5.17	<i>MP 4.8 Funktionen für die Potentialanalyse auswählen</i> - Moderationsfragen zur Identifikation von zu analysierenden Funktionen . . . . .	144
5.18	<i>MP 4.9 Funktionen-Bedeutsamkeit ermitteln</i> - Ablaufplan . . . . .	145
5.19	<i>MP 4.10 Funktionen Kosten zuordnen</i> - Ablaufplan . . . . .	146
5.20	<i>MP 4.11 Funktionen-Potential ermitteln</i> - Ablaufplan . . . . .	147
5.21	<i>MP 4.12 Komponenten-Potential ermitteln</i> - Ablaufplan . . . . .	148
5.22	<i>MP 4.13 Evolutionsanalyse - Entwicklungsstand bestimmen</i> - Ablaufplan . . . . .	150
5.23	<i>MP 4.13 Evolutionsanalyse - Entwicklungsstand bestimmen</i> - Bewertung des Entwicklungsstands . . . . .	151
5.24	<i>MG 4.C Probleme analysieren</i> - Methodenauswahl . . . . .	152
5.25	<i>MP 4.15 Probleminformationen verdichten</i> - Ablaufplan . . . . .	153
5.26	<i>MP 4.16 Root Conflict Analysis (RCA+)</i> - Ablaufplan . . . . .	156
5.27	<i>MP 4.17 Detailziele festlegen</i> - Ablaufplan . . . . .	158
5.28	<i>MP 4.17 Detailziele festlegen</i> - Ableitung von Detailzielen . . . . .	158
5.29	<i>MG 5.A Effizienz verbessern</i> - Methodenauswahl . . . . .	160

## Abbildungsverzeichnis

5.30	<i>MP 5.1 Funktionenbasiert Ideen sammeln</i> - Ablaufplan . . . . .	161
5.31	<i>MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren</i> - Ablaufplan . . . . .	163
5.32	<i>MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren</i> - Objektmodell aus Komponenten-Aktionen-Liste . . . . .	165
5.33	<i>MP 5.3 Komponenten trimmen</i> - Ablaufplan . . . . .	167
5.34	<i>MP 5.4 Kompensierende Funktionen trimmen</i> - Ablaufplan . . . . .	168
5.35	<i>MP 5.5 Kostensenkungsfragen anwenden</i> - Ablaufplan . . . . .	170
5.36	<i>MP 5.6: Ressourcenentwicklung</i> - Ablaufplan . . . . .	171
5.37	<i>MG 5.B Probleme lösen</i> - Methodenauswahl . . . . .	173
5.38	<i>MP 5.8 Problembearbeitung steuern</i> - Ablaufplan . . . . .	174
5.39	<i>MP 5.9 Widersprüche formulieren und lösen</i> - Ablaufplan . . . . .	175
5.40	<i>MP 5.10 - Stoff-Feld-Modelle aufstellen und verbessern</i> - Ablaufplan . . . . .	177
5.41	<i>MP 5.11 - Evolution antizipieren</i> - Ablaufplan . . . . .	179
6.1	WA-Objekt Etikettenklebemaschine . . . . .	184
6.2	<i>Bsp. Etikettenklebemaschine: Methodenauswahl Phase 4</i> . . . . .	185
6.3	<i>MP 4.2 Funktionenstrukturierung planen</i> - Festlegung der zu verwendenden Funktionenstruktur . . . . .	187
6.4	<i>Bsp. Etikettenklebemaschine: Methodenauswahl für die Ideenfindung in der Phase 5</i> . . . . .	188
6.5	<i>MP 4.1 Funktionen sammeln</i> - Erfassung von Komponenten und Funktionen der Etikettenklebemaschine . . . . .	190
6.6	<i>MP 4.5 Funktionennetzwerk erstellen</i> - Funktionen-Netzwerk der Etikettenklebemaschine . . . . .	191
6.7	<i>MP 4.5 Funktionennetzwerk erstellen</i> - Problem- und Widerspruchsformulierung für die schädliche Funktion <i>Messer verkleben</i> . . . . .	191
6.8	<i>MP 4.8 Funktionen zur Potentialanalyse auswählen</i> - Festlegung der zu analysierenden Funktionen . . . . .	192
6.9	<i>MP 4.9 Funktionen-Bedeutsamkeit ermitteln</i> - Ermittlung der Funktionen-Bedeutsamkeiten der Etikettenklebemaschine mit der Eigenvektormethode . . . . .	193
6.10	<i>MP 4.10 - Funktionen-Kosten der Etikettenklebemaschine (Schema vgl. Abschnitt 4.4)</i> . . . . .	195
6.11	<i>MP 4.11 Funktionen-Potential ermitteln</i> - Analyse des Funktionen-Potentials der Etikettenklebemaschine . . . . .	196
6.12	Gegenüberstellung von IST-Fkt.-Kosten, ZIEL-Fkt.-Kosten nach Fkt.-Bedeutsamkeit und ZIEL-Fkt.-Kosten nach Fkt.-Bedeutsamkeit unter Berücksichtigung des 20 % Kosteneinsparungsziels . . . . .	197
6.13	<i>MP 4.12 Komponenten-Potential analysieren</i> - Analyse der Etikettenklebemaschine . . . . .	198
6.14	<i>MP 4.15 Probleminformationen verdichten</i> - Informationen zur schädlichen Funktion <i>Messer verschmutzen</i> . . . . .	199
6.15	<i>MP 4.17 Detailziele festlegen</i> - Festlegung der Detailziele für das WA-Projekt Etikettenklebemaschine . . . . .	201
6.16	<i>MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren</i> - Analyse <i>Etikett andrücken</i> 202	

6.17	<i>MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren - Analyse Etikett andrücken - Umsetzung Schritt 7 - Erstellung Objektstruktur durch Erfassung von Komponenten und Aktionen . . . . .</i>	203
6.18	<i>MP 5.3 Komponenten trimmen - Analyse der an Etikett andrücken beteiligten Komponenten und Aktionen - Aus Schritt 8 von MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren . . . . .</i>	205
6.19	<i>MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren - Analyse Messer bewegen . . . . .</i>	206
6.20	<i>MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren - Analyse Messer bewegen - Umsetzung Schritt 7 - Ergänzung der Objektstruktur . . . . .</i>	207
6.21	<i>MP 5.3 Komponenten trimmen - Analyse der an Messer bewegen beteiligten Komponenten und Aktionen - Aus Schritt 8 von MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren . . . . .</i>	208
6.22	<i>MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren - Analyse Band bewegen . . . . .</i>	209
6.23	<i>MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren - Analyse Band bewegen - Umsetzung Schritt 7 - Ergänzung der Objektstruktur . . . . .</i>	210
6.24	<i>MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren - Analyse Band bewegen - Umsetzung Schritt 7 - Ergänzung der Objektstruktur durch die Komponente rechte Reibrolle . . . . .</i>	211
6.25	<i>MP 5.3 Komponenten trimmen - Analyse der an Band bewegen beteiligten Komponenten und Aktionen - Aus Schritt 8 von MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren . . . . .</i>	212
6.26	<i>MP 5.8 Problembearbeitung steuern und MP 5.9 Widersprüche formulieren und lösen - Widerspruchsformulierung für das Problem Messerverschmutzung durch Klebereste . . . . .</i>	213
6.27	<i>MP 5.9 Widersprüche formulieren und lösen - Ideensammlung durch Orientierung an IP 1 - Zerlegen und IP 22 - Schädliches in Nützlich umwandeln . . . . .</i>	215
6.28	<i>MP 5.9 Widersprüche formulieren und lösen - Ideensammlung durch Orientierung an IP 35 - Veränderung des Aggregatzustands . . . . .</i>	216
6.29	<i>MP 5.9 Widersprüche formulieren und lösen - Ideensammlung durch Orientierung an IP 2 - Abtrennen und IP 3 - Örtliche Qualität . . . . .</i>	217
6.30	<i>Gegenüberstellung IST und ERGEBNIS Etikettenklebemaschine - Objektmodelle . . . . .</i>	218
6.31	<i>Gegenüberstellung IST und ERGEBNIS Etikettenklebemaschine - Schemata . . . . .</i>	219
F.1	<i>Regel 1 zur Stoff-Feld-Modifikation . . . . .</i>	413
F.2	<i>Regel 2 zur Stoff-Feld-Modifikation . . . . .</i>	414
F.3	<i>Regel 3 zur Stoff-Feld-Modifikation . . . . .</i>	415
F.4	<i>Regel 4 zur Stoff-Feld-Modifikation . . . . .</i>	416
F.5	<i>Len-Kaplan-Methode zur Identifikation von Stoff-Modifikationen . . . . .</i>	417
F.6	<i>Regel 5 zur Stoff-Feld-Modifikation . . . . .</i>	418

*Abbildungsverzeichnis*

# Tabellenverzeichnis

3.1	Zwölf Lösungsprinzipien zur Kostensenkung mit TRIZ . . . . .	56
4.1	Schlagworte zur Kategorisierung der Kostensenkungsfragen . . . . .	107
E.1	<b>Kostenfragen</b> . . . . .	362

*Tabellenverzeichnis*

# 1 Einleitung und Motivation

„Zukunft gestalten heißt, . . . , neue attraktive Erzeugnisse zu entwickeln und zu produzieren.“ [GAUSEMEIER et al. 2014b] Die systematische Entwicklung von (innovativen) Produkten ist dazu essentiell [EVERSHEIM et al. 2005]<sup>1</sup>. Eine systematische Entwicklung erfordert einen ganzheitlichen Ansatz und eine sorgfältige Auswahl der Methoden [EHRENSPIEL et al. 2005]. Getragen wird die systematische Entwicklung in der letzten Konsequenz aber immer von den Mitarbeitern. Daher ist die Weiterentwicklung der Methodenkompetenz von Mitarbeitern [PAHL et al. 2007] und das Forcieren der Methodenanwendung im Produktentwicklungsprozess von enormer Wichtigkeit. Dazu sind, neben einem übergeordneten Rahmen zur Anwendung der Methoden, auch Konzepte zur Methodenkombination und Hilfestellungen zur Anwendung dieser Methoden sehr wichtig.

Seit dem Ende der vierziger Jahre des letzten Jahrhunderts ist die Wertanalyse (WA) ein in der Industrieanwendung bewährtes Werkzeug zur methodischen Entwicklung. Sie ist neben anderen Entwicklungsmethodiken, wie z.B. der „Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“ [VDI 1993], der „Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme“ [VDI 2004], der Konstruktionslehre nach PAHL / BEITZ [PAHL et al. 2007] oder dem Münchener Methodenmodell [LINDEMANN 2009a] etabliert. Sie ist gekennzeichnet durch einen ganzheitlichen Ansatz, der sich im Wertbegriff der WA widerspiegelt. Ihr Fokus auf die Nutzung von Wissenssynergien durch konsequente Anwendung von interdisziplinärer Teamarbeit und die Anwendung einer systematischen Vorgehensweise nach einem Wertanalyse-Arbeitsplan zeichnen sie aus. Ein weiteres Kennzeichen ist die strikte Trennung von kreativer und bewertender Phase. Der in 10 Phasen eingeteilte WA-Arbeitsplan (vgl. [VDI 2010a]) bildet dabei die Grundlage für die Nutzung der verschiedenen Methoden. Die WA ist nicht konzipiert um spezifisches Fachwissen zu ersetzen, bietet aber eine gute Systematik zur Nutzung dieses Wissens [HOFFMANN 1979].

Ein wesentlicher Mangel der WA ist das Fehlen systematischer Werkzeuge zur Problemanalyse und -lösung. In der kreativen Phase werden häufig Brainstorming-verbundene Methoden eingesetzt, deren Ergebnisse in hohem Maße vom eingesetzten WA-Team abhängig sind. Der WA-Arbeitsplan soll diesen Faktor durch die methodische Hinführung (Analyse -> Ideenfindung -> Bewertung) verringern helfen. Diese erfolgt aber nur auf allgemeiner Ebene durch die Schrittfolge, d.h. spezifische Anregungen für die Ideenfindung fehlen. Potential zur Systematisierung von Problemanalyse und -lösung in der Wertanalyse ist also vorhanden.

---

<sup>1</sup>Hinweis: Eine Nennung einer Quelle vor einem Punkt referenziert diese Quelle für den vorangehenden Satz. Die Nennung einer Quelle nach einem Absatz referenziert diese Quelle für den gesamten vorangehenden Absatz.

## 1 Einleitung und Motivation

Anders als gängige Kreativitätstechniken, wie Brainstorming oder Brainwriting, ist die Theorie des erfinderischen Problemlösens (TRIZ) ein umfassendes Problemlösungsinstrument, das einen Methodenbaukasten von der Analyse hin zu systematischen Anregungen für kreative Lösungsideen stellt. Die TRIZ ist die einzige Innovationsmethodik, die auf Basis von allgemeingültigen Lösungsprinzipien (z.T. hervorgegangen aus Patentanalysen hochwertiger technischer Lösungen) und Entwicklungsgesetzen das Wissen erfolgreicher Erfinder und deren Innovationen nutzbar macht [ZUSMAN 1998]. Die Einbettung der TRIZ in die WA als Verbesserung der WA im Bereich systematische Problemanalyse und -lösung erscheint damit sehr vielversprechend (vgl. auch [HANIK et al. 2005]).

Ziel dieser Arbeit ist die Darstellung eines Konzepts zur Integration von TRIZ-Methoden in den WA-Arbeitsplan nach [VDI 2010a]. Dieses Konzept soll die systematische Problemanalyse und -lösung im WA-Projekt verbessern. Die Integration und Anwendung von TRIZ-Methoden innerhalb der WA ist dabei trotz der Struktur des WA-Arbeitsplans und der in dieser Arbeit gegebenen Anwendungshilfen nicht notwendigerweise trivial, sondern erfordert gefestigte Methodenkompetenz seitens der Anwender [KLEIN 2010]. Damit sind Anwender mit Methodenkompetenz und Moderationserfahrung von WA-Teams die Zielgruppe dieser Arbeit. Kenntnisse von Grundlagen zur TRIZ werden vorausgesetzt.

Zur systematischen Heranführung ist diese Arbeit in die folgenden Kapitel aufgeteilt. Das Kapitel 2 stellt die Grundlagen der relevanten WA- und TRIZ-Werkzeuge kurz dar, um die Erläuterungen der Konzepte in dieser Arbeit zu unterstützen.

Kapitel 3 leitet auf Basis des Stands der Technik der Integration von WA und TRIZ die Detailziele dieser Arbeit her. Die Detailziele bilden die Grundlage der methodischen Konzeption.

Im Kapitel 4 werden die Methoden diskutiert, die umfangreichere Voruntersuchungen erforderlich machen. Es werden die Aspekte Evolutionsanalyse und die Nutzung von TRIZ-Methoden zur Kostensenkung im WA-Projekt beleuchtet.

Kapitel 5 beschreibt den Kern dieser Arbeit. Es werden die im Konzept integrierten Methoden anhand von Methodenpässen diskutiert. Die Methodenpässe sollen praxisgerechte Anregungen zur Anwendung geben und verfügen jeweils über ein eigenes Anwendungsbeispiel.

In Kapitel 6 wird anhand eines größeren durchgängigen Beispiels die Anwendung der in die WA integrierten Methoden vorgestellt. Das Beispiel verdeutlicht die Verkettung der Methoden.

Die im Anhang dieser Arbeit hinterlegten Methodenpässe eignen sich als Nachschlagewerk für die Anwendung in der Praxis. Zusätzlich sind, neben weiteren Elementen, auch die in Kapitel 4 vorgestellten Kostensenkungsfragen hinterlegt.

Diese Arbeit bereitet den Weg sich systematisch der komplexen Integration von TRIZ in die WA zu nähern. Mögen die vorgestellten Methodenpässe und Kataloge Anwendern den Einstieg in die kombinierte Nutzung beider Systematiken erleichtern und die Ergebnisse von Problemanalyse und Lösungssuche im WA-Projekt verbessern.

## 2 Grundlagen

Dieses Kapitel beschreibt die Grundlagen von Value Management (VM), Wertanalyse (WA) und TRIZ. Die kurze Beschreibung der Grundlagen in einem gemeinsamen Kontext ist für das Verständnis der Konzepte notwendig und platziert die in dieser Arbeit verwendeten /referenzierten Begrifflichkeiten. Das Kapitel soll insbesondere den Lesern die Lektüre vereinfachen, die nicht gleichermaßen mit der Theorie von Wertanalyse oder respektive TRIZ vertraut sind. Die Beschreibung beschränkt sich auf die wesentlichen Kernkonzepte und Methoden.

### 2.1 Value Management

In der Literatur reichen die Interpretationen des Begriffes *Value Management* von einem vollständigen Ersatz des WA-Begriffs bis hin zu einem völlig eigenständigen Management-Ansatz. Das VM ist aus der Ausweitung des Anwendungsfeldes der WA auf die Management-Ebene von Unternehmen entstanden [EN 2002]. Diese Ausweitung erfolgte insbesondere durch die Anwendung der Funktionenanalyse und des Wertkonzepts in die Managementpraxis [EN 2002]. VM ist daher als eine Weiterentwicklung der WA zu sehen (vgl. [JEHLE 1996], [VDI GSP 1995],[MONITOR 1996], [SCHNAUBER 1996], [WOHINZ 1996], [GÖTZ 2006]).

Das VM ist ein „Managementstil, der besonders geeignet ist, Menschen zu motivieren, Fähigkeiten zu entwickeln sowie Synergie und Innovation zu fördern, jeweils mit dem Ziel, die Gesamtleistung einer Organisation zu maximieren“ [EN 2002] [EN 2004]. VM soll über ein ganzheitliches und universell einsetzbares System sämtliche unternehmerischen Problemfelder lösen können [LEITNER 2006].

Das VM nach [EN 2002] ist für sich zunächst aber nur ein abstraktes Modell. Die VDI-Richtlinie [VDI 2011] bietet einen ersten Ansatz zur Konkretisierung des Einflusses von VM auf eine Organisation.

Wesentlich für das VM ist das Einführen einer wertorientierten Organisationskultur. Der Wert soll dabei sowohl bezüglich Stakeholder, wie auch Kunden berücksichtigt werden.

Das VM vereint zur Umsetzung dieser wertorientierten Organisationskultur die Systemvoraussetzungen *Managementstil, Menschliche Dynamik, Umfeldfaktoren* und *Methoden/Werkzeuge* [EN 2002]. Diese an die WA angelehnten Systemvoraussetzungen tragen zum erfolgreichen Einsatz des VM bei [JEHLE 1996].

Für den VM-Managementstil sind 5 Aspekte kennzeichnend [EN 2002]:



Abb. 2.1: Methodenpool des VM [MARCHTHALER et al. 2008]

- Fördern interdisziplinärer Teamarbeit,
- Konzentration auf den funktionalen Ansatz,
- Kreativitäts- und innovationsfördernde Atmosphäre,
- Fokus auf die Erfüllung der Anforderungen des Kunden
- Quantitative Bewertung von Alternativen

Der Bereich menschliche Dynamik umfasst die Förderung von Teamarbeit, Zufriedenheit, Kommunikation, Veränderungsbereitschaft und Ownership [EN 2002].

Der Bereich der im VM betrachteten Umfeldfaktoren umfasst externe kaum beeinflussbare Vorbedingungen, interne beeinflussbare Bedingungen und mögliche Freiheiten für Veränderungen [EN 2002].

Für die Systemvoraussetzung *Methoden/Werkzeuge* sieht das VM den wirksamen Einsatz von zielführenden Methoden vor [EN 2002] (Übersicht vgl. Abb. 2.1). Die WA (Beschreibung vgl. Abschnitt 2.2) ist dabei eines der „methodischen Herzstücke von VM“ [EN 2002]. Die WA gehört zu den am häufigsten angewendeten Methoden im Rahmen des VM [VDI GPP 2011].

## 2.2 Wertanalyse

Der folgende Abschnitt dient der Erläuterung der Grundlagen der WA anhand des Standes der Technik. Nach einer einführenden Definition werden die Schlüsselprinzipien, die Kernelemente und wesentliche Methoden der WA erläutert.

### 2.2.1 Einführung

Der Ansatz zur WA wurde Ende der vierziger Jahre des letzten Jahrhunderts von Lawrence D. Miles entwickelt [MILES et al. 1967]. In den letzten 60 Jahren hat sich die WA bewährt und wurde stetig weiterentwickelt. Mit Gründung des VDI-Arbeitskreises WA wurde sie dann Ende der sechziger Jahre auch in Deutschland etabliert [VDI GPP 2011].

Ihren Ursprung hat die Methode in der Suche nach Substitutionsmöglichkeiten für knappe Materialressourcen. Diese waren häufig mit deutlichen Kosteneinsparungen verbunden. Auf dieser Grundlage wurde die WA zu einer sowohl systematischen, wie auch schöpferischen Methode zur Kostensenkung weiterentwickelt.[VDI GPP 2011]

Entgegen der häufigen Annahme, dass WA reine Kostensenkung bedeutet, legte aber schon [MILES et al. 1967] Wert darauf, dass Kostensenkung ohne Nachteile bezüglich Qualität, Sicherheit, Nutzungsdauer, Zuverlässigkeit oder weiterer vom Kunden verlangter Eigenschaften zu erfolgen hat.

Der anfängliche Fokus von Miles lag auf dem Einsatz der WA für die Verbesserung bestehender Produkte. Diese Form wurde als *Value Analysis* bezeichnet. Die Anwendung auch auf entstehende Produkte erfolgte zeitnah. Dies wurde als *Value Engineering* bezeichnet. [EN 2002] [HOFFMANN 1979]

Grundlegende Elemente, wie das „Loslösen von Form, Beschaffenheit und Material, um sich ausschließlich an den elementaren Funktionen [...] zu orientieren“ [VDI GPP 2011] gehörten ebenso zur WA wie interdisziplinäre Teamzusammensetzung und das Orientieren an einem Arbeitsplan (vgl. Abschnitt 2.2.5) [KANIOWSKY 1992].

Die WA ist ein „organisierter und kreativer Ansatz, der einen funktionenorientierten und wirtschaftlichen Gestaltungsprozess mit dem Ziel der Wertsteigerung eines WA-Objekts zur Anwendung bringt“ [EN 1996].

## 2 Grundlagen

Dieser Gestaltungsprozess wird von einem Team ausgeführt und ist durch einen Arbeitsplan strukturiert [VDI GPP 2011]. Die WA wird dabei zur Lösung nicht algorithmierbarer Probleme [DIN 1991], also komplexer Probleme, die mit bewährten Verfahrensweisen nicht zu lösen sind, eingesetzt. Wesentliches Element ist dabei die sanfte Modellbildung und das Formulieren von Funktionen (vgl. Abschnitt 2.2.3) [VDI GSP 1995].

Die WA steigert die Leistungsfähigkeit einer Organisation durch eine Vorgehensweise zur wirksamen Gestaltung und Herstellung von dessen Produkten (WA-Objekte<sup>2</sup>) [EN 2002].

Der Vorteil der WA liegt dabei in der systematischen Nutzung des in der Organisation vorhandenen konstruktionstechnischen oder produktionstechnischen Wissens [HOFFMANN 1979]. WA unterstützt dabei die richtige Formulierung von Problemen und deren Lösung [VDI 2010a].

Das Zentrum Wertanalyse definiert die WA als „eine schrittweise, anwendungsneutrale Vorgehensweise, bei der die Funktionen eines Objektes unter Vorgabe von Wertzielen<sup>3</sup> durch interdisziplinäre Teamarbeit, ganzheitliche Problembetrachtung und mit Hilfe von Ideenfindungsmethoden hinsichtlich Nutzen und Aufwand entwickelt bzw. verbessert werden.“ [VDI GSP 1995]

Die WA ist damit nach [VDI 2010a] durch die folgenden Merkmale gekennzeichnet:

- Funktionenorientierte Vorgehensweise
- Wirtschaftliche Vorgehensweise
- Interdisziplinäre Teamarbeit
- Kreative Vorgehensweise
- Systematische, organisierte und partizipative Vorgehensweise, die einen typischen Arbeitsplan anwendet

Bei der Definition eines WA-Projektes werden auf Basis eines Wertziels (vgl. Abschnitt 2.2.2) Funktionen- und Kosten-Ziele festgelegt. Diese werden zu Beginn eines Projektes als Grobziele bezeichnet und im Verlauf des Projekts zu Detailzielen konkretisiert. [EN 1996]

### 2.2.2 Wert

Der Wertbegriff hat eine zentrale Bedeutung innerhalb der WA. Schon Miles konstatierte, „das Wort Wert bedeutet vielen Menschen vieles, weil der Ausdruck Wert in ganz verschiedener Weise benutzt wird. Außerdem wird er oft mit den Kosten oder mit dem Preis verwechselt.“ [MILES et al. 1967]

Wert ist nicht objektivierbar und damit für jeden Menschen unterschiedlich [CHRISTMANN 1973]. Dementsprechend ist Wert nicht einfach allgemeingültig zu definieren

---

<sup>2</sup>Ein entstehendes oder bestehendes Produkt, auf das WA angewendet wird [VDI 2006].

<sup>3</sup>Auf der Basis des Wertbegriffs der WA definiertes Ziel.

[DEMMEER 1970]. Wert kann als die Vorziehenswürdigkeit eines Objekts in Bezug auf ein gegebenes Ziel [DEMMEER 1970] oder im Vergleich mit anderen Objekten [WOHINZ 1983] definiert werden.

Eine weitere Definition ist der Quotient von Nutzen zu Aufwand. Durch die Berücksichtigung des Aufwands wird die Nutzenmaximierung zur Wertmaximierung erweitert [CHRISTMANN 1973]. Damit wird eine Bestimmung des Wertes (vorausgesetzt es werden gleichermaßen die Belange von Erzeuger und Verbraucher berücksichtigt) ermöglicht [HOFFMANN 1979].

Dieser Sichtweise folgt die Definition der Norm EN 1325–1. Sie definierte Wert als „die Beziehung zwischen dem Beitrag der Funktion (oder des WA-Objekts) zur Bedürfnisbefriedigung und den Kosten der Funktion (oder des WA-Objekts)“ [EN 1996].

Diese Definition wurde dann in der Norm EN 12973 verallgemeinert zu „Wert ist das Verhältnis von Bedürfnisbefriedigung durch den Einsatz von Ressourcen“ [EN 2002] erweitert (vgl. Abb. 2.2). Die Definition lehnt sich damit an die angelsächsische Definition des Wortes *Value* (Ein Gegenwert für ein Objekt) [KAUFMAN 2001] an.



Abb. 2.2: Wertkonzept von WA und Value Management [EN 2002]

Das Symbol vor dem Quotienten soll verdeutlichen, dass der Ausdruck nicht im mathematischen Sinn zu verstehen ist. Es steht für die Notwendigkeit, die beiden Größen gegeneinander abzuwägen. Obwohl in der Definition Ressourcen jeglicher Art vorgesehen sind, so weist die EN12973 darauf hin, dass „allgemein alle Ressourcen auf Kosten bezogen werden können“ [EN 2002]. Zur Verbesserung des Wertes werden die Bedürfnisbefriedigung und der Ressourceneinsatz abgewogen [VDI GPP 2011]. Sowohl eine Verbesserung der Bedürfnisbefriedigung, wie auch eine Verbesserung des Ressourceneinsatzes können isoliert eine Wertverbesserung bewirken.

Einer der wesentlichen Aspekte der Wertbetrachtung ist dabei die Quantifizierung [HOFFMANN 1979], da Wert nicht als absolute Größe anzusehen ist [EN 2002]. Die Erhöhung des Wertes ist eine Abwägung verschiedener Einflussparameter. Zur Messung der Effektivität müssen Zähler und Nenner quantifiziert werden [KLEIN 2010]. Dabei ist die Bestimmung des Ressourcenaufwands vergleichsweise einfach, die Bestimmung der Bedürfnisbefriedigung ist aufgrund der subjektiven Einschätzung des Wertes ungleich schwieriger [VDI GPP 2011] und erfordert je nach WA-Projekt unterschiedliche Herangehensweisen. Die Quantifizierung von qualitativen Bewertungen kann z.B. durch die *Eigenvektormethode* erfolgen (vgl. [SAATY 1980]).

### 2.2.3 Funktionen

Der Wert eines Produktes bezieht sich nicht auf sich selbst, sondern auf die vom ihm ausgeführten Funktionen [BAIER 1969]. Funktionen können als „jede einzelne Wirkung des WA-Objekts“ [DIN 1991] oder als „Wirkung eines Produktes oder eines seiner Bestandteile“ [EN 1996] [VDI 2006] beschrieben werden. Sie werden durch ein (möglichst messbares [VDI 1996]) Substantiv und ein Verb (im Infinitiv [VDI 1996]) beschrieben [EN 2002]

Funktionen werden auf drei verschiedene Arten kategorisiert [EN 1996] [VDI 2006].

Funktionen können nach Funktionentypen in Nutzerfunktionen und produktbezogene Funktionen unterschieden werden [EN 1996].

Nutzerbezogenen Funktionen sind „erwartete oder erbrachte Wirkungen eines Produktes, um einen Teil des Bedürfnisses eines bestimmten Nutzers zu erfüllen.“ [VDI 2006]. Nur nutzerbezogene Funktionen sind von Interesse für Nutzer und Markt. Sie können entweder Gebrauchs- oder Geltungsfunktionen sein. [EN 1996]

Produktbezogene Funktionen sind „Wirkungen eines Bestandteils oder zwischen den Bestandteilen eines Produktes zum Zweck der Erfüllung der nutzerbezogenen Funktionen.“ [VDI 2006] Die Realisierung der produktbezogenen Funktionen wird durch den Entwickler festgelegt [EN 1996].

Die zweite mögliche Kategorisierung von Funktionen ist die Unterteilung in Funktionsarten [DIN 1991]. Funktionsarten ermöglichen die Zuordnung von Funktionen zum Gebrauchs- oder Geltungsbereich [VDI 1996]. „Gebrauchsfunktionen beschreiben der sachlichen Nutzung dienende, objektiv quantifizierbare Wirkungen eines WA-Objekts“ [VDI 1996]. „Geltungsfunktionen beschreiben die nur subjektiv wahrnehmbaren, ausschließlich personenbezogen zu gewichtenden Wirkungen des betrachteten Objekts“ [VDI GPP 2011].

Die dritte mögliche Kategorisierung von Funktionen ist die Unterteilung in Funktionsklassen. Nach VDI 2803 gliedern Funktionsklassen die Funktionen in eine Rangfolge nach unterschiedlichen Gesichtspunkten. Diese sind z.B. die Unterscheidung nach der Wichtigkeit einer Funktion für das betreffende WA-Objekt (Haupt- und Nebenfunktionen) [DIN 1991], die Unterscheidung anhand von Positionen in einer Funktionsstruktur (Gesamt- und Teilfunktionen, Übergeordnete, Basis- und Folgefunktionen) [VDI 1996] oder die Unterscheidung anhand ihrer Wirkung (nützliche und schädliche/unerwünschte/kompensierende Funktionen) [LINDEMANN 2009a] [VDI 1996].

### 2.2.4 Funktionenanalyse

Die Funktionenanalyse ist „ein Prozess, der die Funktionen und deren Beziehungen, welche systematisch dargestellt, klassifiziert und bewertet sind, vollständig beschreibt.“ [EN 1996] [EN 2002] [VDI 2006]. Spezifisch wird darunter „das Analysieren der Funktionen von WA-Objekten (Produkten, Prozessen, Dienstleistungen)“ [VDI

1996] verstanden. Die Analyse besteht dabei in der Untersuchung der Objekte in Bezug auf Komponenten, Wirkungen, Merkmale und Attribute [GIERSE 1994] [AKIYAMA 1991]. Wesentliche Ergebnisse der Funktionenanalyse nennt [KANIEWSKY 1992].

- Das Verständnis für Wirkungsstrukturen zu erlangen.
- Das Definieren von Einzelwirkungen (Funktionen) zu ermöglichen, um sie für die Bearbeitung verfügbar zu machen.
- Die Darstellung von Aufwand und Nutzen von Funktionen.

Die Norm EN12973 identifiziert die folgenden Schritte für eine Funktionenanalyse [EN 2002]:

1. Funktionen erfassen und auflisten.
2. Funktionen systematisiert darstellen (z.B. in einem Funktionenbaum, FAST, etc.).
3. Funktionen charakterisieren (Zuordnung von Erfüllungsgraden, Kosten, etc.).
4. Funktionen in eine Rangfolge bringen und bewerten (Aufstellen einer Funktionen-Hierarchie, Bewerten der Funktionen in Bezug auf die Erwartungen des Nutzers).

Im ersten Schritt werden die Funktionen des betrachteten WA-Objekts gesammelt. Auf einen angemessenen Abstraktionsgrad der Funktionenformulierung ist zu achten. [VDI 1996]

Im zweiten Schritt werden die Funktionen strukturiert. Funktionen können auf verschiedene Arten strukturiert werden. Allen Funktionenstrukturen liegt dabei ein auf verbalen (und visualisierten) Zuordnungen [VDI 1996] basierendes logisches Ordnungsprinzip zugrunde, „hinter denen physikalische, ergonomische, organisatorische, administrative oder anderweitige Realitäten stehen“ [GIERSE 1994]. Die Funktionsstrukturierung dient u.a. der Verdeutlichung der funktionalen Wirkungen eines Objekts. Außerdem wird das gedankliche Lösen von der konkreten Umsetzung des WA-Objekts unterstützt. Die in der WA verbreitetsten Funktionenstrukturen sind der Funktionenbaum und das FAST-Diagramm. Diese werden in den Abschnitten 2.2.4.1 und 2.2.4.2 vorgestellt.

Im dritten Schritt wird die Beschreibung der Funktionen durch weitere Merkmale ergänzt. In der WA übliche Methoden hierzu sind die Vergabe von Erfüllungsgraden (vgl. Abschnitt 2.2.4.3) oder die Zuordnung von Kosten zu Funktionen (vgl. Funktionen-Kosten-Analyse in Abschnitt 2.2.4.4).

Im vierten Schritt werden die Funktionen in eine Rangfolge gebracht und bewertet (vgl. Abschnitt 2.2.4.5).

Die Funktionen-Potential-Analyse, eine mögliche Form der Auswertung von Funktionen-Bedeutsamkeit und Funktionen-Kosten, wird in Abschnitt 2.2.4.6 beschrieben.

Die Ergebnisse der vier Schritte dienen dann der Formulierung des SOLL-Zustands des WA-Projektes und damit als Ausgangspunkt für die Ideenfindung.

2.2.4.1 Funktionenbaum

Der Begriff „Funktionenbaum“ wurde in Japan erstmals 1967 von [TAMAI 1967] [AKIYAMA 1991] verwendet. Zu dieser Zeit war der Funktionenbaum in Deutschland bereits gebräuchlich [KREHL 1967]. Der Funktionenbaum (vgl. Abb. 2.3) ist eine hierarchische Funktionenstruktur, die die Anordnung von Teilfunktionen unterhalb einer Gesamtfunktion vorsieht [GIERSE 1990], [GIERSE 1994], [AKIYAMA 1991] (vgl. Abb. 2.3). Die Struktur kann sowohl von links nach rechts, wie von oben nach unten angeordnet werden [VDI 1996]. Die Strukturierung folgt dabei einer Logik, die mit den Fragewörtern „Wie?“ in Richtung absteigender Stufung und „Warum?“ in Richtung aufsteigender Stufung angewendet wird. Bei Betrachtung einer Funktion muss auf die Frage „Wie?“ immer mit einer Funktion auf der nächstniedrigeren Hierarchiestufe geantwortet werden [VDI 1996].

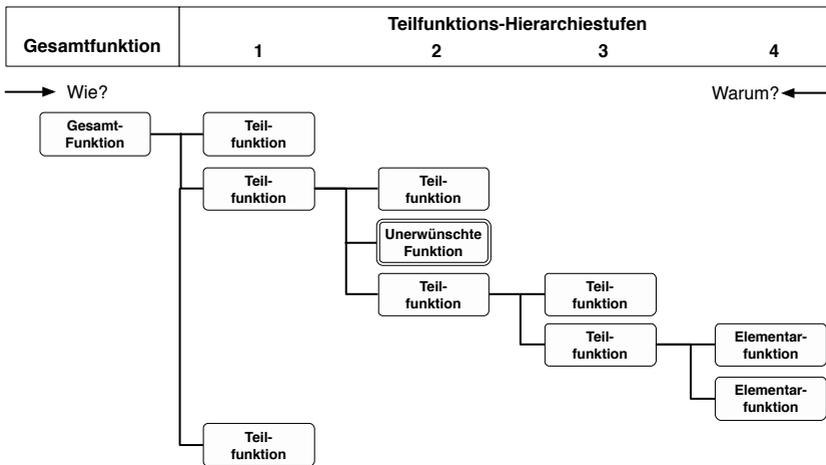


Abb. 2.3: Struktur des Funktionenbaumes

Von den in der WA gebräuchlichen Funktionenstrukturen ist der Funktionenbaum am einfachsten zu erlernen, zeigt jedoch auch am wenigsten das Zusammenwirken zwischen Funktionen auf [VDI 1996]. Ein weiterer Mangel ist die nicht explizit vorge-sehene Hervorhebung von Interaktionen mit dem Umfeld des WA-Objekts. Ein weiter-er wesentlicher Nachteil des FAST-Diagramms ist die im Vergleich zum Funktio-nennetzwerk (vgl. Abschnitt 2.3.3.5) fehlende Bewertung von Interaktionen zwischen den Funktionen (nützlich, schädlich, kompensierend, unzureichend, exzessiv).

Die einfache Erlernbarkeit fördert die Verbreitung der Verwendung des Funktionen-baumes in Projekten. Er wird sehr häufig angewendet und meist reichen schon zwei

bis drei Hierarchiestufen um sinnvoll bearbeitbare Einheiten festzulegen [GÖTZ 2006]. Eine Formulierung von Elementarfunktionen<sup>4</sup> ist daher selten notwendig [PAUWELS 2001].

#### 2.2.4.2 FAST-Diagramm

Das FAST-Diagramm (Abkürzung für *Function Analysis System Technique*) wurden im Jahre 1965 von Charles Bytheway entwickelt [BYTHEWAY 1965] [BYTHEWAY 1971]. Es kann als eine logische Darstellung der nutzer- und produktbezogenen Funktionen eines WA-Objekts verstanden werden [EN 2002].

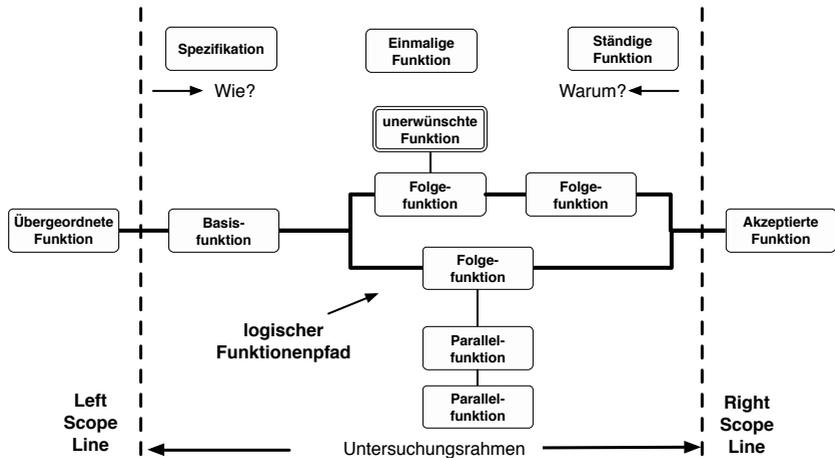


Abb. 2.4: Struktur des FAST-Diagramms [PAUWELS 2001]

Das FAST-Diagramm (vgl. Abb. 2.4) ist, im Gegensatz zum Funktionenbaum, keine hierarchische Struktur. Es wird durch zwei senkrechte Linien, die *Scope Lines* links und rechts begrenzt [EN 2002] (vgl. Abb. 2.4). Innerhalb der *Scope Line* werden alle Funktionen modelliert, die für das WA-Objekt relevant sind [PAUWELS 2001].

Die Anwendung des FAST-Diagramms bietet folgende Vorteile [PAUWELS 2001]:

- Einzelziele des WA-Projekts sind einfacher zu bestimmen bzw. zu überprüfen.
- Akzeptierte Voraussetzungen aus dem Objektumfeld werden klar festgelegt und sind einfach visualisierbar.

<sup>4</sup>Elementarfunktionen: Funktionen die nicht weiter unterteilt werden können

## 2 Grundlagen

Das FAST-Diagramm sollte nur bei hinreichend komplexen Problemen eingesetzt werden [KLEIN 2010]. Ein wesentlicher Nachteil des FAST-Diagramms ist die im Vergleich zum Funktionennetzwerk (vgl. Abschnitt 2.3.3.5) fehlende Bewertung von Interaktionen zwischen den Funktionen (nützlich, schädlich, kompensierend, unzureichend, exzessiv). In der deutschen Praxis wird das FAST eher selten eingesetzt [GÖTZ 2006].

### 2.2.4.3 Erfüllungsgrade

Erfüllungsgrade charakterisieren die Güte der Umsetzung einer Funktion. Erfüllungsgrade können quantitativ und qualitativ sein. Der IST-Wert der Erfüllung und dessen Diskrepanz zum gewünschten ZIEL-Wert wird im WA-Projekt oft zur Definition von Detailzielen (vgl. Abschnitt 2.2.5.1) genutzt [KANIEWSKY 1992].

### 2.2.4.4 Funktionenkosten

Funktionen werden durch Funktionenträger realisiert, die als „Gegebenheiten, durch die eine Funktion realisiert wird“ [EN 1996] definiert sind. Funktionen können daher auch Kosten zugeordnet werden.

Die einer Funktion zugeordneten Kosten sind die ihnen zugeordneten, vom Anwender eingeschätzten, Anteile an den Kosten eines oder mehrerer Funktionenträger [VDI 2006]. Sie sind also die „Die Gesamtheit an [...] Aufwendungen, um eine Funktion in ein WA-Objekt aufzunehmen“ [EN 1996]. Die Summe aller Funktionenkosten entspricht den Gesamtkosten eines WA-Objekts [EN 2002]. Funktionenkosten für noch nicht realisierte WA-Objekte sind Ziele oder Schätzungen<sup>5</sup>.

Die Zuordnung von Funktionenkosten ermöglicht das Identifizieren von Kostenschwerpunkten [KOURIM 1968][CHRISTMANN 1973], eine Problemgewichtung wird forciert [BRONNER et al. 2006] und die funktionale Kostensicht bewirkt ein Lösen von der bisherigen Umsetzung [KORTE 1977]. Die Identifikation von Kostenschwerpunkten ist nützlich, da eine besonders teuer realisierte Funktion als ein Indikator für hohes Einsparungspotential gesehen werden kann [FRIEDL 2007].

Die Zuordnung von Kosten (vgl. Abb. 2.5) bei einem bereits realisierten WA-Objekt geschieht in vier Schritten (u.a. [KORTE 1977], [LINGOHR et al. 2011]):

1. Auswahl der zu bewertenden Funktionen.
2. Zuordnung von Realisierungsanteilen der Bauteile an den Funktionen.
3. Errechnung der Kosten der Funktionen auf Basis der Realisierungsanteile.
4. Errechnung der Anteile an den Gesamtkosten für die einzelnen Funktionen.

Die Funktionenkosten können dann als Indikator für Kostenschwerpunkte im IST-Zustand des WA-Objekts dienen.

---

<sup>5</sup>Auch als Kostenziele für SOLL-Funktionen bezeichnet [BRONNER et al. 2006]

<b>Funktionen-Kosten-Zuordnung</b>						
Komponenten	Kosten [€]	Funktion 1		Funktion 2		Summe Anteile
		Anteil	Teil-Fkt-Kosten [€]	Anteil	Teil-Fkt-Kosten [€]	
Komp. 1	12	0,25	$0,25 * 12 = 3$	0,75	$0,75 * 12 = 9$	$0,25+0,75 = 1$
Komp. 2	16	0,75	$0,75 * 16 = 12$	0,25	$0,25 * 16 = 4$	$0,75+0,25 = 1$
Komp. 3	8	0,3	$0,3 * 8 = 2,40$	0,7	$0,7 * 8 = 5,60$	$0,3+0,7 = 1$
<b>Σ Funktionskosten [€]</b>		<b><math>3+12+2,40 = 17,40</math></b>		<b><math>9+4+5,60 = 18,60</math></b>		
<b>relativer Kostenanteil [%]</b>		<b><math>17,40/36 = 48,3\%</math></b>		<b><math>18,60/36 = 51,7\%</math></b>		
		<b>Funktionskosten Funktion 1</b>		<b>Funktionskosten Funktion 2</b>		

Abb. 2.5: Funktionen-Kosten-Zuordnung

#### 2.2.4.5 Funktionen-Bedeutsamkeit

Schritt 4 der Funktionenanalyse („Funktionen in eine Rangfolge bringen und bewerten“) dient der Bewertung der Funktionen des WA-Objekts in Bezug auf die Erwartungen des Nutzers [EN 2002]. Das Merkmal zur Bewertung der Funktionen wird in dieser Arbeit als Funktionen-Bedeutsamkeit bezeichnet (vgl. auch [MARCHTHALER et al. 2009]).

Zwei gängige Formen der Funktionenbewertung sind die Bewertung der Funktionen mit Hilfe eines paarweisen Vergleichs [MARCHTHALER et al. 2009] oder die direkte Korrelation der Funktionen mit den Erwartungen des Nutzers über ein House of Quality (HoQ) [BRUNNER 1992] [VDI 1994] des Quality Function Deployment (QFD)<sup>6</sup>. Zusätzlich können Wertigkeitszuordnungen aus Kundensicht auch parametrisch von ähnlichen Produkten abgeleitet werden [GÖTZ 2006]. Im Falle der Nutzung eines paarweisen Vergleichs werden die Funktionen direkt miteinander verglichen. Die Bewertung sollte dann aus der Perspektive des Nutzers erfolgen. Im Falle der Nutzung

<sup>6</sup>Die Kundenorientierung der QFD ist eine wertvolle Ergänzung der WA [SEIDENBERG et al. 1999]

## 2 Grundlagen

eines House of Quality werden die Nutzererwartungen direkt mit den Funktionen korreliert.

Die Ermittlung der Funktionen-Bedeutsamkeit ermöglicht deren Nutzung als Vergleichsgröße in der Funktionen-Potential-Analyse (vgl. Abschnitt 2.2.4.6).

### 2.2.4.6 Funktionen-Potential

Eine weitere Möglichkeit zur Nutzung der Funktionen-Kosten-Analyse ist der Vergleich der Funktionenkosten mit der Funktionenbedeutsamkeit (vgl. auch [FRIEDL 2007]).

[TANAKA 1985] entwickelte 1985 mit dem Wertindex (vgl. Gleichung 2.1 [VDI GPP 2011]) diesen Ansatz zur Bewertung des Optimierungspotentials von Funktionen<sup>7</sup>.

$$W_F = \frac{\text{Bedeutsamkeit der Funktion}}{\text{Zielkosten der Funktion}} \quad (2.1)$$

Die Wertindizes können in einem einfachen x-y-Diagramm<sup>8</sup> visualisiert werden (vgl. Abb. 2.6).

Ziel der Optimierung einer Funktion ist, dass die Kosten einer Funktion ihrer Bedeutsamkeit entsprechen. Dann ist der Wertindex gleich 1. Ist der Wertindex größer als 1, besteht Potential zur Nutzenerhöhung für den Kunden. Ist der Wertindex kleiner als 1, ist die Funktion zu teuer realisiert. [HORVÁTH et al. 1992] [FREIDANK et al. 1997]

Sowohl die Funktionenkosten wie auch die Funktionen-Bedeutsamkeit werden durch Entscheidungen des Anwenders (Fkt-Kosten: Zuordnung zwischen Bauteilen und Funktionen, Fkt.-Bedeutsamkeit: Gewichtung der Funktionen) festgelegt. Diese Bewertungen sind zwar inhärent subjektiv, die Verwendung als Indikator für Potential zur Kostenoptimierung ist in der Target-Costing-Fachliteratur anerkannt (z.B. [MEYER 2003], [SCHWEITZER et al. 2008]).<sup>9</sup> So fordert das Zielkostenmanagement des Target Costing<sup>10</sup>, die Ressourcen dem Kundenwunsch entsprechend auf die Funktionen zu verteilen [BÜRCEL et al. 1995]<sup>11</sup>. Die Funktionen eines WA-Objekts dienen daher als Parameter einer kundenorientierten Produktentwicklung (vgl. [BERGMANN 2002]) und sind Grundlage der Zielsetzung, Nutzenerhöhung und Kostensenkung gleichzeitig zu erreichen [BRONNER 1989].

Die WA hat hier die Aufgabe, das aus dem Kostenziel folgende Kostenbudget so für die Funktionenerfüllung einzusetzen, dass die Kostenverteilung der Bedeutung der einzelnen Komponenten entspricht [BUKSCH et al. 1985].

<sup>7</sup>Dieser Ansatz wurde in [TANAKA 1989] weiterentwickelt und bildete die Grundlage zur Zielkostenspaltung im Target Costing

<sup>8</sup>Im Target Costing als Zielkostenkontrolldiagramm bezeichnet (u.a. [FISCHER et al. 1994])

<sup>9</sup>Eine Variante der Wertindex-Berechnung nutzt die abgeleiteten Zielkosten von Komponenten [FISCHER et al. 1994] [COENENBERG et al. 2007].

<sup>10</sup>Von Toyota im Jahre 1965 entwickeltes Konzept des strategischen Kostenmanagements [HORVÁTH 1993]

<sup>11</sup>Zugrunde liegt die Frage, ob der Kunde bereit ist, für eine spezifische Funktion Geld auszugeben [BUKSCH et al. 1985]

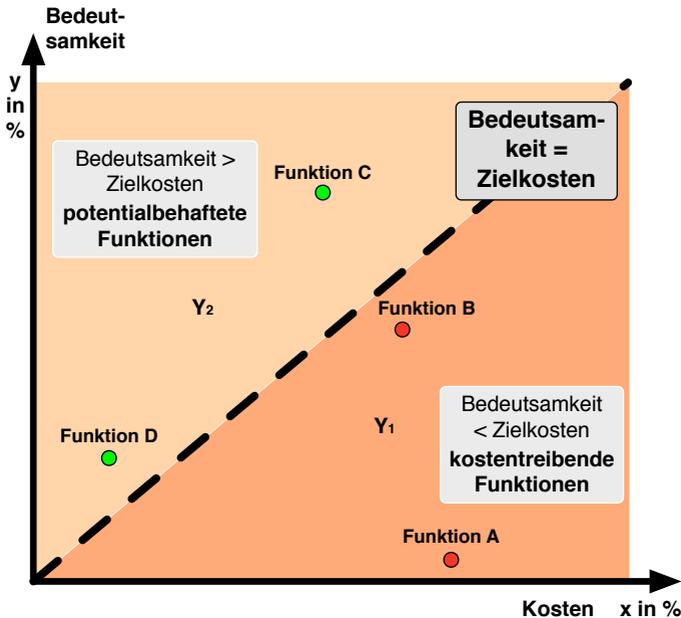


Abb. 2.6: Visualisierung der Wertindizes von Funktionen (In Anlehnung an [TANAKA 1985], [FISCHER et al. 1994])

### 2.2.5 Der Wertanalyse-Arbeitsplan

Eine Normung für den WA-Arbeitsplan existiert in Form der DIN69910 seit 1973 [DIN 1991]. Auf europäischer Ebene wurde diese 1996 durch die EN1325-1 ersetzt [EN 1996]. Beide Normen basierten auf einem 6-stufigen Arbeitsplan. Die EN1325-1 wurde im Jahre 2000 in Deutschland durch die VDI2800 ergänzt [VDI 2000]. Die EN12973 führte dann 2000 einen 10-stufigen Arbeitsplan ein [EN 2002] (vgl. Abb. 2.7), der in der VDI2800 in der Version 2006 aufgenommen wurde [VDI 2006]. Die EN12973 definiert wesentliche Erweiterungen in den WA-Arbeitsplan [FRIEDL 2007]:

- Die Einbeziehung des Managements von WA-Risiken.
- Eine stärkere Orientierung an den Erfordernissen der Wertgestaltung.
- Erweiterung und Präzisierung der Projektvorbereitung.
- Erweiterung der Kontrollaufgaben.

<b>0</b>	<b>Projekt vorbereiten - Machbarkeit untersuchen</b>
<b>1</b>	<b>Projekt definieren</b>
<b>2</b>	<b>Projekt vorbereiten - Projektarbeit freigeben</b>
<b>3</b>	<b>Umfassende Daten über das Produkt sammeln</b>
<b>4</b>	<b>Funktionen, Kosten, Detailziele festlegen</b>
<b>5</b>	<b>Lösungsideen sammeln und entwickeln</b>
<b>6</b>	<b>Lösungsideen bewerten</b>
<b>7</b>	<b>Ganzheitliche Vorschläge entwickeln - Lösung auswählen</b>
<b>8</b>	<b>Lösungen präsentieren - Entscheidung herbeiführen</b>
<b>9</b>	<b>Lösungen realisieren - Ergebnis dokumentieren</b>

Abb. 2.7: WA-Arbeitsplan  
nach [EN 2002]

Arbeitsplans betreffen die Analyse (4 - *Funktionen, Kosten, Detailziele festlegen*) und die Ideenfindung (5 - *Lösungsideen sammeln und entwickeln*). Da die Verbesserung von Problemanalyse und -lösung in der Wertanalyse durch TRIZ-Methoden bewertet wird, werden beide Phasen in den folgenden Abschnitten erläutert.

Beiden Formen des Arbeitsplanes ist aber die Ausrichtung an den 6 WA-Projekt-Phasen Projektvorbereitung, Analyse, Zielbildung, Alternativensuche, Bewertung und Entscheidung und Realisation gemein [FRIEDL 2007]<sup>12</sup>.

Der WA-Arbeitsplan wird als eine „organisierte und methodische Vorgehensweise, die eine Anzahl von Schritten mit dem Ziel umfasst, eine erfolgreiche Anwendung der WA sicherzustellen“ [EN 1996] [VDI 2006] beschrieben. Er beinhaltet die vier Hauptphasen innovativer Problemlösungsprozesse<sup>13</sup> [VDI 2002]. Er ist das wesentliche methodische Element der WA [EN 2002]. Entscheidend für die Anwendung ist das Durchführen aller Schritte und eine Einhaltung der Abfolge der Arbeitsschritte [VDI GPP 2011]. Im Prozess erarbeitete Zwischenergebnisse können Iterationen zu vorgelagerten Schritten notwendig machen und sind vorgesehen [BOGASCHEWSKY 2002].

Die für diese Arbeit relevanten Stufen des WA-Arbeitsplans betreffen die Analyse (4 - *Funktionen, Kosten, Detailziele festlegen*) und die Ideenfindung (5 - *Lösungsideen sammeln und entwickeln*). Da die Verbesserung von Problemanalyse und -lösung in der Wertanalyse durch TRIZ-Methoden bewertet wird, werden beide Phasen in den folgenden Abschnitten erläutert.

### 2.2.5.1 Stufe 4: Funktionen, Kosten, Detailziele

Die Stufe 4 beinhaltet die Funktionenanalyse, die Kostenanalyse und die Ableitung von Detailzielen.

Ziel der Formulierung von Funktionen ist das Schaffen von Ausgangspunkten für das Entwickeln neuer Lösungen [FISCHER 2008]. Die formulierten Funktionen werden im Regelfall in einer Funktionenstruktur geordnet (vgl. Abschnitt 2.2.4).

Die Kostenanalyse erfolgt mit Hilfe der generierten Funktionenstruktur und der Funktionen-Kosten-Matrix (vgl. Abschnitt 2.2.4.4) [BRONNER et al. 2006]. In Verbindung mit der Analyse der Funktionen-Bedeutsamkeit können in einer Funktionen-Potential-Analyse Schwerpunkte für die Optimierung des WA-Objekts identifiziert werden [MARCHTHALER et al. 2009].

Der letzte Schritt in Stufe 4 ist die Ableitung der Detailziele. Die Prüfung zur Ableitung umfasst fünf Punkte:

<sup>12</sup>Die [VDI 2006] bietet eine Gegenüberstellung von 6-stufigem und 10-stufigem WA-Arbeitsplan.

<sup>13</sup>Hauptphasen innovativer Problemlösungsprozesse sind Problemanalyse, Ideensuche, Bewertung und Verwirklichung [SCHLICKSUPP 1989]

- IST- und SOLL-Funktionen [KOURIM 1968]
- Funktionenkosten (IST und ZIEL-Kosten) [KORTE 1977]
- Funktionen-Bedeutsamkeit [MARCHTHALER et al. 2009]
- Funktionen-Erfüllungsgrad [VDI GPP 2011]
- Lösungsbedingende Vorgaben [FISCHER 2008]
- Probleme [GÖTZ 2006]

Auf Basis der festgelegten Detailziele geht man dann zur kreativen Lösungsfindung über.

### 2.2.5.2 Stufe 5: Kreativität

Stufe 5 sieht das Sammeln und Entwickeln von Lösungsideen vor und ist damit der schöpferische Schwerpunkt der WA [VDI 2010a]. Kreativität, also die Fähigkeit zu schöpferischer Tätigkeit zur Erarbeitung von Ideen die zumindest subjektiv neuartig sind [VDI 2002] [EHRLENSPIEL 2003], spielt dabei eine wesentliche Rolle. Die Gestaltung dieses schöpferischen Prozesses hat dabei wesentlichen Einfluss auf ein WA-Team [GÖTZ 2006]. Die [VDI 2010a] sieht drei Schritte vor:

1. Existierende Ideen sammeln
2. Neue Ideen entwickeln
3. Ideen kritisch analysieren

Zur Sammlung existierender Ideen werden Anregungen, Verbesserungs- und Änderungsvorschläge von Mitarbeitern, Kunden und Lieferanten sowie Markt- und Wettbewerbsinformationen genutzt [FISCHER 2008].

Zur Entwicklung neuer Ideen werden hauptsächlich intuitive<sup>14</sup> Ansätze, wie Brainstorming oder -writing eingesetzt. Diese werden durch vertikale<sup>15</sup> Ansätze, wie die Morphologische Matrix, ergänzt [FISCHER 2008].

Im dritten Schritt werden die genannten Ideen kritisch analysiert. Dies dient dem Abgleich mit dem Stand der Zielerreichung und forciert gleichzeitig die Weiterentwicklung von Ideen durch die Definition von sekundären Problemen [VDI 2010a]. Entscheidend ist hierbei die Intention, die zu analysierenden Ideen weiterzuentwickeln, nicht diese auszuschließen.

---

<sup>14</sup>Intuitiv-induktiver Denkansatz zur Produktion einer hohen Ideenquantität

<sup>15</sup>Logisch-deduktiver Denkansatz der sich gut für die Vervollständigung vielversprechender Ideen eignet

### 2.2.6 Wertplanung, Wertgestaltung und Wertverbesserung

In der WA werden Projekte neben der Wertplanung in Wertgestaltung und Wertverbesserung unterschieden [VDI 2006]. Die im Kapitel 5 vorgestellten Methodenpässe werden nach Wertgestaltung und Wertverbesserung für ihren Anwendungsfall klassifiziert.

Merkmal für die Unterscheidung ist, ob ein vorhandenes WA-Objekt analysiert werden soll, oder ob ein neues geschaffen werden soll (vgl. Abb. 2.8).

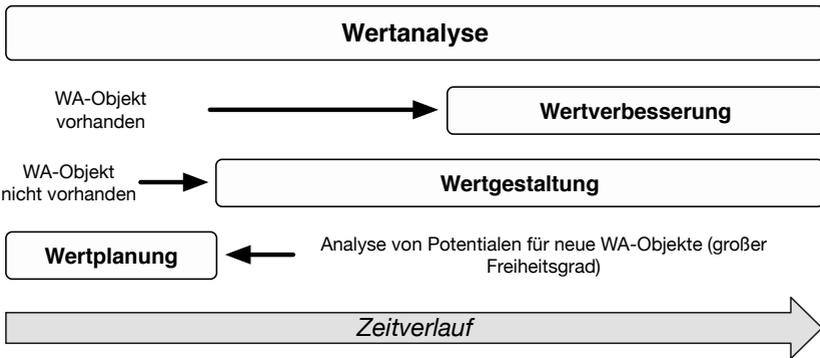


Abb. 2.8: Wertfälle in der WA

Die drei Projektformen teilen mit der funktionsorientierten Vorgehensweise, der Nutzung interdisziplinärer Teamarbeit, Kreativität und der Verwendung des WA-Arbeitsplans die Grundelemente der WA [VDI 2010b]. Unterschiede ergeben sich in Bezug auf Umfang der Aufgaben, Teamzusammensetzung, Umfang der Informationssammlung und -bearbeitung sowie der Genauigkeit der Kostenbetrachtung [VDI 2010b].

Die *Wertplanung* gruppiert die „Planung von neuen Produkten oder Produktprogrammen“ [VDI GPP 2011] im „Rahmen einer Grundsatzuntersuchung oder Machbarkeitsstudie“ [VDI 2010b]. BRONNER beschreibt die *Wertplanung* als wertanalytisches „Suchen und Bewerten wirtschaftlich wertvoller Objekte für ein vorhandenes Potenzial“ [BRONNER et al. 2006]. Da sie vor der konkreten Entwicklung eines Produktes einsetzt, ist der zu erwartende Freiheitsgrad bei der Gestaltung sehr groß.

Die *Wertgestaltung*<sup>16</sup> ist die Anwendung der WA auf „ein neues in Entwicklung befindliches Produkt“ [VDI 2006]. Der Freiheitsgrad zur Gestaltung von Produkten und Prozessen ist beim Einsatz der *Wertgestaltung* relativ groß [GÖTZ 2006]. Dies gilt

<sup>16</sup>Die Wertgestaltung wird im englischen Sprachraum als *Value Engineering* bezeichnet [FISCHER 2008].

insbesondere für die Beeinflussbarkeit von Kosten [ORTH 1968]. Ausgangspunkt einer *Wertgestaltung* ist meist eine Form von Anforderungsliste (Lastenheft, Pflichtenheft, etc.) (vgl. Abb. 2.8) [BRONNER et al. 2006].

Die *Wertverbesserung*<sup>17</sup> sieht „die Anwendung der WA auf ein bestehendes, in Nutzung befindliches, Produkt“ vor [VDI 2006]. Im Regelfall ist der Freiheitsgrad bei *Wertverbesserungen* geringer, da bspw. vorhandene Werkzeuge etc. diesen einschränken können [GÖTZ 2006].

## 2.2.7 Value Analysis und Value Engineering

Im Abschnitt 3.1 werden die in der Literatur vorhandenen Ansätze zur Kombination von Wertanalyse und TRIZ vorgestellt. Um die Besonderheiten dieser Ansätze herausstellen zu können, werden in diesem Abschnitt die Begriffe *Value Analysis* / *Value Engineering* in den Kontext zur WA gesetzt.

Im, durch die *Society of American Value Engineers* dominierten nordamerikanischen Raum, wird für die verschiedenen, aus Ansätzen von Miles entstandenen, Varianten der WA der Oberbegriff „Value Methodology“ verwendet. Dazu gehören die Value Analysis (der ursprüngliche Ansatz von Miles) und das Value Engineering<sup>18</sup>. Value Analysis (VA) und Value Engineering (VE) unterscheiden sich dadurch, dass VA nur an bestehenden und VE nur an geplanten oder als Grobkonzept existierenden Projekten, Produkten oder Prozessen durchgeführt wird. [SAVE 2007]

Beiden Varianten ist die Orientierung an einem 6-stufigen Arbeitsplan („Value Job Plan“) (vgl. Abb. 2.9) gemeinsam. Dieser ist in die folgenden Schritte gegliedert [SAVE 2007].

1. *Information Phase* - Das Team analysiert die Zielsetzungen und Randbedingungen der Wertstudie (Anwendung der „Value Methodology“ unter Nutzung des „Value Job Plans“) und leitet die Grobziele des Projekts ab.
2. *Function Analysis Phase* - Das Team definiert die Funktionen des Projekts und analysiert diese in Bezug auf die Aspekte Verbesserungsbedarf, Notwendigkeit zur Eliminierung von Funktionen und die Entstehung neuer Funktionen.
3. *Creative Phase* - Das Team setzt Kreativitätstechniken ein, um andere Wege zur Realisierung der Projektfunktionen zu finden.
4. *Evaluation Phase* - Das Team nutzt einen strukturierten Bewertungsprozess, um die entwickelten Ideen zu bewerten. Die Bewertung erfolgt dabei in Bezug auf die Verbesserung des Wertes des betrachteten Projekts.
5. *Development Phase* - Das Team entwickelt aus den ausgewählten Ideen Vorschläge die den Entscheidungsträgern die Auswahl der zu realisierenden Alternative ermöglichen.

<sup>17</sup>Die *Wertverbesserung* wird im englischen Sprachraum als *Value Analysis* bezeichnet [FISCHER 2008].

<sup>18</sup>Die dritte Value Methodology ist das Value Management. Die Definition des Value Managements von SAVE ist aber nicht deckungsgleich mit der Definition der [EN 2002].

## 2 Grundlagen

6. *Presentation Phase* - Das Team präsentiert die Alternativen den Entscheidungsträgern.

Die Einbettung des *Value Job Plans* in das Stufenmodell einer Wertstudie (*Value Study*) fügt den 6 Schritten noch die *Pre-Study-Activities* und die *Implementation Phase* hinzu.

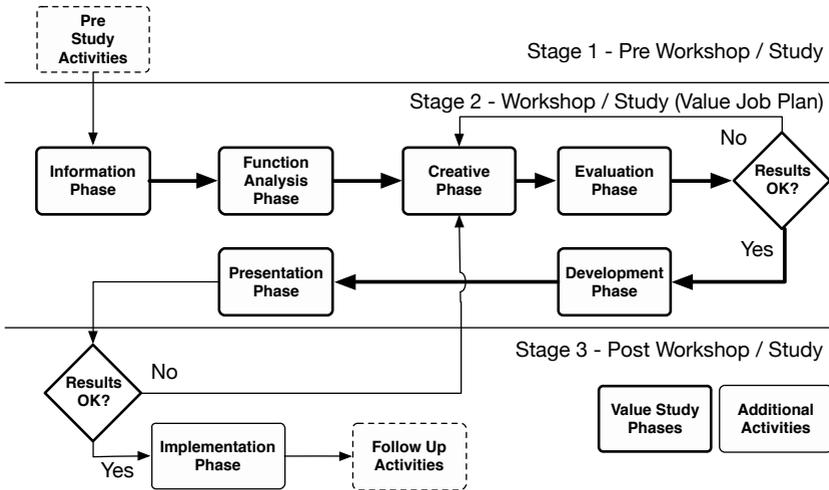


Abb. 2.9: Value Engineering Job Plan im Rahmen einer Value Study (vgl. [SAVE 2007])

## 2.3 TRIZ

Die folgenden Abschnitte führen in die Kernkonzepte und die einzelnen Werkzeuge der TRIZ ein. Die Einführung bietet dem Leser notwendige Grundlagen für das Verständnis der Integration in die Phasen 4 und 5 des WA-Arbeitsplans (vgl. Kapitel 4 und 5). Es werden nur die Werkzeuge vorgestellt, deren Integration behandelt wird.

### 2.3.1 Einführung

Erfinden ist die Entwicklung neuartiger Lösungen technischer und technisch-wirtschaftlicher Probleme und ist Kern jeder Innovation [ALTSCHULLER 1998]. Um sich auf heutigen schnelllebigen Märkten behaupten zu können, ist es notwendig, beim

Finden und Realisieren von Innovationen führend zu sein [GUNDLACH 2006].

Damit ist ein sehr hoher Anspruch an die Involvierten verbunden, da neben einer fachlichen Kompetenz ein hohes Maß an Kreativität zur Lösung komplexer technischer Probleme vonnöten ist [LINDE et al. 1993]. Dies macht die Notwendigkeit für eine Systematik zur Lösung von Erfindungsaufgaben offensichtlich. Altschullers Pionierleistung ist die Entwicklung einer solchen Systematik, der TRIZ [ALTSCHULLER 1998].

Ziel der TRIZ ist die Bereitstellung einer Methodik, die Kreativität systematisiert [FEY et al. 2005]. Dadurch soll die Vorgehensweise nach Versuch & Irrtum beseitigt werden [ALTSCHULLER 1998]. Der Vektor der psychologischen Trägheit (vgl. Abb. 2.10) symbolisiert die primäre Denkrichtung eines Menschen. Diese wird z.B. durch das erlernte Fachgebiet, den Werdegang oder die Furcht sich zu unbekanntem Sachverhalten vor Anderen zu äußern, beeinflusst. Die Anwendung der TRIZ-Systematik hilft die psychologische Trägheit durch das Lenken der Denkrichtung in sonst nicht betrachtete Bereiche zu überwinden [ALTSCHULLER 1998]. Die TRIZ bildet einen methodischen Suchkegel (vgl. roter Bereich in Abb. 2.10), der die Lösungssuche in die Richtung der idealen Lösung führt [ZOBEL 2007b].

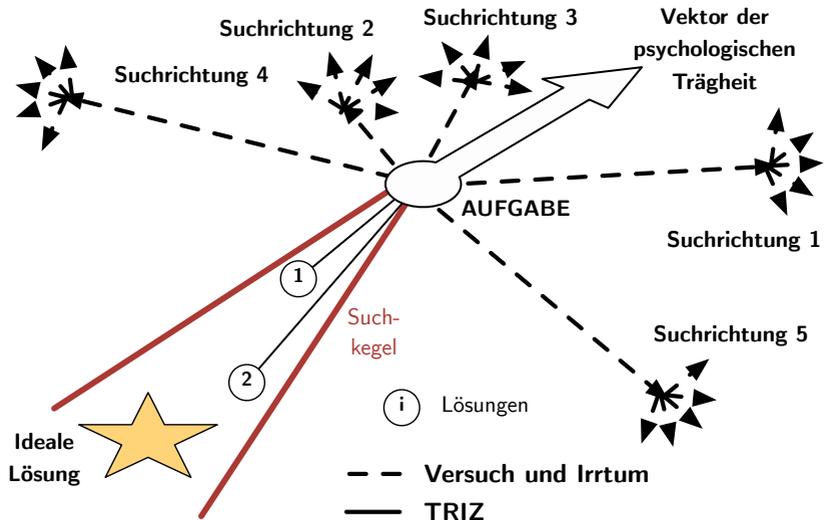


Abb. 2.10: Psychologische Trägheit - Methodischer Suchkegel durch TRIZ (Kombiniert aus [ORLOFF 2006][ZOBEL 2007a][ZOBEL 2007b])

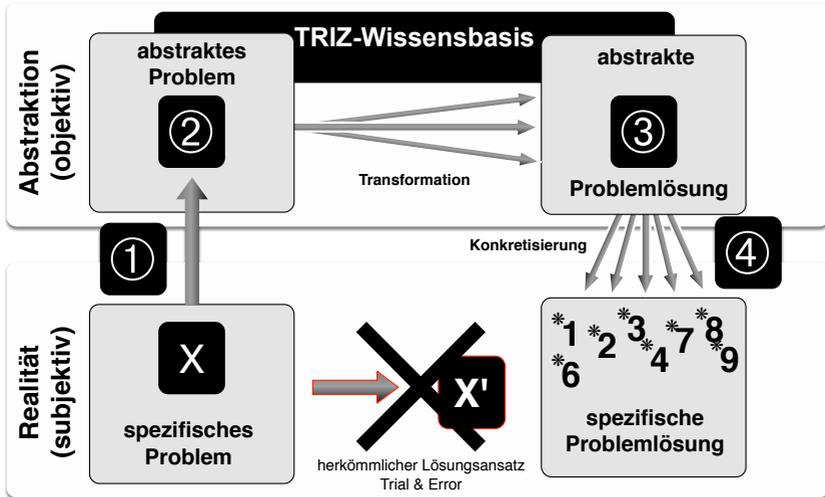


Abb. 2.11: 4-Phasen-Schema der TRIZ-Anwendung (In Anlehnung an [ORLOFF 2006][GUNDLACH 2006])

Altschuller entwickelte die Grundzüge der Systematik der TRIZ durch die Analyse von ca. 200.000 Patentschriften [KLEIN 2007]. Er teilte diese Patentschriften in fünf Erfindungsniveaus ein (vgl. [TERNINKO et al. 1998a]). Bei der Patentanalyse machte Altschuller folgende Beobachtungen:

- Häufig entstehen erste Lösungsideen bereits durch eine präzise Beschreibung des Problems [TERNINKO et al. 1998a].
- Viele Probleme sind vergleichbar und wurden bereits in anderen Fachgebieten (unter anderen Bezeichnungen) gelöst [TERNINKO et al. 1998a].
- Es existiert eine endliche Anzahl von Lösungsprinzipien für Probleme [PANNENBÄCKER 2007].
- Grundlegende Innovationen vereinen Lösungen verschiedener Fachgebiete [KLEIN 2007].

Auf der Grundlage der Patentanalysen wurden die folgenden Kernaussagen der TRIZ abgeleitet:

- Systeme entwickeln sich in Richtung eines idealen Zustands [KLEIN 2007]
- Widersprüche (vgl. Abschnitt 2.3.2.1) bilden die Grundlage erfinderischer Problemstellungen. Der Schlüssel zur Lösung der Probleme ist die Auflösung des Widerspruchs (Widerspruchsorientierung). [TERNINKO et al. 1998a]

- Technische Systeme entwickeln sich anhand von sich wiederholenden Grundmustern (Evolutionsgesetzen) (vgl. Abschnitt 2.3.2.3)[TERNINKO et al. 1998a]

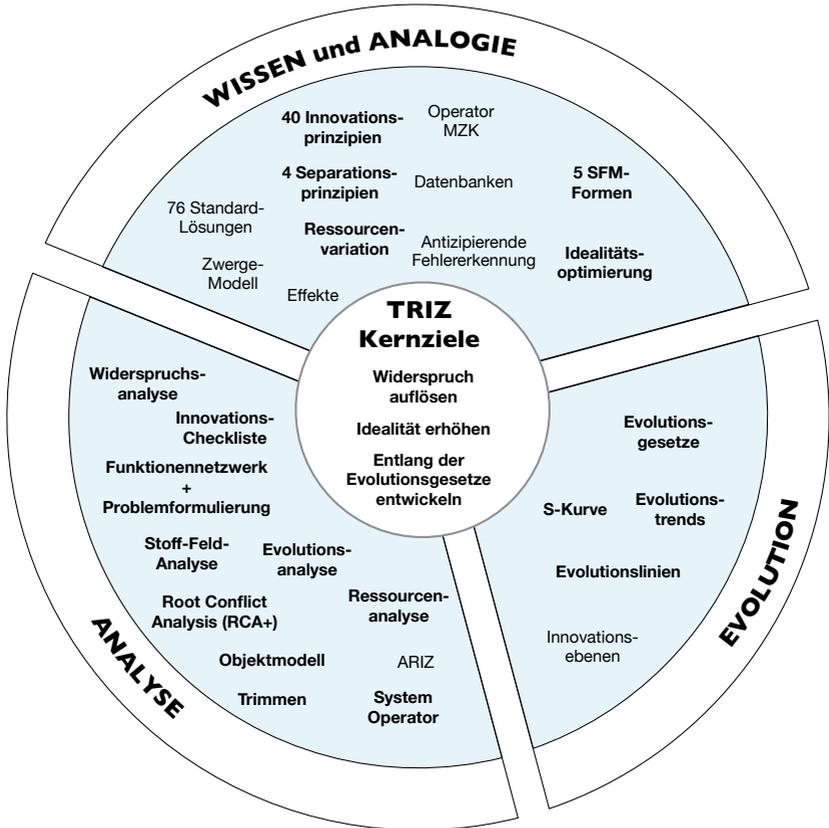


Abb. 2.12: Methodischer Werkzeugkasten der TRIZ (vgl. [GUNDLACH 2006], erweitert um weitere Methoden. Hervorgehobene Methoden werden in dieser Arbeit verwendet.)

Ein wesentliches Merkmal der TRIZ ist die Form der Problemdefinition (Schritte 1 und 2) und der Transformation der Problemdefinition über empirisch ermittelte Lösungsprinzipien (Schritt 3) zu konkreten Lösungsideen (Schritt 4). Die Anwendung

## 2 Grundlagen

der in der TRIZ enthaltenden Werkzeuge folgt im Allgemeinen einem 4-phasigen Problemlösungsmodell (vgl. Abb. 2.11).

Ein zu bearbeitendes spezifisches Problem muss zunächst abstrahiert werden. Auf das abstrahierte Problem werden dann die Lösungsprinzipien der TRIZ-Wissensbasis angewendet. Diese Anwendung liefert abstrakte Lösungsideen, die dann auf das spezifische Problem angewendet werden, um daraus konkrete Lösungsideen zu entwickeln. Dies entspricht im Wesen der WA, die ebenfalls ein Erfassen des IST-Zustands, das Abstrahieren des SOLL-Zustands, das Finden und Konkretisieren von Lösungsideen vorsieht. Die WA fügt zusätzlich als nächsten Schritt die Bewertung der Lösungsideen an.

Zur Umsetzung dieses Problemlösungsmodells bietet die TRIZ einen großen methodischen Werkzeugkasten [GUNDLACH 2006] (vgl. Abb. 2.12). Die Kernelemente der TRIZ zur Weiterentwicklung von Systemen sind die Auflösung von Widersprüchen, das Erhöhen der Idealität und die Entwicklung entlang der Evolutionsgesetze (vgl. Erläuterung in Abschnitt 2.3.2).

Der Bereich *Wissen und Analogie* (zusammengeführt aus [GUNDLACH 2006]) umfasst alle TRIZ-Werkzeuge, die die Wissensbasis der TRIZ und /oder Analogien zur Erarbeitung von Lösungsansätzen nutzen (Erläuterungen vgl. Abschnitt 2.3.4).

Der Bereich der *Evolution* umfasst alle Werkzeuge, mit denen der Evolutionsstand eines Systems eingeschätzt und weiterentwickelt werden kann (Erläuterungen vgl. Abschnitt 2.3.2.3).

Der Bereich der *Analyse* fasst alle Werkzeuge zusammen, die direkt oder indirekt zur Anwendung der Werkzeuge in den Bereichen *Wissen* und *Analogie* oder *Evolution* benötigt werden (Erläuterungen vgl. Abschnitt 2.3.3).

### 2.3.2 Kernelemente der TRIZ

Der folgende Abschnitt werden Widersprüche, Idealität und Evolutionsgesetze vorgestellt. Diese sind fundamentale Konzepte der TRIZ, auf denen viele ihrer Werkzeuge aufbauen und sind daher zum Verständnis notwendig.

#### 2.3.2.1 Widersprüche

Das erste Kernelement der TRIZ sind Widersprüche. Sie ermöglichen eine prägnante Formulierung eines erfinderischen Problems [PANNENBÄCKER 2007]. Widersprüche sind der Kern der Problemanalyse der TRIZ und daher hoch relevant für die Integration in die WA.

In der TRIZ werden drei Formen des Widerspruchs unterschieden [ALTSCHULLER 1984]:

- Administrativer Widerspruch
- Technischer Widerspruch
- Physikalischer Widerspruch

Als Administrativ wird ein Widerspruch bezeichnet, wenn die Notwendigkeit zur Problemlösung bekannt, aber der Weg zur Lösung unbekannt ist. Administrative Widersprüche sind meist sehr offensichtlich. Ihr heuristischer Nutzen ist gering, da keine Hinweise auf eine Richtung zur Lösungssuche gegeben werden. [ALTSCHULLER 1984] Der Technische Widerspruch ist durch zwei gegensinnige Eigenschaften gekennzeichnet [ALTSCHULLER 1984] (vgl. Abb. 2.13). Diese Eigenschaften reagieren invers auf Veränderungen ihrer Gegenüber. Die Verbesserung der einen Eigenschaft geht auf Kosten der zweiten Eigenschaft<sup>19</sup>.

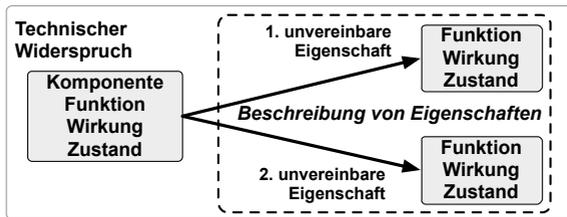


Abb. 2.13: Schema des technischen Widerspruchs (in Anlehnung an [ORLOFF 2006]).

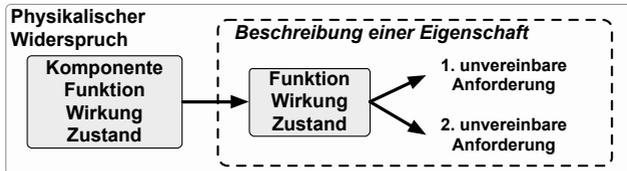


Abb. 2.14: Schema des physikalischen Widerspruchs (in Anlehnung an [ORLOFF 2006])

Der Physikalische Widerspruch ist durch gegensätzliche Anforderungen an dieselbe Eigenschaft gekennzeichnet<sup>20</sup> [GIMPEL et al. 2000] (vgl. Abb. 2.14). Hier wird der Konflikt maximiert [ALTSCHULLER 1984]. Der Schlüssel für hochwertige Problemlösungen liegt in der Auflösung des physikalischen Widerspruchs [TEUFELSDORFER et al. 1998].

Da jeder technische Widerspruch eine physikalische Ursache hat, ist es prinzipiell möglich aus jedem technischen Widerspruch einen physikalischen Widerspruch zu entwickeln [ALTSCHULLER 1998]. Dies geschieht, indem die Charakteristik identifiziert wird, die sowohl das gewünschte, wie auch das ungewünschte Resultat beeinflusst [TERNINKO et al. 1998a].

<sup>19</sup>Höhere Leistung eines Autos geht einher mit höherem Kraftstoffverbrauch [TERNINKO et al. 1998a]

<sup>20</sup>Ein Gegenstand soll heiß sein, soll aber auch kalt sein [TERNINKO et al. 1998a]

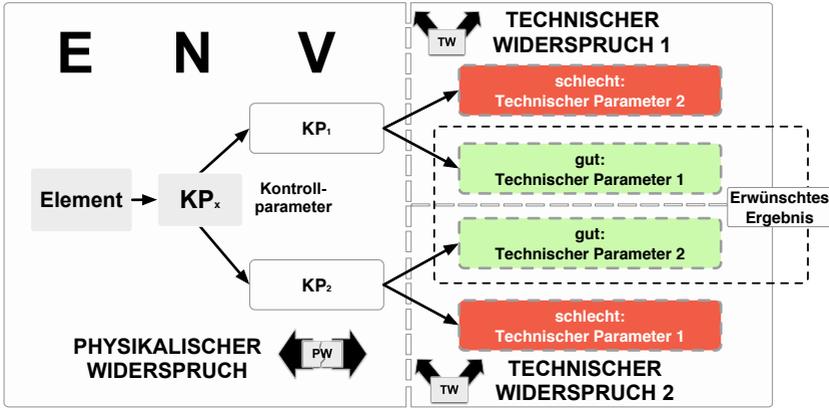


Abb. 2.15: ENV-Modell der OTSM-TRIZ (vgl. u.a.[CASCINI et al. 2009])

In der OTSM-TRIZ<sup>21</sup> wurde dieser Umstand zur Weiterentwicklung des Widerspruchsmodells genutzt.

OTSM verallgemeinert den technischen Widerspruch zum Systemwiderspruch [DUBOIS et al. 2009]. Die Verbesserung eines Technischen Parameters führt zur Verschlechterung des Zweiten (vgl. Abb. 2.15). Erwünschtes Ergebnis (vgl. Kasten rechts in Abb. 2.15) ist aber mit der Auflösung des Technischen Widerspruchs befriedigende Ausprägungen für beide Technischen Parameter zu erhalten.

Der physikalische Widerspruch wird zum Parameterwiderspruch, ein Kontrollparameter<sup>22</sup> soll wie beim physikalischen Widerspruch zwei gegensätzliche Zustände einnehmen [KHOMENKO et al. 2007a]<sup>23</sup>.

Das Widerspruchsmodell der OTSM vereint beide Widerspruchsformen im ENV-Modell<sup>24</sup> (vgl. Abb. 2.15). Das ENV-Modell hilft Elemente einer Problemsituation zu beschreiben und dient in der OTSM als Basis der Beschreibung von Widersprüchen [COSER et al. 2008]. Das ENV-Modell formalisiert die Beschreibung der Widersprüche [CASCINI et al. 2009] und erleichtert damit deren Formulierung<sup>25</sup>. Es ist daher in den Kapiteln 4 und 5 die bevorzugte Darstellungsform für Widersprüche.

<sup>21</sup>OTSM-TRIZ: Theorie des kraftvollen Denkens. Noch von Altschuller genehmigte, von Nikolai Khomenko maßgeblich getriebene Weiterentwicklung der TRIZ zur Handhabung komplexer bereichsübergreifender Probleme [CASCINI et al. 2009]

<sup>22</sup>Durch den Entwickler beeinflussbarer Parameter [ZANNI-MERK et al. 2009]

<sup>23</sup>In dieser Arbeit werden die Begriffe Systemwiderspruch und Technischer Widerspruch sowie Parameterwiderspruch und Physikalischer Widerspruch synonym gebraucht.

<sup>24</sup>E-N-V : Element - Name - Value[COSER et al. 2008]

<sup>25</sup>Aus Sicht des Autors ist die ENV-Formulierung vorzuziehen, da die Anwendung zu einer besseren Definition des betrachteten Widerspruchs erzieht.

### 2.3.2.2 Idealität

Das zweite Kernelement der TRIZ ist die Idealität. Nach [KOLTZE et al. 2011] kann Idealität (vgl. Gleichungen 2.2 bis 2.5) in folgenden Formen definiert werden.

$$\text{Idealität} = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}} \quad (2.2)$$

$$= \frac{\text{Nutzen}}{\text{Kosten} + \text{Schäden}} \quad (2.3)$$

$$= \frac{\sum \text{Nützliche Funktionen bzw. Effekte}}{\sum \text{Kosten} + \sum \text{Schädliche Funktionen bzw. Effekte}} \quad (2.4)$$

$$= \frac{\sum \text{Nützliche Funktionen} - \sum \text{Schädliche Funktionen}}{\sum \text{Kosten}} \quad (2.5)$$

Damit weist der Idealitätsbegriff der TRIZ große Parallelen mit dem Wertbegriff der WA auf (vgl. Abschnitt 2.2.2). Da die Anwendung jedes der vorgestellten TRIZ-Werkzeuge unmittelbar oder mittelbar der Steigerung der Idealität dient, dienen diese auch der Erhöhung des Wertes.

### 2.3.2.3 Evolutionsgesetze

Eine nachhaltige Entwicklung von technischen Systemen ist aus Sicht der TRIZ ohne die Kenntnisse von Evolutionsgesetzen und -trends nicht möglich. Diese bilden das dritte Kernkonzept der TRIZ. Der folgende Abschnitt erläutert die notwendigen Grundlagen und Begriffe zur Integration der Evolutionsanalyse in die WA (vgl. Abschnitt 4.2).

Die zeitliche Veränderung von Hauptparametern (Kapazität, Leistung etc.) ist die Grundlage der technologischen Entwicklung [ALTSCHULLER 1998]. In der TRIZ wird die Entwicklung eines technischen Systems anhand der S-Kurve (vgl. Abb. 2.16) visualisiert.

In der Phase der Kindheit ist die Entwicklung des Systems sehr langsam [ALTSCHULLER et al. 1983]. In der Phase des Wachstums wird das System technisch deutlich weiterentwickelt und massenhaft angewendet [ALTSCHULLER et al. 1983]. In der Sättigungsphase verlangsamt sich die technische Entwicklung, der Höhepunkt der technischen Leistungsfähigkeit (Punkt  $\gamma$ ) wird erreicht [ALTSCHULLER et al. 1983]. Im Abschnitt Degeneration bleibt die technische Leistungsfähigkeit entweder konstant [ALTSCHULLER et al. 1983], oder seine Leistungsfähigkeit nimmt im Kontext eines sich weiterentwickelnden Umfelds ab. Der Übergang zu einer neuen Technologie kann jederzeit erfolgen. Dies geschieht sinnvollerweise jedoch erst ab einem Punkt, an dem ein Übertreffen der technologischen Leistungsfähigkeit des bestehenden Systems absehbar ist.

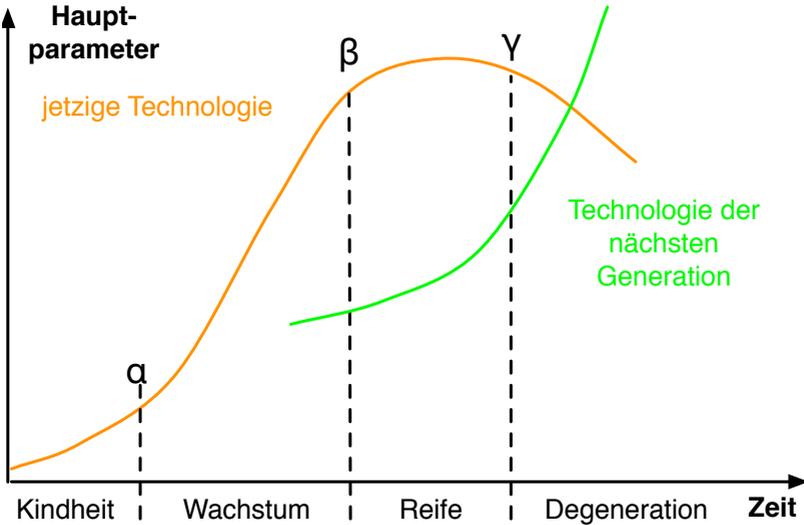


Abb. 2.16: S-Kurve der Technologieentwicklung in der TRIZ (in Anlehnung an [ALTSCHULLER 1984],[ALTSCHULLER 1998])

Die Lage der Wendepunkte  $\alpha$ ,  $\beta$  und  $\gamma$  charakterisiert die grundlegende Form der S-Kurve [ALTSCHULLER 1998]. Weitere Verfahren zur Positionsbestimmung einer Technologie auf dessen S-Kurve thematisieren [LITTLE 1994] und [GRAWATSCH 2005]<sup>26</sup>.

Zur Beschreibung der evolutionären Entwicklung werden in der TRIZ Evolutionsgesetze, Evolutionstrends und Evolutionslinien unterschieden [KOLTZE et al. 2011]:

1. Ein *Evolutionsgesetz* beschreibt übergeordnete Bedingungen der Lebensfähigkeit und Weiterentwicklung von Systemen.
2. Ein *Evolutionstrend* beschreibt „unterschiedliche Formen der Weiterentwicklung technischer Systeme“ und basiert auf den Evolutionsgesetzen.
3. Eine *Evolutionlinie* detailliert einen Evolutionstrend in Form einer Stufung von Evolutionsschritten.

Eine Vielzahl verschiedener Ansätze macht die Darstellung aller drei oben genannten Elemente uneinheitlich und für TRIZ-Anfänger schwer erfassbar [KOLTZE et al. 2011]. Ein vollständiges, abgestimmtes System existiert nicht [PANNENBÄCKER 2007]. In den

<sup>26</sup>Die Wendepunkte lassen sich durch das simultane Plotten der Patentanzahl zur betreffenden Technologie, dem Niveau der in dieser Technologie aufgegangenen Erfindungen und die Durchschnittseffektivität einer Erfindung über der Zeit bestimmen (vgl. [ALTSCHULLER 1998])

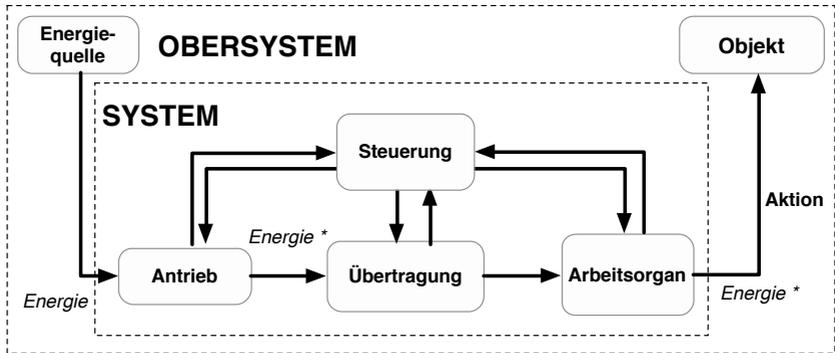


Abb. 2.17: Bestandteile eines technischen Systems in der TRIZ (in Anlehnung an [CASCINI et al. 2009])

Grundlagen werden daher nur die 8 Evolutionsgesetze von Altschuller (vgl. [ALTSCHULLER 1998]) vorgestellt. Die Arbeiten weiterer Autoren zu Evolutionsgesetzen, -trends und -linien werden in Kapitel 4 (vgl. [LINDE et al. 1993], [TERNINKO et al. 1998a], [PETROV 2002], [ORLOFF 2006], [FEY et al. 2005], [LIVOTOV et al. 2007], [MANN 2002] und [KOLTZE et al. 2011]) zur Integration in die WA aufgegriffen.

Die von Altschuller entwickelten Gesetze können zu verschiedenen Zwecken genutzt werden [KOLTZE et al. 2011]:

1. Technische Systeme gezielt in Richtung einer höheren Idealität zu entwickeln.
2. Aufbau eines Patentschirms durch Prognose offensichtlicher Weiterentwicklungen des betrachteten Systems.
3. Bestimmung des Reifegrades von technischen Systemen, um deren Auswahl zu unterstützen.
4. Einsatz zur Kostenreduzierung durch Entwicklung zu höherer Idealität.

Zur Anwendung in der Praxis sind die Evolutionsgesetze aber recht abstrakt. Eine Abschätzung der weiteren evolutionären Entwicklung sollte daher auf Basis von Evolutionstrends und -linien erfolgen [TERNINKO et al. 1998a].

Eine Gegenüberstellung und Zusammenführung verschiedener Ansätze für Evolutionstrends wird in Abschnitt 4.2 dargelegt. Die Anwendung der Evolutionsanalyse innerhalb der WA wird in den Abschnitten 5.1.2.6 und 5.2.3 beschrieben.

### 2.3.3 Analyse

In diesem Abschnitt werden die für die Integration in die WA wesentlichen Analysewerkzeuge der TRIZ vorgestellt (vgl. fett markierte Methoden im Bereich Analyse

## 2 Grundlagen

in Abb. 2.12).

### 2.3.3.1 Root Conflict Analysis (RCA+)

Die Root Conflict Analysis (RCA+) ist ein Werkzeug, um die Komplexität der Behandlung von erfinderischen Problemen für den Anwender zu reduzieren. Dazu werden die den Problemen zugrunde liegenden Widersprüche und deren Verknüpfungen untereinander analysiert. [SOUCHKOV 2011]

Sie wurde von Valerie Souchkov entwickelt und erstmalig auf der ETRIA-Konferenz 2005 in Graz vorgestellt [SOUCHKOV 2005]. Sie ist damit eine relativ junge Addition zur TRIZ [SOUCHKOV 2011]. Probleme werden in diesem Werkzeug als Kausalketten von Ursachen und Effekten dargestellt. Identifizierte Widersprüche können dann mit TRIZ-Techniken gelöst werden [SOUCHKOV 2005].

In der Literatur existieren einige Ansätze zur Analyse von zugrunde liegenden Problemen. [SOUCHKOV 2005]:

- Das Ishikawa-Diagramm [ISHIKAWA 1982]
- Die Root Cause Analysis [ABSG 2005]
- Die Methode der 5 Warum [APTE et al. 2001]
- Current Reality Trees in der Theory of Constraints [GOLDRATT 1999].

Für [SOUCHKOV 2005] liegen die wesentlichen Nachteile dieser Methoden in fehlenden Mitteln zur Lösung von Problemen und der Notwendigkeit, sehr aufwändige Analysen zur Ermittlung von Problemursachen vorauszusetzen.

TRIZ hingegen liefert zuverlässige Mittel um erfinderische Probleme zu lösen. TRIZ fehlte jedoch eine strukturierte Methode zur Identifikation von Problemen. Dies ist insbesondere für Anfänger schwierig. Die Anwendung des TRIZ-Objektmodells (vgl. Abschnitt 2.3.3.6) ist gut geeignet, um physische Verbindungen zwischen Elementen aufzudecken. Eine Aufdeckung von Ursachen für Probleme ist jedoch nicht möglich. [SOUCHKOV 2005]

Die Root Conflict Analysis wurde auf der Basis von drei Methoden entwickelt [SOUCHKOV 2011]:

1. Ursache-Wirkungs-Ketten, hervorgegangen aus der klassischen Root-Cause-Analysis
2. Theory of Constraints
3. TRIZ-Definition von administrativen, technischen und physikalischen Widersprüchen für erfinderische Problemlösung

Die Nomenklatur der Root Conflict Analysis ist in Abb. 2.18 dargestellt. Die Anzahl der Schritte zur Durchführung der RCA+ unterscheidet sich je nach Quelle. [SOUCHKOV 2011] unterscheidet 9 distinkte Schritte, in [KOLTZE et al. 2011] werden 7 Schritte genannt. Die auszuführenden Aktivitäten unterscheiden sich inhaltlich nicht (die Schritte 1–5 sind identisch). An dieser Stelle werden die 7 Schritte von KOLTZE vorgestellt.

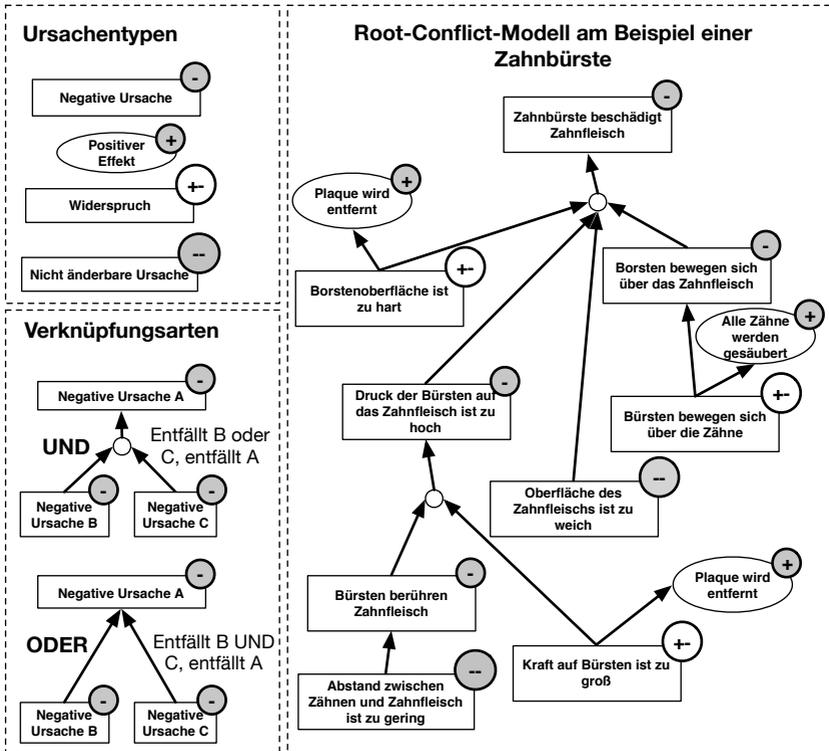


Abb. 2.18: Nomenklatur der Root Conflict Analysis (Darstellungen in Anlehnung an [KOLTZE et al. 2011], [SOUCHKOV 2011] und [VDI-GPP 2016])

1. Schädlichen Effekt notieren - Das zu analysierende Problem wird als schädlicher Effekt aufgeschrieben.
2. Ursache zuordnen - Für das zu analysierende Problem werden weitere Ursachen formuliert und zugeordnet.
3. Mehrere Ursachen bündeln - Die Beziehungen der Ursachen untereinander werden analysiert.
4. Bewertung der Wirkung der Ursachen - Die Ursache wird in einer der vier vorhandenen Kategorien (- "Negative Ursache", + "Positiver Effekt", +- "Widerspruch" und -- "Elementar negativ") eingeteilt.

## 2 Grundlagen

5. Tiefere Ursachen ermitteln und erneut bündeln - Fortführung der Analyse für alle Zweige des Diagramms.
6. Auswahl des zu lösenden Problems - Auswahl zu lösender Ursachen oder Widersprüche.
7. Nutzung von TRIZ-Methoden zur Widerspruchs-beseitigung - Die klassischen TRIZ-Techniken zur Eliminierung von Widersprüchen werden eingesetzt.

Bei der Anwendung der RCA+ im Team ergibt sich der gleiche Effekt wie bei der Erstellung von Funktionenanalysen. Die gemeinsame Erstellung fördert das Verständnis der Problemzusammenhänge im Team und es erleichtert eine Konsensbildung unter Experten verschiedener Fachrichtungen.[KOLTZE et al. 2011]

In [SOUCHKOV 2011] wird unterstrichen, dass die Anwendung von RCA+ nicht allein auf technische Probleme beschränkt ist. Für SOUCHKOV sind alle Bereiche, in denen Konflikte (Widersprüche) auftreten, zur Anwendung geeignet. SOUCHKOV selbst demonstriert in [SOUCHKOV et al. 2006] die Anwendung auf ein Managementproblem.

### 2.3.3.2 System Operator

Viele Methoden nutzen das Instrument der Unterteilung, um die Komplexität von Problemen besser zu handhaben [MANN 2011]. Der Einsatz des *System Operators* <sup>27</sup> innerhalb der TRIZ wurde erstmalig in [ALTSCHULLER 1984]<sup>28</sup> demonstriert<sup>29</sup>.

Der *System Operator* ist ein zentrales Werkzeug der TRIZ, das in weiten Bereichen der Arbeit mit TRIZ eingesetzt werden kann [MANN 2011]. Er ermöglicht dem Problemlöser durch Schaffung eines parametrischen Raumes die Elemente eines Problems auf verschiedenen Ebenen (Hierarchie), in Bezug auf verschiedene Zwecke (Anti-System) und im Kontext verschiedener Zeitebenen darzustellen und zu analysieren [KHOMENKO et al. 2007b]. Dabei hilft der *System Operator* dem Anwender seine psychologische Trägheit zu überwinden [NAKAGAWA 1999][MANN 2011]. Eine System-Gesamtsicht wird gewonnen [LUGER 2005]. Die Beziehungen zur Außenwelt und zukünftigen Entwicklungen werden in Betracht gezogen [SOUCHKOV 2006]. Informationen werden in einer Form dargestellt, die die Kommunikation dieser erleichtert [GADD 2011].

Im klassischen *System Operator* (vgl. Abb. 2.19) sind drei Dimensionen vorgesehen [CASCINI et al. 2009]:

- *Dimension der Hierarchie* - Systeme können grundsätzlich in seine Teile (Subsysteme) und seine Umgebung (Supersysteme) zerlegt werden.
- *Dimension der Zeit* - Ausgehend von der Gegenwart gibt es immer eine Vergangenheit und eine Zukunft, egal welches Zeitintervall von Interesse ist.

---

<sup>27</sup>Auch bekannt unter den Bezeichnungen 9-Windows, 9 Fenster-Methode

<sup>28</sup>Dort als „Structure of Talented Thought“ bezeichnet

<sup>29</sup>Laut [MANN 2011] ist nicht klar, ob der \*System Operator\* in der TRIZ seinen Ursprung hat.

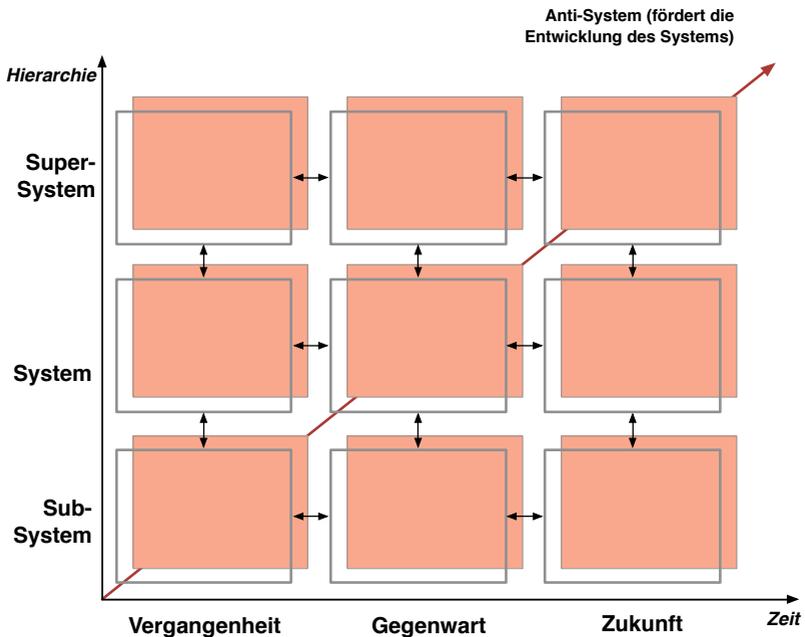


Abb. 2.19: Klassische Struktur des *System Operators* [ALTSCHULLER 1984]

- *Dimension des Anti-Systems* - Zur Betrachtung einer Eigenschaft sollte auch immer die gegensätzliche Ausprägung dieser Eigenschaft gehören. Die Kombination aller gegensätzlichen Eigenschaften ist ein Anti-System zum bestehenden System. Das Nachdenken über Anti-Systeme kann zu neuen Lösungsansätzen anregen.

Laut [ALTSCHULLER 1984] betrachten talentierte Erfinder bei ihren Ansätzen immer alle drei Dimensionen.

Die Anwendung des *System Operators* ist nicht auf die klassische Darstellungsform beschränkt. Drei Hierarchiestufen können in weitere unterteilt werden, mehrere Zeitebenen können interessant sein [CASCINI et al. 2009] und eine Symmetrie des *System Operators* ist nicht erforderlich [MANN 2009]. Der *System Operator* ist in allen Dimensionen erweiter- oder reduzierbar, solange es dem gewünschten Zweck dienlich ist [GRAWATSCH 2005].

## 2 Grundlagen

	<b>Analyseschritt</b>		<b>Detaillierungsschritt</b>
1.	Informationen zum System	1.1	Systembezeichnung und -beschreibung
		1.2	Primär nützliche Funktion
		1.3	Systemstruktur, Komponenten, Obersystem
		1.4	Arbeitsweise des Systems und seiner Komponenten
2.	Informationen zum Problem	2.1	Beschreibung der Problemstellung
		2.2	Angestrebte Verbesserung des Systems
		2.3	Mechanismen, die das Problem verursachen: Signifikante Komponenten
		2.4	Entwicklungsgeschichte des Problems
3.	Formulierung der Idealität		Formulierung des idealen Endresultats als ultimative Zielsetzung
4.	Historie vorheriger Lösungsversuche		Analyse bisher versuchter Lösungsansätze
5.	Analoge Probleme und Lösungen		Analyse gleichartiger Probleme und Lösungen aus anderen Anwendungs- / Fachgebieten
6.	Ressourcen		Auflistung der zur Problemlösung verfügbaren Ressourcen
7.	Veränderbarkeit des Systems		Auflistung zugelassener und verbotener Änderungen am betreffenden System
8.	Lastenheft und Auswahlkriterien		Festlegung der Anforderungen an die zu entwickelnde Lösung

Abb. 2.20: Kurzbeschreibung der Innovationscheckliste (in Anlehnung an [KOLTZE et al. 2011]).

### 2.3.3.3 Innovationscheckliste

Auf Basis der Annahme, dass eine gut formulierte Aufgabe bereits die halbe Lösung ist [ZOBEL 2007b], wurde die Innovationscheckliste an der Kishniev-TRIZ-Schule in Moldawien entwickelt [TERNINKO et al. 1998a]. Die Innovationscheckliste gehört nicht

zu den klassischen TRIZ-Werkzeugen, sie hat sich jedoch zur Aufgabenformulierung und Problemeingrenzung bewährt [KOLTZE et al. 2011].

Aspekte der vorliegenden Problemsituation können mit ihr beleuchtet werden. Die Innovationscheckliste beinhaltet dabei Teile der ARIZ-77 (vgl. [ZOBEL 2007b]) zur Problemdefinition und weitere Fragen ähnlich einer Anforderungsliste [KOLTZE et al. 2011]. Entscheidend beim Füllen der Innovationscheckliste ist die Beschränkung auf eine einfache, leicht verständliche Sprache. Durch Abarbeiten der Innovationscheckliste wird das Problemverständnis erhöht und das System aus anderen Perspektiven betrachtet [TERNINKO et al. 1998a].

Für die Innovationscheckliste werden von verschiedenen Autoren verschiedene Anzahlen von Schritten genannt. TERNINKO und ZOBEL verwenden sieben Analyseschritte, KOLTZE sieht 8 Analyseschritte vor. In dieser Arbeit wird Bezug auf die 8 Analyseschritte nach KOLTZE genommen (vgl. Abb. 2.20), da diese detaillierter ausgearbeitet sind und zudem unterstützende Hilfsfragen enthalten.

### 2.3.3.4 Stoff-Feld-Analyse

Die Stoff-Feld-Systematik wird in der TRIZ zur Verbesserung der Funktionalität eines Systems eingesetzt [KOLTZE et al. 2011]. Sie dient dabei der Untersuchung technischer oder technisch-wirtschaftlicher Probleme [TERNINKO et al. 1998b].

Aus der Perspektive der Stoff-Feld-Analyse werden Funktionen durch die Kombination von Stoffen und Feldern ausgeführt [ALTSCHULLER 1984]. Stoff-Feld-Modelle werden in der TRIZ als die maximal mögliche Abstraktion der zwischen den Elementen eines Systems bestimmenden physikalischen Wechselwirkungen verstanden [ZOBEL 2007b].

Ein Stoff-Feld-Modell besteht aus den drei Elementen Stoff, Feld und Wechselwirkung [ALTSCHULLER 1998] (vgl. Abb. 2.21). Ein Stoff ist ein Objekt beliebiger Komplexität, das einfache Dinge oder ein komplexes System einschließt [TERNINKO et al. 1998a]. Im Gegensatz zum Objektmodell werden explizit auch Stoffe berücksichtigt, die nicht Baugruppen oder Bauteile sind [PANNENBÄCKER 2007].

Als Feld wird das Mittel oder die Möglichkeit zur Verwirklichung einer Aktion bezeichnet [TERNINKO et al. 1998a]. Ein Feld kann in allen möglichen Formen technischer Felder (mechanische, thermische, akustische, chemische, elektrische, magnetische) und deren Kombinationen auftreten [ALTSCHULLER 1998]. Zusätzlich können noch biologische, optische, olfaktorische (Geruchs-) und Kern-Felder<sup>30</sup> modelliert werden [MANN 2002]. Im Gegensatz zur Funktionenanalyse werden auch Felder berücksichtigt, die nicht Wirkungen des technischen Systems sind [PANNENBÄCKER 2007].

Als Wechselwirkung wird eine universelle Form der Verbindung von Stoffen bezeichnet, die sich in ihrer wechselseitigen Veränderung äußert [ALTSCHULLER 1998]. Es werden sechs Formen von Wechselwirkungen unterschieden (vgl. Abb. 2.21).

<sup>30</sup>Schwache und starke bindungsenergetische Wechselwirkungen auf atomarer Ebene [CASCINI et al. 2009]

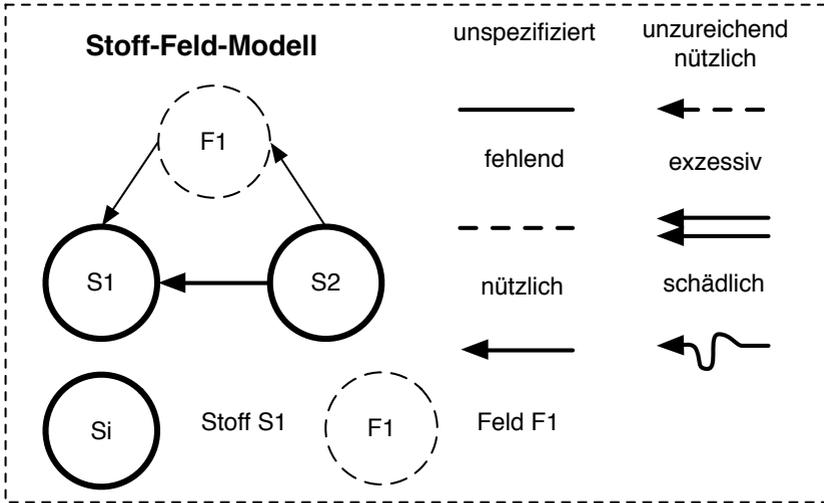


Abb. 2.21: Nomenklatur einer Stoff-Feld-Triade (zusammengeführt aus [TERNINKO et al. 1998a] [MANN 2002][CASCINI et al. 2009]).

In der TRIZ symbolisiert die Stoff-Feld-Triade ein funktionsfähiges technisches Minimalssystem. Bei Vorhandensein mehrerer Stoffe können die Stoff-Feld-Triaden auch verbunden werden. [ALTSCHULLER 1998] [TERNINKO et al. 1998b]

[CASCINI et al. 2009] nennt folgende Schrittfolge zur Aufstellung von Stoff-Feld-Systemen.

1. Festlegung der sich gegenseitig beeinflussenden Stoffe. Dabei wird zwischen dem Werkzeug<sup>31</sup> und dem Objekt<sup>32</sup> unterschieden.<sup>33, 34</sup>
2. Festlegung der Art des Feldes.
3. Festlegung des Bewertungsparameters und des Objekts, das durch das Werkzeug und dessen Feld beeinflusst wird.
4. Analyse des Einflusses des Feldes auf den Bewertungsparameter - Der Einfluss ist anhand der in Abb. 2.21 dargestellten Nomenklatur zu klassifizieren.

<sup>31</sup>Der Stoff, von dem die Aktion ausgeht (der Funktionsträger)

<sup>32</sup>Der Stoff, der beeinflusst wird. Das Zielobjekt der Aktion

<sup>33</sup>Die Stoffe werden in einer vorher festgelegten kritischen Zone gesucht (vgl. [MÜLLER 2006])

<sup>34</sup>Diskussion zur Festlegung von Werkzeug und Objekt auch vgl. [HERB et al. 2000]

Problembehaftete Stoff-Feld-Modelle können mit den Werkzeugen der Stoff-Feld-Modifikation<sup>35</sup> (vgl. Abschnitt 2.3.4.1) angegangen werden.

Die Stoff-Feld-Analyse ist eines der Werkzeuge der TRIZ, die von ungeübten Anfängern oft als schwierig empfunden werden [PANNENBÄCKER 2007]. Zur Vereinfachung der Anwendung von Stoff-Feld-Systemen sollte daher bevorzugt bereits ein formulierter Widerspruch oder eine Problemformulierung vorliegen [TERNINKO et al. 1998a].

### 2.3.3.5 Funktionennetzwerk

Für die in dieser Arbeit als Funktionennetzwerk bezeichnete Funktionenstruktur existieren in der Literatur unterschiedliche Benennungen. PANNENBÄCKER bezeichnet die Struktur generalistisch als Funktionsanalyse<sup>36</sup> [PANNENBÄCKER 2007]. Dieser Begriff ist aus Sicht des Autors in Anbetracht des in dieser Arbeit verwendeten Begriffs Funktionsanalyse in der WA und der dort untergeordneten Funktionenstrukturen Funktionenbaum und FAST-Diagramm missverständlich. LINDEMANN wählt den Begriff „relationsorientierte Funktionsmodellierung“ [LINDEMANN 2009a], an dem sich der gewählte Begriff „Funktionennetzwerk“ orientiert. Das Funktionennetzwerk ist kein Bestandteil der klassischen TRIZ [WENZKE 2003]. Es wurde von der Fa. Ideation International im Rahmen der Weiterentwicklung von TRIZ als *Function Analysis* entwickelt und in die Software *Innovation Workbench* integriert [IDEATION INTERNATIONAL INC. 2005].

Im Funktionennetzwerk werden Funktionen in Form von Substantiv und aktivem Verb benannt [HERB et al. 2000]. Die Funktionenbenennung ist damit identisch zur WA. Im Funktionennetzwerk wird allerdings der Wirkungsbegriff der WA (Wirkung = Funktion [DIN 1991]) um die zwischen den Funktionen bestehenden Einflüsse erweitert [WENZKE 2003].

In einem Funktionennetzwerk werden nützliche und schädliche Funktionen unterscheiden. Die Funktionen werden durch Linien mit verschiedenen Endsymbolen verknüpft (vgl. Abb. 2.22). [TERNINKO et al. 1998a]

Ein Funktionennetzwerk kann in sieben Schritten aufgestellt und ausgewertet werden (Zusammenstellung kombiniert in [WIGGER et al. 2009] aus [MÖHRLE et al. 2006] und [LINDEMANN 2009b]):

1. Benennung der primär nützlichen Funktion.
2. Benennung der primär schädlichen Funktion.
3. Modellierungsfragen für nützliche Funktionen an primär nützliche Funktion stellen, weitere Funktionen und Einflüsse ergänzen.

<sup>35</sup>In der klassischen TRIZ wird der Begriff Stoff-Feld-Analyse als umfassend für das Analysieren von Stoff-Feld-Systemen und deren Verbesserung mit Hilfe der 76 Standardlösungen gebraucht [MÜLLER 2006]. [PANNENBÄCKER 2007] führte die Aufteilung in Stoff-Feld-Analyse und Stoff-Feld-Modulation ein. Diese werden vom Autor leicht abgewandelt übernommen, da die Aufteilung eine Klassifikation der Stoff-Feld-Analyse im Kontext aller anderen TRIZ-Werkzeuge vereinfacht.

<sup>36</sup>In [TERNINKO et al. 1998a] wird der gesamte Prozess des Aufstellens und Auswertens als Problemformulierung bezeichnet.

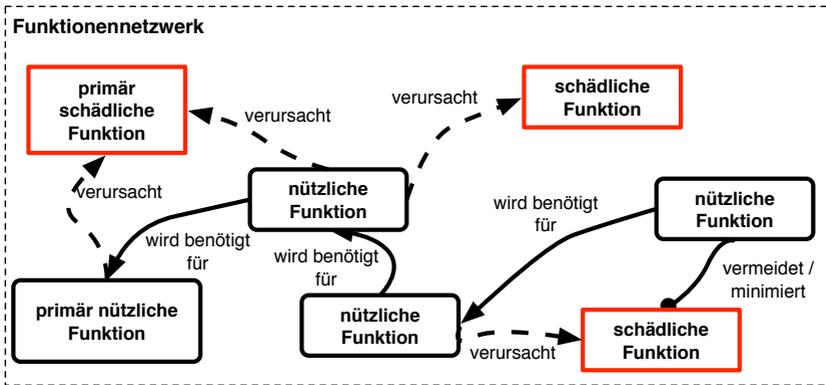


Abb. 2.22: Struktur des Funktionennetzwerks (vgl. [TERNINKO et al. 1998a] [LINDEMANN 2009b])

4. Modellierungsfragen für schädliche Funktionen an primär schädliche Funktionen stellen, weitere Funktionen und Einflüsse ergänzen.
5. Neu hinzugefügten Funktionen analog zu Schritt 3 (nützliche Funktion) oder 4 (schädliche Funktion) analysieren und weitere Funktionen und deren Einflüsse ergänzen.
6. Überprüfung der Funktionenstruktur auf Vollständigkeit.
7. Identifikation von Widersprüchen und Formulierung von Problemen.

Die Unterscheidung in nützliche und schädliche Funktionen und die Form der Modellierung im Funktionennetzwerk erlaubt gegenüber dem Funktionenbaum und FAST eine deutlichere Modellierung von Problemen und eröffnet die Möglichkeit Widersprüche aus der Struktur zu formulieren. Dies macht das Funktionennetzwerk so nutzbringend, dass es als Methodenpass in Kapitel 5 aufgenommen wird.

### 2.3.3.6 Objektmodellierung

Die Objektmodellierung behandelt das Strukturieren von Objekten, also Komponenten und Wirkungen eines Systems<sup>37</sup>. Ziel ist die Analyse der Interaktionen zwischen den Komponenten, nicht explizit der Funktionen selbst [WENZKE 2003]. Damit liegt der Fokus der Objektmodellierung auf einer sehr am IST-Zustand orientierten Analyse. Der Verzicht auf Funktionen erleichtert das Erfassen der konkreten Wirkstrukturen zwischen Komponenten, daher ist die Objektmodellierung insbesondere für Analysen bzgl. Funktionenintegration, Reduktion der Anzahl von Schnittstellen etc. geeignet.

<sup>37</sup>Bsp.: Ein Zahnrad wäre ein Objekt des Systems *Getriebe*

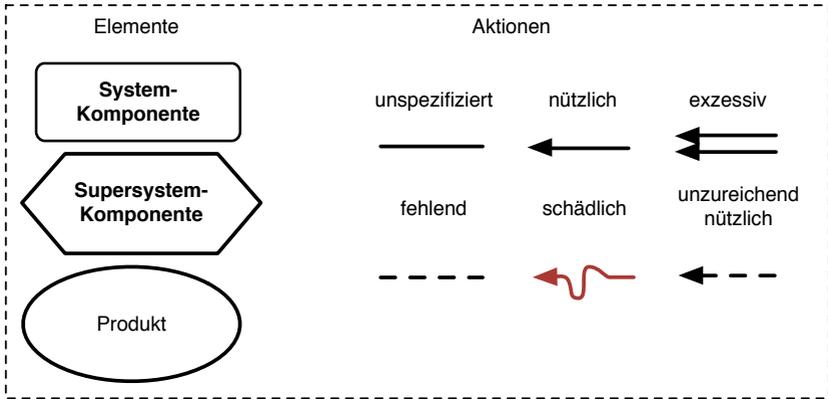


Abb. 2.23: Nomenklatur des Objektmodells (vgl. [WENZKE 2003], [KOLTZE et al. 2011])

Sie bietet jedoch nicht die Expressivität moderner Modellierungssprachen wie SysML (vgl. z.B. [FRIEDENTHAL et al. 2008]) oder Modellierungssystematiken wie CONSENS (vgl. z.B. [GAUSEMEIER et al. 2014a]).

Im Rahmen der MATRIZ<sup>38</sup> wird das Objektmodell als TRIZ-Funktionsanalyse bezeichnet. Aus den oben genannten Gründen ist der Begriff Objektmodell oder Objektanalyse aber der in der deutschsprachigen Literatur gängige Begriff [HERB et al. 2000] [PANNENBÄCKER 2007].

Die Objektmodellierung hat zwei prinzipielle Zwecke [KOLTZE et al. 2011].

1. Probleme erkennen - Dies geschieht anhand der Modellierung der Interaktionen im Objektmodell.
2. Komponenten trimmen - Komponenten entfallen lassen bei gleichzeitigem Bewahren von Funktionalität, Qualität und Leistung.

Die Nomenklatur der Objektmodellierung ist in Abb. 2.23 dargestellt. Zur Erstellung eines Objektmodells (Struktur vgl. Abb. 2.24) sind 5 Schritte notwendig [INVENTION MACHINE 1998][KOLTZE et al. 2011]:

1. Ermittlung der Liste der Komponenten - Die Liste umfasst sowohl Objekte/Elemente des Systems wie auch Elemente des Supersystems, die mit dem System interagieren.
2. Feststellung der Interaktionen zwischen Komponenten.

<sup>38</sup>Internationale TRIZ Vereinigung ([www.matriz.org](http://www.matriz.org))

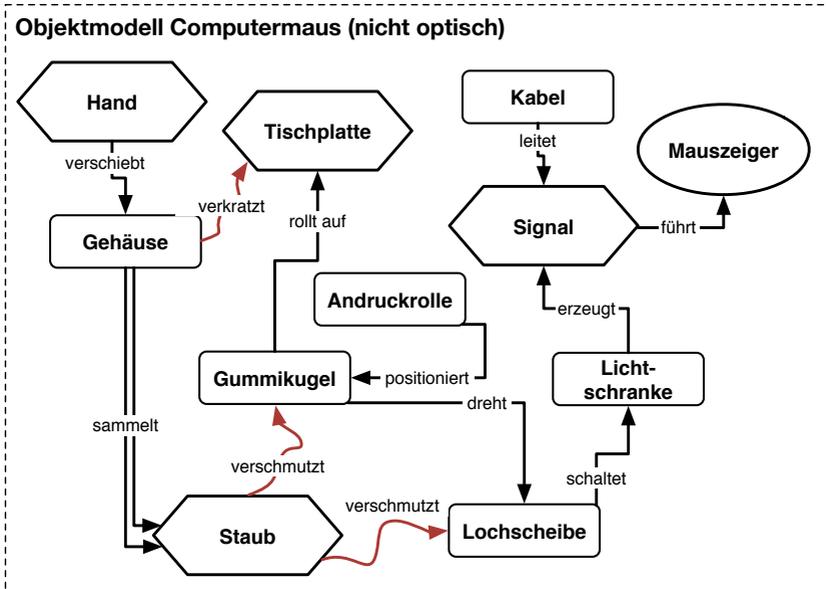


Abb. 2.24: Struktur des Objektmodells am Bsp. Computermaus (vgl. [KOLTZE et al. 2011])

3. Auf Grundlage der ermittelten Interaktionen werden die Aktionen zwischen den Komponenten festgelegt.
4. Festlegung der Richtung der Aktionen (Welche Komponente wirkt auf welche andere Komponente).
5. Qualität der Aktion einschätzen (nützlich, schädlich, unzureichend, exzessiv).

Im Objektmodell können Problemformulierungen aus der Struktur abgeleitet werden. Diese werden in Kapitel 5 vorgestellt.

Übergeordnetes Ziel des Objektmodells ist die Wertsteigerung [WENZKE 2003]. Das wesentliche Werkzeug dafür ist das Trimmen.

### 2.3.3.7 Trimmen

Ziel des Trimmens ist die Wertsteigerung durch Eliminieren von Objekten bei gleichzeitiger Bewahrung der Funktionalität [KOLTZE et al. 2011]. Es ist dabei eines der konzeptionell einfacheren Werkzeuge der TRIZ [MANN 2009]. Die Wertsteigerung durch

das Trimmen erhöht die Idealität eines Systems [WENZKE 2003] erhöht damit auch im Sinne der WA dessen Wert [INVENTION MACHINE 1998].

Der Funktionsrang wird über die relative Position der Komponenten innerhalb des Objektmodells bestimmt. Komponenten mit einem niedrigen Funktionsrang sollten getrimmt werden. Der Problemrang einer Komponente ist die Summe aller mit dieser Komponente verbundenen schädlichen, exzessiven oder unzureichend nützlichen Aktionen. [INVENTION MACHINE 2000]<sup>39</sup>. Komponenten mit einem hohen Problemrang sollten primär getrimmt werden. Hohe Kosten lassen eine Komponente als lohnenswert für das Trimmen erscheinen. [MANN 2002]

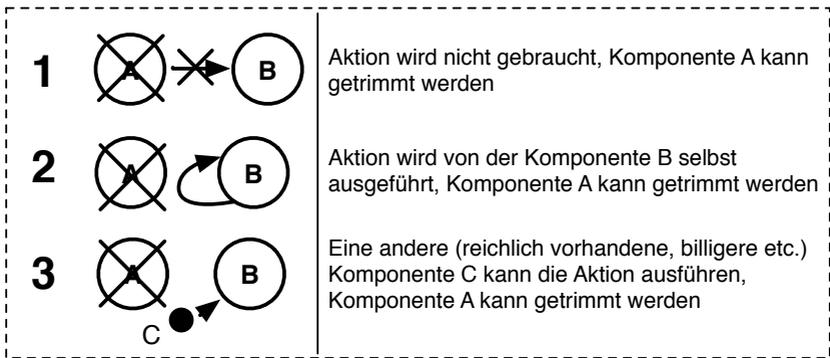


Abb. 2.25: Trimm-Regeln (vgl. [MANN 2002] [KOLTZE et al. 2011])

Eine Wertsteigerung kann entweder durch die Verbesserung des Funktionsrangs (z.B. Funktionenintegration = mehr von der Komponente ausgehende Aktionen), der Verringerung des Problemranges (z.B. von der Komponente ausgehende schädliche Aktionen wurde eliminiert) oder der Kosten erzielt werden.

Das Trimmen folgt in seiner ursprünglichen Form drei Regeln [MANN 2002] [KOLTZE et al. 2011] (vgl. Abb. 2.25):

Das systematische Analysieren eines Systems nach Trimm-Möglichkeiten bricht die psychologische Trägheit des Anwenders auf [GADD 2011]. Sie fokussiert die Lösungssuche auf die Nutzung vorhandener Ressourcen [MANN 2002] und gibt damit eine praktikable Hilfestellung zur Kostensenkung [KOLTZE et al. 2011].

### 2.3.3.8 Ressourcenanalyse

In der TRIZ ist die kreative Nutzung von Ressourcen innerhalb eines Systems ein wesentliches Werkzeug [ZLOTIN 2005]. Ein technisches System wird als eine Kombination

<sup>39</sup>Konkrete Formeln vgl. [WENZKE 2003]

## 2 Grundlagen

von Ressourcen, die geforderte Funktionen und/oder schädliche Faktoren realisieren, verstanden [PANNENBÄCKER 2007]. Eine Ressource im TRIZ-Verständnis ist dabei ein Mittel jeglicher Art inner- und außerhalb eines Systems, das nicht in vollem Umfang zur Lösung des vorliegenden Problems genutzt wird [MANN 2002]. Die Suche nach und die Anwendung von Ressourcen für die Lösung von Problemen bilden dabei die Grundlage jeder Entwicklung eines Systems [ORLOFF 2006].

Zur einfacheren Nutzung werden die Ressourcen in sechs Gruppen aufgeteilt<sup>40</sup> [TERNINKO et al. 1998a] [KOLTZE et al. 2011]:

- Stoffliche Ressourcen - Nutzung von Objekten, Materialien oder Werkstoffen zur Problemlösung.
- Feldförmige Ressourcen - Nutzung von Energieformen zur Problemlösung.
- Funktionale Ressourcen - Nutzung von Wirkungen im System zur Problemlösung, die bisher noch nicht zur Problemlösung eingesetzt wurden (vgl. Trimmen und Ressourcenentwicklung).
- Informationsressourcen - Nutzung von bisher nicht genutzten Daten /Informationen des Systems zur Problemlösung.
- Zeitliche Ressourcen - Nutzung von Zeiten (Zeitpunkt, Dauer, Zeitintervall) zur Problemlösung.
- Räumliche Ressourcen - Nutzung geometrischer Gegebenheiten im 3D zur Problemlösung.

Vier Eigenschaften können zur Beschreibung von Ressourcen genutzt werden [ORLOFF 2006]:

- Wert - umsonst /nicht teuer /teuer
- Qualität - schädlich /neutral /nützlich
- Quantität - uneingeschränkt /ausreichend /nicht ausreichend
- Bereitschaft zur Anwendung - fertig /veränderlich /zu entwickeln

Zur Analyse von Ressourcen sind dabei drei wichtige Hinweise zu geben [IDEATION INTERNATIONAL INC. 1999].

1. Die bewusst weite Formulierung des Ressourcenbegriffes erlaubt die Erfassung möglichst vieler verschiedener Ressourcen.
2. Es sollten über die bereits im System genutzten Ressourcen hinaus alle weiteren verfügbaren Ressourcen gesammelt werden.
3. Insbesondere selbstverständlich/kostenlos vorhandene oder als nicht relevant anzusehende Ressourcen sollten berücksichtigt werden.

---

<sup>40</sup>Es existieren weitere Ressourcenklassifikationen von [ORLOFF 2006],[PEVZNER et al. 2004], [MANN 2002] - Gegenüberstellung vgl. [MÜLLER 2006].

Die systematische Offenlegung und Auflistung aller verfügbaren Ressourcen kann bereits alleine zu Inspirationen von Lösungsideen sorgen [PANNENBÄCKER 2001]. Das Besondere der TRIZ-basierten Ressourcenanalyse ist hierbei das explizite Auseinandersetzen mit den zur Verfügung stehenden Ressourcen [MÜLLER 2006]. Die Ressourcenanalyse ist daher ein gutes Hilfsmittel, die psychologische Trägheit des Anwenders zu überwinden [PANNENBÄCKER 2007]. Zur Vereinfachung der Ermittlung von Ressourcen ist der Einsatz von Checklisten hilfreich [ZLOTIN 2005]<sup>41</sup>.

## 2.3.4 Wissen und Analogie

Die TRIZ-Werkzeuge des Bereichs Wissen und Analogie werden zur Lösung der durch die Analyse-Werkzeuge aufgezeigten Problemen eingesetzt. Werkzeuge, die für die weitere Verwendung in dieser Arbeit relevant sind, werden im Folgenden vorgestellt.

### 2.3.4.1 Stoff-Feld-Modifikation

Die 76 Standardlösungen<sup>42</sup> werden zur Modifikation der in der Stoff-Feld-Analyse modellierten nicht zufriedenstellenden (keine, schädliche, unzureichende oder exzessive Interaktionen) Stoff-Feld-Triaden eingesetzt. Sie wurden im Zeitraum 1974–1985 von Altschuller entwickelt [TERNINKO et al. 1998a]. Die Standardlösungen geben Modelle der Problemlösung vor, nach denen die physikalische Struktur eines technischen System zu ändern ist. Sie unterscheiden sich anhand der Struktur der wechselwirkenden Faktoren und dem Grad der Veränderung am betrachteten System [ORLOFF 2006].

Die Standardlösungen sind anhand der Nomenklatur Klasse - Gruppe - Element bezeichnet und in fünf Klassen eingeteilt [KOLTZE et al. 2011]:

Die Klassen 1-3 dienen der Modifikation des betreffenden Systems zur Optimierung nützlicher und der Beseitigung schädlicher Funktionen.

Die Klasse 1 beinhaltet alle Standards zur Synthese und Umwandlung von Systemen [LIVOTOV et al. 2007]. Die Standards der Klasse 1 können zur Verbesserung eines nützlichen Effekts oder zur Beseitigung eines schädlichen Effekts genutzt werden.

Die Klasse 2 sieht Standards zur Evolution von Systemen vor. Übergänge in Obersysteme und auf die Mikroebene werden mit den Standards der Klasse 3 behandelt. Die Standards der Klassen 2 und 3 sehen zur Problemlösung Hilfestellungen zur weiteren Evolution des betreffenden Systems vor.

Die Klasse 4 beinhaltet Standards zur Lösung von Mess- und Ortungsproblemen. Die Klasse 5 beinhaltet Standards, die als Hilfestellung zur Problemlösung dienen und nicht in die anderen 4 Klassen einsortierbar sind.

<sup>41</sup>Die Analyse von Ressourcen wird durch Checklisten in der Software Innovation Workbench unterstützt [MÖHRLE et al. 1998].

<sup>42</sup>Als Standards aufgrund der standardisierten Vorgehensweise bezeichnet [KOLTZE et al. 2011]

## 2 Grundlagen

Nach KOLTZE geben Standardlösungen eine Bearbeitungsreihenfolge vor, die aufsteigend erzielbare Verbesserungen, aber auch den dafür zu leistenden Aufwand berücksichtigt.

KOLTZE bietet eine Darstellung zur vereinfachten Anwendung der 76 Standardlösungen. Umfangreiche Darstellungen der einzelnen Standards bieten u.a. LIVOTOV, KOLTZE und [CASCINI et al. 2009].

Die Standardlösungen dienen, wie die 40 Innovationsprinzipien, als Lösungsprinzipien. Sie geben im Gegensatz zu Innovationsprinzipien konkretere Gestaltungshinweise und berücksichtigen die Evolution eines technischen Systems.

Verschiedene Autoren haben Ansätze zur Vereinfachung der Anwendung der 76 Standardlösungen publiziert [IDEATION INTERNATIONAL INC. 1998] [ORLOFF 2000] [BELSKI 2007]. In der vorliegenden Arbeit wird der Ansatz von BELSKI verwendet, da er Anfängern den Einstieg erleichtert. Erfahrenere Anwender können bei Bedarf die klassischen 76 Standardlösungen hinzuziehen. Die Ansätze von BELSKI werden in Kapitel 5 im Rahmen der Integration in die WA vorgestellt.

### 2.3.4.2 Innovationsprinzipien

Eine Möglichkeit der Gestaltung technischer Systeme in der TRIZ ist die Nutzung der (empirisch ermittelten [PANNENBÄCKER 2007]) 40 Innovationsprinzipien [TERNINKO et al. 1998a].

Die Entwicklung der Innovationsprinzipien basiert auf zwei Erkenntnissen Altschullers [ALTSCHULLER 1998].

1. Erfindnerische Aufgaben gibt es unzählige. Typen von Systemwidersprüchen jedoch nur verhältnismäßig wenige.
2. Es gibt typische Systemwidersprüche und typisierte Erfindungsverfahren ihrer Beseitigung.

Zur Entwicklung der 40 Innovationsprinzipien wurden aus einem Fundus von mehreren hunderttausend Patenten 40.000 hochwertige Lösungen analysiert [ALTSCHULLER 1984].

Die Nutzung der 40 Innovationsprinzipien basiert auf der Analogiebildung. Der Anwender versucht eines der Innovationsprinzipien auf das ihm vorliegende Problem<sup>43</sup> anzuwenden und daraus Lösungsideen abzuleiten.

Neben der direkten Anwendung der Innovationsprinzipien (Abarbeiten der 40) auf einen Technischen Widerspruch, können mit der Widerspruchsmatrix einzelne Innovationsprinzipien herausgefiltert werden [KOLTZE et al. 2011]. Die Widerspruchsmatrix nutzt 39 Technische Parameter, die den sich widersprechenden Eigenschaften eines technischen Widerspruchs (Was wird besser?/Was wird schlechter?) zugeordnet

<sup>43</sup>Das Problem wird in Form eines Technischen Widerspruchs beschrieben.

werden können. Die Kreuzungspunkte liefern dann eine Auswahl von Innovationsprinzipien, die empirisch ermittelt bereits zur Lösung von Problemen mit solchen Parameterkombinationen genutzt wurden.

Einem formulierten technischen Widerspruch können fallweise mehrere Technische Parameter zugeordnet werden. Dementsprechend ergeben sich mehrere Kreuzungsfelder in der Widerspruchsmatrix. In diesem Fall sollten die Innovationsprinzipien über die Nennungshäufigkeit priorisiert werden<sup>44</sup>. Eine nutzbare Widerspruchsmatrix mit Erklärungen der 39 Technischen Parameter und der 40 Innovationsprinzipien ist unter [SOLIDCREATIVITY 2013] abrufbar.

### 2.3.4.3 Separationsprinzipien

Physikalische Widersprüche sind gekennzeichnet durch zwei gegensätzliche Anforderungen an eine Eigenschaft [ALTSCHULLER 1998]. Die Separationsprinzipien dienen der Überwindung von physikalischen Widersprüchen [TERNINKO et al. 1998a]. Vier Separationsprinzipien werden unterschieden [KOLTZE et al. 2011].

- Zerlegen im Raum
- Zerlegen in der Zeit
- Zerlegen in der Struktur
- Zerlegen durch Bedingungswechsel

#### Zerlegen im Raum

Die widersprüchlichen Anforderungen sind räumlich zu trennen. Zur Zerlegung im Raum werden die widersprüchlichen Anforderungen verschiedenen Teilen des betrachteten Systems zugeordnet [KOLTZE et al. 2011]

#### Zerlegen in der Zeit

Die widerprüchlichen Anforderungen sind zeitlich zu trennen. Damit kann eine Anforderungen zu einem Zeitpunkt, die andere Anforderung zu einem anderen Zeitpunkt erfüllt werden. [KOLTZE et al. 2011] [ZOBEL 2007a]

#### Zerlegen in der Struktur

Die widersprüchlichen Anforderungen sind durch die strukturelle Zerlegung von Systemkomponenten zu erfüllen. Die im Konflikt stehenden Funktionen werden auf Subsysteme verteilt, während das System die übrigen Funktionen weiter ausführt. [KOLTZE et al. 2011] [TERNINKO et al. 1998a]

#### Zerlegen durch Bedingungswechsel

Die widersprüchlichen Anforderungen werden „durch Veränderung der Bedingungen, unter denen zeitgleich ein nützlicher und ein schädlicher Prozess ablaufen“ separiert. Ziel ist die Modifikation des betreffenden Systems, so dass nur noch der nützliche Prozess ablaufen kann. [KOLTZE et al. 2011] [TERNINKO et al. 1998a]

<sup>44</sup>(vgl. Cluster-In-Cluster-Out (CICO) [ORLOFF 2006]: Innovationsprinzipien aus der Kombination aller Technischen Parameter ermitteln und nach Nennungshäufigkeit priorisieren)

## 2 Grundlagen

## 3 Stand der Technik und Ableitung der Detailziele

Dieses Kapitel beschreibt den Stand der Technik zur Integration von Wertanalyse und TRIZ. Die beschriebenen Ansätze werden bewertet und Handlungsbedarfe werden abgeleitet. Die Handlungsbedarfe werden dann zur Definition der Detailziele dieser Arbeit genutzt.

### 3.1 Bisherige Ansätze zur Integration von Wertanalyse und TRIZ

Auffällig ist dabei, dass Untersuchungen zur Nutzung von TRIZ innerhalb der WA bisher nur im nordamerikanischen Sprachraum stattgefunden haben. Aus diesem Grund konzentrieren sich bisher vorhandene Ansätze auf die Nutzung von TRIZ im Rahmen von Value Analysis (VA)/Value Engineering (VE). Aufgrund der konzeptionellen Nähe zwischen der WA und VA/VE lassen sich diese jedoch gut übertragen.

#### 3.1.1 Ansatz nach Ideation International

Die Fa. Ideation International wurde von den Altschuller-Schülern Boris Zlotin und Alla Zusman 1992 in den USA gegründet [IDEATION INTERNATIONAL INC. 2006]. Von dort aus wurde die Weiterentwicklung der TRIZ und die Verbreitung von TRIZ im nordamerikanischen Raum in Angriff genommen.

Einer der von Ideation verfolgten Ansatzpunkte ist die verstärkte Nutzung von TRIZ im Rahmen von Kostensenkung und Qualitätsverbesserung von Systemen. In [ZLOTIN 1998] wird dieser Ansatz als *Value Quality Engineering* bezeichnet.

Wesentliches Kennzeichen ist der komplette Ersatz der Workshop Phase des Value Engineering Job Plans (vgl. Abschnitt 2.2.7) durch den Ideation-Ansatz. Diese Maßnahme soll die Effektivität des Value Engineering Prozesses durch die Anwendung von TRIZ als analytisches und wissensbasiertes Werkzeug steigern. [CLARKE 1999]

Der Ideation Prozess besteht aus 5 Stufen [CLARKE 1999]:

1. Problemdokumentation und Grobanalyse
2. Problemformulierung
3. Priorisierung der „Directions of Innovation“
4. Entwicklung von Konzepten

### 3 Stand der Technik und Ableitung der Detailziele

#### 5. Bewertung von Konzepten

Im Ideation-Prozess beinhaltet der erste Schritt „Problemdokumentation und Grob-analyse“ die Analyse des betrachtenden Problems mittels einer Innovations-Checkliste (Grundlagen vgl. Abschnitt 2.3.3.3). Im zweiten Schritt werden die zur Analyse ausgewählten Funktionen aus dem FAST-Diagramm (Grundlagen vgl. Abschnitt 2.2.4.2) entnommen und zur Problemformulierung detailliert.

HANIK schlägt hier explizit die Nutzung des logischen Pfades eines FAST-Diagramms als Ausgangspunkt der Überleitung vor. Die Überführung geschieht in drei Schritten: [HANIK et al. 2005]

1. Überführen des ausgewählten logischen Pfades des FAST-Diagramms in das detaillierte Funktionenmodell<sup>45</sup>: Die Interaktionen zwischen den Funktionen werden in nützliche, schädliche und kompensierende Interaktionen (vgl. Interaktionsformen im Funktionennetzwerk in Abschnitt 2.3.3.5) klassifiziert.
2. Hinzufügen von Implementierungsdetails zum Funktionennetzwerk: Die Funktionsträger werden als zusätzliche Informationen dem Modell hinzugefügt.
3. Hinzufügen von schädlichen Funktionen zum Funktionennetzwerk: Schädliche Funktionen werden von nützlichen Funktionen verursacht. Zusätzlich können auch Kosten als schädliche Effekte aufgenommen werden. Diese werden von Funktionsträgern verursacht.

Das detaillierte Funktionen-Netzwerk macht die automatisierte Formulierung von Teilproblemen möglich. Der zugrundeliegende Algorithmus wird als „Problem Formulator“ bezeichnet, ist in [ZLOTIN et al. 1996] patentiert und in der Software Innovation Workbench umgesetzt. Dort finden sich auch Hilfsfragen zur manuellen Formulierung der Teilprobleme. Die Software formuliert aus diesen Teilproblemen automatisch Fragen („Directions for Innovation“) für die Anwendung in der Kreativitätsphase.

Im dritten Schritt können die „Directions of Innovation“ auf zwei Arten zur Ideengenerierung genutzt werden. Zum einen können die Fragen direkt als Anregung genutzt werden. Zum anderen können die TRIZ-Tools aus der Wissenssammlung der Software (die Ideation-Operatoren) verwendet werden. Hierbei werden u.a. sechs Operatoren zur Idealitätsverbesserung angeboten [IDEATION INTERNATIONAL INC. 2004].

1. Gleichartige Elemente ausschließen
2. Subsysteme stärker integrieren
3. Hilfsfunktionen eliminieren
4. Selbstversorgung ermöglichen
5. Unabhängige Subsysteme zusammenführen
6. Vereinfachen durch vollständiges Ersetzen

---

<sup>45</sup>Das detaillierte Funktionsmodell stellt den Beginn der Entwicklung des Funktionennetzwerks dar (vgl. Abschnitt 2.3.3.5).

### 3.1 Bisherige Ansätze zur Integration von Wertanalyse und TRIZ

Im vierten Schritt sieht der Ideation-Prozess die Konzept-Entwicklung aus der Menge der generierten Ideen vor.

Im fünften Schritt werden die entwickelten Konzepte bewertet. Der Ideation-Prozess sieht hier drei Stufen vor. In der ersten Stufe werden die Ideen anhand von Bewertungskriterien bewertet. Die zweite Stufe sieht eine Analyse möglicher Fehlerquellen mit Hilfe der Antizipierenden Fehlererkennung vor. Die dritte Stufe dient zum Abschluss der Planung der Implementierung.

Zum Vergleich sieht das VE in seinem Prozess die folgenden 5 Schritte vor.

1. Problemdefinition
2. Situationsanalyse
3. Stimulation von Kreativität
4. Bewertung von Lösungskonzepten
5. Umsetzung des gewählten Lösungskonzepts

Ähnlichkeiten in der grundlegenden Abfolge sind zwischen dem Ideation-TRIZ-Prozess und dem Value Engineering erkennbar. Zwei wesentliche Vorteile, die der Ideation-TRIZ-Prozess gegenüber dem Vorgehensmodell des Value Engineering Job Plans bietet, nennt [BORZA 2011]:

- Betrachtung von negativen /schädlichen Funktionen im Funktionenmodell (vgl. auch [HANIK et al. 2005]).
- Anregung von Kreativität durch die Einbindung TRIZ Wissensbasis. Die Erfahrungen und Fähigkeiten der Teilnehmer werden durch die Hilfestellungen der TRIZ zielgerichteter unterstützt als bisher in der WA üblich.

Einordnung des Ideation-Ansatzes in Bezug auf die WA:

- Der Ideation-Ansatz ersetzt die im Value Engineering übliche Vorgehensweise (Information Phase -> Function Analysis Phase -> Creative Phase -> Evaluation Phase) in den methodischen Kernschritten 3-6 vollständig.
- Das Funktionennetzwerk ist die wesentliche Modellierungstechnik des Ideation-Ansatzes, da dieses die Modellierung von Problemen und Widersprüchen erlaubt.
- Die Problemlösung wird durch die von Ideation entwickelten Operatoren<sup>46</sup> unterstützt.
- Die Kostenoptimierung im Ideation-Prozess ist stark auf die Steigerung der Effizienz des technischen Systems ausgerichtet. Anregungen wie z.B. bezüglich der Fertigbarkeit, Montierbarkeit oder auch der Preise von Kaufteilen werden nur sehr allgemein in Form von acht Operatoren gegeben (vgl. [IDEATION INTERNATIONAL INC. 2000] und Abschnitt 3.2).

---

<sup>46</sup>z.B. Optimierungsbereich: Eine schädliche Aktion beeinflussen -> Operator: Lokale Schwächung einer Aktion. [INVENTION MACHINE 2000]

### 3 Stand der Technik und Ableitung der Detailziele

- Die methodische Umsetzung basiert auf der kommerziell verfügbaren Software Innovation Workbench. Eine Unterstützung für den kompletten Prozess ist nur bei Nutzung der Software gegeben
- In der WA übliche Methoden (Ausnahme ist das FAST-Diagramm vgl. [HANIK et al. 2005]) werden nicht genutzt.
- Wird die Anwendung der Software vorausgesetzt, leidet die Flexibilität bezüglich der Wahl der Methoden. Eine Integration weiterer Methoden ist nicht ohne weiteres möglich.

#### 3.1.2 Ansatz nach Invention Machine

Die Fa. Invention Machine wurde 1992 von Valeri Tsourikov in den USA gegründet. Die Software TechOptimizer, basierend auf der 1982 von Tsourikov begonnenen Entwicklungen zu TRIZ-Software, wurde seitdem von Invention Machine vertrieben<sup>47</sup>. Die Struktur des TechOptimizers ist in Abb. 3.1 dargestellt.

Im Modul *Product and Process Analysis* werden die wesentlichen Projektdaten gesammelt und ein *Functional Model* des betrachteten Systems erstellt. Im Functional Model wird das Objektmodell (Grundlagen vgl. Abschnitt 2.3.3.6) genutzt. Das *Functional Model* bietet eine Parameteranalyse an, die eine systematische Analyse ähnlich einem Erfüllungsgrad ermöglicht [INVENTION MACHINE 2000][WENZKE 2003]. Die Formulierung des Problemranges (Formel vgl. [VERBITSKY 2001][WENZKE 2003]) erlaubt die Bewertung einer Komponente auf Grundlage des Erfüllungsgrades und dessen Bedeutung für das System. Der Problemrang ist patentrechtlich geschützt [WENZKE 2003].

Das Werkzeug *Trimming* unterstützt die gezielte Suche nach Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung eines Systems. Der TechOptimizer bietet drei Strategien [INVENTION MACHINE 2000] (analog zur Beschreibung in Abschnitt 2.3.3.7).

1. Kostenreduzierung - Die kostenintensivsten Komponenten werden zuerst betrachtet.
2. Problemreduzierung (Problemrang verringern) - Die Komponenten, die die meisten Probleme verursachen, werden zuerst betrachtet
3. Werterhöhung (Funktionsrang erhöhen) - Komponenten, die die geringste Funktionalität bei höchsten Kosten aufweisen und außerdem am meisten Probleme verursachen, werden zuerst betrachtet (Grundlagen vgl. Abschnitt 2.3.3.7).

Auf Grundlage der gewählten Strategie werden die einzelnen Komponenten anhand von *Trimm*-Empfehlungen (vgl. Abschnitt 2.3.3.7) bearbeitet.

Die im Modul *Product and Process Analysis* durch die Definition des Functional Model und der Trimm-Ansätze identifizierten Probleme werden im *Problem Manager* gesammelt. Je nach Problem können verschiedene TRIZ-Werkzeuge wie z.B. die 40 Innovationsprinzipien (Grundlagen vgl. Abschnitt 2.3.4.2) oder Effektdatenbanken

<sup>47</sup>TechOptimizer wurde später von der Software Goldfire Innovator abgelöst.

### 3.1 Bisherige Ansätze zur Integration von Wertanalyse und TRIZ

(*Effects*) genutzt werden. Das Modul *Predictions* bietet die Möglichkeit zur TRIZ-Evolutionsanalyse.

Einordnung des Invention-Machine-Ansatzes:

- Der Ansatz nach Invention Machine ist ein eigenständiger, vom VE/WA unabhängiger Ansatz zur Produkt- und Prozessanalyse.
- Das Objektmodell ist die Grundlage für die Optimierung eines Systems zur Funktionenintegration.
- Der Trimmen-Ansatz zielt stark auf die Steigerung der Effizienz des Systems durch Funktionenintegration ab. Zum Trimmen gibt es nur wenige, recht abstrakte Empfehlungen. Kostensenkungen erfolgen über das Einsparen von Komponenten (Grundlagen vgl. Abschnitt 2.3.3.7).
- Der TechOptimizer unterstützt gezielt die Formulierung von Widersprüchen.
- Eine Unterstützung für den kompletten Prozess ist nur bei Nutzung der Software Tech Optimizer gegeben. Dann ist die Unterstützung jedoch gut.

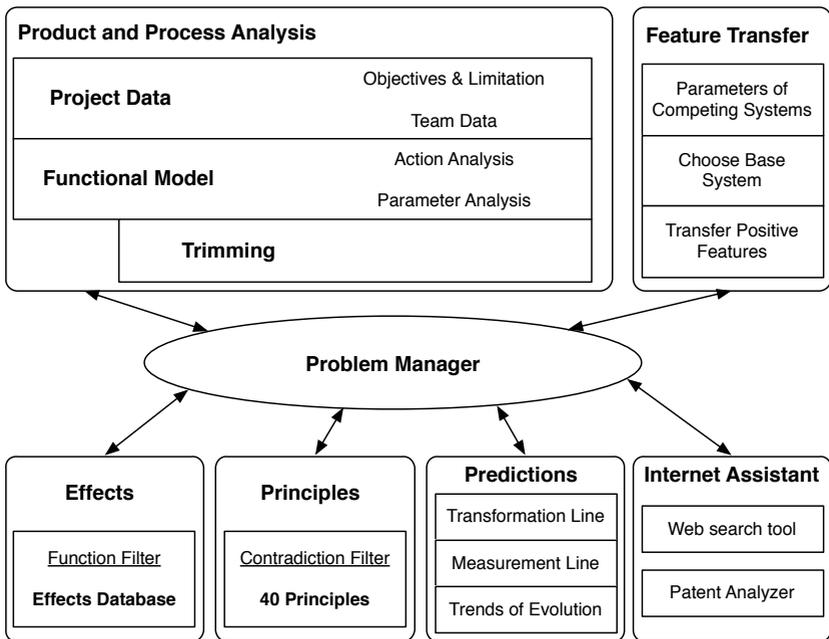


Abb. 3.1: Module des TechOptimizers [INVENTION MACHINE 2000][ADUNKA 2003]

### 3.1.3 Ansatz nach Mao

Im Rahmen seiner PhD-Thesis an der University of Alberta in Kanada beschäftigte sich MAO mit der Anwendung eines integrierten Konzepts von VE und TRIZ im Rahmen von Bauprojekten. Er identifiziert einige Bereiche in denen das VE in der Anwendung in der Bauindustrie verbesserungsbedürftig ist. [MAO 2008]

1. Anwendbarkeit von Funktionenanalyse und FAST in Bauprojekten: MAO stellt fest, dass die Rolle umfangreicher Funktionenanalyse und damit detaillierter FAST-Diagramme in Bezug auf ihren Nutzen überschätzt werden. Wenige abstrakte Funktionen seien für Bauprojekte ausreichend.
2. Kreativitätsphase des VE-Prozesses: Das meist im VE verwendete Brainstorming sei wenig geeignet zur Aufbrechung der psychologischen Trägheit [SAWAGUCHI 2000]. Es sei zu stark abhängig von Erfahrung, Wissen, Kreativität [DULL 1999] und Persönlichkeit der Teammitglieder [PALMER et al. 1996] [SHEN et al. 2003]. Bahnbrechende Ideen würden daher wenig entwickelt.
3. Wenig ausgesprägter Prozess zur Formulierung der wesentlichen Probleme eines Systems. Die Lösungssuche sei daher wenig systematisch.
4. Keine systematische Ausrichtung auf die Nutzung existierender Ressourcen.
5. Fehlen einer Bauindustrie-spezifischen Wissensbasis für Lösungen.

Für MAO liegen in den oben genannten Schwächen gerade Stärken (abgesehen von der Bauindustrie-spezifischen Wissensbasis) des TRIZ-Ansatzes. Wichtige TRIZ-Aspekte sind die Problemformulierung und -analyse. Dadurch wird das Verständnis für Probleme des betreffenden Projekts erzeugt. Zur Lösung dieser Probleme sieht TRIZ seine verschiedenen, aus früheren hochwertigen Problemlösungen abgeleiteten Lösungsprinzipien vor. Damit ist das Nachdenken über eine bestimmte Form der Lösung nicht mehr abhängig von der Vorstellungskraft des Anwenders.

Auf Basis früherer Ausführungen von Forschern (vgl. [DULL 1999], [CHUKSIN et al. 2003], [NAKAMURA 2001]) schließt MAO auf das Integrationspotential von TRIZ-Methoden in das Value Engineering. Für die Integration setzt Mao [MAO 2008] drei Schwerpunkte:

1. Entscheidung der zu verwendenden TRIZ-Techniken und ggf. Vereinfachung einzelner Ansätze.
2. Entwicklung eines Ablaufplans für die Bauindustrie, der den Rahmen von Value Engineering nutzt und TRIZ-Methoden integriert.
3. Entwicklung einer Wissensbasis-Software für die Anwendung des obigen Ablaufplans in der Bauindustrie.

Die Vorgehensweise für die Anwendung von TRIZ-Methoden im VE-Workshop besteht aus 5 Phasen (vgl. Abb. 3.2):

1. Phase 1 *Initial Design*: Es werden alle Grundfunktionen (hier als „Basic Functions“ bezeichnet) aufgelistet. Diese werden mit den existierenden Ressourcen verknüpft.

### 3.1 Bisherige Ansätze zur Integration von Wertanalyse und TRIZ

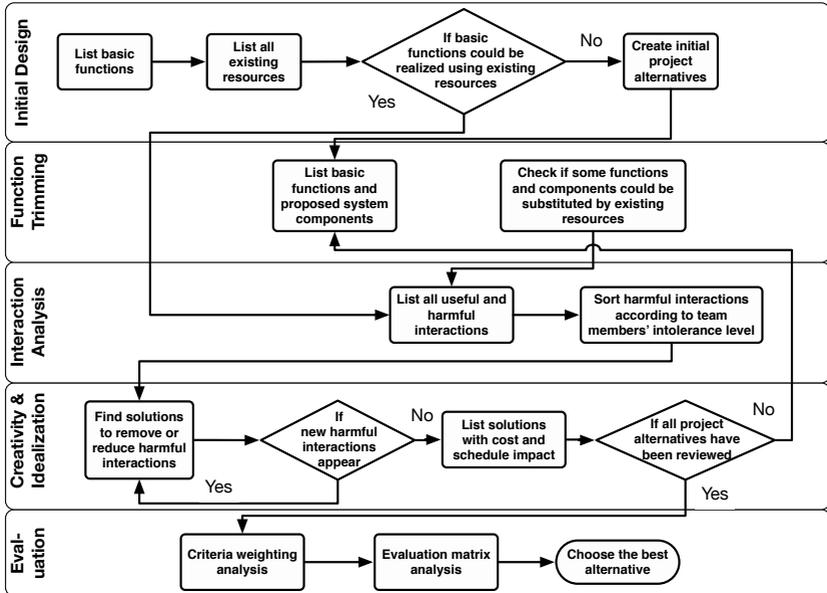


Abb. 3.2: Vorgehensmodell für VE/TRIZ Workshop nach [MAO 2008]

2. Phase 2 *Function Trimming*: Es werden zu den Grundfunktionen die vorgeschlagenen Systemkomponenten aufgelistet. Die Untersuchung zielt auf Identifikation von unnötigen Wirkungen und das Fördern der Nutzung im Projektkontext existierender Ressourcen.
3. Phase 3 *Interaction Analysis*: Es werden die Komponenten jeder Lösungsalternative auf ihre Interaktionen mit anderen Komponenten innerhalb des Systems und mit der Umwelt untersucht. Die Interaktionen werden dabei in nützliche und schädliche Interaktionen klassifiziert.
4. Phase 4 *Creativity and Idealization*: Es werden die Anwender durch einen Prozess geführt, der klassische Kreativitätstechniken (Brainstorming, Brainwriting etc.) und TRIZ-Techniken für jede Lösungsalternative zur Anwendung vorsieht. Das Team kann dabei entscheiden, welcher Weg zu bevorzugen ist. In den Ablauf integriert sind die 40 Innovationsprinzipien, 4 Separationsprinzipien, die von MAO entwickelten 7 Lösungsprinzipien für Stoff-Feld-Modelle und die 8 Evolutionsgesetze. Falls keine schädlichen Interaktionen mehr vorhanden sind und weitere Verbesserungsideen gewünscht sind, sieht MAO die Anwendung der Evolutionsgesetze vor. Abgeschlossen wird die Phase mit der Prognose der vor-

### 3 Stand der Technik und Ableitung der Detailziele

aussichtlichen Kosten und des Zeitbedarfs zur Umsetzung der Lösungsalternative.

5. Phase 5 *Evaluation*: Es kommen wieder „herkömmliche“ im VE verwendete Bewertungsmethoden zum Einsatz.

Der Ansatz von MAO ist ein Bsp. für die Integration von VE/WA und TRIZ spezifisch für die Anwendung in Bauprojekten. Er demonstriert mit seiner Arbeit die Machbarkeit der Integration von VE/WA und TRIZ. Die Vorgehensweise nach VE/WA in der Workshop-Phase (vgl. Abschnitt ) wird jedoch in seinen Kernphasen komplett durch einen erweiterten Invention-Machine-Ansatz ersetzt. Anknüpfungspunkte für TRIZ-Werkzeuge an bestehende VE/WA-Methoden (Ergänzungen VE/WA durch TRIZ) werden nicht geboten.

Dabei ist MAOS Argumentation nicht in allen Punkten überzeugend. Es ist offensichtlich, dass MAOS eine ganz spezifische Methodenkombination innerhalb eines VE-Projektes als Ausgangspunkt seiner Analyse nimmt.

Der Kritikpunkt, dass der Wert umfangreicher Funktionenstrukturen als nur gering einzuschätzen ist, deutet auf eine wenig optimale Nutzung hin.

Wie in dieser Arbeit ist auch bei MAO ein Kernanliegen, die TRIZ aufgrund ihrer Werkzeuge zur Problemanalyse und -lösung in VE/WA-Projekte zu integrieren. Charakteristisch ist aber bei MAO das Fehlen jeglicher Hilfen für die Anwendung der einzelnen Methoden. Insbesondere für wenig geübte Anwender dürfte die Nutzung dieses Ansatzes schwierig sein.

## 3.2 TRIZ-Einsatz zur Kostensenkung

Das Finden von Potentialen zur Kostensenkung ist eine der wesentlichen Aufgaben der WA. Ansätze, die dies unterstützen, sind für die WA von großem Interesse. Für die TRIZ, die über ein Fundament an hochwertigen Problemlösungsprinzipien aus Patentanalysen (u.a. die 40 Innovationsprinzipien (Innovationsprinzipien)) verfügt, ist die Eignung zur Kostensenkung zunächst zu bewerten. Der folgende Abschnitt behandelt daher die in der Literatur vorhandene TRIZ-Ansätze zur Kostensenkung.

In Abschnitt 3.1.1 wurden die Grundzüge des Ideation Value Quality Engineering dargestellt. Die in diesem Ansatz hinterlegten Operatoren inspirieren Ideen zur Senkung von Kosten und Erhöhung der Qualität. Wesentliche Faktoren sind die Simplifizierung von Funktionen, Elementen und die effiziente Nutzung vorhandener Ressourcen. Um die universelle Anwendbarkeit der Operatoren sicherzustellen, sind diese allerdings sehr abstrakt formuliert. Zur Unterstützung dient die Ideation Software Innovation Workbench. Die große Wissensdatenbank der Software erleichtert die Anwendung auch durch die Präsentation von Beispielen.

Der Ansatz von Invention Machine nutzt das Trimmen in Verbindung mit dem Objektmodell (vgl. Abschnitt 3.1.2). Es wird gezielt das Potential zur Effizienzsteigerung gesucht. Das Trimmen fördert die Funktionenintegration und hat damit einen

direkten Einfluss auf die Kosten. Die Software TechOptimizer unterstützt durch die automatische Formulierung von Trimmen-Fragen. Der Methodenpass *MP 5.3 Komponenten trimmen* (Anh. D.6, S. 329) unterstützt auf ähnliche Weise (vgl. Abschnitt 5.2.1.3).

Ein weiterer Ansatz zur Kostensenkung mit TRIZ-Elementen stammt von [LIVOTOV 2001]:

1. Identifizierung der wichtigsten Hauptfunktion und der Hilfsfunktionen eines technischen Systems. Im Durchschnitt erfüllen etwa 20% der Funktionenträger im System rund 80% aller Funktionen.
2. Überprüfung, ob der Bedarf an der Hauptfunktion wirklich besteht oder ob er ganz oder teilweise eliminiert werden kann. Kann die Hauptfunktion durch einen Funktionenträger des Obersystems mit erfüllt werden?
3. Überprüfung, ob alle Hilfsfunktionen wirklich notwendig sind oder ob sie ganz oder teilweise eliminiert werden können. Kann zumindest eine der Hilfsfunktionen durch andere Funktionenträger im System oder im Obersystem erfüllt werden?
4. Überprüfung, welche Untersysteme oder Funktionenträger im System weggelassen werden können.
5. Überprüfung, ob mehrere unterschiedliche Funktionen durch einen einzigen Funktionenträger erfüllt werden können. Dadurch werden weitere Funktionenträger des Systems überflüssig.

Die Vorgehensweise orientiert sich am *Trimmen*-Ansatz der TRIZ. In der Zielsetzung der Simplifizierung ähnelt er damit auch dem Ansatz nach [ZLOTIN 1998].

Aus der TRIZ-Wissensbasis schlägt [LIVOTOV 2001] die Anwendung von drei Werkzeugen vor.

1. Eine Liste von 12 TRIZ-Lösungsprinzipien (vgl. Tabelle 3.1) als allgemeine, von Produkt oder Prozess unabhängige, kreativitätsfördernde Maßnahmen. Die Zusammenstellung und die Reihenfolge der einzelnen Prinzipien basiert auf den Industrieerfahrungen von LIVOTOV.
2. Nutzung der *40 Innovationsprinzipien* durch Anwendung der Widerspruchsmatrix.
3. Kosten reduzieren durch Bearbeitung als erfinderisches Problem auf Basis der von LIVOTOV entwickelten TriSolver Methode (mit zugehöriger Software).

Die fünfstufige Vorgehensweise von LIVOTOV orientiert sich am Trimmen-Ansatz. Eine Auswahl verschiedener bei der Kostensenkung behilflicher Prinzipien wird gegeben. Die Prinzipien sind abstrakt gehalten, um auf möglichst viele Problemstellungen anwendbar zu sein. Konkrete Beispiele für die Anwendung zur Kostensenkung werden nicht gegeben. Die abstrakten Prinzipien werden im o.g. Abschnitt 4.3 in die Kostensenkungsfragen integriert.

### 3 Stand der Technik und Ableitung der Detailziele

Tab. 3.1: Zwölf Lösungsprinzipien zur Kostensenkung mit TRIZ [LIVOTOV 2001]. Detaillierte Beschreibung der einzelnen Prinzipien vgl. [LIVOTOV et al. 2007]

Nr.	Art und Nr.	Titel
1	Evolutionstrend 1.2	Eliminierung von Teilen und Funktionen - Prinzip "Weglassen"
2	Evolutionstrend 1.3	Verwendung von Systemressourcen
3	Evolutionstrend 1.4	Universalität
4	Evolutionstrend 1.6	Selbstorganisation
5	Evolutionstrend 5.3	Systemoptimierung und Vereinfachung
6	Innovationsprinzip 2	Abtrennung
7	Innovationsprinzip 3	Örtliche Qualität
8	Innovationsprinzip 20	Kontinuität der nützlichen Wirkung
9	Innovationsprinzip 26	Kopieren
10	Standard 4.1.1	Umgehung der Messung oder Ortung durch Systemänderung
11	Innovationsprinzip 27	Billige Kurzlebigkeit anstelle teurer Langlebigkeit
12	Innovationsprinzip 16	Partielle oder überschüssige Wirkung

DOMB entwickelte speziell für TRIZ-Beginner eine Vorgehensweise zur Kostensenkung mit TRIZ-Methoden (vgl. [DOMB 2005]). Kernelemente sind der *System Operator* (vgl. Abschnitt 2.3.3.2) zur Problemdefinition und die Nutzung der 40 Innovationsprinzipien durch die Formulierung von Widersprüchen und der Anwendung der Widerspruchsmatrix.

Zusätzlich sieht der Ansatz pauschal eine Anwendung weiterer TRIZ-Werkzeuge, wie Effektdatenbanken oder Evolutionstrends vor. Als abschließender Schritt wird die Anwendung des Idealen Endresultats (vgl. Abschnitt 2.3.2.2) vorgeschlagen. Unmittelbar zur Generierung von Ideen zur Kostensenkung werden die 40 Innovationsprinzipien bzw. die „anderen“ TRIZ-Techniken (Effektdatenbanken und Evolutionstrends) eingesetzt.

Kennzeichnend für diesen Ansatz ist die unveränderte Übernahme von TRIZ-Techniken zur Kostensenkung zu einem generischen Ablaufplan. Insbesondere die Lösungsempfehlungen der 40 Innovationsprinzipien sind direkt auf Kostenprobleme anzuwenden. Konkrete Handlungsanweisungen und Hilfen fehlen. Die Lösungsempfehlungen der 40 Innovationsprinzipien werden explizit zur Entwicklung der Kostensenkungsfragen in Abschnitt 4.3 genutzt.

Einen weiteren Ansatz zur Nutzung bietet FAYER. Dazu werden die Innovationsprinzipien in 4 Gruppen eingeteilt [FAYER 2005]. Die dritte Gruppe beinhaltet explizit Innovationsprinzipien, die zur Verbesserung unzureichender Interaktionen (Kosten reduzieren, Idealität erhöhen, Effektivität erhöhen) verwendet werden sollten. Unter unzureichenden Interaktionen versteht FAYER die Reduzierung von Kosten sowie die Erhöhung von Idealität und Effektivität. Auch hier werden die Innovationsprinzipien unverändert angewendet. Eine Verbesserung gegenüber dem Ansatz von DOMB wird

durch die Eingrenzung der Prinzipien für Kostensenkungen erzielt.

SCHLÖSSER untersucht in [GUNDLACH 2006] die Nutzung der Widerspruchsmatrix zur Kostensenkung. Dabei werden die 39 Technischen Parameter der Widerspruchsmatrix auf Kostensenkungspotential untersucht. Aus den gefilterten kostenrelevanten Technischen Parametern wird dann eine Herstellkostenmatrix<sup>48</sup> abgeleitet.

Der Ansatz von SCHLÖSSER ist eine Ergänzung des Einsatzes der Widerspruchsmatrix zur Kostensenkung. Durch die Definition einer Herstellkostenmatrix<sup>49</sup> und einer erweiterten Kostenmatrix<sup>50</sup> zeigt SCHLÖSSER Kombinationen technischer Parameter mit Innovationsprinzipien auf, die aus seiner Sicht sehr kostenwirksam sind.

MANN untersucht die Anwendung von TRIZ auf unternehmerische (nicht nur technische) Problemstellungen. Zur Kostenoptimierung stellt er 31 Parametern (z.B. R&D Cost, Production Time, Supply Risk) zu einer *Business Conflict Matrix* zusammen. Der Aufbau der Matrix gleicht der klassischen Widerspruchsmatrix, an den Kreuzungspunkten der einzelnen Parameter sind Innovationsprinzipien eingetragen. Die Parameter sind auf unternehmerische Problemstellungen angepasst. Den Parametern werden zu berücksichtigende und optional zu berücksichtigende Innovationsprinzipien zugeordnet. Zusätzlich wird eine Liste von Beispielen für die 40 Innovationsprinzipien sowie seine spezifische Variante der Evolutionstrends mit zugehörigen Beispielen dargelegt. [MANN 2009]

Alle vorgestellten Ansätze nutzen die Selektion als wesentliches Mittel, um die Innovationsprinzipien für die Kostensenkung einsetzbarer zu machen.

Eine auf Kostensenkung spezialisierte Widerspruchsmatrix ist für das Inspirieren von Kostensenkungs-ideen hilfreich, ebenso wie die Einbindung Idealitäts- bzw. Trimm-basierter Ansätze. Alle Ansätze beschränken sich aber auf abstrakte Lösungsansätze (Innovationsprinzipien oder Trimm-Ansätze). Dies macht eine große Transferleistung des Nutzers bei der Auswahl und Anwendung notwendig.

## 3.3 Schlussfolgerungen und Detailziele

Zusammengefasst lassen sich folgende Schlussfolgerungen für den Stand der Technik der Integration von Wertanalyse und TRIZ ableiten.

1. Die Integration von TRIZ-Methoden in die WA ist wegen der allgemeinen Lösungsprinzipien und der Werkzeuge zur Problem- und Evolutionsanalyse vielversprechend, nicht nur in der kreativen Phase.
2. Vorhandene Ansätze einer WA/TRIZ-Integration sehen den vollständigen Ersatz der Kerntechniken der wertanalytischen Arbeit vor. Ausführungen zur Ergänzung der WA-Arbeit durch TRIZ-Werkzeuge sind nicht vorhanden.

<sup>48</sup>SCHLÖSSER definiert eine erweiterte Kostenmatrix, die auch Prinzipien zur Beeinflussung der Total Lifecycle Costs beinhaltet

<sup>49</sup>Enthält die direkt herstellkostenrelevanten Technischen Parameter

<sup>50</sup>Enthält auch technische Parameter, die im weiteren Sinne kostenbeeinflussend sind

### 3 Stand der Technik und Ableitung der Detailziele

3. Ein integriertes Konzept zur Anwendung der TRIZ innerhalb der WA nach EN12973 ist nicht verfügbar.
4. Eine operative Unterstützung ist in Form von kommerziell zu erwerbender Software vorhanden. Es werden keine Hilfen/Hinweise für die Durchführung von Workshops mit kombinierten WA/TRIZ-Techniken gegeben.
5. Kostensenkung innerhalb der TRIZ erfolgt über idealitätsorientierte Techniken (Ideation Idealitäts-Operatoren und Trimmen) oder durch Nutzung von abstrakten Lösungsprinzipien (vgl. 40 Innovationsprinzipien). Die Nutzung der TRIZ-Wissensbasis zur Kostensenkung innerhalb der WA ist sinnvoll. Es ist aber ein Konzept erforderlich, das die notwendige Transferleistung für den Anwender reduziert und die Auswahl in Frage kommender *Innovationsprinzipien* erleichtert.

Aus diesen Erkenntnissen lassen sich die folgenden Detailziele für diese Arbeit ableiten.

1. Das grundlegende Ziel ist die Erarbeitung eines Konzepts zur Integration von TRIZ-Methoden in die WA. Dabei sollen Methoden der TRIZ integriert werden, die dem aktuell frei verfügbaren Stand der Technik entsprechen. Bestehende WA-Methoden sollen, wenn nötig, ergänzt werden.
2. Das Hauptintegrationspotential für TRIZ-Methoden ist in den Phasen 4 und 5 des WA-Arbeitsplans zu suchen. In diesen Phasen findet in der WA die Analyse von Problemen und die Suche nach Lösungsansätzen statt. Hier liegt auch der primäre Anwendungsbereich der TRIZ. Die Integration in dieser Arbeit konzentriert sich also auf die Phasen 4 und 5 des WA-Arbeitsplans.
3. Ein Konzept zur praxistauglichen Anwendung von TRIZ-Mitteln zur Kostensenkung in der WA soll entwickelt werden.
4. Weiterentwicklung der WA, um die Integration von TRIZ-Methoden zu vereinfachen und von den Erkenntnissen der TRIZ zu profitieren.
5. Für eine einfache Anwendung sollten die zu integrierenden Methoden in einer standardisierten Darstellungsform beschrieben werden.
6. Die Arbeit mit den Methoden im realen Projekt soll über die Integration von Moderationshilfen erleichtert werden.
7. Die Integrationskonzepte sollen an einfach nachzuvollziehenden Beispielen demonstriert werden.

## 4 Methodische Vorbetrachtungen

Dieses Kapitel beschreibt notwendige Vorbetrachtungen für eine Integration von TRIZ-Methoden in die WA. Um die Methodenkombinationen verständlich beschreiben zu können, wird mit dem Methodenpass zur standardisierten Darstellung der Methoden vorgestellt. Um für einzelne umfangreichere Methoden und deren Weiterentwicklungen Methodenpässe beschreiben zu können, werden diese Methoden analysiert und zu Konzepten verdichtet.

### 4.1 Darstellung von Methoden

Für ein Integrationskonzept von Wertanalyse und TRIZ ist die Beschreibung von Methoden unerlässlich. DOBBERKAU definiert dabei eine Methode als „eine systematische Vorgehensweise zur Erlangung von Ergebnissen und Erreichung von Zielen“ [DOBBERKAU 2002]. JENKE fasst die verschiedenen, in der Literatur existierenden (u.a. [AUGUSTIN 1997], [ZANKER 1999], [DOBBERKAU 2002] und [EHRENSPIEL et al. 2013]) Definitionen in zwei Punkten zusammen [JENKE 2007]:

1. Voraussetzen eines gegebenen Eingangswertes.
2. Verfolgen einer strukturierten Abfolge von Bearbeitungsschritten zur Transformation des gegebenen Inputs in einen gewünschten Ausgangswert (Ergebnis).

Eine Methodenkombination wird dabei durch sich überschneidende Eingangsgrößen und Ergebnisse verschiedener Methoden ermöglicht. Zur Organisation einer umfangreichen Methodenkombination eignet sich die Erstellung eines Methodenbaukastens [JENKE 2007] (Erläuterung zu Methodenbaukästen vgl. z.B. [EHRENSPIEL et al. 2013]).

Ein Methodenbaukasten ist „eine systematisch angeordnete Sammlung von Methoden, die für bestimmte Arbeitsabschnitte eines Prozesses alternativ eingesetzt werden können und für deren Auswahl Hilfen angegeben sind“ [EHRENSPIEL et al. 2013].

Ein Methodenbaukasten muss die folgenden Aufgaben erfüllen [EHRENSPIEL et al. 2013] (vgl. auch u.a. [DOBBERKAU 2002], [EHRENSPIEL et al. 2013], [FRANKE et al. 2003], [HELBIG 1994], [VDI-GPP 1997] und [WACH 1994]):

- Eine Verknüpfung zwischen Aufgabe und zur Bearbeitung zweckmäßiger Methode muss hergestellt werden.
- Methoden müssen identifizierbar beschrieben sein.
- Auswahlkriterien und Hinweise müssen für den Methodeneinsatz bereitgestellt werden.

#### 4 Methodische Vorbetrachtungen

<p><b>Wozu?</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Wozu ist die Methode bestimmt? Welchem Zweck dient die Methode?</li> </ul>			
<p><b>In welchem Kontext?</b></p> <p>Im Rahmen welches übergeordneten Zwecks wird die Methode eingesetzt?</p>	<p><b>Wie wird vorgegangen?</b></p> <p>Wie sieht die Vorgehensweise zu dieser Methode aus? Ablaufplan, Flussdiagramm</p>		
<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; padding: 5px;"> <p><b>Welche Chancen?</b></p> <p>Aus Sicht der Moderation: Welche Chancen eröffnen sich bei Anwendung dieser Methode?</p> </td> <td style="width: 50%; padding: 5px;"> <p><b>Welche Risiken?</b></p> <p>Aus Sicht der Moderation: Welche Risiken entstehen bei Anwendung dieser Methode?</p> </td> </tr> </table>	<p><b>Welche Chancen?</b></p> <p>Aus Sicht der Moderation: Welche Chancen eröffnen sich bei Anwendung dieser Methode?</p>	<p><b>Welche Risiken?</b></p> <p>Aus Sicht der Moderation: Welche Risiken entstehen bei Anwendung dieser Methode?</p>	
<p><b>Welche Chancen?</b></p> <p>Aus Sicht der Moderation: Welche Chancen eröffnen sich bei Anwendung dieser Methode?</p>	<p><b>Welche Risiken?</b></p> <p>Aus Sicht der Moderation: Welche Risiken entstehen bei Anwendung dieser Methode?</p>		
<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; padding: 5px;"> <p><b>Was wird benötigt?</b></p> <p>Was wird zur Durchführung dieser Methode benötigt?</p> </td> <td style="width: 50%; padding: 5px;"> <p><b>Was wird erreicht?</b></p> <p>Was ist das Ergebnis der Anwendung dieser Methode?</p> </td> </tr> </table>	<p><b>Was wird benötigt?</b></p> <p>Was wird zur Durchführung dieser Methode benötigt?</p>	<p><b>Was wird erreicht?</b></p> <p>Was ist das Ergebnis der Anwendung dieser Methode?</p>	<p><b>Wie moderieren?</b></p> <p>Welche Hilfen gibt es für einen Moderator zur Anwendung dieser Methode? Gibt es Hilfsfragen, ergänzende Methoden etc.?</p>
<p><b>Was wird benötigt?</b></p> <p>Was wird zur Durchführung dieser Methode benötigt?</p>	<p><b>Was wird erreicht?</b></p> <p>Was ist das Ergebnis der Anwendung dieser Methode?</p>		
<p><b>Werkzeuge und Hilfsmittel?</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Was sind Werkzeuge oder Hilfsmittel die die Anwendung dieser Methode erleichtern / ermöglichen?</li> </ul>			
<p><b>Verknüpfte Systematiken?</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Welche weiteren Systematiken sind innerhalb des Workflows verknüpft?</li> </ul>	<p><b>Anwendungsbsp.</b></p> <p>Gibt es ein Bsp. das die Anwendung dieser Methode illustriert?</p>		
<p><b>Weiterführende Literatur?</b></p> <p><b>Anmerkungen?</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gibt es weiterführende Literatur zu dieser Methode?</li> <li>- Gibt es Anmerkungen zu dieser Methode?</li> </ul>			

Abb. 4.1: Nomenklatur eines Methodenpasses (MP)

#### 4.1 Darstellung von Methoden

Kategorie	Beschreibung	Kategorie in [JENKE 2007]	Kategorie in [LINDEMANN 2007]
Wozu?	Rolle im Projekt und der direkte Zweck der Methode	Kurzbeschreibung	Zweck
In welchem Kontext?	Darstellung und Kommentierung der betreffenden Methode im übergeordneten Kontext der jeweiligen Methodengruppe	Anwendungsbereich	Situation
Welche Chancen? Welche Risiken?	Bewertung der Chancen und Risiken aus Sicht eines Moderators	Bewertung	
Was wird benötigt? Was wird erreicht?	Benötigte Eingangsinformationen und das zu erwartende Ergebnis. Die entstehenden Ergebnisse können Eingangsinformationen für nachfolgende Methoden sein.	Eingangs- informationen / Ausgangs- informationen	Situation und Wirkung
Wie wird vorgegangen?	Anwendungs-Flussdiagramm des Methodenpasses		
Wie moderieren?	Alle Untermethoden, Moderationsfragen und -hilfen		
Verknüpfte Systematiken?	Aufflistung verknüpfter Methodenpässe	Folgebeziehungen	Hinweise
Werkzeuge und Hilfsmittel?	Für den Methodeneinsatz relevante Hilfsmittel	Hilfsmittel	Werkzeuge
Weiterführende Literatur? Anmerkungen?	Verweis auf weitere Informationsquellen	Sonstige Anmerkungen	
Anwendungsbeispiel	Beispiel der praktischen Anwendung der Methode		

Abb. 4.2: Methodenpass - Kategorien im Vergleich zu anderen Autoren

- Verweise auf weitere Quellen, die sich zur Vertiefung eignen müssen hinterlegt sein.
- Erweiterbarkeit und Aktualisierbarkeit muss möglich sein.

Ein solcher Methodenbaukasten wird in dieser Arbeit für die Integration von WA und TRIZ dargelegt. Die Methoden werden in Form von *Methodenpässen* (MP) beschrieben.

Die enthaltenen Informationen werden durch kurze in Frageform formulierte Kategorien unterschieden (vgl. Abbildungen 4.1 und 4.2). Die Frageform soll die erstmalige Orientierung erleichtern und dem Anwender einen einfachen Zugang bieten. Die Vorgehensweisen der einzelnen Methoden sind in Form von Flussdiagrammen beschrieben (Nomenklatur vgl. Anh. C.1, S. 264).

Die Inspiration für die Erstellung der Methodenpässe lieferten u.a die Ausführungen in [LINDEMANN 2009a] und [JENKE 2007]. Die *Methodenpässe* in dieser Arbeit unterscheiden sich von den Beschreibungen der genannten Autoren insbesondere durch

Flussdiagramme, Moderationshilfen in Form von unterstützenden Methoden und Moderationsfragen sowie ein einfaches Anwendungsbeispiel.

## 4.2 Evolutionsanalyse im WA-Projekt

In Abschnitt 2.3.2.3 werden die Grundlagen des Evolutionsansatzes der TRIZ beschrieben. Es existiert kein universell abgestimmtes System von Evolutionsgesetzen. Eine Vielzahl von verschiedenen Autoren, obwohl in Teilen auf den Ausführungen von Altschuller aufbauend, liefern eigene Interpretationen der Evolutionsgesetze (EG). In den folgenden Abschnitten werden daher die Ansätze verschiedener Autoren begründet zusammengeführt. Die Zusammenführung soll, in einer auf Grundlage der Literatur vervollständigten Form, eine Nutzung der Evolutionstrends (ET) im WA-Projekt ermöglichen.

Die Zusammenführung geschieht in drei Schritten.

1. Gegenüberstellung verschiedener Ansätze für die Evolutionsgesetze und Vereinheitlichung in einem neuen Vorschlag (vgl. Abschnitt 4.2.1).
2. Gegenüberstellung verschiedener Ansätze für Evolutionstrends (ET) und -linien (EL), deren Zuordnung zu den Evolutionsgesetzen und die Entwicklung von vereinheitlichten Beschreibungen (vgl. Abschnitt 4.2.2).
3. Einordnung der vereinheitlichten Evolutionstrends in ein überarbeitetes S-Kurvenmodell (vgl. Abschnitt 4.2.3) mit Entwicklungsgraden<sup>51</sup>. Durch die Zuordnung zu Entwicklungsgraden kann die Position des betrachteten Systems auf der S-Kurve eingeschätzt werden.

### 4.2.1 Evolutionsgesetze

Dieser Abschnitt legt die Gegenüberstellung und Zusammenführung der Ansätze zur Definition von EG verschiedener Autoren dar. Grundlage sind die Ausführungen von [ALTSCHULLER 1998] (vgl. Abschnitt 2.3.2.3). Zusätzlich werden die Beschreibungen anderer Autoren herangezogen. Die zusammengeführten Beschreibungen der einzelnen EG sind in Anhang A hinterlegt.

Die Gegenüberstellung der ersten vier Evolutionsgesetze ist in Abb. 4.3 dargestellt. Horizontal auf einer Ebene angeordnete EG sind in ihrer Aussage vergleichbar.

Das *EG 1 - Vollständigkeit der Teile eines Systems* (Anh. A.1, S. 245) [ALTSCHULLER 1998] bildet die Grundlage der Lebensfähigkeit eines technischen Systems. Die Aussagen aller Autoren gleichen sich dabei weitgehend. FEY formuliert zusätzlich dazu den *Ersatz des Menschen als Bestandteil technischer Systeme* (vgl. [FEY et al. 2005]). Diese Erweiterung wird, da sie über das Sicherstellen der Lebensfähigkeit

<sup>51</sup>Entwicklungsgrad: Fortschritt eines betrachteten Systems auf der Stufung eines Evolutionstrends (vgl. auch [LIVOTOV et al. 2007])

<b>Evolutionsgesetz (EG)</b>	[ALTSCHULLER 1998]	[LINDE et al. 1993]	[TERNINKO et al. 1998a]	[PETROV 2002]	[ORLOFF 2006]	[FEY et al. 2005]	[KOLTZE et al. 2011]
<b>1 - Vollständigkeit der Systemteile</b>	Gesetz der Vollständigkeit der Teile eines Systems [ALTSCHULLER 1998]	Gesetz der Vollständigkeit der Teile eines Systems [LINDE et al. 1993]	Evolution mit passenden und gezielt nicht passenden Komponenten [TERNINKO et al. 1998a]	The Law of System Completeness [PETROV 2002]	Gesetz der Vollständigkeit von Systemteilen [ORLOFF 2006]	Law of Completeness [FEY et al. 2005]	Gesetz der Vollständigkeit des Systems [KOLTZE et al. 2011]
<b>2 - Vollständigkeit des Obersystems</b>							Gesetz der Vollständigkeit des Obersystems [KOLTZE et al. 2011]
<b>3 - Energetische Leitfähigkeit</b>	Gesetz der energetischen Leitfähigkeit eines Systems [ALTSCHULLER 1998]	Gesetz der energetischen Leitfähigkeit eines Systems [LINDE et al. 1993]		The Law of Existence of Links [PETROV 2002]	Gesetz der „Energieleitfähigkeit“ eines Systems [ORLOFF 2006]	Law of shorting of energy flow path [FEY et al. 2005]	
<b>4 - Koordination</b>	Gesetz der Abstimmung der Rhythmik der Teile eines Systems [ALTSCHULLER 1998]	Gesetz der Abstimmung der Rhythmik der Teile eines Systems [LINDE et al. 1993]		The Law of Coordination [PETROV 2002]	Gesetz der Koordinierung der Rhythmik von Systemteilen [ORLOFF 2006]	Law of Harmonization of Rhythms [FEY et al. 2005]	

Abb. 4.3: Zuordnung der Evolutionsgesetze 1 bis 4

#### 4 Methodische Vorbetrachtungen

durch Vollständigkeit hinausgeht, im EG 9 *Erhöhung von Dynamik und Steuerbarkeit* aufgegriffen.

[KOLTZE et al. 2011] führt zusätzlich zur *Vollständigkeit der Teile eines Systems* das *EG 2 - Vollständigkeit des Obersystems* (Anh. A.2, S. 245) ein. Dieses Evolutionsgesetz ist nicht Bestandteil der Ausführungen von Altschuller oder anderer Autoren. KOLTZE definiert drei Gruppen von Bestandteilen (Obersystem als Energiequelle, Obersystem als Grundlage des Lebenszyklus, Obersystem als Grundlage des Produkts), die für die *Vollständigkeit eines Obersystems* erfüllt sein müssen. Dieses EG wird in die Zusammenstellung aufgenommen, da diese zusätzliche Vollständigkeitsbedingung das Obersystem als wesentliche evolutionäre Voraussetzung aufgreift.

Das *EG 3 - Energetische Leitfähigkeit* (Anh. A.3, S. 246) orientiert sich wieder an der Definition von [ALTSCHULLER 1998]. [FEY et al. 2005] erweitert die Ausführungen Altschullers durch eine Fokussierung auf die Steuerbarkeit der zur Energieleitung benutzten Felder und eine Reduktion von Transformationen zwischen verschiedenen Feldern. [PETROV 2002] fügt dem Konzept der Energieleitfähigkeit auch die Bewertung jeglicher Verknüpfungen und Einflüsse in technischen Systemen hinzu. Diesem Gesetz ist der ET *Erhöhung des Energie-Leitvermögens* zuzuordnen.

Das *EG 4 - Koordination* (Anh. A.4, S. 248) umfasst alle Ansätze, die der Abstimmung der Rhythmik von Systemteilen dienen. Grundlage bilden hier wieder die Ausführungen nach [ALTSCHULLER 1998]. [TERNINKO et al. 1998a] erweitert dieses Gesetz um eine gezielte Betrachtung von passenden und gezielt nicht passenden Elementen. Dieses Gesetz wird durch die vier ET *Abstimmung der Systemrhythmik, Erhöhung der Fläche der Wechselwirkung, Erhöhung der Gestalt- und Formkoordination* und *Nutzung von Asymmetrien und Symmetrien* detailliert.

Die Zuordnungen für alle weiteren Evolutionsgesetze sind in Abb. 4.4 dargestellt.

Das *EG 5 - Erhöhung der Idealität* (Anh. A.5, S. 248) basiert auf dem EG nach [ALTSCHULLER 1998]. Es ist als ein übergeordnetes Gesetz anzusehen, das die generelle Entwicklung von Systemen hin zu höherer Idealität beschreibt. Die Beschreibungen der anderen Autoren gleichen denen von Altschuller. In [TERNINKO et al. 1998a] und in [ORLOFF 2006] werden zusätzliche Hinweise für die Erhöhung der Idealität in Form von dezidierten Schritten gegeben.

Das *EG 6 - Ungleichmäßigkeit der Entwicklung von Systemteilen* (Anh. A.6, S. 250) beschreibt eine wesentliche Ursache für das Entstehen von Widersprüchen. [ALTSCHULLER 1998] bildet wiederum die Grundlage, andere Autoren erweitern das EG nicht nennenswert.

Das *EG 7 - Über Komplexität zur Einfachheit* (Anh. A.7, S. 250) basiert auf der Beschreibung von [TERNINKO et al. 1998a]. Es beschreibt die Tendenz von technischen Systemen, sich zunächst in Richtung steigender Komplexität zur Leistungserhöhung und dann in Richtung Vereinfachung zur Effizienzsteigerung zu entwickeln [TERNINKO et al. 1998a]. Es wurde nicht von Altschuller definiert. Die maßgeblichen Autoren sind hier [LINDE et al. 1993] und [TERNINKO et al. 1998a]. Dieses Gesetz wird durch den ET *Expansion-Kontraktion* detailliert.

<b>Evolutionsgesetz (EG)</b>	[ALTSCHULLER 1998]	[LINDE et al. 1993]	[TERNINKO et al. 1998a]	[PETROV 2002]	[ORLOFF 2006]	[FEY et al. 2005]	[KOLTZE et al. 2011]
<b>5 - Idealität</b>	Gesetz der Erhöhung der Idealität eines Systems [ALTSCHULLER 1998]	Gesetz der Erhöhung des Grads der Idealität [LINDE et al. 1993]	Vergrößerung der Idealität [TERNINKO et al. 1998a]	The Law of Increase of the Degree of Ideality [PETROV 2002]	Gesetz des Wachstums der Idealität [ORLOFF 2006]	Law of Increasing Degree of Ideality [FEY et al. 2005]	Gesetz der Erhöhung der Idealität [KOLTZE et al. 2011]
<b>6 - Ungleichmäßige Systemteilentwicklung</b>	Gesetz der Ungleichmäßigkeit der Entwicklung der Teile eines Systems [ALTSCHULLER 1998]	Gesetz der Ungleichmäßigkeit der Entwicklung der Teile eines Systems [LINDE et al. 1993]	Uneinheitliche Entwicklung der Systemteile [TERNINKO et al. 1998a]	The Law of Irregular Evolution of System Parts [PETROV 2002]	Gesetz der ungleichmäßigen Entwicklung von Systemteilen [ORLOFF 2006]	Law of Non-Uniform Evolution of Subsystems [FEY et al. 2005]	Gesetz der ungleichen Entwicklung von Systemteilen [KOLTZE et al. 2011]
<b>7 - Über Komplexität zur Einfachheit</b>	Gesetz des Übergangs von komplizierten zu einfachen Systemen [LINDE et al. 1993]	Über Komplexität zur Einfachheit [TERNINKO et al. 1998a]					
<b>8 - Übergang in ein Obersystem</b>	Gesetz des Übergangs in ein Obersystem [ALTSCHULLER 1998]	Gesetz des Übergangs in ein Obersystem [LINDE et al. 1993]		The Law of Transitive Systems [PETROV 2002]	Gesetz des Übergangs in ein Suprasystem [ORLOFF 2006]	Law of Transition to Higher-Level System [FEY et al. 2005]	Gesetz des Übergangs in ein Obersystem [KOLTZE et al. 2011]

Abb. 4.4: Zuordnung der Evolutionsgesetze 5 bis 8

<b>Evolutionsgesetz (EG)</b>	[ALTSCHULLER 1998]	[LINDE et.al. 1993]	[TERNINKO et.al. 1998a]	[PETROV 2002]	[ORLOFF 2006]	[FEY et.al. 2005]	[KOLTZE et.al. 2011]
<b>9 - Erhöhung von Dynamik und Steuerbarkeit</b>	Gesetz des Übergangs von der Makroebene zur Mikroebene [ALTSCHULLER 1998]	Gesetz des Übergangs von der Makroebene zur Mikroebene [LINDE et.al. 1993]	Miniaturisierung und verstärkter Einsatz von Feldern [TERNINKO et.al. 1998a]	The Law of Transition of a System from Macro- to Microlevel [PETROV 2002]	Gesetz des Übergangs vom Makroniveau zum Mikroniveau [ORLOFF 2006]	Law of Transition to Micro-Levels [FEY et.al. 2005]	
	Gesetz der Erhöhung des Anteils von Stoff-Feld-Systemen [ALTSCHULLER 1998]	Gesetz der Erhöhung des Anteils von Stoff-Feld-Systemen [LINDE et.al. 1993]	Erhöhung von Dynamik und Steuerung [TERNINKO et.al. 1998a]	The Law of the Increase of Substance-Field-Interactions [PETROV 2002]	Gesetz des Übergangs zu steuerbaren Ressourcen [ORLOFF 2006]	Law of Increasing Substance-Field Interactions [FEY et.al. 2005]	Gesetz der Erhöhung von Stoff-Feld-Interaktionen [KOLTZE et.al. 2011]
	Gesetz des Übergangs von der Instrumentierung zur Automatisierung [LINDE et.al. 1993]	Geringere menschliche Interaktion [TERNINKO et.al. 1998a]				Law of Increasing Dynamism (Flexibility) [FEY et.al. 2005]	

Abb. 4.5: Zuordnung des Evolutionsgesetzes 9

Das *EG 8 - Übergang eines technischen Systems in ein Obersystem* (Anh. A.8, S. 251) basiert auf einem in [ALTSCHULLER 1998] formulierte Evolutionsgesetz. Die anderen Autoren entsprechen der Darstellung von ALTSCHULLER. Der ET *Übergang zum Bi-, Poly- und Obersystem* detailliert dieses Gesetz.

Das *EG 9 - Erhöhung von Dynamik und Steuerbarkeit* (Anh. A.9, S. 251) (vgl. Abb. 4.5 ) fasst die drei wesentlichen, mit der Dynamik von technischen Systemen verbundenen Strömungen *Übergang in die Mikroebene, Erhöhung der Anzahl von Stoff-Feld-Interaktionen* und den *Ersatz des Menschen zur Funktion technischer Systeme* zusammen. Der *Übergang von der Makro- zur Mikroebene* ist bei ALTSCHULLER (vgl. [ALTSCHULLER 1998]) und allen anderen Autoren vorhanden. Gleiches gilt für die *Erhöhung des Anteils von Stoff-Feld-Systemen*. LINDE, TERNINKO und FEY definieren zusätzlich Gesetze, die eine *Entwicklung von Systemen hin zu höherer Flexibilität* und *Ersatz des Menschen als Bestandteil des Systems* beschreiben. Das EG *Erhöhung der Dynamik und Steuerbarkeit* wird durch die ET *Erhöhung der Anpassungsfähigkeit, Erhöhung der Steuerbarkeit von Feldern, Segmentierung in die Mikroebene* und *Erhöhung des Automatisierungsgrades* konkretisiert.

In diesem Abschnitt wurden verschiedene Ansätze für Evolutionsgesetze auf Grundlage der Strukturierung von ALTSCHULLER zusammengeführt. Wenn angemessen wurden die Gesetze um die Ausführungen anderer Autoren erweitert (vgl. auch Anhang A).

Die neu formulierten Evolutionsgesetze ermöglichen eine Übersicht über die bisherigen Ansätze verschiedener Autoren, zeigen eine Möglichkeit zur Kombination verschiedener Ansätze auf und bilden die Grundlage für die Zusammenführung der Evolutionstrends und -linien in Abschnitt 4.2.2.

### 4.2.2 Evolutionstrends und -linien

In diesem Abschnitt werden verschiedene Ansätze zur Definition von Evolutionstrends gegenübergestellt, um eine Konzept für die Evolutionsanalyse in der WA entwickeln zu können.

In den Abbildungen 4.6 und 4.7 sind den in Abschnitt 4.2.1 zusammengeführten Evolutionsgesetze die Evolutionstrends und Evolutionslinien verschiedener Autoren zugeordnet worden.

Jedem resultierenden Evolutionstrend sind in dessen Zeile die Evolutionstrends verschiedener Autoren zugeordnet. Evolutionstrends, die über mehrere Zeilen reichen, decken in ihrer Aussage mehrere neu kombinierte Evolutionstrends ab.

Den EG 1 *Vollständigkeit der Teile eines Systems* und 2 *Vollständigkeit des Obersystems* können keine ET zugeordnet werden.

Dem *Evolutionsgesetz 3 - Energetische Leitfähigkeit* (vgl. Abb. 4.6) untergeordnet ist der *Evolutionstrend 1 - Erhöhung des Energieleitvermögens*. Dieser ET bildet die Reduzierung von Energie-Transformationen in technischen Systemen im Verlauf der Evolution eines Systems ab. Dazu werden Evolutionstrends der Autoren FEY, KOLTZE und MANN kombiniert (vgl. Abschnitt 4.2.2.1).

4 Methodische Vorbetrachtungen

Übergeordnetes Evolutionsgesetz: <b>3 - Energetische                  Leitfähigkeit</b>				
	[FEY et.al. 2005]	[KOLTZE et.al. 2011]	[MANN 2002]	
Resultierende Evolutionstrends (ET): <b>1 Erhöhung des Energie-                  Leitvermögens</b>	Line of Reduction in The Number of Energy Transformation Stages [FEY et.al. 2005]	Trend „Erhöhung des Energie- Leitvermögens“ [K OLTZE et.al. 2011]	Reducing Number of Energy Conversions [MANN 2002]	
Übergeordnetes Evolutionsgesetz: <b>4 - Koordination</b>				
	[FEY et.al. 2005]	[KOLTZE et.al. 2011]	[LIVOTOV 2007]	[MANN 2002]
Resultierende Evolutionstrends (ET): <b>2 Abstimmung der                  Systemrhythmik</b>	Lines of Chronokinematics [FEY et.al. 2005]	Trend „Koordination und Evolution der Rhyth- hmik“ [KOLTZE et.al. 2011]	Trend „Abstimmung der Systemrhythmik“ [LIVOTOV 2007]	Rhythm Co- ordination [MANN 2002] Action Co-ordination [MANN 2002]
<b>3 Erhöhung der Fläche                  der Wechselwirkung</b>		„Evolution der Geometrie“ [KOLTZE et.al. 2011]	Trend „Erhöhung der Fläche der Wechselwirkung“ [LI VOTOV 2007]	Geometric Evolution (Linear) [MANN 2002] Geometric Evolution (Volumetric) [MANN 2002]
<b>4 Erhöhung der                  Formkoordination</b>	Smart Materials [FEY et.al. 2005]			Smart Materials, Webs and Fibres [MANN 2002]
<b>5 Nutzung von                  Asymmetrien und                  Symmetrien</b>				Increasing Asymmetry [MANN 2002]

Abb. 4.6: Zusammenführung von Evolutionstrends (ET) und -linien (EL) mit Zuordnung zu den *Evolutionsgesetzen (EG) 3 - Energetische Leitfähigkeit* und *4 - Koordination*

Dem *Evolutionsgesetz 4 - Koordination* (vgl. Abb. 4.6) untergeordnet sind die *Evolutionstrends 2 - Abstimmung der Systemrhythmik, 3 - Erhöhung der Fläche der Wechselwirkung, 4 - Erhöhung der Formkoordination* und *5 - Nutzung von Asymmetrien und Symmetrien*. Diese ET beschreiben die Abstimmung von Rhythmen in einem System und verschiedene Formen der Koordination /Entwicklung von Geometrien. Dazu werden Evolutionstrends der Autoren FEY, KOLTZE, LIVOTOV und MANN kombiniert (vgl. Abschnitte 4.2.2.2 bis 4.2.2.5).

Dem *Evolutionsgesetz 7 - Über Komplexität zur Einfachheit* (vgl. Abb. 4.7) untergeordnet ist der *Evolutionstrend 6 - Expansion - Kontraktion*. Dieser ET bildet die Entwicklung der Leistung und Effizienz eines technischen Systems ab. Dazu werden Evolutionstrends der Autoren KOLTZE, MANN und ORLOFF kombiniert (vgl. Abschnitt

## 4.2 Evolutionsanalyse im WA-Projekt

Übergeordnetes  
Evolutionsgesetz:

**7 - Über  
Komplexität zur  
Einfachheit**

	[FEY et.al. 2005]	[KOLTZE et.al. 2011]	[LIVOTOV 2007]	[MANN 2002]	[ORLOFF 2006]	[TERNINKO et.al. 1998a]
Resultierender Evolutionstrend (ET):		Trend „Zusammenfall“ [KOLTZE et.al. 2011]		Trimming [MANN 2002]	„Evolutionswelle“ [O RLOFF 2006]	

Übergeordnetes  
Evolutionsgesetz:

**8 - Übergang in  
ein Obersystem**

	[FEY et.al. 2005]	[KOLTZE et.al. 2011]	[LIVOTOV 2007]	[MANN 2002]	[ORLOFF 2006]	[TERNINKO et.al. 1998a]
Resultierender Evolutionstrend (ET):		Trend „Übergang zum Obersystem“ [KOLTZE et.al. 2011]			„Übergänge in Supra- Subsysteme“ [ORLO FF 2006]	
<b>7 Übergang zum Bi-, Poly- und Obersystem</b>	Lines of Transitioning to Higher-Level- Systems (Lines Mono-Bi-Poly) [FEY et.al. 2005]		Trend „Übergang zum Bi-, Poly- und Obersystem“ [LI VOTOV 2007]	Mono-Bi-Poly (Similar) [MANN 2002] Mono-Bi-Poly (Various) [MANN 2002] Mono-Bi-Poly (Increasing Differences) [MANN 2002]	„Mono-Bi/Poly- Mono“ [ORLOFF 2006]	Linien zum Entwicklungsmuster „Über Komplexität zur Einfachheit“ [TERNI NKO et.al. 1998a]

Grundlegendes  
Evolutionsgesetz:

**9 - Erhöhung  
von Dynamik  
und Steuerung**

	[FEY et.al. 2005]	[KOLTZE et.al. 2011]	[LIVOTOV 2007]	[MANN 2002]	[ORLOFF 2006]	[TERNINKO et.al. 1998a]
Resultierende Evolutionstrends:		„Zunehmende Steuerbarkeit“ [KOLTZE et.al. 2011]	„Steigerung der Steuerbarkeit von Feldern“ [LIVOTOV 2007]		„Linie der Ressourcen- entwicklung“ [ORLO FF 2006]	
<b>8 Erhöhung der Anpassungs- fähigkeit</b>						
<b>9 Erhöhung der Steuerbarkeit von Feldern</b>	Lines of increasing flexibility of physical structures [FEY et.al. 2005]	„Dynamisierung“ [KOLTZE et.al. 2011]	„Erhöhung der Anpassungsfähig- keit“ [LIVOTOV 2007]	Design Point [MANN 2002] Dynamization [MANN 2002]		
<b>10 Segmentierung in die Mikroebene</b>	Line of Transition to Micro-Levels [FEY et.al. 2005]	„Übergang auf die Mikroebene“ [KOLTZE et.al. 2011]	„Anwendung von porösen Strukturen“ [LIVOTOV 2007]	Object Segmentation [MANN 2002] Space Segmentation [MANN 2002] Surface Segmentation [MANN 2002] Evolution Macro to Nano Scale [MANN 2002]	„Linie der Einführung von Hohlräumen“ [ORLO FF 2006]	
<b>11 Erhöhung des Automatisier- ungsgrades</b>	Line of Completion (Dislodging of Human Involvement) [FEY et.al. 2005] Lines of Increasing Dynamism [FEY et.al. 2005]	„Erhöhung der Automation“ [KOLTZE et.al. 2011]	„Erhöhung des Automatisierungs- grades“ [LIVOTO V 2007]	Reducing Human Involvement [MANN 2002] Controllability [MANN 2002] Increasing Use of Senses [MANN 2002]	„Linie des Ersatzes des Menschen beim Funktionieren techn. Systeme“ [ORLOFF 2006]	

Abb. 4.7: Zusammenführung von Evolutionstrends (ET) und -linien (EL) mit Zuordnung zu den *Evolutionsgesetzen (EG) 7 - Über Komplexität zur Einfachheit, 8 - Übergang in ein Obersystem und 9 - Erhöhung von Dynamik und Steuerung*

#### 4 Methodische Vorbetrachtungen

##### 4.2.2.6).

Dem *Evolutionsgesetz 8 - Übergang in ein Obersystem* (vgl. Abb. 4.7) untergeordnet ist der *Evolutionstrend 7 - Übergang zum Bi- /Polysystem*. In diesem ET werden zwei Aspekte beschrieben. Zum einen wird die Integration eines Systems in dessen Obersystem beschrieben. KOLTZE, LIVOTOV und ORLOFF definieren hierzu Evolutionstrends. Zum anderen wird die Kombination von Systemen entlang der Kette Mono-Bi-Poly-Mono beschrieben. FEY, LIVOTOV, MANN, ORLOFF und TERNINKO definieren hierzu Evolutionstrends (vgl. Abschnitt 4.2.2.7).

Zusammenführung ET x ET-Titel		
Entwicklungs- grad	Titel ET von Autor 1	Titel ET von Autor 2
	Autor 1	Autor 2
20%	Stufe von Autor 1, die 20 % Entwicklungsgrad zugeordnet wurde	Stufe von Autor 2, die 20 % Entwicklungsgrad zugeordnet wurde
40%	Stufe von Autor 1, die 40 % Entwicklungsgrad zugeordnet wurde	Stufe von Autor 2, die 40 % Entwicklungsgrad zugeordnet wurde
75%	...	...
100%	...	...

Abb. 4.8: Zusammenführung  
Evolutionstrends - Nomenklatur

[LIVOTOV et al. 2007] vorgestellten Stufenmodell für Entwicklungsgrade. Dabei werden einzelnen Entwicklungsstufen den Prozentwerten zugeordnet. 100 % definiert den höchsten Evolutionsgrad (vgl. Abb. 4.8 links). Ein Stufenmodell bietet den großen Vorteil, dass man dieses dem Verlauf einer S-Kurve zuordnen kann (vgl. Abschnitt 4.2.3). Dadurch erhält man eine Metrik, um den Fortschritt eines Systems in dessen Technologie-Lebenszyklus einzuschätzen.

Um das Fundament für die Anwendung der Evolutionstrends in der WA zu schaffen, wird in dieser Arbeit das o.g. Stufenmodell erweitert. Die dadurch erfolgte Definition von ET mit Beschreibungen (siehe Anhang B) strukturiert den Stand der Technik der TRIZ und bietet dem Nutzer eine übersichtliche Dokumentation mit für die Evolutionsanalyse praktikabler Stufung. Da alle Autoren ihre Ausführungen auf der TRIZ-Wissensbasis aufbauen und mit ihren eigenen Erkenntnissen ergänzen, ist eine grundlegende Übereinstimmung der Ansätze gegeben. Unterschiede bestehen in der Stufung, der Benennung und der Stufung der Evolutionstrends.

Dem *Evolutionsgesetz 9 - Erhöhung von Dynamik und Steuerung* (vgl. Abb. 4.7) untergeordnet sind die *Evolutionstrends 8 - Erhöhung der Anpassungsfähigkeit, 9 - Erhöhung der Steuerbarkeit von Feldern, 10 - Segmentierung in die Mikroebene und 11 - Erhöhung des Automatisierungsgrades*. Diese ET beschreiben die Entwicklung der Anpassungsfähigkeit und Steuerbarkeit eines Systems, die Nutzung der Mikroebene zur Funktionausführung und die Erhöhung des Automatisierungsgrades eines Systems. Dazu werden Evolutionstrends der Autoren FEY, KOLTZE, LIVOTOV, MANN, ORLOFF und TERNINKO kombiniert (vgl. Abschnitte 4.2.2.8 bis 4.2.2.11).

Die Kombinationen der ET werden in den folgenden Abschnitten detailliert erläutert (Schema siehe Abb. 4.8). Die beschriebenen Zuordnungen von ET orientieren sich, wo möglich, an einem in

Bezüglich der Stufung unterteilen manche Autoren (z.B. KOLTZE) ihre Evolutions-trends in unterschiedliche Evolutionslinien. Für andere Autoren sind diese Evoluti-onslinien eigenständige Evolutionstrends. Es wurde versucht, einen möglichst über alle Autoren konsistenten Zustand herzustellen.

Zusätzlich benennen die Autoren ihre Evolutionstrends unterschiedlich. So beschrei-ben LIVOTOV mit dem ET *Erhöhung der Fläche der Wechselwirkung* und KOLTZE mit seinem Evolutionstrend *Evolution der Geometrie* (mit den untergeordneten Evoluti-onslinien *Evolution von Linien* und *Evolution von Volumen*) den gleichen Sachverhalt. Solche Unterschiede werden über das Studium der Inhalte der einzelnen ET und EL identifiziert und in einer vereinheitlichen Beschreibung zusammengefasst.

Ein weiterer Unterschied besteht in der Stufung der Evolutionstrends der Autoren. So beschreibt LIVOTOV in seinem ET *Erhöhung der Fläche der Wechselwirkung* beim Evolutionsgrad 100 % die Stufe als *Wechselwirkung oder Kontakt zwischen zwei Ob-jekten erfolgt über Volumen..* KOLTZE stellt dem gegenüber für die *Evolution von Volumen* die Stufen *Kiste*, *Zylinder*, *sphärische Form* und *komplexe 3D-Form*. Es wurde versucht, die einzelnen Stufen möglichst konsistent zu synchronisieren. Da wo dies nicht möglich war, wurden zugunsten eines größeren Detailgrades zusätzliche Stufen eingeführt.

4.2.2.1 ET 1 - Erhöhung des Energie-Leitvermögens

Entwicklungs-grad	[KOLTZE et.al. 2011]	[MANN 2002]
		<b>Erhöhung des Energie-Leitvermögens</b> Anpassung eines Feldes an den Stoff Reduzierung der Energieverluste
20%	nicht optimale Feld-Nutzung nicht energieoptimiertes System	Three or more Energy Conversions
40%	semi-optimale Feld-Nutzung Reduzierung der Länge von Energieleitungen	Three or more Energy Conversions
75%	semi-optimale Feld-Nutzung Reduzierung der Anzahl von Feldtypen	One Energy Conv.    Two Energy Conv.
100%	optimale Feld-Nutzung Ersatz eines Systems mit mehreren Feldern durch ein System mit einem Feld	Zero Energy Conversion

Der *Evolutionstrend 1 - Erhöhung des Energieleitvermögens* (Anh. B.1, S. 253) (vgl. Abb. 4.9) charakterisiert ein technisches System anhand der in ihm ablaufenden Energie-Umwandlungen und Energieübertragungswege. Je weniger Energie-Umwandlungen stattfinden und je kürzer Energieübertragungswege sind, desto höher ist der evolutionäre Entwicklungsgrad eines technischen Systems. Dieser ET ist dem *EG 3 Energetische Leitfähigkeit* zugeordnet.

Die Stufung von KOLTZE wird als Grundlage der Zusammenführung verwendet, da dieser den *Grad der Feld-Nutzung* und die *Reduzierung der Energieverluste* betrachtet. MANN beschränkt sich auf die *Anzahl der Energieumwandlungen*, spezifiziert dafür sogar die Anzahl der Energieumwandlungen. Wesentlich in der Zuordnung sind die Stufen 40 % und 75 %. Für KOLTZE erfolgt die Reduktion der Anzahl der Feldtypen erst in einem höheren Evolutionsgrad (75 %), daher ist seitens MANN der Stufe 40 % der glei-

Abb. 4.9: Zusammenführung des ET 1 - Erhöhung des Energie-Leitvermögens

#### 4 Methodische Vorbetrachtungen

che Inhalt („Three or more energy conversions“) wie der Stufe 20 % zugeordnet. In der Stufe 75 % ist dann die Reduktion der Feldtypen gruppiert.

##### 4.2.2.2 ET 2 - Abstimmung der Systemrhythmik

Der *Evolutionstrend 2 - Abstimmung der Systemrhythmik* (Anh. B.3, S. 254) charakterisiert ein technisches System anhand Koordination von Rhythmen während der Nutzung. Dieser ET ist dem EG 4 *Koordination* zugeordnet. Die Zusammenführung ist in Abb. 4.10 hinterlegt.

Grundlage der Stufung bilden die ET von LIVOTOV und KOLTZE, die auch in ihrer Aufteilung vergleichbar sind. Während LIVOTOV allgemeinere Formulierungen verwendet, differenzieren die anderen Autoren (insb. KOLTZE) stärker.

Für die Stufe 40 % wird die Nutzung von periodischen (alle Autoren) und pulsierenden Wirkungen (LIVOTOV, KOLTZE und FEY ET.AL.) als Stufe formuliert. Bei LIVOTOV ist eine Koordination von Frequenzen und Wirkungen zunächst nicht ersichtlich. Daher verbleiben KOLTZE und MANN jeweils auf der ersten Stufe ihrer jeweiligen ET.

Die Nutzung von Resonanzen, Stehenden Wellen (alle Autoren) werden als die finalen Stufen der Entwicklung der Wirkung angesehen. Bei LIVOTOV ist eine Koordination von Frequenzen nicht erkennbar. In Anbetracht der Ausnutzung von Pausen in der Stufe 80 % erfolgt aber eine zunehmende Koordination von Wirkungen (KOLTZE, MANN, FEY ET.AL.) in der Stufe 60 %. In der Stufe 80 % ist die Koordination von Frequenzen festzustellen (LIVOTOV, KOLTZE).

Die Ausnutzung von Pausen und die Abstimmung von Wirkungen bei LIVOTOV in der Stufe 80 % bedingen die Stufen 4 und 5 zur Koordination der Wirkung bei KOLTZE und MANN. Eine stärkere Koordination der Wirkung beinhaltet die von FEY ET.AL. ausgeführten Stufen zur parallelen Ausführung von Funktionen und vollständig vorausgehenden Aktionen.

Die gezielte Abstimmung /Nicht-Abstimmung von Frequenzen und die Abstimmung der Periodizität auf Eigenfrequenzen eines Objektes werden bei KOLTZE und LIVOTOV als die höchsten Stufen der Koordination der wirkenden Frequenzen gesehen (100 %). Die Ausnutzung von Pausen und die Abstimmung von Wirkungen bei LIVOTOV in der Stufe 80 % bedingen die Stufen 4 und 5 bezüglich der Koordination der Wirkung bei KOLTZE und MANN. Eine stärkere Koordination der Wirkung beinhalten die von FEY ET.AL. ausgeführten Stufen zur parallelen Ausführung von Funktionen und vollständig vorausgehenden Aktionen.

## 4.2 Evolutionsanalyse im WA-Projekt

Entwicklungsgrad	[LIVOTOV 2009] Abstimmung der Systemrhythmik	[KOLTZE et.al. 2011] Koordination und Evolution der Rhythmik	[MANN 2002] Rhythm Co-Ordination Action Co-Ordination	[FEY et.al. 2005] Lines of Chronokinematik
20%	Von der konstanten, stationären Wirkung ist zur kontinuierlich bzw. monoton veränderbaren Wirkung überzugehen.	1. keine Koordination der Frequenzen 1. keine Koordination von Wirkungen und Ereignissen 1. keine oder kontinuierliche Wirkung	1. Non-Coordinated Action 1. Continuous Action	
40%	Von der kontinuierlich bzw. monoton veränderbaren Wirkung ist zur periodischen Wirkung oder Impulswirkung überzugehen.	1. keine Koordination der Frequenzen 1. keine Koordination von Wirkungen und Ereignissen 2. Einführung periodischer Wirkung 3. pulsierende Wirkung	1. Non-Coordinated Action 2. Periodic Action	1. oszillierende Funktionenausführung 2. pulsartige Funktionenausführung
60%	Wenn die Wirkung bereits periodisch erfolgt, ist die Periodizität veränderbar zu machen, z.B. sind phasen-, frequenz- oder amplitudenmodulierte Wirkung, Stehwellen, Wanderwellen, Resonanz etc. anzuwenden.	1. keine Koordination der Frequenzen 2. Koordination von zwei Wirkungen / Ereignissen in der Zeit 3. Koordination von mehreren Wirkungen / Ereignissen in der Zeit 4. pulsierende Wirkung in der Resonanz 5. Verschiedene Wirkungen zusammen 6. Stehende Welle	2. Partially-Coordinated Action 3. Use of Resonance 4. Traveling Wave	1. Aktionen sequentiell 2. Simultane Ausführung mehrerer Funktionen 1. wenige Funktionen, ggf. auch parallel 1. teilweise vorausgehende Aktion 3. peakartige Funktionenausführung
80%	Die Pausen zwischen den Impulsen sind für eine andere Wirkung auszunutzen. Die Periodizität der Wirkung soll auf die Periodizität anderer Wirkungen abgestimmt werden.	2. Koordination der Frequenzen 4. Ausfüllen von Pausen 5. volle Synchronisierung von Wirkungen / Ereignissen 4. pulsierende Wirkung in der Resonanz 5. Verschiedene Wirkungen zusammen 6. Stehende Welle	3. Fully Co-ordinated Action 4. Different Actions During Intervals 3. Use of Resonance 4. Traveling Wave	2. Aktionen parallel 2. Simultane Ausführung mehrerer Funktionen 2. Mehr Funktionen parallel, mit kürzeren Ausführungszeiten 2. vollständig vorausgehende Aktion 3. peakartige Funktionenausführung
100%	Die Periodizität der Wirkung soll auf die Eigenfrequenz eines der Objekte abgestimmt werden: im Einzelfall übereinstimmen oder absichtlich nicht übereinstimmen.	3. bewußt nicht koordinierte Frequenzen 4. Nutzung der Eigenfrequenzen der Objekte 4. Ausfüllen von Pausen 5. volle Synchronisierung von Wirkungen / Ereignissen 4. pulsierende Wirkung in der Resonanz 5. Verschiedene Wirkungen zusammen 6. Stehende Welle	3. Fully Co-ordinated Action 4. Different Actions During Intervals 3. Use of Resonance 4. Traveling Wave	2. Aktionen parallel 2. Simultane Ausführung mehrerer Funktionen 2. Mehr Funktionen parallel, mit kürzeren Ausführungszeiten 2. vollständig vorausgehende Aktion 3. peakartige Funktionenausführung

Abb. 4.10: Zusammenführung des ET 2 - Abstimmung der Systemrhythmik

4.2.2.3 ET 3 - Erhöhung der Fläche der Wechselwirkung

Der *Evolutionstrend 3 - Erhöhung der Fläche der Wechselwirkung* (Anh. B.4, S. 255) charakterisiert ein technisches System anhand der Wechselwirkungen zwischen seinen Elementen oder mit seinem Umfeld. Dabei steigt der Evolutionsgrad, wenn Wechselwirkungen statt über Punkte oder Linien mit komplexeren Kontakten mit 3D-Konturen und Volumen-Kontakten erfolgen (Zusammenführung vgl. Abb. 4.11).

Entwicklungsgrad	[LIVOTOV 2009] Erhöhung der Fläche der Wechselwirkung	[KOLTZE et.al. 2011] Evolution der Geometrie	[MANN 2002] Geometric Evolution (Lines) Geometric Evolution (Volume)
20%	Wechselwirkung oder Kontakt zwischen zwei Objekten erfolgt an einem oder mehreren Punkten.	<u>Evolution von Linien</u> 1. Punkt	Geometric Evolution (Linear): Point
40%	Wechselwirkung oder Kontakt zwischen zwei Objekten erfolgt auf einer Linie.	<u>Evolution von Linien:</u> 2. gerade Linie 3. zusammengesetzte gerade Linie im 2D	Geometric Evolution (Linear): 1D Line 2D Plane
60%	Wechselwirkung oder Kontakt zwischen zwei Objekten erfolgt auf einer zwei- oder dreidimensionalen Kurve.	<u>Evolution von Linien:</u> 4. Kurve im 2D 5. Kurve im 3D	Geometric Evolution (Linear): 3D Surface
80%	Wechselwirkung oder Kontakt zwischen zwei Objekten erfolgt auf einer Fläche.	<u>Evolution von Volumen:</u> 1. Fläche	Geometric Evolution (Volumetric): Planar Structure
90%		<u>Evolution von Volumen:</u> 2. Kiste 3. Zylinder	Geometric Evolution (Volumetric): 2D Structure Axi-Symmetric Structure
100%	Wechselwirkung oder Kontakt zwischen zwei Objekten erfolgt über Volumen.	<u>Evolution von Volumen:</u> 4. sphärische Form 5. komplexe 3D-Form	Geometric Evolution (Volumetric): Fully 3D Structure

Abb. 4.11: Zusammenführung des ET 3 - Erhöhung der Fläche der Wechselwirkung

KOLTZE und MANN differenzieren die Übertragung von Wechselwirkungen über das Volumen in vier (KOLTZE) bzw. drei (MANN) Schritte. LIVOTOV sieht hier keinen zusätzlichen Schritt vor. Hier wurde zur besseren Verdeutlichung ein Übergangsschritt 90 % eingeführt.

4.2.2.4 ET 4 - Erhöhung der Formkoordination

Entwicklungsgrad	[KOLTZE et.al. 2011] Evolution der Geometrie	[MANN 2002] Smart Materials Webs and Fibres
	20%	1. nicht abgestimmte Formen
40%	2. starr abgestimmte Formen	Smart Materials: Passive Material Webs and Fibres: 2D regular mesh structure Webs and Fibres: 3D Fibre, alignment according to load conditions
75%	3. dynamisch abgestimmte Formen	Smart Materials: One-Way-Adaptive Material Two-Way-Adaptive Material Webs and Fibres: Addition of active elements
100%	4. intelligent abgestimmte Formen	4. Fully Adaptive Material

Abb. 4.12: Zusammenführung des ET 4 - Erhöhung der Formkoordination

Der *Evolutionstrend 4 - Erhöhung der Formkoordination* (Anh. B.5, S. 255) (Zusammenführung vgl. Abb. 4.12) charakterisiert ein technisches System anhand der Adaption von Formen auf einwirkende Einflüsse. Der Evolutionsgrad steigt dabei mit dem Übergang von passiven Materialien und nicht abgestimmten Formen zu voll-adaptiven Materialien und dynamisch/intelligent abgestimmten Formen. Dieser ET ist dem EG 4 *Koordination* zugeordnet.

Für die Stufen 20 % und 40 % setzen nicht abgestimmte und starr abgestimmte Formen sowie 2D und 3D Faserlagen den Einsatz passiver Materialien voraus.

Dynamisch abgestimmte Formen setzen adaptive Materialien voraus (Stufe 75 %). Dazu passt auch die Einbringung von aktiven Elementen in Fasermaterialien.

Intelligent abgestimmte Formen können der Evolutionsstufe voll-adaptives-Material zugeordnet werden (Stufe 100 %).

4.2.2.5 ET 5 - Nutzung von Asymmetrien und Symmetrien

Der *Evolutionstrend 5 - Nutzung von Asymmetrien und Symmetrien* (Anh. B.6, S. 256) charakterisiert ein technisches System anhand der Verwendung asymmetrischer oder symmetrischer Formen. Abhängig vom Ausgangspunkt (symmetrische oder asymmetrische Form) steigt der Evolutionsgrad anhand des graduellen Übergangs zur gegenteiligen Form. Dieser ET ist dem EG 4 *Koordination* zugeordnet.

Die Grundlage für diesen Evolutionstrend bilden Ausführungen von [KOLTZE et al. 2011] und [MANN 2002] (vgl. Abb. 4.13). KOLTZE definiert im Rahmen seines ET *Evolution der Geometrie* die *EL Symmetrie* und *Asymmetrie*. MANN bezieht sich in

4 Methodische Vorbetrachtungen

seinem ET *Increasing Asymmetry* rein auf eine steigende Verwendung asymmetrischer Formen.

Entwicklungsgrad	[KOLTZE et.al. 2011] Evolution der Geometrie	[MANN 2002] Increasing Asymmetry
	20%	<u>Asymmetrie:</u> 1. komplett symmetrisches System  <u>Symmetrie:</u> 1. komplett asymmetrisches System
60%	<u>Asymmetrie:</u> 2. erhöhter Grad der Asymmetrie der Objekte  <u>Symmetrie:</u> 2. erhöhter Grad der Symmetrie der Objekte	2. Partial Asymmetry
100%	<u>Asymmetrie:</u> 3. komplett asymmetrisches System  <u>Symmetrie:</u> 3. komplett symmetrisches System	3. Matched Asymmetry

Der kombinierte ET (Zusammenführung vgl. Abb. 4.13) ist durch die Dualität von Asymmetrie und Symmetrie gekennzeichnet.

4.2.2.6 ET 6 - Expansion-Kontraktion

Der *Evolutionstrend 6 - Expansion-Kontraktion* (Anh. B.7, S. 256) (Zusammenführung vgl. Abb. 4.14) charakterisiert ein technisches System anhand der Glockenkurve der Evolution technischer Systeme (vgl. auch Abschnitt 4.2.3). Dabei steigt der Evolutionsgrad zunächst mit einer steigenden Anzahl von ausgeführten Funktionen, integrierten Subsystemen und der im System vorhandenen Hi-

Abb. 4.13: Zusammenführung des Evolutionstrends 5 - Nutzung von Asymmetrien und Symmetrien

erarchiestufen. Ab einem gewissen Punkt in der Entwicklung steigt der Evolutionsgrad dann mit steigender Komplexitätsreduzierung, Funktionenintegration und Abtrennen von Funktionalität. Dieser ET ist dem EG 7 *Über Komplexität zur Einfachheit* zugeordnet.

Der Übergang zwischen den Stufen 50 % und 60 % stellt den Hochpunkt der Glockenkurve dar (vgl. Abb. 4.2.3). Dies ist der Zeitpunkt, ab dem das Trimmen (vgl. Abschnitt 2.3.3.7) eingesetzt wird. MANN gibt hier die Eliminierung erster unwichtiger Komponenten vor, ORLOFF beschreibt diesen Punkt als minimale Kontraktion.

Mit der Stufe 80 % richtet KOLTZE die Aufmerksamkeit auf Funktionenintegration. Die Zuordnung der *teilweisen Kontraktion* von ORLOFF ist mit dem fortschreitenden Entwicklungsgrad zu begründen.

4.2 Evolutionsanalyse im WA-Projekt

<u>Entwicklungsgrad</u>	<u>[KOLTZE et.al. 2011]</u> <u>Zusammenfall</u>	<u>[MANN 2002]</u> <u>Trimming</u>	<u>[ORLOFF 2006]</u> <u>Evolutionswelle</u>
20%			Entwicklung eines funktionalen Kerns
30%			Einbeziehung zusätzlicher Subsysteme
40%	nicht zusammenwirkendes System: Keine Komponente des Systems teilt Funktionen mit einer weiteren		Anstieg der Anzahl von Hierarchiestufen im System
50%		Complex System	Übergang zu retikularen (netzförmigen) Strukturen Expandiertes System
60%	Funktionsenteilung; eine Funktion einer Komponente wird übertragen auf weitere Komponenten oder ein Subsystem.	Elimination of non-key-components	Minimale Kontraktion
70%	Funktions-Selbstversorgung	Elimination of non-key-components	Minimale Kontraktion
80%	Mehrere Objekte mit mehreren Funktionen ersetzt durch ein Objekt mit mehreren Funktionen	Elimination of non-key-components	Teilweise Kontraktion
90%	Entfernen einer Funktion aus einem System und Übertragung dieser Funktion auf das Obersystem	Elimination of non-key-components	Teilweise Kontraktion
100%	Funktionsbeseitigung; Reduzierung der Anzahl Subsysteme, die eine Funktion liefern oder verbessern durch Beseitigung der Notwendigkeit dieser Funktion	Elimination of non-key-subsystems Trimmed system	Vollständige Kontraktion

Abb. 4.14: Zusammenführung des ET 6 - Expansion - Kontraktion

4 Methodische Vorbetrachtungen

4.2.2.7 ET 7 - Übergang in ein Bi-/Poly-/Obersystem

Der *Evolutionstrend 7 - Übergang zum Bi-, Poly-, und Obersystem* (Anh. B.8, S. 257) (Zusammenführung vgl. Abb. 4.15) charakterisiert ein technisches System anhand dessen Entwicklung zur Kombination mit weiteren Systemen zu Bi-/Polysystemen. Ein weiterer Aspekt ist das Aufgehen des Systems in einem Obersystem. Der Ent-

Entwicklungsgrad	[LIVOTOV 2009] Übergang zum Bi-, Poly- und Obersystem	[KOLTZE et.al. 2011] Übergang zum Obersystem Verbindung von Systemen Mono-, Bi- und Poly-System	[MANN 2002] Mono-Bi-Poly (Similar) Mono-Bi-Poly (Various) Mono-Bi-Poly (Increasing Differences)	[ORLOFF 2006] Mono-Bi-Poly	[FEY et.al. 2005] Lines of transition to higher-level-systems	[TERNINKO et.al. 1998] „Über Komplexität zur Einfachheit“
<20%		nicht verbundene Objekte / Systeme ein einzelnes Objekt / System	Similar: Mono-System	Mono-System		Mono-System
20%	Einfache Addition gleichartiger Systeme bzw. Systemkomponenten mit der Summierung positiver Eigenschaften	Verbindung identischer Objekte / Systeme zu einem System Kombination von zwei Objekten / Systemen (Bi-System) Kombination vieler Objekte / Systeme (Poly-System)	Increasing Differences: Similar Components Similar: Bi-System Tri-System Poly-System	Gleichartige Funktionen: gleichartige Eigenschaften	Homogenous	Gleiche Funktion
40%	Addition gleichartiger Systeme bzw. Systemkomponenten mit unterschiedlichen Charakteristiken, Eigenschaften oder Parametern	Verbindung von Objekten/ Systemen mit gleicher Struktur / Funktionalität Kombination von zwei Objekten / Systemen (Bi-System) Kombination vieler Objekte / Systeme (Poly-System)	Increasing Differences: Components with biased Characteristics Similar: Bi-System Tri-System Poly-System Various: Bi-System Tri-System Poly-System	Gleichartige Funktionen: gemischte Eigenschaften	Shifted properties	übertragene Funktion
60%	Kombination unterschiedlicher, sich ergänzender Systeme mit einer Summierung positiver Eigenschaften und Reduzierung negativer Eigenschaften	Verbindung verschiedener Objekte/Systeme zu einem System Kombination von zwei Objekten / Systemen (Bi-System) Kombination vieler Objekte / Systeme (Poly-System)	Increasing Differences: Components with biased Characteristics Similar: Bi-System Tri-System Poly-System Various: Bi-System Tri-System Poly-System	Verschieden-artige Funktionen: unterschiedliche Eigenschaften	Heterogenous	gleichsinnige Funktion
80%	Kombination von Systemen mit konkurrierenden, alternativen oder gegensätzlichen Eigenschaften. Inkompatible Eigenschaften werden dabei im Raum, in der Zeit oder in der Systemstruktur separiert.	Verbindung von Objekten / Systemen mit inverser Funktionalität Verbindung alternativer Systeme (Hybridisierung / Kreuzung) Kombination von zwei Objekten / Systemen (Bi-System) Kombination vieler Objekte / Systeme (Poly-System)	Increasing Differences: Component Plus Negative Component Similar: Bi-System Tri-System Poly-System Various: Bi-System Tri-System Poly-System	Verschieden-artige Funktionen: inverse Eigenschaften	Inverse	Anti-Funktion
100%	Übergang zu einem optimierten multifunktionalen Monosystem oder Integration im Obersystem mit der Reduzierung von redundanten oder überflüssigen Teilen und Hilfefunktionen		Increasing Differences: Different Components	Teilweise Kontraktion Vollständige Kontraktion (Mono-System)		

Abb. 4.15: Zusammenführung des ET 7 - Übergang in ein Bi-/Poly- oder Obersystem

## 4.2 Evolutionsanalyse im WA-Projekt

wicklungsgrad steigt dabei anhand des Übergangs zu multifunktionalen Systemen mit alternativen Eigenschaften. Dieser ET ist dem EG 8 *Übergang in ein Obersystem* zugeordnet.

Ein Mono-System wird von allen Autoren mit Ausnahmen von LIVOTOV als erste Entwicklungsstufe beschrieben. Dieser startet erst mit der Addition gleichartiger Systeme.

Für die Stufe 20 % bedeutet die Addition gleichartiger / identischer Systeme auch, dass gleichartige Funktionen ausgeführt werden.

In der Stufe 60 % bedeutet die Kombination unterschiedlicher sich ergänzender Systeme die Ausführung verschiedenartiger Funktionen.

### 4.2.2.8 ET 8 - Erhöhung der Anpassungsfähigkeit

Entwicklungsgrad	[LIVOTOV 2009] Erhöhung der Anpassungsfähigkeit	[KOLTZE et.al. 2011] Dynamisierung Erhöhung der Dynamik von Objekten Erhöhung der Dynamik von Stoffen	[MANN 2002] Dynamization, Design Point	[FEY et.al. 2005] Lines of increasing flexibility of physical structures Increasing fragmentation Transition to increasingly flexible physical structures Transition to continuously variable system	[ORLOFF 2006] „Linie der Ressourcenentwicklung“ Zerteilens eines Stoffes. Zerteilens eines Instruments
<20%		Dynamik von Objekten: festes Objekt  Dynamik von Stoffen: fester Stoff		Increasing fragmentation, „Monolithic“ object Transition to increasingly flexible physical structures: Rigid systems	Zerteilen eines Stoffes: Massiver Körper Zerteilen eines Instruments; fester Körper
20%	Übergang vom Festkörper bzw. Monolith zum mehrteiligen Körper und bis zur Anwendung von Granulaten und Pulvern	Dynamik von Objekten: Objekt mit zwei starren Teilen Dynamik von Stoffen: fragmentierter Stoff, Granulat, dünne Platten Puder	Dynamization: Immobile System  Design Point: Design optimized for single operating point	Increasing fragmentation: layered object, rods, granules, powder, etc.  Transition to continuously variable system: One-state system	Zerteilen eines Stoffes: Geschichtete, Faserige, Pulver
30%	Übergang von unbeweglichen zu beweglichen Teilen. Erhöhung der Zahl von Freiheitsgraden im System durch die Einführung von Gelenken: linear, rotatorisch, kombiniert, mehrdimensional	Dynamik von Objekten: zwei Objekte mit flexibler Verbindung (ein Gelenk) viele Objekte mit flexiblen Verbindungen (Akkordeon)	Dynamization: Jointed System  Design Point: Design optimized for two operating points Design Point: Design optimized at several discrete operating points	Transition to increasingly flexible physical structures: Systems with one flexing point Transition to increasingly flexible physical structures: Systems with many flexing point  Transition to continuously variable system: Multi-state system	Zerteilen eines Instruments; Bewegliches System
40%	Übergang zu flexiblen, elastischen Elementen oder gefederten Verbindungen. Anwendung von flexiblen Membranen	Dynamik von Objekten: komplett flexibles, elastisches Objekt	Dynamization: Fully flexible system  Design Point: Design re-optimized continuously	Transition to increasingly flexible physical structures: Elastomeric system  Transition to continuously variable system: continuously variable system	Zerteilen eines Instruments; Flexibler Stoff Zerteilen eines Stoffes: komplexe Moleküle

Abb. 4.16: Zusammenführung des ET 8 - Erhöhung der Anpassungsfähigkeit - Teil 1

#### 4 Methodische Vorbetrachtungen

Der *Evolutionstrend 8 - Erhöhung der Anpassungsfähigkeit* (Anh. B.9, S. 258) (Zusammenführung vgl. Abbildungen 4.16 und 4.17) charakterisiert ein technisches System anhand der Flexibilität der Elemente des Systems. Der Entwicklungsgrad steigt dabei mit Nutzung anpassungsfähiger Elemente, Nutzung nicht-fester Aggregatzustände und der Anwendung von Feldern auf der Mikroebene. Dieser ET ist dem EG 9 *Erhöhung von Dynamik und Steuerbarkeit* zugeordnet.

Entwicklungsgrad	[LIVOTOV 2009] Erhöhung der Anpassungsfähigkeit	[KOLTZE et.al. 2011] Dynamisierung Erhöhung der Dynamik von Objekten Erhöhung der Dynamik von Stoffen	[MANN 2002] Dynamization, Design Point	[FEY et.al. 2005] Lines of increasing flexibility of physical structures Increasing fragmentation Transition to increasingly flexible physical structures Transition to continuously variable system	[ORLOFF 2006] „Linie der Ressourcenentwicklung“ Zerteilens eines Stoffes. Zerteilens eines Instruments
50%	Übergang zum flüssigen Zustand von Objekten. Anwendung von anpassungsfähigen Elementen mit Flüssigkeiten und hydraulischen Systemen. Anwendung von flüssigen Zweikomponenten-Systemen: Suspension, Emulsion, Schaum.	Dynamik von Stoffen; Flüssigkeit, Gel	Dynamization: Fluid or pneumatic system	Transition to increasingly flexible physical structures: Fluid-based system	Zerteilen eines Instruments; Flüssigkeit
60%	Übergang zum gasförmigen Zustand von Objekten. Anwendung von anpassungsfähigen Elementen mit Gasen, pneumatischen Systemen, Anwendung von Aerosolen.	Dynamik von Stoffen; Aerosol Gas, Plasma	Dynamization: Fluid or pneumatic system		Zerteilen eines Instruments; Gas
80%	Anwendung von Feldern im System, z.B. elektromagnetisches Feld: magnetisches, elektrostatisches, elektrodynamisches, optisches Feld, Laser, Strahlungsfeld usw.	Dynamik von Stoffen; Felder	Dynamization: Field based system	Transition to increasingly flexible physical structures: Field-based system	Zerteilen eines Instruments; Feld Zerteilen eines Stoffes; Moleküle, Ionen
100%	Anwendung von Feldern auf Mikroebene. Wechselwirkung von Feldern mit Molekülen, Atomen, Plasma, Elementarteilchen. Nutzung physikalischer und chemischer Phasenübergänge und Transformationen				Zerteilen eines Stoffes; Atome, Teilchen

Abb. 4.17: Zusammenführung des Evolutionstrends 8 - Erhöhung der Anpassungsfähigkeit - Teil 2

Für diesen ET werden die Ausführungen von LIVOTOV verwendet, da dieser den größten Detaillierungsgrad in der Stufung bietet. Der ET Degrees of Freedom von MANN wird nicht integriert, da dieser sehr allgemein formuliert ist und zusätzlich vom *Evolutionstrend 9 - Erhöhung der Steuerbarkeit von Feldern* (Anh. B.10, S. 259) abgedeckt wird.

## 4.2 Evolutionsanalyse im WA-Projekt

Entwicklungsgrad	[LIVOTOV 2009]	[KOLTZE et al. 2011]	[JORLOFF 2006]
20%	<p><b>Steigerung der Steuerbarkeit von Feldern</b></p> <p>Anwendung der Gravitation, bspw. Schwerkraft, Auftriebskraft in Flüssigkeiten und Gasen (Archimedische Kraft)</p>	<p><b>Zunehmende Steuerbarkeit</b></p> <p><b>Grad der Kontrolle von Feldern</b></p> <p><b>Erhöhung der Dynamik von Feldern</b></p> <p><u>Dynamik von Feldern:</u> permanentes Feld</p>	<p><b>„Linie der Ressourcenentwicklung“</b></p> <p><b>Übergangslinie leicht steuerbarer Felder</b></p> <p><b>Zunahme der Steuerbarkeit von Feldern</b></p> <p><u>Zunahme der Steuerbarkeit von Feldern:</u> permanentes Feld</p>
40%	<p>Anwendung eines mechanischen Feldes, z.B.: Reibung – Druck/Spannung – mechanische Bewegung und Trägheit – Fliehkräfte – mechanischer Schlag/Impuls – Schwingungen – akustisches Feld, u.a. Infra- und Ultraschall – aero-/hydrodynamische Kräfte – Kapillardruck, Oberflächenspannung.</p>	<p><u>Kontrolle von Feldern:</u> mechanisches Feld akustisches Feld</p> <p><u>Dynamik von Feldern:</u> pulsierendes Feld</p>	<p><u>leicht steuerbare Felder:</u> Mechanische Felder</p> <p><u>Zunahme der Steuerbarkeit von Feldern:</u> Impuls-Feld</p>
60%	<p>Anwendung eines Temperaturfeldes, z.B.: Erwärmung/Kühlung – Wärmeübertragung – thermische Ausdehnung/Schrumpfung – Phasenübergänge.</p>	<p><u>Kontrolle von Feldern:</u> thermisches Feld chemisches Feld</p> <p><u>Dynamik von Feldern:</u> Oszillation mit variabler Frequenz, serienweise Impulse</p>	<p><u>leicht steuerbare Felder:</u> Thermische Felder chemische Wechselwirkungen</p> <p><u>Zunahme der Steuerbarkeit von Feldern:</u> Veränderliches Feld mit Änderung der Phasen, Frequenz, Wellenlänge, Form der Schwingungen</p>
80%	<p>Anwendung eines elektrischen, magnetischen oder elektromagnetischen Feldes, z.B.: elektrostatisches Feld – elektrodynamisches Feld – Magnetfeld – optisches Feld – Strahlung, z.B. Röntgenstrahlung, radioaktive Strahlung.</p>	<p><u>Kontrolle von Feldern:</u> elektrisches Feld magnetisches Feld elektromagnetisches Feld</p> <p><u>Dynamik von Feldern:</u> nicht-permanentes Feld mit Veränderung der Phasen, Wellenlängen, Doppler-Effekt, Nutzung von Beugung, Interferenz, Brechung</p>	<p><u>leicht steuerbare Felder:</u> Elektrisches Feld</p> <p><u>leicht steuerbare Felder:</u> Magnetfeld</p> <p><u>Zunahme der Steuerbarkeit von Feldern:</u> Veränderliches Feld mit Anwendung physikalischer Effekte, Beugung, Interferenz, Reflexion, Fokussierung usw.</p>
100%	<p>Anwendung eines chemischen, biochemischen oder biomolekularen Feldes, z.B.: chemische Reaktionen – Energien chemischer Verbindungen – Aromastoffe.</p>	<p><u>Kontrolle von Feldern:</u> biologisches Feld</p> <p><u>Dynamik von Feldern:</u> nicht-lineares Feld mit Gradient, Anisotropie</p>	<p><u>Zunahme der Steuerbarkeit von Feldern:</u> Nichtlineares Feld: Anwendung eines Feldgradienten und Anisotropie des Milieus der Ausbreitung des Felds</p>

Abb. 4.18: Zusammenführung des ET 9 - Erhöhung der Steuerbarkeit von Feldern

#### 4 Methodische Vorbetrachtungen

Aufgrund der Zuordnung für die Stufe 20 % der verschiedenen Autoren ergibt sich die Stufe < 20 %. Der Übergang zum mehrteiligen Körper und die Nutzung von fragmentierten Stoffen lassen sich einfach zuordnen. Mit Beginn des Eintritts in die S-Kurve (20%) (vgl. Abb. 4.23) ist das System für einen einzelnen Design Point konfiguriert.

Für die Stufe 30 % *Übergang von unbeweglichen zu beweglichen Teilen* fassen LIVOTOV, MANN und ORLOFF fassen alle Übergänge von unbeweglich zu beweglich unter einen Punkt. KOLTZE und FEY definieren zwei diskrete Stufen. Mit dem Übergang zu beweglichen Teilen kann das System für mehrere Design Points ausgelegt werden.

Mit der Nutzung von flexiblen Materialien können auch kontinuierlich andere Design Points genutzt werden (Stufe 40%).

Nur LIVOTOV und ORLOFF nennen als letzte Evolutionsstufe die Anwendung von Feldern auf Mikroebene.

##### 4.2.2.9 ET 9 - Erhöhung der Steuerbarkeit von Feldern

Der *Evolutionstrend 9 - Erhöhung der Steuerbarkeit von Feldern* (Anh. B.10, S. 259) (vgl. Abb. 4.18) charakterisiert ein technisches System anhand der Dynamik und Steuerbarkeit der im System genutzten Feldern. Der Evolutionsgrad steigt dabei anhand der Verwendung besser kontrollierbarer Felder (z.B. Nutzung eines magnetischen Feldes anstatt eines mechanischen Feldes) mit höherer Dynamik (z.B. pulsierendes Feld anstatt eines permanenten Feldes). Dieser ET ist dem EG 9 *Erhöhung von Dynamik und Steuerbarkeit* zugeordnet.

LIVOTOV wird als Ausgangsbasis verwendet, da dieser die Kontrolle von Feldern sehr ausführlich darstellt. Zusätzlich wird die Dynamik / Steuerbarkeit von Feldern aufgenommen. Die ETs (Matching to External) Non-Linearities und Reduced Damping von MANN werden nicht betrachtet, da diese zu spezifisch für den generellen Trend der Erhöhung der Steuerbarkeit.

Für die Stufe 60 % sehen KOLTZE und ORLOFF die Nutzung von chemischen Feldern vor. Im Gegensatz dazu sieht LIVOTOV die Anwendung chemischer Felder im höchsten Evolutionsgrad 100% in Verbindung mit biologischen Feldern. Da sowohl KOLTZE wie auch ORLOFF die chemischen Felder bei ca. 60 % platzieren, wird diese Sichtweise übernommen.

##### 4.2.2.10 ET 10 - Segmentierung in die Mikroebene

Der *Evolutionstrend 10 - Segmentierung in die Mikroebene* (Anh. B.11, S. 260) (Zusammenführung vgl. Abb. 4.19 und 4.20) charakterisiert ein technisches System anhand des Übergangs von einem Monolith im festen Zustand hin zur Nutzung von Hohlräumen, porösen Oberflächen und Materialien. Dabei steigt der Evolutionsgrad je stärker diese Hohlräume genutzt werden. Dieser ET ist dem EG 9 *Erhöhung von Dynamik und Steuerbarkeit* zugeordnet.

Für den Entwicklungsgrad 40 % wird die Nutzung von Leerräumen in Volumen festgelegt. Zur Segmentierung des Objekts werden hier die Schritte (KOLTZE und MANN)

Entwicklungsgrad	[LIVOTOV 2009] Anwendung von porösen Strukturen	[KOLTZE et.al. 2011] Übergang auf die Mikroebene: Segmentierung des Objekts Segmentierung der Oberfläche Erhöhung von Leere im Volumen	[MANN 2002] Object Segmentation Surface Segmentation Space Segmentation Webs and Fibres	[ORLOFF 2006] Linie der Einführung von Hohlräumen
20%		<u>Erhöhung von Leere im Volumen:</u> Monolith im festen Zustand  <u>Segmentierung der Oberfläche:</u> Flache Oberfläche  <u>Segmentierung des Objekts:</u> Monolith	<u>Space Segmentation:</u> Monolithic Solid  <u>Surface Segmentation:</u> Smooth Surface  <u>Object Segmentation:</u> Monolithic Solid	Massiver Körper
40%	Ein Objekt oder seine Oberfläche ist porös bzw. mit offenen oder geschlossenen Hohlräumen auszuführen	<u>Erhöhung von Leere im Volumen:</u> Monolith mit einem Hohlraum  <u>Erhöhung von Leere im Volumen:</u> Monolith mit mehreren Hohlräumen  <u>Segmentierung des Objekts:</u> Granulat, Segmente  <u>Segmentierung der Oberfläche:</u> Oberfläche mit Streifen	<u>Space Segmentation:</u> Hollow Structure  <u>Space Segmentation:</u> Structure with Multiple Hollows  <u>Object Segmentation:</u> Segmented Solid  <u>Object Segmentation:</u> Particulate Solid  <u>Surface Segmentation:</u> Surface with Rib Protrusions	Massiv mit einem Hohlraum  perforierter Stoff

Abb. 4.19: Zusammenführung des ET 10 - Segmentierung in die Mikroebene - Teil 1

Granulat und Segmente zugeordnet, da diese der Nutzung eines porösen Objekts oder dessen Oberfläche (siehe LIVOTOV) nahe kommen. Die Oberflächensegmentierung werden hier mit zwei Schritten (bis zu welligen 3D-Oberflächen) zugeordnet, da offene Hohlräume eine Form der 3D-Oberfläche sind.

Für den Entwicklungsgrad 60 % bedingt die Strukturierung des Objekts oder seiner Oberfläche „gepuderte“ Oberflächen (im Sinne von porös). Bzgl. der Segmentierung des Objekts ist die „Puder“-Form vorzusehen. Aus der Sicht eines Objekts was hinzugefügt werden soll, ist dieser Segmentierungs-Schritt erforderlich.

Der Entwicklungsgrad 85 % sieht die Füllung eines porösen Objekts vor. LIVOTOV erweitert diesen Schritt um die Nutzung von physikalischen oder chemischen Effekten. Das Ausfüllen eines porösen Objekts mit einem Stoff bedingt die Schritte „Gel, Flüssigkeit“ und „Gas, Plasma“ zur Segmentierung. Das Ausfüllen eines Objektes kann in Bezug auf die Segmentierung von Oberflächen auch die Nutzung von aktiven Poren bedeuten und wird daher hier zugeordnet.

#### 4 Methodische Vorbetrachtungen

	[LIVOTOV 2009]	[KOLTZE et.al. 2011]	[MANN 2002]	[ORLOFF 2006]
Entwicklungsgrad	<b>Anwendung von porösen Strukturen</b>	<b>Übergang auf die Mikroebene:</b> Segmentierung des Objekts Segmentierung der Oberfläche Erhöhung von Leere im Volumen	Object Segmentation Surface Segmentation Space Segmentation Webs and Fibres	Linie der Einführung von Hohlräumen
60%	Zerkleinerung und Strukturierung von Hohlräumen im Objekt oder aus seiner Oberfläche, z.B. bestimmte Porenstruktur, Wabenstruktur, Rohre oder Kanäle	Erhöhung von Leere im Volumen: kapilläres und/oder poröses Material  Segmentierung der Oberfläche: „geduderte“ Oberfläche Segmentierung des Objekts: Puder	Space Segmentation: Capillary / Porous Structure	Kapillar-poröse Materialien
85%	Ein poröses Objekt ist mit einem nützlichen Stoff zu füllen und kapillare bzw. mikrokapillare Effekte sind auszunutzen.  Der Füllstoff im porösen Objekt ist in Kombination mit einem physikalischen oder chemischen Effekt zu benutzen, wie z.B. Ultraschall, Temperaturunterschied, elektrischer Spannungsunterschied, Osmose und Elektroosmose	Erhöhung von Leere im Volumen: kapilläres/poröses Material mit aktiven Poren, gefüllt mit Gel, Flüssigkeit oder Gas  Segmentierung des Objekts: Gel, Flüssigkeit  Segmentierung des Objekts: Gas, Plasma  Segmentierung der Oberfläche: Oberfläche mit aktiven Poren	Space Segmentation: Porous Structure With Active Elements  Object Segmentation: Fluid Object Segmentation: Segmented Fluid (foam, aerosol) Object Segmentation: Gas Object Segmentation: Plasma Surface Segmentation: Roughened Surface + Active Pores	Kapillar-poröse Materialien mit Füllung Zeolithe und Gels
100%		Segmentierung des Objekts: Feld	Object Segmentation: Field Object Segmentation: Vacuum	

Abb. 4.20: Zusammenführung des ET 10 - Segmentierung in die Mikroebene - Teil 2

#### 4.2.2.11 ET 11 - Erhöhung des Automatisierungsgrades

Der *Evolutionstrend 11 - Erhöhung des Automatisierungsgrades* (Anh. B.12, S. 262) (Zusammenführung vgl. Abb. 4.22) charakterisiert ein technisches System anhand von dessen Automatisierungsgrad. Der Evolutionsgrad steigt dabei mit zunehmendem Ersatz des Menschen als Systembestandteil sowie immer stärkere Selbststeuerung und -regelung.

Dieser ET ist dem EG 9 *Erhöhung von Dynamik und Steuerbarkeit* zugeordnet.

LIVOTOV sieht für die menschliche Aktivität ohne Werkzeug keine Schritte vor, daher werden für den Evolutionsgrad < 20 % nur KOLTZE, MANN und FEY zugeordnet.

Für den Evolutionsgrad 20 % wird bei allen Autoren ein Objekt mit manueller Steuerung gesehen. Eine manuelle Steuerung impliziert, das dem vorher unkontrollierbaren

4.2 Evolutionsanalyse im WA-Projekt

Entwicklungsgrad	[LIVOTOV 2009]	[KOLTZE et.al. 2011]		[MANN 2002]		
	Erhöhung des Automatisierungsgrades	Übergang auf die Mikroebene: Erhöhung des Automatisierungsgrades Reduzierung menschlicher Einflüsse, Grad der Kontrolle von Objekten Nutzung von Sensorik und Sinnen		Object Segmentation Surface Segmentation Space Segmentation Webs and Fibres		
<20%		Reduzierung menschlicher Einflüsse: menschliche Aktivität ohne Werkzeug	Grad der Kontrolle von Objekten: unkontrollierte Objekte		Reducing Human Involvement Human	
20%	Objekt o. System mit manueller Steuerung	Erhöhung des Automatisierungsgrades: keine Automation	Grad der Kontrolle von Objekten: hinzugefügtes Feld zur Kontrolle oder zur Verbesserung der Kontrollierbarkeit	Controllability Direct Control Action	Reducing Human Involvement Human + Tool	
		Reduzierung menschlicher Einflüsse: Mensch + Werkzeug			Reducing Human Involvement Human + Powered Tool	
40%	Objekt oder System mit der Steuerung nach einem festen Programm	Erhöhung des Automatisierungsgrades: teilweise Automation	Grad der Kontrolle von Objekten: teilweise Selbstkontrolle des Objekts	Controllability Action Through Intermediary	Reducing Human Involvement Human + Semi-Automated Tool	
		Erhöhung des Automatisierungsgrades: komplette Automation				Reducing Human Involvement Human + Automated Tool
		Reduzierung menschlicher Einflüsse: Mensch + semi-automatisches Werkzeug				Reducing Human Involvement Human + Automated Tool
		Reduzierung menschlicher Einflüsse: Mensch + automatisiertes Werkzeug				Reducing Human Involvement Automated Tool
60%	Systeme mit adaptiver Steuerung, Anwendung von Rückkopplung und Regelung	Erhöhung des Automatisierungsgrades: adaptive Automation	Nutzung von Sensorik bzw. Sinnen ein Sensor / Sinn zwei Sensoren / Sinne drei Sensoren / Sinne vier Sensoren / Sinne fünf Sensoren / Sinne	Increasing Use of Senses 1 Sense 2 Senses 3 Senses 4 Senses 5 Senses	Controllability Addition Of Feedback	
					Controllability Intelligent Feedback	
80%	Selbststeuerung von Systemen und künstliche Intelligenz	Erhöhung des Automatisierungsgrades: selbst-entwickelte Automation	Grad der Kontrolle von Objekten: vollständige Selbst-kontrolle des Objekts			
100%	Selbstentwicklung und Selbstreproduktion von Systemen	Erhöhung des Automatisierungsgrades: Selbst-Reproduktion				

Abb. 4.21: Zusammenführung des ET 11 Teil 1 - Erhöhung des Automatisierungsgrades

#### 4 Methodische Vorbetrachtungen

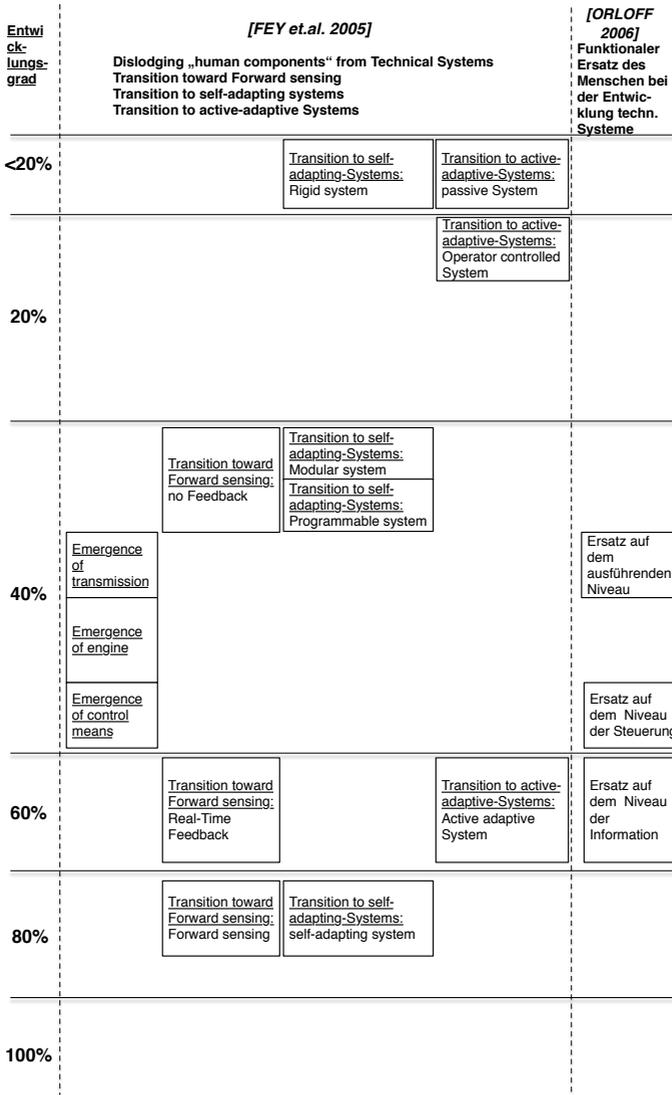


Abb. 4.22: Zusammenführung des ET 11 Teil 2 - Erhöhung des Automatisierungsgrades

Objekt ein Feld zur Steuerung hinzugefügt wurde. Eine manuelle Steuerung impliziert ebenfalls den Einfluss von Mensch + Werkzeug.

Für die Stufe 40 % sieht LIVOTOV die Steuerung eines Systems mit festen Programmen vor. Dem entsprechen die Schritte teilweise Automation und komplette Automation von KOLTZE. FEY sieht hier keine Nutzung von Feedback und die Nutzung von modularen oder programmierbaren Systemen. Eine teilweise /komplette Automation impliziert eine teilweise Selbstkontrolle des Objekts. Eine teilweise /komplette Automation impliziert die Stufen zum vollständigen Ersatz des Menschen (Mensch + semi-automatisches, automatisches Werkzeug und voll automatisiertes Werkzeug).

Die in den zurückliegenden Abschnitten vorgestellten Zuordnungen sind die Grundlage für die Formulierung der im Anhang hinterlegten Evolutionstrends. Diese werden in den Methodenpässen *MP 4.13 Evolutionsanalyse - Entwicklungsstand bestimmen* (Anh. C.18, S. 300) und *MP 5.11 Evolution antizipieren* (Anh. D.15, S. 356) genutzt, um Anregungen für eine Weiterentwicklung eines WA-Objekts entlang der Evolutionslinien zu geben.

### 4.2.3 Kombinierte S-Kurve

Zur abschließenden Einordnung der in Abschnitt 4.2.2 zusammengeführten Evolutionstrends wird eine S-Kurve eingesetzt. Die S-Kurve erlaubt eine visuelle Darstellung des Entwicklungsstands eines technischen Systems im Kontext seines Lebenszyklus. Diese visuelle Darstellung erleichtert die Einschätzung, welchen weiteren Entwicklungsverlauf ein technisches System voraussichtlich nehmen wird.

In der Literatur existieren verschiedene Ansätze zur Einteilung der Phasen der S-Kurve. Zusätzlich gibt es verschiedene Verfahren zur Einordnung der Position eines technischen Systems auf einer S-Kurve (vgl. z.B. die in [LITTLE 1994] und [GRAWATSCHE 2005] detaillierten merkmalsbasierten Positionierungsmodelle).

Im Folgenden wird zunächst ein vervollständigtes S-Kurven-Modell beschrieben. Diesem S-Kurven-Modell werden im zweiten Schritt die zusammengeführten Evolutionstrends zugeordnet. Durch die Einordnung der Position auf den einzelnen ET kann auch die Gesamt-Position des technischen Systems auf der S-Kurve bestimmt werden (vgl. auch die Ansätze zur Einordnung des Entwicklungsstands auf der S-Kurve bei [KOLTZE et al. 2011] und [LIVOTOV et al. 2007]).

In Abb. 4.23 ist der Verlauf der S-Kurve (vgl. [ALTSCHULLER 1998]) und der Glockenkurve der Evolution technischer Systeme (vgl. [SALAMATOV et al. 1999], [ORLOFF 2000]) dargestellt.

Die Grundstruktur der Darstellung basiert auf dem *System Operator* (vgl. Abschnitt 2.3.3.2). In diesem Fall wird nur die hierarchische Ebene genutzt und in die Stufen Sub-System, System und Obersystem eingeteilt. Auf der x-Achse des Diagramms ist die Zeit (Zeitraum der Entwicklung) aufgetragen.

Die glockenförmige grüne Kurve (im weiteren als Glockenkurve bezeichnet) zeigt den Aufwand zur Wertschöpfung und Lieferung der Funktionalität (y-Achse) über den Lebenszyklus eines Systems (Zeitlicher Verlauf auf der x-Achse). Sie kann in zwei

## 4 Methodische Vorbetrachtungen

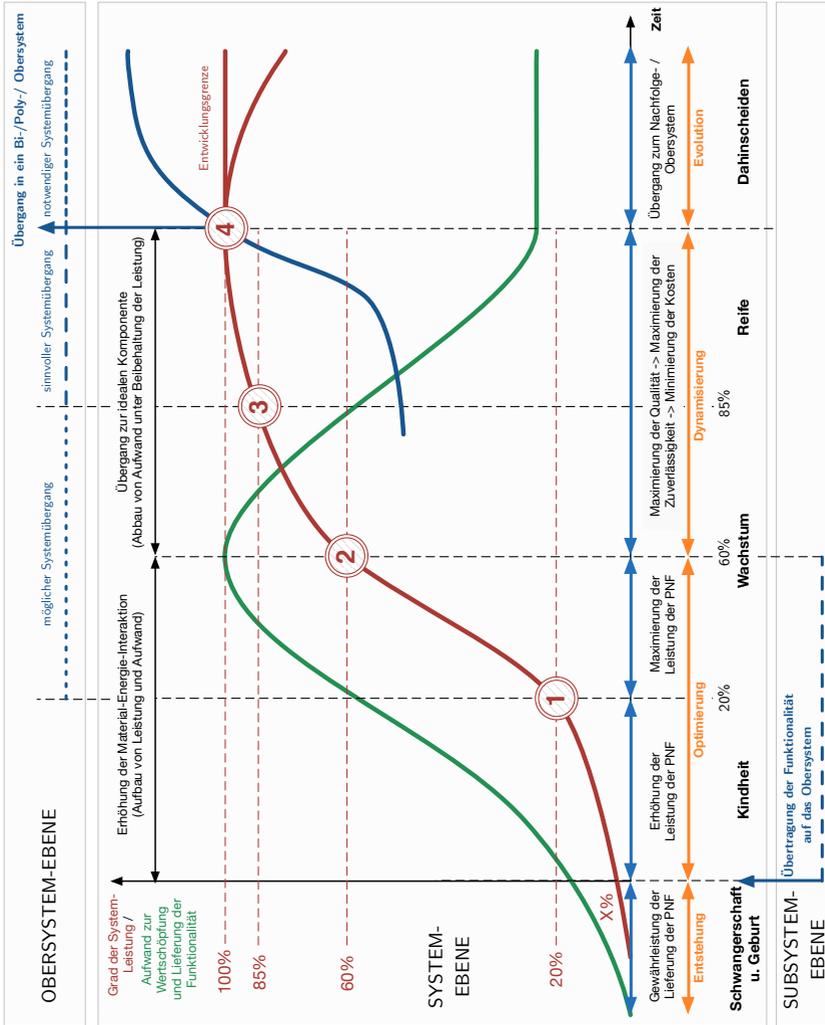


Abb. 4.23: Zusammengeführtes Modell der Technologieentwicklung mit Systemübergängen

Phasen eingeteilt werden [KOLTZE et al. 2011] (vgl. oberes Drittel in Abb. 4.23). Die erste Phase sieht den Aufbau von Leistung und Aufwand vor. Die zweite Phase betrifft den Abbau von Aufwand unter Beibehaltung der Leistung. Die Glockenkurve schneidet die Y-Achse ( $X=0$  = voll funktionsfähige Geburt) nicht bei  $Y=0$ , da ein System zu diesem Zeitpunkt schon eine Leistung aufweist. Das Ende der Glockenkurve verläuft nicht asymptotisch gegen  $Y=0$ , da bei einem ausentwickelten System trotzdem noch ein Aufwand entsteht.

Die S-Kurve zeigt die Entwicklung der Systemleistung (y-Achse) über die Zeit (x-Achse). Zur Festlegung des Verlaufs der S-Kurve werden charakteristische Punkte genutzt. Bei Geburt hat ein System eine Leistungsfähigkeit  $> 0$  (hier mit X bezeichnet). Bei Erreichen des *Punktes 1* sind **20 %** der Leistungsfähigkeit erreicht. Die Stufe **20 %** der Evolutionstrends von [LIVOTOV et al. 2007] kann als die vorhandene Lebensfähigkeit plus die erste Entwicklungsstufe eines Systems interpretiert werden. Ein weiteres Indiz ist, dass in LIVOTOVs Evolutionstrends zwischen **20** und **60 %** eine starke Konzentration auf die Maximierung der Leistungsfähigkeit der Primär Nützlichen Funktion (PNF) zu beobachten ist. Ergänzt wird dies durch die Aussage von [TERNINKO et al. 1998a], dass zwischen Geburt und Wachstum keine großen Systemleistungssprünge stattfinden.

*Punkt 2* wird durch seine relative Lage zur Glockenkurve bestimmt. Im Hochpunkt der Glockenkurve wird nach KOLTZE die maximale Leistung der PNF (Primär Nützliche Funktion) erreicht. *Punkt 2* wird zusätzlich der Evolutionsgrad **60 %** zugeordnet, da die oben beschriebene Leistungsmaximierung zwischen **20** und **60 %** mit der maximalen Leistung der PNF abgeschlossen wird.

*Punkt 3* wird durch die „85 % - Regel“ bestimmt. Das Erreichen von **85 %** Evolutionsgrad sehen [REICHEL 1984], [SCHRAUBER 1981] und [LINDE et al. 1993] als günstigen Zeitpunkt in der Entwicklung eines Systems, den Übergang auf Obersysteme oder in Bi-Poly-Systeme vorzunehmen. Zusätzlich definiert KOLTZE, dass ab **85 %** Evolutionsgrad kein wesentlicher Leistungszuwachs mehr zu erwarten ist. Dies korrespondiert mit der flacher werdenden Steigung der S-Kurve in diesem Bereich.

*Punkt 4* wird von KOLTZE als maximaler Quotient zwischen dem Grad der Systemleistung auf der S-Kurve und dem in der Glockenkurve dargestellten Aufwand definiert. Dementsprechend werden für *Punkt 4* der Hochpunkt der S-Kurve und das konstante Niveau der Glockenkurve zueinander ausgerichtet.

Zur weiteren Verdeutlichung der Systementwicklung werden zusätzliche Phasen nach KOLTZE in das Diagramm direkt unterhalb der x-Achse eingebracht. Die Phase vor der Geburt ist durch das Gewährleisten der Lieferung der PNF gekennzeichnet. Zwischen der Geburt und dem Punkt 1 liegt der Fokus auf der Erhöhung der Leistung der PNF, der zwischen den *Punkten 1* und *2* in die Maximierung der Leistung der PNF übergeht. Die Phase zwischen den *Punkten 2* und *4* sehen zunächst die Maximierung der Qualität, dann die Maximierung der Zuverlässigkeit und schlussendlich die Minimierung der Kosten vor. Diese Phase korrespondiert mit dem Abbau des Aufwands unter Beibehaltung der Leistung, die durch die Glockenkurve vorgegeben wird. Es

#### 4 Methodische Vorbetrachtungen

wird nicht weiter unterteilt, da diese Entwicklungen nicht notwendigerweise sequentiell ablaufen. Nach Überschreiten des *Punktes 4* ist der Übergang zum Nachfolgender oder in das Obersystem vorgesehen.

Unten in der System-Ebene sind die S-Kurven-Phasen (schwarz und fett) dargestellt. Diese wurden aus den Arbeiten von [TERNINKO et al. 1998a], [ALTSCHULLER 1984] und [ALTSCHULLER 1998] entwickelt.

Im Gegensatz zu anderen Autoren unterscheidet TERNINKO die erste Entwicklungsphase in die Phasen in *Schwangerschaft und Geburt* und *Kindheit*. Die *Schwangerschaft und Geburt* ist „die Zeit zwischen dem ersten Geistesblitz und seiner Reifung - ... - bis zum öffentlich kommunizierten durchdachten Vorschlag“ und die „Geburt entspricht dem Tag, an dem ein klar definiertes Konzept und eine Funktionsbeschreibung“ vorliegt. Ein System verharrt dabei solange in der Phase der Schwangerschaft, solange keine Notwendigkeit für die betreffende Funktion und keine technologischen Möglichkeiten zur Umsetzung der Funktion vorhanden sind. Bei der Geburt weist ein System daher bereits eine gewisse Leistungsfähigkeit auf und Aufwand zur Entwicklung des Systems wurde ebenfalls generiert. [TERNINKO et al. 1998a]

Die zweite S-Kurven-Phase *Kindheit* bezeichnet die Entwicklung eines Systems zwischen dessen Geburt und *Punkt 1* auf der S-Kurve, in der die Leistung der PNF erhöht wird.

Die dritte S-Kurven-Phase *Wachstum* überspannt die Entwicklung zwischen den *Punkten 1* und *3*. Dabei wird die Maximierung der Leistung der PNF und der Beginn der Reduktion des Aufwands unter Beibehaltung der Qualität abgedeckt. Die vierte S-Kurven-Phase *Reife* gliedert den letzten Abschnitt der S-Kurve (zwischen den *Punkten 3* und *4*), in dem die Leistung des betreffenden Systems noch ansteigt. Mit dem *Punkt 4* ist die Entwicklungspotential des betreffenden Systems ausgeschöpft.

Abgeschlossen wird die S-Kurve durch die Phase *Dahinscheiden*. In dieser Phase gibt es zwei Möglichkeiten der weiteren Entwicklung eines Systems. Im positiven Fall stagniert die Leistungsfähigkeit eines Systems (die Kurve verläuft waagrecht), da es nicht von der Interaktion mit anderen Systemen abhängig ist. Im negativen Fall verliert ein System im Laufe der Zeit an Leistungsfähigkeit (die Kurve fällt ab), da es nicht an das es umgebende, sich weiterentwickelnde, Umfeld angepasst ist.

Eine weitere Phaseneinteilung liefern die *Entwicklungsetappen* nach [LINDE et al. 1993]. Hier werden zusätzlich Aufgabenbereiche abgebildet, die im Falle streuender Einordnungen in Evolutionstrends (vgl. unten) trotzdem die Herleitung einer Grundaufgabe („Optimieren“, „Dynamisieren“) zulassen. Je geringer die Streuung bei der Einordnung in Evolutionsstufen der Evolutionstrends ist, desto spezifischer kann der konkrete Evolutionsgrad des betrachteten Systems abgeleitet werden. Die Einordnung legt, in Bezug auf die einzelnen Evolutionstrends nahe, Verbesserungsideen durch Orientierung am nächsthöheren Evolutionsgrad zu entwickeln und liefert so Impulse für die Weiterentwicklung.

Auf der Obersystem-Ebene (oben im Diagramm) ist durch die gepunktete Linie zwischen den *Punkten 1* und *3* der Bereich eines möglichen Systemübergangs abgebildet.

## 4.2 Evolutionsanalyse im WA-Projekt

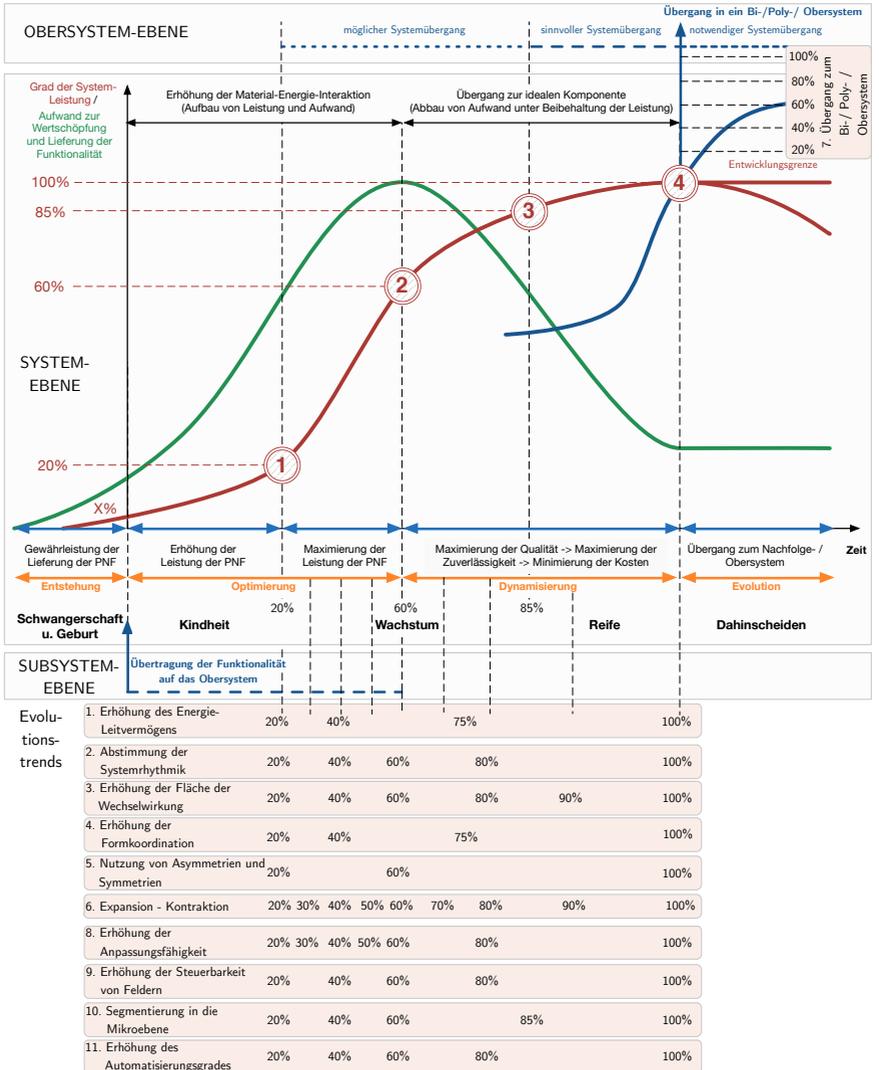


Abb. 4.24: Zusammengeführtes Modell der Technologieentwicklung mit Systemübergängen und zugeordneten Evolutionstrends

#### 4 Methodische Vorbetrachtungen

Der Systemübergang ist erst ab *Punkt 1* sinnvoll, da erst ab diesem Punkt klar ist, dass signifikant höhere Leistungen auch ohne einen Technologiewechsel möglich sind. Zwischen den *Punkten 3* und *4* (blau gestrichelte Linie) wird ein Technologiewechsel sinnvoll, da ab einem Leistungsgrad von **85 %** keine signifikanten Leistungssteigerungen mehr zu erwarten sind.

Ab dem *Punkt 4* wird ein Systemwechsel notwendig, da weitere geringe Leistungssteigerungen nur unter extremem Aufwand zu erreichen sind. Hier ist es sinnvoll, den Übergang in ein Bi-/Poly- oder Obersystem zu planen [KOLTZE et al. 2011].

Zusätzlich erfolgt auf der Subsystem-Ebene zu Beginn der Entwicklung der gleiche Trend. Zwischen der Geburt und *Punkt 2* erfolgt die Übertragung weiterer Funktionalität von Subsystemen auf das System [KOLTZE et al. 2011]. Diese Übertragung wird im Diagramm nur bis zum Evolutionsgrad **60 %** zugeordnet, da nur bis zum Hochpunkt der Glockenkurve eine Leistungssteigerung erfolgt. Durch eine weitere Integration von Nebenfunktionen erhöht sich nur der Aufwand.

In Abb. 4.24 werden zusätzlich die in Abschnitt 4.2.2 kombinierten Evolutionstrends mit aufgenommen. Dabei werden die oben für die Positionierung von Glocken- und S-Kurve abgeleiteten Evolutionsgrade denen der kombinierten Evolutionstrends zugeordnet. Der Übergang in ein Bi-/Poly-/oder Obersystem beschreibt rechts oben im Diagramm zunächst die Entwicklung zu Bi-/Polysystemen und dann den Übergang in ein Obersystem. Alle anderen Evolutionstrends sind auf der Unterseite der S-Kurve dargestellt.

Die daraus resultierende Darstellung erlaubt dem Anwender, den Evolutionsstand eines Systems anhand der Evolutionstrends auf der S-Kurve und der Glockenkurve einzuordnen. Mit der Einordnung des Evolutionsgrades können dann auf Grundlage der Evolutionstrends Ansätze für Weiterentwicklungen abgeleitet werden (vgl. auch *MP 5.11 Evolution antizipieren* (Anh. D.15, S. 356)).

#### 4.2.4 Fazit

In den vorangehenden Abschnitten wurde auf Grundlage einer Gegenüberstellung von vorhandenen Ansätzen zu Evolutionsgesetzen (vgl. Abschnitt 4.2.1), Evolutionstrends und -linien (vgl. Abschnitt 4.2.2) einheitliche Beschreibungen von Evolutionsgesetzen und -trends entwickelt. Die Evolutionsgesetze und -trends wurden zur Plausibilisierung zusätzlich in eine aus vorhandenen Ansätzen zusammengeführten S-Kurve integriert. Damit wird ein Modell zur Beschreibung der evolutionären Entwicklung von Systemen mit Evolutionsgesetzen und Evolutionstrends bereitgestellt, dass die wesentlichen Ansätze aus der TRIZ synchronisiert.

Auf Grundlage dieses Modells kann nun eine Evolutionsanalyse im WA-Projekt durchgeführt werden. Diese gibt der WA die Fähigkeit, den evolutionären Entwicklungsstand eines WA-Objekts zu bestimmen, und gezielt nach Lösungsansätzen für dessen Weiterentwicklung zu suchen. Die Evolutionsanalyse ist im *MP 4.13 Evolutionsanalyse - Entwicklungsstand bestimmen* (Anh. C.18, S. 300) (Erläuterung vgl. Abschnitt

5.1.2.6) und im *MP 5.11 Evolution antizipieren* (Anh. D.15, S. 356) (Erläuterung vgl. Abschnitt 5.2.3) beschrieben.

### 4.3 TRIZ-unterstützte Kostenanalyse und -senkung

Dieser Abschnitt beschreibt Ansätze, TRIZ-Methoden für die Kostensenkung in Wertanalyse-Projekten einzusetzen. Zunächst wird die systematische Analyse von Kostenursachen betrachtet. Die Anwendung einer Methode, die visuell die Kostenverursachungen in einer Baugruppe bzw. einem Untersuchungsrahmen strukturiert und dann die Anwendung von TRIZ-Lösungsprinzipien oder kreativitätsfördernden Moderationsfragen erlaubt, würde der WA ein bisher nicht vorhandenes Werkzeug zur Verfügung stellen. Eine TRIZ-Methode zur systematischen Analyse von Ursache-Wirkungs-Verknüpfungen wurde im Jahre 2005 durch [SOUCHKOV 2005] vorgestellt (Detaillierte Vorstellung vgl. Abschnitt 2.3.3.1). Eine modifizierte Methode zur Analyse von Kostenverursachung in Baugruppen wird in Abschnitt 4.3.1 beschrieben. Teile der folgenden Abschnitte wurden bereits in [WIGGER et al. 2014] veröffentlicht.

Als zweiter Ansatz wird die Nutzung der 40 Innovationsprinzipien zur Anregung von Kostensenkungsfragen untersucht. In der Literatur finden sich vereinzelte Ansätze zu deren Nutzung (vgl. Abschnitt 3.2). Die abstrakte Betrachtung von Lösungsprinzipien hat dabei kreativitätsfördernde Wirkung. Oft wird aber gerade die Abstraktion der 40 Innovationsprinzipien als ein Hindernis für Anfänger genannt. Die Nutzung von anregenden Moderationsfragen kann den Einstieg erleichtern. Aus diesem Grund wird in dieser Arbeit der Ansatz verfolgt, eine Sammlung von Kostensenkungsfragen bereitzustellen, die auch über die Anwendung der 40 Innovationsprinzipien filterbar ist (vgl. Abschnitt 4.3.2).

#### 4.3.1 Root Conflict Analysis (RCA+) zur Analyse von Kostenursachen

Projektgebundene interdisziplinäre Teamarbeit der WA fördert die Kommunikation zwischen verschiedenen Abteilungen. Zur Unterstützung dieser Kommunikation wird das TRIZ-Werkzeug *Root Conflict Analysis (RCA+)* (vgl. [SOUCHKOV 2005] und Abschnitt 2.3.3.1) zur systematischen Identifikation, Analyse und Eliminierung von Kostenursachen vorgeschlagen<sup>52</sup>.

Durch die Integration der *Root Conflict Analysis* wird der WA ein grafisches Werkzeug zur Analyse von Kostenursachen hinzugefügt. Es ist eine systematische Vorgehensweise zur Modellierung von Ursachen<sup>53</sup>, Widersprüchen<sup>54</sup> und deren Zusammenhängen

<sup>52</sup>Eine Kostenursache wird als die Folge einer technischen oder nicht-technischen Entscheidung definiert.

<sup>53</sup>Ein negativer Effekt der einen weiteren negativen Effekt verursacht.

<sup>54</sup>Ursache, die auch einen positiven Effekt zur Folge hat

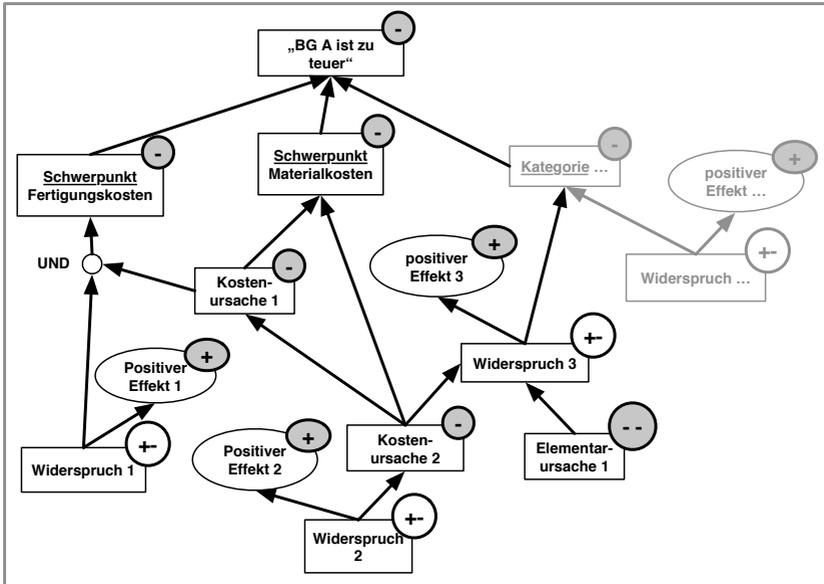


Abb. 4.25: Nomenklatur Kostenursachenanalyse mit RCA+

untereinander [KOLTZE et al. 2011]. Souchkov zeigte bereits die grundsätzliche Eignung der RCA+ für die Analyse von nicht-technischen Problemen [SOUCHKOV et al. 2006].

In dieser Arbeit wird die Nutzung der *Root Conflict Analysis* als verallgemeinerte Kostenursachenanalyse vorgeschlagen. Deren Struktur ist in Abb. 4.25 dargestellt. Die oberste Ebene einer Kostenursachenanalyse bilden die anhand der *Analyse-Schlagworten* identifizierten (vgl. *Analyse-Schlagworte* zur Gruppierung von Kostensenkungsfragen in Abschnitt 4.3.2), Kostenschwerpunkte. Diese gruppieren Kostenursachen und Widersprüche für einen Betrachtungsumfang (Teil, Baugruppe, Produkt, Service, etc.). Dem Prinzip der *Root Conflict Analysis* folgend, werden für jeden Kostenschwerpunkt kaskadierend die Ursachen und Widersprüche identifiziert (z.B. Kostenursache 2 und darauf folgend Widerspruch 2 in Abb. 4.25). Kostenschwerpunktübergreifende Verknüpfungen zwischen Kostenursachen können ebenfalls modelliert werden (vgl. „Kostenursache 1“) und ermöglichen die Identifikation komplexerer Ursachenketten. Die Suche nach „neuralgischen“ Punkten der Kostenverursachung wird vereinfacht.

Die Vorgehensweise zur Identifikation, Analyse und Eliminierung von Kostenursachen

### 4.3 TRIZ-unterstützte Kostenanalyse und -senkung

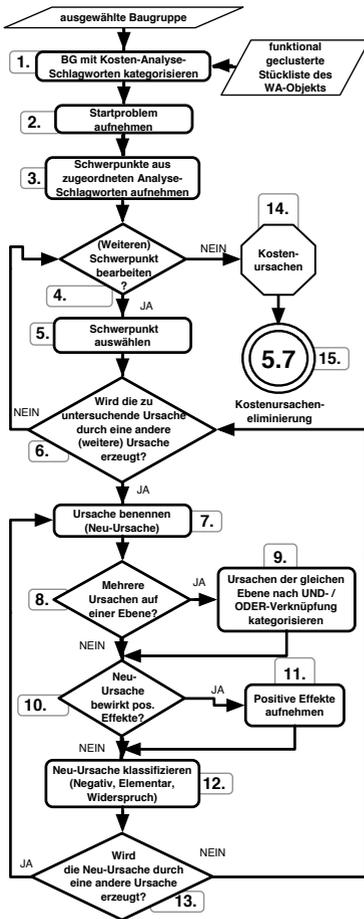


Abb. 4.26: Vorgehensweise zur Kostenursachenanalyse

4.25). So werden z.B. beim „Schwerpunkt: *Materialkosten*“ sämtliche Ursachen in den Zweig eingefügt, die für die hohen Materialkosten der Baugruppen verantwortlich sind. Zusätzlich können Verknüpfungen auch zwischen Ursachen verschiedener Zweige hergestellt werden (vgl. z.B. Verknüpfung zwischen „Kostenursache 2“ und

ist in die zwei Teile *Analyse* und *Eliminierung* aufgeteilt. Der Analyse-Teil beinhaltet die Anwendung der RCA+ für die Identifikation der Kostenursachen (vgl. Abschnitt 4.3.1.1). Die Bearbeitung/Eliminierung der Kostenursachen wird in Abschnitt 4.3.1.2 beschrieben. Abgeschlossen wird dieser Abschnitt mit der Demonstration an einem Bsp. (vgl. Abschnitt 4.3.1.3).

#### 4.3.1.1 Ermitteln von Kostenursachen

Der Analyse-Teil beinhaltet die Anwendung der *RCA+* für die Identifikation der Kostenursachen (vgl. Abb. 4.26). Die Methode ist auch im *MP 4.14 Kostenursachen analysieren* (Anh. C.19, S. 303) zur Anwendung im WA-Projekt hinterlegt. In der Baukastenstückliste wird die Ebene der Produktstruktur festgelegt, deren Baugruppen (BG) behandelt werden sollen. Die Baugruppen werden nacheinander ausgewählt und ihre kalkulierten Stücklisten untersucht.

Schritt 1: Der Baugruppen werden *Analyse-Schlagworte* zugeordnet, z.B. mit der Hilfsfrage „Mit welchen Schwerpunkten kann die Kostenverteilung in der ausgewählten Baugruppen beschrieben werden?“ .

Schritt 2: Das Startproblem wird in der Form „Die betrachtete Baugruppen ist zu teuer“ zunächst dokumentiert. Dieser Schritt dient nur dem formellen Beginn der Modellierung.

Schritt 3: Die in Schritt 1 identifizierten Schwerpunkte werden zur visuellen Gruppierung der Analyse als Kostenursachen formuliert und dem Startproblem zugeordnet. Damit ergeben sich ein oder mehrere Schwerpunkte der Analyse (vgl. z.B. Zweig „Schwerpunkt: *Fertigungskosten*“ in Abb.

#### 4 Methodische Vorbetrachtungen

„Kostenursache 1“ in Abb. 4.25). Die Schwerpunktbildung erleichtert die Nutzung der Kostensenkungsfragen (vgl. folgender Abschnitt). Mit dem Abschluss des letzten Zweigs ist das Ergebnis (vernetzte Kostenursachen), vollständig. Die erstellte Struktur kann im nächsten Schritt mit der im Abschnitt 4.3.1.2 vorgestellten Vorgehensweise zur Eliminierung von Kostenursachen bearbeitet werden<sup>55</sup>.

Schritt 4: Wenn für alle Schwerpunkte Kostenursachen ermittelt wurden, ist die Kostenursachenanalyse abgeschlossen (vgl. *Ergebnis Kostenursachen* in Schritt 14). Auf Grundlage der ermittelten Kostenursachen sollte die im Abschnitt 4.3.1.2 beschriebene Eliminierung von Kostenursachen angewendet werden (vgl. Schritt 15).

Schritt 5: Der Prozess zur Identifikation von Kostenursachen muss für jeden Zweig einmal durchlaufen werden.

Schritt 6: Diese Ursache wird auf weitere zugrundeliegende Ursachen untersucht. Dies geschieht z.B. durch die Anwendung der Hilfsfrage „Wird diese Ursache durch eine weitere Ursache hervorgerufen?“. Kann eine neue Ursache identifiziert werden, wird diese in der Struktur unterhalb der ursprünglichen Ursache angeordnet. Kann keine weitere Ursache identifiziert werden, geht man zur Analyse der nächsten zugeordneten Kostenkategorie über.

Schritt 7: Wenn eine weitere (neue) Ursache identifiziert wurde, wird diese benannt.

Schritt 8: Es wird untersucht, ob mehrere auf einer Ebene (also mit einem Pfeil mit derselben übergeordneten Ursache verbundene) identifizierte Ursachen vorhanden sind.

Schritt 9: Diese werden auf ihre UND-/ODER-Verknüpfung (vgl. Abb. 4.25: UND-Verknüpfung z.B. zwischen „Widerspruch 1“ und „Kostenursache 1“, ODER-Verknüpfung z.B. zwischen „Kostenursache 2“ und „Kategorie: *Materialekosten*“) in Bezug auf das Erzeugen der übergeordneten Ursache hin untersucht und dargestellt. Bei einer UND-Verknüpfung zwischen Ursachen reicht der Wegfall einer Ursache, um die übergeordnete Ursache zu eliminieren. Bei einer ODER-Verknüpfung müssen alle untergeordneten Ursachen eliminiert werden, um die übergeordnete Ursache zu eliminieren.

Schritt 10: Es wird untersucht, ob die neu formulierte Ursache einen positiven Effekt verursacht.

Schritt 11: Falls ja, wird die neu formulierte Ursache in einen Widerspruch umgewandelt und der positive Effekt wird formuliert und ihr zugeordnet (Bsp. Widerspruch 3 und positiver Effekt 3 in Abb. 4.25).

Schritt 12: Die neu formulierte Ursache wird abschließend klassifiziert. Falls diese keinen positiven Effekt erzeugt und verändert werden kann und darf, wird sie als negativer Effekt klassifiziert. Falls sie nicht veränderbar oder außerhalb der Bearbeitungsaufgabe liegt, ist sie als elementarer negativer Effekt zu klassifizieren. Ein gleichzeitig erzeugter positiver Effekt macht die neu formulierte Ursache zu einem Widerspruch.

---

<sup>55</sup>Im Anhang als *MP 5.7 Kostenursachen eliminieren* (Anh. D.10, S. 341) hinterlegt

Schritt 13: Die neu formulierte Ursache /Widerspruch wird auf weitere tieferliegende Ursachen untersucht (Bsp. Widerspruch 3 und Elementarursache 1 in Abb. 4.25).

### 4.3.1.2 Eliminieren von Kostenursachen

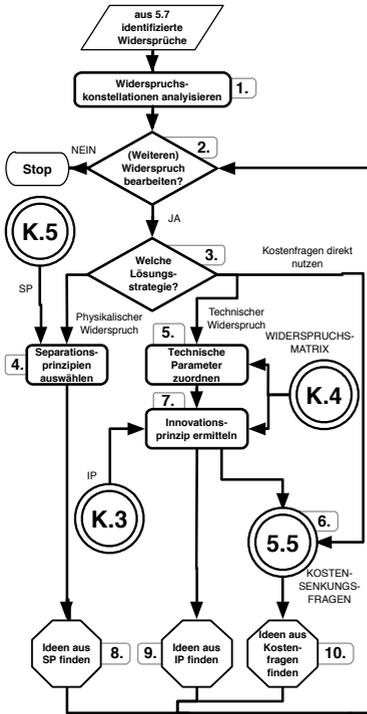


Abb. 4.27: MP 5.7: Vorgehensweise zur Eliminierung von Kostenursachen

In der *Kostenursacheneeliminierung* werden für die in der *Kostenursachenanalyse* ermittelten Kostenursachen Lösungsmöglichkeiten gesucht. Ziel ist die Eliminierung von kostenverursachenden Widersprüchen. Je nach Auswirkung eines Widerspruchs können durch dessen Eliminierung ggf. ganze Ketten von Kostenursachen vermieden werden. Bei der Suche nach Lösungsalternativen kommen neben der Anwendung der klassischen TRIZ-Werkzeuge Separationsprinzipien, Widerspruchsmatrix und Innovationsprinzipien auch die oben vorgestellten Kostensenkungsfragen zum Einsatz. Im Methodenpass *MP 5.7 Kostenursachen eliminieren* (Anh. D.10, S. 341) werden für die in *MP 4.14* ermittelten Kostenursachen Lösungsmöglichkeiten gesucht. Je nach Auswirkung eines Widerspruchs können durch dessen Eliminierung ggf. ganze Ketten von Kostenursachen vermieden werden.

Schritt 1: Die vorliegende Kostenursachenanalyse wird auf die vorliegenden Widerspruchskonstellationen untersucht. Dabei werden zunächst alle Widersprüche aufgelistet und dann eine von fünf verschiedenen Widerspruchskonstellationen zugeordnet (vgl. *MP 5.7 Kostenursachen eliminieren* (Anh. D.10, S. 343) und [SOUCHKOV 2011]). Abhängig von den identifizierten Widerspruchskonstellationen wird dann eine Bearbeitungsreihenfolge der Widersprüche festgelegt.

Schritt 3: Abfrage der zu verfolgenden Lösungsstrategie. Die drei folgenden Lösungsstrategien stehen grundsätzlich zur Verfügung.

Zum einen kann die Bearbeitung des physikalischen Widerspruchs und Anwendung der vier Separationsprinzipien für Lösungsansätze (vgl. Schritt 4 *Separationsprinzipien auswählen*) genutzt werden. Die Auflösung von physikalischen Widersprüchen

#### 4 Methodische Vorbetrachtungen

wird häufig von versierten TRIZ-Anwendern bevorzugt. Zur Vereinfachung können auch Innovationsprinzipien verwendet werden, die den Separationsprinzipien zugeordnete sind (vgl. z.B. [ORLOFF 2006]).

Eine weitere Möglichkeit ist die Bearbeitung des Technischen Widerspruchs und Anwendung der 40 Innovationsprinzipien durch Nutzung der Widerspruchsmatrix (vgl. Schritte 5 *Technische Parameter zuordnen* und 7 *Innovationsprinzip zuordnen*).

Die dritte Möglichkeit ist die Nutzung der im MP 5.5 hinterlegten Kostensenkungsfragensystematik (vgl. Schritt 6 *Anwendung des MP 5.5 Kostensenkungsfragen* und Abschnitt 4.3.2). Damit können zielgerichtet kreativitätsfördernde Fragen gestellt werden, die mit dem spezifischen Kostenschwerpunkt der Baugruppe im direkten Zusammenhang stehen.

Die Lösungsstrategien 1 und 2 sehen zunächst eine stark TRIZ-orientierte Herangehensweise vor. Diese können durch die Anwendung von Kostensenkungsfragen aus dem MP 5.5 (vgl. Abschnitt 5.2.1.5) ergänzt werden.

##### 4.3.1.3 Beispiel

Im Bsp. wird eine Welle mit zwei Lagern analysiert (vgl. Abb. 4.28). Das Lager A wird axial links durch das Gehäuse fixiert. Axial rechts erfolgt die Fixierung über den Absatz *D60/D70*. Das Lager B stützt sich axial rechts ebenfalls im Gehäuse ab, links übernimmt der Absatz *D90/D80* die axiale Fixierung. Eine genauere Analyse durch Schritt 1 im *MP 4.14 Kostenursachen analysieren* ergibt, dass die Fertigungskosten, die Materialkosten und die Montagekosten dieser Baugruppe als verhältnismäßig hoch einzustufen sind.

In der ersten Ebene unterhalb der Kostenursache *“Die Fertigungskosten sind hoch“* (Dunkler Kreis mit der Ziffer 0 in Abb. 4.28) sind von links nach rechts deren Ursachen (Ziffern 1–4) dargestellt. Diese Ursachen sind Widersprüche (gekennzeichnet durch das +/- Symbol oben rechts), da sie jeweils auch einen positiven Effekt verursachen. Das Abdrehen des Rohmaterials zur Schaffung der Funktionsoberflächen für die Aufnahme von Maschinenelementen in den Absätzen *D80/D70* (Ziffer 1), *D60/D70* (Ziffer 3), *D90/D80* (Ziffer 4) und des Wellenabschnitts zwischen den Absätzen *D60/D70* und *D70/D90* (Ziffer 2) ist die Erklärung für die verursachten Kosten.

Im Gegensatz zu den Widersprüchen mit den Ziffern 2–4 hat der Widerspruch 1 zwei Kostenursachen. Auch diese Kostenursachen (Ziffern 5 und 6) sind Widersprüche, da sie zusätzliche positive Effekte verursachen. Die Ursache in Widerspruch 5 ermöglicht die Schonung von Lagerinnenring und Wellenoberfläche beim Aufschieben auf Lager B. Widerspruch 6 ermöglicht die axiale Fixierung von Lager B. Auf den Widerspruch 6 referenzieren zusätzlich die übergeordneten Widersprüche (1–4).

Der Widerspruch 6 ist aber nicht die grundlegende Kostenursache in diesem Beispiel. Es ist die Entscheidung, das System über eine rotierende Welle anzutreiben. Dies wird durch den Widerspruch *“Welle kann rotieren“* (Ziffer 7) dargestellt. Dem positiven Effekt *“System kann angetrieben werden“* stehen die verursachten Widersprüche *“Lager B kann auf Abtriebswelle aufgeschoben werden.“* (Ziffer 5) und *“D90 vorhanden“* (Ziffer 6) gegenüber.

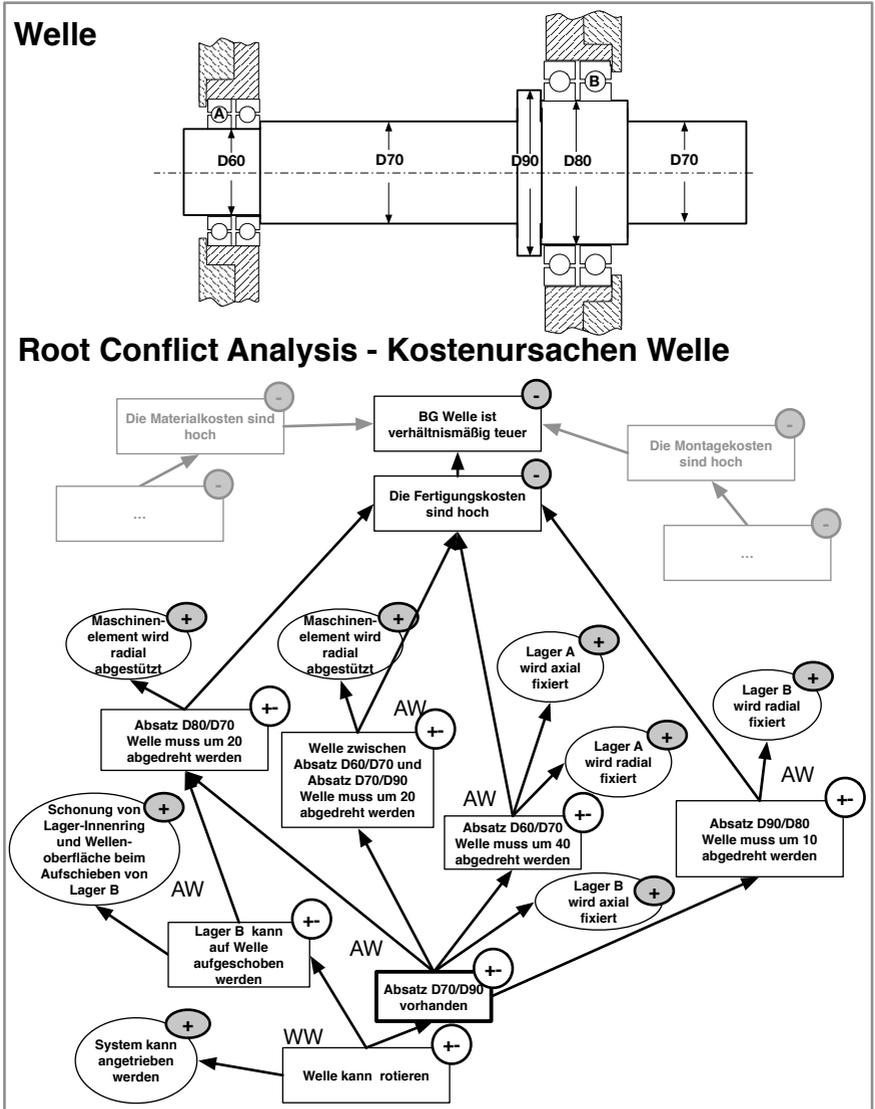


Abb. 4.28: Root Conflict Analysis - Anwendung Kostenursachenanalyse am Bsp. einer Abtriebswelle - Analyse

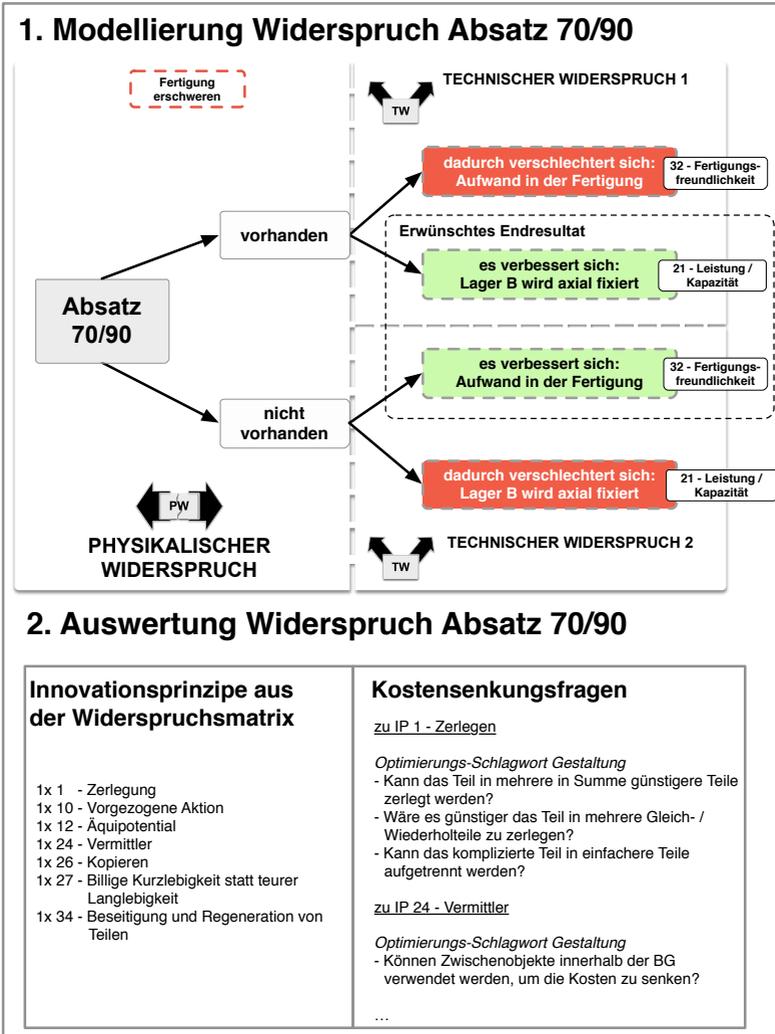


Abb. 4.29: Root Conflict Analysis - Anwendung Kostenreduktion am Bsp. einer Abtriebswelle - Auswertung

#### 4.3 TRIZ-unterstützte Kostenanalyse und -senkung

Die Suche nach Lösungen zur Eliminierung von Kostenursachen wendet die im Abschnitt 4.3.1.2 (vgl. auch *MP 5.7 Kostenursachen eliminieren* (Anh. D.10, S. 341)) beschriebene Vorgehensweise zur Eliminierung von Kostenursachen an.

Dazu werden die vorhandenen Widersprüche zunächst kategorisiert. In diesem Fall liegt mit *“Welle muss rotieren“* (Ziffer 7) ein *Wurzel-Widerspruch*<sup>56</sup> vor. Durch das Diagramm ist erkennbar, dass eine erfolgreiche Eliminierung des Widerspruchs (Ersatz der Rotation) den größten Einfluss auf die Kosten hätte, da dadurch alle übergeordneten Kostenursachen wegfallen würden. Eine erfolgreiche Eliminierung würde in diesem Fall die Wahl einer Antriebsform bedeuten, die in Summe kostengünstiger als die bisherige ist. Der Wert der Modellierung liegt in diesem Fall darin, den Blick auf völlig andere Lösungsklassen zu lenken.

Da die Beseitigung des Wurzel-Widerspruchs (Ziffer 7) in diesem Bsp. aufgrund lö- sungsbedingender Vorgaben (Geforderte Antriebsform Rotation) aber nicht möglich ist, werden die vom Wurzel-Widerspruch ausgehenden Widersprüche analysiert. In diesem Fall ist insbesondere der von der Kostenursache *“D90 vorhanden“* ausgehende Widerspruch interessant, da dieser viele weitere Widersprüche (Ziffern 1–4) verursacht. In Abb. 4.29 ist eine exemplarische Auswertung dargestellt. Zur

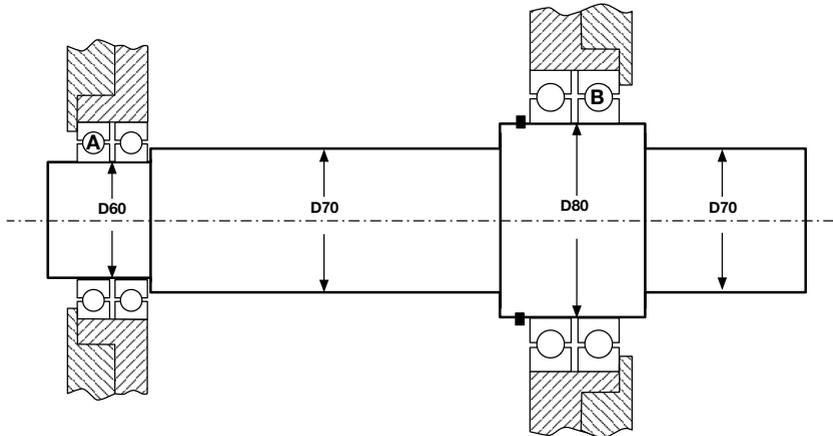


Abb. 4.30: Root Conflict Analysis - Anwendung Kostenreduktion am Bsp. einer Abtriebswelle - Idee und Lösung

<sup>56</sup>Der Wurzel-Widerspruch ist die Ursache aller ihm übergeordneter Widersprüche und negativer Effekte [SOUCHKOV 2005]

## 4 Methodische Vorbetrachtungen

weiteren Analyse des zunächst frei formulierten Technischen Widerspruchs wird dieser zunächst in ein ENV-Modell (vgl. u.a. [CASCINI et al. 2009]) (oberer Teil der Abb. 4.29) überführt und im rechten Teil der Abb. 4.29 um seinen inversen Technischen Widerspruch ergänzt. Im linken Bereich des ENV-Modells wird der physikalische Widerspruch dargestellt. Zu lesen ist das ENV-Modell wie folgt:

*“Wenn der Absatz D70/D90 vorhanden ist, dann kann das Lager B axial fixiert werden. Dabei verschlechtert sich aber der Bearbeitungsaufwand. Wenn der Absatz D70/D90 nicht vorhanden ist, dann verbessert sich der Bearbeitungsaufwand. Dabei verschlechtert sich aber die Fähigkeit Lager B axial zu fixieren.“*

Die Nutzung des ENV-Modells ist keine zwingende Voraussetzung zur Formulierung eines Technischen Widerspruchs. Es bietet aber zunächst eine übersichtliche Darstellung der betrachteten Widerspruchssituation. Die zur Bearbeitung von Technischen Widersprüchen genutzten Innovationsprinzipien sind nicht symmetrisch in der Widerspruchsmatrix verteilt (vgl. u.a. [SOLIDCREATIVITY 2013]), d.h. das Feld (1,3) in der Widerspruchsmatrix enthält nicht zwangsweise die gleichen Innovationsprinzipien wie das Feld (3,1). Daher muss zur Ermittlung aller relevanten Innovationsprinzipien auch der Inverse Widerspruch betrachtet werden. Das ENV-Modell modelliert diesen Inversen Technischen Widerspruch sehr anschaulich und forciert damit dessen Bearbeitung.

Zur Bearbeitung wird die *Lösungsstrategie 2 - Bearbeitung der Technischen Widersprüche* ausgewählt. Dazu kann der zunächst frei formulierte Widerspruch (s.o.) durch die Technischen Parameter *21 - Leistung/Kapazität* und *32 - Fertigungsfreundlichkeit* ausgedrückt werden. Die daraus resultierenden Innovationsprinzipien (IP) sind in Abb. 4.29 unten links dargestellt.

In Abb. 4.29 unten rechts stehen exemplarisch einige den IP *1 - Zerlegen* und *24 - Vermittler* zugeordneten Kostensenkungsfragen. Diese können im Rahmen der Lösungsstrategie 2 als zusätzliche Anregungen dienen. Ausgehend von den Innovationsprinzipien IP *1 - Zerlegen* und IP *24 - Vermittler* wird in Abb. 4.30 eine Lösungsmöglichkeit vorgestellt. Das IP *1 - Zerlegen* sieht die Zerlegung eines Objektes in unabhängige Teile vor. Das IP *24 - Vermittler* sieht die Einführung eines Zwischenobjektes vor [SOLIDCREATIVITY 2013]. In diesem Fall legen beide Prinzipien die Verwendung eines zusätzlichen Teils nahe. Hier bietet sich ein Sicherungsring an, der die axiale Sicherung des Lagers *B* gegenüber der Welle gewährleistet. Diese Lösung erlaubt die Verwendung eines Rundmaterials mit einem geringeren Durchmesser.

### 4.3.2 TRIZ-basierte Kostensenkungsfragen

Jedes wertanalytische Projekt verlangt u.a. eine Überwachung des Aufwandes und die Minimierung der Kosten. Die TRIZ stellt empirisch ermittelte Lösungsprinzipien (vgl. u.a. Innovationsprinzipien) zur Lösung technischer Probleme, also zur Wertverbesserung bereit. Deren Einsatz ist vor allem bei einer weiterführenden, schwierigeren Kostensenkung in Form der Lösung einer Erfindungsaufgabe vielversprechend [LIVOTOV 2001]. Für Anfänger ist die Anwendung jedoch häufig schwierig, da diese Lösungsprinzipien keinen direkten Bezug zur Senkung von Kosten besitzen [DOMB 2005]. Aus

### 4.3 TRIZ-unterstützte Kostenanalyse und -senkung

diesem Grund müssen Wege untersucht werden, die Potentiale von TRIZ-Methoden zur Kostensenkung auch für die „herkömmliche“ WA zugänglicher machen.

Neben der Visualisierung ist der Einsatz von Frage- und Antworttechniken eines der wesentlichen Hilfsmittel des Moderators [KLEBERT et al. 2006]. Die Motivation in diesem Fall ist die Anregung des Denkprozesses [EBERT 1971] und der Intuition [PAHL et al. 2007]. Die Anwendung von Fragen dient dem Perspektivwechsel [KOURIM 1968]. Dadurch können Lösungen hervorgebracht werden, die im Normalfall nicht gefunden worden wären [EBERT 1971]. Die Suche nach Alternativen wird durch Fragen erleichtert [KOURIM 1968], und fördert damit das diskursive Vorgehen [PAHL et al. 2007]. Insbesondere für Anfänger kann der Einstieg in die Anwendung einer Methode durch gezielte Fragen erleichtert werden [BAIER 1969]. Insbesondere für die WA in Verbindung mit der inhärenten interdisziplinären Teamarbeit ist eine gezielte Fragestellung unentbehrlich. Interdisziplinäre Teams sind aufgrund verschiedener Perspektiven der Teammitglieder oft besser in der Lage, ein Objekt ganzheitlich zu analysieren/verbessern. Für das Formulieren von Kostensenkungsfragen gilt der gleiche Sachverhalt. Aus unterschiedlichen Perspektiven werden unterschiedliche Fragen bezüglich des gleichen Betrachtungsgegenstandes gestellt. Die Anwendung der 40 Innovationsprinzipien zur Lösung von Kostenproblemen ist ebenfalls aus jeder der Perspektiven interessant. Die Innovationsprinzipien werden in dieser Arbeit und anderen Publikationen (vgl. Abschnitt 3.2) eingesetzt, da sie allgemein genug sind um einem breiten Anwendungsfeld abstrakte Anregungen zu bieten.

Um die Nutzbarkeit der Kostensenkungsfragen im praktischen Projektalltag sicherzustellen, wurde eine Vorgehensweise in vier Schritten gewählt.

1. Definition eines Schemas zur systematischen Abdeckung möglicher Perspektiven und Foki für die Formulierung von Kostensenkungsfragen (vgl. Abb. 4.31).
2. Anwendung der Innovationsprinzipien auf jedes Kreuzungsfeld des *System Operators* zur Formulierung von Fragen.
3. Ergänzung der Fragen durch Fragen aus der Literatur sowie Zuordnung von Schlagworten
4. Entwicklung einer unterstützenden Software zur Nutzung der Kostensenkungsfragen.

Grundlage der systematischen Formulierung von Kostensenkungsfragen bildet die Definition eines Schemas zur Fragestellung (vgl. Schritt 1). Die in der Literatur zur WA vorhandenen Ansätze (u.a. [BENZ 1969], [ORTH 1968], [EBERT 1971] und [BAIER 1969]) zur Formulierung von Kostensenkungsfragen sind nicht einheitlich. Die Kategorisierungen der Sammlungen reichen von groben Einteilungen (z.B. Konstruktion, Montage, Fertigung) bis zu sehr feinen spezifischen Einteilungen (z.B. Toleranzen, Materialwahl, Normung). Ganzheitliche systematische Ansätze zur Formulierung von Kostensenkungsfragen sind nicht vorhanden. Aus Sicht des Autors müssen daher drei Aspekte der Fragestellung kombiniert betrachtet werden:

1. Der Abstraktionsgrad der Frage,
2. die Abteilung bzw. die Sichtweise des Fragestellers und

#### 4 Methodische Vorbetrachtungen

3. der betreffende Bearbeitungsschritt.

Der Abstraktionsgrad bestimmt den Anwendungsbereich der Frage. In Bezug auf die in WA-Projekten häufig verwendeten Abstraktionsebenen werden folgende gewählt:

1. Funktion
2. Baugruppe
3. Teil

Die Abstraktionsebene *Funktion* dient der Formulierung von Kostensenkungsfragen auf der Ebene der Wirkung. Wesentliches Ziel von Kostensenkungsfragen zu diesem Abstraktionsgrad ist das Erarbeiten von kostengünstigeren Lösungen auf der Konzeptebene. Auf dieser Ebene soll die Entkopplung der Ideenfindung von der bereits vorhandenen Lösung stattfinden.

Die Abstraktionsebene *Baugruppe* dient der Formulierung von Kostensenkungsfragen, die Baugruppen direkt betreffen. Merkmal dieser Abstraktionsebene sind Kostensenkungsfragen die insbesondere die Diversifikation /Funktionsintegration, Beschaffung und Montage ganzer Baugruppen betreffen.

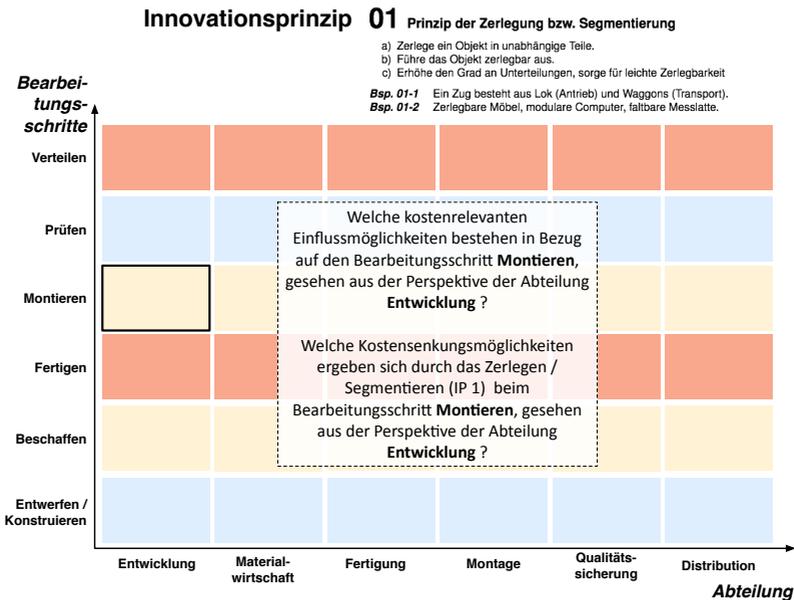


Abb. 4.31: Organisation der Kostenfragen

#### 4.3 TRIZ-unterstützte Kostenanalyse und -senkung

Die Abstraktionsebene *Teil* dient der Formulierung von Kostensenkungsfragen, die direkt Kostensenkungspotentiale bei einzelnen Teilen anregen. Hier sind Kostensenkungsfragen formuliert, die direkt an der physischen Implementierung eines Teils ansetzen.

Der zweite Aspekt ist die Blickrichtung des Fragestellers, also seine fachliche Sicht. Die unterschiedlichen Sichtweisen von verschiedenen Fragestellern aus unterschiedlichen Abteilungen lassen sich mit den jeweiligen Aufgaben, Anforderungen, Problemen etc. begründen. Als Blaupause für die Einteilung der Abteilungen eignet sich der Produktentstehungsprozess. Damit können wesentliche Berührungspunkte zwischen den verschiedenen Abteilungen abgedeckt werden (vgl. auch [GÖTZ 2006]). Dementsprechend wird in Abb. 4.31 eine Aufteilung in sechs Abteilungen gewählt.

1. Entwicklung
2. Materialwirtschaft
3. Fertigung
4. Montage
5. Qualitätssicherung
6. Distribution

Der dritte Aspekt ist der betreffende Bearbeitungsschritt. Es sind sechs verschiedene Bearbeitungsschritte in Abb. 4.31 definiert.

1. Entwerfen /Konstruieren
2. Werk- /Betriebsstoffe
3. Fertigen
4. Montieren
5. Prüfen
6. Verteilen

Im Sinne der Überwindung der Grenzen zwischen Organisationsbereichen (vgl. [EHRLENSPIEL et al. 2013]) werden die Abteilungen und die Bearbeitungsschritte in dieser Arbeit als Achsen in einem *System Operator* (Erläuterung vgl. Abschnitt 2.3.3.2) verwendet (vgl. Abb. 4.31). Das Schema erlaubt das systematische Abarbeiten von Kombinationen aus Abteilung und Bearbeitungsschritt. Die Organisation in Abteilungen und Bearbeitungsschritte erlaubt das bewusste Einnehmen unterschiedlicher Perspektiven in Bezug auf den selben Bearbeitungsschritt. In Bezug auf den Bearbeitungsschritt „Entwerfen/Konstruieren“ stellt die Abteilung „Montage“ andere Kostensenkungsfragen als die Abteilung „Materialwirtschaft“. Das Schema erleichtert die Formulierung von Kostensenkungsfragen.

Auf Basis dieser systematischen Einteilung von „Szenarien“ werden im zweiten Schritt die 40 Innovationsprinzipien als Ideen Anregungen für Kostensenkungsfragen genutzt.

#### 4 Methodische Vorbetrachtungen

Die Kostensenkungsfragen werden als offene Fragen konzipiert<sup>57</sup>. Der Wert der Innovationsprinzipien zur Inspiration hängt, insbesondere für Anfänger, im Wesentlichen von erklärenden Hinweisen, Beispielen zur Erläuterung des Sinns des jeweiligen Prinzips oder Hilfsfragen ab. Aus diesem Grund wurden zu den Innovationsprinzipien zunächst Hilfsfragen und deren Umkehrungen formuliert (Bsp. vgl. Abb. 4.32).

### 01 Prinzip der Zerlegung bzw. Segmentierung

#### Hilfsfragen

Wie kann das Objekt in unabhängige Teile zerlegt werden?  
Wie kann das Objekt unter gewissen Bedingungen zerlegbar ausgeführt werden?  
Wie kann der Grad der Zerlegung erhöht werden?

#### Umkehrung Hilfsfragen

Wie können unabhängige Teile zu einem Objekt kombiniert werden?  
Wie kann das Objekt unter gewissen Bedingungen kombiniert werden?  
Wie kann der Grad der Zerlegung verringert werden?

Abb. 4.32: Bsp. Innovationsprinzip 1 mit zugeordneten Hilfsfragen

Im dritten Schritt wurde die generierte Fragensammlung ergänzt. Relevante Quellen zur Ergänzung sind u.a. [EHRLENSPIEL et al. 2007], [PAHL et al. 2007], [HEIL 1993], [VOIGT et al. 1970], [GREVE 1969], [ORTH 1968], [ZADERENKO 1971] und [TRAUTMANN 1973].

Zusätzlich wird die Zugänglichkeit der Kostensenkungsfragen durch die Zuordnung von Schlagworten verbessert (Bsp. vgl. Abb. 4.33). Die große Menge von Kostensenkungsfragen macht dies erforderlich. Schlagwörter sind einzelne, einen Inhalt charakterisierende Wörter für Karteien, Kataloge oder ähnliches [DUDEN 2013]. Im Gegensatz zu einem Stichwort (im Sinne eines Stichwortverzeichnis in einem Buch) muss das Schlagwort nicht wortwörtlich im zugeordneten Inhalt vorhanden sein.

Ziel der Zuordnung von Schlagworten ist die Nutzung der Kostensenkungsfragen zu vereinfachen. Dadurch können schnell einzelne Fragen zu einem bestimmten Schlagwort gefiltert werden. Dies gibt einem Moderator die Möglichkeit, flexibel zu reagieren um auf die Situation angepasste anregende Kostensenkungsfragen zu stellen. Um die Auswahl zu vereinfachen, wird eine Zweiteilung der zuzuordnenden Schlagworte vorgeschlagen.

Die erste Gruppe von Schlagworten wird als *Analyse-Schlagworte* bezeichnet. Es sind Schlagworte, die solche Kostensenkungsfragen auswählen, die anlässlich einer durchgeführten Kostenanalyse naheliegend sind. Bspw. kann eine Baugruppe bezüglich der

<sup>57</sup>Die offene Beantwortung von Fragen dient der Sammlung von Problemen, Themen, Ideen und Lösungskonzepten. Diese Form eignet sich insbesondere, wenn eine gegenseitige Anregung der Teammitglieder erwünscht ist und die Atmosphäre im gegebenen Team eine vertrauensvolle Zusammenarbeit ermöglicht. [RITSCHL et al. 1997]

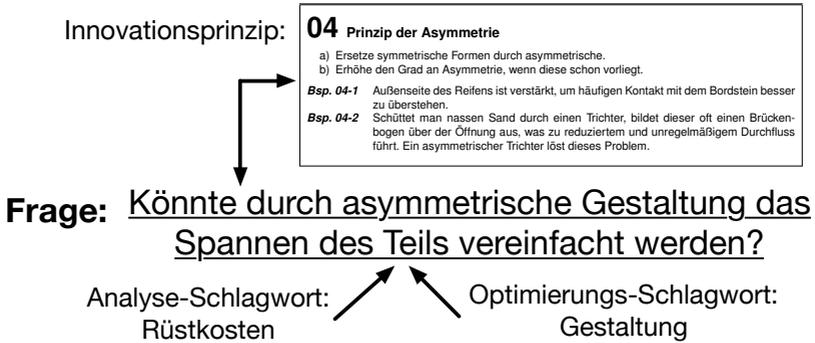


Abb. 4.33: Bsp. Kostensenkungsfrage mit zugrundeliegendem Innovationsprinzip und zugeordneten Schlagworten

Bearbeitungskosten (im Verhältnis zu bisherigen Erfahrungen des betreffenden Unternehmens) als kostentreibend eingestuft werden. Für Ideen zur Senkung der Kosten könnten also die Kostensenkungsfragen nach dem Schlagwort „Bearbeitungskosten“ gefiltert werden. Die einzelnen Analyse-Schlagworte werden in Tabelle 4.1 (Schlagworte 1–6) erläutert.

Die zweite Gruppe von Schlagworten wird als *Optimierungs-Schlagworte* bezeichnet und beschreibt die Relevanz einer Kostensenkungsfrage für einen bestimmten Bereich der Optimierung (z.B: Gestaltung, Materialwahl, Bezugsart, Variantenvielfalt, Betriebsmittel, Fertigungsoptimierung etc.). Die Sammlung der Optimierungs-Schlagworte ist ebenfalls in Tabelle 4.1 hinterlegt (vgl. Schlagworte 7–17).

Tab. 4.1: Schlagworte zur Kategorisierung der Kostensenkungsfragen

Nr.	Schlagwort	Schlagwort-Typ	Kommentar
1	Materialkosten	Analyse	Wichtiger Teil der Herstellkosten (HK) (vgl. [EHRENSPIEL et al. 2007]).
2	Rüstkosten	Analyse	Wesentlicher Teil der Einmalkosten eines Teils [PAHL et al. 2007].
3	Bearbeitungskosten	Analyse	Wichtiger Bestandteil der Herstellkosten (u.a. [EHRENSPIEL et al. 2007]) Bearbeitungskosten erscheinen verhältnismäßig hoch.
4	Montagekosten	Analyse	Wichtiger Bestandteil der Herstellkosten [EHRENSPIEL et al. 2007].

Weiter auf der nächsten Seite

4 Methodische Vorbetrachtungen

Tab. 4.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Nr.	Schlagwort	Schlagwort-Typ	Kommentar - Auswahl des Schlagworts, wenn ...
5	Verteilkosten	Analyse	Verteilkosten zur Distribution einer BG, eines Teils oder von Material und Betriebsmitteln innerhalb des Fertigungs-/Montageprozesses sind wesentlich für die HK [EHRENSPIEL et al. 2007]. Verteilkosten erscheinen verhältnismäßig hoch.
6	Prüfkosten	Analyse	Wichtiger Einfluss auf die HK [EHRENSPIEL et al. 2007].
7	Funktion	Optimierung	Fokussierung auf die zu erzielende Wirkung. Prüfung, ob die richtige Wirkung angestrebt wird. Insbesondere bei hohen Material- und Bearbeitungskosten.
8	Anforderung	Optimierung	Sparen bei der Güte der Umsetzung. Insbesondere bei hohen Material- und Bearbeitungskosten.
9	Gestaltung	Optimierung	Optimierung der Gestaltung. Insbesondere bei hohen Material-, Rüst-, Bearbeitungs-, Montage-, und Prüfkosten.
10	Materialwahl	Optimierung	Optimierung der Materialwahl insbesondere bei hohen Materialkosten. Zusätzlich Betrachtung des Einflusses der Materialwahl auf die Bearbeitbarkeit von Werkstücken in der Fertigung und Montage.
11	Bezugsart	Optimierung	Insbesondere bei hohen Material- / Fertigungskosten kann eine Änderung der Bezugsart von Teilen und BG Kosten sparen.
12	Variantenvielfalt	Optimierung	Insbesondere bei hoher Anzahl an Teilen mit gleichen Funktionen innerhalb eines Objekts.
13	Betriebsmittel	Optimierung	Insbesondere bei hohen Bearbeitungs- und Prüfkosten kann eine Optimierung der Betriebsmittel Kosten sparen.
14	Fertigungsoptimierung	Optimierung	Insbesondere bei hohen Fertigungskosten.
15	Montageoptimierung	Optimierung	Insbesondere bei hohen Montagekosten.
16	Prüfoptimierung	Optimierung	Insbesondere bei hohen Kosten in der Qualitätssicherung.
17	Distribution	Optimierung	Insbesondere bei hohen Kosten in der Logistik.

### 4.3 TRIZ-unterstützte Kostenanalyse und -senkung

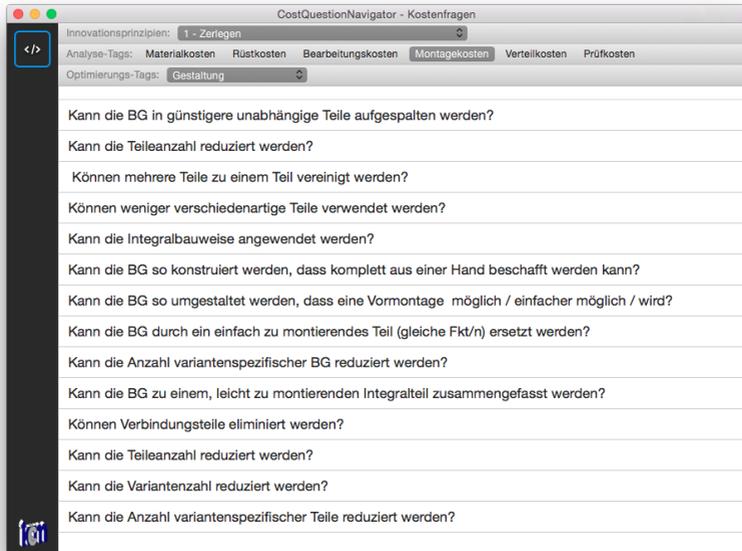


Abb. 4.34: Auswahlhilfesoftware für Kostensenkungsfragen

Jeder Kostensenkungsfrage können mehrere *Analyse-Schlagworte* und mehrere *Optimierungs-Schlagworte* zugeordnet werden. In Abb. 4.33 ist ein Bsp. dargestellt. Im Bsp. wird durch das Innovationsprinzip 4 *Prinzip der Asymmetrie* die asymmetrische Gestaltung eines Teiles angeregt. Es könnte das Spannen dieses Teiles in der Werkzeugmaschine vereinfachen. Diese Frage zielt auf die Reduzierung der Rüstkosten (vgl. Analyse-Schlagwort in Abb. 4.33). Die komplette Sammlung der Kostensenkungsfragen befindet sich in Anhang E.

Ein weiterer Schritt zur Verbesserung der Zugänglichkeit der Kostensenkungsfragen ist das Ablegen in einer SQLite-Datenbank. Dies erlaubt die Speicherung der Relationen zwischen den einzelnen Kostensenkungsfragen und den zugeordneten Innovationsprinzipien. Dadurch ergeben sich zwei Wege für den Zugriff auf die Kostenfragen. Der erste Weg ist das Filtern der Fragen nach Schlagworten. Damit können schnell Fragen bezüglich spezifischer Kostenbeeinflussung und Optimierungsrichtung zur Verfügung gestellt werden. Als zweiter Weg wird das Filtern nach Innovationsprinzipien möglich. Dies ist insbesondere nützlich, wenn ein Innovationsprinzip als zielführend für die

#### 4 Methodische Vorbetrachtungen

Lösung eines Widerspruchs identifiziert wurde (z.B. Über die Widerspruchsmatrix). Zur einfachen Nutzung der Datenbank ist eine Software erforderlich. Ein im Rahmen dieser Arbeit entstandener Prototyp (vgl. Abb. 4.34) besitzt die folgenden Funktionalitäten:

1. Filtern der Kostensenkungsfragen nach *Analyse- und Optimierung-Schlagworten*
2. Filtern der Kostensenkungsfragen nach Innovationsprinzipien
3. Kombinierte Filterung der Kostensenkungsfragen nach Innovationsprinzipien und Optimierungs-Schlagworten
4. Filtern der Kostensenkungsfragen nach Evolutionstrends
5. Darstellung der Innovationsprinzipien zur direkten Nutzung

Für die Filterung von Kostensenkungsfragen nach Analyse- und Optimierungs-Schlagworten ist die Logik wie folgt aufgebaut:

1. Einzelne Analyse-Schlagworte sind untereinander ODER-verknüpft
2. Einzelne Optimierungs-Schlagworte sind untereinander ODER-verknüpft
3. Analyse-Tags und Optimierungs-Tags sind untereinander mit UND-verknüpft

Auf diese Weise können Kostensenkungsfragen zunächst nach den zu beeinflussenden Kostenarten gefiltert werden, bevor einzelne Optimierungsarten durchprobiert werden können.

Zur Filterung der Kostensenkungsfragen nach Innovationsprinzipien können eins oder mehrere Innovationsprinzipien ausgewählt werden. Bei Auswahl mehrerer Innovationsprinzipien sind diese ODER-verknüpft.

Die Filterung von Kostensenkungsfragen nach Innovationsprinzipien und Schlagworten wird in zwei Stufen vorgenommen:

1. Innovationsprinzipien sind ODER-verknüpft
2. Innovationsprinzipien und Schlagworte sind UND-verknüpft

Die methodische Nutzung von Kostensenkungsfragen ist in den MP 5.5 *Fragen zur Kostensenkung* (vgl. Abschnitt 5.2.1.5) sowie 4.14 *Kostenursachenanalyse* (vgl. Abschnitt 4.3.1) vorgesehen. Die komplette Sammlung der Kostensenkungsfragen ist in Anhang E hinterlegt.

### 4.3.3 Fazit

In diesem Abschnitt wurde die TRIZ-unterstützte Kostenanalyse und -senkung untersucht. Für die Kostenanalyse im WA-Projekt wurde ein Konzept zur Analyse und Eliminierung von Kostenursachen in Baugruppen durch Nutzung der TRIZ-Methode *Root Conflict Analysis* entwickelt. Dadurch ist die systematische Analyse von verknüpften Kostenursachen möglich. Für die in der *Root Conflict Analysis* modellierten Widersprüche können TRIZ-Lösungsprinzipien zur Entwicklung von Lösungsansätzen eingesetzt werden.

Außerdem wurde die TRIZ-unterstützte Kostenanalyse und -senkung untersucht. Dazu wurden durch Nutzung eines *System Operators* systematisch Kostensenkungsfragen formuliert, mit Innovationsprinzipien verknüpft und mit Schlagworten kategorisiert. Diese Kostensenkungsfragen können als kreativitätsanregende Fragen im WA-Projekt eingesetzt werden und finden in den Methodenpässen in Kapitel 5 vielfältig Verwendung.

## 4.4 Komponenten-Potential-Analyse

Die Kostenoptimierung von Komponenten<sup>58</sup> ist Bestandteil von vielen WA-Projekten. Eine systematische Kostenoptimierung erfordert die Entscheidung, anhand welcher Kriterien einzelne Elemente (Funktionen oder Komponenten) in welcher Priorität bearbeitet werden sollen. In der WA sind die drei folgenden Vorgehensweisen üblich:

1. *Sortierung der Komponenten nach ihrem relativen Kostenanteil.* Mit den teuersten wird begonnen.

Diese Vorgehensweise orientiert sich rein an den Komponenten und blendet die funktionale Perspektive aus. Damit wird ein Lösen von der konkreten Implementierung erschwert und das Denken in der bisherigen Lösung nicht systematisch aufgebrochen.

2. *Ermittlung der Funktionenkosten* (Grundlagen vgl. Abschnitt 2.2.4.4). Anhand der relativen Funktionenkosten wird eine Reihenfolge für die Bearbeitung der Funktionen festgelegt. Für jede Funktion wird die teuerste zugeordnete Komponente zuerst analysiert. Wenn alle zugeordneten Komponenten analysiert sind, wird die nächste Funktion (Rang 2 der Funktionenkosten) und ihre zugeordneten Komponenten analysiert. Damit erfolgt eine ganzheitliche Ideenfindung zur Kostenoptimierung auf der Ebene der Funktionen<sup>59</sup> und auf der Ebene der Komponenten<sup>60</sup>.

Eine Funktionen-Kosten-Analyse kann funktionenbasiert Kostenschwerpunkte identifizieren helfen. Diese Vorgehensweise berücksichtigt jedoch keine weiteren Faktoren (z.B. Kundeneinschätzung von Funktionen, Bedeutsamkeit der Funktion, etc.) als Indikatoren für besonders lohnenswerte Ansatzpunkte.

3. *Ermittlung des Funktionen-Potentials* (Grundlagen vgl. Abschnitt 2.2.4.6). Zur Ermittlung werden die *Funktionenkosten* den *Funktionen-Bedeutsamkeiten* gegenüber gestellt. Der Wertindex (das Verhältnis von Funktionenkosten zu Funktionen-Bedeutsamkeit) wird als Entscheidungskriterium für die Reihenfolge herangezogen. Die teuerste zugeordnete Komponente wird zuerst analysiert. Alle weiteren folgen.

---

<sup>58</sup>Der Begriff Komponenten wird hier synonym für Baugruppen oder Teile verwendet.

<sup>59</sup>Bsp. für den Grundgedanken: „Kann diese Funktion durch ein anderes Wirkprinzip / eine andere Komponente erfüllt werden? Können andere Komponenten diese Funktion mit übernehmen?“

<sup>60</sup>Bsp. für den Grundgedanken: „Wie kann die Komponente günstiger gestaltet / beschafft / gefertigt / montiert / geprüft / versandt werden?“

#### 4 Methodische Vorbetrachtungen

Die Funktionen-Potential-Analyse führt mit dem Wertindex von Funktionenkosten zu Funktionen-Bedeutsamkeit ein weiteres Kriterium zur Festlegung der Bearbeitungsreihenfolge der Funktionen ein.

Ansatz 1 ist aus Sicht der WA alleine nicht zielführend, da durch das Fehlen der Analyse der Funktionen ein Lösen vom bisherigen Konzept und das Erarbeiten von tiefgreifenderen Alternativen nicht systematisch gefördert wird.

Die Ansätze 2 und 3 bereiten im Gegensatz zu Ansatz 1 die Nutzung der Funktionen als Steuerungselement für die Ideenfindung vor. Die Reihenfolge der Funktionen wird über den relativen Kostenanteil (Ansatz 2) oder den Wertindex (Ansatz 3) gelöst. Dies unterstützt die systematische Suche nach Lösungsalternativen. Gemeinsam ist beiden Ansätzen auch ein Nachteil. Auf die Suche nach Lösungsansätzen auf Funktionenebene folgt immer die Suche nach Lösungsansätzen auf der Komponentenebene. Beide Ansätze sind dort wenig systematisch, da i.d.R. nur der relative Kostenanteil der zugeordneten Komponenten die Reihenfolge bestimmt. Der relative Kostenanteil allein ist jedoch nur ein unzureichender Indikator für Potential zur Kostenoptimierung. Eine Verbesserung wäre ein Ansatz, der zusätzlich die Komponenten anhand ihrer funktionalen Bedeutsamkeit bewertet. Damit würde eine Gegenüberstellung der Bedeutsamkeit von Komponenten mit ihren Kosten möglich.

Eine direkte Möglichkeit zur Ermittlung von Komponenten-Bedeutsamkeiten ist der Ansatz des Target Costing (vgl. Abschnitt 4.4.1). Hier erschließt sich das Target Costing die Zielkosten von Komponenten über deren ermittelte Komponenten-Bedeutsamkeiten. Eine Analyse eines bestehenden Systems in Bezug auf die Komponenten-Funktionalität, also den Quotienten von Komponenten-Bedeutsamkeit und Komponenten-Kosten, ist im Target Costing nicht vorgesehen.

In der TRIZ existiert ebenfalls ein Ansatz zur Ermittlung einer Komponenten-Bedeutsamkeiten in Form des Funktionsrangs (vgl. Abschnitt TRIMMEN in 2.3.3.7). Der TRIZ-Ansatz setzt aber eine Objektmodellierung voraus (vgl. Abschnitt 2.3.3.6), die die funktionale Sichtweise nur über Umwege ermöglicht.

In den folgenden Abschnitten soll nun ein einfacher Ansatz diskutiert werden, der auf Grundlage der Funktionen-Potential-Analyse (Ansatz 3, Grundlagen vgl. Abschnitt 2.2.4.6) die Ermittlung der Komponenten-Bedeutsamkeiten als zusätzliches Kriterium für die Priorisierung ermöglicht und damit einen Vergleich mit den Komponenten-Kosten ermöglicht.

Dazu wird zunächst im Abschnitt 4.4.1 der Ansatz des Target Costing beleuchtet. Der neue Ansatz wird dann in Abschnitt 4.4.2 vorgestellt.

#### 4.4.1 Komponenten-Zielkosten im Target Costing

*Target Costing* (TC) ist ein von Toyota im Jahre 1965 entwickeltes Kostenmanagementkonzept, das beginnend mit den siebziger Jahren eine steigende Verbreitung fand [SEIDENSCHWARZ 1993]. Es wird in der Produkt- und Prozessgestaltung zur Beeinflussung der Kostenstrukturen in Bezug auf Markt- und Kundenanforderungen eingesetzt [HORVÁTH 1993]. TC ist daher als ein strategisches Kostenplanungs-, steuerungs- und

-kontrollinstrument zu sehen [GAUBINGER et al. 2008]. Kernelement des TC ist die Frage, wie viel ein Produkt kosten darf [EHRENSPIEL et al. 2013]. Das TC läuft in mehreren Schritten ab [LINK et al. 2000][DINGER 2002]:

1. Ermittlung und Bewertung von Kundenanforderungen
2. Grobentwurf des neuen Produktes
3. Festlegen des Zielpreises und Ableiten der Zielkosten
4. Gewichtung der Funktionen und Zuordnung der Zielkosten
5. Berechnung Zielkostenindex
6. Maßnahmen zur Zielerreichung

Die relevanten Schritte zur Ermittlung des Komponenten-Potentials im TC sind die Schritte 4 und 5.

Die Zuordnung der Zielkosten (auch bezeichnet als Zielkostenspaltung) ist das Herzstück des Zielkostenmanagements [JAKOB 1993][HORVÁTH 1993]. Zur Zielkostenspaltung wird in der von [TANAKA 1989] entwickelten Funktionsmethode hinter eine marktorientierte Bewertung der Funktionen (vgl. auch Abschnitt 2.2.4.5) eine zweistufige Aufteilung der Zielkosten mit Hilfe der Komponenten-/Funktionen-Matrix geschaltet (vgl. Abb. 4.35)[LINK et al. 2000].

Funktion / Komponente	F1		F2		F4		Bedeutung Komponente
Bedeutung	10 %		50 %		40 %		
	Teilbedeutung [%]	gewichtete Teilbedeutung [%]	Teilbedeutung [%]	gewichtete Teilbedeutung [%]	Teilbedeutung [%]	gewichtete Teilbedeutung [%]	
K1	60	60*10% = 6	20	10	80	32	6+10+32 = 48
K2	40	4	80	40	20	8	52

Erläuterung: (F1) Funktion 1

(K1) Komponente 1

Abb. 4.35: Target Costing: Ermittlung der Komponenten-Bedeutung aus der Funktionen-Bedeutung (in Anlehnung an [LINK et al. 2000])

Dabei werden die Komponenten den Funktionen gegenübergestellt und auf ihren Realisierungsbeitrag untersucht. Die Summe aller an eine Funktion vergebenen Realisierungsbeiträge muss 100 % sein. Dies steht im Gegensatz zur Funktionen-Kosten-Analyse, wo die Summe aller an eine Komponente vergebenen Realisierungsbeiträge

100 % sein muss. Der Realisierungsbeitrag wird mit der in der vorgeschalteten Bewertung ermittelten Funktionen-Bedeutsamkeit multipliziert und dann für die jeweilige Komponente über alle Funktionen zur *Bedeutsamkeit* der Komponente addiert (vgl. [LINK et al. 2000]). Aus den Bedeutsamkeiten ergeben sich dann die Zielkosten-Anteile der Komponenten. Zusammen mit den Gesamt-Zielkosten des Produktes berechnet man daraus die Zielkosten der Komponenten.

### 4.4.2 Ermittlung von Komponenten-Bedeutsamkeiten

Kernelement zur Ermittlung der Komponenten-Bedeutsamkeiten des Target Costing ist die Funktionen-Komponenten-Matrix (im Folgenden vereinfacht als TC-Matrix bezeichnet). Dort ergibt die Multiplikation der Funktionen-Bedeutsamkeiten mit der Funktionen-Komponenten-Zuordnung die Komponenten-Bedeutsamkeiten (= Zielkostenanteile der Komponenten).

In der Funktionen-Komponenten-Matrix der WA (vgl. Abschnitt 2.2.4.6) (im Folgenden vereinfacht als WA-Matrix bezeichnet) werden durch die Multiplikation von Komponenten-Kosten mit der Funktionen-Komponenten-Zuordnung die Funktionen-Kosten ermittelt.

Beide Werte (Komponenten-Bedeutsamkeiten und Funktionen-Kosten) sind für die Kostenoptimierung von großem Interesse. Zugrunde liegt der Wunsch zu wissen, welche Funktionen und welche Komponenten wie zu behandeln sind.

Für TC und WA gilt die Annahme, dass die Kosten und die Bedeutsamkeiten ausgeglichen sein sollten. Beide Matrizen werden durch die Einschätzungen/Abwägungen der Teammitglieder gefüllt. Dementsprechend ist keine Genauigkeit mit Nachkommastellen bei der Verteilung der Anteile zu erwarten. Zusätzlich liegt eine inverse Verwandtschaft zwischen der TC-Matrix und der WA-Matrix vor, da die Richtungen der Zuordnungen genau entgegengesetzt sind (vgl. Abschnitt 4.4.1).

Ein naheliegender Wunsch wäre, aus einer der beiden Matrizen die jeweils andere zu berechnen. Auf diese Weise könnte man mit einer Zuordnungsmatrix sowohl Komponenten-Bedeutsamkeiten (Umrechnung der WA-Matrix in die TC-Matrix) wie auch Funktionenkosten (Umrechnung der TC-Matrix in die WA-Matrix) berechnen.

Nun ist die Anzahl der Komponenten i.d.R. nicht identisch mit der Anzahl der Funktionen (i.A. sind es mehr Komponenten als Funktionen). D.h. die beiden Matrizen sind also meist nicht quadratisch. Das Ergebnis der Inversion ist also mehrdeutig (vgl. auch [MEYER 2003]).

Die Mehrdeutigkeit bedingt dann, dass man zu der erstellten WA-Matrix nur über eine persönliche Einschätzung (= Auswahl) aus der Vielzahl möglicher Inversen die invertierte TC-Matrix auswählt.

Die Tatsache, dass eine Matrix aus der anderen nicht direkt berechnet werden kann, muss aber kein Nachteil sein. Eine Möglichkeit wäre beide Matrizen unabhängig voneinander aufstellen um dadurch objektiver zu werden und um die Plausibilität zu kontrollieren.

#### 4.4 Komponenten-Potential-Analyse

Deshalb wird hier ein neuer Ansatz vorgestellt, der aus der Funktionen-Potential-Analyse der WA eine approximierete zugehörige Komponenten-Potential-Analyse entwickelt.

Die Berechnung der Komponenten-Bedeutsamkeiten erfolgt mit Hilfe des folgenden Formelsystems.

$$\begin{aligned}
 A_{1,1} &= Fb_1 \cdot \frac{a_{1,1}}{\sum_{i=1}^n a_{i,1}} & \dots & & A_{1,m} &= Fb_m \cdot \frac{a_{1,m}}{\sum_{i=1}^n a_{i,m}} \\
 & \vdots & & & & \vdots \\
 A_{n,1} &= Fb_1 \cdot \frac{a_{n,1}}{\sum_{i=1}^n a_{i,1}} & \dots & & A_{n,m} &= Fb_m \cdot \frac{a_{n,m}}{\sum_{i=1}^n a_{i,m}}
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

$$\begin{aligned}
 k_{b1} &= \sum_{j=1}^m A_{1,j} \\
 & \vdots \\
 k_{bn} &= \sum_{j=1}^m A_{n,j}
 \end{aligned} \tag{4.2}$$

mit:

$Fb_j$ : Bedeutsamkeit der Funktion j

$a_{i,j}$ : Anteil von Komponente i, der zur Realisierung von Funktion j beiträgt.

$A_{i,j}$ : Teil-Bedeutsamkeit der Komponente i bezogen auf die Funktion j.

$n$ : Anzahl der Komponenten

$m$ : Anzahl der Funktionen

$k_{bi}$ : Komponenten-Bedeutsamkeit der Komponente i

Wenn  $\sum Fb_j = 1$  dann  $\sum k_{bi} = 1$

Ermittlung von Komponenten-Bedeutsamkeit								
Funktionen-Bedeutsamkeiten								
		Funktion 1		Funktion 2				
Funktionen-Bedeutsamkeit [%]		0,34		0,66				
Komponenten	Anteil	Komponenten-Bedeutsamkeit pro Funktion		Anteil	Komponenten-Bedeutsamkeit pro Funktion		Summe Anteile	Komponenten-Bedeutsamkeit
Komp. 1	0,25	$(0,25/0,25+0,75+0,3)*0,34 = 0,06$		0,75	$(0,75/0,75+0,25+0,7)*0,66 = 0,29$		$0,25+0,75 = 1$	$0,06+0,29 = 0,36$
Komp. 2	0,75	$(0,75/0,25+0,75+0,3)*0,34 = 0,20$		0,25	$(0,25/0,75+0,25+0,7)*0,66 = 0,10$		$0,75+0,25 = 1$	$0,20+0,10 = 0,29$
Komp. 3	0,3	$(0,3/0,25+0,75+0,3)*0,34 = 0,08$		0,7	$(0,7/0,75+0,25+0,7)*0,66 = 0,27$		$0,3+0,7 = 1$	$0,08+0,27 = 0,35$

Abb. 4.36: WA-Matrix: Berechnung von Komponenten-Bedeutsamkeiten

#### 4 Methodische Vorbetrachtungen

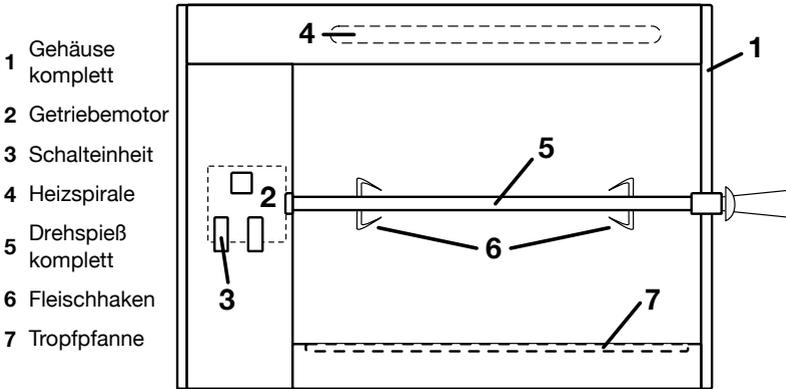


Abb. 4.37: Bsp. Komponenten-Potential-Analyse: Skizze Grill (vgl. [KLEIN 2010])

Im Folgenden wird die Durchführung der Komponenten-Potential-Analyse an einem Bsp. demonstriert. Hierzu wird ein Grill verwendet (Bsp. entnommen aus [HÄNDEL 1995], ergänzt durch Ausführungen von [KLEIN 2010]). Zur Ermittlung des Komponenten-Potentials wird vorab eine Funktionen-Kosten-Analyse und eine Funktionen-Potential-Analyse durchgeführt.

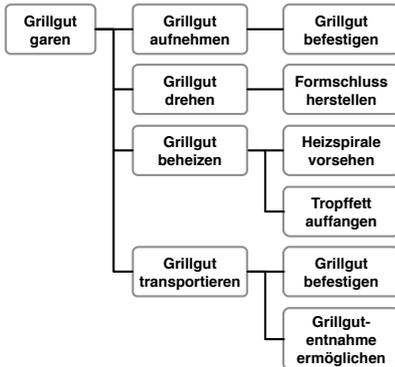


Abb. 4.38: Bsp. Grill: Fkt.-Baum (vgl. [KLEIN 2010])

Der Grill (Skizze vgl. Abb. 4.37) besteht aus den Komponenten *Gehäuse*, *Getriebemotor*, *Schalteinheit*, *Heizspirale*, *Drehspieß*, *Fleischhaken* und *Tropfpfanne*. Das *Gehäuse* nimmt alle anderen Komponenten auf. Der *Getriebemotor* dreht den *Drehspieß*, der das Fleisch über *Fleischhaken* fixiert. Die *Tropfpfanne* fängt das überschüssige Fett auf. Die *Heizspirale* ist an der Oberseite des *Gehäuses* positioniert und grillt das Fleisch. Die *Schalteinheit* steuert den *Getriebemotor* und die *Heizspirale*.

In Abb. 4.38 ist der Funktionenbaum des Grills dargestellt. Die weitere Analyse beschränkt sich auf die Funktionen der ersten Ebene (nach der Gesamtfunktion *Grillgut garen*). Diese sind *Grillgut aufnehmen*, *Grillgut drehen*, *Grill-*

*gut beheizen* und *Grillgut transportieren*. Zur Vorbereitung der Funktionen-Potential-Analyse (Erläuterung vgl. Abschnitt 2.2.4.6) wird zunächst die Funktionen-Bedeutsamkeit (vgl. Abschnitt 2.2.4.5) ermittelt. Die Ermittlung ist nicht Bestandteil des Beispiels nach [HÄNDEL 1995] und wird daher vom Autor unter Nutzung der Eigenvektormethode (vgl. [SAATY 1980]) ergänzt (Ergebnis vgl. Abb. 4.39).

In Abb. 4.40 ist die Funktionen-Kosten-Analyse des Grills dargestellt (Zuordnungen vgl. [HÄNDEL 1995], [KLEIN 2010]). Auf der Oberseite der Tabelle sind die Funktionen des Grills aufgelistet. Auf der linken Seite sind die Komponenten mit den zugehörigen Kosten und relativen Kostenanteilen dargestellt. Die Komponenten mit den höchsten relativen Kostenanteilen sind beim Grill der Getriebemotor, die Heizspirale und das Gehäuse.

C.R. = 0,07	<b>Grillgut aufnehmen</b>	<b>Grillgut drehen</b>	<b>Grillgut beheizen</b>	<b>Grillgut transportieren</b>	$\Sigma$	<b>Ergebnis</b>
<b>Grillgut aufnehmen</b>	1	3	1/3	3	1,1	<b>26 %</b>
<b>Grillgut drehen</b>	1/3	1	1/3	3	0,6	<b>16 %</b>
<b>Grillgut beheizen</b>	3	3	1	5	2,0	<b>50 %</b>
<b>Grillgut transportieren</b>	1/3	1/3	1/5	1	0,3	<b>8 %</b>

Abb. 4.39: Bsp. Grill: Funktionen-Bedeutsamkeit durch Anwendung der Eigenvektormethode [SAATY 1980]

Im Bsp. verteilt das WA-Team die Anteile des Gehäuses zu gleichen Teilen (jeweils 1/3) auf *Grillgut aufnehmen*, *Grillgut drehen* und *Grillgut beheizen*. Das Gehäuse trägt nicht zur Realisierung von *Grillgut transportieren* bei, weil damit der Transport außerhalb des Grill-Gehäuses gemeint ist. Für den Getriebemotor wird eine 1:1 Relation zu *Grillgut drehen* festgestellt. Die Schalteinheit realisiert zu gleichen Teilen (jeweils 1/2) *Grillgut drehen* und *Grillgut beheizen*.

Die subjektive Verknüpfung demonstriert, dass es sich bei diesem Verfahren um kein exakt algorithmierbares Verfahren handelt. Vielmehr bestimmen die Kenntnisse/Erfahrungen der Teilnehmer die Zuordnung. Damit kann eine solche Zuordnung in verschiedenen Teams durchaus unterschiedliche Ergebnisse aufweisen, wengleich bei vergleichbaren Informationsstand der Teams eine Annäherung der Ergebnisse zu erwarten ist. Von dieser Subjektivität der Zuordnung ist damit aber auch die Komponenten-Potential-Analyse betroffen.

Auf Grundlage der Ermittlung der Funktionen-Bedeutsamkeiten und der Funktionen-Kosten-Analyse wird im nächsten Schritt das Funktionen-Potential (Erläuterung vgl. Abschnitt 2.2.4.6) ermittelt.

#### 4 Methodische Vorbetrachtungen

Funktionen	Grillgut aufnehmen			Grillgut drehen			Grillgut beheizen			Grillgut transportieren			Komp.- Bedeut- samkeit	
	0,26			0,16			0,5			0,08				
	Funktionen- Bedeutsamkeit [%]	Anteil	Teil-Fkt- Kosten [€]	Komponenten- Bedeutsamkeit pro Funktion	Anteil	Teil-Fkt- Kosten [€]	Komponenten- Bedeutsamkeit pro Funktion	Anteil	Teil-Fkt- Kosten [€]	Komponenten- Bedeutsamkeit pro Funktion	Anteil	Teil-Fkt- Kosten [€]		Komponenten- Bedeutsamkeit pro Funktion
Gehäuse kompl.	12	1/3	4	0,15	1/3	4	0,02	1/3	4	0,05				22 %
Getriebemotor	16				1	16	0,06							6 %
Schalt-einheit	8				1/2	4	0,03	1/2	4	0,08				11 %
Heiz-spirale	12							1	12	0,16				16 %
Dreh-spieß	4	1/4	1	0,11	1/4	1	0,01	1/4	1	0,04	1/4	1	0,08	24 %
Fleisch-haken	2				1	2	0,05							5 %
Tropf-planne	2							1	2	0,16				16 %
Σ Kosten- anteile	9 %	5 €			48 %	27 €		41 %	23 €		2 %	1 €		

Abb. 4.40: Bsp. Grill: Fkt-Komponenten-Zuordnung zur Ermittlung von Funktionen-kosten und Komponenten-Bedeutsamkeit

In Abb. 4.41 oben sind die Funktionen-Bedeutsamkeiten über den Funktionen-Kosten abgetragen. Nach Ansicht des WA-Teams tragen 5 von 7 Komponenten zur Realisierung der Funktion *Grillgut drehen* bei. Damit weist sie die höchsten Funktionenkosten (0,48) auf. Das WA-Team weist dieser Funktion mit 0,16 die dritthöchste Bedeutsamkeit zu. Diese liegt deutlich unter dem Kostenanteil, also ist *Grillgut drehen* stark kostentreibend. Sie sollte zur Kostensenkung also bevorzugt betrachtet werden. Weitere Ansatzpunkte für eine Kostensenkung bietet die Komponenten-Potential-Analyse.

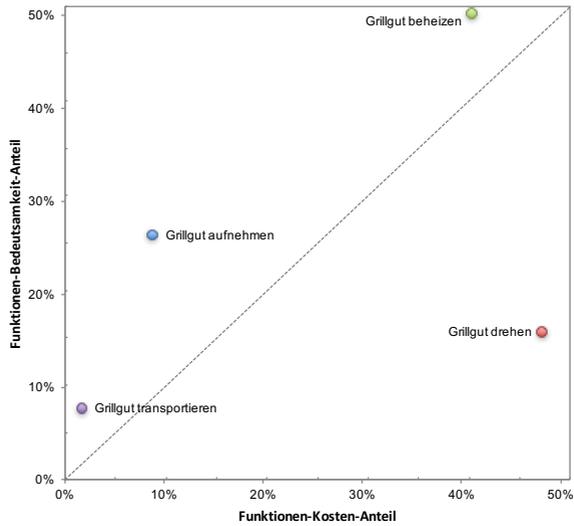
Die Funktion *Grillgut beheizen* bewertet das Team mit 0,5 am bedeutsamsten. Durch die Zuordnung weist sie gleichzeitig den zweithöchsten Kostenanteil auf. Damit ist die Funktion potentialbehaftet. Die Komponenten-Potential-Analyse ermöglicht nun zusätzlich, an der Funktion beteiligte kostentreibende Komponenten zu identifizieren, obwohl die Funktion selbst potentialbehaftet ist (z.B. die Heizspirale). Da eine Kostensenkung letztlich über die Komponenten erfolgt, gewinnt das Team zusätzliche Informationen zur zielgerichteten Optimierung.

Nach der Priorisierung können die Komponenten dann mit Hilfe der Kostensenkungsfragen (vgl. Abschnitt 4.3.2) untersucht werden.

Der an der kostentreibenden Funktion *Grillgut drehen* beteiligte, selbst sehr deutlich kostentreibende, Getriebemotor sollte zuerst untersucht werden. Da die Schalteinheit die zweite an der Realisierung von *Grillgut drehen* beteiligte kostentreibende Komponente ist, bietet sich deren Analyse für den zweiten Schritt an.

Da die an der kostentreibenden Funktionen *Grillgut beheizen* beteiligte Heizspirale

**Grill - Funktionen - Bedeutsamkeit über Kosten**



**Grill - Baugruppen-Bedeutsamkeit über Baugruppen-Kosten**

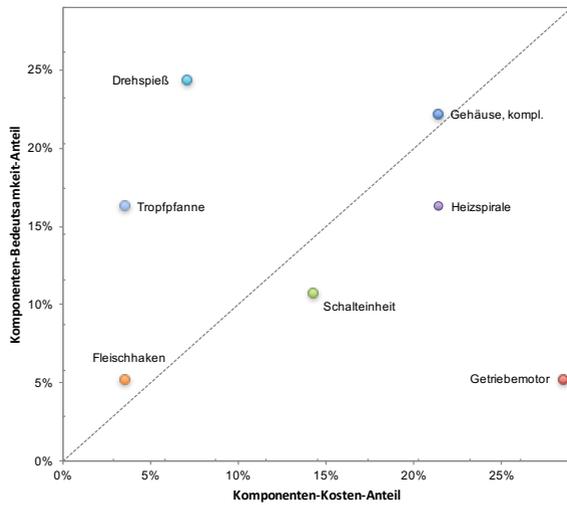


Abb. 4.41: Bsp. Grill: Funktionen- und Komponentenpotential

#### 4 Methodische Vorbetrachtungen

ebenfalls kostentreibend ist, sollte diese im nächsten Schritt auf Kostensenkungspotential untersucht werden.

Zur inhaltlichen Plausibilisierung des Verfahrens lassen sich für das Bsp. folgende Feststellungen treffen.

- Geringe Bedeutsamkeit des Getriebemotors - Der Wert erscheint folgerichtig, da der Getriebemotor nur an der Funktion *Grillgut drehen* beteiligt ist, und diese nur die dritthöchste Bedeutsamkeit aufweist.
- Hohe Bedeutsamkeit der Heizspirale - Dies ist folgerichtig, da die Heizspirale 1:1 der Funktion *Grillgut beheizen* (höchste Funktionen-Bedeutsamkeit im System) zugeordnet ist.
- Ausgeglichenes Komponenten-Potential des Gehäuses - Dies ist folgerichtig, da das Gehäuse an drei von vier Funktionen des Systems beteiligt ist, die noch dazu die höchsten Funktionen-Bedeutsamkeiten aufweisen.

Im Bsp. empfehlen HAENDEL und KLEIN auf Grundlage ihrer Ergebnisse der Funktionen-Kosten-Analyse die Optimierung der Funktionen *Grillgut drehen* und *Grillgut beheizen* [KLEIN 2010]. Die an der Realisierung der Funktionen beteiligten Komponenten Getriebemotor und Heizspirale werden aufgrund ihres relativ höchsten Kostenanteils ausgewählt.

Aus dieser Sicht besteht hier also kein Handlungsbedarf. Die Komponenten-Potential-Analyse identifiziert aber aus den Komponenten, die der Funktion *Grillgut beheizen* zugeordnet sind, die Heizspirale als kostentreibend. Trotzdem ist *Grillgut beheizen* potentialbehaftet, da andere an ihrer Realisierung beteiligten Komponenten (v.a. Drehspieß und Tropfpfanne) stark potentialbehaftet sind. Die Komponenten-Potential-Analyse schat hier also weitere Transparenz. Zusätzlich gegenüber KLEIN identifiziert sie die Schalteinheit als eine weitere kostentreibende Komponente. Die Komponenten-Potential-Analyse macht außerdem auf das Gehäuse aufmerksam. Es hat einen sehr hohen Kostenanteil und ist nur durch seine Bedeutsamkeit nicht kostentreibend. Im Bsp. zeigt die Komponenten-Potential-Analyse dem Anwender also weitere Ansatzpunkte, die bei einer Beschränkung auf eine Funktionen-Kosten-Analyse oder eine Funktionen-Potential-Analyse nicht erkannt worden wären.

Die Funktionen-Potential-Analyse ist ein in der WA anerkanntes Mittel zur Kostenoptimierung von Funktionen. Die Kostenoptimierung erfolgt i.d.R. aber an den Komponenten. Für Entwickler ist eine weitere Frage aber sehr wichtig: „Welche Komponenten verursachen unangemessen hohe Kosten?“. Die Ermittlung der Komponenten-Bedeutsamkeit und der Vergleich mit den Komponenten-Kosten liefert damit ein zusätzliches wertvolles Indiz für erfolgversprechende Einsparungen. Komponenten-Bedeutsamkeiten sind zusätzlich ein Maß für den funktionalen Beitrag der Komponente zur Gesamtfunktion des WA-Objekts, d.h. eine Komponente mit geringer Bedeutsamkeit ist ein potentieller Kandidat für das Trimmen. Zu dieser Einschätzung liefert die Komponenten-Potential-Analyse ebenfalls einen wertvollen Beitrag.

## 5 Methodenintegration

Dieses Kapitel demonstriert erstmalig eine ganzheitliche Integration von TRIZ-Methoden in die Phasen 4 (vgl. Abschnitt 5.1) und 5 (vgl. Abschnitt 5.2) des WA-Arbeitsplans nach [EN 2002] bzw. [VDI 2010a]. Die Phasen 4 und 5 wurden ausgewählt, da diese die Kernphasen zur Analyse und Weiterentwicklung von WA-Objekten sind. Zunächst werden, wo anwendbar, WA-Methoden durch Elemente von TRIZ-Methoden erweitert. Zusätzlich werden an sinnvollen Stellen komplette TRIZ-Methoden direkt integriert. Abschließend wird ein durch das Target-Costing und den Trimmen-Ansatz der TRIZ inspiriertes Konzept der Komponenten-Potential-Analyse (vgl. Abschnitt 4.4.2) ebenfalls integriert. Die Beschreibung in *Methodenpässen (MP)* modularisiert dabei die einzelnen Methoden, was deren Kombination im Projekteinsatz erleichtert. Zur einfachen Referenzierung sind die *Methodenpässe* aufsteigend nummeriert.

Aufgrund der Anzahl und des großen Umfangs der einzelnen *Methodenpässe* können nicht alle Untermethoden, Hilfsanweisungen, Moderationsfragen und Einzelschritte dezidiert diskutiert werden. Zur Förderung der Verständlichkeit der Beschreibungen in diesem Kapitel sollte daher jeweils immer der zugehörige, im Anhang hinterlegte, *Methodenpass* ergänzend zu Rate gezogen werden (vgl. Anhänge C und D). Dies gilt insbesondere für die dort hinterlegten Anwendungsbeispiele. Die erläuterten Methoden sind für die Anwendung im Kontext eines nach dem WA-Arbeitsplan durchgeführten Projekt konzipiert, d.h. eine vorherige Durchführung der in den Phasen 0–3 geforderten Tätigkeiten wird vorausgesetzt.

### 5.1 PHASE 4: Analyse

Die Phase 4 dient der Analyse des vorliegenden WA-Objekts. Insgesamt sind in *Phase 4 - Funktionen, Kosten, Detailziele festlegen* (Anh. C.2, S. 265) 16 verschiedene Methoden in vier *Methodengruppen (MG)* (vgl. Abb. 5.1) zugeordnet. Die *Methodengruppen* fassen die Methoden in Form von *Methodenpässen* anhand ihres jeweiligen Zwecks zusammen.

Die *MG 4.A Funktionen erfassen* beinhaltet alle Methoden zur Sammlung, Strukturierung und Spezifizierung von Funktionen des WA-Objekts.

Die *MG 4.B Potential analysieren* beinhaltet alle Methoden zur Potentialanalyse in Bezug auf Kosten und technischer Evolution.

5 Methodenintegration

Methodenpass (MP)		Wertverbesserung	Wertgestaltung	Grundschrift der MG	Voraussetzung
<b>4.A</b> <b>Funktionen erfassen</b>  Soll das WA-Objekt auf Funktionenebene analysiert werden?	<b>4.1</b> Funktionen sammeln <span style="float: right;"> </span>	Sollen die Funktionenstruktur des WA-Objekts analysiert werden?			
	<b>4.2</b> Funktionen strukturieren <span style="float: right;"> <b>4.1</b> Funktionen sammeln  </span>	Sollen nur die Kosten des WA-Objekts analysiert werden?			
	<b>4.3</b> Funktionsbaum erstellen <span style="float: right;"> </span>	Ist das WA-Objekt ein Prozess?			
	<b>4.4</b> FAST erstellen <span style="float: right;"> </span>	Soll ganzheitlich auf Effizienzpotentiale untersucht werden?			
	<b>4.5</b> Fkt.-Netzwerk erstellen <span style="float: right;"> </span>	Soll auf Funktionenintegrationspotential untersucht werden?			
<b>4.6</b> Objektmodell erstellen <span style="float: right;"> </span>	Sollen die Zielvorgaben für die Funktionen und deren Erfüllungsgrad analysiert werden?				
<b>4.7</b> Funktionen spezifizieren <span style="float: right;"> <b>4.1</b> Funktionen sammeln  </span>					
<b>4.B</b> <b>Potential analysieren</b>  Soll das WA-Objekt auf Potentiale zur Wertsteigerung (Kostensenkung und/oder Nutzensteigerung) untersucht werden?	<b>4.8</b> Funktionen auswählen <span style="float: right;"> <b>4.1</b> Funktionen sammeln  </span>	Soll eine Analyse der Kostenverteilung bei Funktionen und Komponenten erfolgen?			
	<b>4.9</b> Funktionen-Bedeutsamkeit ermitteln <span style="float: right;"> </span>	Soll der technologische Stand geprüft werden?			
	<b>4.10</b> Funktionen Kosten zuordnen <span style="float: right;"> </span>	Soll eine Technologie bewertet werden?			
	<b>4.11</b> Funktionen-Potential ermitteln <span style="float: right;"> </span>	Soll eine Neue Generation des WA-Objekts entwickelt werden?			
	<b>4.12</b> Komponenten-Potential ermitteln <span style="float: right;"> </span>	Sollen Kostenursachen detailliert untersucht werden?			
<b>4.13</b> Evolutionsstand bestimmen <span style="float: right;"> </span>	Sollen Verknüpfungen zwischen Kostenursachen detailliert untersucht werden?				
<b>4.C</b> <b>Probleme analysieren</b>  Sollen die Probleme des WA-Objekts untersucht werden?	<b>4.15</b> Probleminformationen verdichten <span style="float: right;"> </span>	Soll eine <b>Evolutionsanalyse</b> durchgeführt werden?			
	<b>4.16</b> Root Conflict Analysis (RCA+) <span style="float: right;"> </span>	Soll eine <b>Kostenverursachung</b> durchgeführt werden?			
<b>4.17</b> <b>Detailziele festlegen</b>	Welche Strategie soll in der Phase 5 angewendet werden? <span style="float: right;"> </span> Welche Ansatzpunkte sollen in welcher Reihenfolge verfolgt werden?				

Abb. 5.1: Methodenauswahl in Phase 4

Die *MG 4.C Probleme analysieren* beinhaltet alle Methoden zur detaillierten Beschreibung und Analyse von Problemen des WA-Objekts.

Die *MG 4.D Detailziele festlegen* fasst alle Ergebnisse der Anwendung der drei anderen Methodengruppen zusammen, um die Vorgehensweisen in den folgenden Phasen des WA-Projekts festzulegen.

Die *Methodenauswahl zur Phase 4* (Anh. C.3, S. 266) (vgl. Abb. 5.1) wurde zur Unterstützung der Auswahl und Kombination der Methoden erstellt. Die verschiedenen *Methodenpässe* werden zunächst anhand der Ausrichtung des WA-Projekts kategorisiert (rotes Rechteck *Wertverbesserung* und grünes Rechteck *Wertgestaltung*). Zusätzlich können einzelne *Methodenpässe* einen Grundschrift für eine Methodengruppe darstellen (Blauer Kreis mit weißem X). Dieser *Methodenpass* muss dann zwingend ausgeführt werden, wenn die übergeordnete *Methodengruppe* in einem WA-Projekt eingesetzt werden soll (vgl. z.B. der *MP 4.1 Funktionen sammeln* in der *MG 4.A Funktionen erfassen* in Abb. 5.1). Zusätzlich kann das Ergebnis eines *Methodenpasses* eine Voraussetzung für die Anwendung eines weiteren sein. Solche Voraussetzungen sind in Form eines gestrichelt umrandeten *Methodenpasses* dargestellt.

Zur Auswahl von Methoden ist zunächst jeder *Methodengruppe* eine übergeordnete Auswahlfrage zugeordnet. Falls diese Frage positiv beantwortet wird, kann über die Auswahlfragen die Methodenauswahl weiter eingeschränkt werden. Nach Auswahl der Methoden können dann die einzelnen *Methodenpässe* genutzt werden, um die Anwendung im WA-Projekt vorzubereiten.

### 5.1.1 Funktionen erfassen (MG 4.A)

Die *Methodengruppe 4.A Funktionen erfassen* (Anh. C.4, S. 267) ermöglicht in der Phase 4 des WA-Arbeitsplans die Analyse auf Wirkungsebene.

Für die *Wertverbesserung* charakterisiert sie das WA-Objekt durch die Formulierung von Funktionen, deren Beziehungen untereinander, deren Spezifikationen und der zugehörigen Erfüllungsgrade.

Für die *Wertgestaltung* werden die gewünschten Funktionen formuliert und spezifiziert.

Die *MG 4.A Funktionen erfassen* umfasst sieben *Methodenpässe* (vgl. Abb. 5.2). Der *MP 4.1 Funktionen sammeln* ist der Grundschrift dieser *Methodengruppe*. Auf diesem aufbauend können nach in *MP 4.2 Funktionenstrukturierung planen* gegebenen Auswahlkriterien verschiedene Formen der Funktionenstrukturierung (*MP 4.3 Funktionenbaum erstellen* bis *MP 4.6 Objektmodell erstellen*) angewendet werden. Zusätzlich können Funktionen im *MP 4.7 Funktionen spezifizieren* durch die Zuordnung von Anforderungen und Erfüllungsgraden spezifiziert werden.

#### 5.1.1.1 Funktionen sammeln (MP 4.1)

Der *MP 4.1 Funktionen sammeln* (Anh. C.5, S. 268) ist die Grundlage für die Anwendung aller weiteren *Methodenpässe* in der *MG 4.A Funktionen erfassen*.

## 5 Methodenintegration

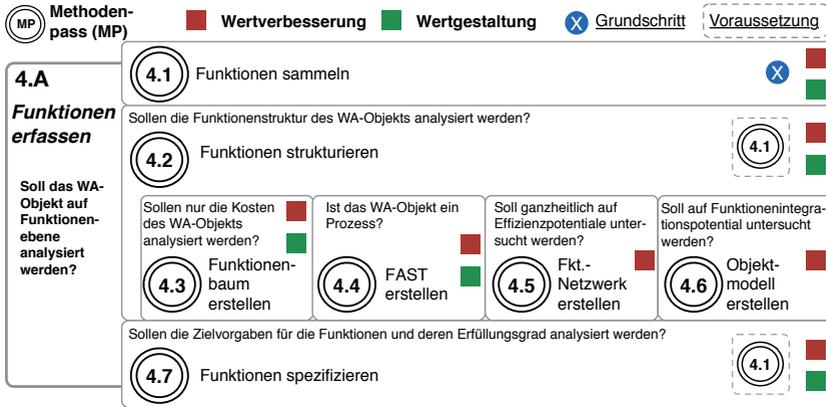


Abb. 5.2: Methodenauswahl in der MG 4.A Funktionen erfassen

Die in der Norm [VDI 1996] beschriebenen Schritte zur Funktionensammlung (Grundlagenfunktionen vgl. Abschnitt 2.2.3) sind nicht sehr spezifisch. In der Wertanalyse-Praxis existieren Verfahren, die die Funktionensammlung über die Identifikation von Schnittstellen des WA-Objekts (vgl. u.a. [SCHÖLER 2007]) mit dessen Umfeld organisieren. Im MP 4.1 Funktionen sammeln (vgl. Abb. 5.3) wird diese genutzt, um in Verbindung mit dem System Operator der TRIZ (vgl. Abb. 5.4) die Komponenten- und Funktionensammlung für IST- und SOLL-Zustand eines WA-Objekts zu strukturieren. Der System Operator ermöglicht eine einfach zu erfassende, übersichtliche Darstellung der verschiedenen Bereiche, in denen Komponenten und Funktionen gesammelt werden sollten. In diesem Fall wird in System, Subsystem und Supersystem unterteilt. Für die einzelnen Systemebenen werden für Komponenten und Funktionen als Moderationshilfen Fragen geboten. Die zur Sammlung von Komponenten und Funktionen des Supersystems vorgeschlagenen Bereiche orientieren sich am Evolutionsgesetz *Vollständigkeit des Obersystems* der TRIZ (vgl. Abschnitt 4.2.1) und wurden um die Kundensicht erweitert.

Die beschriebenen Elemente werden in 10 Schritten angewendet (vgl. Abb. 5.3). Das Bsp. des Kugelschreibers in MP 4.1 Funktionen sammeln (Anh. C.5, S. 271) illustriert die Erfassung von IST-Funktionen.

Schritt 1: Zunächst muss zur Funktionenerfassung entschieden werden, ob Funktionen eines bestehenden WA-Objekts (IST-Funktionen) oder Funktionen für ein zu entwickelndes Objekt (SOLL-Funktionen) erfasst werden sollen. Die Erfassung von SOLL-Funktionen kommt zur Anwendung, wenn entweder bisher kein WA-Objekt vorhanden ist, oder wenn im Rahmen der Anwendung von MP 4.17 Detailziele festlegen (Anh. C.23, S. 316) das WA-Team entscheidet, die Erfassung von SOLL-

Funktionen zur Kreativitätsunterstützung zu nutzen.

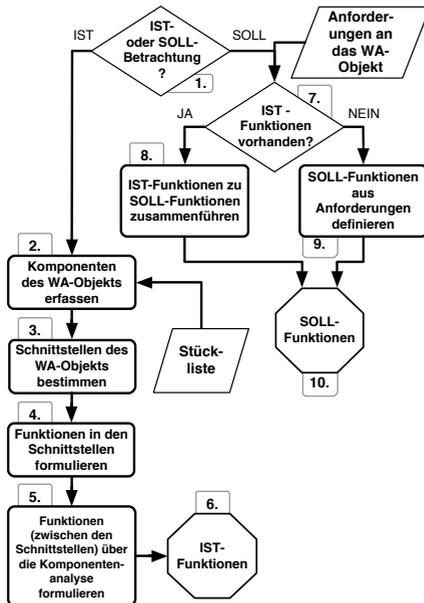


Abb. 5.3: *MP 4.1 Funktionen sammeln* - Ablaufplan

erleichtern. Im Bsp. Kugelschreiber des *MP 4.1 Funktionen sammeln* (Anh. C.5, S. 271) werden hier die Hand des Bedieners, die Schreibunterlage, das Papier und weitere Schnittstellen identifiziert und im *System Operator* links oben auf der Super-System-Ebene aufgelistet.

Schritt 4: In den Schnittstellen wirkende Funktionen werden formuliert. Dazu wird der in Abb. 5.5 dargestellte *System Operator* als Unterstützung vorgeschlagen. Für eine systematische Erfassung wurde die Suche in die in der TRIZ festgelegten fünf Bestandteile eines Obersystems (vgl. [KOLTZE et al. 2011]) zerlegt und durch die Erfassung von Kundenfunktionen ergänzt. Zu jedem Bestandteil wurde eine Moderationsfrage formuliert. Schädliche Funktionen müssen ebenfalls erfasst werden, da diese in den Schnittstellen wirken können. Schädliche Funktionen, die aus dem Systemumfeld wirken, können mitunter großen Einfluss auf Leistungsfähigkeit oder Kosten haben.

Schritt 2: In diesem Schritt werden die Bauteile systematisch erfasst. Der *System Operator* wird genutzt, um ein Fragenschema für Workshops zu entwickeln (vgl. Abb. 5.4). Mit Hilfsfragen werden die Komponenten/Baugruppen/Teile gesammelt. Typischerweise kann hierzu eine Stückliste herangezogen werden. Im Fall der Nutzung einer Stückliste ist die Wahl einer praktikablen Stücklistenebene wichtig. Zusätzlich wurden Fragen zur Erfassung von Komponenten/Baugruppen/Teilen integriert, die nicht zum WA-Objekt gehören, an denen das WA-Objekt mit seinem Umfeld wirken. Dadurch kann eine vollständige Erfassung der an Schnittstellen (vgl. Schritt 3) mit seinem Umfeld wirkenden Funktionen vorbereitet werden.

Schritt 3: Die Schnittstellen mit der Umgebung müssen bestimmt werden. Hierzu sind im Methodenpass Moderationsfragen hinterlegt. Ziel ist, die Erfassung aller Zonen, an denen das WA-Objekt mit seinem Um-

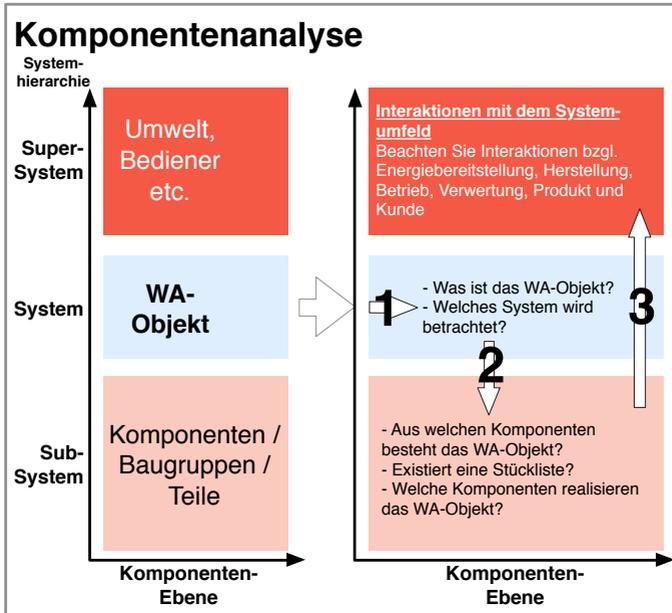


Abb. 5.4: MP 4.1 Funktionen sammeln - Komponentenanalyse (Schritte 2 und 3)

Für das Bsp. Kugelschreiber im MP 4.1 Funktionen sammeln sind die in den ermittelten Schnittstellen wirkenden Funktionen im System Operator mitte rechts auf der Super-System-Ebene formuliert. Sie leiten sich aus den Interaktionen ab, die der Kugelschreiber an den Schnittstellen mit seinem Umfeld besitzt. So wirkt in der Schnittstelle Hand des Bediener die Funktion *Stift positionieren*.

Schritt 5: Hier werden die zwischen den Schnittstellen wirkenden Funktionen des WA-Objekts erfasst (Moderationsfragen vgl. Abb. 5.5). Dazu wird zunächst die primäre Funktion formuliert. Zusätzlich werden nützliche und schädliche Funktionen der Komponenten des WA-Objekts erfasst.

Die zwischen den Schnittstellen wirkenden Funktionen des Bsp. Kugelschreibers in MP 4.1 Funktionen sammeln (Anh. C.5, S. 271) werden von dessen Komponenten ausgeführt. So trägt die Komponente *Metallkugel* mit zur Ausführung der Funktion *Tinte übertragen* bei (System Operator Mitte rechts in der Sub-System-Ebene).

Schritt 8: Für eine SOLL-Definition können bestehende IST-Funktionen zu SOLL-Funktionen verdichtet werden. Dazu wurde im MP 4.1 Funktionen sammeln (Anh. C.5, S. 270) ein System Operator (vgl. Abb. 5.6) definiert, dessen Moderationsfragen

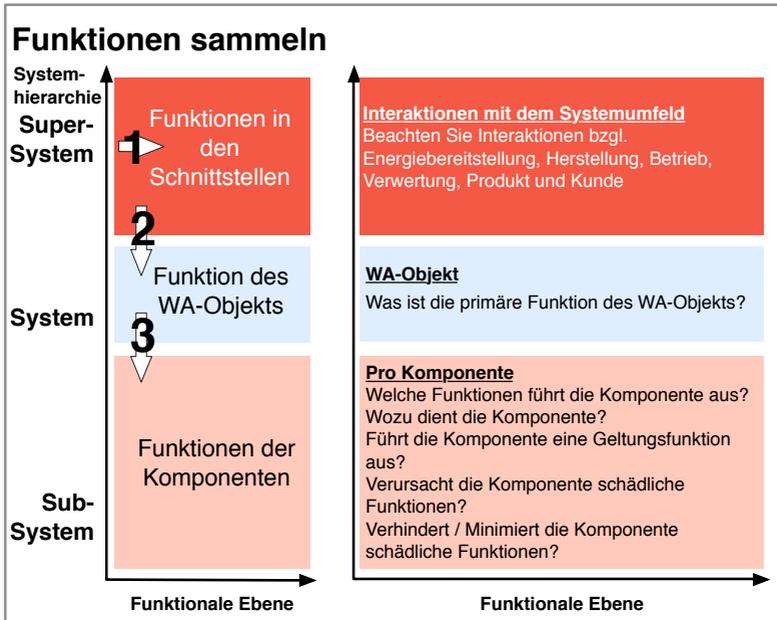


Abb. 5.5: MP 4.1 Funktionen sammeln - System Operator mit moderationsunterstützten Fragen zur Funktionensammlung (Schritte 4 und 5)

speziell der Zusammenfassung von IST-Funktionen zu mit optimalem Abstraktionsgrad formulierten SOLL-Funktionen dient. Anforderungen können genutzt werden, um weitere SOLL-Funktionen zu formulieren.

So werden im Bsp. Kugelschreiber *Kugelschreiber* (Anh. C.5, S. 271) u.a. die IST-Funktionen *Tinte zuführen*, *Mine ein- und ausfahren*, *Tinte übertragen* zur SOLL-Funktion *Markierer übertragen* zusammengefasst.

Zusammengefasst ergänzt der MP 4.1 Funktionen sammeln die in der WA übliche Funktionensammlung gezielt um einfache Strukturierungshilfen. Die formulierten Hilfsfragen erleichtern auch die Erfassung von Funktionen in Bereichen, die leicht übersehen werden. Damit wird ein Beitrag geleistet, unvollständige Funktionensammlungen zu vermeiden und damit die Effizienz des Projektablaufs zu steigern.

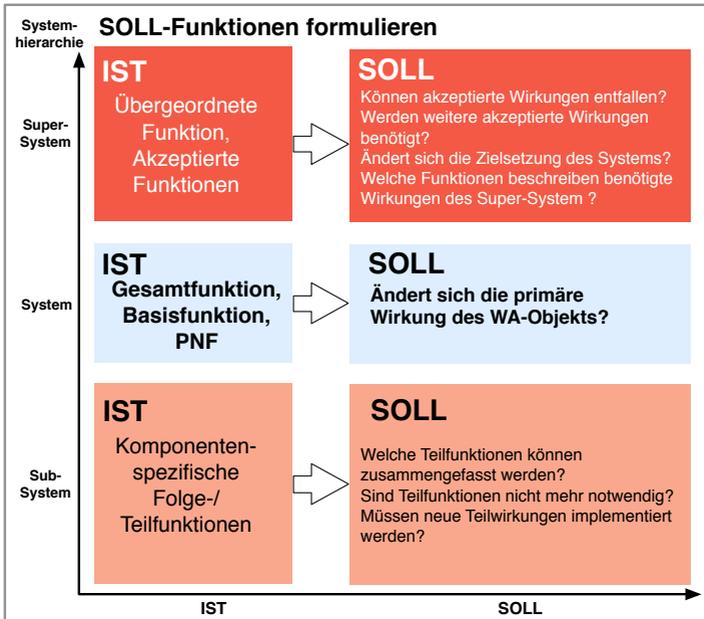


Abb. 5.6: MP 4.1 Funktionen sammeln - SOLL-Funktionen definieren

### 5.1.1.2 Funktionenstrukturierung planen (MP 4.2)

Der MP 4.2 *Funktionenstrukturierung planen* (Anh. C.6, S. 272) dient als Hilfe zur Auswahl einer passenden Funktionenstruktur. So bietet der MP 4.2 *Funktionenstrukturierung planen* eine Übersicht, die die Auswahl einer geeigneten Funktionenstruktur für die jeweilige Aufgabe erleichtern soll (vgl. Abb. 5.7). Dadurch werden auch erstmalig TRIZ-Funktionenstrukturen für ein WA-Projekt strukturiert anwendbar.

Wie gut eine Funktionenstruktur für die Modellierung eines Prozesses geeignet ist, hängt sehr stark vom Anwendungsfall ab. Für die Modellierung eines Prozesses auf grober Ebene ist das FAST-Diagramm geeignet [BOLTON 2005]. Sollen Prozesse detaillierter beschrieben werden, eignen sich eher andere Werkzeuge wie z.B. die Wertstromanalyse (Materialflüsse) (vgl. [ERLACH 2010]) oder die OMEGA-Methode für Geschäftsprozesse (vgl. [GAUSEMEIER et al. 2014b]). Beide Methoden sind deutlich expressiver in Bezug auf die Beschreibung von Prozessschritten (Eingang, Ausgang, unterstützende Systeme, Rollen, etc.).

Alle vier Funktionenstrukturen eignen sich für die Analyse von vorhandenen Systemen

(IST-Zuständen). Für die Entwicklung von SOLL-Zuständen ist das Objektmodell weniger intuitiv anwendbar, da hier als Platzhalter für SOLL-Wirkungen sog. X-Komponenten in das Modell eingeführt werden müssen. Diese symbolisieren zukünftig geplante Komponenten. Das Objektmodell zwingt den Anwender damit direkt auf die Ebene der Komponenten, anstatt zuerst auf der Wirkungsebene über das „WAS muss erfüllt werden“ auf Funktionenebene nachzudenken.

Für die Kostenanalyse ist der Funktionenbaum (Grundlagen vgl. Abschnitt 2.2.4.1) geeignet. Die anderen drei Funktionenstrukturen eignen sich weniger gut für die Kostenanalyse. In diesen Strukturen ist die Auswahl der zu bewertenden Funktionen schwieriger, da bisher keine festen Regeln zur Auswahl der zu betrachteten Funktionen existieren. Ein Versuch, deren Anwendbarkeit zur Kostenanalyse zu verbessern, wird im *MP 4.8 Funktionen zur Potentialanalyse auswählen* (Anh. C.13, S. 290) gemacht. Dies wird in Abschnitt 5.1.2.1 erläutert. Das Objektmodell eignet sich auf-

Kriterium	Methoden zur Funktionenstrukturierung			
	4.3 Funktionenbaum erstellen	4.4 FAST erstellen	4.5 Funktionsnetzwerk erstellen	4.6 Objektmodell erstellen
Wird ein Produkt untersucht?	x	x	x	x
Wird ein Prozess untersucht?	(x)	x	(x)	(x)
Ist ein IST-Zustand vorhanden?	x	x	x	x
Ist nur ein SOLL-Zustand vorhanden?	x	x	x	(x)
Soll eine Kostenanalyse erfolgen?	X	(x)	(x)	(x)*
Soll eine Problemanalyse erfolgen?		(x)	X	X
Sollen Ineffizienzen aufgedeckt werden?			X	X
Soll auf Potentiale zur Funktionenintegration geprüft werden?	x**	x**	x**	X

Erläuterung: Ineffizienzen: X Besonders geeignet  
 x Anwendbar  
 (x) Mit Einschränkungen anwendbar  
 \* nicht funktionenbasiert  
 \*\* durch Anwendung von *MP 5.2 Kosten und Funktionalität verbessern*

Abb. 5.7: *MP 4.2 Funktionenstrukturierung planen* - Kriterien zur Methodenauswahl

## 5 Methodenintegration

grund ihres Fokus auf Komponenten nicht für eine funktionenbasierte Kostenanalyse.

Soll eine Problemanalyse erfolgen, eignen sich die TRIZ-Funktionenstrukturen Funktionennetzwerk (Grundlagen vgl. Abschnitt 2.3.3.5) und das Objektmodell (Grundlagen vgl. Abschnitt 2.3.3.6). Beide Strukturen können Probleme sehr einfach und verursachungsgerecht darstellen. Im FAST-Diagramm kann man Probleme in Form von unerwünschten Funktionen zumindest wie eine Parallelfunktion der verursachenden Funktion zuordnen (Struktur FAST vgl. Grundlagen in Abschnitt 2.2.4.2). Diese Zuordnung bietet der Funktionenbaum nicht.

Zur Aufdeckung von Ineffizienzen eignen sich das Funktionennetzwerk und das Objektmodell. Der Grund ist die in beiden Methoden vorgesehene Bewertung der Verknüpfungen zwischen Funktionen bzw. Komponenten. Über die Identifikation von unzureichenden oder exzessiven Wirkungen können Ansätze für Optimierungen gefunden werden. Diese Bewertung der Verknüpfungen bieten der Funktionenbaum und das FAST nicht.

Für die Aufdeckung von Potentialen zur Funktionenintegration ist das Objektmodell sehr gut geeignet. Die Komponenten-basierte Modellierungsform in Verbindung mit dem Trimmen-Ansatz ermöglichen eine systematische Suche nach Optimierungspotentialen. Zusätzlich ist im *MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren* (Anh. D.5, S. 325) eine Vorgehensweise zur Nutzung der anderen Funktionenstrukturen mit dem Trimmen-Ansatz dargelegt.

### 5.1.1.3 Funktionenbaum erstellen (MP 4.3)

Im *MP 4.3 Funktionenbaum erstellen* (Anh. C.7, S. 273) wird die Anwendung eines Funktionenbaumes beschrieben (Grundlagen vgl. Abschnitt 2.2.4.1). Die Modellierung erfolgt in fünf Schritten (vgl. Abb. 5.8). Einige ausgewählte Schritte werden im Folgenden erläutert. Als Bsp. ist der Funktionenbaum einer Bohrmaschine im *MP 4.3 Funktionenbaum erstellen* (Anh. C.7, S. 274) hinterlegt.

Schritt 1: Zunächst wird die Gesamtfunktion aus der Funktionenliste herausgefiltert. Die Funktionenliste stammt aus der Anwendung des *MP 4.1 Funktionen sammeln*. Zur Unterstützung der Filterung sind moderationsunterstützende Fragen für die Funktionen der Systemebene hinterlegt.

Im Bsp. Bohrmaschine im *MP 4.3 Funktionenbaum erstellen* wäre diese Funktion *Loch bohren*.

Schritt 3: Im diesem Schritt wird die Teilfunktion mit Hilfe der Wie-Warum-Fragelogik in eine Folge mit anderen Teilfunktionen gebracht. Bei komplexen Systemen kann es hilfreich sein, zunächst Teilfunktionen als logische Blöcke zu gruppieren. Diese werden dann als Ganzes unter Beachtung der Fragelogik in den Funktionenbaum eingesetzt. Eine weitere Unterstützung wird durch die Adaption von akzeptierten Funktionen des FAST-Diagramms erreicht. Dadurch können im WA-Objekt genutzte Wirkungen der Umgebung eindeutiger dargestellt werden. In dieser Arbeit werden akzeptierte Funktionen im Funktionenbaum als Rechtecke mit schwarzen Ecken dargestellt.

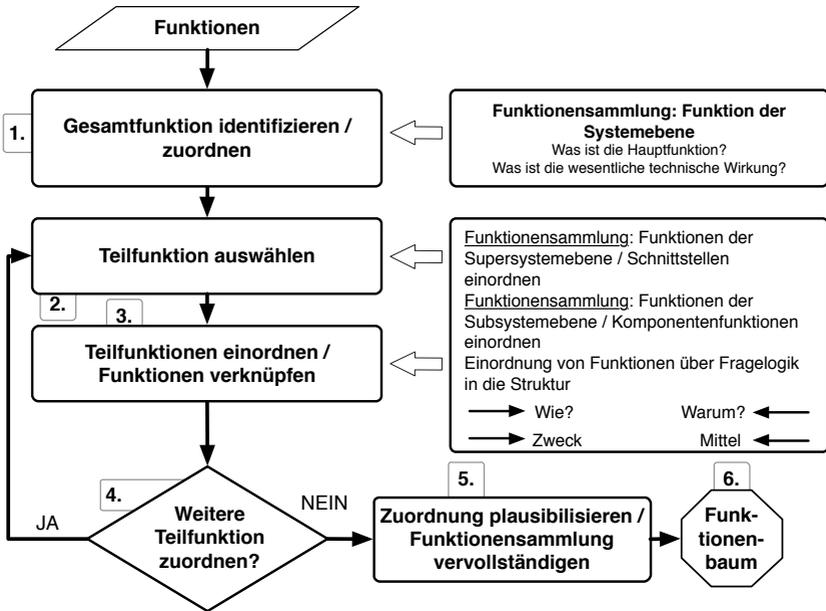


Abb. 5.8: MP 4.3 Funktionenbaum erstellen - Ablaufplan

Der Funktion *Drehmoment erzeugen* im Bsp. Bohrmaschine im MP 4.3 *Funktionenbaum erstellen* werden in diesem Schritt durch Ausführung der Wie-Warum-Fragelogik die Funktionen *Energie freigeben* und *Energie umwandeln* untergeordnet. Zusätzlich werden die akzeptierten Funktionen *Energie bereitstellen* und *Schalter eindrücken* zugeordnet.

Zusammengefasst ergänzt der MP 4.3 *Funktionenbaum erstellen* die Erstellung des Funktionenbaumes durch die explizite Darstellung von akzeptierten Funktionen sowie einfachen Hilfen zur Kontrolle der vollständigen Modellierung wesentlicher Aspekte wie Kundenwünschen, Problemen, Kompensationsmaßnahmen sowie der Richtigkeit der logischen Folge. Damit wird die Anwendung des Funktionenbaumes erleichtert und zeitraubende Iterationsschleifen zur Vervollständigung der Struktur werden minimiert.

#### 5.1.1.4 FAST erstellen (MP 4.4)

Der MP 4.4 *FAST erstellen* (Anh. C.8, S. 275) unterstützt die Erstellung eines FAST-Diagramms (Grundlagen vgl. Abschnitt 2.2.4.2).

5 Methodenintegration

Im *MP 4.4 FAST erstellen* (Anh. C.8, S. 276) wird als Erweiterung eine Vorgehensweise präsentiert, um die Formulierung von Problemen und Widersprüchen aus einem FAST-Diagramm zu vereinfachen.

Die Vorgehensweise sieht die Erstellung des FAST-Diagramms in 8 Schritten vor (vgl. Abb. 5.9). Einige ausgewählte Schritte werden im Folgenden erläutert. Erläutert wird am Bsp. einer Kunststoff-Spritzguss-Maschine im *MP 4.4 FAST erstellen* (Anh. C.8, S. 277).

Schritt 1: Aus der Funktionsammlung wird zunächst die *Basis-Funktion* identifiziert. Diese drückt als „technische Gesamtfunktion“ die wesentliche Wirkung des WA-Objekts aus. Die Identifikation wird durch bereitgestellte Moderationsfragen unterstützt.

Im Bsp. der im *MP 4.4 FAST erstellen* beschriebenen Kunststoff-Spritzguss-Maschine ist dies die Funktion *Formteil bereitstellen*.

Schritt 2: Die Identifikation der *Übergeordneten Funktion* erfolgt nach dem gleichen Muster wie in Schritt 1.

*Oberfläche abdecken* ist eine mögliche *Übergeordnete Funktion* für die Kunststoff-

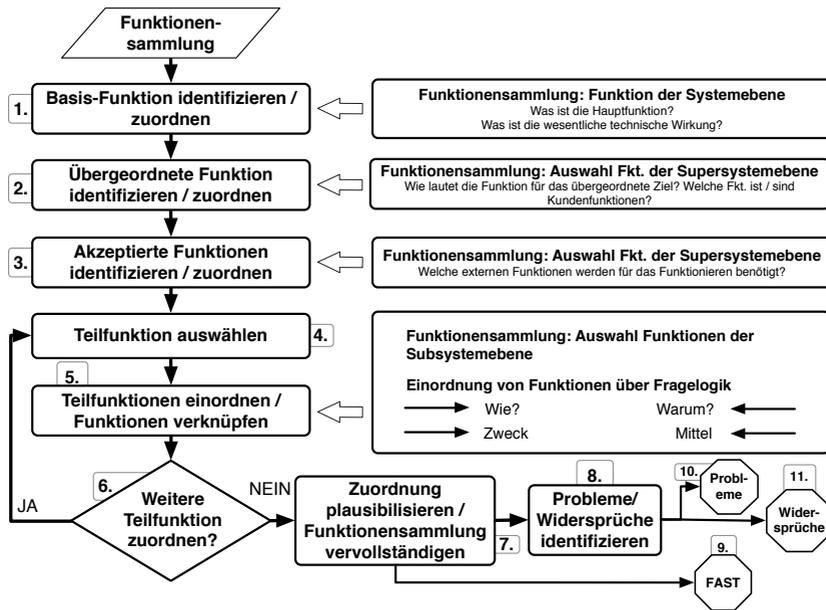


Abb. 5.9: *MP 4.4 FAST erstellen* - Ablaufplan

Spritzguss-Maschine.

Schritt 3: Die Identifikation der Akzeptierten Funktionen sollte aufgrund der in *MP 4.1 Funktionen sammeln* verwendeten Systematik leicht fallen. Eine einfache Hilfsfrage wird zusätzlich gegeben.

Für das Bsp. Kunststoff-Spritzgussmaschine im *MP 4.4 FAST erstellen* werden die Akzeptierten Funktionen *Spritzaggregat steuern*, *Granulat bereitstellen*, *Schließbeinheit steuern*, *Energieversorgung bereitstellen* und *Kühlung bieten* formuliert.

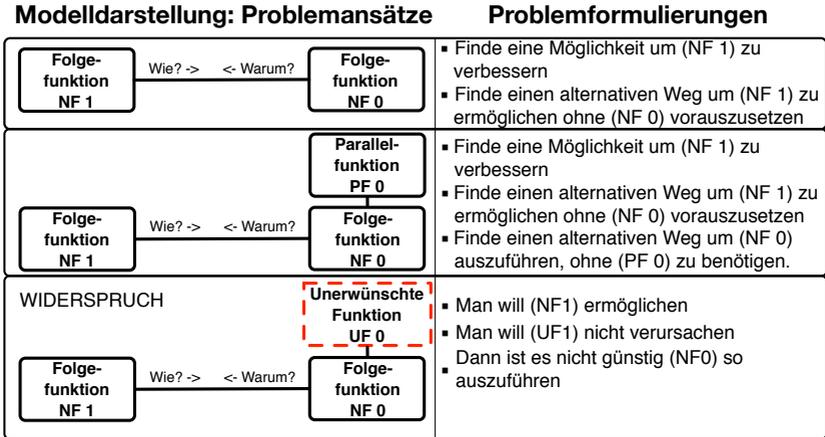


Abb. 5.10: *MP 4.4 FAST erstellen* - Vorlagen zur Problem- und Widerspruchsformulierung

Schritt 5: Die ausgewählte Teilfunktion wird mit Hilfe der Wie-Warum-Fragelogik in eine Sequenz mit anderen Teilfunktionen gebracht.

Im Bsp. wird aufgrund der Wie-Warum-Fragelogik die Funktion *Kavität füllen* direkt an die Basisfunktion *Formteil bereitstellen* angeschlossen.

Schritt 8: Abschließend werden Probleme und Widersprüche innerhalb des FAST identifiziert (vgl. Abb. 5.10). Dazu wurden im Rahmen dieser Arbeit für den *MP 4.4 FAST erstellen* drei Modellprobleme formuliert. Diese unterstützen durch Formulierungshilfen die Identifizierung von Optimierungsansätzen aus dem FAST-Diagramm. Zusätzlich wird über diesen Ansatz die Modellierung von TRIZ-Widersprüchen aus dem FAST-Diagramm ermöglicht.

Im Bsp. *MP 4.4 FAST erstellen* wird die schädliche Funktion *Werkzeug verschleifen* identifiziert.

*MP 4.4 FAST erstellen* liefert das FAST-Diagramm, sowie identifizierte Probleme und Widersprüche. Das FAST kann als Ausgangspunkt für eine Potentialanalyse

## 5 Methodenintegration

genutzt werden. Die identifizierten Probleme und Widersprüche können im Rahmen einer Problemanalyse im *MP 4.15 Probleminformationen verdichten* (Anh. C.21, S. 307) weiter betrachtet werden.

Zusammengefasst unterstützt der *MP 4.4 FAST erstellen* Formulierung, Aufbau und Kontrolle eines FAST-Diagramms. Zusätzlich wird das FAST um die Formulierung von Problemen und Widersprüchen erweitert. Dieser sollen die Nutzung von TRIZ-Systematiken zur Problemanalyse und -lösung erleichtern. Dieser Ansatz ist ein Bsp. für eine Modifikation einer WA-Methode für den kombinierten Einsatz mit TRIZ-Elementen. Durch die Nutzung des *MP 4.4 FAST erstellen* wird die ganzheitliche Modellierung in einem FAST-Diagramm vereinfacht und dadurch die Anzahl zeitraubender Iterationsschleifen verringert.

### 5.1.1.5 Funktionen-Netzwerk erstellen (MP 4.5)

Der *MP 4.5 Funktionennetzwerk erstellen* (Anh. C.9, S. 278) dient der Unterstützung der Erstellung eines Funktionennetzwerks. Interaktionen zwischen Funktionen werden im Funktionennetzwerk über bewertete Verknüpfungen (nützlich, schädlich oder kompensierend) dargestellt (Grundlagen vgl. Abschnitt 2.3.3.5). Wesentlich ist auch die einfache Darstellung von Problemursachen (verursachende Interaktion), und von Ansätzen zur Minimierung von Problemen (kompensierende Interaktion). Im Gegensatz zum FAST-Diagramm ist im Funktionennetzwerk zudem die Darstellung regelkreisartiger Strukturen möglich.

Diese Arbeit ergänzt das Funktionennetzwerk um die Modellierung von externen Funktionen, die aus dem Systemumfeld auf das System einwirken. Dies wurde erstmalig, in Form der Scope Lines des FAST-Diagramms, in [MÜLLER 2006] demonstriert. In dieser Arbeit wird auf die Einführung der Scope Lines verzichtet und nur die in Abschnitt 5.1.1.3 dargelegte Konvention angewendet. Der Verzicht auf die Scope Lines vereinfacht das Modellieren komplexer Netzwerke, da die Position der akzeptierten Funktionen dadurch nicht vorgegeben ist. Die Darstellung folgt der im *MP 4.3 Funktionenbaum erstellen* (Anh. C.7, S. 274) vorgeschlagenen Nomenklatur.

Ein weiterer Vorschlag beinhaltet die Übernahme der einmaligen und ständigen Funktionen sowie der Spezifikationen des FAST-Diagramms. Diese bieten dem Funktionennetzwerk die Darstellung von Funktionen, die nicht direkt in die Funktionen-Kette des Netzwerk eingeordnet werden können. Dies sind i.d.R. Funktionen, die übergreifende Wirkungen und generelle Systemcharakteristika beschreiben, z.B. Geltungsfunktionen wie *Wertigkeit ausstrahlen*.

Zusätzlich werden die darstellbaren Interaktionsformen zwischen Funktionen durch das Hinzufügen von *nicht ausreichend nützlichen* und *exzessiven* Interaktionen erweitert.

Zur Erstellung eines Funktionennetzwerks können 7 Schritte (vgl. Abb. 5.11 oder [LINDEMANN 2009b]) genutzt werden. Einige ausgewählte Schritte werden im Folgenden erläutert. Dargelegt wird am Bsp. einer Kunststoff-Spritzguss-Maschine im *MP 4.5 Funktionennetzwerk erstellen* (Anh. C.9, S. 282).

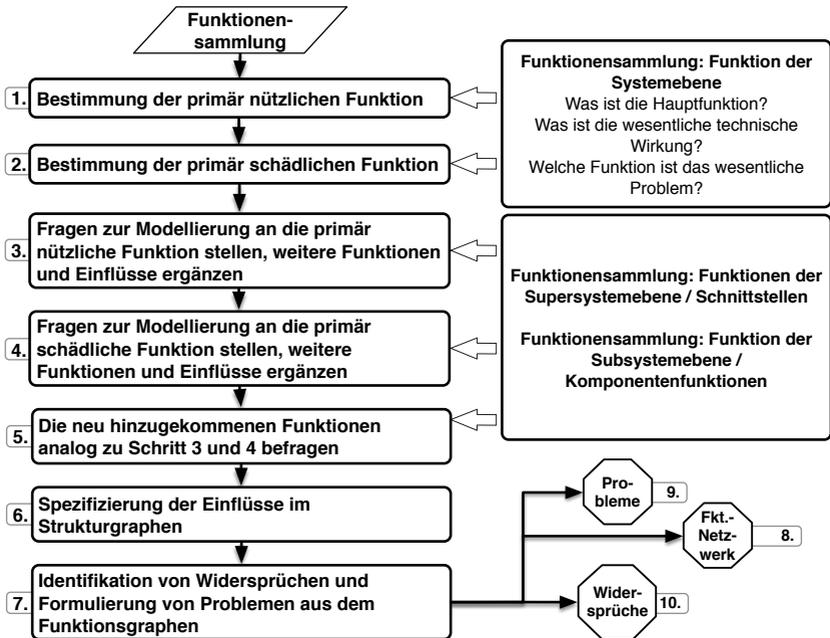


Abb. 5.11: MP 4.5 Funktionennetzwerk erstellen - Ablaufplan

Schritt 1: Zunächst wird die primär nützliche Funktion bestimmt. Die primär nützliche Funktion entspricht der Basisfunktion des FAST-Diagramms.

Im Fall des im *MP 4.5 Funktionennetzwerk erstellen* dargestellten Funktionennetzwerks einer Waschmaschine ist dies die Funktion *Wäsche waschen*.

Schritt 2: Zusätzlich wird die primär schädliche Funktion (das Hauptproblem) identifiziert. Falls mehrere schädliche Funktion vorhanden sind, ist die in ihrer negativen Wirkung schwerwiegendste schädliche Funktion zu identifizieren.

Für die Waschmaschine wird die Funktion *Lärm erzeugen* als primär schädliche Funktion identifiziert.

Schritt 3: An die primär nützliche Funktion werden die in *MP 4.5 Funktionennetzwerk erstellen* (Anh. C.9, S. 279) hinterlegten moderationsunterstützenden Fragen für nützliche Funktionen gestellt. Aus der Perspektive der dort doppelt umrandet dargestellten Funktion wird die jeweilige Frage gestellt.

Im Bsp. Waschmaschine im *MP 4.5 Funktionennetzwerk erstellen* kann für die primär nützliche Funktion *Wäsche waschen* auf die Frage "Setzt diese Funktion die

## 5 Methodenintegration

Erfüllung weiterer nützlicher Funktionen voraus?“ mit den Funktionen *Wäsche aufnehmen/abgeben*, *Trommel bewegen*, *Waschlauge erhitzen* und *Waschlauge ablassen* geantwortet werden.

Schritt 4: An die primär schädliche Funktion werden die in *MP 4.5 Funktionennetzwerk erstellen* hinterlegten moderationsunterstützenden Fragen für schädliche Funktionen gestellt.

Im Bsp. Waschmaschine kann für die Primär Schädliche Funktion *Lärm erzeugen* auf die Frage *“Wird diese Funktion durch eine nützliche Funktion verursacht?“* mit der Funktion *Trommel bewegen* geantwortet werden.

Schritt 6: Im Anschluss werden die Interaktionen weiter spezifiziert. Eine Bewertung der nützlichen Interaktionen in Bezug auf *nützlich*, *nützlich unzureichend* oder *nützlich exzessiv* kann weitere Ansatzpunkte für Optimierungen freilegen. Die moderationsunterstützenden Hilfsfragen hierzu sind ebenfalls in *MP 4.5 Funktionennetzwerk erstellen* (Anh. C.9, S. 279) hinterlegt. Die ermittelten Probleme können mit Hilfe von *MP 4.15 Probleminformationen verdichten* (Anh. C.21, S. 307) einer detaillierteren Analyse unterzogen werden.

Eine exzessive Interaktionen im Bsp. *Waschmaschine* (Anh. C.9, S. 282) ist die Wirkung von *Zugang steuern* auf *Trommel bewegen*. Aufgrund von Problemen in der Sensorik zur Erfassung des Schließzustandes der Tür ist die Elektronik sehr restriktiv in Bezug auf das Freigeben der Trommelbewegung.

Schritt 7: Hier werden die identifizierten, aus schädlichen Funktionen resultierenden, Probleme und Widersprüche aus dem Funktionennetzwerk abgelesen.

Für das Bsp. Waschmaschine wird exemplarisch ein Widerspruch identifiziert. WENN die Funktion *Temperatur erzeugen* ausgeführt wird, DANN wird die Funktion *Waschlauge erhitzen* ermöglicht, ABER die schädliche Funktion *Strom verbrauchen* wird verursacht. Auf Grundlage des vorliegenden Widerspruchs kann im *MP 4.15 Probleminformationen verdichten* eine detaillierte Problembeschreibung erstellt werden, die in der Phase 5 mit WA und TRIZ-Methoden bearbeitet werden könnte.

Der *MP 4.5 Funktionennetzwerk erstellen* ist ein Bsp. für die Integration einer TRIZ-Methode in die WA. Die Methode wurde um die Nutzung von *Akzeptierten*, *Ständigen*, *Einmaligen* und *Spezifikations-Funktionen* sowie um Kontrollhilfen erweitert. Die Integration des Funktionennetzwerks fügt der WA eine Methode hinzu, deren Informationsdichte in Bezug auf die Interaktionen zwischen Funktionen in der WA nicht vorhanden ist. Für eine funktionenbasierte Analyse von Problemen und Ineffizienzen bietet sich daher die Erstellung eines Funktionennetzwerks an.

### 5.1.1.6 Objektmodell erstellen (MP 4.6)

Der *MP 4.6 Objektmodell erstellen* (Anh. C.10, S. 283) unterstützt die Anwendung des TRIZ-Objektmodells. Das Objektmodell bietet eine alternative Darstellungsform, die zwar dem funktionalen Ansatz folgt, diesen jedoch nur indirekt in die Darstellung von Komponenten und deren Interaktionen integriert (Grundlagen vgl. Abschnitt 2.3.3.6). Damit ist die Entkopplung der Bearbeiter vom IST-Zustand nicht

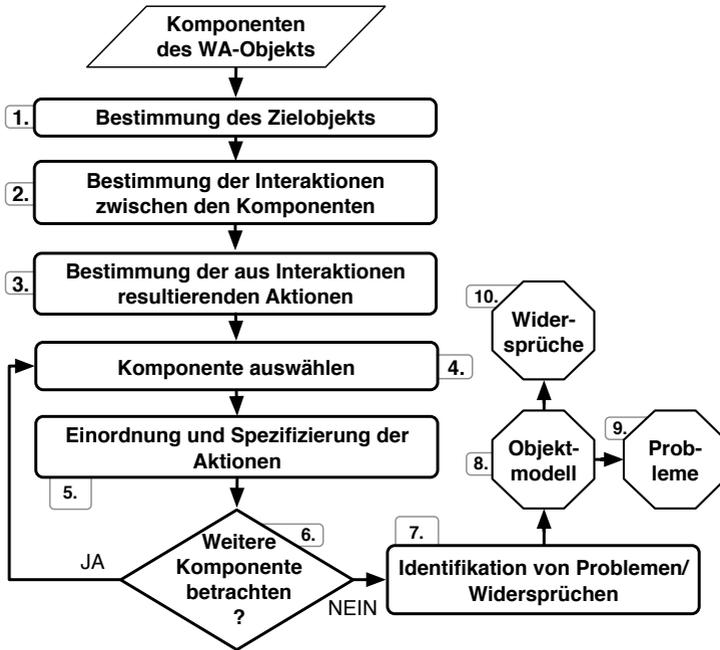


Abb. 5.12: MP 4.6 Objektmodell erstellen - Ablaufplan

so stark wie bei WA-Funktionenstrukturen. Das Objektmodell ist aber insbesondere eine wichtiger Ansatz zur Ausführung der TRIZ-Methode *Trimmen* (Grundlagen vgl. Abschnitt 2.3.3.7). Dies ist auch der Grund, warum das Objektmodell als Methodenpass in diese Arbeit aufgenommen wird. In manchen Fällen kann der Einsatz des Objektmodells zudem den Einstieg für ein Team in die Modellierung erleichtern. Es ist für einen geübten Moderator relativ einfach möglich, aus einem IST-Objektmodell wertanalytische SOLL-Funktionen zu extrahieren.

Zur Erstellung eines Objektmodells ist ein fünfstufiger Prozess auszuführen (vgl. Abb. 5.12). Einige ausgewählte Stufen werden im Folgenden erläutert. Am Beispiel eines im *MP 4.6 Objektmodell erstellen* (Anh. C.10, S. 285) hinterlegten Papierlochers wird die Vorgehensweise kurz ergänzt.

Schritt 1: Im *MP 4.6 Objektmodell erstellen* (Anh. C.10, S. 284) sind moderationsunterstützende Hilfsfragen zur Ermittlung der Zielkomponente hinterlegt. Die Zielkomponente ist dabei Bestandteil des Obersystems.

Für das im *MP 4.6 Objektmodell erstellen* beschriebene Objektmodell eines Papier-

## 5 Methodenintegration

lochers wird als Zielobjekt das *Papier* identifiziert.

Schritt 2: Die Interaktionen zwischen den einzelnen Komponenten werden mittels einer Interaktionsmatrix identifiziert (vgl. Abb. 5.13). Diese zeigt die Verknüpfungen zwischen Komponenten und erleichtert aufgrund der Matrix-Form die Identifikation aller relevanten Interaktionen. Zur Unterstützung der Identifikation kann der im *MP 4.6 Objektmodell erstellen* hinterlegte Ablauf mit den zugehörigen moderationsunterstützenden Hilfsfragen genutzt werden.

Komponenten	Transparente Abdeckung	Hauptkörper	Tischplatte	Stanzstift	Papier	Lineal	Hand	Rückstellfeder	Hebel	Papierschnipsel
Transparente Abdeckung		X								X
Hauptkörper	X				X				X	X
Tischplatte		X							X	
Stanzstift					X					X
Papier										
Lineal					X					
Hand					X	X			X	
Rückstellfeder									X	
Hebel				X				X		
Papierschnipsel										

Erläuterung:  Umfeldkomponente  
 Zielkomponente

Abb. 5.13: Anwendungsbsp. MP 4.6: Interaktionsmatrix Papierlocher

Schritt 3: Aus der Interaktionsmatrix (vgl. Abb. 5.13) werden konkrete Aktionen formuliert. Hierbei unterstützen die im *MP 4.6 Objektmodell erstellen* (Anh. C.10, S. 284) hinterlegten Formulierungshilfen. Durch die Analyse aller Interaktionen sollten

damit alle Aktionen formuliert sein.

Schritt 5: Einfügen der Komponente in das Objektmodell. Die formulierten Aktionen werden ebenfalls eingetragen. Die Ausprägungen der Aktionen werden dann spezifiziert. Dabei können die im *MP 4.6 Objektmodell erstellen* (Anh. C.10, S. 284) hinterlegten Fälle auftreten.

Die ausgewählte *Rückstellfeder* des Papierlochers wirkt mit der Aktion *stellt zurück* auf die Komponente *Stanzstift*. Sie wirkt ausserdem mit der gleich benannten Aktion *stellt zurück* exzessiv (Doppelpfeil) auf den *Hebel*. Dieser kann bei Loslassen des Lochers im komprimierten Zustand ruckartig zurückschnellen.

Schritt 7: Die Probleme und Widersprüche werden in der Modellierung identifiziert. Dazu bietet der *MP 4.6 Objektmodell erstellen* (Anh. C.10, S. 285) moderationsunterstützende Hilfestellungen.

Aus dem Objektmodell des Papierlochers könnte bspw. der von der Komponente *Stanzstift* ausgehende Widerspruch modelliert werden. WENN der *Stanzstift* das *Papier* locht, DANN kann das *Papier* abgehftet werden, ABER *Papierschnipsel* werden erzeugt.

Ergebnisse der Erstellung eines Objektmodells sind das Modell selbst (vgl. Schritt 8), sowie aus der Struktur heraus identifizierte Probleme und Widersprüche (Schritte 9 und 10). Deren Gründe, Auswirkungen, etc. können im *MP 4.15 Probleminformationen verdichten* (Anh. C.21, S. 307) vertieft werden. Zusätzlich kann das Objektmodell mit der Trimmen-Methode im *MP 5.3 Komponenten trimmen* (Anh. D.6, S. 329) auf Potentiale zur Funktionenintegration untersucht werden.

Der *MP 4.6 Objektmodell erstellen* ist ein weiteres Bsp. für die Integration einer TRIZ-Methode in die WA. Das Objektmodell erlaubt eine einfache komponentennahe Modellierung. Dies kann für die Suche nach Potentials zur Funktionenintegration von großem Vorteil sein. In Kombination mit der Anwendung der *MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren* (Anh. D.5, S. 324) und *MP 5.3 Komponenten trimmen* bietet diese Arbeit Unterstützung.

Die mit einfachen moderationsunterstützenden Hilfsfragen beschriebenen Modellierungsschritte im *MP 4.6 Objektmodell erstellen* erleichtern die Anwendung deutlich und ermöglichen damit eine effiziente Anwendung des Objektmodells innerhalb eines WA-Projekts.

### 5.1.1.7 Funktionen spezifizieren (MP 4.7)

Die Erfassung von Anforderungen und Erfüllungsgraden (Grundlagen vgl. Abschnitt 2.2.4.3) ist ein wesentliches Element der Analyse des IST-Zustands eines WA-Objekts. Diese wird in der VDI2800 zwar erwähnt, aber es werden keine konkreteren Angaben zur Durchführung gemacht. Der *MP 4.7 Funktionen spezifizieren* (Anh. C.11, S. 286) dient der Identifikation und Zuordnung von Spezifikationen zu Funktionen und deren Analyse in Bezug auf den jeweiligen Erfüllungsgrad. Dafür wird die Güte der Funktionenumsetzung detailliert erfasst und bewertet. Dadurch können effizient

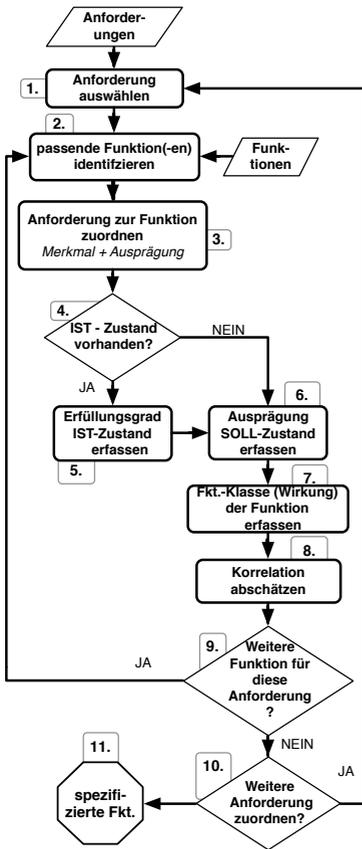


Abb. 5.14: MP 4.7 Funktionen spezifizieren - Ablaufplan

und der Ausprägung  $14 \text{ Nm}$  im Bsp. Elektromotor wird also im IST- Zustand nicht zufriedenstellend erfüllt, da nur  $14 \text{ Nm}$  erreicht werden.

Schritt 6: Falls kein IST-Zustand vorhanden, wird nur ein Wert für den SOLL-Zustand definiert. Dieser ist im Regelfall identisch mit dem Wert der betrachteten Anforderung.

Über- oder Untererfüllungen von Anforderungen identifiziert werden. Zusätzlich wird erfasst, ob *kompensierende Funktionen* vorhanden sind. Diese können Ansatzpunkte für Optimierungen bieten.

Ein weiterer Aspekt ist die Analyse von Korrelationen zwischen verschiedenen Funktionen und ihren Merkmalen. Diese kann bereits zu einem frühen Zeitpunkt der Analyse Hinweise auf Konflikte bzw. Widersprüche geben. Der MP 4.7 Funktionen spezifizieren eignet sich daher gut, die Realisierung der identifizierten Funktionen auf Optimierungspotentiale in Bezug auf die Unter- bzw. Überfüllung von Spezifikationen zu untersuchen.

Eine Vorgehensweise in 10 Schritten (vgl. Abb. 5.14) ermöglicht diese Untersuchung. Einige ausgewählte Schritte werden im Folgenden erläutert. Anhand des im MP 4.7 Funktionen spezifizieren (Anh. C.11, S. 287) hinterlegten Bsp. eines Elektromotors werden einzelne Schritte erläutert.

Schritt 3: Der identifizierten Funktion werden Merkmale mit zugehörigen Ausprägungen (falls sinnvoll) zugeordnet. Im MP 4.7 Funktionen spezifizieren sind Hilfsfragen zur Unterstützung dieses Schrittes beschrieben.

Für das Bsp. Elektromotor im MP 4.7 Funktionen spezifizieren wird der Funktion Drehmoment erzeugen das Merkmal Drehmoment mit der Ausprägung  $20 \text{ Nm}$  zugeordnet. Dies ist das geforderte Drehmoment. Der Funktion Wärme ableiten wurden zwei Merkmale zugeordnet.

Schritt 5: Falls ein IST-Zustand vorhanden ist, wird in diesem Schritt der Erfüllungsgrad bezüglich der gewählten Anforderung betrachtet. Der Erfüllungsgrad des Merkmals Drehmoment

Für das Bsp. Elektromotor wird die SOLL-Vorgabe aufgenommen. Dies ist im Regelfall 100 %, obwohl Abweichungen, z.B. wenn eine Untererfüllung tolerierbar ist, möglich sind. In diesem Fall wird ein Erfüllungsgrad von 100 % verlangt. Im Falle von Overengineering wäre z.B. eine Verringerung der Anforderung, also ein SOLL-Erfüllungsgrad  $< 100\%$  zur Kostensenkung vorstellbar.

Schritt 7: Zusätzlich wird in diesem Schritt die Wirkungs-Funktionenklasse der Funktion (*nützlich/schädlich/kompensierend*, vgl. Abschnitt 2.2.3) erfasst. Dies dient der Identifikation von kompensierenden Funktionen (vgl. auch [WIGGER et al. 2011]), die als Indikator für Optimierungspotential dienen können.

Im Bsp. Elektromotor ist die Funktion *Drehmoment erzeugen* eine nützliche Funktion. Die Funktion *Wärme ableiten* hingegen hat kompensierende Wirkung. Eine identifizierte kompensierende Funktion kann im *MP 5.4 Kompensierende Funktionen trimmen* (Anh. D.7, S. 335) auf Potentiale zur Eliminierung oder Kostensenkung untersucht werden.

Schritt 8: In diesem Schritt werden, analog zum Dach eines House of Quality der QFD, Korrelationen zwischen verschiedenen Funktionen und ihrer Merkmale erfasst. Damit ist die Analyse der ausgewählten Funktion abgeschlossen.

Im Bsp. Elektromotor werden in diesem Schritt Korrelationen zwischen den einzelnen Funktionen und ihren Merkmalen erfasst. So haben in diesem Bsp. die Funktionen *Strom leiten* und *Wärme ableiten* eine negative Korrelation, da eine höherer Strom eine höhere Wärmeproduktion zur Folge hat, die durch den Funktionsträger von *Wärme ableiten* kompensiert werden muss. Die so erfassten Korrelationen können im Projekt zur Formulierung von Widersprüchen genutzt werden und im *MP 4.15 Probleminformationen verdichten* detailliert analysiert werden.

Durch die Anwendung des *MP 4.7 Funktionen spezifizieren* wird eine funktionale Leistungsbeschreibung der definierten Funktionen ermöglicht. Die Erarbeitung von IST- und SOLL-Erfüllungsgrad fördert die Analyse von Unter- oder Überfüllungen von Anforderungen. Die Korrelationsanalyse der Merkmale ermöglicht die Anwendung der TRIZ-Widerspruchsanalyse im *MP 4.15 Probleminformationen verdichten*.

### 5.1.2 Potential analysieren (MG 4.B)

Die *MG 4.B Potential analysieren* (Anh. C.12, S. 288) ermöglicht die Analyse auf Potentiale zur Effizienzsteigerung. Sie dient damit weitgehend der *Wertverbesserung*. Dazu werden Kosten analysiert, Bedeutsamkeiten gegenübergestellt, Potentiale für Funktionen und Komponenten gebildet und ggf. Kostenursachenketten analysiert.

Die TRIZ-Evolutionsanalyse ermöglicht eine Einschätzung des Weiterentwicklungspotentials. Sie kann auch zur *Wertgestaltung* eingesetzt werden. In diesem Kontext dient sie als Werkzeug zum Vergleich verschiedener potentiell zu verwendender Konzeptalternativen.

Die *MG 4.B Potential analysieren* gruppiert Methoden zur Potentialanalyse in Phase 4 des WA-Projekts. Die Potentialanalyse baut auf der Funktionenerfassung in der Phase 4 auf.

## 5 Methodenintegration

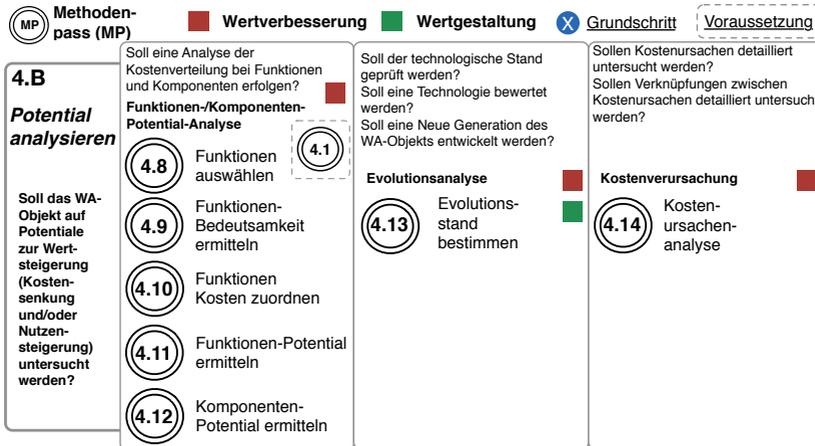


Abb. 5.15: Methodenauswahl in der *MG 4.B Potential analysieren*

Die Potentialanalyse besteht aus drei unabhängigen Bereichen (vgl. Abb. 5.15). Die Funktionen-/Komponenten-Potential-Analyse basiert auf der Ermittlung von Bedeutsamkeit und Kosten von Funktionen und Komponenten. Die Evolutionsanalyse dient der Ermittlung des technologischen Entwicklungsstands. Die Kostenursachenanalyse dient der Analyse von Kostenursachenketten in Baugruppen.

Die *MG 4.B Potential analysieren* umfasst sieben *Methodenpässe*, die alle der Wertsteigerung des WA-Objekts dienen sollen. Die jeweils im oberen Teil formulierte Auswahlfrage soll die zielgerichtete Auswahl der Methodenpässe vereinfachen.

### 5.1.2.1 Funktionen zur Potentialanalyse auswählen (MP 4.8)

Zu Beginn der Funktionen-/Komponenten-Potentialanalyse steht die Auswahl der zu analysierenden Funktionen. Der *MP 4.8 Funktionen zur Potentialanalyse auswählen* (Anh. C.13, S. 290) bietet Hilfestellungen für diese Auswahl. Eine Vorabauswahl von Funktionen ist sinnvoll, da sie bei einer großen Anzahl von Funktionen den zu leistenden Analyse-Aufwand deutlich verringert. Zur Auswahl wurde ein zweischrittiger Prozess formuliert (vgl. Abb. 5.16).

In der Literatur existieren nur wenige Gestaltungsempfehlungen für die Auswahl von Funktionen für Funktionen-Potential-Analysen. Aufgrund der Eigenheiten der verschiedenen Funktionenstrukturen lässt sich auch keine einheitliche Empfehlung geben. Der *MP 4.8 Funktionen zur Potentialanalyse auswählen* definiert daher drei wesentliche Aspekte, die zur Funktionsauswahl genutzt werden können.

Grundregeln zur Auswahl von Funktionen sind definiert. Funktionen, die trotz unterschiedlicher Formulierungen dieselbe Wirkung beschreiben, sollten zunächst zu einer Funktion bereinigt werden. Gelingt dies nicht, sollte nur eine Funktion in die Analyse einbezogen werden.

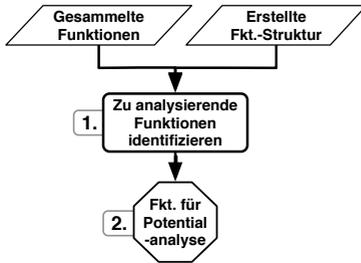


Abb. 5.16: *MP 4.8 Funktionen für die Potentialanalyse auswählen* - Ablaufplan

Abb. 5.17). Die Fragen stellen sicher, dass auch Funktionen mit ausgewählt werden, die Wirkungen bereitstellen, ohne die das WA-Objekt nicht funktionieren könnte. Ein Bsp. hierfür ist das Gehäuse einer Maschine. Es erfüllt mit der Funktion *Bauteile abstützen* eine eher „unscheinbare“ Funktion die bei einer Auswahl schnell übersehen werden kann. Ohne diese Funktion würde diese Maschine aber gar nicht funktionieren.

Weitere Fragen regen an, dass alle wesentlichen Wirkungen des WA-Objekts in die Analyse aufgenommen werden. Diese Funktionen stellen die entscheidenden Funktionalitäten des WA-Objekts.

Andere Fragen sollen sicherstellen, dass für einen Kunden relevante Funktionen mit in die Analyse aufgenommen werden. Da die Funktionen-Bedeutsamkeit aus der „Sicht des Kunden“ (direkt oder indirekt) ermittelt wird, ist die Relevanz der ausgewählten Funktionen für die Erfüllung von Kundenwünschen sehr wichtig. Mit diesen Fragen soll sichergestellt werden, dass auch Funktionen die nicht zur Hauptfunktionalität gehören, aber sehr wohl vom Kunden wahrgenommen werden, in die Potentialanalyse aufgenommen werden. Für das Bsp. des Grills im *MP 4.8 Funktionen zur Potentialanalyse auswählen* (Anh. C.13, S. 290) wird als Grundfunktionalität die Funktion *Grillgut aufnehmen* identifiziert. Ohne diese Funktion würde der Grill nicht funktionieren.

Im Falle des Grills können drei Funktionen als wesentliche Funktionen identifiziert werden, die gleichzeitig auch im Kundenfokus stehen. Hierbei handelt es sich um die Funktionen *Grillgut drehen*, *Grillgut transportieren* und *Grillgut beheizen*.

Ein anderes Bsp. zur Funktionenauswahl ist im Abschnitt 6.3.3 dieser Arbeit zu finden.

Die unklare Formulierung tritt insbesondere bei wenig geübten Anwendern auf und ist schon bei der Sammlung von Funktionen kritisch zu hinterfragen bzw. durch den Übergang zur Funktionenstruktur zu bereinigen. Zusätzlich dürfen nur Funktionen ausgewählt werden, denen auch Kosten zugeordnet werden können. Abschließend ist sicherzustellen, dass durch die Funktionenauswahl alle wesentlichen Komponenten (BG oder Teile) abgedeckt sind.

Als zweite Hilfestellung werden Auswahlregeln für verschiedene Funktionenstrukturen gegeben.

Als drittes werden in dieser Arbeit Hilfsfragen zur Funktionenauswahl gegeben (vgl.

## 5 Methodenintegration

<b>Grundregeln der Auswahl</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Von unterschiedlichen Funktionen, die die selbe Wirkung beschreiben, darf nur eine Fkt. ausgewählt werden.</li> <li>- Eine Fkt. darf nur ausgewählt werden, wenn ihr auch realisierende Komponenten, letztlich also Kosten zugeordnet werden können.</li> <li>- Sämtliche Komponenten sollten durch die Funktionsauswahl abgedeckt sein.</li> </ul>		
<b>Auswahlregeln Fkt.-Strukturen</b>		
<b>Fkt.-Baum</b>	<b>FAST</b>	<b>Funktionsnetzwerk</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wähle nicht die Gesamtfunktion oder schädliche Fkt. aus.</li> <li>- Wähle keine Funktionen aus, die hierarchisch direkt voneinander abhängig sind. Wenn Fkt. in einem Zweig des Fkt.-Baumes gewählt werden, dann sollten sie auf der gleichen Hierarchiestufe stehen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wähle nicht die Übergeordnete Fkt., die Basisfkt., Akzeptierte Fkt., Schädliche Fkt. oder Spezifikationen aus.</li> <li>- Wähle nur Fkt. aus einem Zweig aus, deren Wirkungen klar voneinander trennbar sind.</li> <li>- Wähle einmalige oder ständige Funktionen nur aus, wenn Kosten zugeordnet werden können.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wähle nicht die Primär Nützliche Funktion (PNF), Primär Schädliche Funktion (PSF), Schädliche Fkt. oder Akzeptierte Fkt. aus.</li> <li>- Wähle nur Fkt. aus einem Zweig aus, deren Wirkungen klar voneinander trennbar sind.</li> <li>- Wähle kompensierende Fkt. nur aus, wenn Kosten zugeordnet werden können.</li> </ul>
<b>Hilfsfragen zur Identifikation</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Welche Fkt. dienen der Sicherstellung der Basisfunktionalität?</li> <li>- Welche Fkt. sind die wesentlichen Wirkungen (Hauptfunktionen) des WA-Objekts?</li> <li>- Welche Fkt. sind von besonderem Kundeninteresse?</li> <li>- Welche Fkt. können vom Kunden wahrgenommen werden?</li> <li>- Welche Fkt. haben direkt Einfluss auf die Kundenzufriedenheit?</li> </ul> <p><i>Bsp.: Das Gehäuse eines Getriebes stützt alle Komponenten und ermöglicht dadurch erst deren Wirkungen. Wird dessen Fkt. „Komponenten abstützen“ (die keine Hauptfkt. ist) nicht ausgewählt, kann der wesentliche Fkt.-Träger Gehäuse in der Funktionen-Komponenten-Zuordnung schwer zugeordnet werden.</i></p>		

Abb. 5.17: MP 4.8 Funktionen für die Potentialanalyse auswählen - Moderationsfragen zur Identifikation von zu analysierenden Funktionen

Das Vorgehen im MP 4.8 Funktionen zur Potentialanalyse auswählen ist unabhängig von der verwendeten Funktionenstruktur und versucht dafür zu sorgen, dass alle relevanten Funktionen in einer logisch konsistenten Auswahl aufgenommen werden können. Die Hilfsfragen sollen dies erleichtern. Das Problem langwieriger Diskussionen im Team kann damit tendenziell gelindert und Unsicherheiten in der Funktionsauswahl können beseitigt werden.

### 5.1.2.2 Funktionen-Bedeutsamkeit ermitteln (MP 4.9)

Voraussetzung für die Durchführung des MP 4.11 Funktionen-Potential ermitteln (Anh. C.16, S. 296) und des MP 4.12 Komponenten-Potential ermitteln (Anh. C.17, S. 297) ist der MP 4.9 Funktionen-Bedeutsamkeit ermitteln (Anh. C.14, S. 291). Die Ermittlung von Funktionen-Bedeutsamkeiten (Grundlagen vgl. Abschnitt 2.2.4.5) ermöglicht die Übertragung von Kundenpräferenzen auf die Funktionen. Die Übertragung regt das Hinterfragen von Kundenanforderungen und deren Gewichtungen an.

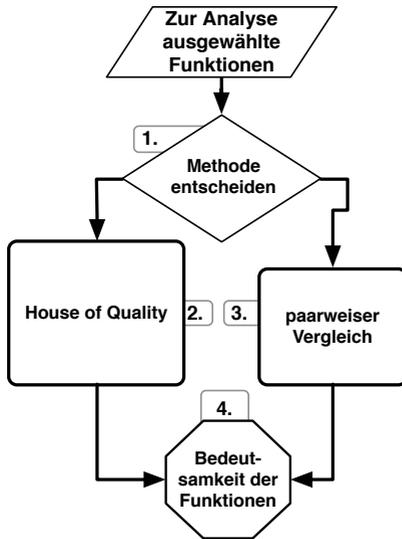


Abb. 5.18: *MP 4.9 Funktionen-Bedeutsamkeit ermitteln* - Ablaufplan

Die Vorgehensweise (vgl. Abb. 5.18) unterscheidet anhand der Existenz von Kundenanforderungen, welche Schritte zielführend für die Ermittlung der Funktionen-Bedeutsamkeit sind. Dazu werden 4 Schritte verwendet. Einige werden im Folgenden erläutert. Am Beispiel eines Grills wird der *MP 4.9 Funktionen-Bedeutsamkeit ermitteln* (Anh. C.14, S. 292) exemplarisch erläutert.

Schritt 1: Die zu nutzende Methode wird entschieden. Folgende Kriterien können für die Anwendung des House of Quality u.a. angelegt werden.

- Die zur Verfügung stehende Zeit erlaubt die separate Bewertung von Kundenanforderungen.
- Es fällt dem WA-Team schwer, aus Sicht des Kunden die Funktionen zu bewerten. Eine Korrelation von bewerteten Kundenanforderungen mit den Funktionen über das HoQ ist dann zu bevorzugen.
- Eine Kombination der Bedeutsamkeitsermittlung mit Benchmarks für die bisherige Erfüllung von Kundenanforderungen und Funktionen ist gewünscht. Das HoQ bietet diese Elemente in einer Methode.

Schritt 2: Wurde die Verwendung des House of Quality entschieden, können die im *MP 4.9 Funktionen-Bedeutsamkeit ermitteln* hinterlegten moderationsunterstützten Hilfsfragen genutzt werden.

Schritt 3: Wurde sich gegen die Verwendung des House of Quality entschieden, sollten die kundenrelevanten Funktionen mit Hilfe eines paarweisen Vergleichs (z.B. Differenzierter Dual-Vergleich (vgl. [VDI GPP 2011]), Eigenvektormethode (vgl. [SAATY 1980]), etc.) gegeneinander gewichtet werden. Dabei sollte soweit möglich versucht werden, die Funktionen aus der Perspektive eines Kunden zu bewerten.

Für den Grill in *MP 4.9 Funktionen-Bedeutsamkeit ermitteln* wird sich gegen die Anwendung des HoQ entschieden, da das Team sich aus gesammelten Erfahrungen zutraut, die Funktionen aus Sicht des Kunden zu bewerten. Es wird die Anwendung der Eigenvektormethode nach SAATY entschieden, da das Team mit der Methode vertraut ist und entsprechende Templates zur Verfügung stehen.

### 5.1.2.3 Funktionen Kosten zuordnen (MP 4.10)

Der *MP 4.10 Funktionen Kosten zuordnen* (Anh. C.15, S. 293) steuert die Erstellung einer Funktionen-Kosten-Analyse (vgl. auch Abschnitt 4.4.2). Die Unterscheidung in einen vorhandenen oder nicht vorhandenen IST-Zustand entspricht der gängigen Praxis der WA. Zur einfachen Anwendung wurden moderationsunterstützende Hilfsfragen und Kontrollfragen hinterlegt, die die Ausführung einer Funktionen-Kosten-Analyse erleichtern sollen.

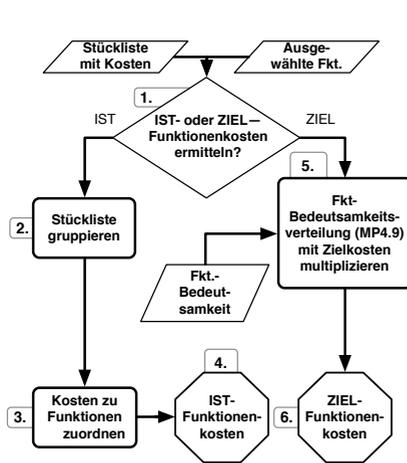


Abb. 5.19: *MP 4.10 Funktionen Kosten zuordnen* - Ablaufplan

entspricht dem Target-Costing-Ansatz.

Der *MP 4.10 Funktionen Kosten zuordnen* beschreibt im linken Ast die in der WA übliche Funktionen-Kosten-Analyse. Im rechten Ast erfolgt eine Ermittlung von Ziel-Funktionenkosten nach dem Muster des Target Costing. Zur Überprüfung der Funktionen-Komponenten-Zuordnung sind Kontrollfragen formuliert. Diese sollen helfen, logische Fehler in der Zuordnung zu vermeiden und zeitraubende Iterationsschleifen weitgehend auszuschließen.

### 5.1.2.4 Funktionen-Potential ermitteln (MP 4.11)

Der *MP 4.11 Funktionen-Potential ermitteln* (Anh. C.16, S. 295) führt die Ergebnisse von *MP 4.9 Funktionen-Bedeutsamkeit ermitteln* und *4.10 Funktionen Kosten*

Der *MP 4.10 Funktionen Kosten zuordnen* besteht aus sechs Schritten (vgl. Abb. 5.19). Einige werden im Folgenden erläutert. Am Beispiel des Grills im *MP 4.10 Funktionen Kosten zuordnen* (Anh. C.15, S. 294) wird die Beschreibung einzelner Schritte ergänzt.

Schritt 2: Zur Durchführung der Funktionen-Kosten-Analyse bietet sich ein Gruppieren der kalkulierten Stückliste an. Eine Gruppierung kann z.B. anhand der wesentlichen Baugruppen erfolgen. Alle Elemente der Stückliste, bis hin zu Schrauben etc., werden in den Gruppierungen zusammengefasst.

Schritt 5: Zur Berechnung der ZIEL-Funktionenkosten werden die im *MP 4.9 Funktionen-Bedeutsamkeit ermitteln* erarbeiteten Funktionen-Bedeutsamkeiten genutzt. Die prozentuale Verteilung der Bedeutsamkeiten gibt die prozentuale Verteilung der ZIEL-Funktionenkosten vor. Dies

zuordnen zusammen.

Das Funktionen-Potential liefert Ansatzpunkte zur Optimierung (Grundlagen vgl. Abschnitt 2.2.4.6). Die Vorgehensweise (vgl. Abb. 5.20) besteht aus 5 Schritten. Einzelne Schritte werden im Folgenden erläutert.

Schritt 1: Die Bedeutsamkeiten (aus *MP 4.9 Funktionen-Bedeutsamkeit ermitteln*) und die Kosten der Funktionen (aus *MP 4.10 Funktionen Kosten zuordnen*) werden einander gegenübergestellt.

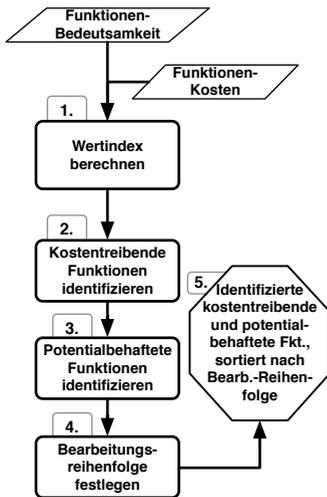


Abb. 5.20: *MP 4.11 Funktionen-Potential ermitteln* - Ablaufplan

*nenbasiert Ideen sammeln* (Anh. D.4, S. 322) die Grundlage.

Für die Rangfolge der Bearbeitung der einzelnen Funktionen werden im *MP 4.11 Funktionen-Potential ermitteln* Hilfestellungen gegeben.

### 5.1.2.5 Komponenten-Potential-Analyse (MP 4.12)

Der *MP 4.12 Komponenten-Potential ermitteln* (Anh. C.17, S. 297) beschreibt die Schritte zur Ermittlung von Komponenten-Bedeutsamkeiten (Grundlagen vgl. Abschnitt 4.4.2). Das Komponenten-Potential soll helfen, Komponenten zu identifizieren, deren Bedeutung nicht im gewünschten Verhältnis zu ihren Herstellkosten stehen.

Schritt 4: Auf Grundlage der Schritte 2 und 3 wird eine Liste erstellt, in der die Reihenfolge der Optimierung festgelegt wird. Im Falle von kostentreibenden Funktionen sollte dabei zuerst nach dem absoluten Kostenanteil sortiert werden. Die Logik ist, dass bei einer teuren Funktion tendenziell einfacher Kosteneinsparungen zu finden sind, als bei einer Funktion mit geringen Kosten.

Zusätzlich werden die kostentreibenden Funktionen auch anhand ihres Wertindex (Fkt.-Bedeutsamkeit zu Fkt.-Kosten) analysiert. Funktionen mit einem sehr niedrigen Wertindex sind stark kostentreibend und signalisieren Aufwand, der von einem Kunden nur sehr wenig geschätzt wird.

Die potentialbehafteten Funktionen sollten zunächst nach dem Wertindex sortiert werden. Dadurch wird eine Einschätzung möglich, welche Funktion am meisten Potential für eine höhere Kundenzufriedenheit bieten.

Mit dem *MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren* (Anh. D.5, S. 324) können die identifizierten kostentreibenden Funktionen in der Ideenfindung bearbeitet werden. Für potentialbehaftete Funktionen bietet der *MP 5.1 Funktionen-*

## 5 Methodenintegration

Die Vorgehensweise ist in 5 Schritte unterteilt (vgl. Abb. 5.21). Einige werden im Folgenden erläutert. Einzelne Schritte werden durch im *MP 4.12 Komponenten-Potential ermitteln* (Anh. C.17, S. 299) beschriebene Beispiele ergänzt.

Schritt 1: Der Realisierungsanteil der Komponente wird das in Bezug setzen des Realisierungsanteils zu allen Realisierungsanteilen an der Funktion ermittelt. Zusätzlich wird dieser Realisierungsanteil mit der Funktionen-Bedeutsamkeit der betreffenden Funktion bewertet. Die Formel hierzu ist in *MP 4.12 Komponenten-Potential ermitteln* (Anh. C.17, S. 298) hinterlegt.

Für die Heizspirale im Bsp. Profi-Grill im *MP 4.12 Komponenten-Potential ermitteln* wird hier in Bezug auf die Funktion *Grillgut beheizen* die Teil-Bedeutsamkeit 0,16 errechnet.

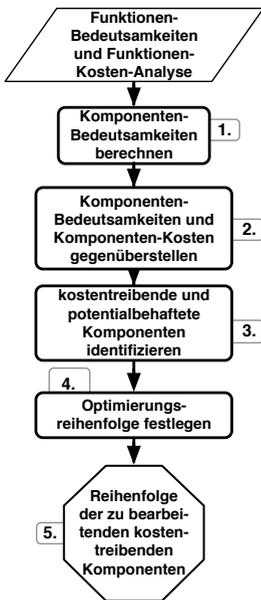


Abb. 5.21: *MP 4.12 Komponenten-Potential ermitteln* - Ablaufplan

wand nur wenig zur Realisierung von Funktionen beiträgt. Komponenten mit einem sehr hohen Wertindex sind stark potentialbehaftet, sie tragen viel zur Realisierung von Funktionen mit relativ geringen Kosten bei. Bei potentialbehafteten Komponenten ist immer die Frage zu stellen, ob mit geringem Aufwand eine weitere Funktio-

Schritt 2: Aus Schritt 1 werden die kostentreibenden und potentialbehafteten Komponenten identifiziert und aufgelistet. Im *MP 4.12 Komponenten-Potential ermitteln* (Anh. C.17, S. 298) wird hierzu Moderationsunterstützung gegeben.

Schritt 3: Es werden kostentreibende und potentialbehaftete Komponenten identifiziert.

Für den Grill im *MP 4.12 Komponenten-Potential ermitteln* ergeben sich mit dem *Getriebemotor*, der *Heizspirale* und der *Schalteinheit* drei kostentreibende Komponenten. Alle anderen Komponenten sind potentialbehaftet.

Schritt 4: Wie in der Funktionen-Potential-Analyse empfiehlt sich für kostentreibende und potentialbehaftete Komponenten die Sortierung nach zwei Aspekten.

Im Falle von kostentreibenden Komponenten sollte zuerst nach dem absoluten Kostenanteil sortiert werden. Bei einer sehr teuren Komponente sollten tendenziell einfacher Kosteneinsparungen zu finden sind, als bei einer sehr günstigen. Im zweiten Schritt sollten die kostentreibenden Komponenten auch unter dem Aspekt des Wertindexes (Komp.-Bedeutsamkeit zu Komp.-Kosten) betrachtet werden. Komponenten mit einem sehr niedrigen Wertindex sind stark kostentreibend und signalisieren, dass eine Komponente für ihren Aufwand nur wenig zur Realisierung von Funktionen beiträgt.

nalitätsverbesserung zu erreichen ist.

Ergebnis der Untersuchung ist eine nach absoluten Kostenanteil und Wertindex sortierte Liste mit Komponenten, die zur Optimierung betrachtet werden sollten (vgl. Ergebnis 5). Die kostentreibenden Komponenten können in der Ideenfindung im *MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren* (Anh. D.5, S. 324) untersucht werden. Für potentialbehaftete Funktionen ist der *MP 5.1 Funktionenbasiert Ideen sammeln* (Anh. D.4, S. 322) zu empfehlen.

Als Hauptpriorität für die Optimierung des Grills im *MP 4.12 Komponenten-Potential ermitteln* (Anh. C.17, S. 299) ist die Kostenoptimierung des *Getriebemotors* zu sehen. Die *Heizspirale* sollte aber ebenfalls betrachtet werden.

Der *MP 4.12 Komponenten-Potential ermitteln* integriert die Anwendung des in Abschnitt 4.4.2 beschriebenen Konzepts zur Ermittlung von Komponenten-Potentialen. Die WA wird dadurch um ein einfaches Verfahren zur Ermittlung von Zielkosten für Komponenten bereichert, dass sogar auf der bereits erfolgten Anwendung der Funktionen-Kosten-Analyse aufbaut und daher nur sehr wenig Mehraufwand bedeutet. Auch wenn die Analyse-Ergebnisse immer mit gesundem Menschenverstand hinterfragt werden sollten, bietet dieser Ansatz doch eine Möglichkeit, die Analyse in einem Projekt weiter zu verfeinern und damit die Effizienz der Optimierungsanstrengungen zu verbessern.

### 5.1.2.6 Evolutionsanalyse - Entwicklungsstand bestimmen (MP 4.13)

Der *MP 4.13 Evolutionsanalyse - Entwicklungsstand bestimmen* (Anh. C.18, S. 300) spezifiziert die Anwendung des Analyse-Teils der TRIZ-Evolutionsanalyse (Grundlagen vgl. Abschnitt 2.3.2.3) in einem WA-Projekt. Die Anwendung des TRIZ-Evolutionsansatzes fügt der WA die Fähigkeit hinzu, den evolutionären Stand des betrachteten WA-Objekts einzuschätzen. Abhängig von dessen Position (oder eines seiner Subsysteme/Technologien) können im *MP 5.11 - Evolution antizipieren* (Anh. D.15, S. 356) systematisch Weiterentwicklungsstrategien, wie z.B. der Übergang zu einer neuen Technologie, abgeleitet werden. Zur Evolutionsanalyse werden die in Abschnitt 4.2.2 zusammengeführten Evolutionstrends verwendet. Die Vorgehensweise ist in 5 Schritte unterteilt. Einzelne werden im Folgenden erläutert. Am Bsp. des im *MP 4.13 Evolutionsanalyse - Entwicklungsstand bestimmen* (Anh. C.18, S. 302) hinterlegten Holzstuhles diese ergänzt.

Schritt 2: Die Position der betrachteten Technologie wird bezüglich des ausgewählten Evolutionstrends festgelegt.

Diese Zuordnung von Ausprägungen auf Evolutionstrends wird im *MP 4.13 Evolutionsanalyse - Entwicklungsstand bestimmen* in einer Tabelle zusammengefasst. So wird z.B. festgestellt, dass dem Holzstuhl bezüglich des Evolutionstrends *Erhöhung der Anpassungsfähigkeit* nur die Stufe 20 % zugeordnet werden kann, da die Voraussetzung für die nächste Stufe *Übergang von unbeweglichen zu beweglichen Teilen /Zwei oder mehr Objekte mit flexiblen Verbindungen /Mehr Freiheitsgrade durch Gelenke (linear /rotatorisch /kombiniert /mehrdimensional)* bei diesem Stuhl nicht

## 5 Methodenintegration

gegeben sind.

Schritt 3: Hier erfolgt eine Einschätzung, ob die Position im betrachteten Evolutionstrend relevant für die vorliegende Aufgabe ist. Durch diesen Schritt kann bereits entschieden werden, welche Evolutionstrends im *MP 5.11 Evolution antizipieren* zu verwenden sind. Wenn also z.B. der Evolutionstrend 11 *Erhöhung des Automatisierungsgrades* nicht aufgabenrelevant ist, kann dessen Betrachtung entfallen.

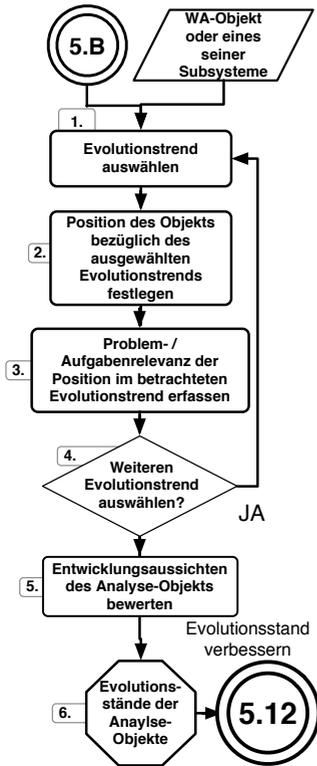


Abb. 5.22: *MP 4.13 Evolutionsanalyse - Entwicklungsstand bestimmen - Ablaufplan*

Schritt 5: Es werden die Entwicklungsaussichten bewertet (vgl. Abb. 5.23). Es wird mit der Erstellung eines Entwicklungs-Radar-Plots begonnen (vgl. Schritt 5.1 in Abb. 5.23). Diese Visualisierung erleichtert eine schnelle Einschätzung der Teilentwicklungsgrade des Analyse-Objekts. Die in Schritt 5.2 vorzunehmende Auswertung wählt einzelne Evolutionstrends, unter Berücksichtigung der in Schritt 5.3 des übergeordneten Workflows erfassten Problem-/Aufgabenrelevanz, zur weiteren Bearbeitung aus. In Schritt 5.3 wird der gemittelte Entwicklungsgrad des Analyse-Objekts durch Durchschnittsbildung der Teilentwicklungsgrade errechnet. Der gemittelte Entwicklungsgrad muss in Schritt 5.4 zwingend auf Plausibilität geprüft werden. Bei großen Abweichungen zwischen einzelnen Teilentwicklungsgraden kann sich z.B. durch die Durchschnittsbildung ein irreführender Entwicklungsgrad ergeben. Hier ist dann anstatt des arithmetischen Mittels die Verwendung des Median zu prüfen. In den Schritten 5.5 und 5.6 werden auf Grundlage des Entwicklungsgrades eine Empfehlung für die generelle Weiterentwicklungsstrategie gegeben. Die Schritte 5.5 und 5.6 führen zur Entscheidung, ob eine Technologie zukünftig weiter in Frage kommt. Diese Empfehlung, in Verbindung mit den in Schritt 5.2 ermittelten Optimierungsschwerpunkten, bestimmt dann die Suche nach Optimierungspotentialen im *MP 5.11 Evolution antizipieren*. Die Einordnung des gemittelten Entwicklungsstands kann auch anhand der S-Kurve (vgl. Abb. 4.24) erfolgen. Für den Holzstuhl im *MP 4.13 Evolutionsanalyse - Entwicklungsstand bestimmen* wird festgestellt, dass der gemittelte Evolutionsgrad ca.

1/3 beträgt. Aufgrund dieser Einschätzung wird als Zielvorgabe die Leistungssteigerung des Holzstuhls festgelegt.

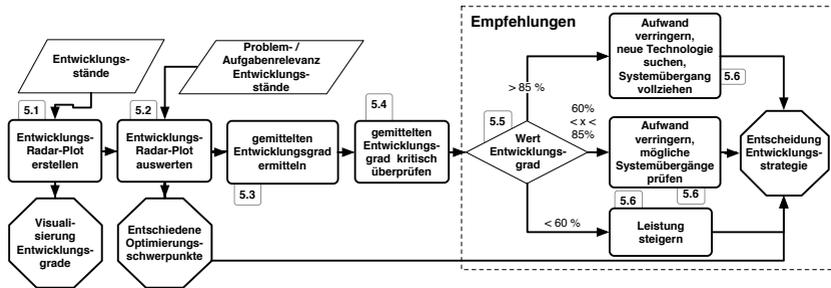


Abb. 5.23: *MP 4.13 Evolutionsanalyse - Entwicklungsstand bestimmen* - Bewertung des Entwicklungsstands

Der *MP 4.13 Evolutionsanalyse - Entwicklungsstand bestimmen* integriert die Evolutionsanalyse erstmals in die WA nach [VDI 2010a]. Die in Abschnitt 4.2 zusammengeführten Beschreibungen für Evolutionsgesetze und Evolutionstrends bilden die Grundlage. Die Anwendung wird durch Hinweise und Hilfsfragen unterstützt und ein Konzept zur Auswertung (S-Kurve der Technologieentwicklung (vgl. Abschnitt 4.2.3)) wird ebenfalls gegeben.

Die Integration der TRIZ-Evolutionsanalyse (insbesondere mit Blick auf die S-Kurve der Technologieentwicklung) eröffnet der WA eine neue Perspektive auf das Entwickeln neuer Generationen. Die Effizienz von WA-Projekten wird gesteigert, da im Zweifelsfall frühzeitiger erkannt werden kann, ob eine bestehende Umsetzung überhaupt noch genügend Potential zur Weiterentwicklung bietet.

### 5.1.2.7 Kostenursachen analysieren (MP 4.14)

Der *MP 4.14 Kostenursachen analysieren* (Anh. C.19, S. 303) wurde bereits in Abschnitt 4.3.1.1 beschrieben. Als Anwendungsbeispiel ist im *MP 4.14 Kostenursachen analysieren* (Anh. C.19, S. 305) die in Abschnitt 4.3.1.3 beschriebene Welle hinterlegt. Mit der Kostenursachenanalyse wird der Wertanalyse ein Werkzeug hinzugefügt, das hilft, unklare Kostenursachenketten und -knotenpunkte zu identifizieren. Die Kostenursachenanalyse kann helfen, wenn die Kreativität für Kostensenkungs-ideen unterstützt werden soll.

### 5.1.3 Probleme analysieren (MG 4.C)

Die *MG 4.C Probleme analysieren* (Anh. C.20, S. 306) ermöglicht eine ganzheitliche Analyse der Probleme eines WA-Objekts. Diese *Methodengruppe* schafft die Grundlage für die Anwendung der Problemlösungsmethoden der TRIZ in der *MG 5.B Probleme lösen* (Anh. D.11, S. 346).

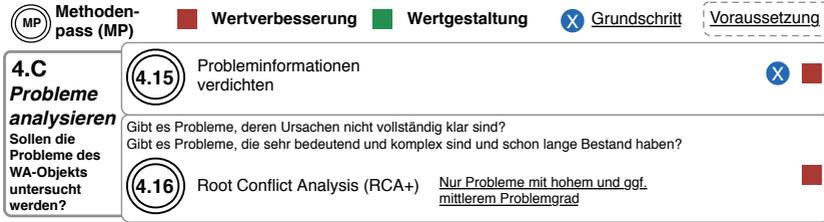


Abb. 5.24: *MG 4.C Probleme analysieren* - Methodenauswahl

Sie kombiniert im *MP 4.15 Probleminformationen verdichten* Bestandteile der TRIZ-Methode *Innovationscheckliste* und ein Konzept zur Bewertung von Problemen. Zusätzlich wird im *MP 4.16 Root Conflict Analysis* das TRIZ-Werkzeug *Root Conflict Analysis* zur detaillierten Analyse von sehr komplexen, sehr bedeutsamen und lange bestehenden Problemen angeboten.

Die Methoden dieser *Methodengruppe* (vgl. Abb. 5.24) sollten immer dann zum Einsatz kommen, wenn für das WA-Objekt signifikante Probleme bekannt sind. Dazu werden die Informationen zu diesen Probleme zunächst im Grundschrift (Basis der Methodengruppenanwendung) *MP 4.15 Probleminformationen verdichten* gesammelt und analysiert.

Die Anwendung der *MP 4.15 Probleminformationen verdichten* und ggf. *4.16 Root Conflict Analysis* systematisiert die Problemanalyse und erleichtert die Nutzung von TRIZ-Lösungsprinzipien in der Phase 5 des WA-Projekts.

#### 5.1.3.1 Probleminformationen verdichten (MP 4.15)

Der *MP 4.15 Probleminformationen verdichten* (Anh. C.21, S. 307) ist einer von zwei *Methodenpässen* innerhalb der *MG 4.C Probleme analysieren*. Sie dienen zur Sammlung und Analyse von Problemen, die bis zu diesem Punkt in der Phase 4 ermittelt wurden. Für die Wertanalyse existieren im Bereich der Problemanalyse nur wenige Empfehlungen. Die Normen VDI 2800 und EN 12973 bleiben hier recht vage. Ziel des *MP 4.15 Probleminformationen verdichten* ist eine systematische Problemanalyse unter Einbezug von TRIZ-Gesichtspunkten und -methoden zu ermöglichen. Dazu bietet der *MP 4.15 Probleminformationen verdichten* ein Modell zur standardisierten Beschreibung von Problemen, das sich an der *Innovationscheckliste* orientiert

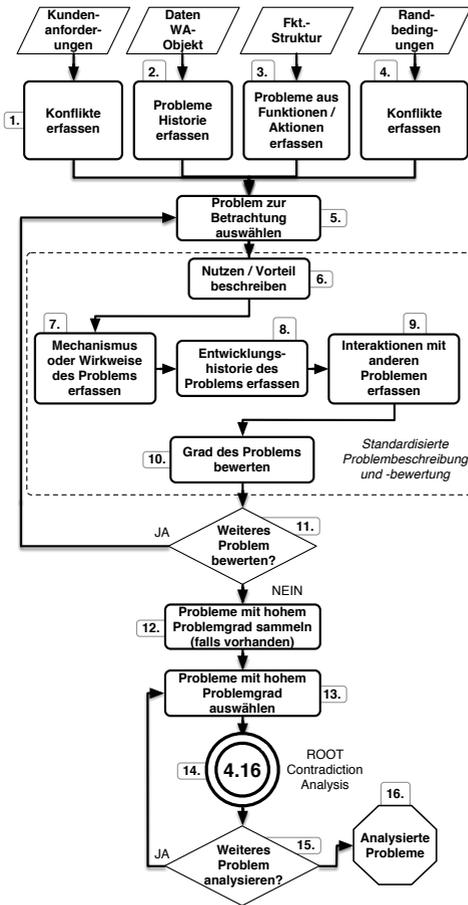


Abb. 5.25: MP 4.15 Probleminformationen verdichten - Ablaufplan

ifiziert. Besonders große Gegensätze zwischen Kundenanforderungen (z.B. Leistung und Energieverbrauch) bergen starke Zielkonflikte, die in Form von Widersprüchen mit Werkzeugen der TRIZ bearbeitet werden. Im MP 4.15 Probleminformationen verdichten (Anh. C.21, S. 308) sind zur Vereinfachung der Identifikation moderationsunterstützende Hilfsfragen hinterlegt.

(Innovationscheckliste vgl. Abschnitt 2.3.3.3). Zusätzlich wird ein Modell zur Problembewertung für den Einsatz in diesem Methodenpass genutzt (Beschreibung vgl. Schritt 10).

Die Vorgehensweise ist in drei Abschnitte gruppiert. Die Schritte 1–4 dienen der Aufnahme aller relevanten Probleme.

Die Schritte 5–11 dienen der systematischen Beschreibung der einzelnen Probleme. Es ist das Ziel dieser Schritte, genügend Informationen zu den einzelnen Problemen zu sammeln, um eine Einschätzung des Problemgrades in Schritt 10 zu ermöglichen. Probleme deren Problemgrad als hoch eingeschätzt wird, rechtfertigen den Aufwand einer detaillierteren Analyse. Diese wird in den Schritten 12–14 durch die Root Conflict Analysis (RCA+) bereitgestellt. Die Unterteilung in Probleme nach ihrem Problemgrad erleichtert auch die Auswahl der zu nutzenden Methoden in der Phase 5.

Zur Ausführung der oben beschriebenen Aktivitäten ist die Verdichtung von Probleminformationen in 16 Einzelschritte aufgeteilt (vgl. Abb. 5.25). Einzelne werden im Folgenden erläutert. Am Bsp. des Papierlochers im MP 4.15 Probleminformationen verdichten (Anh. C.21, S. 311) werden diese verdeutlicht.

Schritt 1: Mögliche Konflikte aus Kundenanforderungen werden identifiziert.

## 5 Methodenintegration

Schritt 2: Probleme aus der Historie werden erfasst. Diese können z.B. aus Rückmeldungen aus dem Markt oder der Service-Abteilung stammen. Im *MP 4.15 Probleminformationen verdichten* (Anh. C.21, S. 308) sind zur Unterstützung der Identifikation Hilfsfragen hinterlegt. Für den Papierlocher im *MP 4.15 Probleminformationen verdichten* wurden aus der Historie die drei auf Seite 311 aufgeführten wesentlichen Probleme ermittelt.

Schritt 3: Dieser Schritt dient der Erfassung aller in der verwendeten Funktionsstruktur vorhandenen Probleme. Dies können z.B. schädliche Funktionen oder auch in Funktionsform formulierte Widersprüche sein.

Aus der Funktionsanalyse des Papierlochers wurden die drei auf Seite 311 aufgeführten Funktionen identifiziert, die Optimierungspotential verheißen.

Schritt 4: Zusätzlich können in diesem Schritt Konflikte aus Randbedingungen identifiziert werden. Diese treten insbesondere auf, wenn sich Randbedingungen durch gegensätzliche Ansprüche widersprechen.

Zur Erläuterung der weiteren Schritte wird die schädliche Funktion *Stempel verklemmen* analysiert.

Schritt 6: Der erste Schritt der Problembeschreibung ist die Beschreibung des Nutzens/des Vorteils. Damit soll der positive Aspekt der Problemursache ermittelt werden. Dies kann hilfreich zur Formulierung eines Widerspruchs sein. Im Bsp. Verursacht die Funktion *Papier schneiden* die schädliche Funktion *Stempel verklemmen*. Der Nutzen von *Papier schneiden* liegt im Schneiden der Löcher ins Papier.

Schritt 7: Es wird versucht, die Wirkweise des Problems zu erfassen.

Im Bsp verklemmen bei einer hohen Anzahl eingelegter Dokumente aufgrund unzureichender Schneidwirkung abgescherte Papierschnipsel die Stempel.

Schritt 8: Im dritten Schritt wird die Entwicklungshistorie des Problems erfasst. Dies dient dem Verständnis, welche Effekte aus Entwicklungsvergangenheit das Problem erstmalig verursacht haben. Durch die Ermittlung des Zeitpunktes kann Erarbeitung von Lösungsansätzen wesentlich erleichtert werden, da die Betrachtung stark fokussiert erfolgen kann.

Im Bsp. trat das Problem erstmalig auf, als ungehärteter Stahl für die Schneidstempel eingeführt wurde.

Schritt 9: Zusätzlich werden zur Problembeschreibung noch die Interaktionen des betrachteten Problems mit anderen Problemen erfasst. Möglicherweise verursacht/verschlimmert das betrachtete Problem andere Probleme. Möglicherweise wird auch das betrachtete Problem von anderen Problemen verursacht/negativ beeinflusst.

Im Bsp. Wir das Problem *Nur geringe Anzahl von Dokumenten gleichzeitig lochbar* durch die fehlende Schneidwirkung weiter negativ beeinflusst.

Schritt 10: Im *MP 4.15 Probleminformationen verdichten* (Anh. C.21, S. 309) wird abschließend zur Problembeschreibung dessen Problemgrad eingeschätzt. Das Konzept adaptiert die Ausführungen zu Qualitätsproblemen in der Produktion in [JENKE 2007]. Die Fragen wurden leicht modifiziert, um sie insbesondere für Produkte besser

anwendbar zu machen.

Der Problemgrad wird über die drei Parameter *Problembedeutung*, *Problemkomplexität* und *Problemhistorie* eingeschätzt. Die *Problembedeutung* leitet sich aus der Anzahl der bereits vorliegenden Lösungsideen, deren Erfolgsaussichten, des Zeitdrucks zur Problemlösung, bisher angefallenen oder zukünftig zu erwartenden finanziellen Belastungen für das Unternehmen und die Wahrscheinlichkeit von Gewinn- bzw. Umsatzeinbußen ab. Im Bsp. wird die Problembedeutung als „hoch“ eingeschätzt, da die eingeschränkte Schneidwirkung zu massiven Kundenreklamationen geführt hat und den Absatz des Lochers in zunehmenden Maße beeinträchtigt.

Die *Problemkomplexität* wird über die Anzahl der am Problem beteiligten Elemente, den Grad der Vernetzung zwischen den Elementen, die Interaktion mit anderen Problemen, dem Verständnis für die vorherrschenden Ursache-/Wirkungszusammenhänge und die Existenz gegensätzlicher Ziele und/oder Widersprüche eingeschätzt. Im Bsp. wird die Problemkomplexität als „mittel“ eingeschätzt, da einige Elemente (Hauptkörper, Stempel, Stempelschneide, Papier, ...) an dem Problem beteiligt sind und es mit anderen Problemen (*Müll abführen* - Abfuhr von Papierschnipseln) interagiert. Die *Problemhistorie* wird über den Zeitraum der bisherigen Wahrnehmung, die Anzahl der Versuche zur Lösungsfindung und das Ausmaß der Methodenunterstützung bei bisherigen Lösungsversuchen eingeschätzt. Im Bsp. wird die Problemhistorie als „mittel“ eingeschätzt, da das Problem bereits seit einiger Zeit besteht.

In Kombination erlauben diese drei Parameter durch die Einordnung in die Schemata im *MP 4.15 Probleminformationen verdichten* (Anh. C.21, S. 310) eine Einschätzung des Problemgrades. Grundsätzlich sollten nur Probleme mit hohem und ggf. mittlerem Problemgrad mit einer Root Conflict Analysis bearbeitet werden. Im Bsp. wird ein mittlerer Problemgrad eingeschätzt. Im nächsten Schritt sollte also der *MP 4.16 Root Conflict Analysis* (Anh. C.22, S. 312) angewendet werden.

Der *MP 4.15 Probleminformationen verdichten* erweitert die WA um eine systematische, auf TRIZ-Erkennnissen beruhende, Problemanalyse. Durch die Integration von Innovationscheckliste und Problemgrad werden Informationen zu einem Problem systematisch erhoben. Der Problemgrad erlaubt die Kopplung der Signifikanz eines Problems an den Aufwand zur Problemlösung. Dazu werden zahlreiche Hilfestellungen beschrieben. Damit wird die WA um ein wirkungsvolles Instrument zur ganzheitlichen Problembeschreibung erweitert.

### 5.1.3.2 Root Conflict Analysis (MP 4.16)

Die Root Conflict Analysis ist eine Methode, um Zusammenhänge zwischen verschiedenen Problemen darzustellen (Grundlagen vgl. Abschnitt 2.3.3.1). Die Modellierung ist einfach erlernbar. Widersprüche werden leicht identifizierbar. Die Analyse der Struktur ermöglicht eine Priorisierung in der Ideenfindung. Zudem können Ursachenketten und -knotenpunkte identifiziert werden. Die Wertanalyse wird durch die Integration im *MP 4.16 Root Conflict Analysis* (Anh. C.22, S. 312) um ein systematisches Werkzeug zur Problemanalyse erweitert.

Zur Durchführung wird eine Vorgehensweise in 13 Schritten definiert (vgl. Abb. 5.26).

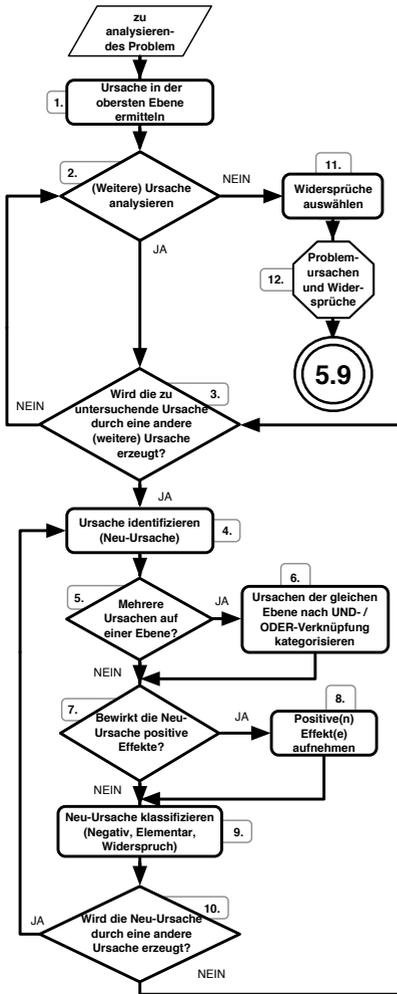


Abb. 5.26: MP 4.16 Root Conflict Analysis (RCA+) - Ablaufplan

Einzelne werden im Folgenden erläutert. Zusätzlich werden diese am Bsp. einer im MP 4.16 Root Conflict Analysis (Anh. C.22, S. 315) hinterlegten Zahnbürste [VDI-GPP 2016] verdeutlicht. Schritt 1: Zur Durchführung der Root Conflict Analysis muss zunächst die Start-Ursache (Ausgangs-Ursache, die analysiert werden soll) definiert werden. Diese wird aus dem ausgewählten Problem formuliert. Für die als Bsp. hinterlegte Zahnbürste wäre das ausgewählte Problem die *Verletzung des Zahnfleisches*. Die daraus formulierte Startursache lautet *Zahnbürste beschädigt Zahnfleisch*.

Schritt 3: Diese Ursache wird auf weitere negative Effekte untersucht. Falls keine vorhanden sind, geht man zur Analyse der nächsten übergeordneten Problemursache über. Ist die nächste übergeordnete Problemursache die Startursache, ist die Analyse beendet.

Im Beispiel Zahnbürste ist für die Startursache die in Schritt 3 gestellte Frage mit Ja zu beantworten. Wäre die Antwort nein, würde die Analyse abgebrochen oder auf diese Ursache beschränkt.

Schritt 4: Wenn eine weitere (neue) Ursache identifiziert wurde, wird diese benannt. Im Bsp. werden als Ursachen für die Startursache *Zahnbürste beschädigt Zahnfleisch* zunächst die Ursache *Borsten sind hart* identifiziert.

Schritt 5: Es wird untersucht, ob mehrere auf einer Ebene (also mit einem Pfeil mit derselben übergeordneten Ursache verbundene) identifizierte Ursachen vorhanden sind.

Da bisher für die Zahnbürste nur eine Ursache (*Borsten sind hart*) als Startursache (vgl. Schritt 1) identifiziert wurde, muss diese Frage mit Nein beantwortet werden. Schritt 7: Es wird untersucht, ob die neu formulierte Ursache einen positiven Effekt

verursacht.

Die Frage, ob die Ursache *Borsten sind hart* einen positiven Effekt erzeugt, muss mit Ja beantwortet werden.

Schritt 8: Bewirkt die Ursache einen positiven Effekt, wird dieser formuliert (*Plaque wird entfernt*) und der Widerspruchsursache *Borsten sind hart* zugeordnet.

Schritt 10: Die neu formulierte Ursache wird abschließend klassifiziert. Falls diese keinen positiven Effekt erzeugt und verändert werden kann und darf, wird sie als negativer Effekt klassifiziert. Falls sie nicht veränderbar oder außerhalb der Bearbeitungsaufgabe liegt, ist sie als elementarer negativer Effekt zu klassifizieren. Ein gleichzeitig erzeugter positiver Effekt (neben der Verursachung der übergeordneten Ursache) macht die neu formulierte Ursache zu einem Widerspruch.

Die Ursache *Borsten sind hart* wird als Widerspruch klassifiziert, da diese die übergeordnete Ursache *Zahnbürste beschädigt Zahnfleisch* mit hervorruft und gleichzeitig mit *Plaque wird entfernt* auch ein positiver Effekt erzeugt wird.

Schritt 12: In diesem abschließenden Schritt werden die im Modell definierten Widersprüche analysiert und zur Bearbeitung in der Phase 5 priorisiert. Zur Einschätzung der Widerspruchskonstellationen bietet der *MP 4.16 Root Conflict Analysis* (Anh. C.22, S. 313) Hilfestellungen (vgl. auch [SOUCHKOV 2011]). Diese charakterisieren die Widersprüche anhand von Position und Verknüpfung im Ursachengraph der RCA+ und erleichtern damit die Priorisierung für die Ideenfindung.

Der *MP 4.16 Root Conflict Analysis* integriert die relativ junge TRIZ-Methode *Root Conflict Analysis (RCA+)* in die WA. Die RCA+ eignet sich für die Analyse komplexer Probleme und macht die Formulierung von Widersprüchen fast schon trivial. Sie bietet damit einen Ausgangspunkt für die Nutzung von TRIZ-Werkzeugen zur Widerspruchsanalyse im *MP 5.9 Widersprüche formulieren und lösen* (Anh. D.13, S. 348).

### 5.1.4 Detailziele festlegen (MP 4.17)

Der *MP 4.17 Detailziele festlegen* (Anh. C.23, S. 316) schließt die Bearbeitung der Phase 4 des WA-Arbeitsplans ab. In diesem *Methodenpass* werden die ermittelten Analyseergebnisse zusammengeführt und das weitere Vorgehen für die Phase 5 entschieden. Der *MP 4.17* umfasst 10 Schritte vorgesehen (vgl. Abb. 5.27). Einzelne werden im Folgenden erläutert. Am Bsp. Locher im *MP 4.17 Detailziele festlegen* (Anh. C.23, S. 318) werden diese Erläuterungen ergänzt.

Schritt 5: In diesem Schritt werden die Detailziele für die Ideenfindung der Methodengruppen 4.A, 4.B und 4.C abgeleitet (vgl. Abb. 5.28). Die Ergebnisse der *MG 4.A Funktionen erfassen* werden in der *MG 5.A Effizienz verbessern* verarbeitet. Die Ergebnisse der *MG 4.B Potential analysieren* werden in *MG 5.A Effizienz verbessern* und *MG 5.C Evolution antizipieren* verwendet. Die Ergebnisse der *MG 4.C Probleme analysieren* fließen in die *MG 5.B Probleme lösen* ein.

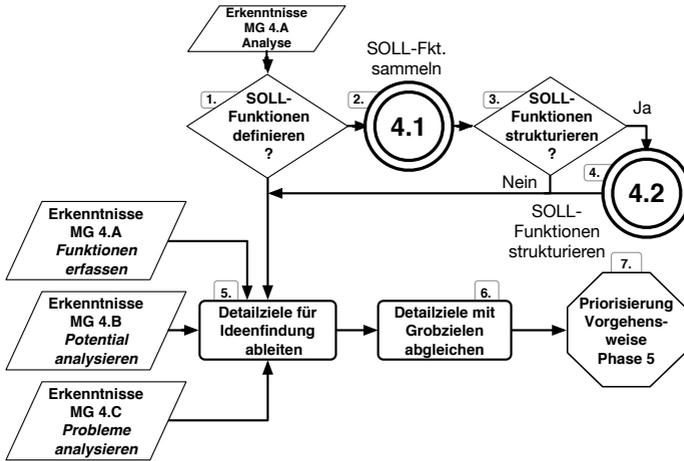


Abb. 5.27: MP 4.17 Detailziele festlegen - Ablaufplan

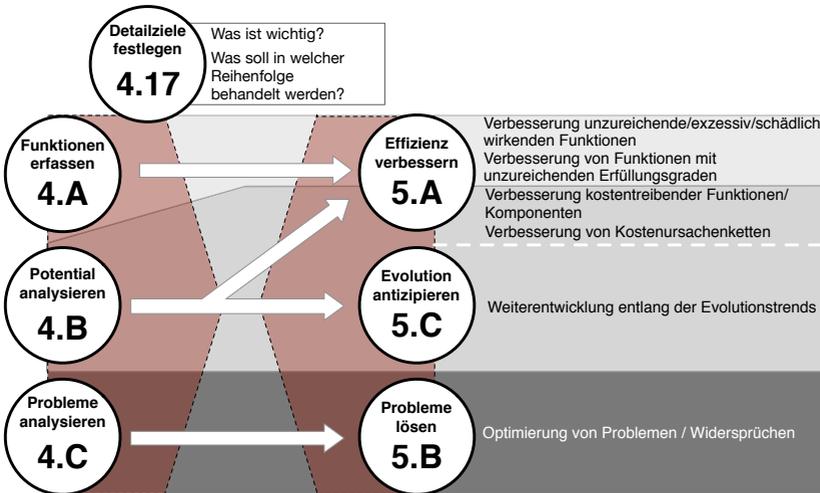


Abb. 5.28: MP 4.17 Detailziele festlegen - Ableitung von Detailzielen

Schritt 6: Abschließend erfolgt ein Abgleich der Detailziele mit den Grobzielen des WA-Projekts. Damit soll sichergestellt werden, dass keine Ansatzpunkte verfolgt werden, die nicht mit den Grobzielen in Verbindung stehen oder diesen sogar widersprechen. Zusätzlich soll dieser Schritt die Reflektion der Grobziele dahingehend fördern, dass diese auch in Frage gestellt werden können.

Der *MP 4.17 Detailziele festlegen* formalisiert den abschließenden Schritt der Phase 4 eines WA-Projekts. Die [VDI 2010a] bietet zu diesem Schritt nur wenig detaillierte Hinweise. Dieser *Methodenpass* bietet hingegen dezidierte Schritte und Hilfen zur Anwendung. Dadurch wird eine effiziente Zusammenführung der Ergebnisse der Phase 4 bei gleichzeitiger Reflektion der Grobziele des WA-Projekts gewährleistet.

## 5.2 PHASE 5: Ideenfindung

Die Phase 5 dient der Entwicklung von Lösungsansätzen für die Verbesserung/Realisierung eines WA-Objekts. In diesem Abschnitt werden daher Vorschläge gemacht, wie WA- und TRIZ-Methoden in der Ideenfindung kombiniert werden können. Insgesamt sind dieser Phase 11 verschiedene *Methodenpässe* in drei *Methodengruppen* zusammengefasst (vgl. *Übersicht Phase 5* (Anh. D.1, S. 319)).

Die *MG 5.A Effizienz verbessern* (Anh. D.3, S. 321) beinhaltet alle Methoden, die zur Senkung von Kosten und zur Steigerung der Funktionalität eingesetzt werden können.

Die *MG 5.B Probleme lösen* (Anh. D.11, S. 346) gruppiert alle Methoden, die systematisch Ansatzpunkte für das Lösen von Problemen bieten können.

Der *MP 5.11 Evolution antizipieren* (Anh. D.15, S. 356) bettet die TRIZ-Evolutionsanalyse in die wertanalytische Arbeit ein.

Wie in der Methodenauswahl zur Phase 4 sind alle *Methodenpässe* ihren jeweiligen *Methodengruppen* zugeordnet und nach ihrer Eignung für Wertverbesserung und Wertgestaltung gruppiert. Im *MP 4.17 Detailziele festlegen* wurde als Abschluss der Phase 4 die Strategie für die Phase 5 festgelegt, die auch als Methodenauswahl dient.

### 5.2.1 Effizienz verbessern (MG 5.A)

Die sieben in der *MG 5.A Effizienz verbessern* (Anh. D.3, S. 321) zusammengefassten *Methodenpässe* ermöglicht die Untersuchung des WA-Objekts auf Potentiale für alternative Funktionsträger sowie Potentiale für Funktionenintegration und Kostensenkung (vgl. Abb. 5.29).

Die SOLL-Betrachtung der Wertanalyse ist im *MP 5.1 Funktionenbasiert Ideen sammeln* formuliert. Hier können in der *Wertgestaltung* weitere Lösungsmöglichkeiten für noch nicht implementierte Funktionen gefunden werden. In der *Wertverbesserung* wird der SOLL-Funktionen-Ansatz genutzt, um eine stärkere Entkopplung der Teammitglieder vom IST-Zustand zu erreichen und Lösungsansätze zu fördern.

## 5 Methodenintegration

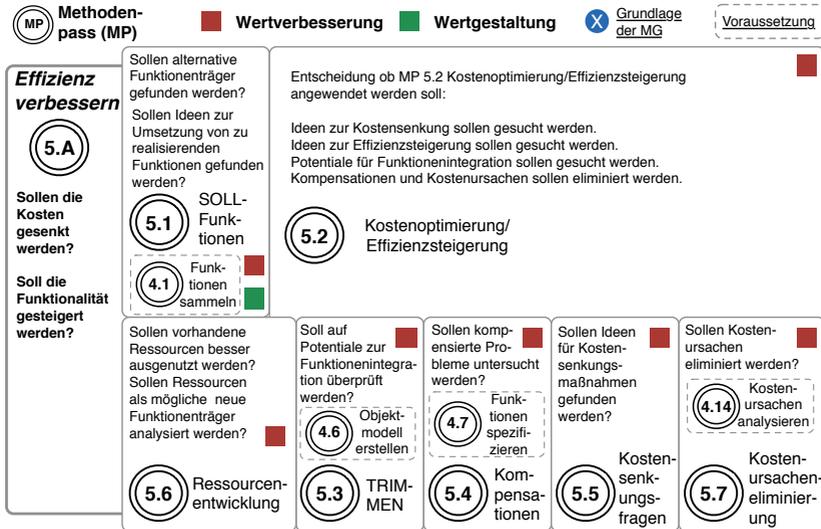


Abb. 5.29: MG 5.A Effizienz verbessern - Methodenauswahl

Methoden zur Kostenoptimierung und Funktionalitätssteigerung sind zusätzlich verankert. Die zugehörigen Methodenpässe sind ausschließlich für die *Wertverbesserung* nutzbar. Zur Anwendung der einzelnen *Methodenpässe* wurde mit dem *MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren* (Anh. D.5, S. 324) ein Instrument entwickelt, das den Anwender schrittweise durch eine ganzheitliche Funktionalitäts- und Kostenoptimierung führt. Die einzelnen Methodenpässe können jedoch auch unabhängig voneinander angewendet werden.

Zur Analyse von Potentialen zur Funktionenintegration auf Komponentenebene wird im *MP 5.3 Komponenten trimmen* (Anh. D.6, S. 329) der gleichnamige Ansatz der TRIZ integriert.

Sind kompensierende Funktionen vorhanden, bietet der *MP 5.4 Kompensierende Funktionen trimmen* (Anh. D.7, S. 333) eine einfache Vorgehensweise zur systematischen Reduktion der durch Kompensation schädlicher Effekte verursachten Kosten. Ist eine Brainstorming-Sitzung zur Kostensenkung von Komponenten (BG oder Teile) gewünscht, kann die Kreativität durch die im *MP 5.5 Kostensenkungsfragen anwenden* (Anh. D.8, S. 336) beschriebenen Kostensenkungsfragen (vgl. Abschnitt 4.3.2) gefördert werden.

Wurde in der Phase 4 eine Kostenursachenanalyse durchgeführt, können die daraus gewonnenen Erkenntnisse im *MP 5.7 Kostenursachen eliminieren* (Anh. D.10, S. 341) die Lösungsentwicklung fördern.

Die Anwendung der TRIZ-Ressourcenentwicklung im *MP 5.6 Ressourcen entwickeln* (Anh. D.9, S. 338) fördert spezifisch die Nutzung der Elemente, die bereits im System vorhanden sind.

**5.2.1.1 Funktionenbasiert Ideen sammeln (MP 5.1)**

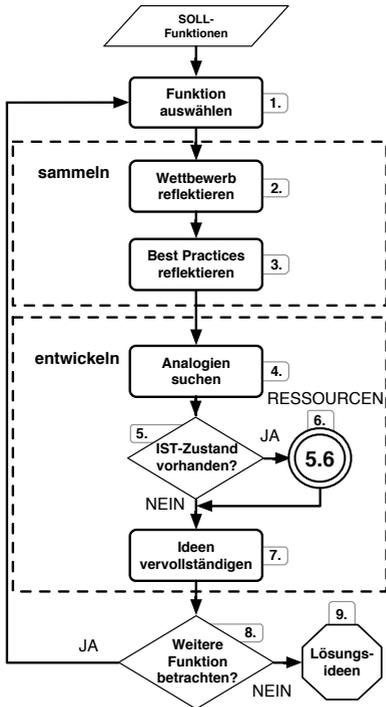


Abb. 5.30: *MP 5.1 Funktionenbasiert Ideen sammeln - Ablaufplan*

im Wettbewerb mit anderen Systemen steht, können Lösungsansätze des Wettbewerbs wertvolle Anregungen liefern. Am Bsp. Kugelschreiber werden vom Wettbewerb realisierte Prinzipie zur Übertragung einer Markierung (per Kugel, Tintenroller, Gelroller und Faserschreiber) analysiert.

Die Sammlung von Ideen zur Realisierung von (SOLL-) Funktionen im *MP 5.1 Funktionenbasiert Ideen sammeln* (Anh. D.4, S. 322) ist ein grundlegendes Element der Ideenfindung in WA-Projekten. Die Nutzung der abstrakt formulierten SOLL-Funktionen (z.B. aus *MP 4.17 Detailziele festlegen*) maximiert die Entkopplung der Teammitglieder vom IST-Zustand und sorgt für eine Aufweitung des möglichen Lösungsraumes. Damit kann eine große Bandbreite an potentiellen Funktionenträgern in Betracht gezogen werden. Kennzeichnend für den *MP 5.1 Funktionenbasiert Ideen sammeln* ist die Suche nach Ideen zur Realisierung von SOLL-Funktionen, Ideen aus Wettbewerbslösungen, Best Practices zur Sammlung vorhandenen Wissens sowie die Nutzung von Analogien und Ressourcen für Ideen zum vorhandenen IST-Zustand. Die definierte 9-schrittige Vorgehensweise soll helfen, das Potential einer Funktionen-basierten Ideenfindung zu nutzen (vgl. Abb. 5.30). Die Entwicklung von Lösungsideen ist in die aus [VDI 2010a] bekannte Schrittfolge *Sammeln* und *Entwickeln* gegliedert.

Einige der Schritte werden im Folgenden erläutert. Am Bsp. des Kugelschreibers in *MP 5.1 Funktionenbasiert Ideen sammeln* (Anh. D.4, S. 323) werden diese ergänzt.

Schritt 2: Zur Sammlung bestehender Ideen werden Lösungsansätze des Wettbewerbs reflektiert. Da das WA-Objekt im Regelfall

## 5 Methodenintegration

Schritt 3: Zur weiteren Sammlung bestehender Ideen werden die *Best Practices* aus der betreffenden Branche vergleichbaren Anwendungsbereichen reflektiert. Im Bsp. Kugelschreiber liefert die Reflektion der Best Practices in anderen Branchen die Funktionsprinzipie Tintenstrahldrucker und Lasermarkierung von Oberflächen.

Schritt 4: Zur Entwicklung von Lösungsideen werden zunächst Analogien benutzt. Die Nutzung der SOLL-Funktion als Grundlage der Suche kann hier Lösungsideen aus völlig anderen Branchen/Anwendungsfällen eröffnen. Im Bsp. Kugelschreiber werden für die Funktion *Markierer übertragen* in der Bionik Analogien zur Dosierung und Übertragung von Flüssigkeiten (Tintenfisch, Speikobra, Spinne) identifiziert und auf Anwendbarkeit untersucht.

Schritt 6: Statt nach Alternativen außerhalb der bisherigen Implementierung zu suchen, wird im *MP 5.6 Ressourcen entwickeln* (Anh. D.9, S. 338) auf die Nutzung von bereits im und um das WA-Objekt vorhandener potentieller Funktionsträger gesucht. Sie ist daher eine stark auf Effizienzsteigerung zielende Methode. Sie kann insbesondere in Kombination mit der Suche nach Analogien (“Wie könnte man dieses Lösungsprinzip mit meinen Ressourcen umsetzen?”) eingesetzt werden.

Schritt 7: Dieser Schritt dient abschließend der Vervollständigung der Ideen. Dazu werden in *MP 5.1 Ideen für SOLL-Funktionen sammeln* (Anh. D.4, S. 323) einige Moderationsfragen gegeben.

Der *MP 5.1 Funktionenbasiert Ideen sammeln* formalisiert die SOLL-Funktionenbasierte Ideenfindung. Durch eine gegenüber der [VDI 2010a] detailliertere Vorgehensweise zur Sammlung und Entwicklung von Lösungsideen und der Nutzung von Hilfsfragen wird eine Ideenfindung effizienter gestaltet. Die optionale Integration des TRIZ-Ressourcenansatzes (vgl. *MP 5.6 Ressourcen entwickeln*) führt für die Anwender zu einem Perspektivwechsel auf bisher ungenutzte Ressourcen des WA-Objekts oder seiner direkten Umgebung.

### 5.2.1.2 Kosten/Funktionalität optimieren (MP 5.2)

Der *MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren* (Anh. D.5, S. 324) ist das Herzstück der Methodengruppe *Effizienz steigern*. Die Anwendung des *MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren* ist im Kapitel 6 erläutert. Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte ganzheitliche Vorgehensweise dieses *Methodenpasses* vereint verschiedene TRIZ-Methoden und neu entwickelte Ansätze, um Ideen für die Verbesserung von Kosten und Funktionalität zu sammeln. In drei Bereiche aufgeteilt, fokussiert sich das Vorgehen nach dem Prinzip „Vom Groben ins Feine“. Dies geschieht schrittweise bis zu den Details der Funktionenimplementierung.

Im ersten Bereich (Schritte 2–5, vgl. Abb. 5.31) werden Ideen für das Trimmen von Funktionen gesammelt. Hierbei konzentriert sich die Bearbeitung auf überflüssige und kompensierende Funktionen mit dem Ziel, deren Funktionsträger entfallen zu lassen oder zu vereinfachen.

Im zweiten Bereich (Schritte 6–9, vgl. Abb. 5.31) werden Ideen für das Trimmen von

5.2 PHASE 5: Ideenfindung

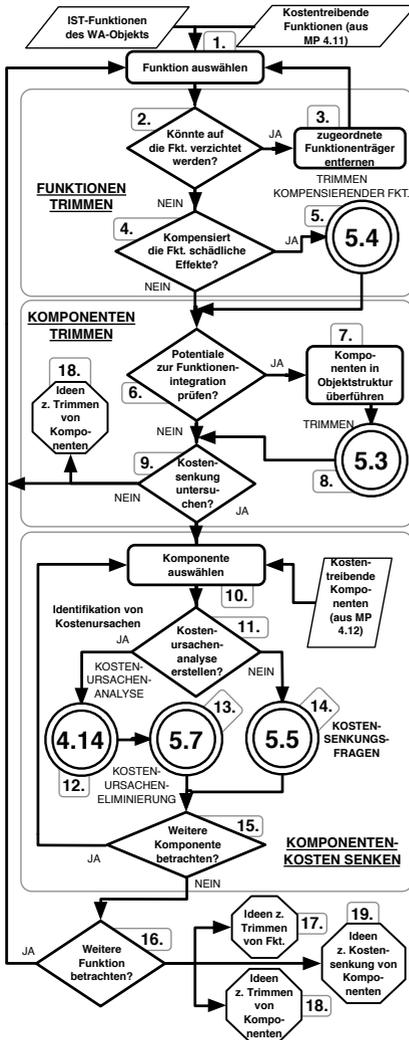


Abb. 5.31: MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren - Ablaufplan

Komponenten gesammelt. Dazu wird der Trimmen-Ansatz der TRIZ angewendet (Grundlagen vgl. Abschnitt 2.3.3.7).

Im dritten Bereich (Schritte 10–15, vgl. Abb. 5.31) werden Ideen zur Kostensenkung der verbleibenden Komponenten, ggf. auf Grundlage von Kostenursachenanalysen gesucht.

Zur Bearbeitung der drei Bereiche ist der MP 5.2 *Kosten/Funktionalität optimieren* in 16 Schritte aufgeteilt. Auf einige Schritte wird im Folgenden eingegangen.

Schritt 2: Die Bearbeitung zielt auf die Sinnhaftigkeit der ausgewählten Funktion ab. Es wird direkt abgefragt, ob auf die ausgewählte Funktion verzichtet werden kann. Zur Unterstützung der Abfrage werden im MP 5.2 *Kosten/Funktionalität optimieren* (Anh. D.5, S. 325) Moderationsfragen vorgeschlagen. Schritt 3: Falls der Anwender entschieden hat, dass die betrachtete Funktion unnötig ist, werden in diesem Schritt alle Funktionsträger, die die ausgewählte Funktion implementieren, identifiziert und wenn möglich eliminiert. Selbst bei Funktionsträgern die aufgrund anderer auszuführender Funktionen nicht eliminiert werden können, kann möglicherweise Aufwand eingespart werden, wenn die ausgewählte Funktion nicht mehr ausgeführt werden muss.

Schritt 5: Für eine als kompensierend identifizierte Funktion wird durch Anwendung des MP 5.4 *Kompensierende Funktionen trimmen* (Anh. D.7, S. 333) versucht, entweder die Notwendigkeit zur Kompensation zu eliminieren oder den notwendigen Aufwand für die Kompensation zu verringern.

## 5 Methodenintegration

Schritt 6: In diesem Schritt wird abgefragt, ob Potentiale zur Funktionenintegration gesucht werden sollen. Eine solche Analyse ist insbesondere sinnvoll, wenn viele kostentreibende Komponenten (vgl. *MP 4.12 Komponenten-Potential-Analyse*) im WA-Objekt vorhanden sind. Aus dem Objektmodell (vgl. *MP 4.6 Objektmodell erstellen*) können weitere Indizien wie Komponenten mit nicht vorhandenen oder sehr wenigen von ihnen ausgehenden Aktionen genutzt werden. Der *MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren* fasst die genannten Aspekte als Entscheidungshilfen zusammen.

Schritt 7: Zur Anwendung des *MP 5.3 Komponenten trimmen* müssen zuerst die an der Ausführung der ausgewählten Funktion beteiligten Komponenten in ein lokales Objektmodell mit Komponenten und Aktionen überführt werden. Dazu ist im *MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren* im Schritt 7 eine Vorgehensweise hinterlegt (vgl. Abb. 5.32), die im Folgenden erläutert wird.

Schritt 7.1: Für die zu analysierende Funktion werden die an ihrer Realisierung beteiligten Funktionsträger (Komponenten) identifiziert. Eine Hilfestellung kann hier die Funktionen-Komponenten-Zuordnungsmatrix aus dem *MP 4.10 Funktionen Kosten zuordnen* bieten.

Schritt 7.2: Für die Funktion wird die Zielkomponente erfasst. Als Zielkomponente wird die Komponente bezeichnet, auf die die Aktion der zu analysierenden Funktion wirkt (Bsp. Zielkomponente einer Funktion: *Welle drehen* ist die Funktion. Die Zielkomponente der Funktion ist die *Welle*). Die Zielkomponente ist der Ausgangspunkt der Modellierung des „lokalen“ Objektmodells in den folgenden Schritten.

Schritt 7.3: Eine Komponente wird zur Bearbeitung ausgewählt. Diese kann auch eine in Schritt 7.2 erfasste Zielkomponente sein. Die Dokumentation der Schritte 7.3 bis 7.5 kann zunächst tabellarisch erfolgen.

Schritt 7.4: Für die ausgewählte Komponente werden die auf sie einwirkenden Aktionen mit ihren Komponenten erfasst.

Schritt 7.5: Für die ausgewählte Komponente werden die ausgehenden Aktionen mit den damit interagierenden Komponenten erfasst.

Schritt 7.7: Die erfassten Verknüpfungen werden modelliert. Dadurch ergibt sich ein „lokales“ Objektmodell für die zu analysierte Funktion. Sollten bei der Anwendung des *MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren* weitere Funktionen auf Funktionenintegrationspotentiale untersucht werden, kann das erstellte „lokale“ Objektmodell erweitert werden.

Das iterative Erfassen von Aktionen zwischen den Komponenten ergibt schnell ein Bild der wesentlichen Interaktionen in Bezug auf die zu analysierende Funktion. Im Schritt 8 können dann die modellierten Komponenten und Interaktionen im *MP 5.3 - Trimmen* (Anh. D.6, S. 329) auf Funktionenintegrationspotentiale untersucht werden.

Ein Kritikpunkt an dieser Vorgehensweise könnte sein, dass durch die nur partielle Modellierung des WA-Objekts (also nur einer Funktion plus interagierender Komponenten) Potentiale zur Funktionenintegration bei Durchführung des *MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren* übersehen werden könnten.

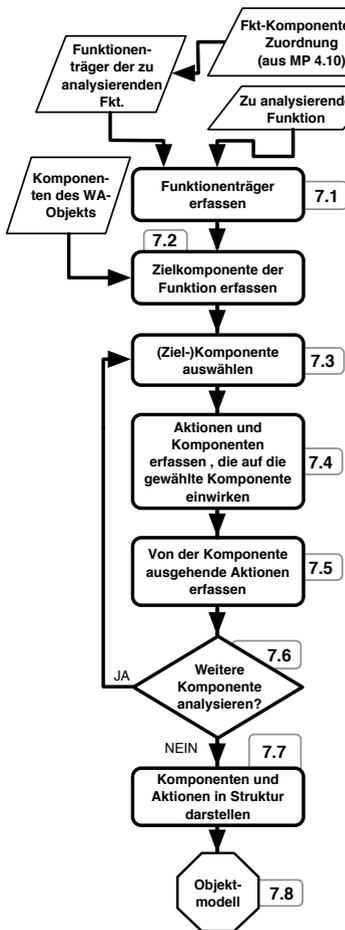


Abb. 5.32: MP 5.2 *Kosten/Funktionalität optimieren* - Objektmodell aus Komponenten-Aktionen-Liste

Aus Sicht des Autors ist diese Gefahr relativ gering. Der MP 5.3 *Komponenten trimmen* stellt über eine strukturierte Vorgehensweise und unterstützt durch viele Moderationsfragen sicher, dass alle relevanten Komponenten in die Betrachtung einbezogen werden. Im anderen Extrem ist ein vollständiger Verzicht auf die Modellierung jedoch nicht zu empfehlen, da das Aufstellen des Objektmodells den Horizont des Anwenders für möglicherweise zu nutzende Komponenten erweitert.

Schritt 10: In diesem Schritt wird eine Komponente ausgewählt, die an der Realisierung der ausgewählten Funktion beteiligt ist. Im Prinzip kann jede der in Frage kommenden Komponenten ausgewählt werden. Es ist sinnvoll, zunächst die kostentreibenden Komponenten zu bearbeiten. Der MP 5.2 *Kosten/Funktionalität optimieren* liefert hier Entscheidungshilfen in Form von Moderationsfragen.

Schritt 11: Für das weitere Vorgehen muss entschieden werden, ob die Durchführung einer Kostenursachenanalyse (vgl. MP 4.14 *Kostenursachen analysieren*) mit der darauf folgenden Anwendung von MP 5.7 *Kostenursachen eliminieren* (Anh. D.10, S. 341) gewünscht ist. Deren Durchführung ist insbesondere sinnvoll, wenn es sich bei der betrachteten Komponente um eine komplexe Baugruppe handelt, in der die Kostenverursachung unklar ist bzw. die Auswirkungen von Entwicklungsentscheidungen auf die Kosten nicht gut eingeschätzt werden können. Ist die Durchführung der Analyse gewünscht, werden die Schritte 12 und 13 ausgeführt. Falls keine Analyse gewünscht ist, können die in MP 5.5 *Kostenenkunftsfragen anwenden* (Anh. D.8, S. 336) hinterlegten Kostenenkunftsfragen zur Anregung von kostensenkenden Ideen genutzt werden.

Ein Ergebnis des MP 5.2 *Kosten/Funktionalität optimieren* sind Ideen, die das Trimmen von kompletten Funktionen betreffen. Jede Funktion die vom WA-Objekt nicht ausgeführt werden muss, spart Aufwand bei

## 5 Methodenintegration

den Komponenten. Zusätzlich können Ideen zur Trimmung von Komponenten bzw. ggf. Teilen von Komponenten generiert werden. Dadurch wird das WA-Objekt effizienter, da es alle geforderten Funktionen mit weniger Aufwand ausführt. Abschließend werden Ideen zur Kostensenkung von Komponenten entwickelt.

Der *MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren* fügt der WA einen neuartigen TRIZ-inspirierten systematischen Ansatz zur Suche nach Potentialen für Funktionenintegration und Kostensenkung hinzu. Die Vorgehensweise in drei übergeordneten Stufen fördert den Perspektivwechsel und führt den Anwender unter Einbindung weiterer MP systematisch durch die Optimierung. Er erlaubt zudem eine flexible Anpassung des zu betreibenden Aufwands.

### 5.2.1.3 Komponenten trimmen (MP 5.3)

Der *MP 5.3 Komponenten trimmen* (Anh. D.6, S. 329) integriert den *Trimmen*-Ansatz der TRIZ (Grundlagen vgl. Abschnitt 2.3.3.7) zur Ermittlung von Potentialen durch Funktionenintegration in die WA. Die Nutzung innerhalb der WA ist sinnvoll, da das *Trimmen* einen einzigartigen leicht durchzuführenden Prozess zur systematischen Eliminierung von Komponenten bei gleichzeitiger Übertragung der Aktion auf andere Komponenten bietet.

Zur Durchführung des *Trimmen* werden Komponenten und deren Aktionen benötigt (Grundlagen vgl. Abschnitt 2.3.3.6). Diese können entweder durch die Nutzung eines Objektmodells (vgl. *MP 4.6 Objektmodell erstellen*) oder durch die Vorgehensweise in *MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren* bereitgestellt werden. Das zum *MP 5.3 Komponenten trimmen* gehörende Beispiel der *Etikettenklebemaschine* ist in Kapitel 6 erläutert.

Zur Unterstützung des *Trimm*-Prozesses definiert der *MP 5.3 Komponenten trimmen* 12 Schritte. Die Vorgehensweise orientiert sich dabei an Ansätzen von u.a. [INVENTION MACHINE 2000], [GADD 2011] und [KOLTZE et al. 2011] (Grundlagen vgl. Abschnitt 2.3.3.7). Im Folgenden werden einige der Schritte erläutert.

Schritt 4: Wird eine Aktion nicht benötigt, kann die sie ausführende Komponente entweder entfallen oder zumindest vereinfacht werden. Dadurch kann der Aufwand für diese Komponente reduziert werden. Kann die Komponente komplett eliminiert werden oder führt die Komponente keine weitere Aktion aus, wird zu Schritt 1 zur Auswahl einer anderen Komponente zurückgesprungen. Wird die Komponente „nur“ vereinfacht, wird zu Schritt 2 zurückgesprungen, um eine weitere Aktion zu analysieren.

Schritt 5: Mit diesem Schritt beginnt der eigentliche *Trimm*-Prozess der TRIZ. Dazu wird zunächst abgefragt, ob die Zielkomponente, also das Objekt der von der analysierten Komponente ausgehenden Aktion, die benötigte Aktion nicht direkt selbst ausführen kann. Hierzu können dann Ideen formuliert werden. *MP 5.3 Komponenten trimmen* (Anh. D.6, S. 330) bietet zu diesem Schritt unterstützende Hilfsfragen.

Schritt 6: In diesem Schritt werden die *Trimm*-Ansätze zur Übernahme der Aktion durch eine andere Komponente als Ideen Anregung verwendet. In der TRIZ-Literatur

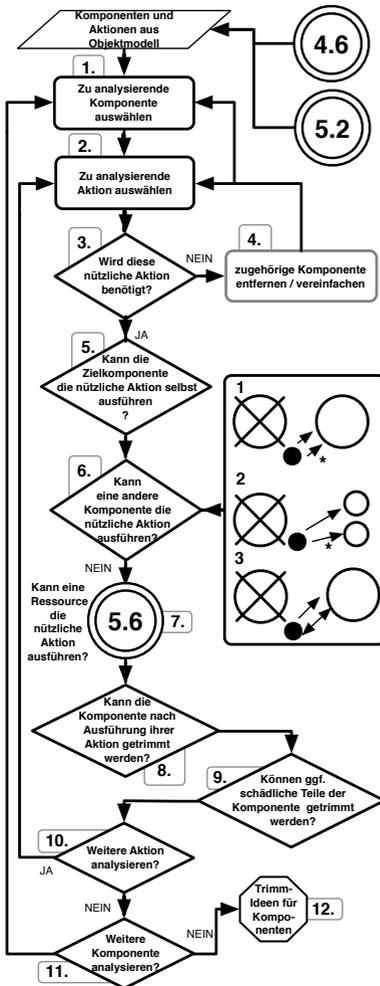


Abb. 5.33: MP 5.3 Komponenten trimmen - Ablaufplan

(vgl. Abschnitt 2.3.3.7) sind drei verschiedene Fälle definiert.

Im ersten Fall soll eine Komponente, die bereits eine ähnliche Aktion an der Zielkomponente ausführt, die analysierte Aktion mit übernehmen.

Im zweiten Fall soll eine Komponente, die bereits eine ähnliche Aktion an einer anderen Zielkomponente ausführt, die analysierte Aktion mit übernehmen.

Im dritten Fall soll eine Komponente, die bereits mit der Zielkomponente interagiert, die analysierte Aktion mit übernehmen.

Der *MP 5.3 Komponenten trimmen* (Anh. D.6, S. 330) bietet eine Visualisierung und unterstützende Moderationsfragen.

Schritt 8: Ein weiterer Ansatz ist das zeitliche *Trimmen* der analysierten Komponente. Ziel ist das *Trimmen* der Komponente, nach Ausführung der nützlichen Aktion. Dazu ist im *MP 5.3 Komponenten trimmen* unten ein *System Operator* mit Moderationsfragen dargestellt.

Schritt 9: In diesem Schritt wird abgefragt, ob vielleicht nur schädliche Teile der analysierten Komponente getrimmt werden können. Dies kann interessant sein, wenn eine sehr funktionale Komponente<sup>61</sup> gleichzeitig viele schädliche Aktionen verursacht. In diesem Schritt können Ideen entwickelt werden.

Durch die Integration des *MP 5.3 Komponenten trimmen* wird der WA dezidiert die Fähigkeit hinzugefügt, systematisch nach Potentialen zur Funktionenintegration zu suchen. Dieser kann sowohl direkt in Verbindung mit einem Objektmodell (vgl. *MP 4.6 Trimmen*) wie auch untergeordnet im *MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren* angewendet werden. Die Anwendung wird durch zahlreiche Hilfen unterstützt. Die Nutzung des *Trimmen*-Ansatzes in der WA

<sup>61</sup>Die Funktionalität einer Komponente steigt mit der Anzahl der ausgeführten nützlichen Aktionen

steigert die Effizienz im Projektablauf, da viel gezielter nach Lösungsansätzen gesucht werden kann, als dies mit „traditionellem“ Brainstorming der Fall ist.

5.2.1.4 Kompensierenden Funktionen trimmen (MP 5.4)

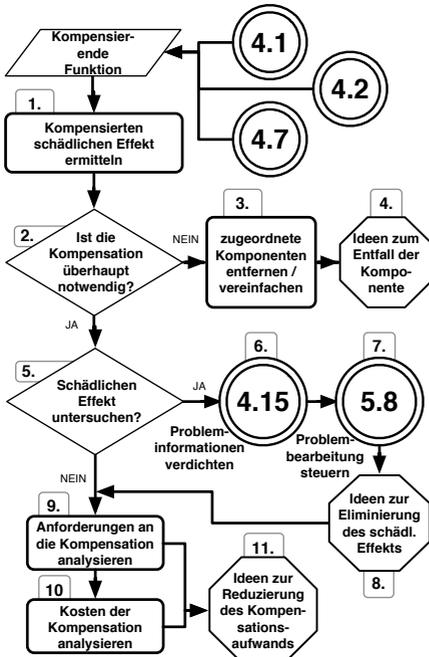


Abb. 5.34: MP 5.4 Kompensierende Funktionen trimmen - Ablaufplan

Im MP 5.4 *Kompensierende Funktionen trimmen* (Anh. D.7, S. 333) werden Schritte definiert, die das Analysieren, Minimieren und im Idealfall Eliminieren von Kompensationsmaßnahmen unterstützen. Kompensierende Funktionen können hohen Aufwand verursachen. Die Kompensation eines schädlichen Effekts kann als TRIZ-Widerspruch formuliert werden, für den im Idealfall ein Lösungsansatz gefunden werden kann. Dadurch könnte die Kompensation komplett entfallen.

Gelingt dies nicht, sollten Ansätze zur Minimierung des Aufwands für die Kompensation gefunden werden. Kompensierende Funktionen können in den MP 4.1 *Funktionen sammeln*, in den im MP 4.2 *Funktionsstrukturierung planen* gruppierten Funktionsstrukturen und MP 4.7 *Funktionen spezifizieren* identifiziert werden.

Im MP 5.4 *Trimmen von Kompensierenden Funktionen* ist eine Vorgehensweise mit 9 Schritten definiert. Wie im MP 5.2 *Kosten/Funktionalität optimieren* wird auch hier eine Vorgehensweise vom „Groben ins Feine“ gewählt. Einige der Schritte werden im Folgenden erläutert.

Schritt 1: Es wird der schädliche Effekt identifiziert, der die vorliegende Kompensation überhaupt erforderlich macht. Der MP 5.4 *Kompensierende Funktionen trimmen* (Anh. D.7, S. 334) gibt hierzu Unterstützung durch Moderationsfragen, die den schädlichen Effekt und seine Entstehung angeht an den MP 4.15 *Probleminformationen verdichten* beschreiben helfen. Für das Bsp. der elektrischen Lenkunterstützung im MP 5.4 *Kompensierende Funktionen trimmen* (Anh. D.7, S. 335) wurden mit *Wärme ableiten*, *Spannungsrippel minimieren* und *Abstrahlung (EMV) minimieren* drei kompensierende Funktionen

identifiziert. Exemplarisch wird für *Wärme ableiten* festgestellt, dass der kompensierte schädliche Effekt die durch elektrischen Widerstand entstehende Verlustwärme ist, die das System aufheizt.

Schritt 5: Es wird entschieden, ob der zugrundeliegende schädliche Effekt untersucht werden soll. Dies ist sinnvoll, wenn der schädliche Effekt ein schwerwiegendes Problem darstellt. Eine Anwendung der TRIZ-Methoden erfolgt über den *MP 5.8 Problembearbeitung steuern* (Anh. D.12, S. 347) in Schritt 7. Ideen zur Eliminierung des schädlichen Effekts werden entwickelt. Wenn der schädliche Effekt wegfällt, kann die Kompensation ebenfalls entfallen.

Im Bsp. Ist die Ursache für den durch *Wärme ableiten* verursachten schädlichen Effekt die Stromleitung (Funktion *Strom leiten*). Die Kostensenkung der Kompensation konzentriert sich daher auf die Reduzierung der auftretenden Ströme und die Verringerung des Widerstands stromführender Komponenten.

Schritt 10: In diesem Schritt werden die Kosten der Kompensation selbst untersucht. Ideen in diesem Schritt zielen darauf ab, bei konstanten Anforderungen die Kompensation günstiger zu realisieren. Der *MP 5.4 Kompensierende Funktionen trimmen* liefert zur Unterstützung einige Moderationsfragen.

Maßnahmen zur Kostensenkung der Kompensationen in der elektrischen Lenkunterstützung konzentrieren sich auf die Verringerung des Stromflusses und des elektrischen Widerstands der Komponenten.

Der *MP 5.4 Kompensierende Funktionen trimmen* erweitert die WA um die Perspektive „Optimierung von Kompensationsmaßnahmen“. Eine Vorgehensweise zur expliziten Eliminierung von Kompensationsmaßnahmen unterstützt die Suche nach Lösungsideen, um möglichst günstig schädliche Effekte zu kompensieren. TRIZ-Ansätze werden eingebunden, um gezielt Ursachen für Kompensationsmaßnahmen zu eliminieren. Die Anwendung wird durch eine einfache Vorgehensweise und Hilfsfragen unterstützt.

### 5.2.1.5 Kostensenkungsfragen anwenden (MP 5.5)

Der *MP 5.5 Kostensenkungsfragen anwenden* (Anh. D.8, S. 336) dient der Anwendung der in Abschnitt 4.3.2 entwickelten Kostensenkungsfragen. Der Moderator kann durch die Nutzung der Schlagworte systematisch mögliche Kostensenkungen mit dem Team abarbeiten. Zur Nutzung im WA-Projekt definiert der *MP 5.5 Kostensenkungsfragen anwenden* eine Vorgehensweise mit sechs Schritten (vgl. Abb. 5.35). Einzelne Schritte werden im Folgenden erläutert.

Schritt 0: Das analysierte Objekt kann ein WA-Objekt oder eines von dessen Subsystemen oder Komponenten sein.

Schritt 1: Zunächst wird abgefragt, ob im konkreten Anwendungsfall ein Vorfiltern der Kostensenkungsfragen den zugeordneten *Innovationsprinzipien (IP)* notwendig ist. Dies kann u.a. der Fall sein, wenn die Kostensenkungsfragen im Rahmen des *MP 5.7 Kostenursachen eliminieren* (Anh. D.10, S. 341) einzelne *Innovationsprinzipien* vorgegeben werden (vgl. Abschnitt 5.2.1.7).

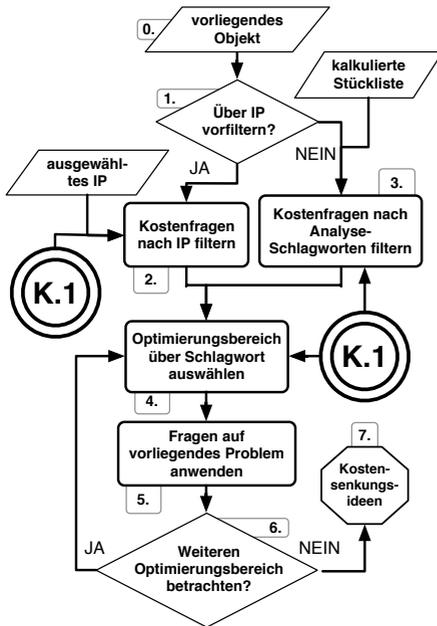


Abb. 5.35: MP 5.5 Kostensenkungsfragen anwenden - Ablaufplan

*MP 5.5 Kostensenkungsfragen anwenden* werden die verschiedenen Kostensenkungsfragen sortiert nach Optimierungs-Schlagworten durchgearbeitet. Als Beispiel empfehlen Kostensenkungsfragen für das Optimierungs-Schlagwort *Gestalten* u.a. die Reduzierung von Anforderungen an Oberflächenqualitäten und Toleranzen sowie die Reduzierung der zu bearbeitenden Flächen.

Durch den *MP 5.5 Kostensenkungsfragen anwenden* werden auf TRIZ-Lösungsprinzipien basierende Anregungen für die Kostensenkung zur Verfügung gestellt. Zusätzlich wird die Anwendung der Innovationsprinzipien in *MP 5.9 Widersprüche formulieren und lösen* (Anh. D.13, S. 348) um Anregungen von Kostensenkungs-ideen erweitert. Die Nutzung der Kostensenkungsfragen verbessert die Kreativität, liefert konkrete Anregungen und steigert damit die Effizienz der Phase 5 des WA-Projekts.

### 5.2.1.6 Ressourcen entwickeln (MP 5.6)

Der *MP 5.6 Ressourcen entwickeln* (Anh. D.9, S. 338) definiert die Anwendung der TRIZ-Ressourcenanalyse im WA-Projekt (Grundlagen vgl. Abschnitt 2.3.3.8). Der

Schritt 3: Falls keine Filterung über vorgegebene Innovationsprinzipien gewünscht ist, kommt die Filterung über Analyse-Schlagworte zum Einsatz. Dazu werden dem Objekt Analyse-Schlagworte zugeordnet. Im Idealfall geschieht dies auf Grundlage einer kalkulierten Stückliste.

Für die Kostensenkung der Welle in *MP 5.5 Kostensenkungsfragen anwenden* (Anh. D.8, S. 337) wird die Liste der Kostensenkungsfragen nach dem Analyse-Schlagwort *Bearbeitungskosten* gefiltert.

Schritt 5: Dieser Schritt dient der eigentlichen Anwendung der gefilterten Kostensenkungsfragen. Dazu werden diese auf das betrachtete Objekt angewendet. So würde z.B. bei Filterung nach dem Analyse-Schlagwort *Materialkosten* und der Anwendung des Optimierungs-Schlagwortes *Gestaltung* die Kostensenkungsfrage *„Kann die Komponente Funktionen anderer Komponenten mit übernehmen“* eine Diskussion über Möglichkeiten zur Funktionenintegration initiieren. Für die Kostensenkung der Welle in *MP 5.5 Kostensenkungsfragen anwenden*

Ressourcenansatz der TRIZ wird aufgegriffen, da dieser die Lösung von Problemen

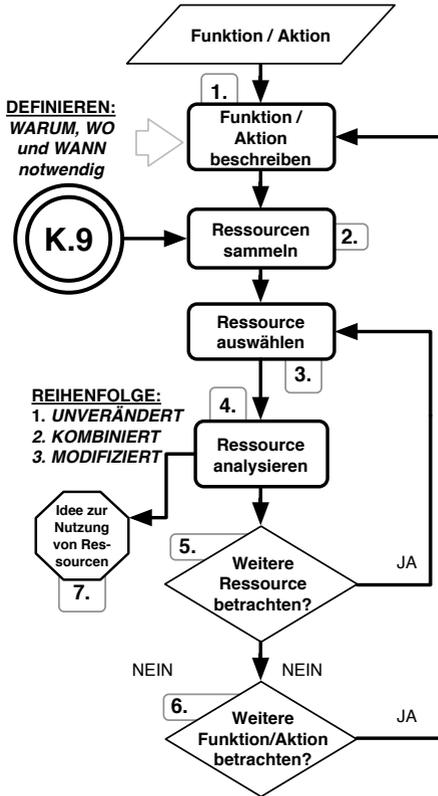


Abb. 5.36: MP 5.6: Ressourcenentwicklung - Ablaufplan

wendigen Funktion/Aktion zu definieren. Dies alleine kann schon anregen, über eine örtliche oder zeitliche Verschiebung der Nutzung einer Ressource nachzudenken. Für das Problem der Temperaturmessung in einem Getriebegehäuse in MP 5.6.2 *Ressourcenentwicklung* (Anh. D.9, S. 340) wird zunächst die notwendige Funktion/Aktion beschrieben. Im vorliegenden Getriebe müssen zu hohe Temperaturen detektiert werden, um das System vor Beschädigungen zu schützen. Die Temperaturmessung muss während des Betriebes innerhalb des Getriebegehäuses erfolgen.

mit minimalen Aufwand fördert. Dazu wird die Nutzung von vorhandenen Elementen und Eigenschaften innerhalb eines WA-Objekts oder direkt in dessen Umfeld forciert. Das Lösen von der jetzigen Implementierung durch Beschreiben und Gruppieren von Ressourcen kennzeichnet diese Methode und macht die Integration in die WA lohnenswert.

In Verbindung mit der in MP 5.1 *Funktionenbasiert Ideen sammeln* beschriebenen Ideenfindung lenkt die Ressourcenentwicklung den Blick auf die Nutzung bereits vorhandener Möglichkeiten zur Realisierung von Funktionen. Dies geschieht in Verbindung mit dem in MP 5.3 *Komponenten trimmen* beschriebenen Ansatz. Die in dieser Arbeit beschriebene Ressourcenentwicklung orientiert sich an [MÜLLER 2006], [PANNENBÄCKER 2007] und [GADD 2011] (weitere Ergänzungen in [MANN 2002]).

Die Ressourcenentwicklung erfolgt in 7 Schritten (vgl. Abb. 5.36). Einige Schritte werden im Folgenden näher erläutert.

Schritt 1: Die zu analysierende Funktion oder Aktion wird beschrieben. Die Funktion/Aktion wird vom Anwender bzw. vom Methodenpass vorgegeben. Zur Vorbereitung der Ressourcensammlung ist es erforderlich, Ort und Zeitpunkt der not-

## 5 Methodenintegration

Schritt 2: Die verfügbaren Ressourcen werden gesammelt. Dabei werden diese den im Katalog K.9 (vgl. Anhang G) hinterlegten Ressourcen zugeordnet. Im *MP 5.6 Ressourcen entwickeln* (Anh. D.9, S. 339) sind weitere Hilfestellungen für die Identifikation von Ressourcen gegeben (vgl. u.a. [GADD 2011] und [ZLOTIN 2005]).

Innerhalb des Getriebes im Bsp. in *MP 5.6 Ressourcen entwickeln* sind eine Fülle an verschiedenen Ressourcen vorhanden. Alle diese könnten potentiell zur Temperaturmessung beitragen. Für die Temperaturmessung wird im Schritt 3 exemplarisch das *Gleitlager* als zu analysierende Ressource gewählt.

Schritt 4: Die gesammelten Ressourcen werden nun einzeln analysiert. Die Auswahl einer Ressource zur Analyse geschieht in diesem Schritt. Dazu werden die Ressourcen in den drei Abstufungen *unverändert*, *kombiniert* und *modifiziert* analysiert.

Die Herangehensweise entspricht dem TRIZ-Konzept der Minimal- und Maximalprobleme (vgl. u.a. [ORLOFF 2006]). Zunächst wird immer versucht, ein Problem mit möglichst geringen Änderungen am Objekt zu lösen (Minimalproblem). Erst wenn dies fehlschlägt, werden tiefgreifendere Änderungen in Betracht gezogen (Maximalproblem).

Falls eine Nutzung der unveränderten Ressource nicht gelingt, werden Möglichkeiten gesucht, die ausgewählte unveränderte Ressource in Kombination mit einer anderen Ressource als Lösungsansatz zu nutzen.

Falls die Nutzung einer kombinierten Ressource ebenfalls fehlschlägt, wird im Sinne der Lösung des Maximalproblems untersucht, ob die modifizierte Ressource als Lösungsansatz eingesetzt werden kann.

Für die Temperaturmessung kann die zur Analyse ausgewählte Ressource *Gleitlager* genutzt werden. Durch die bei steigenden Temperaturen auftretende Wärmedehnung verändert sich der Abstand zwischen Aussen- und Innenring des Gleitlagers. Bei Nutzung des Innenrings als kapazitivem Geber und des Außenrings als kapazitivem Widerstand kann mit Hilfe einer Messanordnung die Änderung der Spaltbreite als Änderung der elektrischen Kapazität gemessen werden. Die Änderung der elektrischen Kapazität kann über empirische Untersuchungen mit der Temperaturentwicklung im Getriebe korreliert werden.

Der *MP 5.6 Ressourcen entwickeln* fügt der WA eine weitere, auf Effizienzsteigerung eines bestehenden WA-Objekts zielende Methode hinzu. Die Anwendung des Ressourcenansatzes wird durch eine einfache Vorgehensweise und einfache Hilfsfragen und Beschreibungen unterstützt. Die TRIZ-Ressourcenanalyse bietet der WA eine weitere Möglichkeit, den IST-Zustand aus einer anderen Perspektive heraus zu optimieren. Sie fördert das Systemverständnis und regt Lösungsansätze an, die sonst leicht übersehen werden.

### 5.2.1.7 Kostenursachen eliminieren (MP 5.7)

Der *MP 5.7 Kostenursachen eliminieren* (Anh. D.10, S. 341) wurde bereits in Abschnitt 4.3.1.1 beschrieben. Als Anwendungsbeispiel ist im *MP 5.7 Kostenursachen eliminieren* (Anh. D.10, S. 344) die in Abschnitt 4.3.1.3 beschriebene Welle eines Getriebes hinterlegt.

## 5.2.2 Probleme lösen (MG 5.B)

Die *MG 5.B Probleme lösen* (Anh. D.11, S. 346) ermöglicht die Anwendung der TRIZ-Werkzeuge zu Widerspruchsauflösung und Stoff-Feld-Analyse. Sie erweitert die Wertanalyse um die beiden wesentlichen Problemlösungs-Werkzeuge der TRIZ. Dadurch kann eine Suche nach Lösungsansätzen für schwerwiegende Probleme (hoher Problemgrad) sehr systematisch erfolgen.



Abb. 5.37: *MG 5.B Probleme lösen* - Methodenauswahl

Die *Methodengruppe* besteht aus drei *Methodenpässen* (vgl. Abb. 5.37). Der *MP 5.8 Problembearbeitung steuern* (Anh. D.12, S. 347) unterstützt die Wahl der Lösungsstrategie. Abhängig vom vorliegenden Problemgrad werden entweder klassische Kreativitätstechniken wie Brainstorming/Brainwriting oder TRIZ-Werkzeuge zur Problemlösung eingesetzt.

Sind Widersprüche vorhanden, sollte der *MP 5.9 Widersprüche formulieren und lösen* (Anh. D.13, S. 348) angewendet werden. Sind keine Widersprüche sinnvoll zu formulieren, sollte der *MP 5.10 Stoff-Feld-Modelle aufstellen und verbessern* (Anh. D.14, S. 351) angewendet werden. Diese Aufteilung bietet ein sehr einfaches Kriterium zur Methodenanwendung. In der Praxis gibt es immer Fälle, in denen der eine oder der andere *Methodenpass* besser für die Suche nach Lösungsansätzen geeignet ist. Diese Fälle lassen sich jedoch nur sehr schwer verallgemeinern, da sie stark vom jeweiligen Problem abhängen. Der *MP 5.8 Problembearbeitung steuern* bietet zumindest eine Auswahlempfehlung.

### 5.2.2.1 Problembearbeitung steuern (MP 5.8)

Der *MP 5.8 Problembearbeitung steuern* (Anh. D.12, S. 347) verknüpft verschiedene TRIZ-Methoden und klassische Kreativitätstechniken wie Brainstorming, um die im *MP 4.15 Probleminformationen verdichten* ermittelten Probleme zu bearbeiten. Dazu wird eine Vorgehensweise mit 5 Schritten definiert (vgl. Abb. 5.38). Einzelne Schritte werden im Folgenden erläutert.

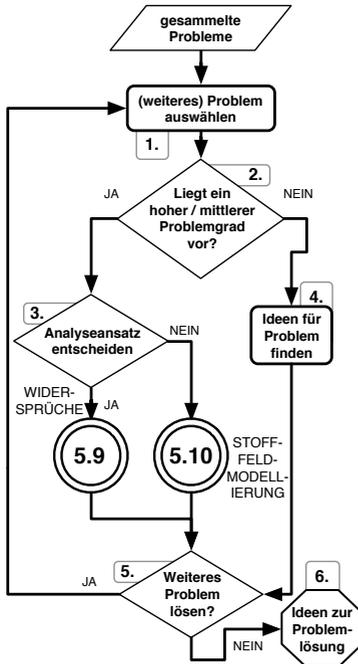


Abb. 5.38: MP 5.8  
 Problembearbeitung  
 steuern - Ablaufplan

Das für die Bearbeitung vorgesehene Problem kann u.a. entweder aus den Angaben in MP 4.15 *Probleminformationen verdichten* (z.B. auch funktionenbasierten Widersprüchen) oder aus einer in MP 4.16 *Root Conflict Analysis* durchgeführten *Root Conflict Analysis* stammen.

Schritt 4: Falls nur ein geringer Problemgrad vorliegt, kann das Problem mit klassischen Ideenfindungstechniken bearbeitet werden. Im MP 5.8 *Problembearbeitung steuern* werden Hilfsfragen zur Moderation gegeben.

Der MP 5.8 *Problembearbeitung steuern* erweitert die WA um ein einfaches Steuerungsinstrument für die Anwendung/Nichtanwendung von TRIZ-Lösungsprinzipien auf Probleme. Die einfache Vorgehensweise wird durch Hilfsfragen ergänzt, die auch die Nutzung herkömmlicher Brainstormin/Brainwriting-Methoden betreffen. Um den Aufwand dem zu erwartenden Nutzen anzupassen, wird sichergestellt, dass nur für Probleme mit hohem Problemgrad TRIZ-Lösungsprinzipien zum Einsatz kommen.

Schritt 3: In diesem Schritt wird entschieden, ob die TRIZ-Widerspruchsanalyse in MP 5.9 *Widersprüche formulieren und lösen* (Anh. D.13, S. 348) oder die *Stoff-Feld-Modellierung* in MP 5.10 *Stoff-Feld-Modelle aufstellen und verbessern* (Anh. D.14, S. 351) angewendet werden soll. Beide Methoden geben unterschiedliche Perspektiven bei der Problembearbeitung vor. Die TRIZ-Widerspruchsansätze fokussieren auf die Lösung von Konflikten. Die Stoff-Feld-Systematik ist universeller auf die Verbesserung von Interaktionen (darunter auch schädlichen) ausgelegt. Insbesondere ist die Stoff-Feld-Systematik auch dann einsetzbar, wenn keine Widersprüche, sehr wohl aber Probleme identifiziert wurden. Außerdem sind, aus der Perspektive der Entwicklungsgeschichte der TRIZ gesehen, die Stoff-Feld-Analyse und die zugehörigen Standardlösungen als höher entwickelt zu bewerten als die 40 Innovationsprinzipien. Das liegt u.a. daran, dass in den Standardlösungen auch Bezug auf die Evolutionsgesetze genommen wird. Die Wahl des verwendeten Verfahrens hängt im allgemeinen auch stark mit der Präferenz des jeweiligen Anwenders zusammen. Manche Anwender sind versiert im Umgang mit Widersprüchen, andere empfinden die abstraktere Vorgehensweise der Stoff-Feld-Modellierung als zielführender. Es kann daher auch keine einheitliche Empfehlung zur Wahl eines Verfahrens gegeben werden.

5.2.2.2 Widersprüche formulieren und lösen (MP 5.9)

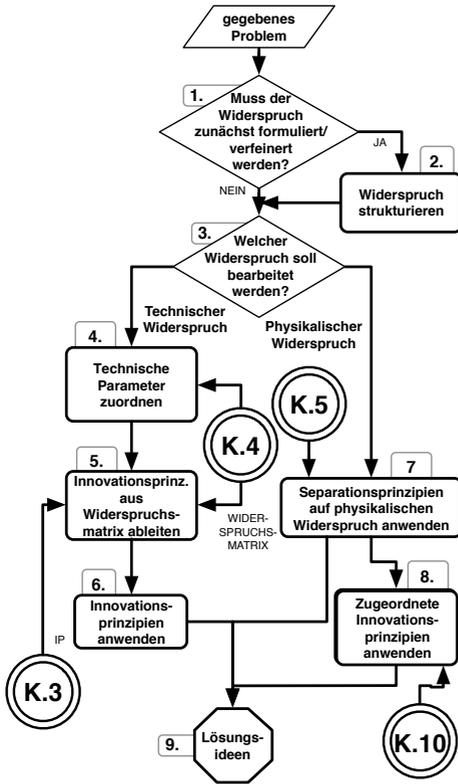


Abb. 5.39: MP 5.9 Widersprüche formulieren und lösen - Ablaufplan

Widerspruchs (und seiner Inversen). Die zweite Möglichkeit ist die Bearbeitung des Physikalischen Widerspruchs. Bei der Nutzung des ENV-Modells zur Widerspruchsmodellierung sind beide Widersprüche bereits in der Darstellung inbegriffen. Die Wahl des Lösungsweges ist auch hier abhängig von der Präferenz des Anwenders. Die Innovationsprinzipien zur Lösung technischer Widersprüche, die aus der Widerspruchsmatrix ermittelt werden (vgl. Schritte 4 und 5), bieten Anregungen zur Lösungsfindung. Sie sind jedoch nicht immer passend für die Problemsituation.

Im MP 5.9 Widersprüche formulieren und lösen (Anh. D.13, S. 348) werden Widersprüche bearbeitet. Bisher fehlt in der WA ein Konzept zur systematischen Bearbeitung von Widersprüchen. Deren Bearbeitung ist vielversprechend, da durch diese auf die TRIZ-Wissensbasis mit ihren Innovations- und Separationsprinzipien zugegriffen werden kann. Sowohl Technische wie auch Physikalische Widersprüche werden bearbeitet.

Zur Bearbeitung der Widersprüche sind im MP 5.9 *Widersprüche formulieren und lösen* neun Schritte definiert (vgl. Abb. 5.39). Einzelne Schritte werden im Folgenden erläutert.

Schritt 2: Falls bisher kein Widerspruch formuliert oder die Formulierung verfeinert wurde (z.B. bei funktionenbasierten Widersprüchen), wird das ENV-Modell angewendet (Erläuterung vgl. Abschnitt 2.3.2.1). Dazu sind in MPH 5.9 *Widersprüche aufstellen und lösen* (Anh. D.13, S. 349) Anweisungen und moderationsunterstützende Hilfsfragen hinterlegt.

Schritt 3: Es wird auf Grundlage des vorliegenden Widerspruchs entschieden, welcher Lösungsweg verfolgt wird. Die erste Möglichkeit ist die Bearbeitung des Technischen

## 5 Methodenintegration

Die Separationsprinzipien auf der anderen Seite (vgl. Schritt 7) bieten wenige sehr abstrakte Lösungsprinzipien. Diese sind fast immer auf eine Problemsituation anwendbar. Als weitere Ergänzung können zudem den Separationsprinzipien zugeordnete Innovationsprinzipien (vgl. Schritt 8) genutzt werden. Der hohe Abstraktionsgrad kann Anwender jedoch auch vor Probleme stellen.

Schritt 4: Sind die Technischen Widersprüche zu bearbeiten, werden den Ausprägungen der Technischen Widersprüche Technische Parameter der Widerspruchsmatrix (Erläuterung vgl. Abschnitt 2.3.4.2) zugeordnet. Bei der Zuordnung ist anzuraten, sich möglichst auf wenige Parameterkombinationen zu beschränken. Da in der Widerspruchsmatrix immer auch die Umkehrung der Technischen Parameter betrachtet werden sollte, können so sehr schnell viele verschiedene Innovationsprinzipien vorgeschlagen werden. Dies verschlechtert dann die Übersichtlichkeit und erhöht den Aufwand zur Bearbeitung. In Schritt 6 ist mit dem *Cluster-In-Cluster-Out* ein Konzept eingearbeitet, das dieser Problematik in Teilen Abhilfe verschafft.

Schritt 8: Falls der Anwender weitere Anregungen zur Lösungsfindung wünscht, können den einzelnen Separationsprinzipien zugeordnete Innovationsprinzipien verwendet werden. Zu diesem Zweck existieren in der TRIZ-Literatur Zuordnungstabellen (vgl. u.a. [ORLOFF 2006] und [KOLTZE et al. 2011]).

Der *MP 5.9 Widersprüche formulieren und lösen* ergänzt die WA um die TRIZ-Werkzeuge zur Widerspruchsanalyse und -bearbeitung. Damit wird eines der wesentlichen Elemente der TRIZ für die Anwendung in der WA zur Verfügung gestellt. Dazu werden verschiedene TRIZ-Werkzeuge kombiniert und deren Anwendung mit Hilfsfragen unterstützt. Die Einbindung von Innovationsprinzipien und Separationsprinzipien macht die Wissensdatenbank der TRIZ für die WA nutzbar und eröffnet damit den Zugang zu hochwertigen Lösungsanregungen.

### 5.2.2.3 Stoff-Feld-Modelle aufstellen und verbessern (MP 5.10)

Der *MP 5.10 Stoff-Feld-Modelle aufstellen und verbessern* (Anh. D.14, S. 351) integriert die Stoff-Feld-Analyse der TRIZ in die WA (Grundlagen vgl. Abschnitte 2.3.3.4 und 2.3.4.1). Dadurch können Probleme mit Hilfe von TRIZ-Lösungsprinzipien bearbeitet werden, ohne dass Widersprüche formuliert werden müssen. Versiertere TRIZ-Anwender bevorzugen sogar oft die Anwendung von Stoff-Feld-Modellen, da diese ein Fülle an Lösungsprinzipien bieten.

Die von BELSKI vereinfachte Stoff-Feld-Analyse wird ausgewählt, da diese mit einem Stoff-Feld-Modell jedes Problem nach einem einfachen Schema modelliert und Lösungshinweise geben kann. Wenn sich der Anwender in die Art der Modellierung und Darstellung eingefunden hat, fällt die Formulierung von Stoff-Feld-Systemen oft sogar leichter als die Formulierung von Widersprüchen. Außerdem fördern die von BELSKI formulierten 5 Regeln zur Stoff-Feld-Modifikation den Perspektivwechsel bei der Bearbeitung des Problems (Aufstellung der 5 Regeln in Anhang F). Zusätzlich erweitert die Anwendung der MATCHEMIB-Felder auf die Stoff-Feld-Modelle den Horizont der Teammitglieder und regt zur Nutzung neuartiger Wirkprinzipien für Lösungen

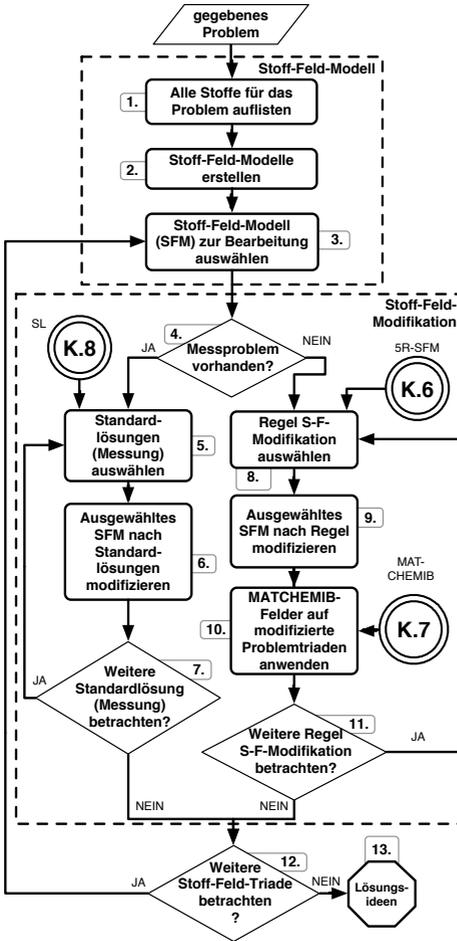


Abb. 5.40: MP 5.10 - Stoff-Feld-Modelle aufstellen und verbessern - Ablaufplan

an. Der MP 5.10 Stoff-Feld-Modelle aufstellen und verbessern definiert eine Vorgehensweise mit 12 Schritten (vgl. Abb. 5.40). Da die Stoff-Feld-Analyse ein sehr fortgeschrittenes Werkzeug der TRIZ ist, wird in diesem Abschnitt das im MP 5.10 Stoff-Feld-Modelle aufstellen und verbessern vollständig beschrieben.

Schritt 1: Im ersten Schritt werden für das gegebene Problem alle im Problemfokus liegenden Stoffe gesammelt. Dazu liefert der MP 5.10 Stoff-Feld-Modelle aufstellen und verbessern (Anh. D.14, S. 352) Hilfestellung.

Für das dargestellte Beispiel Verschließen einer mit Medizin gefüllten Glasampulle werden zunächst alle Stoffe, die sich im Problemfokus befinden, aufgelistet. Dies sind in diesem Fall die Medizin, die Ampulle und die Flamme.

Schritt 2: Auf Grundlage der ermittelten Stoffe wird das Stoff-Feld-Modell aufgestellt. Dazu werden alle Stoffe entsprechend ihrer Interaktionen verknüpft und das jeweils zugehörige Feld ergänzt. Zusätzlich werden alle modellierten Interaktionen hinsichtlich ihrer Ausprägung (nützlich, schädlich, nicht ausreichend, fehlend, exzessiv oder überflüssig) klassifiziert (vgl. MP 5.10 Stoff-Feld-Modelle aufstellen und verbessern, Nomenklatur vgl. Abb. 2.21). Die Problemsituation im Beispiel wird mit Hilfe eines verketteten Stoff-Feld-Modells beschrieben. Die Flamme wirkt zum Verschließen (al-

so nützlich) durch ein thermisches Feld auf die Ampulle. Die Ampulle gibt diese Wärme als thermisches Feld weiter an die Medizin und wirkt dadurch schädlich. Die Ampulle hält die Medizin über ein mechanisches Feld.

## 5 Methodenintegration

Schritt 3: Eine Stoff-Feld-Triade (zwei Stoffe und ein Feld) wird zur Bearbeitung ausgewählt. *MP 5.10 Stoff-Feld-Modelle aufstellen und verbessern* liefert zur Festlegung der Bearbeitungsreihenfolge moderationsunterstützende Hilfsfragen.

Zur Bearbeitung wird im Beispiel die Stoff-Feld-Triade *Medizin-Ampulle-thermisches Feld*, *mechanisches Feld* als Konflikttriade ausgewählt.

Schritt 4: Die ausgewählte Stoff-Feld-Triade wird modifiziert. Dazu wird zunächst geprüft, ob es sich bei der ausgewählten Stoff-Feld-Triade um ein Messproblem handelt. Dazu sind nähere Hinweise in *MP 5.10 Stoff-Feld-Modelle aufstellen und verbessern* hinterlegt. Die Unterscheidung ist notwendig, da die fünf Regeln nach BELSKI keine Messprobleme abdecken.

Im Beispiel liegt kein Messproblem vor, daher wird mit Schritt 8 fortgefahren.

Schritt 8: Eine Regel wird zur Bearbeitung ausgewählt. Für gewöhnlich werden alle Regeln nacheinander angewendet.

Exemplarisch wird für das Beispiel die Regel 2 angewendet.

Schritt 9: Die ausgewählte Regel wird als Analogie auf das vorliegende Problem angewendet. Dazu wird die Stoff-Feld-Triade mit einfachen Hilfsmitteln modifiziert.

Die Regel 2 schlägt für die im Beispiel ausgewählte Konflikttriade das Einführen eines Stoffes mit einem Feld vor, der die Ampulle so modifiziert, dass die Medizin vor thermischer Beschädigung geschützt wird.

Schritt 10: Die ausgewählte Regel wird in diesem Schritt mit Hilfe der von BELSKI zusammengefassten MATCHEMIB-Feldern in reale Lösungsvorschläge überführt. Diese entsprechen im Wesentlichen den in Abschnitt 2.3.3.4 genannten Feldern zur Modellierung von Stoff-Feld-Modellen, sind aber in [BELSKI 2007] anschaulich erläutert.

Die Anwendung der MATCHEMIB-Felder auf die Konstellation in Regel 2 führt im Beispiel zu einigen Lösungsansätzen. So wird für ein mechanisches Feld die Nutzung eines Kühlkörpers vorgeschlagen. Die Nutzung eines thermischen Feldes legt nahe, die Ampulle vor dem Verschließen abzukühlen. Das intermolekulare Feld, das u.a. die Anwendung poröser Oberflächen und Körper vorschlägt, legt nahe, eine Ampulle mit poröser Oberfläche vor Kontakt mit der Flamme in eine schützende Flüssigkeit zu tauchen. Die schützende Flüssigkeit würde dann von der Oberfläche aufgenommen.

Der *MP 5.10 Stoff-Feld-Modelle aufstellen und verbessern* integriert eine neue, von BELSKI entwickelte, Form der Stoff-Feld-Analyse in die WA. Die Stoff-Feld-Analyse bietet der WA einen völlig andersartigen Ansatz zur Problembearbeitung. Durch die Arbeiten von BELSKI ist dabei eine stark vereinfachte, auf 5 Regeln basierende Vorgehensweise entstanden, die eine systematische Betrachtung einer Problemsituation aus verschiedenen Perspektiven erlaubt. Die Stoff-Feld-Analyse ist zwar eines der fortgeschrittenen Werkzeuge der TRIZ, ihre Anwendung sollte jedoch trotzdem innerhalb der WA möglich sein. Anwender können mit ihr zu völlig andersartigen Lösungsansätzen gelangen. Die Integration der Stoff-Feld-Analyse erweitert das Methodenspektrum der WA, wenn tiefgreifende und radikale Lösungsansätze gebraucht werden.

## 5.2.3 Evolution antizipieren (MP 5.11)

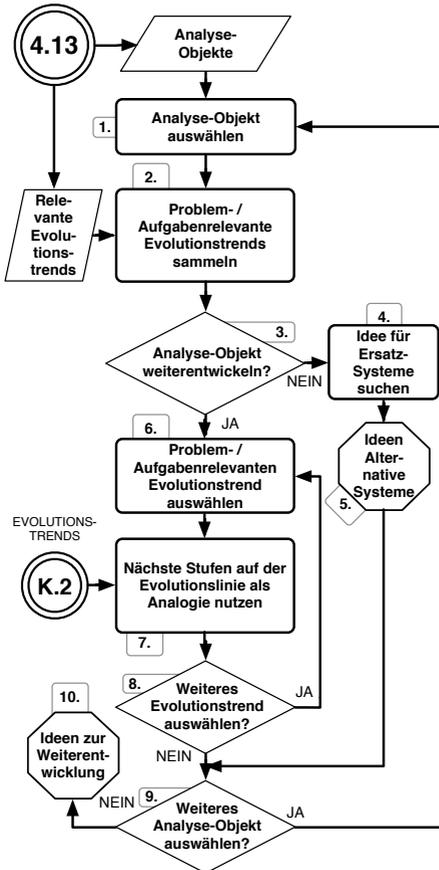


Abb. 5.41: MP 5.11 - Evolution antizipieren - Ablaufplan

*Evolution antizipieren* (Anh. D.15, S. 358) ergänzt.

Schritt 3: Es wird entschieden, ob die Weiterentwicklung des Analyse-Objekts sinnvoll ist. Sollte ein Analyse-Objekt auf den Stufen der Evolutionstrends, und damit auf

Der MP 5.11 *Evolution antizipieren* (Anh. D.15, S. 356) dient der Erarbeitung von Ideen zur Zukunftssicherung eines WA-Objekts. Dazu wird die Evolutionsanalyse der TRIZ verwendet. Der MP 5.11 *Evolution antizipieren* baut auf den Ergebnissen des MP 4.13 *Evolutionsanalyse - Evolutionsstand bestimmen* auf.

Als Anregungen für die Ideensuche werden im MP 5.11 *Evolution antizipieren* die in Abschnitt 4.2.2 kombinierten *Evolutionstrends* (Dokumentiert in Anhang B) genutzt. Die Einbindung der Evolutionsanalyse eröffnen im WA-Projekt die Möglichkeit, sehr systematisch eine ganzheitliche Weiterentwicklung zur Zukunftssicherung zu betreiben. Das Entwickeln entlang der *Evolutionstrends* erhöht nach dem TRIZ-Verständnis die Wahrscheinlichkeit, zukunftsichere Verbesserungen zu generieren. Zur Erarbeitung von Ideen wird eine Vorgehensweise in 9 Schritten definiert (vgl. Abb. 5.41). Sie orientiert sich u.a. an den Ausführungen von KOLTZE (vgl. [KOLTZE et al. 2011]). Sie wurde um die Unterscheidung nach Problem-/Aufgabenrelevanz für einzelne *Evolutionstrends* und die dezidierte Suche nach Ersatz-Systemen für ein ausgereiztes System ergänzt. Einzelne Schritte werden im Folgenden erläutert. Am Beispiel des im MP 4.13 *Evolutionsanalyse - Entwicklungsstand bestimmen* (Anh. C.18, S. 302) begonnenen Holzstuhls werden die einzelnen Schritte im MP 5.11

## 5 Methodenintegration

seiner S-Kurve, weit fortgeschritten sein, ist zu bewerten ob eine Weiterentwicklung lohnenswert ist. Die Alternative ist dann, nach Ideen für Ersatzsysteme mit größerem Entwicklungspotential zu suchen.

Schritt 4: Es werden Ideen für alternative Systeme gesucht, die die gleichen Funktionen wie das betrachtete Analyse-Objekt ausführen. Zusätzlich zur Suche über die Hauptfunktion wird geprüft, ob das Analyse-Objekt als Subsystem in einem anderen System aufgehen kann. *MP 5.11 Evolution antizipieren* (Anh. D.15, S. 357) bietet hierzu einige Moderationsfragen.

Schritt 7: Ideen für die Weiterentwicklung werden gesammelt. Die ermittelte Position des Analyse-Objekts auf den betrachteten *Evolutionstrends* ist die Grundlage. Es wird versucht, pro betrachtetem Evolutionstrend Ideen für das Erreichen der folgenden Stufen zu sammeln. Für den Holzstuhl, der sich auf der Stufe 20 % des *Evolutionstrends* 8 befindet, schlägt die Stufe 30 % den *Übergang von unbeweglichen zu beweglichen Teilen* vor. Eine Möglichkeit zur Weiterentwicklung könnte danach die Einführung einer in der Neigung verstellbaren Rückenlehne sein. Für das Erreichen der 60 %-Stufe sieht der *Evolutionstrends* 8 die *Nutzung von Objekten im gasförmigen Zustand* vor. Ein Lösungsansatz könnte hier die Nutzung eines Gasdruckzylinders zur Höhenverstellung sein.

Der *MP 5.11 Evolution antizipieren* implementiert den kreativen Teil der TRIZ-Evolutionsanalyse in die WA. Die Analyse des Evolutionstands erfolgt im *MP 4.13 Evolutionsanalyse - Evolutionsstand bestimmen*. Wieder bilden die in Abschnitt 4.2 zusammengeführten Beschreibungen für Evolutionsgesetze und Evolutionstrends die Grundlage. Die verschiedenen *Evolutionstrends* geben direkt Anregungen zur Weiterentwicklung. Für ein Objekt kann damit die Richtung der Weiterentwicklung vorgegeben werden.

Die Vorgehensweise ist einfach gehalten. Sie berücksichtigt auch Fälle, in denen System schon zu weit auf ihrer S-Kurve fortgeschritten sind. Der *MP 5.11 Evolution antizipieren* unterstützt damit die Erhöhung des Evolutionsgrades und damit die Zukunftssicherung eines WA-Objekts.

## 5.3 Fazit

In diesem Kapitel wurden in Form der Methodengruppen und -pässe die Kernkonzepte dieser Arbeit zur Integration und Kombination von WA und TRIZ in die Phasen 4 und 5 des WA-Arbeitsplans beschrieben. Die Beschreibung in Methodenpässen mit Moderationshilfen und Anwendungsbeispielen erleichtern die Anwendung. Der Methodenbaukasten wird leichter zugänglich.

Die Integration von Kernmethoden der TRIZ erhöhen die methodische Schlagkraft der WA deutlich. Analysemethoden wie das Funktionennetzwerk oder das Objektmodell bieten neue Perspektiven auf die Analyse eines WA-Objekts und führen zu neuen Lösungsansätzen. Die Widerspruchsanalyse erlaubt den Zugriff auf die Sammlung von TRIZ-Lösungsprinzipien und fördern die systematische Lösungsfindung. Die Evolutionsanalyse erlaubt es WA-Objekte entlang generischer Muster der technischen Ent-

wicklung (Evolutionstrends) weiterzuentwickeln und führt damit zu zukunftsicheren Entscheidungen. In Verbindung mit den Methodenpässen ist die durch Integration von TRIZ-Kernmethoden erhöhte Effektivität auch nutzbar.

Zusätzlich wurden neu entwickelte Werkzeuge wie z.B. die TRIZ-inspirierten Kostensenkungsfragen, die Komponenten-Potential-Analyse oder die Kostenursachenanalyse in die WA integriert. Die TRIZ-inspirierten Kostensenkungsfragen fördern die Ideenfindung durch vielfache Anregungen für die Kostenoptimierung. Die Komponenten-Potential-Analyse verbessert die Analyse durch die Identifikation ineffizienter Komponentent. Die Kostenursachenanalyse zeigt Ansatzpunkte für Kostensenkung durch Kostenursachenketten auf.

Durch diese angepassten TRIZ-Elemente werden weitere Werkzeuge für die WA erschlossen und ihr methodischer Baukasten abgerundet.

## 5 *Methodenintegration*

## 6 Einsatz von kombinierten WA- und TRIZ-Methoden

Dieses Kapitel demonstriert die Anwendung einer Auswahl der in Kapitel 5 vorgestellten Methodenpässe an einem Praxisprojekt zur Optimierung einer in einer *Verpackungsanlage* integrierten *Etikettenklebmaschine*.

### 6.1 Projektdefinition, Zieldefinition und Projektplanung

Die Geschäftsführung des betreffenden Unternehmens stellte für das Produkt *Verpackungsanlage* zunehmende Auftragsverluste fest. Die wesentliche Ursache wird im zu hohen Marktpreis gesehen. Zur Reduzierung der Herstellkosten wurden daher von Geschäftsführung mehrere WA-Projekte initiiert, die durch externe Beratung unterstützt werden sollten. Eines dieser WA-Projekte ist die umfassende Optimierung der *Etikettenklebmaschine*, die optional in die Verpackungsmaschine integriert werden kann. Mit der Definition des WA-Projekts und eines dafür verantwortlichen WA-Projektleiters ist die Phase 0 des WA-Arbeitsplans für dieses Projekt abgeschlossen.

Eine schematische Darstellung der *Etikettenklebmaschine* ist in Abb. 6.1 dargestellt. Der Zweck der Maschine ist das Ankleben von Sicherheits-Etiketten auf ein *Zielträgermaterial*. Dieses *Zielträgermaterial* können verschiedene Verpackungen sein. Dabei läuft das *Zielträgermaterial* senkrecht durch das System. Das *Band* besteht aus *Etikettenband* (grün) und *Deckband* (rot). Das *Deckband* schützt die Klebseite des *Etikettenbandes* vor Verunreinigungen. Das Band wird, über die *rechte Umlenkrolle* geführt, aus dem *Bandrollenhalter* entnommen. Die *Reibrolle* ist angetrieben (vgl. Antrieb 4 in Abb. 6.1) und sorgt in Verbindung mit der *oberen Andruckrolle* für den Vortrieb des *Bandes*. Am Rahmen befestigte Elemente scheren das *Deckband* kurz vor dem *starken Messer* ab. Das vom *Etikettenband* getrennte *Deckband* sammelt sich lose in einem Auffangbereich oberhalb des *starken Messers*. Über die *obere Umlenkrolle* geführt, wird das *Deckband* auf den *Deckbandrollenhalter* aufgerollt. Dazu wird der *Deckbandrollenhalter* über einen *Riementrieb* mit dem Antrieb der *Reibrolle* verbunden. Das *starre Messer* und das *bewegliche Messer* trennen die einzelnen aufzuklebenden *Etiketten*. Um die Verbindung von *Zielträgermaterial* und *Etikett* zu gewährleisten, sorgen zwei *Andruckrollen* mit einem Hubantrieb und schwingengeführter Bewegung für das Andrücken des *Etiketts* auf das *Zielträgermaterial*.

Ziel dieses Projekts ist die Wertverbesserung durch eine Kostenreduktion der *Etikettenklebmaschine* um 20%. Ein weiteres Ziel ist, technische Nachteile und Ineffizienzen des WA-Objekts aufzudecken und wenn möglich kostengünstigere Lösungen für diese

6 Einsatz von kombinierten WA- und TRIZ-Methoden

zu finden. Die Schnittstellen innerhalb der übergeordneten Maschine sind vorgegeben, innerhalb der Systemgrenzen bestehen keine Einschränkungen bezüglich Änderungen. Zur Bearbeitung des Projekts wird ein interdisziplinäres Team zusammengestellt und

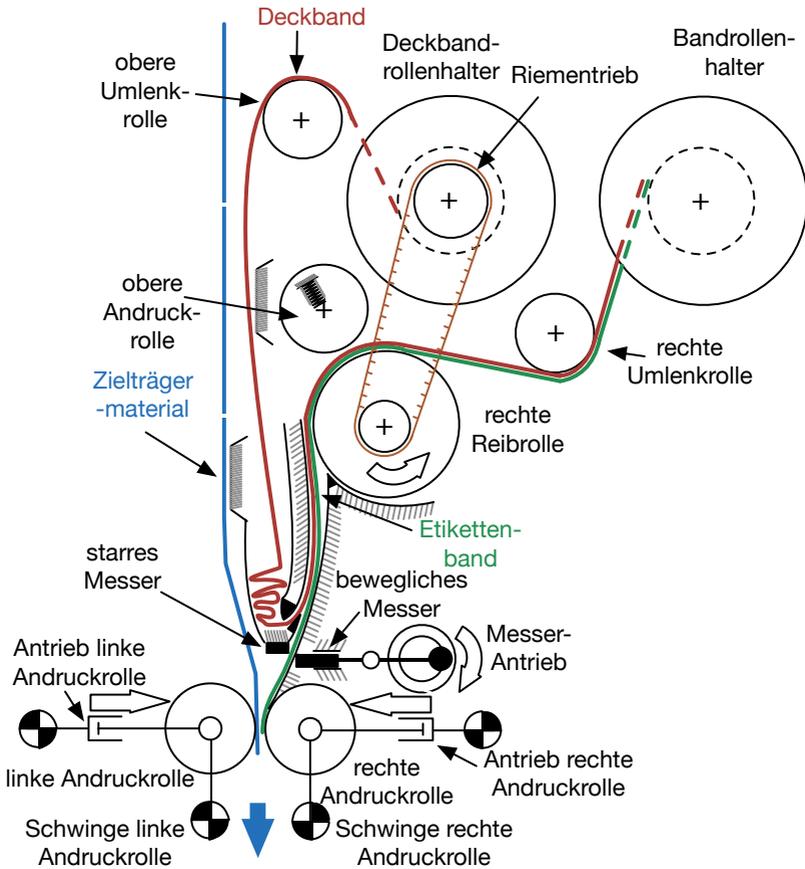


Abb. 6.1: WA-Objekt Etikettenklebemaschine

den Teammitgliedern wird der notwendige Freiraum für die Teamsitzungen und die Bearbeitung der zwischen den Teamsitzungen anfallenden Aufgaben eingeräumt. Für

## 6.1 Projektdefinition, Zieldefinition und Projektplanung

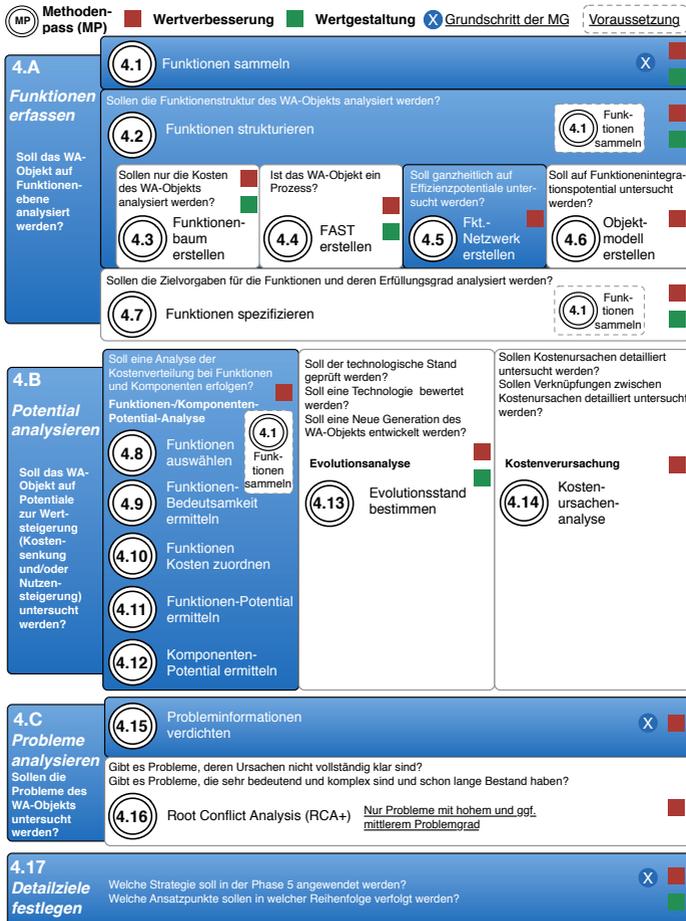


Abb. 6.2: Bsp. Etikettenklebmaschine: Methodenauswahl für die Analyse in der Phase 4

das Projekt sind 4 Monate mit insgesamt 11 Teamsitzungen eingeplant. Mit der Definition der Teammitglieder und des Projektzeitplans ist die Phase 2 des WA-Arbeitsplans abgeschlossen.

In der Phase 3 wurden die Kundenanforderungen für die Etikettenklebmaschine im

WA-Team erfasst und deren Erfüllungsgrad im Vergleich zu Wettbewerbssystemen bewertet. Eine Gegenüberstellung mit Marktpreisen erlaubte eine Einordnung gegenüber den Wettbewerbern. Die Analyse bestätigte den Funktionsumfang der *Etiketenklebemaschine*, zeigte aber auch deutlich die Notwendigkeit zur Preisreduzierung im Verhältnis zu vergleichbaren Systemen. Zusätzlich wurden durch den Vertreter des Vertriebs im WA-Team die durch Kunden festgestellte umständliche Wartung kritisch angemerkt.

Auf Grundlage des Projektziels und der Rahmenbedingungen und der Erkenntnisse aus der Phase 3 des Projekts konnten dann die Vorgehensweisen für die Phasen 4 und 5 detailliert festgelegt werden (Beschreibung vgl. Abschnitt 6.2).

### 6.2 Auswahl der Vorgehensweise

Zur Methodenauswahl für die Phase 4 wurde die in *Phase 4 Methodenauswahl* (Anh. C.3, S. 266) dargestellte Methodenübersicht in Abb. 6.2 verwendet. Die Methodenübersicht soll einen Moderator unterstützen, die Methoden für das vorliegende WA-Projekt auszuwählen. Die in der Methodenübersicht hinterlegten Fragen erleichtern die Auswahl. Die blau markierten Bereiche in Abb. 6.2 sind für das Bsp. ausgewählt.

Voraussetzung für eine ganzheitliche Analyse aus WA-Sicht ist zunächst die Erfassung der Funktionen. Dazu muss als Grundschrift der *MG 4.A Funktionen erfassen* (Anh. C.4, S. 267) der *MP 4.1 Funktionen sammeln* (Anh. C.5, S. 268) angewendet werden.

Um die wesentlichen Wirkungen, Probleme und Ineffizienzen des WA-Objekt zu erfassen, wird aufbauend auf *MP 4.1 Funktionen sammeln* eine Funktionenstrukturierung durchgeführt. Zur Auswahl der konkreten Methode wird der *MP 4.2 Funktionenstrukturierung planen* (Anh. C.6, S. 272) angewendet (vgl. Abb. 6.3). Da ein Produkt und ein vorhandener IST-Zustand untersucht werden sollen, erscheinen zunächst alle vier Methoden geeignet.

Es ist eine funktionenbasierte Kostenanalyse durchzuführen, also sind Funktionsbaum und in eingeschränkterem Maße das FAST und das Funktionsnetzwerk geeignete Funktionsstrukturen. Da auch eine Problemanalyse, das Aufdecken von technischen Ineffizienzen und die Untersuchung auf Potentiale zur Funktionenintegration (vgl. *MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren*) notwendig sind, wird das im *MP 4.5 Funktionsnetzwerk erstellen* (Anh. C.9, S. 278) beschriebene Funktionsnetzwerk ausgewählt.

Da das Funktionsnetzwerk sehr gute Möglichkeiten bietet, Ineffizienzen und schädliche Verknüpfungen zwischen Funktionen darzustellen, wird der *MP 4.7 Funktionen spezifizieren* nicht angewendet.

Eines der wesentlichen Grobziele ist die Kostensenkung, daher wird die *MG 4.B Potential analysieren* (Anh. C.12, S. 288) ebenfalls ausgewählt. Dieses Projekt konzentriert sich dabei auf die Funktionen-/Komponenten-Potential-Analyse. Da es in diesem WA-Projekt nicht um die Entwicklung einer weitreichenden Nachfolgenera-tion handelt, wird keine Evolutionsanalyse vorgesehen.

Kriterium	Methoden zur Funktionenstrukturierung			
	4.3 Funktionsbaum	4.4 FAST	4.5 Funktionsnetzwerk	4.6 Objektmodell
Wird ein Produkt untersucht?	x	x	x	x
Wird ein Prozess untersucht?	(x)	x	(x)	(x)
Ist ein IST-Zustand vorhanden?	x	x	x	x
Ist nur ein SOLL-Zustand vorhanden?	x	x	x	(x)
Soll eine Kostenanalyse erfolgen?	X	(x)	(x)	(x)*
Soll eine Problemanalyse erfolgen?		(x)	X	X
Sollen Ineffizienzen aufgedeckt werden?			X	X
Soll auf Potentiale zur Funktionenintegration geprüft werden?	x**	x**	x**	X

Erläuterung: Ineffizienzen:  
unzureichende/  
exzessive  
Verknüpfungen  
zwischen Funktionen!

- X Besonders geeignet
- x Anwendbar
- (x) Mit Einschränkungen anwendbar
- \* nicht funktionenbasiert
- \*\* durch Anwendung von MP 5.2 *Kosten und Funktionalität verbessern*

Abb. 6.3: MP 4.2 Funktionenstrukturierung planen - Festlegung der zu verwendenden Funktionenstruktur

Da die Kostenursachen im Wesentlichen bekannt sind und Ideen für Kostensenkungen im Verlauf des Projekts genügend vorhanden waren, wird der MP 4.14 *Kostenursachen analysieren* zur detaillierten Aufschlüsselung der Kostenursachen nicht angewendet.

Zusätzlich wird außerdem die Anwendung der MG 4.C *Probleme analysieren* (Anh. C.20, S. 306) vorgesehen. Hier soll über den MP 4.15 *Probleminformationen verdichten* (Anh. C.21, S. 307) analysiert werden, ob der vorliegende IST-Zustand konzeptbedingte Probleme aufweist. Abhängig vom Ergebnis kann dann entschieden werden, wie die weitere Vorgehensweise in Phase 5 sein wird.

6 Einsatz von kombinierten WA- und TRIZ-Methoden

Abgeschlossen wird die Phase 4 durch die Anwendung des *MP 4.17 Detailziele festlegen* (Anh. C.23, S. 316) zur Zusammenfassung der Erkenntnisse und Festlegung der Detailziele für die Phase 5 (Methodenauswahl vgl. Abb. 6.4).

Aufbauend auf der Methodenauswahl für die Phase 4 ist die Anwendung der Methodengruppe *MG 5.A Effizienz verbessern* (Anh. D.3, S. 321) notwendig. Da eine Wertverbesserung und Effizienzsteigerung erfolgen soll, wird der *MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren* (Anh. D.5, S. 324) als übergeordnete Vorgehensweise verwendet. Der *MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren* steuert die Anwendung des

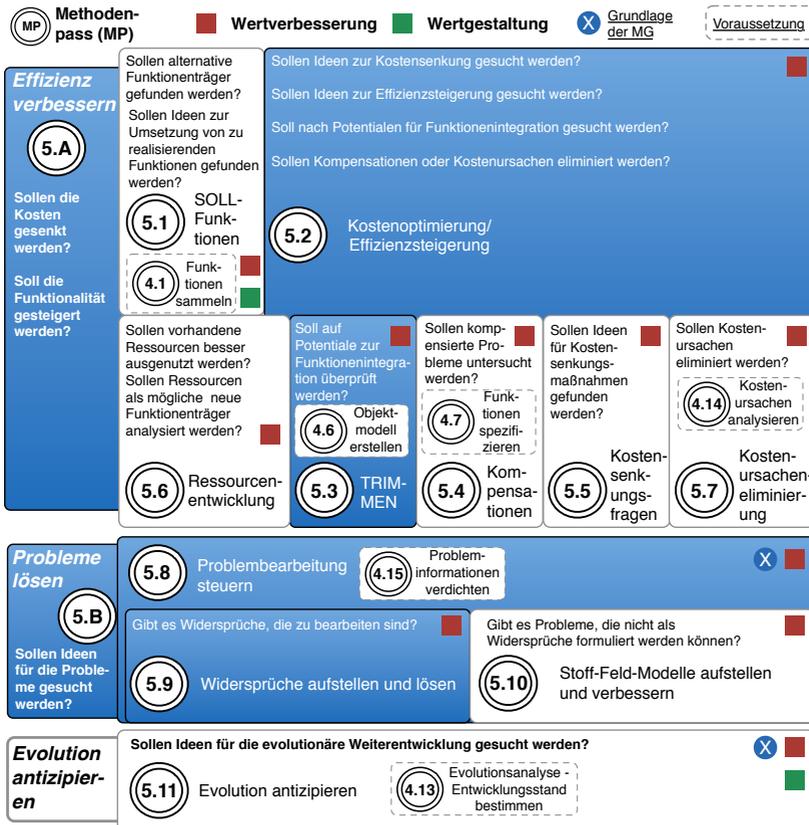


Abb. 6.4: Bsp. Etikettenklebmaschine: Methodenauswahl in der Phase 5

*MP 5.3 Komponenten trimmen* (Anh. D.6, S. 329) für die Suche nach Potentialen zur Funktionenintegration.

Zur Bearbeitung der im *MP 4.15 Probleminformationen verdichten* analysierten Probleme kommt zusätzlich die *MG 5.B Probleme lösen* (Anh. D.11, S. 346) zur Anwendung. Dabei bildet der *MP 5.8 Problembearbeitung steuern* (Anh. D.12, S. 347) die Grundlage für die Anwendung der weiteren Methodenpässe in dieser Methoden-Gruppe. In diesem Projekt kommt der *MP 5.9 Widersprüche formulieren und lösen* (Anh. D.13, S. 348) zur Erarbeitung von Lösungsideen zum Einsatz.

## 6.3 Phase 4 Funktionen, Kosten, Detailziele festlegen

Im folgenden Abschnitt wird die *Etikettenklebmaschine* in der Phase 4 des WA-Arbeitsplans analysiert. Die in Abschnitt 6.2 erfolgte Methodenauswahl gibt die zu nutzenden Methodenpässe vor.

### 6.3.1 MP 4.1 - Funktionen sammeln

Da es sich beim vorliegenden Projekt um einen vorhandenen IST-Zustand eines WA-Objekts handelt, wird mit den Schritten 2 und 3 des Ablaufplans des *MP 4.1 Funktionen sammeln* (Anh. C.5, S. 268) die Komponentensammlung begonnen (vgl. Abb. 6.5). Für das System *Etikettenklebmaschine* werden zunächst die Komponenten ermittelt. Diese sind in Abb. 6.5 links unten dargestellt. Im Schritt 3 werden über die Schnittstellen der *Etikettenklebmaschine* die Komponenten des Supersystems (Umfelds) identifiziert, mit denen eine Interaktion stattfindet. So interagiert das System mit dem Bediener, der das Band (Kombination aus dem Etikettenband und dem Deckband) in die Maschine einlegt, bei verbrauchtem Band das Deckband wieder entnimmt und ein neues Band einlegt. Die *Verpackungsanlage*, in die die *Etikettenklebmaschine* integriert ist, stellt eine weitere Komponente des Umfelds dar. Die wesentliche Komponente, mit der interagiert wird, ist das Zielträgermaterial, die zu beklebende Verpackung.

Im Schritt 4 *Funktionen in den Schnittstellen formulieren* (vgl. *MP 4.1 Funktionen sammeln* und Abb. 6.5) alle Funktionen erfasst, die Interaktionen mit Komponenten des Umfelds aufweisen. Dann wird mit der Funktion *Etikett ankleben* die Gesamtfunktion des Systems bestimmt. Im nächsten Schritt 5 werden dann mit Hilfe der Komponentenanalyse die Funktionen innerhalb des Systems (zwischen den Schnittstellen) formuliert. Die Ergebnisse sind in Abb. 6.5 unten rechts dargestellt.

### 6.3.2 MP 4.5 - Funktionennetzwerk erstellen

Auf Grundlage der Funktionensammlung in *MP 4.1 Funktionen sammeln* wird der *MP 4.5 Funktionennetzwerk erstellen* (Anh. C.9, S. 278) verwendet (Ergebnis vgl.

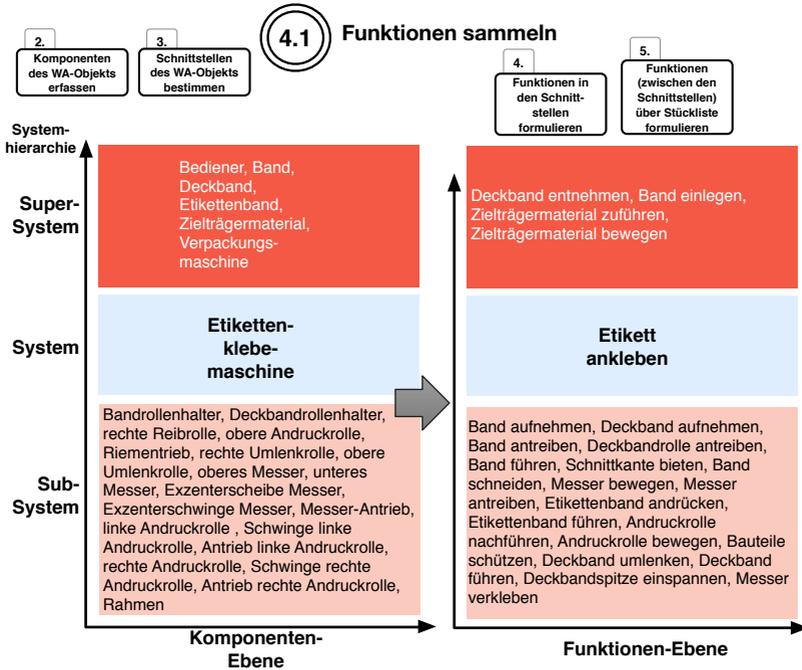


Abb. 6.5: MP 4.1 Funktionen sammeln - Erfassung von Komponenten und Funktionen der Etikettenklebemaschine

Abb. 6.6). Die Primär Nützliche Funktion (PNF) ist die Gesamtfunktion *Etikett ankleben*. Diese Funktion wird ermöglicht durch die Funktion *Etikett andrücken* und die akzeptierte Funktion *Zielträgermaterial zuführen*. Die Funktion *Etikett andrücken* wird zum Einen ermöglicht durch *Andruckrollen bewegen* und *Andruckrollen nachführen*. Diese unterstützen das Zusammenfügen von Etikett und Zielträgermaterial.

Zusätzlich wird die Funktion *Etikett führen* benötigt, deren Implementierung sicherstellt, dass die *rechte Andruckrolle* den Anfang des vereinzelt Etiketts an das *Zielträgermaterial* andrücken kann. Beim Andrücken wird das *Etikett* durch die Klebewirkung des aufgetragenen Klebstoffs vom *Zielträgermaterial* mit bewegt.

Damit dieser Transport stattfinden kann, wird die Funktion *Etikett abtrennen* benötigt. Das Ausführen dieser Funktion verursacht dabei die schädliche Funktion *Messer verkleben*. Für die Ausführung von *Etikett abtrennen* werden die Funktionen *Messer*

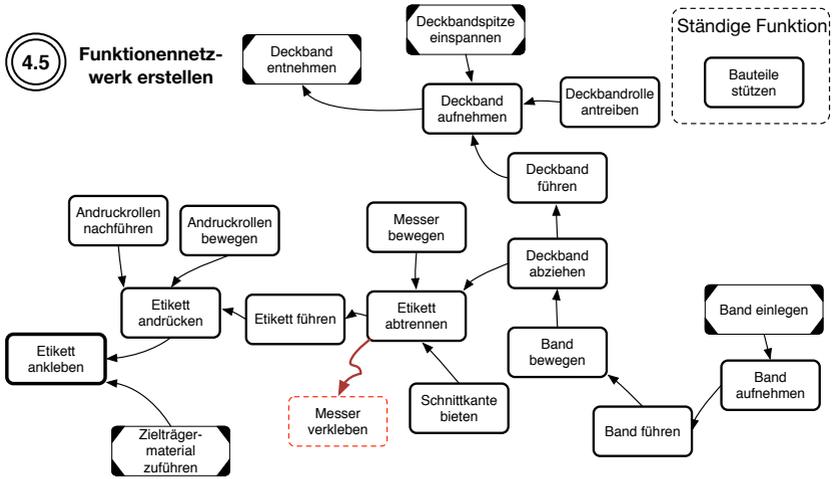


Abb. 6.6: MP 4.5 Funktionennetzwerk erstellen - Funktionen-Netzwerk der Etikettenklebemaschine

bewegen, Deckband abziehen, Band bewegen und Schnittkante bieten benötigt. Band bewegen wird durch Etikettenband schützen und Band führen ermöglicht. Die akzeptierte Funktion Etikettenband schützen (akzeptiert, da diese vom Band ausgeführt wird) ist außerdem eine Voraussetzung für Band führen. Band führen setzt die Funktion Band aufnehmen voraus. Dazu muss der Bediener die akzeptierte Funktion Band einlegen ausführen. Band einlegen beinhaltet beim Einlegen insbesondere das Durchfädeln des Bandes bis zwischen die Andruckrollen, das Abziehen des Deckbandes und das Ankleben des Beginns des ersten Etiketts an die richtige Position auf dem Zielträgermaterial für die erstmalige Mitnahme. Deckband abziehen ist eine Voraussetzung für die Funktion Deckband führen, die die

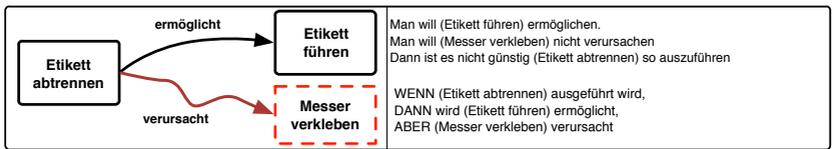


Abb. 6.7: MP 4.5 Funktionennetzwerk erstellen - Problem- und Widerspruchsformulierung für die schädliche Funktion Messer verkleben

Funktion *Deckband aufnehmen* ermöglicht.

*Deckband aufnehmen* benötigt die Funktion *Deckbandrolle antreiben* und die akzeptierte Funktion *Deckbandspitze einspannen*.

*Deckband aufnehmen* ermöglicht die akzeptierte Funktion *Deckband entnehmen*, die die Entnahme des Deckbandes durch den Bediener bezeichnet.

Als zusätzliche ständige Funktion wird die Funktion *Bauteile stützen* integriert. Die Zuordnung als ständige Funktion ist in diesem Fall übersichtlicher, da sehr viele Interaktionen mit den meisten anderen Funktionen der Etikettenklebemaschine bestehen.

In Schritt 7 des *MP 4.5 Funktionennetzwerk erstellen* erfolgt die Problem- und Widerspruchsformulierung aus dem Funktionennetzwerk (vgl. Abb. 6.7). Die Templates im *MP 4.5 Funktionennetzwerk erstellen* (Anh. C.9, S. 279) unterstützen bei der ersten Formulierung von Aufgaben, die aus diesem Problem resultieren können. In diesem Fall ist die schädliche Funktion *Messer verkleben* auffällig. Hier liegt ein von der Funktion *Etikett abtrennen* verursachter Widerspruch vor. Auch hier bietet der *MP 4.5 Funktionennetzwerk erstellen* Templates zur ersten Formulierung von Widersprüchen. Der konkrete Widerspruch wird in *MP 4.15 Probleminformationen verdichten* im Abschnitt 6.3.8 detailliert analysiert.

### 6.3.3 MP 4.8 - Funktionen zur Potentialanalyse auswählen

Zur Potentialanalyse der *Etikettenklebemaschine* werden acht Funktionen der Etikettenklebemaschine ausgewählt. Diese wurden anhand der im *MP 4.8 Funktionen zur Potentialanalyse auswählen* (Anh. C.13, S. 290) hinterlegten Auswahlhilfen identifiziert (siehe Grundregeln im *MP 4.8 Funktionen zur Potentialanalyse auswählen*).

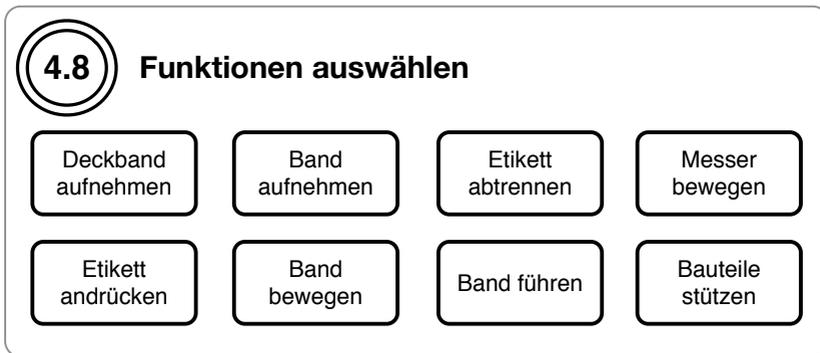


Abb. 6.8: *MP 4.8 Funktionen zur Potentialanalyse auswählen* - Festlegung der zu analysierenden Funktionen

### 6.3 Phase 4 Funktionen, Kosten, Detailziele festlegen

Jede ausgewählte Funktion beschreibt eine distinkte Wirkung. Außerdem können jeder Funktion Kosten zugeordnet werden. Die vorliegende Auswahl deckt zudem alle wesentlichen Komponenten des Systems ab.

*Deckband aufnehmen* und *Band aufnehmen* wurden ausgewählt da sie wesentliche Interaktionen mit dem Anwender beschreiben.

Die Funktionen *Messer bewegen*, *Band bewegen*, *Etikett abtrennen*, *Etikett andrücken* und *Band führen* werden ausgewählt, da diese die wesentliche Funktionalität des Systems beschreiben.

Zusätzlich wird die Funktion *Bauteile stützen* ausgewählt, da diese einen wesentlichen Teil der Hauptfunktionalität des Systems ermöglicht.

#### 6.3.4 MP 4.9 - Funktionen-Bedeutsamkeit ermitteln

Für die ausgewählten acht Funktionen wird ihre Gewichtung beurteilt. Das geschieht mit *MP 4.9 Funktionen-Bedeutsamkeit ermitteln*. Dazu wird die Eigenvektormethode genutzt, weil das WA-Team sich eine Bewertung der Funktionen aus Sicht des Kunden zutraut und die aufwändigere Ermittlung der Kundenanforderungen mit dem HoQ nicht für erforderlich hält.

C.R. = 0,04	Deckband aufnehmen	Etikett andrücken	Messer bewegen	Band bewegen	Band führen	Band aufnehmen	Bauteile stützen	Etikett abtrennen	Ergebnis
Deckband aufnehmen	1	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1	1/5	3 %
Etikett andrücken	5	1	3	3	3	5	5	1	26 %
Messer bewegen	5	1/3	1	1	1	3	3	1/3	12 %
Band bewegen	5	1/3	1	1	1	3	3	1/3	12 %
Band führen	5	1/3	1	1	1	1	3	1/3	10 %
Band aufnehmen	5	1/5	1/3	1/3	1	1	1	1/5	7 %
Bauteile stützen	1	1/5	1/3	1/3	1/3	1	1	1/5	4 %
Etikett abtrennen	5	1	3	3	3	5	5	1	26 %

Abb. 6.9: *MP 4.9 Funktionen-Bedeutsamkeit ermitteln* - Ermittlung der Funktionen-Bedeutsamkeiten der Etikettenklebemaschine mit der Eigenvektormethode

Der Funktion *Etikett andrücken* wird zusammen mit der Funktion *Etikett abtrennen* mit 26 % die höchste Bedeutsamkeit zugeordnet. Beide Funktionen werden als essentiell für die Erfüllung der Primär Nützlichen Funktion *Etikett ankleben* eingeschätzt. Die Funktionen *Messer bewegen*, *Band bewegen* und *Band führen* werden vom WA-Team im Verhältnis zu den anderen Funktionen mit Ausnahme von *Etikett andrücken*

und *Etikett abtrennen* als bedeutsamer eingeschätzt. Alle erfassen wesentliche Wirkungen in der Etikettenklebmaschine, ohne die die Erfüllung der PNF nicht möglich wäre.

### 6.3.5 MP 4.10 - Funktionen Kosten zuordnen

Für die Funktionen-Komponenten-Zuordnung (vgl. Abb. 6.10) werden nun die ausgewählten Funktionen der Baugruppe aus der Stückliste gegenübergestellt. Für einige Baugruppen bestehen 1:1 Zuordnungen zu Funktionen. Die Baugruppen *rechte Reibrolle*, *starres Messer mit Bandführung* und *Rahmen* sind Fkt-Träger für jeweils mehrere Funktionen.

Der Baugruppe *rechte Reibrolle* wird auf zwei Funktionen aufgeteilt. Die Funktion *Band bewegen* erhält 90 % Realisierungsanteil, da durch die Baugruppe *rechte Reibrolle* der Vortrieb für das Band aufgebaut wird. Der Funktion *Deckband aufnehmen* wird ebenfalls ein Anteil zugeordnet, da die Rotation der Deckbandrolle durch einen am Antrieb der Baugruppe *rechte Reibrolle* angebrachten Riemtrieb realisiert wird. Da dies nur ein Nebeneffekt ist, wird hier nur 10 % vergeben.

Der Baugruppe *starres Messer mit Bandführung* werden die Funktionen *Band führen* und *Etikett abtrennen* zugeordnet. Das Verhältnis der Aufteilung ist 30 % zu 70 %, was dem Abtrennen des Etiketts ein höheres Gewicht verleiht.

Der Baugruppe *Rahmen* werden die Funktionen *Band führen* und *Bauteile stützen* zugeordnet. 30 % der Baugruppe werden der Funktion *Band führen* und 70 % der Funktion *Bauteile stützen* zugeordnet.

Das Ergebnis der Zuordnung sind die Verteilung der Gesamtkosten (Kosten der Baugruppen sind ja bekannt) auf die acht ausgewählten Funktionen. Die teuerste Funktionen sind *Etikett andrücken* (29 %), *Deckband aufnehmen* (18 %), *Band bewegen* (14 %) und *Messer bewegen* (12 %). Die Verteilung der Funktionenkosten zeigt bereits im Sinne einer ABC-Analyse die Kostenrelevanz von Funktionen auf. In diesem Fall würde also der Fokus insbesondere auf den Funktionen *Etikett andrücken* und *Deckband aufnehmen* liegen. In den nächsten Schritten wird die Analyse noch über die Funktionen-Potential-Analyse und die Komponenten-Potential-Analyse verfeinert.

### 6.3.6 MP 4.11 - Funktionen-Potential analysieren

Zur weiteren Analyse wird der *MP 4.11 Funktionen-Potential ermitteln* (Anh. C.16, S. 295) angewendet (Beschreibung vgl. 5.1.2.4). In Abb. 6.11 sind die Funktionen in einem x-y-Diagramm in Form von Funktionen-Bedeutsamkeit über Funktionen-Kosten aufgetragen.

Aus Sicht der Funktionen-Potentialanalyse sind insbesondere die Funktionen *Etikett andrücken* aufgrund des hohen absoluten Kostenanteils und *Deckband aufnehmen* aufgrund des großen Missverhältnisses zwischen Fkt.-Bedeutsamkeit und Fkt.-Kosten kombiniert mit einem hohen Kostenanteil für die Optimierung interessant.

6.3 Phase 4 Funktionen, Kosten, Detailziele festlegen

Funktionen		Deckband aufnehmen			Etikett andrücken			Messer bewegen			Band bewegen			Band führen			Band aufnehmen			Bauteile stützen			Etikett abtrennen			Σ	
Komponenten	Kst. [€]	Anzahl	FK-Kosten [€]	Teil-Bedeutung [%]	Anzahl	FK-Kosten [€]	Teil-Bedeutung [%]	Anzahl	FK-Kosten [€]	Teil-Bedeutung [%]	Anzahl	FK-Kosten [€]	Teil-Bedeutung [%]	Anzahl	FK-Kosten [€]	Teil-Bedeutung [%]	Anzahl	FK-Kosten [€]	Teil-Bedeutung [%]	Anzahl	FK-Kosten [€]	Teil-Bedeutung [%]	Anzahl	FK-Kosten [€]	Teil-Bedeutung [%]	Komponenten	
rechte Reibrolle	52	0,1	5,18	0,001				0,9	46,86	0,06				0,3	15,27	0,02											6
Rahmen	51																										6
Exzenterschnecke	48				1	47,91	0,12																				12
Messer																											7
Riementrieb	40	1	40,47	0,01																							1
Antrieb linke Andruckrolle	34				1	32,48	0,04																				4
Bandrollenhalter	23																										4
Deckbandrollenhalter	18	1	18,26	0,01																							7
Schwinge linke Andruckrolle	18				1	16,76	0,04																				1
Schwinge rechte Andruckrolle	16				1	15,89	0,04																				4
Messer mit Druckfunktion	16													0,3	4,66	0,02											13
benutzbares Messer	14																										15
obere Andruckrolle	8							1	7,75	0,06																	6
rechte Umlenkrolle	8																										6
obere Umlenkrolle	8	1	7,75	0,01																							1
linke Andruckrolle	8				1	8,05	0,04																				4
rechte Andruckrolle	8				1	7,75	0,04																				4
rechte Antrieb Andruckrolle	34				1	32,63	0,04																				4
<b>Σ Kostenanteile</b>			<b>18 71,67</b>		<b>28</b>	<b>113,6</b>		<b>12</b>	<b>47,91</b>		<b>14</b>	<b>54,41</b>		<b>7</b>	<b>27,71</b>		<b>6</b>	<b>23,44</b>		<b>9</b>	<b>35,63</b>		<b>6</b>	<b>25,29</b>			

Abb. 6.10: MP 4.10 - Funktionen-Kosten der Etikettenklebmaschine (Schema vgl. Abschnitt 4.4)

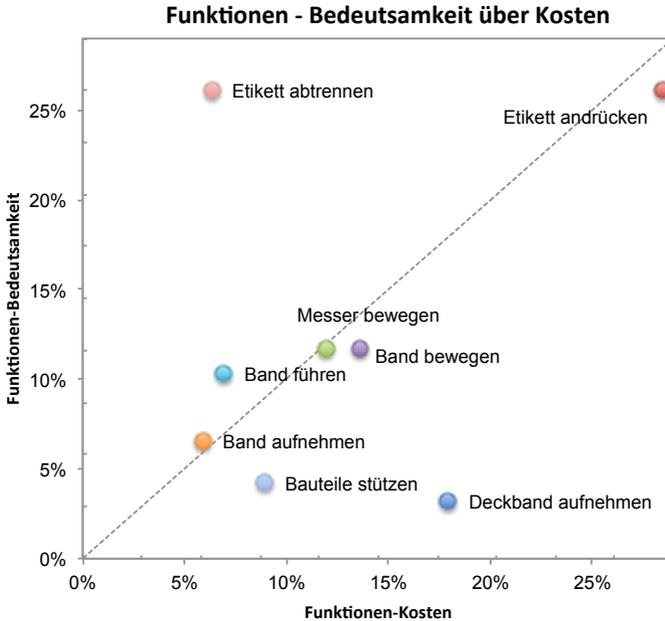


Abb. 6.11: MP 4.11 Funktionen-Potential ermitteln - Analyse des Funktionen-Potentials der Etikettenklebemaschine

*Bauteile stützen* ist ebenfalls kostentreibend. *Band bewegen*, *Messer bewegen*, *Band aufnehmen* und *Band führen* sind knapp ausgeglichen.

Noch deutlicher wird dies in Abb. 6.12, wo in einem Balkendiagramm die derzeitigen IST-Funktionen-Kosten und die aus der Fkt.-Bedeutsamkeit abgeleiteten ZIEL-Fkt.-Kosten dargestellt sind. Zusätzlich sind die aus der Fkt.-Bedeutsamkeit abgeleiteten und um das Optimierungsziel (20 % Kostenreduktion) erweiterten ZIEL-Funktionen-Kosten für die einzelnen Funktionen dargestellt.

Die Kosten der Umsetzungen der Funktionen *Deckband aufnehmen*, *Etikett andrücken*, *Bauteile stützen* und auch *Band bewegen* müssen aus Sicht der Fkt.-Potential-Analyse gesenkt werden. Hervorzuheben sind *Deckband aufnehmen* und *Etikett andrücken*, die eine besonders hohe Diskrepanz zwischen den IST-Fkt.-Kosten und den um das Optimierungsziel erweiterten ZIEL-Fkt.-Kosten aufweisen. Als Konsequenz müssen insbesondere die an der Realisierung dieser beiden Funktionen beteiligten Komponenten optimiert werden.

Aufgrund der hohen Fkt.-Bedeutsamkeit weist die Fkt.-Potential-Analyse für die

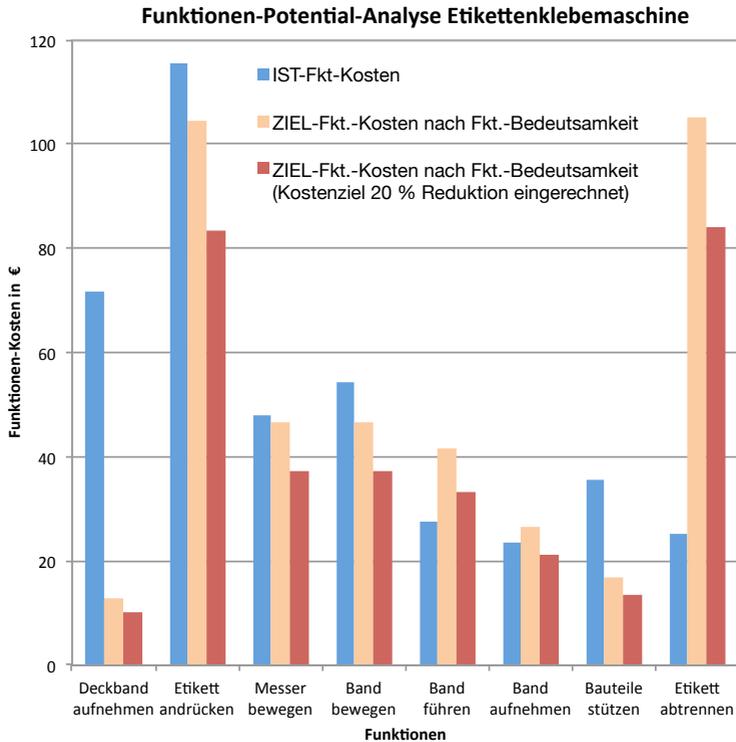


Abb. 6.12: Gegenüberstellung von IST-Fkt.-Kosten, ZIEL-Fkt.-Kosten nach Fkt.-Bedeutsamkeit und ZIEL-Fkt.-Kosten nach Fkt.-Bedeutsamkeit unter Berücksichtigung des 20 % Kosteneinsparungsziels

Funktion *Etikett abtrennen* ein Investitions-Potential zur Nutzenerhöhung aus. Im Sinne der Zielsetzung Kostensenkung des Projekts wird diese jedoch nicht priorisiert betrachtet.

### 6.3.7 MP 4.12 - Komponenten-Potential analysieren

Im nächsten Schritt sind die kostentreibenden Komponenten zu identifizieren. Auf Grundlage des *MP 4.11 Funktionen-Potential ermitteln* wird dazu der *MP 4.12 Komponenten-Potential analysieren* (Anh. C.17, S. 297) angewendet (Beschreibung

6 Einsatz von kombinierten WA- und TRIZ-Methoden

vgl. 4.4 und 5.1.2.5).

Das Ergebnis ist in einem x-y-Diagramm über die Achsen Komponenten-Bedeutsamkeit und Komponenten-Kosten aufgetragen (vgl. Abb. 6.13). Die Etikettenklebemaschine weist mehrere Komponenten auf, deren IST-Kosten aus Sicht der Komponenten-Potential-Analyse über ihren Zielkosten liegt. Dies ist besonders bei den Komponenten *Rahmen*, *rechte Reibrolle*, *Riementrieb*, *Antrieb linke Andruckrolle* und *Antrieb rechte Andruckrolle* der Fall. Eine Optimierung sollte sich zunächst auf diese Komponenten konzentrieren. Wird dort nicht die geforderte Einsparung erreicht, können im nächsten Schritt entweder weitere kostentreibende Komponenten (z.B. *Deckbandrollenhalter*, *obere Umlenkrolle*) auf oder auf Grundlage des absoluten Kostenanteils am System ermittelte Komponenten (z.B. *Exzenterantrieb Messer*) betrachtet werden.

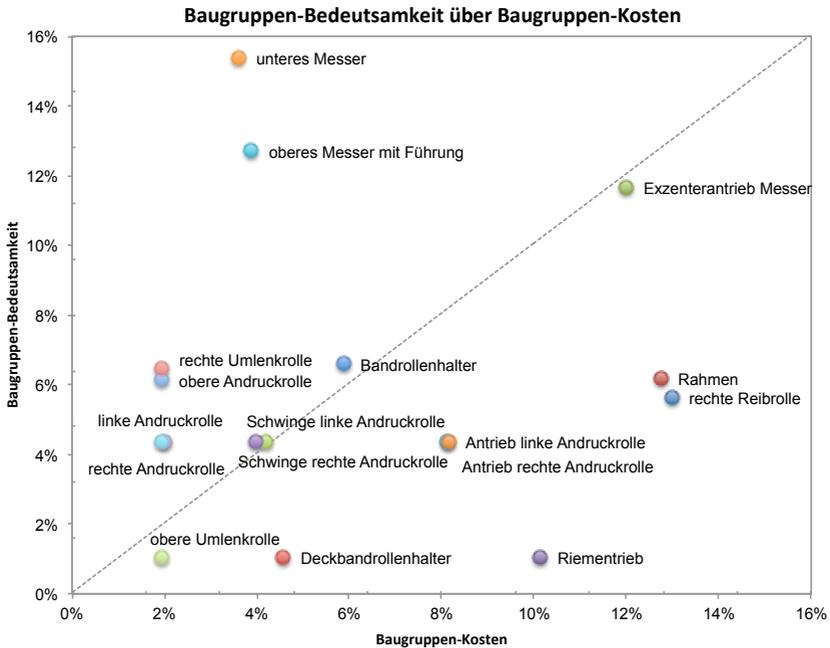


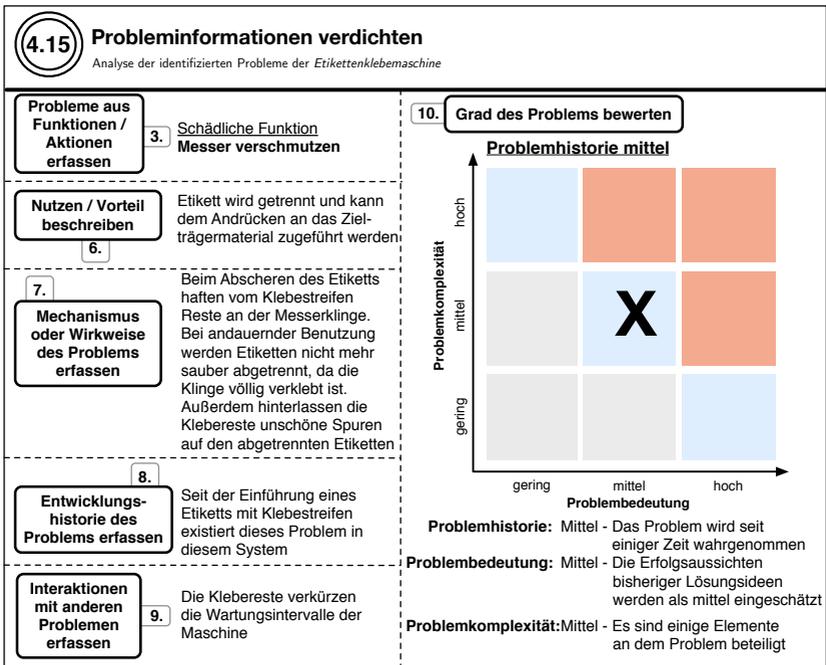
Abb. 6.13: MP 4.12 Komponenten-Potential analysieren - Analyse der Etikettenklebemaschine

### 6.3.8 MP 4.15 - Probleminformationen verdichten

Dieser Abschnitt beschreibt die Analyse des Problems *Messerverschmutzung*. Es wird als das wesentliche technische Problem des IST-Zustands gesehen. Zur Analyse wird der *MP 4.15 Probleminformationen verdichten* (Anh. C.21, S. 307) (Beschreibung vgl. Abschnitt 5.1.3.1) angewendet (vgl. Abb. 6.6).

Schritt 6 (vgl. Abb. 6.6): Die Funktion tritt auf, wenn die nützliche Funktion *Etikett abtrennen* ausgeführt wird, die in der Folge die Ausführung der Funktionen *Etikett führen* und *Etikett andrücken* ermöglicht. Der wesentliche Nutzen der verursachenden Funktion *Etikett abtrennen* ist das Vereinzeln des Etikettenbandes in Einzeletiketten, die dann an das Zielträgermaterial angeklebt werden können.

Schritt 7: Es wird der *Mechanismus /die Wirkweise des Problems* erfasst. Das Messer



## 6 Einsatz von kombinierten WA- und TRIZ-Methoden

wird verschmutzt, wenn beim Abscheren des Etiketts die Messerklingen den Klebeüberzug durchtrennen. Dabei lagern sich Klebereste auf den Klingen ab. Über einen längeren Zeitraum führen diese Rückstände zu unsauberen Trennungen und Rückständen auf den abgetrennten Etiketten. Beide Effekte sind vom Kunden wahrnehmbar.

Schritt 8: Die *Entwicklungshistorie des Problems* (neu, bereits länger vorhanden, etc.) wird analysiert. In diesem Fall existiert das Problem konzeptbedingt seit der ersten Version der *Etikettenklebemaschine*.

Schritt 9: Als wesentliche *Interaktion dieses Problems mit anderen Problemen* wird die Auswirkung der Verschmutzung auf die Länge der Wartungsintervalle gesehen.

Schritt 10: Das Problem wird bewertet. Für den Indikator *Problemhistorie* wird festgestellt, dass Kunden dieses Problem seit längerem immer wieder kommunizieren. Dabei beschweren sich Kunden über die im Vergleich zum Wettbewerb kurzen Wartungsintervalle. Ein wesentlicher Faktor für die kurzen Wartungsintervalle ist die Notwendigkeit, die Messer zu reinigen. Da es kein kurzfristig aufgetretenes Problem ist, wird aus dem *MP 4.15 Probleminformationen verdichten* (Anh. C.21, S. 310) der *System Operator* zur *mittleren Problemhistorie* verwendet.

Für die Einschätzung der Indikatoren *Problembedeutung* und *Problemkomplexität* werden die im *MP 4.15 Probleminformationen verdichten* (Anh. C.21, S. 309) Beschreibungen der Ausprägungen genutzt.

Der Indikator *Problembedeutung* wird als mittel eingestuft. Begründet wird dies mit der Einschätzung, dass bei den bisher im Unternehmen diskutierten Lösungsansätze eine Problemlösung nicht gesichert ist.

Die *Problemkomplexität* ist als mittel einzustufen, da am vorliegenden Problem einige Elemente der Etikettenklebemaschine (*oberes Messer, unteres Messer, Etikettenband, Klebefilm*) beteiligt sind.

In Summe wird das Problem dadurch mit einem mittleren Problemgrad (vgl. Beschreibung in Abschnitt 5.1.3.1) bewertet. Bei Problemen mit mittlerem Problemgrad können zur Lösungsfindung optional TRIZ-Techniken eingesetzt werden.

Die erstellte Problembeschreibung wird in der Phase 5 als Ausgangspunkt für die Entwicklung von Optimierungsansätzen genutzt.

### 6.3.9 MP 4.17 - Detailziele festlegen

Zum Abschluss der Phase 4 werden im *MP 4.17 Detailziele festlegen* (Anh. C.23, S. 316) die Vorgehensweise und die Reihenfolgen der Bearbeitung für die folgende Phase 5 festgelegt (Ergebnisse vgl. Abb. 6.15).

Die Erkenntnisse aus Funktionen- und Komponenten-Potential-Analyse (vgl. Abschnitte 6.3.6 und 6.3.7) und Problemanalyse (vgl. Abschnitt 6.3.8) werden in diesem Methodenpass reflektiert.

Schritt 5: Aus den Erkenntnissen der Analyse lassen sich die drei in Abb. 6.15 dargestellten wesentlichen Detailziele ableiten.



Abb. 6.15: MP 4.17 Detailziele festlegen - Festlegung der Detailziele für das WA-Projekt Etikettenklebmaschine

Schritt 6: Die abgeleiteten Detailziele sind im Einklang mit den für das WA-Projekt definierten Grobzielen sind. Die Detailziele 1 und 2 präzisieren das Grobziel *Kostensenkung um 20 %*. Das Detailziel 3 präzisiert das Grobziel *wesentliche Probleme, falls vorhanden, zu lösen*.

Auf Grundlage dieser letzten Überprüfung kann im nächsten Schritt in die Phase 5 des WA-Projekts übergegangen werden.

## 6.4 Phase 5 - Lösungsideen entwickeln

Im folgenden Abschnitt wird die Etikettenklebmaschine auf Grundlage der in Abschnitt 6.2 erfolgten Methodenauswahl und der in Abschnitt 6.3 beschriebenen Analyseergebnisse optimiert.

Für die Detailziele *Kostensenkung* und *Effizienzsteigerung* werden die *Methodenpässe* MP 5.2 *Kostenoptimierung* und MP 5.3 *Komponenten trimmen* eingesetzt (vgl. Abschnitt 6.4.1).

Für das Detailziel *Problemlösung* werden die *Methodenpässe* MP 5.8 *Problembearbeitung steuern* und MP 5.9 *Widersprüche formulieren und lösen* verwendet (vgl. Abschnitt 6.4.2).

### 6.4.1 Detailziele Kostensenkung und Effizienzsteigerung

Die Ergebnisse der Funktionen- und Komponenten-Potential-Analyse aus den *MP 4.11 - Funktionen-Potential analysieren* (vgl. Abschnitt 6.3.6) und *MP 4.12 Komponenten-Potential analysieren* (vgl. Abschnitt 6.3.7) werden im *MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren* (Anh. D.5, S. 324) wieder aufgenommen. In diesem Abschnitt wird die iterative Anwendung dieses Methodenpasses in Verbindung mit dem *MP 5.3 Komponenten trimmen* (Anh. D.6, S. 329) zur Optimierung der Etikettenklebmaschine demonstriert. In den Abbildungen dieses Abschnitts sind die wesentlichen Arbeitsergebnisse mit den zugeordneten Schritten der Methodenpässe dargestellt.

Der *MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren* (Arbeitsergebnis vgl. Abb. 6.16, *MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren* (Anh. D.5, S. 325)) wird als übergeordnete Vor-

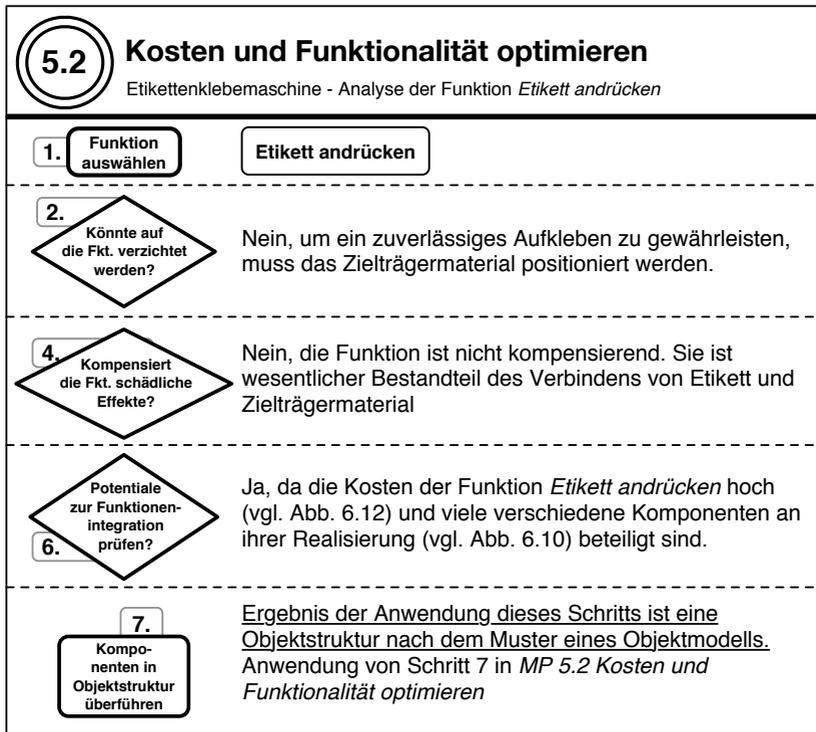


Abb. 6.16: *MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren* - Analyse *Etikett andrücken*

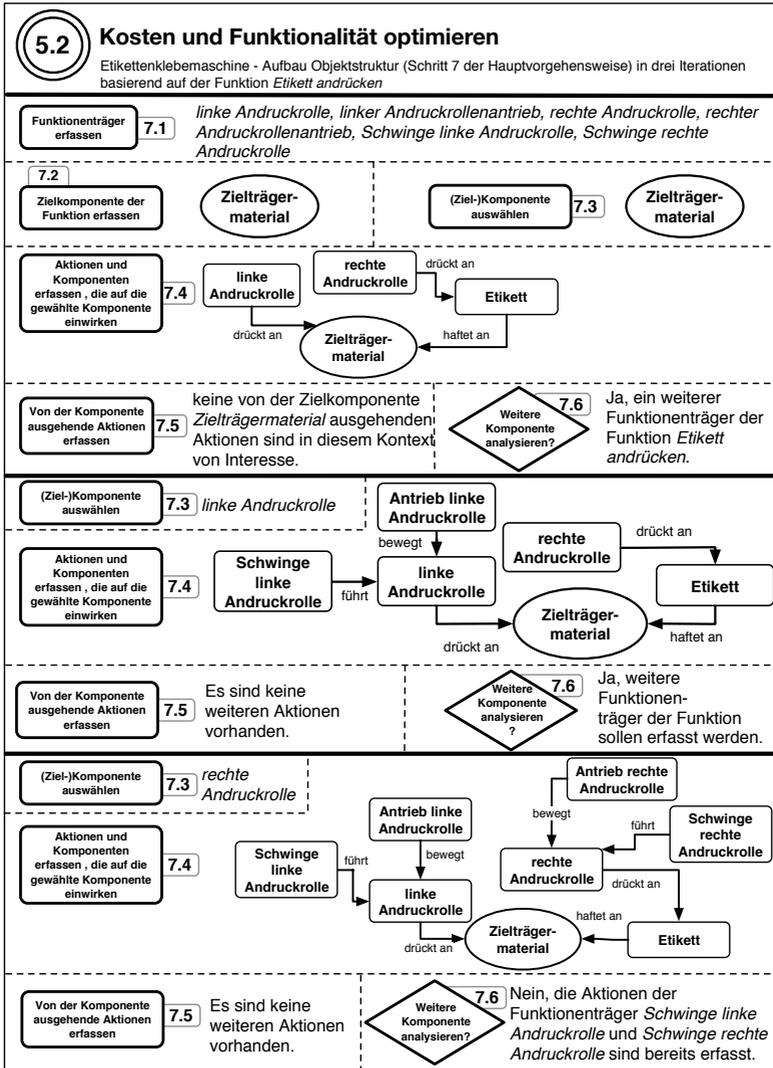


Abb. 6.17: MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren - Analyse *Etikett andrücken* - Umsetzung Schritt 7 - Erstellung Objektstruktur durch Erfassung von Komponenten und Aktionen

gehensweise genutzt. Im Schritt 1 wird *Etikett andrücken* zur Analyse ausgewählt. Sie ist die teuerste Funktion des Systems (vgl. Abb. 6.11). Aus diesem Grund wird sie als erstes analysiert. Für die an ihrer Realisierung beteiligten Komponenten zeigt die Komponenten-Potential-Analyse (vgl. Abb. 6.13), dass insbesondere die Antriebe der beiden Andruckrollen deutlich kostentreibend sind. Schritt 7: Es wird die im *MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren* (Anh. D.5, S. 325) hinterlegte Vorgehensweise angewendet (Ergebnis vgl. Abb. 6.17). Die Modellierung sollte mindestens für die Zielkomponente und für den Funktionsträger der ausgewählten Funktion erfolgen. Die Erstellung des Objektmodells für die Funktion *Etikett andrücken* erfolgt in drei Iterationen (vgl. Abb. 6.17 Trennung durch horizontale fette Linien).

Schritt 7.1: Für Iteration 1 werden alle an der Erfüllung der Funktion *Etikett andrücken* beteiligten sechs Komponenten erfasst.

Schritt 7.2: Für Iteration 1 werden die auf die Komponente *Zielträgermaterial* wirkenden Aktionen erfasst. Da es sich bei dem *Zielträgermaterial* um die Zielkomponente handelt, geht von dieser keine Aktion aus.

Schritt 7.3: Für Iteration 1 wird das *Zielträgermaterial* als die zu analysierende Komponente ausgewählt.

Schritt 7.4: Für Iteration 1 werden alle auf das *Zielträgermaterial* wirkende Aktionen und die sie ausführenden Komponenten erfasst. Drei Komponenten werden identifiziert.

Schritt 7.5: Für Iteration 1 wird festgestellt, dass vom *Zielträgermaterial* keine relevanten Aktionen ausgehen.

In der zweiten Iteration (Schritte 7.3, 7.4, 7.5 und 7.6) wird die *linke Andruckrolle* mit den auf sie einwirkenden und von ihr ausgehenden Aktionen analysiert und das Objektmodell um die Komponenten *Antrieb linke Andruckrolle* und *Schwinge linke Andruckrolle* ergänzt.

In der dritten Iteration (Schritte 7.3, 7.4, 7.5 und 7.6) wird dann die *rechte Andruckrolle* analysiert. Ergebnis ist das um die Komponenten *Antrieb rechte Andruckrolle* und *Schwinge rechte Andruckrolle* ergänzte Objektmodell. Dieses wird dann im Schritt 8 des *MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren* (Anh. D.5, S. 324) durch Nutzung des *MP 5.3 Komponenten trimmen* auf Potentiale zur Funktionenintegration untersucht.

In Abb. 6.18 wird exemplarisch die Anwendung des *MP 5.3 Komponenten trimmen* (Anh. D.6, S. 329) modellierten Komponenten (vgl. Abb. 6.17) dargestellt. Die Komponenten *Antrieb linke Andruckrolle* und *linke Andruckrolle* werden durch Anwendung der Moderationsfragen im *MP 5.3 Komponenten trimmen* (Anh. D.6, S. 330) auf Trimm-Potentiale untersucht.

Durch Anwendung des *MP 5.3 Komponenten trimmen* entstehen die Ideen, die Komponente *Antrieb linke Andruckrolle* entfallen zu lassen und die *linke Andruckrolle* gestellfest zu lagern.

Die nächste im *MP 5.2 Kosten und Funktionalität optimieren* analysierte Funktion ist *Messer bewegen* (vgl. Abb. 6.19 Schritt 1). Nach der Analyse der Funktion (Schritte 2 und 4) wird in Schritt 6 entschieden, die Funktion *Messer bewegen* und die ihr zugeordnete Komponente *Exzenterantrieb Messer* in das bereits für die Funktion

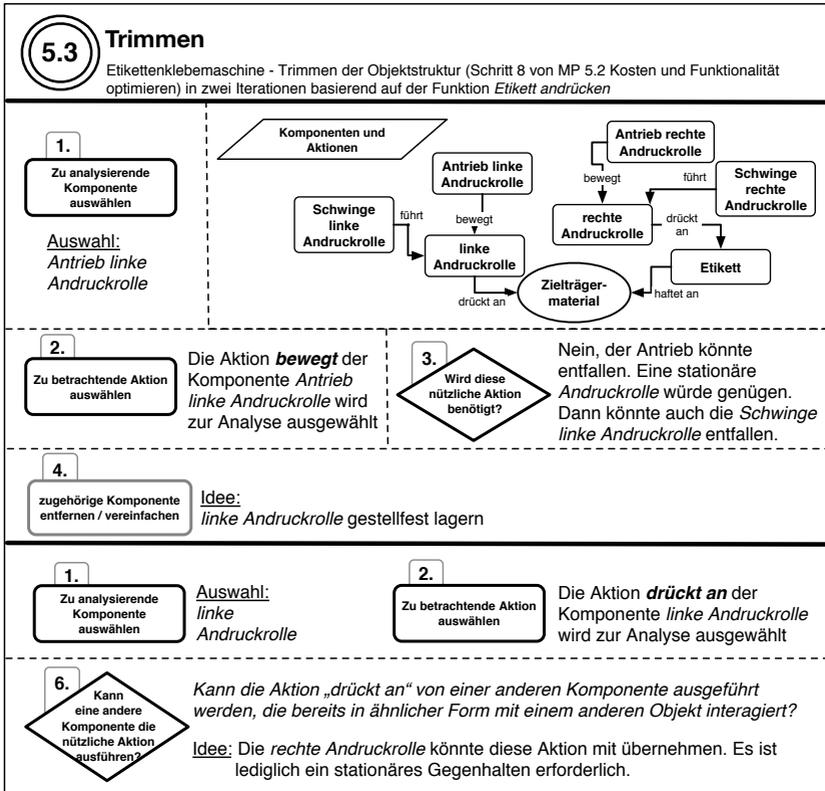


Abb. 6.18: MP 5.3 Komponenten trimmen - Analyse der an *Etikett andrücken* beteiligten Komponenten und Aktionen - Aus Schritt 8 von MP 5.2 *Kosten/Funktionalität optimieren*

*Etikett andrücken* erstellte Objektmodell zu integrieren (vgl. Schritt 7).

Schritt 7.4 (vgl. Abb. 6.20): Das Objektmodell wird für die Komponente *unteres Messer* um die Interaktionen mit den Komponenten *Exzenterantrieb Messer* und *Etikett* erweitert.

Zur Erarbeitung von Kostensenkungsideen wird auf der Grundlage des erweiterten Objektmodells (vgl. Abb. 6.20) wieder der MP 5.3 *Komponenten trimmen* angewendet (vgl. Abb. 6.21). Dazu wird die Komponente *Exzenterantrieb Messer* analysiert

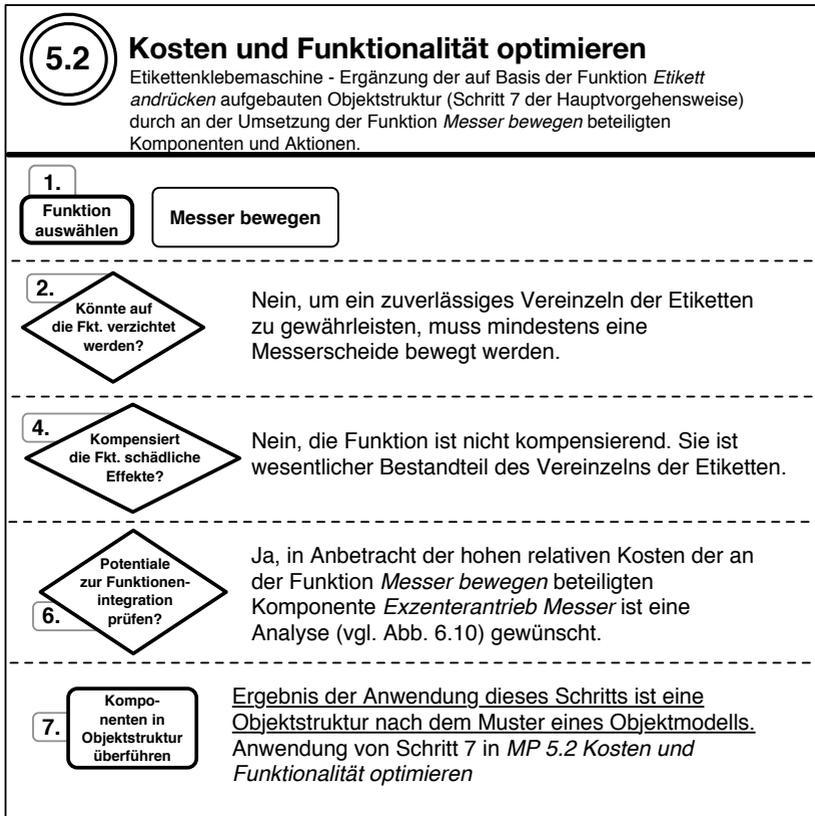


Abb. 6.19: MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren - Analyse Messer bewegen

(Schritte 1–5). Ergebnis der Anwendung (siehe Schritt 6) ist die Idee, die Komponente *rechte Andruckrolle* durch einen beweglichen *Andruckbalken* ersetzt werden könnte, der gleichzeitig eine Aufnahme für das *untere Messer* bietet. Eine Reduzierung der benötigten Komponenten zur Realisierung der Funktion *Messer bewegen* scheint also möglich.

Die nächste im MP 5.2 Kosten und Funktionalität optimieren analysierte Funktion ist *Band bewegen* (vgl. Abb. 6.22). Diese Funktion wird ausgewählt, da sie einen recht hohen Kostenanteil aufweist und mit *rechte Reibrolle* eine kostentreibende Kompo-

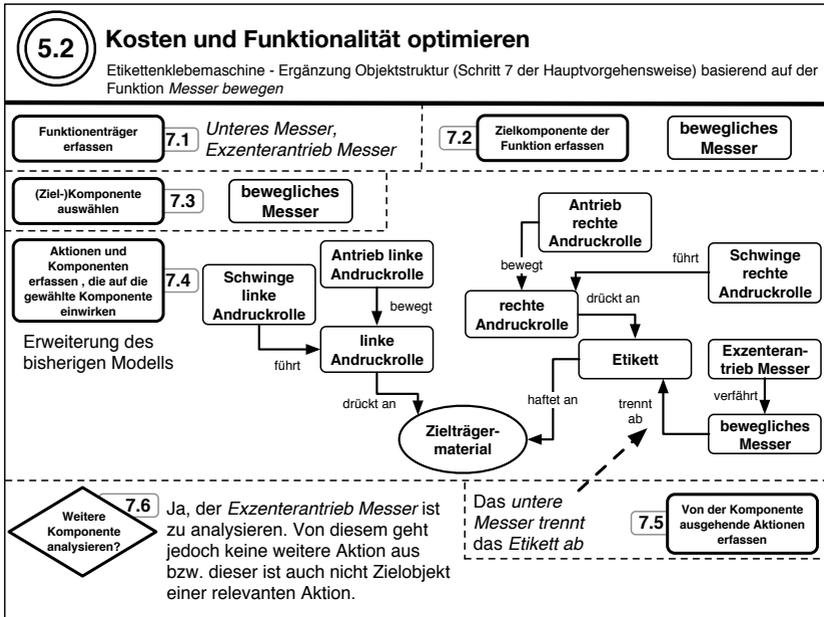


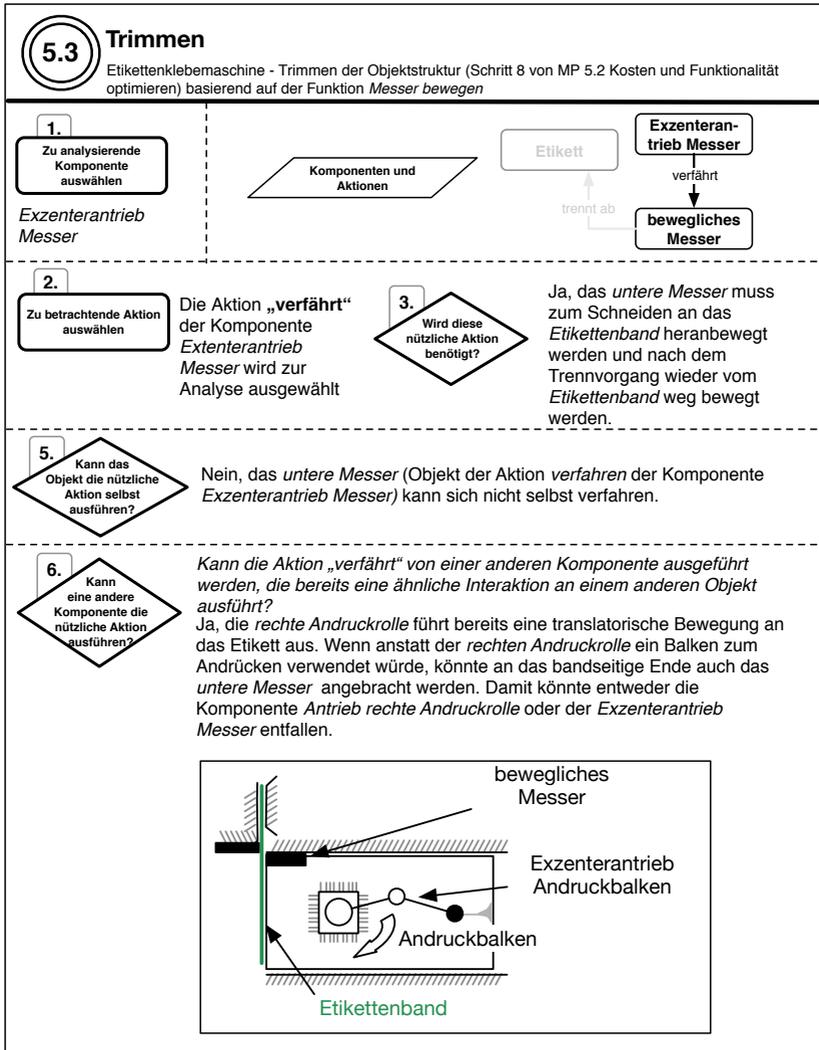
Abb. 6.20: MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren - Analyse Messer bewegen - Umsetzung Schritt 7 - Ergänzung der Objektstruktur

nente zugeordnet ist. Nach der Analyse der Funktion (Schritte 2 und 4) wird in Schritt 6 entschieden, die Funktion *Band bewegen* und die an ihrer Realisierung beteiligten Komponenten in das bereits für die Funktion *Etikett andrücken* erstellte Objektmodell zu integrieren (vgl. Schritt 7).

In den Abb. 6.23 und 6.24 ist für die Funktion *Band bewegen* die Ergänzung des bestehenden Objektmodells anhand der im MP 5.2 Kosten und Funktionalität optimieren hinterlegten Vorgehensweise dargestellt (Ergänzttes Objektmodell vgl. Abb. 6.24). Die Komponenten *Etikettenband*, *rechte Reibrolle*, *Deckband* und *Riementrieb* werden mit ihren verknüpften Aktionen hinzugefügt.

Kostensenkungsideen werden auf der Grundlage des Objektmodells in Abb. 6.24 im MP 5.3 Komponenten trimmen erarbeitet (exemplarisch für die Komponente *rechte Reibrolle* in Abb. 6.25).

Daraus entsteht die Idee, den Antrieb des *Bandes* durch einen direkten Antrieb des *Deckbandrollenhalters* zu realisieren. Damit könnten der *Riementrieb* und die *obere Andruckrolle* entfallen.



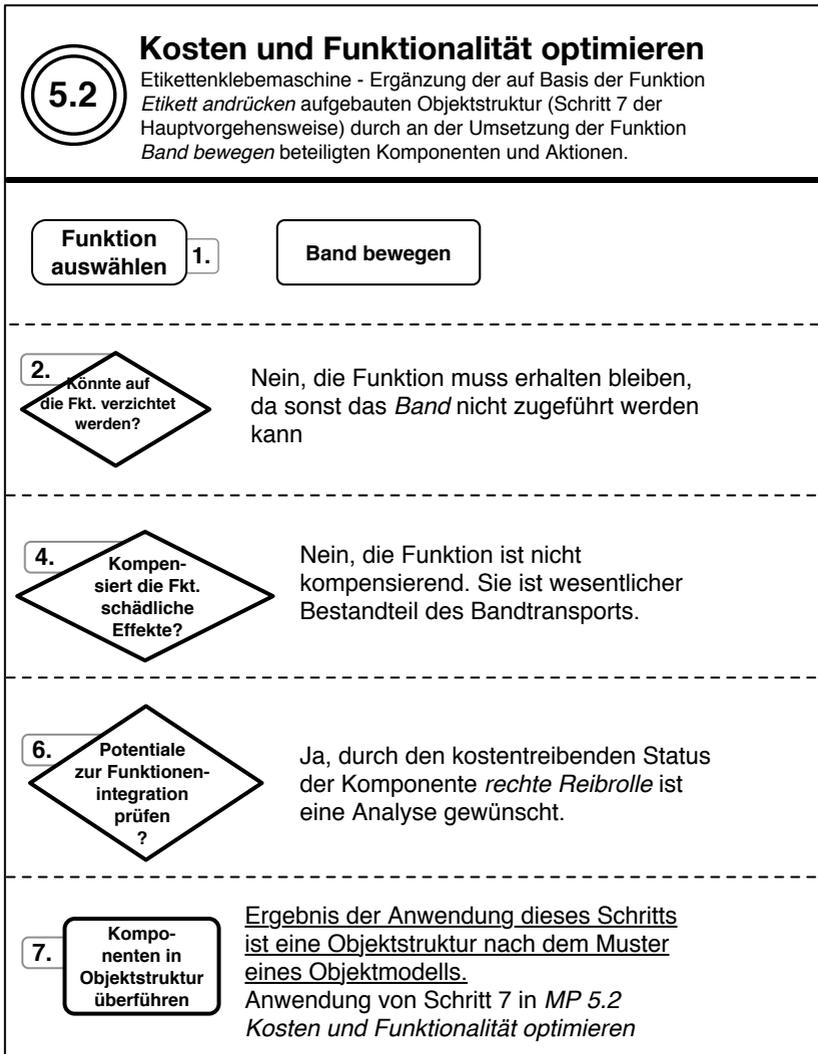


Abb. 6.22: MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren - Analyse Band bewegen

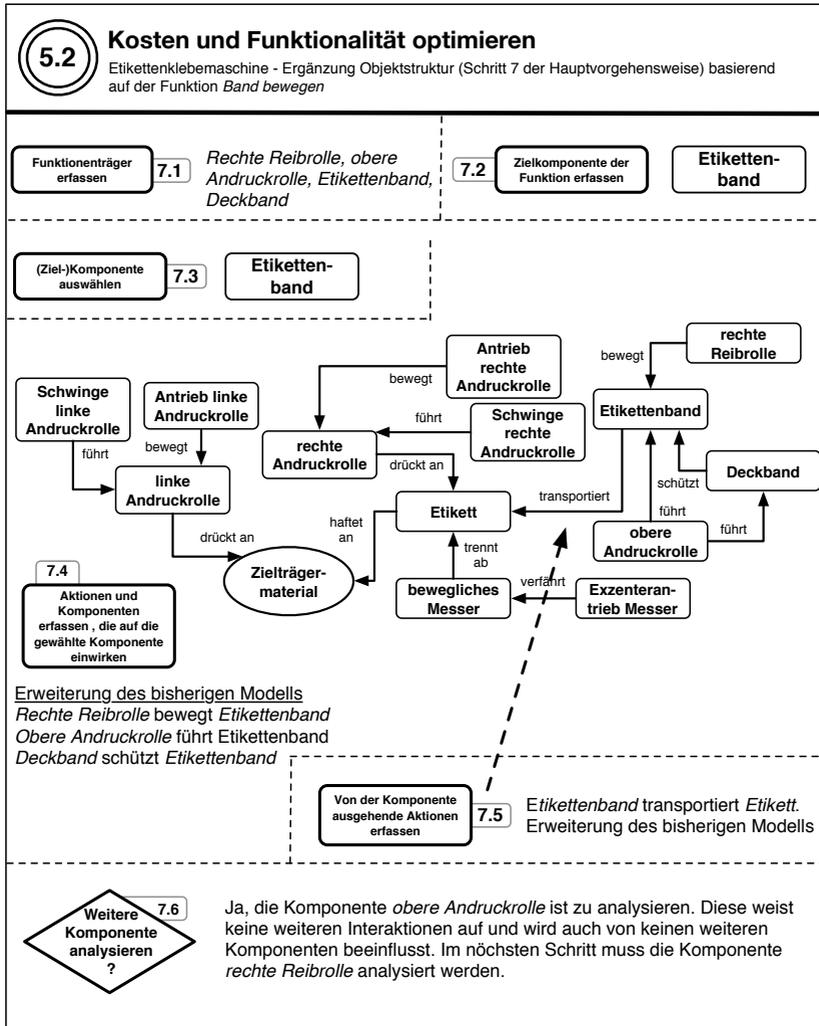


Abb. 6.23: MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren - Analyse Band bewegen - Umsetzung Schritt 7 - Ergänzung der Objektstruktur

Die Anwendung des *MP 5.3 Komponenten trimmen* führt in diesem Projekt zu einer Reihe von Lösungsideen für die Funktionenintegration. Die hinterlegten Moderationsfragen unterstützen dabei die systematische Suche nach Lösungsideen erheblich. Ergebnis ist eine Lösung, die die gleiche Funktionalität mit wesentlich weniger Komponenten ausführt (Diskussion vgl. Abschnitt 6.5).

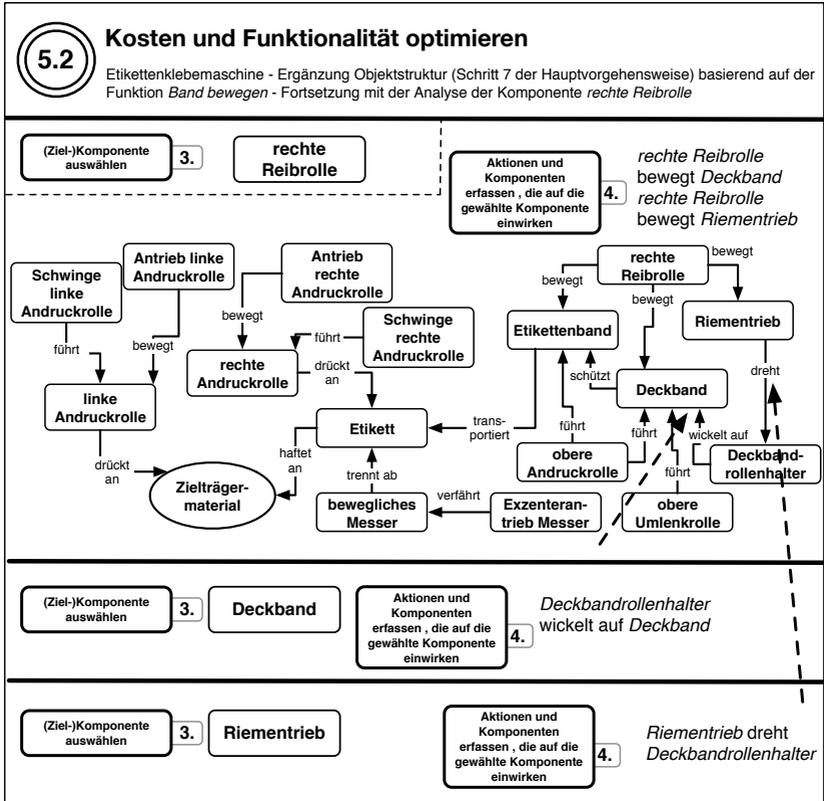


Abb. 6.24: *MP 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren* - Analyse *Band bewegen* - Umsetzung Schritt 7 - Ergänzung der Objektstruktur durch die Komponente *rechte Reibrolle*

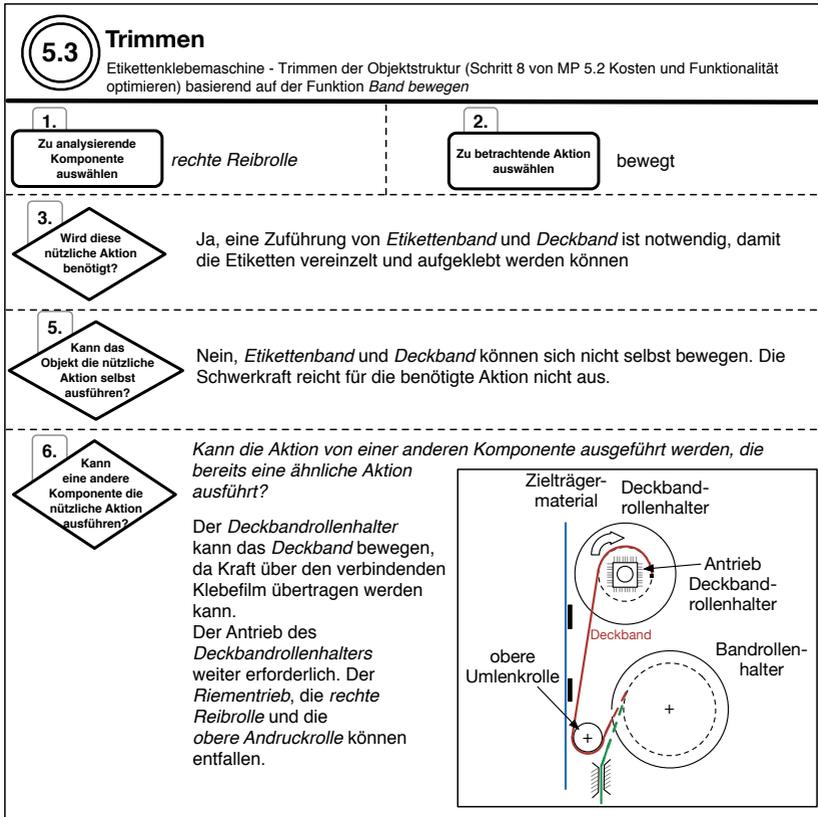


Abb. 6.25: MP 5.3 *Komponenten trimmen* - Analyse der an *Band bewegen* beteiligten Komponenten und Aktionen - Aus Schritt 8 von MP 5.2 *Kosten/Funktionalität optimieren*

### 6.4.2 Detailziel Problemlösung

Ausgehend von der Problemanalyse im im MP 4.15 *Probleminformationen verdichten* (vgl. Abschnitt 6.3.8) wird nach Lösungsansätzen für das Problem der Messerverschmutzung gesucht. Das detailliert erfasste Problem wird durch Anwendung von MP 5.8 *Problembearbeitung steuern* (Anh. D.12, S. 347) (Ergebnisse vgl. Abb. 6.26)

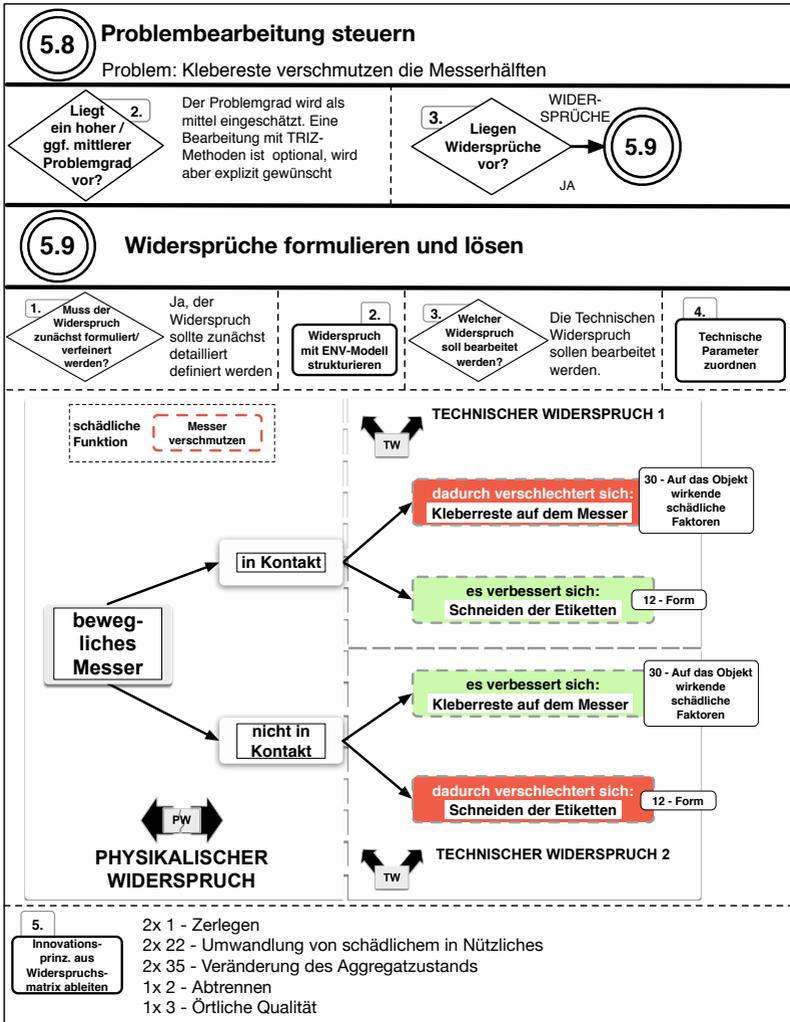


Abb. 6.26: MP 5.8 Problembearbeitung steuern und MP 5.9 Widersprüche formulieren und lösen - Widerspruchsformulierung für das Problem Messerver- schmutzung durch Klebereste

## 6 Einsatz von kombinierten WA- und TRIZ-Methoden

und *MP 5.9 Widersprüche formulieren und lösen* (Anh. D.13, S. 348) (Ergebnisse vgl. Abb. 6.26ff.) bearbeitet.

Für die vorliegende Problembeschreibung (vgl. Abb. 6.14), wird das ENV-Modell des Widerspruchs formuliert (Grundlagen ENV vgl. Abschnitt 2.3.2.1, Anwendung vgl. Schritt 2 unten in Abb. 6.26).

Schritt 4 (vgl. Abb. 6.26): Den Ausprägungen der Technischen Widersprüche werden Technische Parameter der Widerspruchsmatrix (Grundlagen vgl. Abschnitt 2.3.4.2) zugeordnet. In diesem Fall wird für den Technischen Widerspruch 1 (oben rechts im ENV-Modell) der positiven Ausprägung *Schneiden der Etiketten* der Technische Parameter *12 - Form*<sup>62</sup> zugeordnet. Der negativen Ausprägung *Klebereste auf dem Messer* wird der Technische Parameter *30 - Auf das Objekt wirkende schädliche Faktoren*<sup>63</sup> zugeordnet.

Schritt 5: Auf Grundlage der zugeordneten Technischen Parameter werden durch Nutzung der Widerspruchsmatrix fünf *Innovationsprinzipien (IP)* ermittelt, die besonders für die Lösung der vorliegenden Parameterkonstellation in Frage kommen. Da die Verteilung der Innovationsprinzipien in der Widerspruchsmatrix nicht symmetrisch ist, müssen beide Kreuzungspunkte der o.g. Technischen Parameter auf Innovationsprinzipien geprüft werden. Die ermittelten *Innovationsprinzipien* werden dabei nach ihrer Nennungshäufigkeit geordnet. Im nächsten Schritt werden diese dann auf das vorliegende Problem angewendet (vgl. Abbildungen 6.27, 6.28 und 6.29). Ziel ist, möglichst viele Ideen zur Lösung des Problems zu sammeln. Diese werden dann in der Phase 6 des WA-Projekts bewertet und in der Phase 7 in das Gesamtkonzept eingearbeitet. Die schlussendlich verwendete Lösung wird im Abschnitt 6.5 vorgestellt.

Für die Innovationsprinzipien *1-Zerlegen* und *22-Schädliches in Nützliches umwandeln* werden in Abb. 6.27 links Hilfsfragen aufgelistet. Diese dienen als spezifischere Ideenankregung, als eine allgemeine Beschreibung des jeweiligen Innovationsprinzips dies könnte. Die resultierenden Ideen sind auf der rechten Seite dargestellt.

Für das Innovationsprinzip *35-Veränderung des Aggregatzustands* werden ebenfalls Hilfsfragen zur Anwendung genutzt (vgl. Abb. 6.28). Die resultierenden Ideen sind auf der rechten Seite dargestellt.

---

<sup>62</sup>Die interne oder externe Form oder das Profil eines Bestandteils oder des Systems, wie es ergonomisch und funktionell erforderlich ist; ästhetische Gesichtspunkte sind hier untergeordnet. [SOLIDCREATIVITY 2013]

<sup>63</sup>Empfänglichkeit eines Systems gegenüber extern entstandenen schädlichen Auswirkungen. Umfasst Sicherheitsaspekte. Dieser Parameter ist als grobes Raster ausgelegt, um sämtliche Aktionsformen oder Phänomene innerhalb oder im Umfeld eines Systems abzudecken, die sich für das System als schädlich erweisen. [SOLIDCREATIVITY 2013]

<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="border: 2px solid black; border-radius: 50%; width: 40px; height: 40px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin-right: 10px;"> <span style="font-size: 24px; font-weight: bold;">5.9</span> </div> <div> <h2 style="margin: 0;">Widersprüche formulieren und lösen</h2> <p style="margin: 0;">Problem: Klebereste verschmutzen die Messerhälften</p> </div> </div>						
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <b>Innovationsprinzipien anwenden</b> <span style="float: right; border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px 5px;">6.</span> </div> <h3>1 - Zerlegen</h3> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;">Kann das Objekt in unabhängige Teile zerlegt werden?</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Kann das Objekt zerlegt werden?</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Kann das Objekt unter gewissen Bedingungen zerlegbar ausgeführt werden?</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Kann der Grad der Zerlegung erhöht werden?</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Kann die Funktion des Objekts/des Systems in unabhängige Teilfunktionen zerlegt werden?</td> </tr> </table>	Kann das Objekt in unabhängige Teile zerlegt werden?	Kann das Objekt zerlegt werden?	Kann das Objekt unter gewissen Bedingungen zerlegbar ausgeführt werden?	Kann der Grad der Zerlegung erhöht werden?	Kann die Funktion des Objekts/des Systems in unabhängige Teilfunktionen zerlegt werden?	<h3>Idee</h3> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Klebefilm erst nach dem Schneiden auftragen (Verhindert Verschmutzung durch Trennfläche)</li> <li>- Etikettenband an den Trennstellen vorab perforieren. Dann das Etikettenband direkt ankleben und abreißen lassen</li> <li>- Etiketten-Klebestreifen aufteilen und in den freien Zonen durchtrennen</li> <li>- Etiketten vorab einzeln auf ein Trägermaterial kleben und dann durch eine Umlenkrolle einzeln abscheren (Prinzip Lochverstärker)</li> </ul>
Kann das Objekt in unabhängige Teile zerlegt werden?						
Kann das Objekt zerlegt werden?						
Kann das Objekt unter gewissen Bedingungen zerlegbar ausgeführt werden?						
Kann der Grad der Zerlegung erhöht werden?						
Kann die Funktion des Objekts/des Systems in unabhängige Teilfunktionen zerlegt werden?						
<h3>22 - Schädliches in Nützlich umwandeln</h3> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;">Können schädliche Faktoren verwendet werden, um nützliche Effekte zu erreichen?</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Kann ein schädlicher Faktor durch Kombination mit einem anderen schädlichen Faktor beseitigt werden?</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Kann der schädliche Faktor so weit verstärkt werden, dass er aufgehört schädlich zu sein?</td> </tr> </table>	Können schädliche Faktoren verwendet werden, um nützliche Effekte zu erreichen?	Kann ein schädlicher Faktor durch Kombination mit einem anderen schädlichen Faktor beseitigt werden?	Kann der schädliche Faktor so weit verstärkt werden, dass er aufgehört schädlich zu sein?	<h3>Idee</h3> <ul style="list-style-type: none"> <li>- „Verschmutzen“ des Messers mit Öl, um Kleber nicht Anhaften zu lassen</li> <li>- Wasserlöslichen Kleber verwenden und das Messer nach dem Trennen durch ein Wasserbad tauchen.</li> </ul>		
Können schädliche Faktoren verwendet werden, um nützliche Effekte zu erreichen?						
Kann ein schädlicher Faktor durch Kombination mit einem anderen schädlichen Faktor beseitigt werden?						
Kann der schädliche Faktor so weit verstärkt werden, dass er aufgehört schädlich zu sein?						

Abb. 6.27: MP 5.9 Widersprüche formulieren und lösen - Ideensammlung durch Orientierung an IP 1 - Zerlegen und IP 22 - Schädliches in Nützlich umwandeln

5.9

## Widersprüche formulieren und lösen

Problem: Klebereste verschmutzen die Messerhälften

---

6.
Innovations-  
prinzipien  
anwenden

### 35 - Veränderung des Aggregatzustands

Kann der Aggregatzustand des Objekts geändert werden (fest, flüssig, gasförmig, Quasi-Zustände wie elastische oder feste Körper, thixotrope Substanzen)
Können Eigenschaften (Konzentration, Dichte, etc.) verändert werden?
Kann der Grad der Flexibilität, Elastizität geändert werden?
Kann die Temperatur oder das Volumen geändert werden?
Kann der Druck geändert werden?
Können das äußere Medium bzw. die angrenzenden Objekte verändert werden?
Können andere Eigenschaften/Parameter geändert werden?
Können physikalische oder chemische Effekte ausgenutzt werden?

### Idee

- Messer durch einen Laser ersetzen
- Messer durch einen Luftstrom ersetzen
- Messer durch einen Wasserstrahl ersetzen
  
- Messer vorher stark erhitzen
- Glühdraht zum Schneiden verwenden
  
- Schneiden mit so hohem Druck/ hoher Geschwindigkeit, dass der Kleber keine Zeit hat anzuhafte.
  
- Führung des unteren Messers mit Abstreifring (Prinzip Ölabbreifring)
- Abstreifblech mit Feder am Oberen Messer
  
- Lotusblüteneffekt nutzen. Sehr kleine Erhöhungen auf der Oberfläche verhindern das Anhaften des Klebers (mikro- bzw. nanoskopische Struktur verringert Adhäsionskräfte)

Abb. 6.28: MP 5.9 Widersprüche formulieren und lösen - Ideensammlung durch Orientierung an IP 35 - Veränderung des Aggregatzustands

<div style="display: inline-block; border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 40px; height: 40px; text-align: center; line-height: 40px; margin-right: 10px;">5.9</div> <b>Widersprüche formulieren und lösen</b> Problem: Klebereste verschmutzen die Messerhälften	
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; margin-bottom: 5px;">                     Innovations-                      prinzipien                      anwenden                 </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; margin-left: 10px;">6.</div> <b>2 - Abtrennen</b>	<b>Idee</b>
Kann das störende Teil oder die störende Eigenschaft (Funktion) vom Objekt getrennt werden?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Etiketten direkt auf Zielträgermaterial drucken</li> <li>- Klebefilm zuerst auf Zielträgermaterial auftragen</li> </ul>
Kann der einzig notwendige Teil, die einzig erforderliche Eigenschaft oder Funktion hervorgehoben oder abgetrennt werden?	
<b>3 - Örtliche Qualität</b>	<b>Idee</b>
Kann das homogene Objekt in ein inhomogenes überführt werden?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Messer mit einer kleberabweisenden Beschichtung versehen</li> <li>- Der Rahmen hält ein Reinigungsmaterial, an dem das Messer entlangfahren kann</li> </ul>
Können verschiedene Teile des Objekts unterschiedliche Funktionen ausführen?	
Kann jede Komponente des Objekts unter für diese jeweilige Komponente optimalen Bedingungen eingesetzt werden?	

Abb. 6.29: MP 5.9 Widersprüche formulieren und lösen - Ideensammlung durch Orientierung an IP 2 - Abtrennen und IP 3 - Örtliche Qualität

Abschließend werden die Innovationsprinzipien 2-Abtrennen und 3-Örtliche Qualität angewendet (vgl. Abb. 6.29).

Die Anwendung der Innovationsprinzipien auf das vorliegende Problem lieferte eine große Bandbreite an möglichen Lösungsansätzen. Die Bandbreite reicht von „einfachen“ Verbesserungslösungen bis zu Lösungsansätzen die das komplette System in Frage stellen und das Potential hätten, den vorliegenden Widerspruch wirkungsvoll aufzulösen.

Die Innovationsprinzipien sind eine wirksame Ergänzung zur kreativen Arbeit in der Wertanalyse. Die von ihnen gelieferten Anregungen helfen Denkblockaden aufzulösen



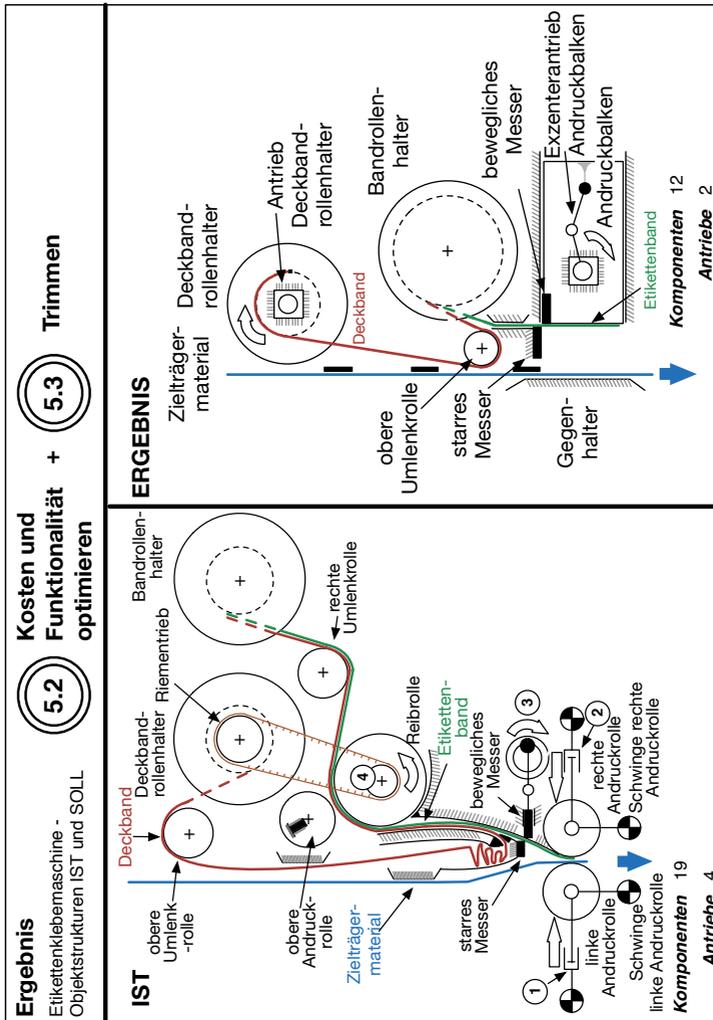


Abb. 6.31: Gegenüberstellung IST und ERGEBNIS Etikettenklebmaschine - Schemata

## 6 Einsatz von kombinierten WA- und TRIZ-Methoden

Die Verknüpfung der Methodenpässen in Phase 4 und 5 unterstützt wirksam bei der Erstellung eines optimierten Entwurfs. In Abb. 6.30 sind die Objektmodelle von IST und ERGEBNIS gegenübergestellt. Es ist zu erkennen, dass das Ergebnis mit deutlich weniger Komponenten bei Erhaltung der gleichen Funktionalität aufwarten kann. In Abb. 6.31 ist dies ebenfalls im Produkt-Schema zu erkennen.

Die Funktionen *Etikett andrücken*, *Etikett abtrennen* und *Messer bewegen* werden im ERGEBNIS wesentlich effizienter umgesetzt. *Etikett andrücken* wird durch einen Andruckbalken mit einem Gegenhalter realisiert. Der Andruckbalken wird durch einen Exzenterantrieb horizontal verfahren. Durch das Befestigen des unteren Messers am Andruckbalken werden gleichzeitig auch die Funktionen *Etikett abtrennen* und *Messer bewegen* mit ausgeführt.

Die Funktionsträger für die Funktionen *Band bewegen* und *Deckband aufnehmen* werden ebenfalls ineinander integriert. Der im IST-Zustand vorhandene *Deckbandrollenhalter* führt durch ein Einspannen des *Deckbandes* nun die Funktion *Band bewegen* aus. Ein Antrieb für den *Deckbandhalter* ist damit weiter erforderlich, der teure und wenig funktionale *Riementrieb* sowie die *rechte Reibrolle* und die *obere Andruckrolle* können aber entfallen. Es werden nur Umlenkrollen zur Führung benötigt. Durch die konsequente Untersuchung auf Möglichkeiten zur Funktionenintegration konnte die Anzahl der Komponenten von 19 auf 12 reduziert werden. Die Anzahl der notwendigen Antriebe fiel von 4 auf 2. In Summe wurde durch die Funktionenintegration eine Kostensenkung von über 34 % erreicht. Damit ist das Ziel der Kostensenkung um 20 % in diesem Projekt deutlich übertroffen worden.

Für das Problem Messerverschmutzung wurde der Lösungsansatz, das *Messer mit einer Beschichtung* zu versehen, ausgewählt. Es existieren Messer mit sogenannter *Anti-Stick*-Beschichtung, die genau für den vorliegenden Einsatzzweck konzipiert wurden. Aufgrund der durch die Konzeptänderung realisierten Kosteneinsparung im Gesamtsystem kann der Mehrpreis der beschichteten Messer in Kauf genommen werden. Eine wesentliche positive Auswirkung der gewählten Lösung ist das deutliche Verlängern der Wartungsintervalle. Diese wurden gegenüber dem IST-Zustand verdoppelt. Dieses Kapitel demonstriert anhand des Beispielprojekts *Etikettenklebemaschine* die methodische Optimierung durch die Kombination verschiedener Methodenpässe. Der Fokus liegt auf der Beschreibung solcher Methodenpässe, die TRIZ-Methoden in die Wertanalyse-Projektarbeit einbringen. Die formalisierte Beschreibung der verschiedenen Methoden in den Methodenpässen, verbunden mit den Hilfestellungen zur Auswahl der Methoden, erleichtern die Arbeit des Moderators erheblich und vereinfachen die Heranführung der Anwenders an den kombinierten Einsatz von WA- und TRIZ-Methoden.

## 7 Diskussion und Ausblick

Diese Arbeit entwickelt ein Konzept zur Integration und Kombination von Methoden der WA und TRIZ für die Anwendung im Wertanalyse-Arbeitsplan. Bestehende Abläufe und Methoden der WA werden durch TRIZ-Methoden ergänzt. Wo notwendig, wird die WA weiterentwickelt (z.B. die Komponenten-Potential-Analyse). Komplette TRIZ-Methoden werden eingebunden.

Die resultierenden Methoden sind in einer standardisierten Form beschrieben und an zahlreichen Beispielen erläutert. Die Erstellung dieses Konzeptes erfolgt in vier wesentlichen Schritten.

Nach einer Einführung in die Thematik legt das Kapitel 2 methodische Grundlagen dar. Im Kapitel 3 werden die Detailziele dieser Arbeit abgeleitet.

Im zweiten Schritt stellt das Kapitel 4 methodische Vorbetrachtungen für die Anpassung und Erweiterung von WA und TRIZ zur Vorbereitung der Integration vor.

Zunächst wird die Nutzung der Evolutionsanalyse im WA-Projekt untersucht. Aufgrund einer großen Anzahl von Ansätzen zur Nutzung des Evolutionsansatzes der TRIZ wird eine Zusammenführung der Ansätze erforderlich. In Abschnitt 4.2, erfolgt die Gegenüberstellung der verschiedenen Ansätze und die vereinheitlichte Beschreibung von Evolutionsgesetzen, Evolutionstrends und der S-Kurve der Technologieentwicklung. Diese bilden die Grundlage der Integration der TRIZ-Evolutionsanalyse in WA-Projekte.

Der Einsatz der TRIZ zur Kostensenkung in WA-Projekten ist ein weiterer Schwerpunkt dieses Kapitels. Auf Grundlage der 40 Innovationsprinzipien werden kreativitätsanregende Kostensenkungsfragen für den Einsatz in WA-Projekten definiert. Diese durch verschiedene Schlagworte charakterisierten Kostensenkungsfragen erweitern nicht nur die WA, sondern ergänzen durch ihre Zuordnung zu den 40 Innovationsprinzipien auch die TRIZ. Mit der *Root Conflict Analysis* wird eine TRIZ-Methode zur Kostenursachenanalyse adaptiert, die Transparenz in Bezug auf Kostenursachenketten in diesen Ketten schaffen kann.

Die WA wird zusätzlich um einen einfachen Ansatz zur Komponenten-Potential-Analyse erweitert. Aufbauend auf der Funktionen-Komponenten-Zuordnungsmatrix der Funktionen-Kosten-Analyse erlaubt dieser Ansatz die einfache Identifikation kostentreibenden Komponenten im WA-Projekt.

Im dritten Schritt stellt das Kapitel 5 die Konzepte für die Integration von WA und TRIZ vor. Die im Rahmen der methodischen Vorbetrachtung erfolgte Definition einer standardisierten Methodenbeschreibung legt den Grundstein für die Methodenkombination. Diese als Methodenpässe (MP) bezeichneten Beschreibungen enthalten wesentliche Informationen u.a. zu Zweck, Eingangsinformationen/Ergebnisse, Chancen und Risiken des Einsatzes.

## 7 Diskussion und Ausblick

Die Sammlung der Methodenpässe bietet eine ganzheitliche, systematische Aufarbeitung, Verbesserung der Anwendung und Visualisierung der verschiedenen Methoden. Die definierten Hilfen für die Einschätzung der Methoden, die moderationsunterstützenden Elemente, die Handlungsanweisungen zur Durchführung sowie die erläuternden Anwendungsbeispiele erleichtern die Anwendung der einzelnen Methoden.

Insgesamt sind 27 verschiedene Methodenpässe definiert. Diese sind in der Phase 4 in drei Methodengruppen (MG) kategorisiert. Jede MG dient einem spezifischen Zweck. In der MG 4.A *Funktionen erfassen* werden Methoden gruppiert, die die Analyse eines WA-Objekts auf Funktionenebene vorbereiten. Dazu gehört neben der Formulierung und Strukturierung der Funktionen durch WA- oder TRIZ-Methoden auch die Spezifikation der einzelnen Funktionen.

Die MG 4.B *Potential analysieren* dient der Aufdeckung von Potentialen im WA-Objekt, die nicht aus der Lösung technischer Probleme resultieren. Dazu gehören neben der klassischen Funktionen-Kosten-Betrachtung auch die Kostenursachen und die Evolutionsanalyse mit TRIZ-Methoden.

Die MG 4.C *Probleme analysieren* fasst Methoden zur Problembeschreibung und tiefgreifenden Problemanalyse zusammen. Auf Grundlage eines Ausschnitts aus der TRIZ-Innovationscheckliste und eines Konzepts zur Problemeinschätzung werden Probleminformationen ganzheitlich erfasst.

In der Phase 5 sind die Methodenpässe in zwei verschiedene MG kategorisiert. Die MG 5.A *Effizienz steigern* gruppiert alle Methoden, die für die Steigerung der Funktionalität sowie die Senkung von Kosten im WA-Objekt eingesetzt werden können.

Die MG 5.B *Probleme lösen* gruppiert alle Ansätze, die spezifisch für das Lösen von Problemen vorgesehen sind. Aus der TRIZ kommen hier die Widerspruchsanalyse und die Stoff-Feld-Analyse zum Einsatz. Zusätzlich wird die Evolutionsanalyse der TRIZ integriert.

Im vierten Schritt beschreibt Kapitel 6 abschließend eine Untermenge der definierten Methodenpässe an einem Projektbeispiel. Dieses Projektbeispiel zeigt die Kombination von Methoden zur Potentialanalyse, die in der WA üblich sind, mit Ansätzen der TRIZ zur Funktionenintegration und Problemlösung. Dabei demonstriert es, dass die Kombination der beiden Methodiken vielversprechende Ansätze zur Entwicklung/Optimierung von WA-Objekten liefern kann.

Für die zukünftige Entwicklung dieser Thematik sind vor allem weitere Anwendungen in der wertanalytischen Praxis erforderlich. Dies gilt insbesondere für die Anwendung der *Root Conflict Analysis* zur Identifikation von Kostenursachen. Eine Nutzung weiterentwickelter TRIZ-Methoden, wie z.B. dem *Value Conflict Mapping* oder der *Matrix 2003/2010* ist anzustreben. Die Sammlung der Kostensenkungsfragen sollte um aussagekräftige Beispiele erweitert werden und Anwendung im Rahmen einer verbesserten Software finden, die in der Lage ist, die kombinierte Anwendung von WA und TRIZ zu unterstützen.

Mit der vorliegenden Arbeit wird eine Perspektive für die kombinierte Anwendung von WA und TRIZ gegeben, die die Fähigkeiten der WA massiv erweitert. Die Methodenpässe erleichtern die Auswahl und Anwendung der Methoden und steigern die Effizienz der Methodenanwendung. Die hinterlegten Anwendungsbeispiele senken

die Hemmschwelle zur Nutzung von TRIZ-Methoden innerhalb der Wertanalyse. Die Methodenpässe bieten darüber hinaus das Potential für die Übertragung der Ansätze auf andere Entwicklungsmethodiken. Somit gibt diese Arbeit auch Anstöße, durch die Integration von TRIZ-Methoden andere Entwicklungsmethodiken weiter zu stärken.

## 7 *Diskussion und Ausblick*

## 8 Literatur

- [ABSG 2005] ABSG: *Root cause analysis handbook: a guide to effective incident investigation*. Rothstein Associates Inc. Brookfield, CN. 2005.
- [ADUNKA 2003] ADUNKA, R.: „Rechnerunterstützter Bewertungsprozess im Umfeld methodischer Produktentwicklung“. Diss. Erlangen: Technische Universität Erlangen, 2003.
- [AKIYAMA 1991] AKIYAMA, K.: *Function Analysis - Systematic Improvement of Quality and Performance*. Productivity Press Inc. Cambridge, Mass. 1991.
- [ALTSCHULLER et al. 1983] ALTSCHULLER, G. S, SELJUCKIJ, A und KORNILJEW, L.: *Flügel für Ikarus: über die moderne Technik des Erfindens*. 1. Aufl. MIR. Moskau. 1983.
- [ALTSCHULLER 1984] ALTSCHULLER, G. S.: *Creativity as an exact science: the theory of the solution of inventive problems*. Bd. 5. Studies in cybernetics. Gordon und Breach. New York, NY. 1984.
- [ALTSCHULLER 1998] ALTSCHULLER, G.: *ERFINDEN-Wege zur Lösung technischer Probleme*. Martin G. Möhrle (Hrsg.) 2. Aufl. Verlag Planung und Innovation. Cottbus. 1998.
- [APTE et al. 2001] APTE, P., SHAH, H. und MANN, D.: *"5 W's and an Höf TRIZ Innovation*. <http://www.triz-journal.com/archives/2001/09/d/>. 2001. (Stand: 13.09.2013).
- [AUGUSTIN 1997] AUGUSTIN, H.: *Wissensbasierte Organisationsgestaltung zur Modellierung der Informations- und Kommunikationstechnik in der Produktion*. Bd. 27. Produktionstechnische Berichte. Lehrst. für Fertigungstechnik und Betriebsorganisation der Univ. Kaiserslautern. 1997. URL: <http://www.gbv.de/dms/hbz/toc/ht007916023.pdf>.
- [BAIER 1969] BAIER, P.: *Wertgestaltung - ein Leitfaden zur organisierten Kostensenkung*. Hanser. München. 1969.
- [BELSKI 2007] BELSKI, I.: *Improve your thinking: substance-field analysis*. 1. Aufl. TRIZ4U. Melbourne, Australien. 2007.

## 8 Literatur

- [BENZ 1969] BENZ, H.: *Wertanalyse - ein Weg zur systematischen Kostensenkung*. 4., überarb. Aufl. Wege zur Wirtschaftlichkeit. 15/16. Beuth. Berlin. 1969.
- [BERGMANN 2002] BERGMANN, M.: *Zielkostenmanagement und Wertanalyse: Analogie oder Antagonismus-Eine vergleichende Gegenüberstellung mit integriertem Charakter*. Tectum Verlag. 2002.
- [BOGASCHEWSKY 2002] BOGASCHEWSKY, R.: *Handwörterbuch Unternehmensrechnung und Controlling*. H.-U. Küpper, A. Wagenhofer (Hrsg.) 4. Aufl. Schäffer-Poeschel. Stuttgart. 2002. Kap. Wertanalyse, S. 2111–2120.
- [BOLTON 2005] BOLTON, J. D.: „Development of FAST Diagrams for Manufacturing Processes“. In: *Proceedings of the SAVE Conference*. SAVE International. SAVE International. 2005.
- [BORZA 2011] BORZA, J. S.: „A method for applying TRIZ to enhance Brainstorming“. In: *51st SAVE International Annual Conference*. SAVE International. SAVE International. Dayton, Ohio. 2011, S. 367–389.
- [BRONNER 1989] BRONNER, A.: *Einsatz der Wertanalyse in Fertigungsbetrieben*. Verlag TÜV Rheinland. 1989.
- [BRONNER et al. 2006] BRONNER, A., BRONNER, I. und HERR, S.: *Vereinfachte Wertanalyse*. 4. Aufl. Springer-Verlag. 2006. URL: [http://ebooks.ciando.com/book/index.cfm/bok\\_id/9466](http://ebooks.ciando.com/book/index.cfm/bok_id/9466).
- [BRUNNER 1992] BRUNNER, F. J.: „Produktplanung mit Quality Function Deployment QFD“. In: *io Management Zeitschrift* 6 (1992), S. 42–46.
- [BUKSCH et al. 1985] BUKSCH, R. und ROST, P.: „Einsatz der Wertanalyse zur Gestaltung erfolgreicher Produkte“. In: *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung* 37 (1985), S. 350–361.
- [BÜRCEL et al. 1995] BÜRCEL, H. D., HALLER, C. und BINDER, M.: „Die japanische Konkurrenz. Anstöße für Überlegungen zur Effektivitäts- und Effizienzsteigerung des westlichen F&E-Prozesses“. In: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft (ZfB), Ergänzungsheft* 1 (1995), S. 1–26.
- [BYTHEWAY 1965] BYTHEWAY, C.: „Basic function determination technique“. In: *Proceedings of the FIFTH National Conference*. Bd. 2. Irving, TX. 1965, S. 21–23.
- [BYTHEWAY 1971] BYTHEWAY, C.: „The creative aspects of FAST diagramming“. In: *Proceedings of the SAVE Conference*. 1971, S. 301–312.

- [CASCINI et al. 2009] CASCINI, G., FRILLICI, F., JANTSCHGI, J., KAIKOV, I., KHOMENKO, N. und MURASKOVSKA, I.: *Tetris: Teaching TRIZ at School*. TETRIS Project. 2009.
- [CHRISTMANN 1973] CHRISTMANN, K.: *Gewinnverbesserung durch Wertanalyse*. CE Poeschel. 1973.
- [CHUKSIN et al. 2003] CHUKSIN, P., SKURATOVICH, A., SHPAKOVSKY, N. und MINSK, B.: *Using value-engineering analysis + TRIZ method for improving the stripping grain-harvesting machine*. <http://www.triz-journal.com/archives/2003/09/g/07.pdf>. 2003. (Stand: 08.11.2013).
- [CLARKE 1999] CLARKE, D.: „Integrating TRIZ with Value Engineering: Discovering Alternative to Traditional Brainstorming and the Selection and Use of Ideas“. In: *SAVE International Annual Conference Proceedings*. SAVE International (Hrsg.) Bd. XXXIV. SAVE International. San Antonio, TX. 1999, S. 42–51.
- [COENENBERG et al. 2007] COENENBERG, A. G., FISCHER, T. M. und GÜNTHER, T.: *Kostenrechnung und Kostenanalyse*. 6. Aufl. Schäffer-Poeschel. Stuttgart. 2007.
- [COSER et al. 2008] COSER, C. und VIZENTAL, A.: „Changes of Perspective. National and international dimensions“. In: *„Simpozionul internațional ‘Româna ca limbă străină – între metodă și impact’“*. Casa Editorială Demiurg (Hrsg.) Univ. „Al. I. Cuza“. Iași. 2008, S. 105–111.
- [DEMME 1970] DEMME, K. H.: *Aufgaben und Praxis der Wertanalyse*. 2. Aufl. Verlag Moderne Industrie. München. 1970.
- [DIN 1991] DIN: *Norm DIN 69910 - Wertanalyse-Begriffe, Methoden*. VDI Zentrum Wertanalyse (Hrsg.) Beuth Verlag. Düsseldorf. 1991.
- [DINGER 2002] DINGER, H.: *Target Costing–Praktische Anwendung im Entwicklungsprozess*. 2. Aufl. Hanser Verlag. München. 2002.
- [DOBBERKAU 2002] DOBBERKAU, K.: „Aufgabenorientierte Methoden Anpassung in der Produktentwicklung am Beispiel des Qualitätsmanagements“. Diss. Kaiserslautern, 2002. VI, 140. URL: [http://gso.gbv.de/DB=2.1/CMD?ACT=SRCHA&SRT=YOP&IKT=1016&TRM=ppn+356776603&sourceid=fbw\\_bibsonomy](http://gso.gbv.de/DB=2.1/CMD?ACT=SRCHA&SRT=YOP&IKT=1016&TRM=ppn+356776603&sourceid=fbw_bibsonomy).
- [DOMB 2005] DOMB, E.: „How to deal with cost-related issues in TRIZ“. In: *TRIZ Future Conference 2005*. ETRIA. Graz, Österreich. 2005, S. 291–302.
- [DUBOIS et al. 2009] DUBOIS, S., RASOVSKA, I. und DE GUIO, R.: *Interpretation of a General Model for Inventive Problems, the Generalized System of Contradictions*. [http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/39/57/87/PDF/090212\\_dubois\\_rasovska\\_deguio\\_cirp\\_dn.pdf](http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/39/57/87/PDF/090212_dubois_rasovska_deguio_cirp_dn.pdf). 2009. (Stand: 25.09.2013).

## 8 Literatur

- [DUDEN 2013] DUDEN: *Duden online*. <http://www.duden.de>. 2013. (Stand: 22. 10. 2013).
- [DULL 1999] DULL, C. B.: „Comparing and Combining Value Engineering and TRIZ Techniques“. In: *SAVE International Annual Conference Proceedings*. Save International. San Antonio, TX. 1999, S. 71–76.
- [EBERT 1971] EBERT H.; Thomas, C.: *Gebrauchswert-Kosten-Analyse*. Verlag Die Wirtschaft. Berlin. 1971.
- [EHRENSPIEL 2003] EHRENSPIEL, K.: *Integrierte Produktentwicklung: Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit*. 2. Aufl. Carl Hanser Fachbuchverlag. 2003.
- [EHRENSPIEL et al. 2013] EHRENSPIEL, K. und MEERKAMM, H.: *Integrierte Produktentwicklung: Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit*. 5., überarbeitete und erweiterte Auflage. Hanser Verlag. München. 2013.
- [EHRENSPIEL et al. 2005] EHRENSPIEL, K., KIEWERT, A. und LINDEMANN, U.: *Kostengünstig entwickeln und konstruieren: Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung ; mit 143 Tabellen*. 5. überarb. und korrigierte Aufl. VDI. Springer. Berlin. 2005.
- [EHRENSPIEL et al. 2007] EHRENSPIEL, K., KIEWERT, A. und LINDEMANN, U.: *Kostengünstig entwickeln und konstruieren: Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung ; mit 143 Tabellen*. 6. Aufl. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2007.
- [EN 2002] EN: *Norm EN 12973 (2002) Value Management*. Deutsches Institut für Normung DIN (Hrsg.) Beuth Verlag. Düsseldorf. 2002.
- [EN 1996] – : *Norm EN 1325-1 - Value Management, Wertanalyse, Funktionenanalyse Wörterbuch – Teil 1: Wertanalyse und Funktionenanalyse*. Deutsches Institut für Normung DIN (Hrsg.) Beuth Verlag. Düsseldorf. 1996.
- [EN 2004] – : *Norm EN 1325-2 - Value Management, Wertanalyse, Funktionenanalyse Wörterbuch – Teil 2: Value Management*. Deutsches Institut für Normung DIN (Hrsg.) Beuth Verlag. Düsseldorf. 2004.
- [ERLACH 2010] ERLACH, K.: *Wertstromdesign*. Springer. Berlin, Heidelberg. 2010.
- [EVERSHEIM et al. 2005] EVERSHEIM, W. und SCHUH, G.: *Integrierte Produkt- und Prozessgestaltung*. VDI. Springer. Berlin. 2005.
- [FAYER 2005] FAYER: „Advanced Workshop on Theory for Inventive Problem Solving“. MA TRIZ Level 3 Trainingsunterlagen. 2005.

- [FEY et al. 2005] FEY, V. und RIVIN, E. I.: *Innovation on demand*. Cambridge University Press. Cambridge, UK ;New York. 2005.
- [FISCHER 2008] FISCHER, J. O.: *Kostenbewusstes Konstruieren: Praxisbewährte Methoden und Informationssysteme für den Konstruktionsprozess*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Berlin, Heidelberg. 2008.
- [FISCHER et al. 1994] FISCHER, T. und SCHMITZ, J.: „Informationsgehalt und Interpretation des Zielkostenkontrolldiagramms im Target Costing“. In: *Kostenrechnungspraxis* 38.6 (1994), S. 427–433.
- [FRANKE et al. 2003] FRANKE, H.-J. und HESSELBACH, J.; HUCH B.; DEIMEL M.; FEST J.; LÖFFLER S.; MATEIKA M.: „Innovationsprozesse und FE-Kooperationen ganzheitlich gestalten“. In: *wt - Werkstatttechnik online* 1/2 (2003), S. 87.
- [FREIDANK et al. 1997] FREIDANK, C.-C. und ZAEH, P.: *Kostenmanagement. Aktuelle Konzepte und Anwendungen*. B. Huch J. Weber (Hrsg.) C.-C. Freidank (Hrsg.) Springer. Berlin. 1997. Kap. Spezialfragen des Target Costing und des Kostenmanagements, S. 233–274.
- [FRIEDENTHAL et al. 2008] FRIEDENTHAL, S., MOORE, A. und STEINER, R.: *A Practical Guide to SysML: The Systems Modeling Language*. Morgan Kaufman. 2008.
- [FRIEDL 2007] FRIEDL, B.: *Wertanalyse nach DIN EN 12973 als Instrument des produktorientierten Kostenmanagements*. Bd. 628. Manuskripte / Institute für Betriebswirtschaftslehre, Wirtschafts- und Sozialwissenschaftliche Fakultät, CAU. Inst. f. Betriebswirtschaftslehre. Kiel. 2007.
- [GADD 2011] GADD, K.: *TRIZ for Engineers: Enabling Inventive Problem Solving*. 1. Aufl. Wiley. 2011.
- [GAUBINGER et al. 2008] GAUBINGER, K., WERANI, T. und RABL, M.: *Praxisorientiertes Innovations- und Produktmanagement: Grundlagen und Fallstudien aus B-to-B-Märkten*. Springer DE. 2008.
- [GAUSEMEIER et al. 2014a] GAUSEMEIER, J., TRÄCHTLER, A. und SCHÄFER, W.: *Semantische Technologien im Entwurf mechatronischer Systeme - Effektiver Austausch von Lösungswissen in Branchenwertschöpfungsketten*. Carl Hanser Verlag GmbH Co. KG. 2014.
- [GAUSEMEIER et al. 2014b] GAUSEMEIER, J. und PLASS, C.: *Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung: Strategien, Geschäftsprozesse und IT-Systeme für die Produktion von morgen*. 2. Aufl. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG. München. 2014.

## 8 Literatur

- [GIERSE 1990] GIERSE, F.: „Funktionen und Funktionenstrukturen - Zentrale Werkzeuge der Wertanalyse“. In: *VDI-Berichte 849 - Neue Impulse zum ganzheitlichen Problemlösen*. VDI Zentrum Wertanalyse. Düsseldorf. 1990.
- [GIERSE 1994] - : *Funktionenanalyse - Der Schlüssel für erfolgreiche Produkte-Prozesse-Dienstleistungen*. Pauwels, M. (Übersetzung) (Hrsg.) Verlag Moderne Industrie. Landsberg/Lech. 1994.
- [GIMPEL et al. 2000] GIMPEL, B., HERB, T. und HERB, R.: *Ideen finden, Produkte entwickeln mit TRIZ*. Hanser. München. 2000.
- [GOLDRATT 1999] GOLDRATT, E. M.: *Theory of constraints*. North River Press. Great Barrington, MAS. 1999.
- [GÖTZ 2006] GÖTZ, K.: *Integrierte Produktentwicklung durch Value Management*. Shaker. Aachen. 2006.
- [GRAWATSCH 2005] GRAWATSCH, M.: „TRIZ-basierte Technologiefrüherkennung“. Diss. Aachen: RWTH Aachen, 2005.
- [GREVE 1969] GREVE, J. W.: *Wertanalyse in der Fertigung*. Berliner Union-Verlag. Berlin. 1969.
- [GUNDLACH 2006] GUNDLACH, C.: *Innovation mit TRIZ: Konzepte, Werkzeuge, Praxisanwendungen*. 1. Aufl. Symposium. Düsseldorf. 2006.
- [HÄNDEL 1995] HÄNDEL, S.: *Wertanalyse - Ein Weg zu besseren Betriebsergebnissen*. T 75. VDI-Verlag. Düsseldorf. 1995.
- [HANIK et al. 2005] HANIK, P. und KAUFMAN, J.: „VE/TRIZ: A Technology partnership“. In: *SAVE International Annual Conference Proceedings*. SAVE International. San Diego, CA. 2005.
- [HEIL 1993] HEIL, H.-G.: *Kosten senken in der Konstruktion*. Maschinenbau Verlag. Frankfurt am Main. 1993.
- [HELBIG 1994] HELBIG, D.: „Entwicklung produkt- und unternehmensorientierter Konstruktionsleitsysteme“. Diss. Berlin: Techn. Univ. Berlin, 1994.
- [HERB et al. 2000] HERB, R., HERB, T. und KOHNHAUSER, V.: *TRIZ - der systematische Weg zur Innovation. Werkzeuge, Praxisbeispiele Schritt-für-Schritt-Anleitungen*. Bd. 1. Verl. Moderne Industrie. Landsberg/Lech. 2000.
- [HOFFMANN 1979] HOFFMANN, H. J.: *Wertanalyse - Ein Weg zur Erschließung neuer Rationalisierungsquellen*. Ullstein Tb. Frankfurt am Main. 1979.

- [HORVÁTH 1993] HORVÁTH, P.: *Target Costing*. Schäffer-Poeschel. Stuttgart. 1993.
- [HORVÁTH et al. 1992] HORVÁTH, P. und SEIDENSCHWARZ, W.: „Zielkostenmanagement“. In: *Controlling* 4.3 (1992), S. 142–150.
- [IDEATION INTERNATIONAL INC. 2006] IDEATION INTERNATIONAL INC.: *History of TRIZ I-TRIZ*. <http://www.ideationtriz.com/history.asp>. 2006. (Stand: 02. 12. 2013).
- [IDEATION INTERNATIONAL INC. 2004] – : *I-TRIZ Applications*. <http://www.ideationtriz.com/new/materials/ITRIZforInventiveProblem-Solving.pdf>. 2004. (Stand: 29. 12. 2013).
- [IDEATION INTERNATIONAL INC. 2005] – : *Innovation Workbench 3.2*. <http://www.ideationtriz.com/new/iwb.asp>. 2005. (Stand: 26. 12. 2013).
- [IDEATION INTERNATIONAL INC. 2000] – : *Mirror Assembly Cost Reduction*. <http://www.ideationtriz.com/new/materials/mirrorcostreduction.pdf>. 2000. (Stand: 30. 10. 2014).
- [IDEATION INTERNATIONAL INC. 1999] – : *Tools of Classical TRIZ*. Ideation International Inc. 1999.
- [IDEATION INTERNATIONAL INC. 1998] – : *TRIZ specialist certification program. Expansion on inventive problem solving tools and techniques*. 3. Aufl. Ideation International Inc. Southfield, MI. 1998.
- [INVENTION MACHINE 1998] INVENTION MACHINE: *TechOptimizer 3.0 Software Manual*. Bosten, Mass. 1998.
- [INVENTION MACHINE 2000] – : *TechOptimizer 3.5 Professional Edition*. Software. Bosten, Mass., 2000.
- [ISHIKAWA 1982] ISHIKAWA, K.: *Guide to quality control*. Bd. 2. Asian Productivity Organization. Tokyo. 1982.
- [JAKOB 1993] JAKOB, F.: „Target Costing im Anlagenbau-das Beispiel der LTG Lufttechnische GmbH“. In: *Target Costing. Marktorientierte Zielkosten in der deutschen Praxis, Stuttgart* (1993), S. 155–190.
- [JEHLE 1996] JEHL E.; Willeke, M.: „Value Management und Kaizen als Instrumente des Kostenmanagements“. In: *kfp Kostenrechnungspraxis* 40 5 (1996), S. 255–260.
- [JENKE 2007] JENKE, K.: *Konzept zur Lösung technischer Qualitätsprobleme in der Produktion durch Anwendung der Theorie des erfinderischen Problemlösens (TRIZ)*. Als Ms. gedr. Bd. 2007,1. Produktionstechnische Berichte aus dem FBK. Techn.

## 8 Literatur

- Univ. Kaiserslautern. 2007. URL: <http://www.gbv.de/dms/ilmenau/toc/526292423.PDF>.
- [KANIOWSKY 1992] KANIOWSKY H.; Gasthuber, H.: *Das Arbeiten mit Wertanalyse*. Bd. 220. Schriftenreihe des Wirtschaftsförderungsinstitutes. WIFI der Bundeskammer der Gewerblichen Wirtschaft, Gruppe Technik und Betriebswirtschaft. Wien. 1992.
- [KAUFMAN 2001] KAUFMAN, J.: *Value Management*. Financial World Publishing. Canterbury, UK. 2001.
- [KHOMENKO et al. 2007a] KHOMENKO, N., GUIO, R., LELAIT, L. und KAIKOV, I.: „A framework for OTSM-TRIZ-based computer support to be used in complex problem mangement.“ In: *International Journal of Computer Applications in Technology* 30 (2007), S. 88–104.
- [KHOMENKO et al. 2007b] KHOMENKO, N. und ASHTIANI, M.: „Classical TRIZ and OTSM as a scientific theoretical background for non-typical problem solving instruments“. In: *7th ETRIA TRIZ Future Conference*. Frankfurt. 2007.
- [KLEBERT et al. 2006] KLEBERT, K., SCHRADER, E. und STRAUB, W.: *Moderationsmethode - Das Standardwerk*. 3. Aufl. Windmühle. Hamburg. 2006.
- [KLEIN 2007] KLEIN, B.: *TRIZ/TIPS: Methodik des erfinderischen Problemlösens*. 2. Aufl. Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH. 2007.
- [KLEIN 2010] – : *Wertanalyse-Praxis für Konstrukteure: ein effizientes Werkzeug in der Produktentwicklung*. Expert-Verlag. Renningen. 2010.
- [KOLTZE et al. 2011] KOLTZE, K. und SOUCHKOV, V.: *Systematische Innovation: TRIZ-Anwendung in der Produkt- und Prozessentwicklung*. Praxisreihe Qualitätswissen. Hanser. München. 2011.
- [KORTE 1977] KORTE, R.-J.: *Verfahren der Wertanalyse: betriebswirtschaftliche Grundlagen zum Ablauf wertanalytischer Entscheidungsprozesse*. Schmidt. 1977.
- [KOURIM 1968] KOURIM, G.: *Wertanalyse: Grundlagen, Methoden, Anwendungen ; mit 9 Arbeitsblättern*. Oldenbourg. München. 1968.
- [KREHL 1967] KREHL H. ; Ried, A.: *Praktische Wertanalyse I und II*. Neue Management Methoden Verlag. Karlsruhe. 1967.
- [LEITNER 2006] LEITNER, W.: „Value Management in virtuellen Organisationen: virtuelle Teamarbeit am Beispiel der Wertanalyse“. Diss. Aachen: RWTH Aachen, 2006.

- [LINDE et al. 1993] LINDE, H und HILL, B: *Erfolgreiches Erfinden: Widerspruchsorientierte Innovationsstrategie für Entwickler und Konstrukteure*. Hoppenstedt. Darmstadt. 1993.
- [LINDEMANN 2009a] LINDEMANN, U.: *Methodische Entwicklung technischer Produkte: Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden*. 3., korrigierte Aufl. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg. 2009.
- [LINDEMANN 2009b] – : *Vorlesung Methoden der Produktentwicklung - Übung 2*. <http://www.pe.mw.tum.de/studium/vorlesungen/methoden-der-produktentwicklung-1/ubung-2-problem-strukturieren-losungsideen-ermitteln>. 2009. (Stand: 14.03.2009).
- [LINGOHR et al. 2011] LINGOHR, T. und KRUSCHEL, M.: *Best Practices im Value Management: Wie Sie durch Einkauf und Technik einen nachhaltigen Wertbeitrag leisten können*. 1. Aufl. Gabler Verlag / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH. Wiesbaden. 2011.
- [LINK et al. 2000] LINK, J., GERTH, N. und VOSSBECK, E.: *Marketing-Controlling*. Vahlen. 2000.
- [LITTLE 1994] LITTLE, A. D.: *Management erfolgreicher Produkte*. Gabler Verlag. 1994.
- [LIVOTOV 2001] LIVOTOV, P.: „Mit TRIZ Kosten kappen - Konkrete Beispiele machen's transparent“. In: *Konstruktion+Engineering* 11 (2001), S. 72–73.
- [LIVOTOV et al. 2007] LIVOTOV, P. und PETROV, V.: *TRIZ-Innovationstechnologie: Produktentwicklung und Problemlösung ; Handbuch*. TriS Europe. Hannover. 2007.
- [LUGER 2005] LUGER, S.: *TRIZ, eine Methode für innovative Durchbrüche*. <http://www.triz-austria.com/files/TRIZ%20-%20Eine%20Methode%20f%FCr%20innovative%20Durchbrueche.PDF>. 2005. (Stand: 13.11.2013).
- [MANN 2009] MANN, D.: *Hands-on systematic innovation for business and management*. 2. ed., reprinted. IFR Consultants Ltd. Clevedon. 2009.
- [MANN 2011] – : *System Operator Tutorial - 1: 9-Windows to the World*. <http://www.triz-journal.com/archives/2001/09/c/index.htm>. 2011. (Stand: 15.11.2013).
- [MANN 2002] MANN, D. L.: *Hands-on systematic innovation: for technical systems*. 2nd ed. IFR Press. Clevedon. 2002.

## 8 Literatur

- [MAO 2008] MAO, X.: „The Framework of TRIZ-enhanced-Value Engineering Analysis and Its Knowledge Management“. Diss. Alberta, Canada: University of Alberta, 2008.
- [MARCHTHALER et al. 2009] MARCHTHALER, J. und WIGGER, T.: „Funktionen-Potential-Analyse“. In: *Spektren der Produktentwicklung*. WIS Verlag. Siegen. 2009.
- [MARCHTHALER et al. 2008] MARCHTHALER, J., WIGGER, T. und LOHE, R.: „Innovatives Potential von Wertanalyse und Value Management“. In: *Maschinenbau - MB Revue 2008 - Jahreshauptausgabe des Maschinenbaus* (2008), S. 30–33.
- [MEYER 2003] MEYER, J. W.: *Produktinnovationserfolg und Target Costing*. Deutscher Universitätsverlag. 2003.
- [MILES et al. 1967] MILES, L. D. und BÖHM, H. H.: *Value engineering: Wertanalyse, die praktische Methode zur Kostensenkung*. 2. Aufl. Verl. Moderne Industrie. München. 1967.
- [MÖHRLE et al. 2006] MÖHRLE, M. G. und WENZKE, S.: „Exploring Problems with Function Analysis. Experimental Insights for Team Management“. In: *Creativity and Innovation Management* 15.2 (2006), S. 195–206.
- [MÖHRLE et al. 1998] MÖHRLE, M. G. und PANNENBÄCKER, T.: „Kompetenz, Kreativität und Computer. Teil (II): Die Ideation International Innovation WorkBench 2.0 im Konzept der Problemzentrierten Invention“. In: *Wissenschaftsmanagement* 4 (1998), S. 11–21.
- [MONITOR 1996] MONITOR, P.: „Value Management - eine weitere Entwicklungsstufe der Wertanalyse“. In: *VDI-Berichte 1305 - Erfolgreiche Produkte und Prozesse*. 1305. VDI-Gesellschaft für Systementwicklung und Projektgestaltung. Düsseldorf. 1996.
- [MÜLLER 2006] MÜLLER, S.: *Methodisches Erfinden im Personalmanagement*. Springer Fachmedien. Wiesbaden. 2006.
- [NAKAGAWA 1999] NAKAGAWA, T.: *TRIZ System Operator (by Savransky)*. <http://www.osaka-gu.ac.jp/php/nakagawa/TRIZ/eTRIZ/eforum/eSavransky9907/eSavransky990708.html>. 1999. (Stand: 08.11.2013).
- [NAKAMURA 2001] NAKAMURA, Y.: *The effective use of TRIZ with brainstorming*. <http://www.triz-journal.com/archives/2001/02/e/index.htm>. 2001. (Stand: 12.10.2013).

- [ORLOFF 2006] ORLOFF, M. A.: *Grundlagen der klassischen TRIZ: Ein Praktisches Lehrbuch des Erfinderischen Denkens Für Ingenieure*. VDI-Buch. Springer. Berlin, Heidelberg. 2006.
- [ORLOFF 2000] – : *Meta-Algorithmus des Erfindens*. 1. Aufl. Lege Artis MV Orloff GbR. 2000.
- [ORTH 1968] ORTH, H.: *Die Wertanalyse als Methode industrieller Kostensenkung und Produktgestaltung*. Gabler. Wiesbaden. 1968.
- [PAHL et al. 2007] PAHL, G., BEITZ, W., FELDUSEN, J. und GROTE, K.: *Konstruktionslehre - Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung - Methoden und Anwendung*. 7. Aufl. Springer. Berlin ;Heidelberg. 2007.
- [PALMER et al. 1996] PALMER, A., KELLY, J. und MALE, S.: „Holistic appraisal of value engineering in construction in united states“. In: *Journal of Construction Engineering and Management* 122.4 (1996), S. 324–328.
- [PANNENBÄCKER 2001] PANNENBÄCKER, T.: *Methodisches Erfinden in Unternehmen: Bedarf, Konzept, Perspektiven für TRIZ-basierte Erfolge*. 1. Aufl. Gabler-Lehrbuch. Gabler. Wiesbaden. 2001.
- [PANNENBÄCKER 2007] – : *Methodisches Erfinden in Unternehmen: Bedarf, Konzept, Perspektiven für TRIZ-basierte Erfolge*. 2. Aufl. Books on Demand. Norderstedt. 2007.
- [PAUWELS 2001] PAUWELS, M.: „Interkulturelle Produktentwicklung: Produktentwicklung mit Wertanalyse und interkultureller Kompetenz“. Diss. Siegen: Universität Siegen, 2001.
- [PETROV 2002] PETROV, V.: *The Laws of System Evolution*. <http://www.triz-journal.com/archives/2002/03/b/index.htm>. 2002. (Stand: 25.09.2013).
- [PEVZNER et al. 2004] PEVZNER, L. C., KASYMOV, A. und SAVRANSKY, S.: *TRIZ: Resources of a System - The Types of Ressources in TRIZ*. <http://www.trizexperts.net>. Apr. 2004. (Stand: 08.11.2013).
- [REICHEL 1984] REICHEL, R.: „Dialektisch-materialistische Gesetzmäßigkeiten der Technikevolution“. In: *Urania, Sektion Technikwissenschaften* (1984).
- [RITSCHL et al. 1997] RITSCHL, K. und MAASS, E.: *Teamgeist: Spiele und Übungen für die Teamentwicklung*. 5. Aufl. Junfermann Verlag. Paderborn. 1997.
- [SAATY 1980] SAATY, T.: *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill. New York, NY. 1980.

## 8 Literatur

- [SALAMATOV et al. 1999] SALAMATOV, Y., SOUCHKOV, V., STROGAIA, M. und YAKOVLEV, S.: *TRIZ: the right solution at the right time: a guide to innovative problem solving*. Insytec Hattem. 1999.
- [SAVE 2007] SAVE: *Value Methodology Standard and Body of Knowledge*. [http://www.value-eng.org/pdf\\_docs/monographs/vmstd.pdf](http://www.value-eng.org/pdf_docs/monographs/vmstd.pdf). 2007. (Stand: 25.10.2013).
- [SAWAGUCHI 2000] SAWAGUCHI, M.: „Effective approach to solving technical problems by combining TRIZ with VE“. In: *TRIZCON 2000*. Altshuller Institute (Hrsg.) 2000.
- [SCHLICKSUPP 1989] SCHLICKSUPP, H.: *Ideenfindung*. 3. Aufl. Vogel-Verlag. 1989.
- [SCHNAUBER 1996] SCHNAUBER, H.: „EQA-Modell und Value Management“. In: *VDI-Berichte 1305 - Erfolgreiche Produkte und Prozesse*. 1305. VDI-Gesellschaft für Systementwicklung und Projektgestaltung. Düsseldorf. 1996, S. 269–277.
- [SCHÖLER 2007] SCHÖLER, H.: „Schulungsunterlagen VM-Modul 1 Continental“. Mai 2007.
- [SCHRAUBER 1981] SCHRAUBER, H.: „Zur langfristigen Planung des Generationswechsels von Erzeugnissen“. In: *Mitteilungen zu wissenschaftlich-ökonomischen Untersuchungen* 57 (1981).
- [SCHWEITZER et al. 2008] SCHWEITZER, M. und KÜPPLER, H.-U.: *Systeme der Kosten- und Erlösrechnung*. 9. Aufl. Vahlen. München. 2008.
- [SEIDENBERG et al. 1999] SEIDENBERG, U. und STUHLERT, M.: „Kundenorientierung der Wertanalyse-Ergebnisse einer empirischen Studie“. In: *Arbeitspapier, Universität Siegen* (1999).
- [SEIDENSCHWARZ 1993] SEIDENSCHWARZ, W.: *Target costing*. Springer. Berlin, Heidelberg. 1993.
- [SHEN et al. 2003] SHEN, Q. und LIU, G.: „Critical success factors for value management studies in construction“. In: *Journal of Construction Engineering and Management* 129.5 (2003), S. 777–786.
- [SOLIDCREATIVITY 2013] SOLIDCREATIVITY: *TRIZ Tabelle und 40 Prinzipien*. <http://www.triz40.com/?lan=de>. 2013. (Stand: 29.12.2013).
- [SOUCHKOV 2005] SOUCHKOV, V.: „Root Conflict Analysis (RCA+): Structuring and Visualization of Contradictions“. In: *Proc. ETRIA TRIZ Future 2005 Conference*. Graz. 2005.

- [SOUCHKOV 2011] SOUCHKOV, V.: *A Guide to Root Conflict Analysis (RCA+)*. [http://www.xtriz.com/publications/RCA\\_Plus\\_July2011.pdf](http://www.xtriz.com/publications/RCA_Plus_July2011.pdf). 2011. (Stand: 14. 12. 2013).
- [SOUCHKOV 2006] – : *Annotated list of main TRIZ tools and techniques*. <http://www.xtriz.com/Annotated%20list%20of%20main%20TRIZ%20tools%20and%20techniques.pdf>. 2006. (Stand: 20. 11. 2013).
- [SOUCHKOV et al. 2006] SOUCHKOV, V., HOEBOER, R. und VAN ZUTPHEN, M.: „TRIZ in Business: Application of RCA+ to Identify and Solve Conflicts Related to Business Problems“. In: *ETRIA TFC*. Kortrijk, Belgien. 2006, S. 9–11.
- [TAMAI 1967] TAMAI, M.: *How to build Functional Family Trees*. Bd. Value Engineering (8). 1967.
- [TANAKA 1989] TANAKA, M.: „Cost planning and control systems in the design phase of a new product“. In: *Japanese Management Accounting—A World Class Approach to Profit Management*, Cambridge (1989), S. 49–71.
- [TANAKA 1985] – : „New approach to the function evaluation system in value engineering“. In: *International Journal of Production Research* 23.4 (1985), S. 625–637.
- [TERNINKO et al. 1998a] TERNINKO, J., ZUSMAN, A. und ZLOTIN, B.: *TRIZ - der Weg zum konkurrenzlosen Erfolgsprodukt: Ideen produzieren, Nischen besetzen, Märkte gewinnen*. R. Herb (Hrsg.) Verl. Moderne Industrie. Landsberg/Lech. 1998.
- [TERNINKO et al. 1998b] TERNINKO, J., ZUSMAN, A. und ZLOTIN, B.: *Systematic Innovation. An introduction to TRIZ*. CRC Press LLC. Boca Raton, FL. 1998.
- [TEUFELSDORFER et al. 1998] TEUFELSDORFER, H. und CONRAD, A.: *Kreatives Entwickeln und innovatives Problemlösen mit TRIZ/TIPS*. Publicis MCD Verlag. 1998.
- [TRAUTMANN 1973] TRAUTMANN, W. P.: *Wertanalyse im Einkauf*. Dt. Betriebswirte-Verlag. Gernsbach. 1973.
- [VDI 1994] VDI: *Qualitätssicherung: VDI-Richtlinie 2247 Qualitätsmanagement in der Produktentwicklung*, Verein Deutscher Ingenieure. Konstruktion, VDI-Ausschuss. 1994.
- [VDI 2000] – : *Richtlinie VDI 2800 Wertanalyse*. 2000.
- [VDI 2006] VDI: *Richtlinie VDI 2800 Wertanalyse*. VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (VDI-GPP) (Hrsg.) Beuth Verlag. Düsseldorf. 2006.

## 8 Literatur

- [VDI 2010a] VDI: *Richtlinie VDI 2800 Wertanalyse*. VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (VDI-GPP) (Hrsg.) Beuth Verlag, Düsseldorf. 2010.
- [VDI 2010b] VDI: *Richtlinie VDI 2801 Blatt 1 - Wertanalytiker / Wertanalytikerin Berufsbild*. VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (VDI-GPP) (Hrsg.) Beuth Verlag, Düsseldorf. 2010.
- [VDI 1996] VDI: *Richtlinie VDI 2803 Funktionenanalyse - Grundlagen und Methode*. VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (VDI-GPP) (Hrsg.) Beuth Verlag, Düsseldorf. 1996.
- [VDI 2011] VDI: *Richtlinie VDI 2804 Blatt 1 - Wertorientierte Unternehmensführung - Grundlagen*. VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (VDI-GPP) (Hrsg.) Beuth Verlag, Düsseldorf. 2011.
- [VDI 2002] VDI: *Richtlinie VDI 2806 - Kreativitätspotenziale und Ideenfindung*. VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (VDI-GPP) (Hrsg.) Beuth Verlag, Düsseldorf. 2002.
- [VDI 2004] VDI: *VDI 2206 - Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme*. Beuth Verlag GmbH, Düsseldorf. 2004.
- [VDI 1993] – : *VDI 2221 - Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*. Beuth Verlag GmbH, Düsseldorf. 1993.
- [VDI-GPP 1997] VDI-GPP: *VDI 2222 - Blatt 1: Konstruktionsmethodik-Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien*. 1997.
- [VDI-GPP 2016] – : *VDI 4521 Blatt 2 Entwurf „Erfinderisches Problemlösen mit TRIZ“ Zielbeschreibung, Problemdefinition und Lösungspriorisierung*. Beuth Verlag GmbH, Düsseldorf. 2016.
- [VDI GPP 2011] VDI GPP: *Wertanalyse: das Tool im Value Management. ; Idee, Methode, System*. VDI-Gesellschaft Produkt- und Projektgestaltung (VDI-GPP) (Hrsg.) 1. Aufl. Springer-Verlag. 2011.
- [VDI GSP 1995] VDI GSP: *Wertanalyse*. VDI-Gesellschaft Systementwicklung und Projektgestaltung (VDI-GSP) (Hrsg.) Bd. 5. VDI Springer Verlag, Düsseldorf. 1995.
- [VERBITSKY 2001] VERBITSKY, M.: *Function Analysis in IMC's Innovation Roadmap*. Techn. Ber. Bosten, MA: Invention Machine, 2001.
- [VOIGT et al. 1970] VOIGT, C.-D. und SIEMENS AG: *Systematik und Einsatz der Wertanalyse*. Siemens AG. 1970.

- [WACH 1994] WACH, J. J.: „Problemspezifische Hilfsmittel für die integrierte Produktentwicklung“. Diss. München ;Wien, 1994.
- [WENZKE 2003] WENZKE, S.: „Flexible Gestaltung des Analyseprozesses technischer Probleme mit TRIZ-Werkzeugen: Theoretische Fundierung, Anwendung in der industriellen Praxis, Zukunftspotenzial“. Diss. Wiesbaden: Universität Bremen, 2003.
- [WIGGER et al. 2009] WIGGER, T., MARCHTHALER, J. und LOHE, R.: „Durch die Integration von Wertanalyse und TRIZ die Effizienz technischer Problemlösungen steigern“. In: *Wertanalyse Praxis 2009 - Chancen des Wandels nutzen und damit Erfolg sichern*. VDI-Wissensforum. VDI. 2009.
- [WIGGER et al. 2014] WIGGER, T. und LOHE, R.: „Effizienzsteigerung in der Produktentwicklung durch die Integration von TRIZ-Elementen in die Wertanalyse“. In: *Wertanalyse-Praxis 2014*. VDI GPP (Hrsg.) VDI - Gesellschaft für Produkt- und Prozessgestaltung. VDI-Wissensforum. Düsseldorf. 2014.
- [WIGGER et al. 2011] WIGGER, T., GERSON, D., SCHOLER, J. und LOHE, R.: „Verbesserung der Funktionen-Potential-Analyse durch die ganzheitliche Betrachtung der gegenseitigen Kostenbeeinflussung von Funktionen“. In: *Wertanalyse Praxis 2011 - Mit Wertanalyse den Aufschwung sichern - Wertsteigerung Zug um Zug*. VDI. 2011.
- [WOHINZ 1983] WOHNINZ, J. W.: *Wertanalyse-Innovationsmanagement*. Physica-Verlag. 1983.
- [WOHINZ 1996] WOHNINZ, W.: „Die Umfeldanalyse - Bindeglied zwischen Value Management und Strategic Management“. In: *VDI-Berichte 1305 - Erfolgreiche Produkte und Prozesse*. 1305. VDI-Gesellschaft für Systementwicklung und Projektgestaltung. Düsseldorf. 1996.
- [ZADERENKO 1971] ZADERENKO, S. G.: *Kostenminimierung mittels Wertanalyse: neue erprobte Methode, die Ergebnisse verdoppelt*. World Science Technology. 1971.
- [ZANKER 1999] ZANKER, W.: *Situative Anpassung und Neukombination von Entwicklungsmethoden*. Als Ms. gedr. Bd. Bd. 36. Reihe Konstruktionstechnik München. Shaker. Aachen. 1999. URL: <http://www.dandelon.com/servlet/download/attachments/dandelon/ids/AT00181A2.pdf>.
- [ZANNI-MERK et al. 2009] ZANNI-MERK, C. und BOUCHÉ, P.: „Dialectics-Based Knowledge Acquisition - A Case Study“. In: *Knowledge-Based and intelligent information and engineering systems* 5711 (2009), S. 219–226.

## 8 Literatur

- [ZLOTIN 2005] ZLOTIN B.; Zusman, A.: *The Concept of Resources in TRIZ: Past, Present and Future*. <http://www.ideationtriz.com/new/materials/finalconcept-resources.pdf>. 2005. (Stand: 15.11.2013).
- [ZLOTIN 1998] – : *Value Quality Engineering: Hybridization of Value Engineering and Quality Engineering Based on the Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ)*. <http://www.ideationtriz.com/new/materials/valuequalityengineering.pdf>. 1998. (Stand: 20.11.2013).
- [ZLOTIN et al. 1996] ZLOTIN, B., BUSHUEV, D., HAIMOV, E., MALKIN, S., ZUSMAN, A., TIKHONOV, A. und PEVNEV, V.: *Automated Problem Formulator and Solver*. 5581663. 1996.
- [ZOBEL 2007a] ZOBEL, D.: *Kreatives Arbeiten: Methoden, Erfahrungen, Beispiele; mit 5 Tabellen*. Expert-Verlag, Renningen. 2007.
- [ZOBEL 2007b] – : *TRIZ für alle: der systematische Weg zur Problemlösung ; mit 7 Tabellen*. 2. Aufl. Expert-Verlag, Renningen. 2007.
- [ZUSMAN 1998] ZUSMAN, A.: *Overview of creative methods*. <http://www.ideationtriz.com/new/materials/creativemethods.pdf>. 1998. (Stand: 15.11.2013).

# Abkürzungsverzeichnis

EG .....	Evolutionsgesetz
EL .....	Evolutionslinie
ENV .....	Element-Name-Value
ET .....	Evolutionstrend
HoQ .....	House of Quality
Innovationsprinzipien	Innovationsprinzipien
MG .....	Methodengruppe: Zusammenfassung von Methodenpässen
MP .....	Methodenpass - In dieser Arbeit verwendete Darstellungsform für methodische Vorgehensweisen
OTSM .....	Theorie des kraftvollen Denkens. Weiterentwicklung der TRIZ
PNF .....	Primär Nützliche Funktion
QFD .....	Quality Function Deployment
SO .....	System Operator, 9-Windows, 9-Fenster-Methode
TC .....	Target Costing
TRIZ .....	Theorie des erfinderischen Problemlösens - Russisch wörtlich: „teorija reschenija isobretatel’skich sadatsch“ - Englisch: TIPS (Theory of Inventive Problem Solving)
VA .....	Value Analysis
VE .....	Value Engineering
VM .....	Value Management
WA .....	Wertanalyse

*Abkürzungsverzeichnis*

# Verzeichnis der Anhänge

<b>A</b>	<b>Evolutionsgesetze</b>	<b>245</b>
A.1	Evolutionsgesetz 1 - Vollständigkeit der Systemteile . . . . .	245
A.2	Evolutionsgesetz 2 - Vollständigkeit des Obersystems . . . . .	245
A.3	Evolutionsgesetz 3 - Energetische Leitfähigkeit . . . . .	246
A.4	Evolutionsgesetz 4 - Koordination . . . . .	248
A.5	Evolutionsgesetz 5 - Idealität . . . . .	248
A.6	Evolutionsgesetz 6 - Ungleichmäßigkeit in der Systemteilentwicklung . . . . .	249
A.7	Evolutionsgesetz 7 - Über Komplexität zur Einfachheit . . . . .	250
A.8	Evolutionsgesetz 8 - Übergang in ein Obersystem . . . . .	251
A.9	Evolutionsgesetz 9 - Erhöhung von Dynamik und Steuerbarkeit . . . . .	251
<b>B</b>	<b>Evolutionstrends</b>	<b>253</b>
B.1	S-Kurve und Evolutionstrends . . . . .	253
B.2	Evolutionstrend 1 - Erhöhung des Energie-Leitvermögens . . . . .	254
B.3	Evolutionstrend 2 - Abstimmung der Systemrhythmik . . . . .	254
B.4	Evolutionstrend 3 - Erhöhung der Fläche der Wechselwirkung . . . . .	255
B.5	Evolutionstrend 4 - Erhöhung der Formkoordination . . . . .	255
B.6	Evolutionstrend 5 - Nutzung von Asymmetrien und Symmetrien . . . . .	256
B.7	Evolutionstrend 6 - Expansion - Kontraktion . . . . .	256
B.8	Evolutionstrend 7 - Übergang zum Bi-, Poly- und Obersystem . . . . .	257
B.9	Evolutionstrend 8 - Erhöhung der Anpassungsfähigkeit . . . . .	258
B.10	Evolutionstrend 9 - Erhöhung der Steuerbarkeit von Feldern . . . . .	259
B.11	Evolutionstrend 10 - Segmentierung in die Mikroebene . . . . .	260
B.12	Evolutionstrend 11 - Erhöhung des Automatisierungsgrades . . . . .	261
<b>C</b>	<b>Methoden Phase 4 - Analyse</b>	<b>263</b>
C.1	Methodenpass-Nomenklatur . . . . .	263
C.2	Methodengruppen in Phase 4 . . . . .	265
C.3	Methodenauswahl in Phase 4 . . . . .	266
C.4	Methodengruppe 4.A Funktionen erfassen . . . . .	267
C.5	Methodenpass 4.1 Funktionen sammeln . . . . .	268
C.6	Methodenpass 4.2 Funktionen strukturieren . . . . .	272
C.7	Methodenpass 4.3 Funktionenbaum erstellen . . . . .	273
C.8	Methodenpass 4.4 FAST erstellen . . . . .	275
C.9	Methodenpass 4.5 Funktionsnetzwerk erstellen . . . . .	278
C.10	Methodenpass 4.6 Objektmodell erstellen . . . . .	283
C.11	Methodenpass 4.7 Funktionen spezifizieren . . . . .	286
C.12	Methodengruppe 4.B Potential analysieren . . . . .	288
C.13	Methodenpass 4.8 Funktionen auswählen . . . . .	289
C.14	Methodenpass 4.9 Funktionen-Bedeutsamkeit ermitteln . . . . .	291
C.15	Methodenpass 4.10 Funktionen Kosten zuordnen . . . . .	293

Verzeichnis der Anhänge

C.16 Methodenpass 4.11 Funktionen-Potential ermitteln . . . . .	295
C.17 Methodenpass 4.12 Komponenten-Potential ermitteln . . . . .	297
C.18 Methodenpass 4.13 Evolutionsanalyse - Entwicklungsgrad bestimmen .	300
C.19 Methodenpass 4.14 Kostenursachenanalyse . . . . .	303
C.20 Methodenpass 4.15 Probleminformationen verdichten . . . . .	306
C.21 Methodenpass 4.16 Root Conflict Analysis . . . . .	307
C.22 Methodenpass 4.17 Detailziele festlegen . . . . .	312
C.23 Methodenpass 4.18 Detailziele festlegen . . . . .	316
<b>D Methoden Phase 5 - Ideenfindung</b>	<b>319</b>
D.1 Methodengruppen in Phase 5 . . . . .	319
D.2 Methodenauswahl in Phase 5 . . . . .	320
D.3 Methodengruppe 5.A Effizienz verbessern . . . . .	321
D.4 Methodenpass 5.1 SOLL-Funktionen . . . . .	322
D.5 Methodenpass 5.2 Kostenoptimierung . . . . .	324
D.6 Methodenpass 5.3 Trimmen . . . . .	329
D.7 Methodenpass 5.4 Trimmen kompensierender Funktionen . . . . .	333
D.8 Methodenpass 5.5 Fragen zur Kostensenkung . . . . .	336
D.9 Methodenpass 5.6 Ressourcenentwicklung . . . . .	338
D.10 Methodenpass 5.7 Kostenursachen eliminieren . . . . .	341
D.11 Methodengruppe 5.B Probleme lösen . . . . .	346
D.12 Methodenpass 5.8 Problembearbeitung steuern . . . . .	347
D.13 Methodenpass 5.9 Widersprüche . . . . .	348
D.14 Methodenpass 5.10 Stoff-Feld-Modelle . . . . .	351
D.15 Methodenpass 5.11 Evolution antizipieren . . . . .	356
D.16 Verweise auf Kataloge . . . . .	359
<b>E Kostensenkungsfragen</b>	<b>361</b>
<b>F Stoff-Feld-Modifikation nach Belski</b>	<b>413</b>
<b>G TRIZ-Ressourcen</b>	<b>419</b>

# A Evolutionsgesetze

## Anhang A.1

### Evolutionsgesetz 1 - Vollständigkeit der Systemteile

#### Definition

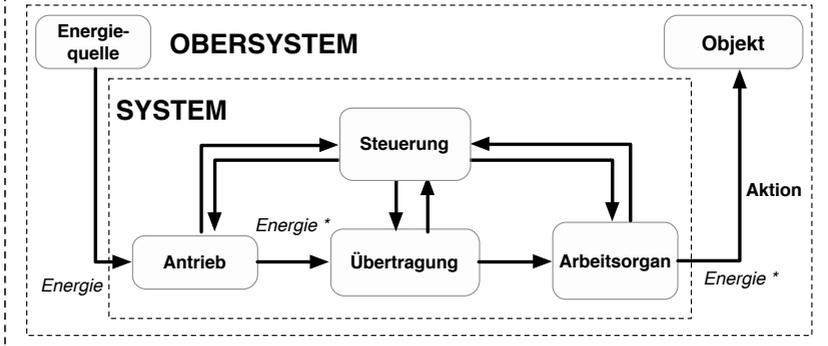
„Notwendige Bedingung für die Lebensfähigkeit eines technischen Systems ist das Vorliegen der Hauptteile eines Systems und eine minimale Funktionsfähigkeit derselben.“ [ALTSCHULLER 1998]

#### Literatur

[ALTSCHULLER 1998],  
[LINDE et.al. 1993],  
[PETROV 2002],  
[ORLOFF 2006],  
[FEY et.al. 2005],  
[KOLTZE et.al. 2011]

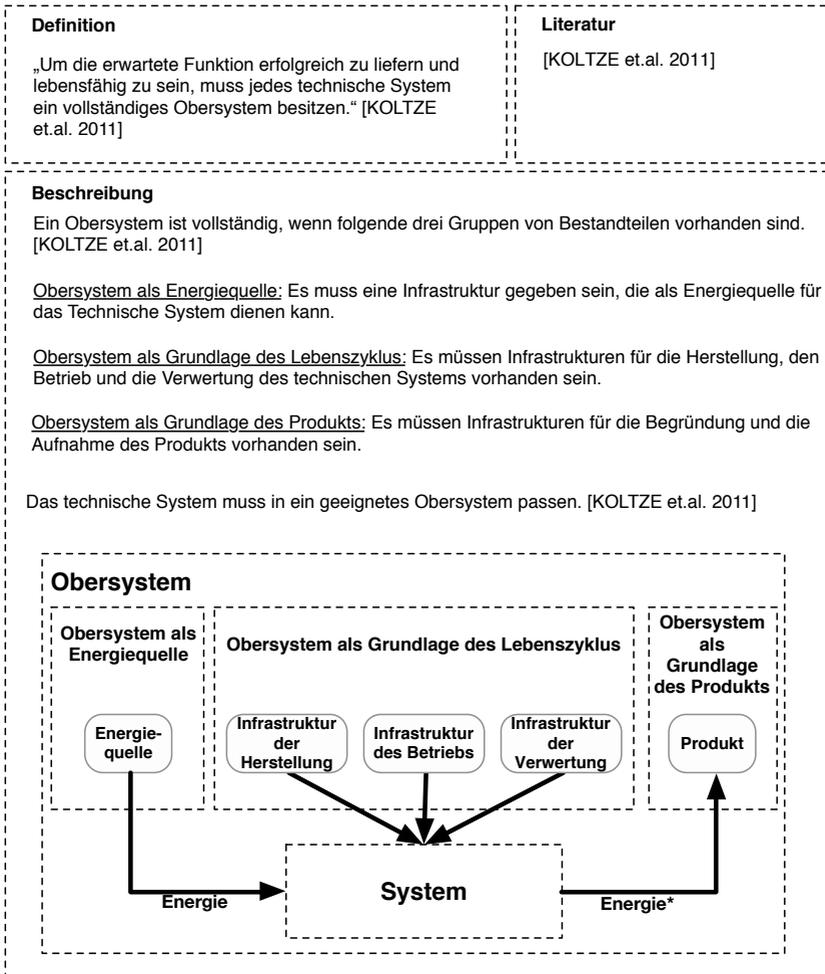
#### Beschreibung

Die hinreichende Bedingung für die Lebensfähigkeit eines technischen Systems kann man als Konsequenz dieses Gesetzes folgendermaßen darstellen: ein technisches System ist nur dann lebensfähig, wenn jedes seiner Hauptteile über eine minimale Funktionsfähigkeit verfügt, aber auch die minimale Funktionsfähigkeit aller seiner Hauptteile als ein einheitliches System gewährleistet wird. [ORLOFF 2006]



## Anhang A.2

### Evolutionsgesetz 2 - Vollständigkeit des Obersystems



**Anhang A.3**  
**Evolutionsgesetz 3 - Energetische Leitfähigkeit**

Definition	Literatur
<p>„Eine notwendige Bedingung für die Lebensfähigkeit eines technischen Systems ist der ungehinderte Energiefluss durch alle Teile des Systems.“ [ALTSCHULLER 1998]</p>	<p>[ALTSCHULLER 1998], [LINDE et.al. 1993], [TERNINKO et.al. 1998a], [PETROV 2002], [ORLOFF 2006], [FEY et.al. 2005], [KOLTZE et.al. 2011]</p>
<b>Beschreibung</b>	
<p>Jedes technische System kann als Energiewandler aufgefasst werden. [ALTSCHULLER 1998]</p>	
<p>Es stellt die Art von Energie* mittels Transformation zur Verfügung, welche vom Antrieb über die Übertragung zur Arbeitseinheit weitergeleitet und von dieser abschließend zur Funktionserfüllung genutzt wird.[ORLOFF 2006]</p>	
<p>In Sachen Steuerbarkeit muss insbesondere der ungehinderte Energiefluss (Informationsfluss) zwischen den zu steuernden Teilen und der Steuer- und Kontrolleinheit gewährleistet sein. [ORLOFF 2006]</p>	
<p>Die Energieübertragung von einem Teil des Systems zu einem anderen kann dabei stofflich (z.B. über Wellen, Zahnräder, Hebel usw.), feldförmig (z.B. durch ein Magnetfeld) oder stofflich-feldförmig (z.B. durch einen Strom geladener Teilchen) erfolgen. [ALTSCHULLER 1998]</p>	
<p>Es ist von Vorteil, wenn eine Energieform mit einem Parameter für alle Systemarbeitsgänge sowie die Systemsteuerung ausreicht. Es ist daher förderlich, von Beginn an die Steuerbarkeit von Feldern zu erhöhen sowie die Zahl der Transformationsstufen [Transformation zwischen verschiedenen Energieformen (elektrisch - mechanisch, mechanisch - thermisch), wie auch die Transformation zwischen gleichen Energieformen jedoch verschiedenen Parametern (Drehzahl - Drehmoment/Kraft)] zu minimieren. Entsprechend resultiert der Anspruch, die direkte Verknüpfung von Antrieb und Werkzeug zu erreichen (<i>siehe Abb. unten</i>). [FEY et.al. 2005]</p>	
<p>Im weiteren Sinne kann die Energieleitfähigkeit auf jegliche Verknüpfung des technischen Systems erweitert werden. Verknüpfungen und Einflüsse können in 7 verschiedene Kategorien eingeteilt werden.[PETROV 2002]</p>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ebene</li> <li>2. Qualität</li> <li>3. Form der Interaktion</li> <li>4. Entferntheit</li> <li>5. Kontrollierbarkeit</li> <li>6. Vorhersehbarkeit der Interaktion</li> <li>7. Art der Aktionen</li> </ol>	<p>Das Diagramm zeigt ein System innerhalb eines Obersystems. Ein Energiefluss tritt von links ein und verläuft durch die Komponenten Antrieb, Übertragung und Werkzeug. Die Steuerung ist mit allen drei Komponenten verbunden. Ein Energiefluss tritt von rechts aus dem System als Energie* aus.</p>
<b>Zuzuordnende Evolutionstrends</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erhöhung des Energieleitvermögens</li> </ul>	

## Anhang A.4 Evolutionsgesetz 4 - Koordination

<b>Definition</b> „Notwendige Bedingung für die Lebensfähigkeit eines technischen Systems ist die Abstimmung der Rhythmik (Frequenz der mechanischen oder elektromagnetischen Schwingungen, Periodizität der Funktion und Interaktion) aller seiner Teile.“ [ALTSCHULLER 1998]	<b>Literatur</b> [ALTSCHULLER 1998], [LINDE et.al. 1993], [TERNINKO et.al. 1998a], [PETROV 2002], [ORLOFF 2006], [FEY et.al. 2005]
<b>Beschreibung</b> Neben der Gewährleistung der prinzipiellen Lebensfähigkeit eines technischen Systems mit Hilfe der Abstimmung der Rhythmik, fokussiert dieses Gesetz die effektivste temporäre Koordination aller Systemteile im Sinne optimaler Funktionsfähigkeit. [FEY et.al. 2005]  Das Mittel der Koordination dient dabei als Möglichkeit, schädliche Wirkungen zu unterbinden und positive Wirkungen zu verstärken. Geleitet von Anforderungen, Funktionen und Systemen, kann die Koordination der Struktur, von Bedingungen und/oder der Parameter (technisch, ergonomisch, wirtschaftlich, ökologisch, ästhetisch, sozial, politisch, etc.) statisch oder dynamisch in der Zeit und/oder im Raum erfolgen. [PETROV 2002]  Gezielte Koordination / Nicht-Koordination kann dabei in verschiedenen Formen erfolgen [TERNINKO et.al. 1998a]:  - nicht passende oder passende Elemente gezielt nicht passende Elemente dynamisches Passen und Nicht-Passen	
<b>Zuzuordnende Evolutionstrends</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Abstimmung der Systemrhythmik</li><li>- Erhöhung der Fläche der Wechselwirkung</li><li>- Erhöhung der Gestalt- und Formkoordination</li><li>- Nutzung von Asymmetrien und Symmetrien</li></ul>	

## Anhang A.5

### Evolutionsgesetz 5 - Idealität

#### Definition

„Die Entwicklung aller technischen Systeme verläuft in Richtung auf die Erhöhung des Grades der Idealität.“ [ALTSCHULLER 1998], S.190

#### Literatur

[ALTSCHULLER 1998],  
[KOLTZE et.al. 2011],  
[TERNINKO et.al. 1998a],

#### Beschreibung

Ein ideales technisches System ist ein System, dessen Masse, Volumen, Fläche, Kosten, Energieverbrauch u.ä. gegen Null streben, ohne dass seine Fähigkeit, eine primär nützliche Funktion zu erbringen, dabei verringert wird. So stellt ein ideales technisches System den maximalen Nutzen (jederzeit, überall, unbegrenzt, genau, zuverlässig, robust, intuitiv, von selbst) zur Verfügung, ohne dabei zu existieren (bei einem Null-Aufwand). [KOLTZE et.al. 2011], S.33ff.

Idealität ist folglich definiert als die Summe aller nützlichen Funktionen, geteilt durch die Summe aller schädlichen Funktionen (alle Arten von Kosten: Abfall, Umweltverschmutzung, Platzverbrauch, Energieverbrauch, Lärmemission u. ä.) und kommt somit der Effizienz eines technischen Systems gleich. Jede Entwicklung, die den Zähler vergrößert und/oder den Nenner verkleinert bewirkt letztendlich eine Steigerung der Idealität. [TERNINKO et.al. 1998a],S.151,212.

Folgende Wege zur Erhöhung der Idealität sind denkbar. [TERNINKO et.al. 1998a],S.155 ff.

- Vergrößere die Zahl zusätzlicher und/oder unterstützender Funktionen, d.h. Hilfsfunktionen
- Eliminiere zusätzliche und/oder unterstützende Funktionen:  
Zusätzliche und unterstützende Funktionen, d.h. Hilfsfunktionen, tragen nur mittelbar zur Verbesserung der primär nützlichen Funktion bei.
- Eliminiere Teile, erhalte aber die Funktion durch Übertragung der Ausführung auf andere Ressourcen.
- Erkenne Selbstversorgung oder -regelung:  
Mit der Erfüllung der primär nützlichen Funktion lassen sich simultan zusätzliche Funktionen erfüllen oder zur Ausführung der Hauptfunktion lassen sich die zur Ausführung einer unterstützenden Funktion, d.h. einer Hilfsfunktion, notwendigen Mittel nutzen.
- Ersetze Einzelteile, Subsysteme oder das komplexe System durch einfachere Kopien
- Ändere das Funktionsprinzip zur Vereinfachung der Funktionserfüllung
- Nutze Ressourcen:  
Ressourcen sind alle Stoffe, Felder, Feldeigenschaften, Energien und sonstige funktionale Eigenschaften, die einem technischen System oder dessen Umgebung für die Verbesserung zur Verfügung stehen.

## Anhang A.6

### Evolutionsgesetz 6 - Ungleichmäßigkeit der Systemteilentwicklung

<b>Definition</b> „Die Entwicklung der Teile eines Systems verläuft ungleichmäßig; je komplizierter das System ist, um so ungleichmäßiger verläuft die Entwicklung seiner Teile.“ [ALTSCHULLER 1998]	<b>Literatur</b> [ALTSCHULLER 1998], [LINDE et.al. 1993], [TERNINKO et.al. 1998a], [PETROV 2002], [ORLOFF 2006], [FEY et.al. 2005], [KOLTZE et.al. 2011]
<b>Beschreibung</b> Die ungleichmäßige Entwicklung der Teile eines technischen Systems ist als Ursächlichkeit technischer sowie physikalischer Widersprüche und folglich auch als Ursächlichkeit innovativer Erfindungsaufgaben zu sehen. [ORLOFF 2006] So besitzt jedes Subsystem eine eigene S-Kurve und durchläuft, weitgehend unabhängig von anderen Subsystemen, eigene Entwicklungsschritte in einem eigenen zeitlichen Ablauf. Das Subsystem, welches dabei zuerst die Reifephase abschließt oder ein vergleichsweise unterentwickeltes Teil ist, bremst das Gesamtsystem im Sinne eines Bottlenecks aus. [KOLTZE et.al. 2011]	

## Anhang A.7

### Evolutionsgesetz 7 - Über Komplexität zur Einfachheit

<b>Definition</b> „Technische Systeme zeigen übereinstimmend die Tendenz, sich zunächst in Richtung Komplexität (mehr und bessere Funktionen) und dann in Richtung Vereinfachung auf der Grundlage einer hohen Effizienz (gleiche oder bessere Performance durch ein weniger kompliziertes System) zu entwickeln.“ [TERNINKO et.al. 1998a]	<b>Literatur</b> [TERNINKO et.al. 1998a], [LINDE et.al. 1993], [ORLOFF 2006]
<b>Beschreibung</b> Die Erhöhung der Idealität technischer Systeme wird durch zwei gegenläufige und aufeinander folgende Prozesse gewährleistet. So wird im Rahmen der <i>Expansion</i> die Erhöhung der Quantität und Qualität ausgeführter Funktionen durch ein komplizierteres System gewährleistet. Im Rahmen der <i>Kontraktion</i> findet hingegen die Erhöhung (Erhaltung) der Quantität und Qualität ausgeführter Funktionen bei gleichzeitiger relativer Vereinfachung des Systems statt. Tatsächlich sinkt die „Kompliziertheit“ jedoch nur durch eine höhere Organisation des Stoffes und der Energie in den Elementen. [ORLOFF 2006]	
<b>Zuzuordnende Evolutionstrends</b> - Expansion - Kontraktion	

## Anhang A.8 Evolutionsgesetz 8 - Übergang in ein Obersystem

<b>Definition</b> „Nach Erschöpfung seiner Entwicklungsmöglichkeiten wird ein System als Teil in ein Obersystem aufgenommen. Dabei erfolgt die weitere Entwicklung auf der Ebene des Obersystems.“ [ORLOFF 2006]	<b>Literatur</b> [ORLOFF 2006], [KOLTZE et.al. 2011]
<b>Beschreibung</b> Ein technisches System, das seine Grenzen der Weiterentwicklung erreicht hat, kann seine Effektivität nur auf Basis der Verbindung mit anderen technischen Systemen und durch die Intensivierung dieser Verbindung steigern.[KOLTZE et.al. 2011] Neben der Erhöhung der Quantität und Qualität ausgeführter Funktionen besteht so zudem die Möglichkeit, die Funktionslast auf verschiedene Subsysteme zu verteilen (in der Zeit, im Raum) [KOLTZE et.al. 2011]	
<b>Zuzuordnende Evolutionstrends</b> - Übergang zum Bi-, Poly- und Obersystem	

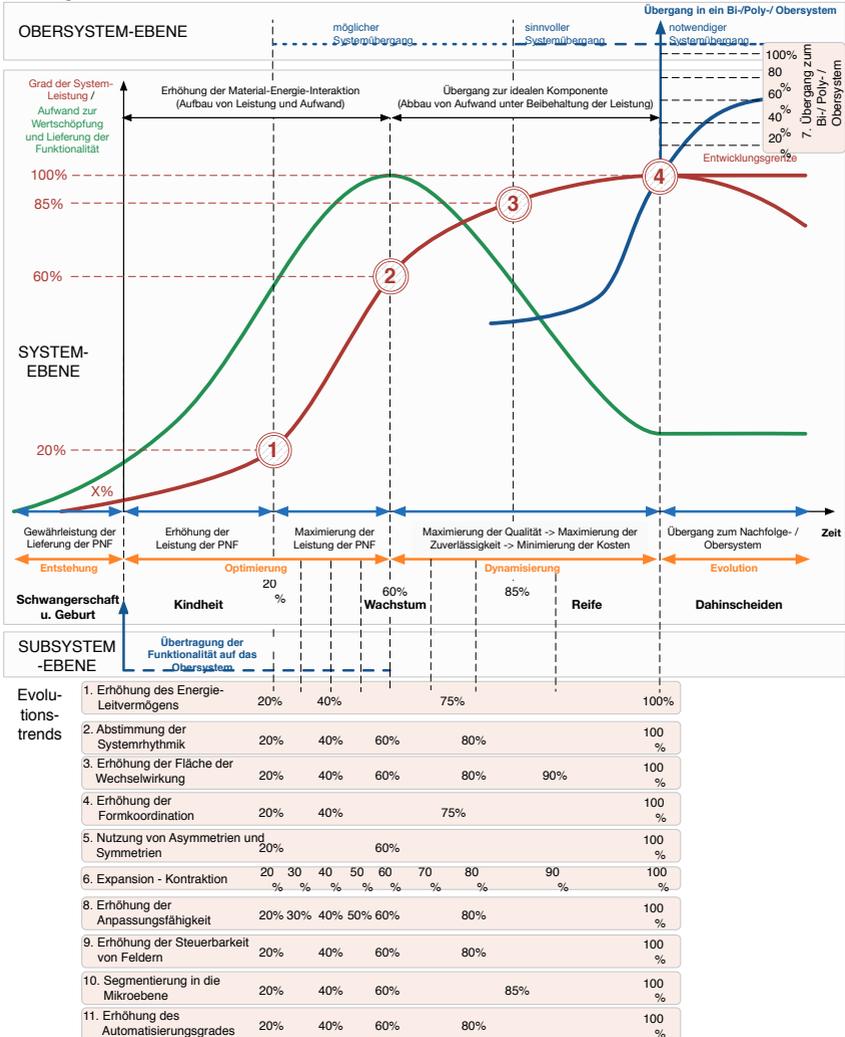
## Anhang A.9 Evolutionsgesetz 9 - Erhöhung von Dynamik und Steuerbarkeit

<b>Definition</b> Die Entwicklung eines technischen Systems verläuft vom Makroniveau in das Mikroniveau. Damit steigt schrittweise die Dynamik und Steuerbarkeit eines technischen Systems. [ORLOFF 2006]	<b>Literatur</b> [ALTSCHULLER 1998], [LINDE et.al. 1993], [TERNINKO et.al. 1998a], [PETROV 2002], [ORLOFF 2006], [FEY et.al. 2005], [KOLTZE et.al. 2011]
<b>Beschreibung</b> Die Erhöhung der Anpassungsfähigkeit, die Erhöhung der Steuerbarkeit von Feldern, die Segmentierung in die Mikroebene und die Erhöhung des Automatisierungsgrades beschreiben die Schritte der Entwicklung hin zu größerer Dynamik und Steuerbarkeit. Dieses Gesetz fasst die drei wesentlichen Strömungen „Übergang in die Mikroebene“, „Erhöhung der Anzahl von Stoff-Feld-Interaktionen“ und den „Ersatz des Menschen beim Funktionieren technischer Systeme“ zusammen.	
<b>Zuzuordnende Evolutionstrends</b> - Erhöhung der Anpassungsfähigkeit      - Segmentierung in die Mikroebene - Erhöhung der Steuerbarkeit von Feldern      - Erhöhung des Automatisierungsgrades	

*A Evolutionsgesetze*

# B Evolutionstrends

Anhang B.1 - S-Kurve und Evolutionstrends



## Anhang B.2

### Evolutionstrend - 1 - Erhöhung des Energie-Leitvermögens

Literatur	
[KOLTZE et.al. 2011], [MANN 2002]	
ENTWICKLUNGSGRAD	KENNZEICHEN
20%	Das System ist nicht energieoptimiert und wandelt Energie in drei oder mehr Stufen um.
40%	Die Länge von Energieleitungen wurde reduziert.
75%	Die Anzahl an Energieumwandlungen ist reduziert, typischerweise verbleiben zwei oder eine Energieumwandlung.
100%	Es findet keine Umwandlung von einer Energieart in eine andere statt.

## Anhang B.3

### Evolutionstrend 2 - Abstimmung der Systemrhythmik

Literatur	
[LIVOTOV 2007], [KOLTZE et.al. 2011], [MANN 2002], [FEY et.al. 2005]	
ENTWICKLUNGSGRAD	KENNZEICHEN
20%	Eine kontinuierliche bzw. monoton veränderbare Wirkung wird verwendet.
40%	Es wird eine periodische Wirkung oder pulsierende Wirkung verwendet.
60%	Die Periodizität ist variabel, z.B. durch phasen-, frequenz- oder amplitudenmodulierte Wirkungen, Stehwellen, Wanderwellen, Resonanzen etc.. Frequenzen von Aktionen werden koordiniert. Pulsierende Wirkungen in der Resonanz werden ausgenutzt. Verschiedene Wirkungen wirken zusammen (sequentiell). Mehrere Wirkungen / Ereignisse werden zeitlich koordiniert (Parallel, teilweise vorausgehende Aktionen)
80%	Die Pausen zwischen Impulsen werden für andere Wirkungen ausgenutzt. Wirkungen / Ereignisse werden voll synchronisiert (Parallel, Nutzung von Pausen, vollständig vorausgehende Aktionen).
100%	Die Periodizität von Wirkungen wird auf Eigenfrequenzen eines der Objekte abgestimmt. Frequenzen werden bewusst koordiniert / nicht koordiniert.

## Anhang B.4

### Evolutionstrend 3 - Erhöhung der Fläche der Wechselwirkung

Literatur	
[LIVOTOV 2007], [KOLTZE et.al. 2011], [MANN 2002]	
ENTWICKLUNGSGRAD	KENNZEICHEN
20%	Wechselwirkungen oder Kontakte zwischen zwei Objekten erfolgen an einem oder mehreren Punkten.
40%	Wechselwirkungen oder Kontakte zwischen zwei Objekten erfolgen auf einer geraden oder zusammengesetzten geraden Linie.
60%	Wechselwirkungen oder Kontakte zwischen zwei Objekten erfolgen auf einer zwei- oder dreidimensionalen Kurve
80%	Wechselwirkungen oder Kontakte zwischen zwei Objekten erfolgen auf einer Fläche.
90%	Wechselwirkungen oder Kontakte zwischen zwei Objekten erfolgen über das Volumen. Wechselwirkungen erfolgen über zweidimensionale oder achsensymmetrische Formen.
100%	Wechselwirkungen oder Kontakte zwischen zwei Objekten erfolgen über deren Volumen. Wechselwirkungen erfolgen über sphärische oder komplexe dreidimensionale Formen.

### Anhang B.5

#### Evolutionstrend 4 - Erhöhung der Formkoordination

Literatur	
[[KOLTZE et.al. 2011], [MANN 2002]	
ENTWICKLUNGSGRAD	KENNZEICHEN
20%	Formen sind nicht abgestimmt. Verwendete Materialien sind passiv.
40%	Formen sind starr abgestimmt. Verwendete Materialien sind passiv.
75%	Formen sind dynamisch abgestimmt. Verwendete Materialien sind in einer oder mehreren Formen adaptiv.
100%	Formen sind intelligent abgestimmt. Es werden voll-adaptive Materialien verwendet.

### Anhang B.6

#### Evolutionstrend 5 - Nutzung von Asymmetrien und Symmetrien

Literatur		
[[KOLTZE et.al. 2011], [MANN 2002]		
ENTWICKLUNGSGRAD	KENNZEICHEN Asymmetrie	KENNZEICHEN Symmetrie
	<u>Ausgangspunkt:</u> Stark symmetrisches System	<u>Ausgangspunkt:</u> Stark asymmetrisches System
20%	Das System ist vollständig symmetrisch aufgebaut.	Das System ist vollständig asymmetrisch aufgebaut.
60%	Das System verwendet in erhöhtem Maße Asymmetrien	Das System verwendet in erhöhtem Maße Symmetrien
100%	Das System ist vollständig asymmetrisch aufgebaut.	Das System ist vollständig symmetrisch aufgebaut.

**Anhang B.7**

**Evolutionstrend 6 - Expansion - Kontraktion**

Literatur		
[KOLTZE et.al. 2011], [MANN 2002], [ORLOFF 2006]		
ENTWICKLUNGSGRAD	KENNZEICHEN	
EXPANSION	20%	Ein funktionaler Kern ist gebildet
	30%	Weitere Subsysteme werden integriert
	40%	Die Anzahl von Hierarchiestufen im System wächst.
	50%	Es wird zu netzförmigen Strukturen im System übergegangen.
KONTRAKTION	60%	<u>Funktionsteilung</u> : eine Funktion einer Komponente wird übertragen auf weitere Komponenten oder ein Subsystem.
	70%	Funktions-Selbstversorgung
	80%	Mehrere Objekte mit mehreren Funktionen werden durch ein Objekt mit mehreren Funktionen ersetzt.
	90%	Entfernen einer Funktion aus einem System und Übertragung dieser Funktion auf das Obersystem.
	100%	<u>Funktionsbeseitigung</u> : Reduzierung der Anzahl der Subsysteme, die eine Funktion liefern, oder verbessern durch Beseitigung der Notwendigkeit dieser Funktion.

## Anhang B.8

### Evolutionstrend 7 - Übergang zum Bi-, Poly- und Obersystem

Literatur	
[LIVOTOV 2007], [KOLTZE et.al. 2011], [MANN 2002], [ORLOFF 2006]	
ENTWICKL- UNGSGRAD	KENNZEICHEN
< 20%	Mono-System. Keine Verbindung mit anderen Systemen
20%	Addition gleichartiger Systeme bzw. Systemkomponenten mit der Summierung positiver Eigenschaften
40%	Addition gleichartiger Systeme bzw. Systemkomponenten mit unterschiedlichen Charakteristiken, Eigenschaften oder Parametern.
60%	Kombination unterschiedlicher, sich ergänzender Systeme mit deren positiven Eigenschaften und reduzierten negativen Eigenschaften.
80%	Kombination von Systemen mit konkurrierenden, alternativen oder gegensätzlichen Eigenschaften. (Inkompatibilität wird durch Separation in Raum, Zeit oder Struktur behoben)
100%	Übergang zu einem optimierten multifunktionalen Monosystem. Oder Integration im Obersystem unter Verzicht auf redundante/überflüssige Teile

**Anhang B.9**

**Evolutionstrend 8 - Erhöhung der Anpassungsfähigkeit**

<b>Literatur</b>	
[LIVOTOV 2007], [KOLTZE et.al. 2011], [MANN 2002], [FEY et.al. 2005]	
<b>ENTWICKLUNGSGRAD</b>	<b>KENNZEICHEN</b>
<b>20%</b>	Übergang vom Festkörper bzw. Monolith zum mehrteiligen Körper bis zur Anwendung von Granulaten, dünnen Platten und Pudern.
<b>30%</b>	Übergang von unbeweglichen zu beweglichen Teilen. Zwei oder mehr Objekte mit flexiblen Verbindungen. Mehr Freiheitsgraden durch Gelenke (linear, rotatorisch, kombiniert, mehrdimensional).
<b>40%</b>	Nutzung von flexiblen, elastischen Elementen oder gefederten Verbindungen. Anwendung von flexiblen Membranen.
<b>50%</b>	Nutzung von Objekten im flüssigen Zustand. Anwendung von anpassungsfähigen Elementen mit Flüssigkeiten und hydraulischen Systemen. Anwendung von flüssigen Zweikomponenten-Systemen: Suspension, Emulsion, Schaum.
<b>60%</b>	Nutzung von Objekten im gasförmigen Zustand. Anwendung von anpassungsfähigen Elementen mit Gasen, pneumatischen Systemen. Anwendung von Aerosolen.
<b>80%</b>	Nutzung von Feldern (bspw. elektromagnetisches Feld, magnetisches, elektrodynamisches, optisches Feld etc.).
<b>100%</b>	Anwendung von Feldern auf der Mikroebene. Wechselwirkung von Feldern mit Molekülen, Atomen, Plasma, Elementarteilchen. Anwendung von physikalischen und chemischen Phasenübergängen und Transformationen.

**Anhang B.10**

**Evolutionstrend 9 - Erhöhung der Steuerbarkeit von Feldern**

<b>Literatur</b>	
[LIVOTOV 2007], [KOLTZE et.al. 2011], [ORLOFF 2006]	
<b>ENTWICKL- UNGSGRAD</b>	<b>KENNZEICHEN</b>
<b>20%</b>	Anwendung der Gravitation (Schwerkraft, Auftriebskraft, etc.)  Ein permanentes Feld wird genutzt.
<b>40%</b>	Anwendung von mechanischen Feldern (Reibung, Druck, Spannung etc.) Nutzung mechanischer Bewegung und Trägheit Nutzung von Fliehkräften Nutzung von Impulsen Nutzung von Schwingungen Nutzung von akustischen Feldern Nutzung von aero-/hydrodynamischen Kräften  Es werden pulsierende Felder angewendet.
<b>60%</b>	Anwendung von Temperatur-Feldern (z.B. Erhitzen, Kühlen, Wärmeübertragung, thermische Ausdehnung / Schrumpfung, Phasenübergänge)  Es werden thermische und chemische Felder (z.B. chemische Reaktionen, Energien chemischer Verbindungen) genutzt.
<b>80%</b>	Anwendung von elektrischen, magnetischen oder elektromagnetischen Feldern.  Es werden veränderliche Felder mit Anwendung physikalischer Effekte, Beugung, Interferenz etc. eingesetzt.
<b>100%</b>	Anwendung von biologischen, biochemischen oder biomolekularen Feldern.  Es werden nicht-lineare Felder mit Gradienten oder Anisotropie der Ausbreitung des Milieus des Feldes genutzt.

**Anhang B.11**

**Evolutionstrend 10 - Segmentierung in die Mikroebene**

<b>Literatur</b>	
[LIVOTOV 2007], [KOLTZE et.al. 2011], [MANN 2002], [ORLOFF 2006]	
Miniaturisierung zeigt sich in der Maßstabsänderung des Systems selbst und seiner Komponenten.	
<b>ENTWICKLUNGSGRAD</b>	<b>KENNZEICHEN</b>
<b>20%</b>	Ein Objekt oder seine Oberfläche ist massiv ohne Hohlräume / Vertiefungen auszuführen.  <u>Nutzung von Leere im Volumen:</u> Nutzung eines massiven Körpers <u>Segmentierung der Oberfläche:</u> Nutzung einer flachen Oberfläche <u>Segmentierung des Objekts:</u> Nutzung eines massiven Körpers
<b>40%</b>	Ein Objekt oder seine Oberfläche ist porös bzw. mit offenen oder geschlossenen Hohlräumen auszuführen.  <u>Nutzung von Leere im Volumen:</u> Nutzung von einem oder mehreren Hohlräumen <u>Segmentierung der Oberfläche:</u> Nutzung einer gerippten oder welligen 3D-Oberfläche <u>Segmentierung des Objekts:</u> Nutzung eines segmentierten Objekts oder eines Granulats
<b>60%</b>	Zerkleinerung und Strukturierung von Hohlräumen im Objekt oder aus seiner Oberfläche, z.B. bestimmte Porenstruktur, Wabenstruktur, Rohre oder Kanäle  <u>Nutzung von Leere im Volumen:</u> Nutzung von kapillarem und/oder porösem Material <u>Segmentierung der Oberfläche:</u> Nutzung einer porösen Oberfläche <u>Segmentierung des Objekts:</u> Nutzung eines Objekts in Puder-Form
<b>85%</b>	Ein poröses Objekt ist mit einem nützlichen Stoff zu füllen und kapillare bzw. mikrokapillare Effekte sind auszunutzen. Außerdem können physikalische oder chemische Effekte im Zusammenhang mit dem Füllstoff verwendet werden.  <u>Nutzung von Leere im Volumen:</u> Nutzung von kapillarem und/oder porösem Material mit aktiven Poren, gefüllt mit Gel, Flüssigkeit oder Gas <u>Segmentierung der Oberfläche:</u> Nutzung einer Oberfläche mit aktiven Poren <u>Segmentierung des Objekts:</u> Nutzung von Objekten in Form von Gel, Flüssigkeit, Gas oder Plasma.
<b>100%</b>	Das poröse Objekt wird ersetzt durch ein Feld.  <u>Segmentierung des Objekts:</u> Nutzung von Feldern oder Vakuum.

**Anhang B.12**  
**Evolutionstrend 11 - Erhöhung des Automatisierungsgrades**

<b>Literatur</b>	
[LIVOTOV 2007], [KOLTZE et.al. 2011], [MANN 2002], [FEY et.al. 2005], [ORLOFF 2006]	
<b>ENTWICKL- UNGSGRAD</b>	<b>KENNZEICHEN</b>
<b>20%</b>	Ein System wird manuell gesteuert.  <u>Der Mensch wird zur Erfüllung der Funktionen benötigt:</u> Mensch + Werkzeug
<b>40%</b>	Das System wird nach einem festen Programm gesteuert.  Das System ist teilweise bis komplett automatisiert.  <u>Der Mensch wird schrittweise zur Erfüllung der Funktion ersetzt:</u> Mensch + semi-automatisches Werkzeug Mensch + automatisiertes Werkzeug voll automatisiertes Werkzeug
<b>60%</b>	Das System verfügt über eine adaptive Steuerung.  Sensorik wird in steigendem Maße zur Ermittlung von Feedback eingesetzt.  Der Mensch als Informationsquelle wird in steigendem Maße ersetzt.
<b>80%</b>	Das System steuert sich selbst (Künstliche Intelligenz).  Das System verfügt über Fähigkeiten zur vorausschauenden Detektion und Einschätzung von Einflüssen/Informationen
<b>100%</b>	Das System entwickelt und reproduziert sich selbst.

# C Methoden Phase 4 - Analyse

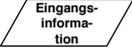
## Anhang C.1

### Nomenklatur Methodenpass

Blatt 1 von 2

<p><b>Wozu?</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Wozu ist die Methode bestimmt? Welchem Zweck dient die Methode?</li> </ul>			
<p><b>In welchem Kontext?</b></p> <p>Im Rahmen welches übergeordneten Zwecks wird die Methode eingesetzt?</p>	<p><b>Wie wird vorgegangen?</b></p> <p>Wie sieht die Vorgehensweise zu dieser Methode aus? Ablaufplan, Flussdiagramm</p>		
<table border="1"> <tr> <td> <p><b>Welche Chancen?</b></p> <p>Aus Sicht der Moderation: Welche Chancen eröffnen sich bei Anwendung dieser Methode?</p> </td> <td> <p><b>Welche Risiken?</b></p> <p>Aus Sicht der Moderation: Welche Risiken entstehen bei Anwendung dieser Methode?</p> </td> </tr> </table>	<p><b>Welche Chancen?</b></p> <p>Aus Sicht der Moderation: Welche Chancen eröffnen sich bei Anwendung dieser Methode?</p>	<p><b>Welche Risiken?</b></p> <p>Aus Sicht der Moderation: Welche Risiken entstehen bei Anwendung dieser Methode?</p>	
<p><b>Welche Chancen?</b></p> <p>Aus Sicht der Moderation: Welche Chancen eröffnen sich bei Anwendung dieser Methode?</p>	<p><b>Welche Risiken?</b></p> <p>Aus Sicht der Moderation: Welche Risiken entstehen bei Anwendung dieser Methode?</p>		
<table border="1"> <tr> <td> <p><b>Was wird benötigt?</b></p> <p>Was wird zur Durchführung dieser Methode benötigt?</p> </td> <td> <p><b>Was wird erreicht?</b></p> <p>Was ist das Ergebnis der Anwendung dieser Methode?</p> </td> </tr> </table>	<p><b>Was wird benötigt?</b></p> <p>Was wird zur Durchführung dieser Methode benötigt?</p>	<p><b>Was wird erreicht?</b></p> <p>Was ist das Ergebnis der Anwendung dieser Methode?</p>	<p><b>Wie moderieren?</b></p> <p>Welche Hilfen gibt es für einen Moderator zur Anwendung dieser Methode? Gibt es Hilfsfragen, ergänzende Methoden etc.?</p>
<p><b>Was wird benötigt?</b></p> <p>Was wird zur Durchführung dieser Methode benötigt?</p>	<p><b>Was wird erreicht?</b></p> <p>Was ist das Ergebnis der Anwendung dieser Methode?</p>		
<p><b>Werkzeuge und Hilfsmittel?</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Was sind Werkzeuge oder Hilfsmittel die die Anwendung dieser Methode erleichtern / ermöglichen?</li> </ul>			
<p><b>Verknüpfte Systematiken?</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Welche weiteren Systematiken sind innerhalb des Workflows verknüpft?</li> </ul>	<p><b>Anwendungsbsp.</b></p> <p>Gibt es ein Bsp. das die Anwendung dieser Methode illustriert?</p>		
<p><b>Weiterführende Literatur? Anmerkungen?</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gibt es weiterführende Literatur zu dieser Methode?</li> <li>- Gibt es Anmerkungen zu dieser Methode?</li> </ul>			

## Anhang C.1 Nomenklatur Methodenpass Blatt 2 von 2

Elemente von Ablaufplänen	
	Methodengruppe (MG)
	Methodenpass (MP)
	Katalog mit lösungsunterstützenden Prinzipien, Fragen, Zuordnungen, etc.
	Eingangsinformation der zur Durchführung des vorliegenden Methodenpasses benötigt wird
	Ergebnis der Durchführung des betreffenden Methodenpasses
	Abfrage, die das Vorgehen im vorliegenden Methodenpass verzweigt
	Teilschritt des vorliegenden Ablaufs

## Anhang C.2 Methodengruppen in Phase 4

Blatt 1 von 2

### Wozu?

- Analyse des Wertanalyse-Objekts
- Ermittlung von Ansatzpunkten für die Optimierung in den Phasen 5, 6 und 7

### In welchem Kontext?

#### WA-Arbeitsplan (EN 12973)

0	Projekt vorbereiten - Machbarkeit untersuchen
1	Projekt definieren
2	Projekt vorbereiten - Projektarbeit freigeben
3	Umfassende Daten über das Produkt sammeln
4	Funktionen, Kosten, Detailziele festlegen
5	Lösungsideen sammeln und entwickeln
6	Lösungsideen bewerten
7	Ganzheitliche Vorschläge entwickeln - Lösung auswählen
8	Lösungen präsentieren - Entscheidung herbeiführen
9	Lösungen realisieren - Ergebnis dokumentieren



Die Phase 4 dient der Analyse des vorliegenden Wertanalyse-Objekts. Hierzu werden insbesondere die Informationen aus der Phase 3 des Projekts benötigt. In der vorliegenden Dissertation werden in der WA bekannte Methoden und Methoden der TRIZ zur Verbesserung der Phase 4 kombiniert.

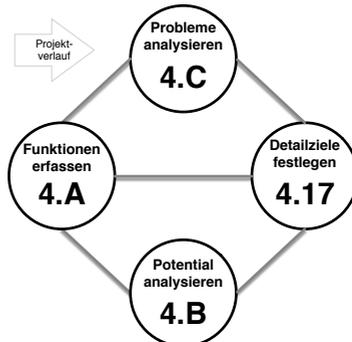
### Verknüpfte Systematiken?

- alle Phase 4

### Weiterführende Literatur? Anmerkungen?

- keine direkt [VDI2800 2010], [EN12973]

### Wie wird vorgegangen?



Im vorliegenden Konzept werden die Methoden in vier zweckgebundene Methodengruppen (MG) unterteilt.

Die MG 4.A *Funktionen erfassen* beinhaltet alle Methoden zur Sammlung, Strukturierung und Spezifizierung von Funktionen des WA-Objekts.

Die MG 4.B *Potential analysieren* beinhaltet alle Methoden zur Kosten- und Evolutionspotentialanalyse.

Die MG 4.C *Probleme analysieren* beinhaltet alle Methoden zur detaillierten Beschreibung und Analyse von Problemen des WA-Objekts.

Der MP 4.D *Detailziele festlegen* fasst alle Ergebnisse der drei MG zusammen, um die Vorgehensweisen in den weiteren Phasen des WA-Projekts festzulegen.

Anhang C.3

Methodengruppen in Phase 4

Blatt 1 von 1

Wann was?	Übersicht Phase 4		
Methodenpass (MP)	Wertverbesserung	Wertgestaltung	Grundschrift der MG
	Voraussetzung		
<b>4.A</b>	Funktionen sammeln		
<b>Funktionen erfassen</b>	Sollen die Funktionenstruktur des WA-Objekts analysiert werden?		
	Funktionen strukturieren		Funktionen sammeln
	Soll das WA-Objekt auf Funktionenebene analysiert werden?	Sollen nur die Kosten des WA-Objekts analysiert werden?	Ist das WA-Objekt ein Prozess?
	Funktionsbaum erstellen	FAST erstellen	Fkt.-Netzwerk erstellen
	Soll auf Funktionenintegrationspotential untersucht werden?	Soll ganzheitlich auf Effizienzpotentiale untersucht werden?	Soll auf Funktionenintegrationspotential untersucht werden?
	Objektmodell erstellen		Funktionen sammeln
	Sollen die Zielvorgaben für die Funktionen und deren Erfüllungsgrad analysiert werden?		
	Funktionen spezifizieren		Funktionen sammeln
<b>4.B</b>	Soll eine Analyse der Kostenverteilung bei Funktionen und Komponenten erfolgen?	Soll der technologische Stand geprüft werden?	Sollen Kostenursachen detailliert untersucht werden?
<b>Potential analysieren</b>	<b>Funktionen-/Komponenten-Potential-Analyse</b>		
	Funktionen auswählen	Funktionen sammeln	
	Funktions-Bedeutsamkeit ermitteln	<b>Evolutionsanalyse</b>	<b>Kostenverursachung</b>
	Funktionen Kosten zuordnen	Evolutionsstand bestimmen	Kostenursachenanalyse
	Funktionen-Potential ermitteln		
	Komponenten-Potential ermitteln		
<b>4.C</b>	Probleminformationen verdichten		
<b>Probleme analysieren</b>	Gibt es Probleme, deren Ursachen nicht vollständig klar sind?		
	Gibt es Probleme, die sehr bedeutend und komplex sind und schon lange Bestand haben?		
	Root Conflict Analysis (RCA+)	<u>Nur Probleme mit hohem und ggf. mittlerem Problemgrad</u>	
<b>4.17</b>	Welche Strategie soll in der Phase 5 angewendet werden?		
<b>Detailziele festlegen</b>	Welche Ansatzpunkte sollen in welcher Reihenfolge verfolgt werden?		

## Anhang C.4

### Methodengruppe 4.A Funktionen erfassen

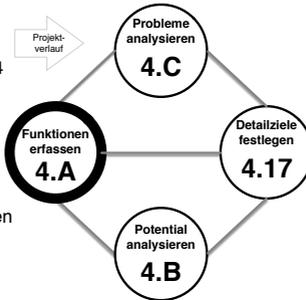
Blatt 1 von 1

#### Wozu?

Es wird die Analyse auf Wirkungsebene ermöglicht.  
 Für die *Wertverbesserung* charakterisiert sie das WA-Objekt durch die Formulierung von Funktionen, deren Beziehungen untereinander, deren Spezifikationen und der zugehörigen Erfüllungsgrade.  
 Für die *Wertgestaltung* werden die gewünschten Nützlichen Funktionen formuliert und zusätzlich spezifiziert.

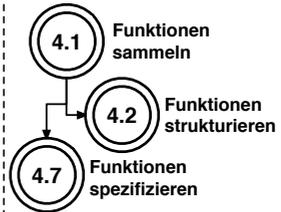
#### In welchem Kontext?

Die MG 4.A *Funktionen erfassen* wird in Phase 4 des WA-Arbeitsplans durchgeführt. Das Erfassen der Funktionen ist grundlegender Bestandteil jedes ganzheitlichen WA-Projekts. Sie baut auf den Erkenntnissen der Durchführung von Phase 3 des WA-Arbeitsplans auf.



#### Wie wird vorgegangen?

MP 4.1 ist Grundlage aller weiteren MP. Für die Strukturierung in MP 4.2 wird eine Auswahl unter den MP 4.3-4.6 getroffen. Für MP 4.7 wird keine Struktur aus MP 4.2-4.6 benötigt.



#### Wann was? Verknüpfte Systematiken?

MP	Methodenpass (MP)	Wertverbesserung	Wertgestaltung	Grundschrift	Voraussetzung
4.A	4.1 Funktionen sammeln			X	
Funktionen erfassen	4.2 Funktionen strukturieren				4.1
	4.3 Funktionsbaum erstellen				
	4.4 FAST erstellen				
	4.5 Fkt.-Netzwerk erstellen				
	4.6 Objektmodell erstellen				
	4.7 Funktionen spezifizieren				4.1

**Soll das WA-Objekt auf Funktionenebene analysiert werden?**

- Sollen nur die Kosten des WA-Objekts analysiert werden?  Wertverbesserung  Wertgestaltung
- Ist das WA-Objekt ein Prozess?  Wertverbesserung  Wertgestaltung
- Soll ganzheitlich auf Effizienzpotentiale untersucht werden?  Wertverbesserung  Wertgestaltung
- Soll auf Funktionenintegrationspotential untersucht werden?  Wertverbesserung  Wertgestaltung

**Sollen die Zielvorgaben für die Funktionen und deren Erfüllungsgrad analysiert werden?**

**Anhang C.5**

**Methodenpass 4.1 Funktionen sammeln**

**Blatt 1 von 4**

**Wozu?**

- Bestimmung der funktionalen Wirkungen des WA-Objekts

**In welchem Kontext?**

Zu Beginn der Funktionenerfassung werden die vorhandenen Funktionen aufgelistet



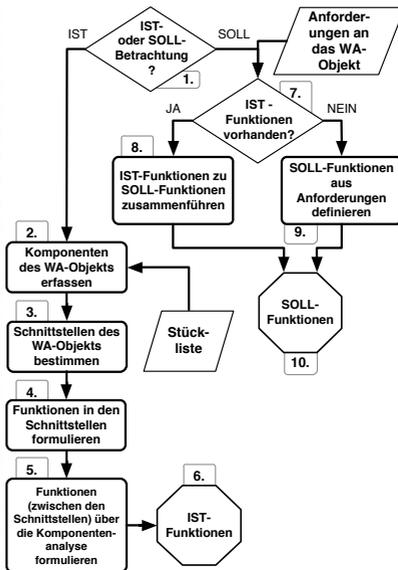
Welche Chancen?	Welche Risiken?
Bewußtmachen der funktionalen Wirkungen	Anfänglich können Irritation aufgrund der Abstraktheit von Funktionen auftreten
Lösen von der Komponenten-basierten Sichtweise	

Was wird benötigt?	Was wird erreicht?
Baugruppenstruktur	Modellierung ausgeführter Funktionen
geclusterte Stückliste	

**Verknüpfte Systematiken?**

- 4.2 Funktionen strukturieren
- 4.7 Funktionen spezifizieren
- 4.8 Funktionen auswählen

**Wie wird vorgegangen?**



**Werkzeuge und Hilfsmittel?**

- Tabellenkalkulationsprogramm
- Kartentechnik

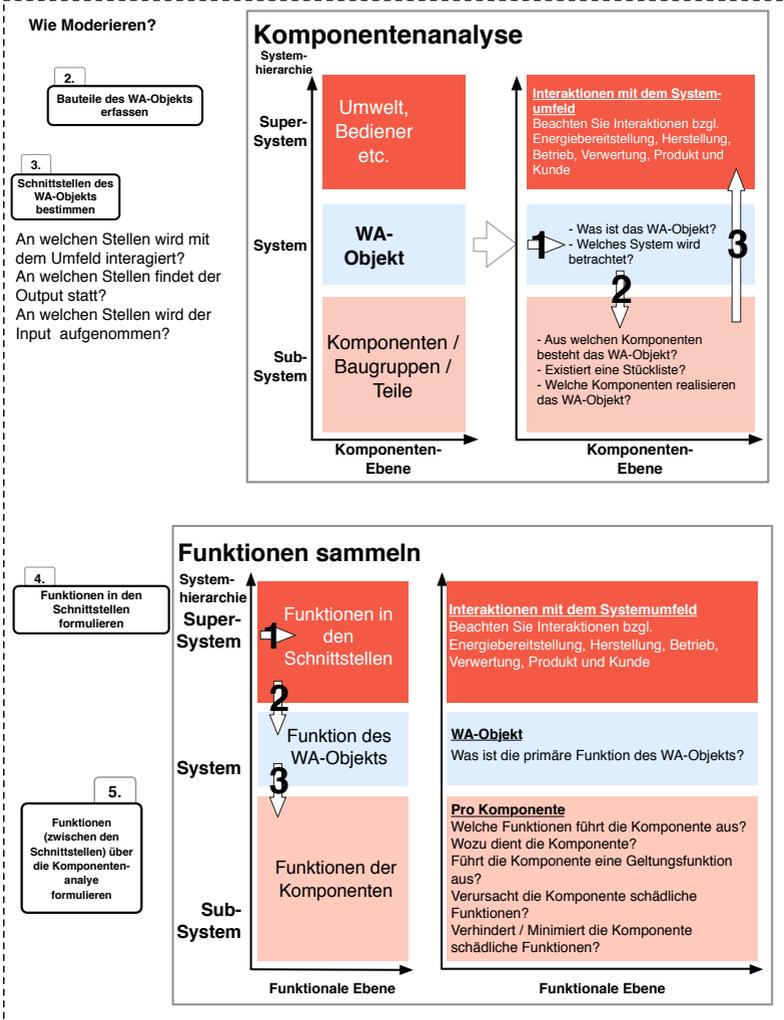
**Weiterführende Literatur? Anmerkungen?**

- u. a. [VDI GPP 2011]

Anhang C.5

Methodenpass 4.1 Funktionen sammeln

Blatt 2 von 4



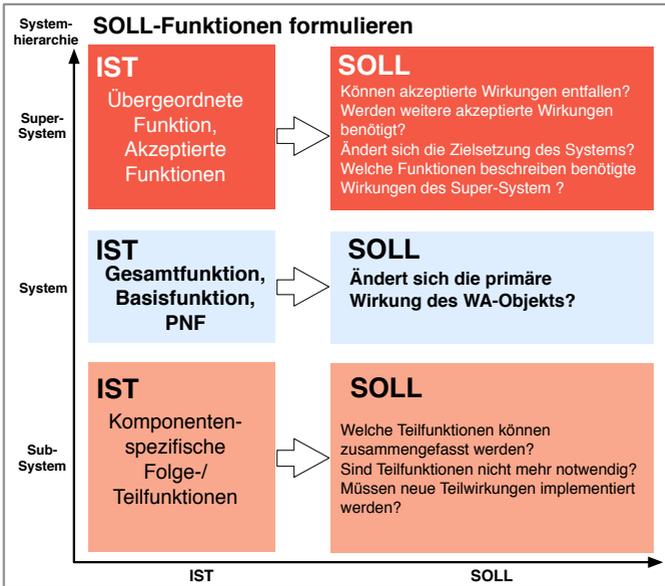
**Anhang C.5**  
**Methodenpass 4.1 Funktionen sammeln**

**Wie Moderieren?**

8.

IST-Funktionen zu SOLL-Funktionen zusammenführen

- Lösungen vorgebende Funktionenformulierungen vermeiden
- Abstraktionsgrad der Funktionenformulierung steigern



9.

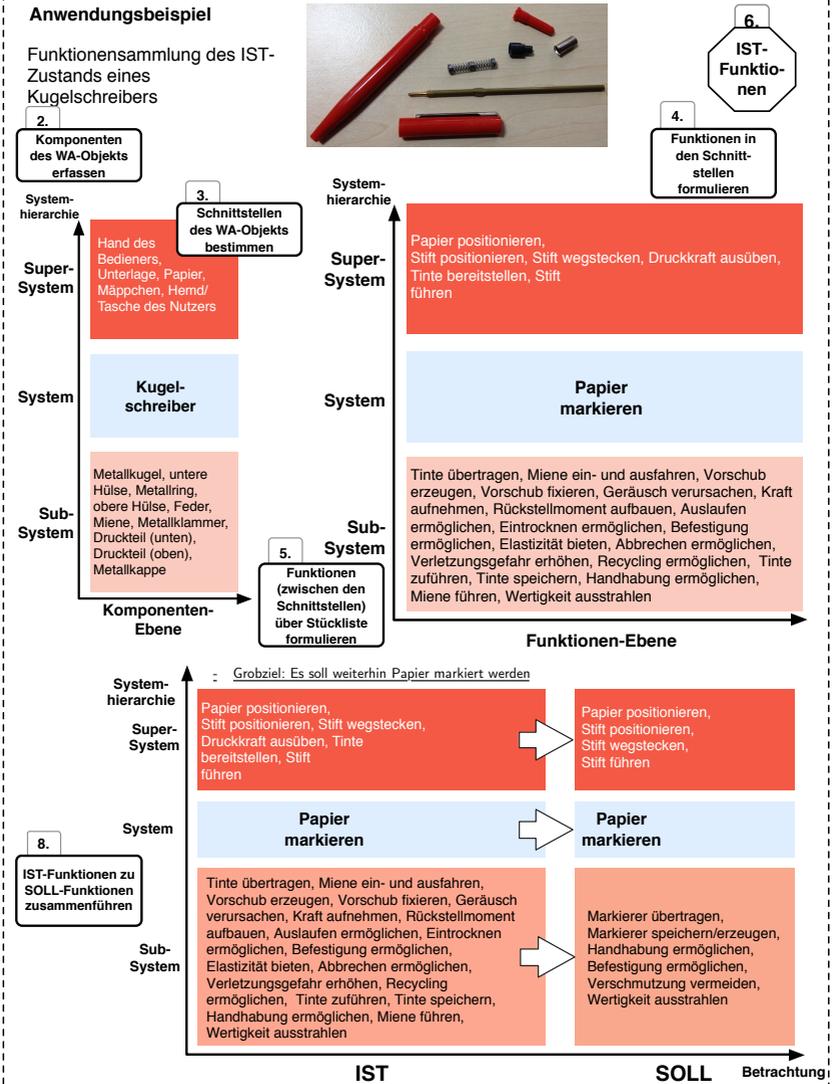
SOLL-Funktionen aus Anforderungen definieren

- Welche Funktion ist für die Erfüllung der Anforderung X notwendig?
- Wie lautet die Funktion für Anforderung X?

Anhang C.5

Methodenpass 4.1 Funktionen sammeln

Blatt 4 von 4



**Anhang C.6**

**Methodenpass 4.2 Funktionenstrukturierung planen**

**Blatt 1 von 1**

**Wozu?**

- Auswahl der zu nutzenden Funktionenstruktur

**In welchem Kontext?**

Zum Abschluss der Funktionenerfassung werden die vorhandenen Funktionen strukturiert

**Was wird benötigt?**

Funktionen	Funktionenstruktur
	Objektstruktur

**Was wird erreicht?**

**Werkzeuge und Hilfsmittel?**

- Tabellenkalkulationsprogramm
- Kartentechnik

Welche Chancen?	Welche Risiken?
Bewußtmachen der funktionalen Strukturen	anfängliche Irritation bei erstmaliger Anwendung
Lösen von der Komponenten-basierten Sichtweise auf das WA-Objekt	

**Verknüpfte Systematiken?**

- 4.3 Funktionenbaum erstellen
- 4.4 FAST erstellen
- 4.5 Funktionsnetzwerk erstellen
- 4.6 Objektmodell erstellen

**Wie wird vorgegangen?**

Kriterium	Methoden zur Funktionenstrukturierung			
	4.3 Funktionenbaum erstellen	4.4 FAST erstellen	4.5 Funktionsnetzwerk erstellen	4.6 Objektmodell erstellen
Wird ein Produkt untersucht?	x	x	x	x
Wird ein Prozess untersucht?	(x)	x	(x)	(x)
Ist ein IST-Zustand vorhanden?	x	x	x	x
Ist nur ein SOLL-Zustand vorhanden?	x	x	x	(x)
Soll eine Kostenanalyse erfolgen?	X	(x)	(x)	(x)*
Soll eine Problemanalyse erfolgen?		(x)	X	X
Sollen Ineffizienzen aufgedeckt werden?			X	X
Soll auf Potentiale zur Funktionenintegration geprüft werden?	x**	x**	x**	X

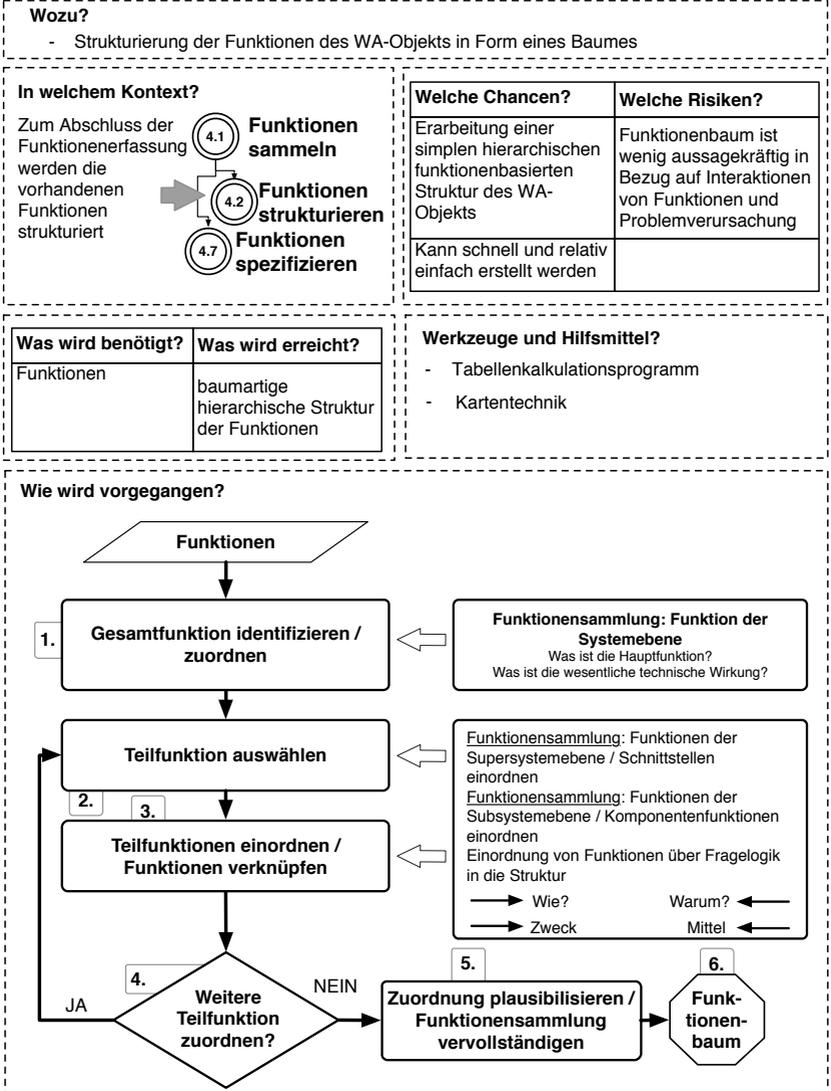
**Erläuterung:** Ineffizienzen: unzureichende/exzessive Verknüpfungen zwischen Funktionen

**X** Besonders geeignet  
**x** Anwendbar  
**(x)** Mit Einschränkungen anwendbar  
**\*** nicht funktionenbasiert  
**\*\*** durch Anwendung von MP 5.2 Kosten und Funktionalität verbessern

**Anhang C.7**

**Methodenpass 4.3 Funktionenbaum erstellen**

**Blatt 1 von 2**



## Anhang C.7

### Methodenpass 4.3 Funktionenbaum erstellen

Blatt 2 von 2

#### Wie Moderieren?

##### Kontrollfragen Allgemein

- Sind alle Funktionen der Funktionsensammlung in der Darstellung des Funktionenbaums abgebildet?
- Sind alle Funktionen jeweils möglichst nur einmal in der Darstellung vorhanden?
- Wurde die „Wie?“, „Warum?“- Fragelogik bei der Anordnung der Funktionen eingehalten?

##### logische Blöcke

- Sind alle Funktionen direkt oder indirekt mit der Gesamtfunktion verbunden?
- Sind alle Hauptfunktionen im Funktionenbaum abgebildet?

##### Interaktion mit dem Umfeld

- Sind alle Schnittstellen im Funktionenbaum zwischen Systemumfeld und System abgebildet?
- Sind alle Funktionen, die von Komponenten des WA-Objekts ausgeführt werden, um mit dem Systemumfeld zu agieren im Funktionenbaum dargestellt?

##### Probleme und Kompensationsmaßnahmen

###### *Probleme*

- Sind alle unerwünschten Funktionen im Funktionenbaum abgebildet?
- Sind alle Funktionen, die negative Auswirkungen beschreiben, als unerwünschte Funktionen im Funktionenbaum gekennzeichnet?
- Sind alle Funktionen, die als Problem vom Kunden wahrgenommen werden im Funktionenbaum dargestellt?

###### *Kompensationsmaßnahmen*

- Sind alle Maßnahmen, die ein Problem verhindern, kompensieren oder minimieren als Funktion im Funktionenbaum abgebildet?

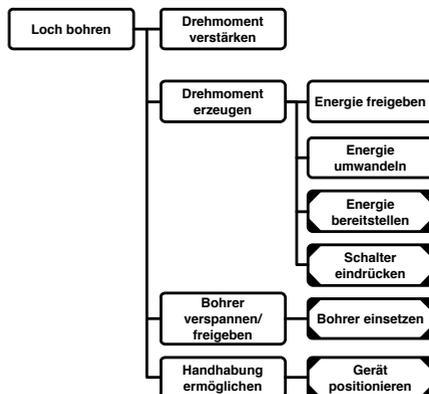
##### Kundenwünsche

- Werden alle wesentlichen Kundenwünsche abgedeckt?

#### Anwendungsbeispiel

Funktionsbaum des IST-Zustands einer Bohrmaschine

Akzeptierte Funktionen sind schwarz umrandet



**Anhang C.8**

**Methodenpass 4.4 FAST erstellen**

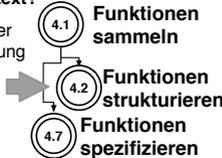
**Blatt 1 von 3**

**Wozu?**

- Strukturierung der Funktionen des WA-Objekts in Form eines FAST (Function Analysis System Technique)

**In welchem Kontext?**

Zum Abschluss der Funktionenerfassung werden die vorhandenen Funktionen strukturiert



Welche Chancen?	Welche Risiken?
Guter Überblick über die Prozess-Kette der Funktionen	komplizierter zu erstellen im Vergleich zum Funktionenbaum
Darstellung der Interaktionen des WA-Objekts mit seinem Umfeld	
Darstellung wesentlichen Kundenfunktion(en) innerhalb der Struktur	

Was wird benötigt?	Was wird erreicht?
Funktionen	prozessartige Struktur der Funktionen

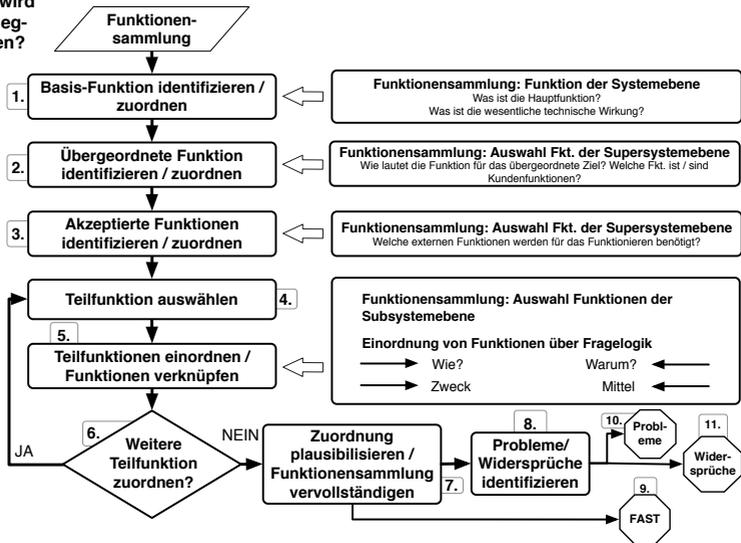
**Werkzeuge und Hilfsmittel?**

- Tabellenkalkulationsprogramm
- Kartentechnik

**Weiterführende Literatur? Anmerkungen?**

- [BYTHEWAY 1965], [BYTHEWAY 1971]

**Wie wird vorgegangen?**



## Anhang C.8

### Methodenpass 4.4 FAST erstellen

Blatt 2 von 3

Wie Moderieren?	Modelldarstellung: Problemansätze	Problemformulierungen
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Finde eine Möglichkeit um (NF 1) zu verbessern</li> <li>Finde einen alternativen Weg um (NF 1) zu ermöglichen ohne (NF 0) vorauszusetzen</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Finde eine Möglichkeit um (NF 1) zu verbessern</li> <li>Finde einen alternativen Weg um (NF 1) zu ermöglichen ohne (NF 0) vorauszusetzen</li> <li>Finde einen alternativen Weg um (NF 0) auszuführen, ohne (PF 0) zu benötigen.</li> </ul>
	<p>WIDERSPRUCH</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Man will (NF1) ermöglichen</li> <li>Man will (UF1) nicht verursachen</li> <li>Dann ist es nicht günstig (NF0) so auszuführen</li> </ul>

**Kontrollfragen**

- Sind alle Funktionen, die bereits in der Funktionensammlung ermittelt wurden, abgebildet?
- Sind alle Funktionen sachlich richtig verknüpft und jeweils nur einmal vorhanden?
  - Wurden alle Einmaligen Funktionen, Ständigen Funktionen und Spezifikationen des WA-Objektes an die richtige Stelle positioniert?
- Wurde die „Wie?“, „Warum?“- Fragelogik, bei der Anordnung der Funktionen eingehalten?
- Wurden alle Hauptfunktionen des WA-Objektes aufgenommen?

**Logische Blöcke**

- Sind alle Funktionen, die einen logischen Block realisieren erfasst?
- Sind alle Funktionen mit den nachfolgenden Funktionen durch die Frage „Wie?“ erfragbar?
- Sind alle Folgefunktionen jeweils mithilfe der Aussage „Warum?“ mit der vorangehenden Funktion verknüpft?
- Sind alle Funktionen, die die Hauptfunktionen realisieren abgebildet?

**Interaktionen mit dem Umfeld**

- Sind alle Interaktionen im Netzwerk zwischen Objektumfeld und WA-Objekt abgebildet?

**Probleme und Kompensationsmaßnahmen**

*Probleme*

- Sind alle unerwünschten Funktionen in das FAST-Diagramm aufgenommen?
- Sind alle Funktionen, die als Problem vom Kunden wahrgenommen werden, im FAST-Diagramm dargestellt?
- Sind alle unerwünschten Funktionen verursachungsgerecht verbunden?

*Kompensationsmaßnahmen*

- Sind alle Kompensationsmaßnahmen im FAST-Diagramm als Parallelfunktion abgebildet?

**Interaktionen mit dem Umfeld**

- Wurden alle Spezifikationen, einmaligen und ständigen Funktionen erfasst und dargestellt?

**Akzeptierte Funktionen**

- Wurden alle von außen auf das WA-Objekt einwirkenden Funktionen berücksichtigt?

**Kundenwünsche**

- Sind alle für den Kunden relevanten Wünsche im FAST-Diagramm abgebildet?

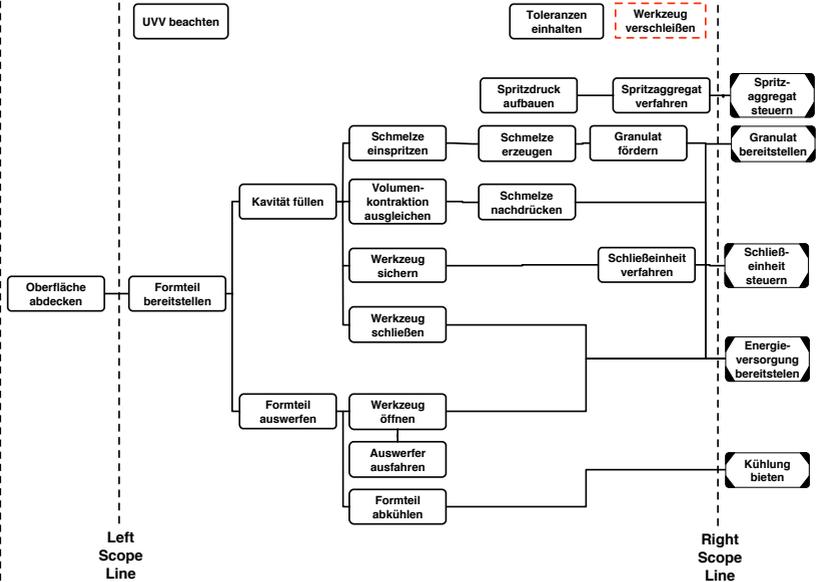
## Anhang C.8

### Methodenpass 4.4 FAST erstellen

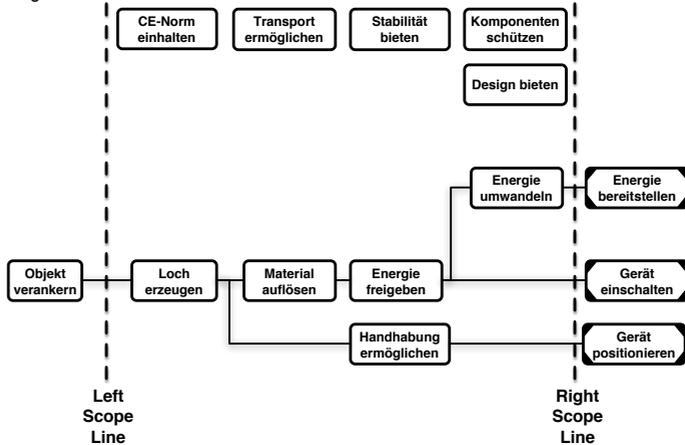
Blatt 3 von 3

#### Anwendungsbeispiel

IST-FAST-Diagramm einer Kunststoff-Spritzguss-Maschine



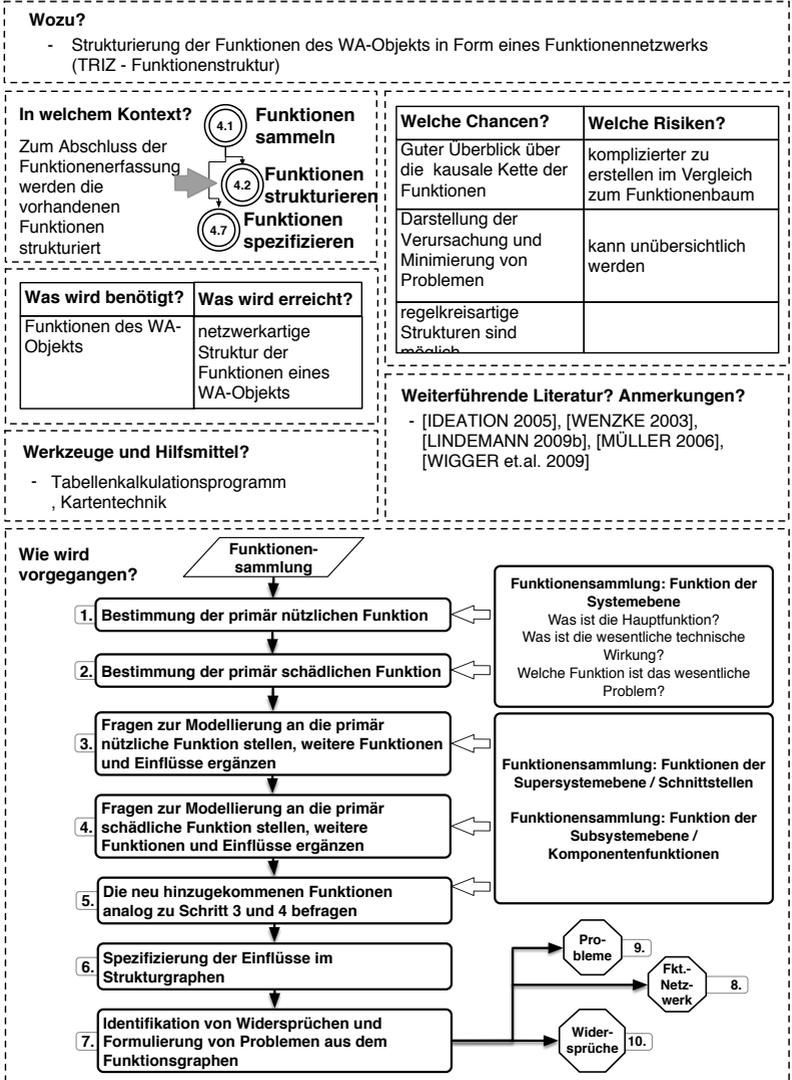
SOLL-FAST-Diagramm einer Bohrmaschine



**Anhang C.9**

**Methodenpass 4.5 Funktionennetzwerk erstellen**

**Blatt 1 von 5**



## Anhang C.9

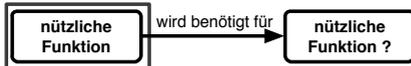
### Methodenpass 4.5 Funktionennetzwerk erstellen

Blatt 2 von 5

Wie Moderieren?

#### Fragen an nützliche Funktionen

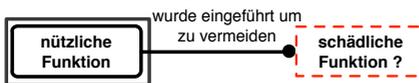
Wird diese nützliche Funktion (im Sinne des Objekts) für die Erfüllung einer weiteren nützlichen Funktion benötigt?



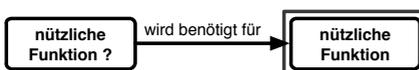
Verursacht diese nützliche Funktion irgendwelche schädlichen Funktionen?



Wurde diese nützliche Funktion eingeführt, um schädlichen Funktionen zu unterdrücken?



Setzt diese Funktion (im Sinne des Objekts) die Erfüllung weiterer nützlicher Funktionen voraus?



#### Fragen an schädliche Funktionen

Wird diese schädliche Funktion durch eine andere schädliche Funktion verursacht?



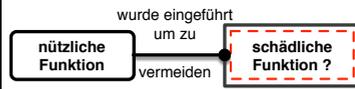
Verursacht diese schädliche Funktion weitere schädliche Funktionen?



Wird diese schädliche Funktion durch eine nützliche Funktion verursacht?

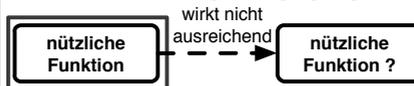


Wurde eine nützliche Funktion eingeführt, um diese schädliche Funktion zu unterdrücken?

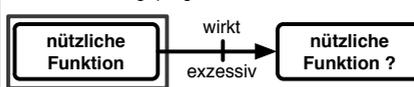


#### Spezifizierung nützlicher Einflüsse

Unterstützt diese nützliche Funktion (im Sinne des Objekts) die Erfüllung einer weiteren nützlichen Funktion nur unvollständig / nicht gut genug?



Unterstützt diese nützliche Funktion (im Sinne des Objekts) die Erfüllung einer weiteren nützlichen Funktion zu ausgeprägt / zu intensiv?



**Anhang C.9**

**Methodenpass 4.5 Funktionennetzwerk erstellen**

Wie Moderieren?		
Modelldarstellung: Problemansätze	Problemformulierungen	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Finde eine Möglichkeit um (NF 1) zu verbessern</li> <li>• Finde einen alternativen Weg um (NF 1) zu ermöglichen ohne (NF 0) vorauszusetzen</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Finde eine Möglichkeit um (NF 0) zu verbessern</li> <li>• Finde einen alternativen Weg um (NF 1) zu ermöglichen ohne (NF 0) vorauszusetzen</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Finde eine Möglichkeit um die Wirkung von (NF 0) zu verringern</li> <li>• Finde einen alternativen Weg um (NF 1) zu ermöglichen ohne (NF 0) vorauszusetzen</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Finde (unter der Bedingung das (SF 0) erfolgt) eine Möglichkeit um (SF 1) zu vermeiden oder zu vermindern</li> <li>• Finde eine Möglichkeit von (SF 1) zu profitieren</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Finde einen alternativen Weg um (SF 1) zu vermeiden oder zu vermindern, der nicht (NF 0) voraussetzt.</li> <li>• Finde eine Möglichkeit von (SF 1) zu profitieren</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Finde eine Möglichkeit (NF 0) zu vermeiden</li> <li>• Finde (unter der Bedingung das (NF 0) erfolgt) eine Möglichkeit um (SF 1) zu vermeiden oder zu vermindern</li> </ul>	
Modelldarstellung: Widersprüche	Widerspruchsformulierung	
	<p>Man will (NF1) ermöglichen. Man will (SF1) nicht verursachen Dann ist es nicht günstig (NF0) so auszuführen</p> <p>WENN (NF0) ausgeführt wird, DANN wird (NF1) ermöglicht, ABER (SF1) verursacht</p>	
	<p>Man will (SF1) vermeiden Man will (SF2) nicht verursachen Dann ist es nicht günstig (NF0) so auszuführen</p> <p>WENN (NF0) ausgeführt wird, DANN wird (SF1) vermieden, ABER (SF2) verursacht</p>	

## Anhang C.9

### Methodenpass 4.5 Funktionennetzwerk erstellen

Blatt 4 von 5

#### Wie Moderieren?

##### Kontrollfragen

- Sind alle Funktionen, die bereits in der Funktionensammlung ermittelt wurden, abgebildet?
- Sind alle Funktionen sachlich richtig verknüpft und jeweils nur einmal vorhanden?
- Sind keine Wirkungen doppelt (Funktionen mit gleicher Aussage) aufgenommen?

##### logische Blöcke

- Sind alle Funktionen, die einen logischen Block realisieren erfasst?
- Sind alle Funktionen mit den nachfolgenden Funktionen durch die Frage „Was wird benötigt für?“ erfragbar?
- Sind alle Folgefunktionen jeweils mithilfe der Aussage „Setzt voraus, dass...“ mit der vorangehenden Funktion verknüpft?
- Sind alle Funktionen, die die Hauptfunktionen realisieren abgebildet?

##### Interaktionen

- Sind alle Interaktionen der Funktionen des WA-Objekts im Netzwerk dargestellt?

##### Output

- Sind alle Schnittstellen im Netzwerk zwischen Objektfeld und Objekt abgebildet?

##### Wirkungen und Ursachen

- Sind alle nützlichen Wirkungen, die beim Ausführen der Funktionen entstehen, abgebildet?
- Sind alle schädlichen Wirkungen, die beim Ausführen der Funktionen entstehen, abgebildet?
- Wurden alle Funktionen, die zu stark auf eine nachfolgende Funktion wirken abgebildet?
- Wurden alle Funktionen, die zu schwach auf eine nachfolgende Funktion wirken abgebildet?

##### Probleme und Kompensationsmaßnahmen

###### *Probleme*

- Sind alle schädlichen Funktionen, die beim Auftreten der einzelnen Funktionen des WA-Objekts entstehen als solche gekennzeichnet?
- Sind alle Funktionen, die als Problem vom Kunden wahrgenommen werden, im Netzwerk dargestellt?
- Sind alle schädlichen Funktionen verursachungsgerecht verbunden?
- Ist die primär schädliche Funktion als solche kenntlich gemacht?

###### *Kompensationsmaßnahmen*

- Sind alle Kompensationsmaßnahmen im Netzwerk abgebildet?
- Sind alle Funktionen, die ein Problem verhindern, kompensieren oder minimieren im Netzwerk abgebildet?

##### Akzeptierte Funktionen

- Wurden alle von außen auf das WA-Objekt einwirkenden Funktionen berücksichtigt?

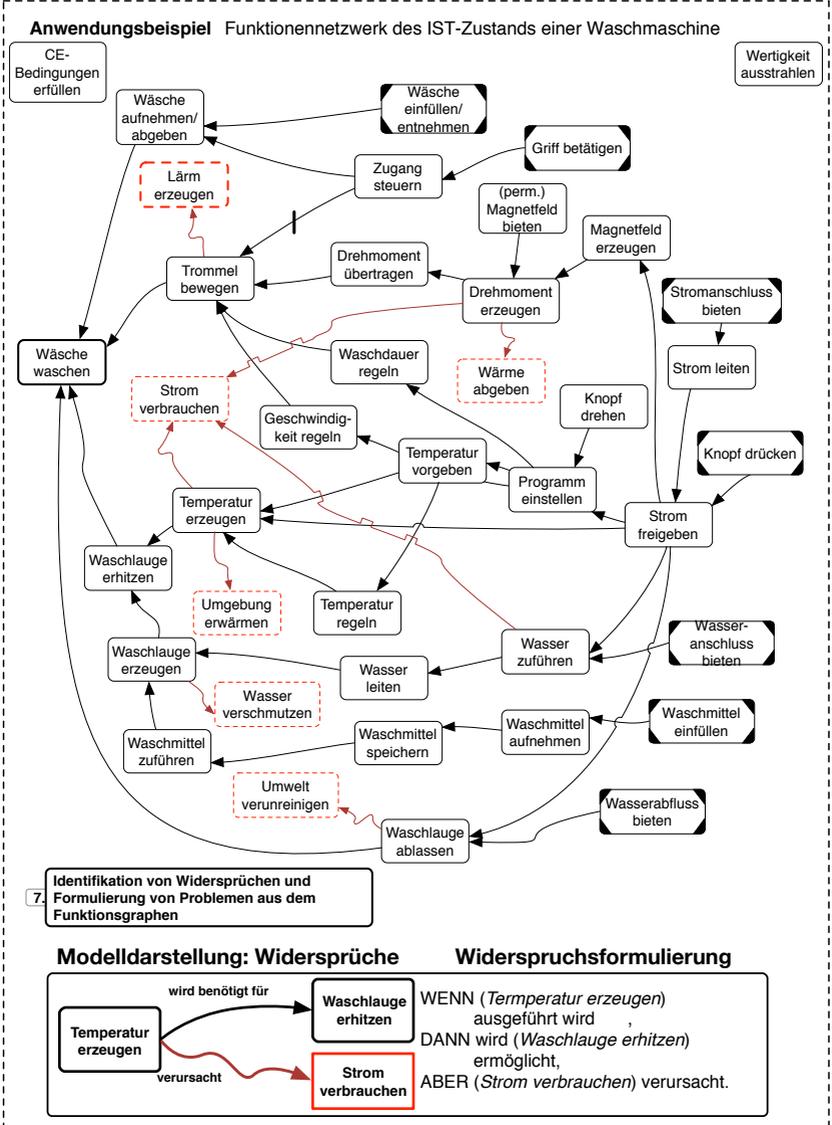
##### Kundenwünsche

- Sind alle für den Kunden relevanten Wünsche im Funktionennetzwerk abgebildet?

**Anhang C.9**

**Methodenpass 4.5 Funktionennetzwerk erstellen**

**Blatt 5 von 5**



**Anhang C.10  
Methodenpass 4.6 Objektmodell erstellen**

**Blatt 1 von 3**

**Wozu?**

- Strukturierung der Komponenten des WA-Objekts in Form eines Objektmodells (TRIZ - Funktionenstruktur)

**In welchem Kontext?**

Zum Abschluss der Funktionenerfassung werden die vorhandenen Komponenten und Aktionen strukturiert



Welche Chancen?	Welche Risiken?
Guter Überblick über die kausale Kette der Komponenten / Aktionen	komplizierter zu erstellen im Vergleich zum Funktionenbaum
Darstellung der Verursachung und Minimierung von Problemen	entkoppelt den Anwender nicht von den verwendeten Komponenten
regelkreisartige Strukturen sind möglich	

Was wird benötigt?	Was wird erreicht?
Komponenten	netzwerkartige Struktur der Komponenten und der ausgeführten Aktionen

**Werkzeuge und Hilfsmittel?**

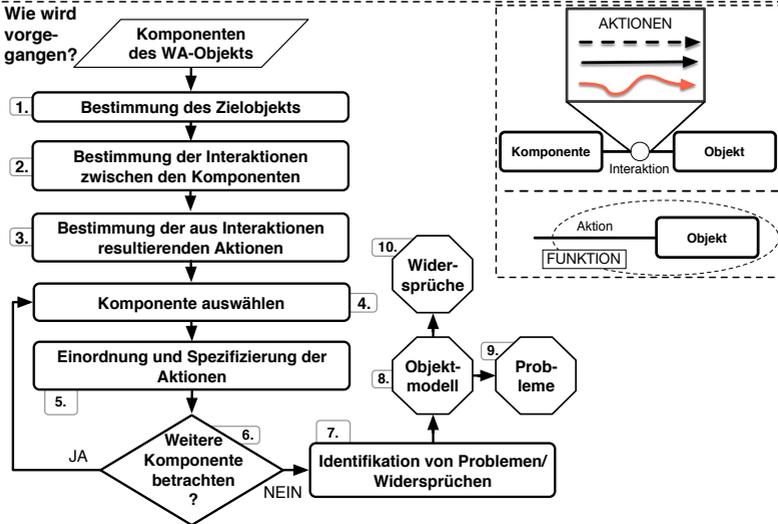
Tabellenkalkulationsprogramm, Kartentechnik

**Weiterführende Literatur? Anmerkungen?**

- [INVENTION 2000], [WENZKE 2003],

**Verknüpfte Systematiken?**

**Wie wird vorgegangen?**

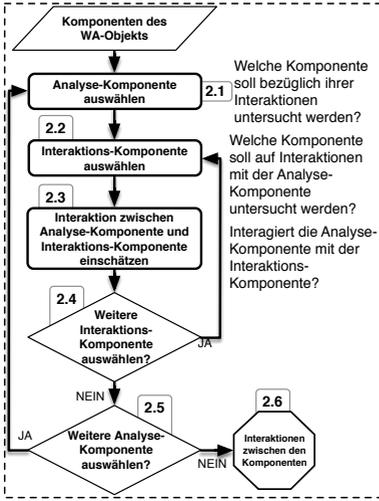


**Anhang C.10  
Methodenpass 4.6 Objektmodell erstellen**

**Wie Moderieren?**

- Bestimmung des Zielobjekts**
  - Auf welches Objekt des Supersystems wirkt das System primär?
  - Was ist das wesentliche beeinflusste Objekt?

**2. Bestimmung der Interaktionen zwischen den Komponenten**



**3. Bestimmung der aus Interaktionen resultierenden Aktionen**

**Definition von Aktionen**

aus 4.6.2 Für alle Interaktionen Analyse-Komponente interagiert mit Interaktions-Komponente

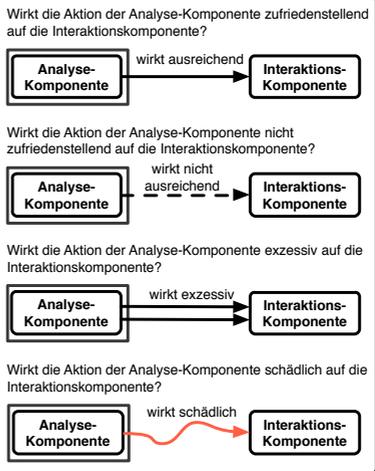
Wirkt die Analyse-Komponente auf die Interaktions-Komponente? Mit welchem Aktions-Verb lässt sich die Wirkung beschreiben?

Analyse-Komponente → Aktions-Verb → Interaktions-Komponente

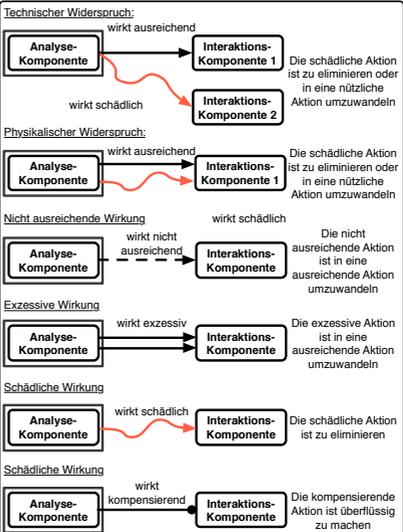
Wirkt die Interaktions-Komponente auf die Analyse-Komponente? Mit welchem Aktions-Verb lässt sich die Wirkung beschreiben?

Analyse-Komponente ← Aktions-Verb → Interaktions-Komponente

**5. Einordnung und Spezifizierung der Aktionen der Komponente**



**7. Identifikation von Problemen/ Widersprüchen**



## Anhang C.10

### Methodenpass 4.6 Objektmodell erstellen

Blatt 3 von 3

#### Wie moderieren?

##### Kontrollfragen

- Sind alle Komponenten, die bereits in der Komponentensammlung ermittelt wurden, abgebildet?
- Sind alle Komponenten sachlich richtig verknüpft und jeweils nur einmal vorhanden?

##### Interaktionen

- Sind alle Interaktionen der Komponenten des WA-Objekts im Objektmodell dargestellt?

##### Umfeld

- Sind alle Interaktionen im Objektmodell zwischen Objektmfeld und Komponenten abgebildet?

##### Wirkungen und Ursachen

- Sind alle nützlichen Aktionen abgebildet?
- Sind alle schädlichen Aktionen abgebildet?
- Wurden alle Aktionen, die zu stark auf eine nachfolgende Komponente wirken, abgebildet?
- Wurden alle Aktionen, die zu schwach auf eine nachfolgende Komponente wirken, abgebildet?

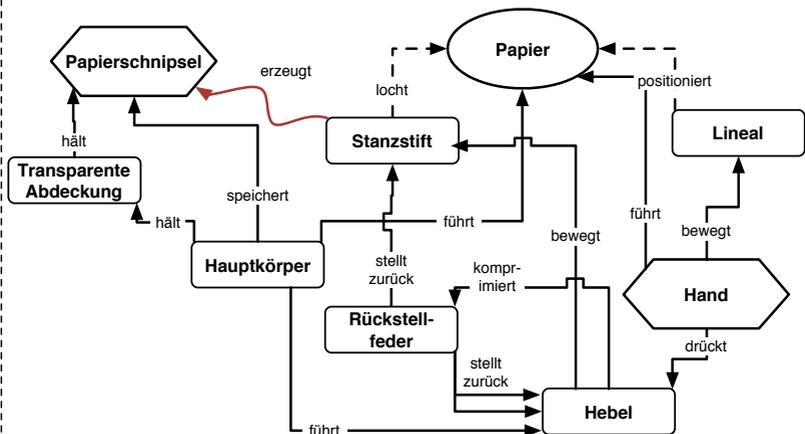
##### Probleme und Kompensationsmaßnahmen

##### *Probleme*

- Sind alle schädlichen Aktionen als solche gekennzeichnet?
- Sind alle Aktionen, die als Problem vom Kunden wahrgenommen werden, im Objektmodell dargestellt?
- Sind alle schädlichen Aktionen verursachungsgerecht verbunden?

#### Anwendungsbeispiel

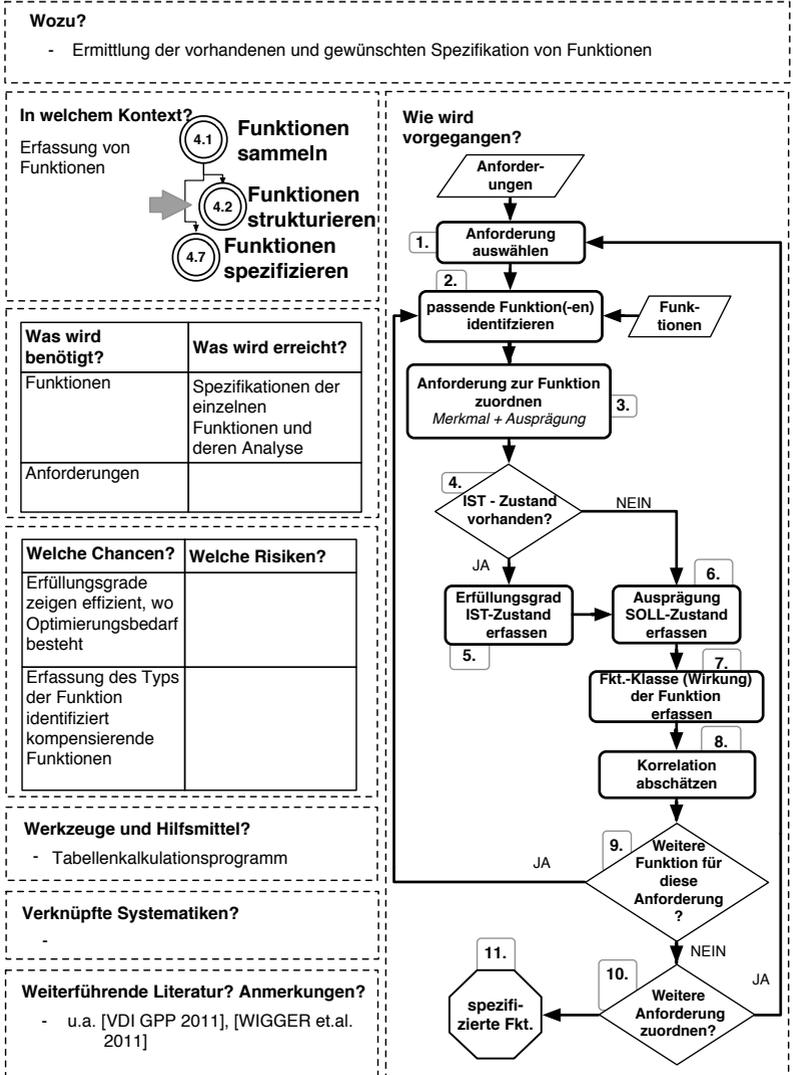
Objektmodell eines Papierlochers



**Anhang C.11**

**Methodenpass 4.7 Funktionen spezifizieren**

**Blatt 1 von 2**



## Anhang C.11

### Methodenpass 4.7 Funktionen spezifizieren

Blatt 2 von 2

#### Wie Moderieren?

3. **Anforderung zu Funktion zuordnen**  
*Merkmal + Ausprägung*  
Zu welcher Funktion X passt die Anforderung Y?  
Welche Funktion X muss die Anforderung Y erfüllen?  
Durch welche Funktionen muss die Anforderung Y erfüllt werden?
5. **Erfüllungsgrad IST-Zustand erfassen**  
Zu welchem Grad wird das Merkmal X der Anforderung Y durch diese Funktion Z erfüllt?  
Wird das Merkmal X durch die Funktion Z voll erfüllt? Bis zu welchem Grad wird es erfüllt?
6. **Ausprägung SOLL-Zustand erfassen**  
Wie wird die Anforderung X im SOLL-Zustand erfüllt?  
Wie wird das Merkmal Y im SOLL-Zustand erfüllt?  
Welche Ausprägung hat das Merkmal Y von Anforderung X im SOLL-Zustand?
7. **Fkt.-Klasse (Wirkung) der Funktion erfassen**  
Kompensiert die Funktion eine schädliche Wirkung? Welche?  
Soll die Funktion eine schädliche Wirkung kompensieren? Welche ?
8. **Korrelation erfassen**  
Bestehen negative Interaktionen mit anderen Funktionen und deren Funktionsträgern?  
Beeinflusst die Umsetzung dieser Funktion die Umsetzung anderer Funktionen?

#### Anwendungsbeispiel

Elektromotor

Nr.	Funktion	Merkmal	Ausprägung	Erfüllungsgrad IST [%]	Erfüllungsgrad ZIEL [%]	Fkt.-Typ	Korrelationen									
1	Drehmoment erzeugen	Drehmoment	20 Nm	70	100	Nützlich	<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>+</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>-</td><td></td></tr> </table>					+			-	
	+															
	-															
2	Strom leiten	Nennstrom	100 A	110	100	Nützlich										
3	Wärme ableiten	max. Temperatur	120 ° C	70	100	Kompensierend										
		Wärmeableitung	225 W/m · K	80	100	Kompensierend										

#### Schlussfolgerungen:

- Das erforderliche Drehmoment wird nicht erreicht. Maßnahmen sollten ergriffen werden.
- Der geforderte Nennstrom wird überschritten. Maßnahmen zur Reduzierung des Stroms sollten ergriffen werden. Eine Reduzierung des Nennstroms hätte auch Einfluss auf die Temperaturentwicklung.

**Anhang C.12**

**Methodengruppe 4.B Potential analysieren**

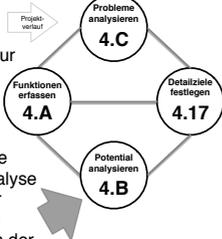
**Blatt 1 von 1**

**Wozu?**

Ermöglicht die Analyse auf Potentiale zur Effizienzsteigerung. Sie dient damit weitgehend der *Wertverbesserung*. Dazu werden Kosten analysiert, Bedeutsamkeiten gegenübergestellt, Potentiale für Funktionen und Komponenten gebildet und ggf. Kostenursachenketten analysiert. Zusätzlich ermöglicht die TRIZ-Evolutionsanalyse eine Einschätzung des Weiterentwicklungspotentials. Sie kann zudem auch zur *Wertgestaltung* eingesetzt werden. In diesem Kontext dient sie als Werkzeug zum Vergleich verschiedener potentiell zu verwendender Technologien.

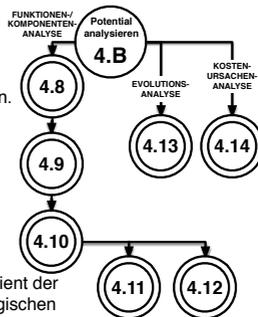
**In welchem Kontext?**

Die MG 4.B gruppiert Methoden zur Potentialanalyse in Phase 4 des WA-Projekts. Die Potentialanalyse baut auf der Funktionenerfassung in der Phase 4 und Erkenntnissen aus der Phase 3 auf.



**Wie wird vorgegangen?**

Die Potentialanalyse besteht aus den drei unabhängigen Bereichen. Die *Funktionen-/Komponenten-Potential-Analyse* basiert auf der Ermittlung von Bedeutsamkeit und Kosten von Funktionen und Komponenten. Die *Evolutionsanalyse* dient der Ermittlung des technologischen Entwicklungsstands. Die *Kostenursachenanalyse* dient der Analyse von Kostenursachenketten in Baugruppen.



**Wann was? Verknüpfte Systematiken?**

	<input type="checkbox"/> Methodenpass (MP)	<input type="checkbox"/> Wertverbesserung	<input type="checkbox"/> Wertgestaltung	<input checked="" type="checkbox"/> Grundschrift	<input type="checkbox"/> Voraussetzung
<b>4.B</b> <b>Potential analysieren</b>  Soll das WA-Objekt auf Potentiale zur Wertsteigerung (Kostensenkung und/oder Nutzensteigerung) untersucht werden?	Soll eine Analyse der Kostenverteilung bei Funktionen und Komponenten erfolgen? <b>Funktionen-/Komponenten-Potential-Analyse</b>		Soll der technologische Stand geprüft werden? Soll eine Technologie bewertet werden? Soll eine Neue Generation des WA-Objekts entwickelt werden?		Sollen Kostenursachen detailliert untersucht werden? Sollen Verknüpfungen zwischen Kostenursachen detailliert untersucht werden?
	(4.8) Funktionen auswählen (4.9) Funktionen-Bedeutsamkeit ermitteln (4.10) Funktionen Kosten zuordnen (4.11) Funktionen-Potential ermitteln (4.12) Komponenten-Potential ermitteln	(4.1)	<b>Evolutionsanalyse</b> (4.13) Evolutionsstand bestimmen	<b>Kostenursachung</b> (4.14) Kostenursachenanalyse	

## Anhang C.13

### Methodenpass 4.8 Fkt. zur Potentialanalyse auswählen

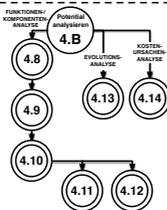
Blatt 1 von 2

#### Wozu?

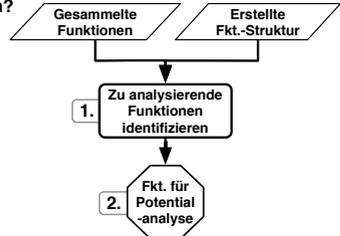
- Auswahl der Funktionen, die in der Potentialanalyse analysiert werden sollen

#### In welchem Kontext?

Analyse von Funktionen- / Komponenten- oder Evolutionspotential



#### Wie wird vorgegangen?



#### Welche Chancen?

Aufwandsminimierung in der Potentialanalyse durch Reduktion der Anzahl zu analysierender Funktionen

#### Welche Risiken?

Ohne Auswahlhilfen können wesentliche Funktionen vergessen werden. Kann dadurch die Aussagekraft der Fkt-Kst-Analyse (MP 4.10) beeinträchtigen.

#### Was wird benötigt?

Funktionsammlung oder Funktionsstruktur

#### Was wird erreicht?

Festlegung der zu analysierenden Funktionen

#### Wie Moderieren?

1. Zu analysierende Funktionen identifizieren

##### Grundregeln der Auswahl

- Von unterschiedlichen Funktionen, die die selbe Wirkung beschreiben, darf nur eine Fkt. ausgewählt werden.
- Eine Fkt. darf nur ausgewählt werden, wenn ihr auch realisierende Komponenten, letztlich also Kosten zugeordnet werden können.
- Sämtliche Komponenten sollten durch die Funktionsauswahl abgedeckt sein.

##### Auswahlregeln Fkt.-Strukturen

###### Fkt.-Baum

- Wähle nicht die Gesamtfunktion oder schädliche Fkt. aus.
- Wähle keine Funktionen aus, die hierarchisch direkt voneinander abhängig sind. Wenn Fkt. in einem Zweig des Fkt.-Baumes gewählt werden, dann sollten sie auf der gleichen Hierarchiestufe stehen.

###### FAST

- Wähle nicht die Übergeordnete Fkt., die Basisfkt., Akzeptierte Fkt., Schädliche Fkt. oder Spezifikationen aus.
- Wähle nur Fkt. aus einem Zweig aus, deren Wirkungen klar voneinander trennbar sind.
- Wähle einmalige oder ständige Funktionen nur aus, wenn Kosten zugeordnet werden können.

###### Funktionsnetzwerk

- Wähle nicht die Primär Nützliche Funktion (PNF), Primär Schädliche Funktion (PSF), Schädliche Fkt. oder Akzeptierte Fkt. aus.
- Wähle nur Fkt. aus einem Zweig aus, deren Wirkungen klar voneinander trennbar sind.
- Wähle kompensierende Fkt. nur aus, wenn Kosten zugeordnet werden können.

##### Hilfsfragen zur Identifikation

- Welche Fkt. dienen der Sicherstellung der Basisfunktionalität?

Bsp.: Das Gehäuse eines Getriebes stützt alle Komponenten und ermöglicht dadurch erst deren Wirkungen. Wird dessen Fkt. „Komponenten abstützen“ (die keine Hauptfkt. ist) nicht ausgewählt, kann der wesentliche Fkt.-Träger Gehäuse in der Funktionen-Komponenten-Zuordnung schwer zugeordnet werden.

- Welche Fkt. sind die wesentlichen Wirkungen (Hauptfunktionen) des WA-Objekts?

- Welche Fkt. sind von besonderem Kundeninteresse?
- Welche Fkt. können vom Kunden wahrgenommen werden?
- Welche Fkt. haben direkt Einfluss auf die Kundenzufriedenheit?

## Anhang C.13

### Methodenpass 4.8 Fkt. zur Potentialanalyse auswählen Blatt 2 von 2

#### Anwendungsbeispiel

Grill (Bsp. ursprünglich vgl. [KLEIN 2010], [HÄNDEL 1995])

1. Zu analysierende Funktionen identifizieren

Sicherstellung von Basisfunktionalität

Grillgut aufnehmen

Wesentliche Wirkungen und von besonderem

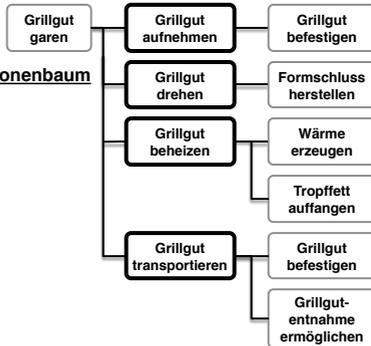
Kundeninteresse

Grillgut drehen

Grillgut transportieren

Grillgut beheizen

#### Funktionsbaum Grill



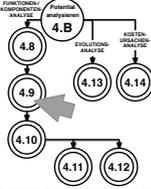
**Anhang C.14**  
**Methodenpass 4.9 Funktionen-Bedeutsamkeit ermitteln Blatt 1 von 2**

**Wozu?**

- Ermittlung der Bedeutsamkeit von Funktionen zur Vorbereitung der Potentialanalyse

**In welchem Kontext?**

Analyse von Funktionen- / Komponenten- oder Evolutionspotential



**Welche Chancen?**

Bedeutsamkeit der Funktionen aus Sicht der Stakeholder wird klar

Regt das Hinterfragen von Kundenforderungen und deren Gewichtung an

**Welche Risiken?**

Scheinpräzision - Diskussionen können wegen kleinen prozentualen Unterschieden ausufern

**Was wird benötigt?**

Funktionen
Funktionsstruktur

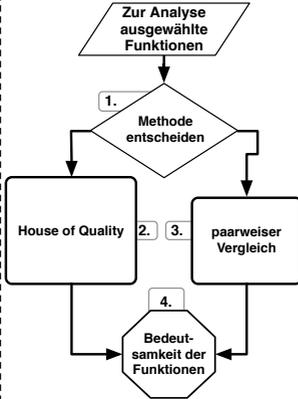
**Was wird erreicht?**

Bedeutsamkeit der einzelnen Funktionen
--

**Werkzeuge und Hilfsmittel?**

Tabellenkalkulationsprogramm

**Wie wird vorgegangen?**



**Wie Moderieren?**

2. Bedeutsamkeit per House of Quality ermitteln

Inwieweit ist die Funktion C an der Erfüllung der Kundenanforderung A beteiligt?  
 In welchem Umfang ist die Funktion C an der Erfüllung der Kundenanforderung A beteiligt?  
 Hat die Funktion C einen starken / mittleren / geringen / keinen Einfluss auf die Erfüllung der Kundenanforderung A?

Kundenanforderung (KAF)	Gewichtung KAF [%]	Funktionen		
		Fkt. A	Fkt. B	Fkt. C
KAF A	40	1	3	
KAF B	60	3		9
	<b>absolute Bedeutsamkeit</b>	<b>2,2</b>	<b>1,2</b>	<b>5,4</b>
	<b>relative Bedeutsamkeit</b>	<b>0,25</b>	<b>0,14</b>	<b>0,61</b>

## Anhang C.14

### Methodenpass 4.9 Funktionen-Bedeutsamkeit ermitteln Blatt 2 von 2

Wie Moderieren?

1.

Methode  
entscheiden

Mögliche Entscheidungskriterien für das House of Quality

- Die zur Verfügung stehende Zeit erlaubt die separate Bewertung von Kundenanforderungen.
- Es fällt dem WA-Team schwer, aus Sicht des Kunden die Funktionen zu bewerten. Eine Korrelation von bewerteten Kundenanforderungen mit den Funktionen über das HoQ ist dann zu bevorzugen.
- Eine Kombination der Bedeutsamkeitsermittlung mit Benchmarks für die bisherige Erfüllung von Kundenanforderungen und Funktionen ist gewünscht. Das HoQ bietet diese Elemente in einer Methode.

3.

Bedeutsamkeit per  
paarweisem  
Vergleich ermitteln

In Bezug auf die Erfüllung der Gesamtfunktion des WA-Objekts, ist die Funktion C wichtiger / viel wichtiger / sehr viel wichtiger oder weniger / viel weniger / sehr viel weniger wichtig als die Funktion A?

	Fkt. A	Fkt. B	Fkt. C	$\Sigma$	Ergebnis
Fkt. A	1	1/3			
Fkt. B	3	1			
Fkt. C			1		

#### Anwendungsbeispiel

Grill (Bsp. ursprünglich vgl. [KLEIN 2010], [HÄNDEL 1995])

3.

Bedeutsamkeit per  
paarweisem  
Vergleich ermitteln

#### Eigenvektormethode Funktionen-Bedeutsamkeit Grill

	Grillgut aufnehmen	Grillgut drehen	Grillgut beheizen	Grillgut transportieren	$\Sigma$	Ergebnis
Grillgut aufnehmen	1	3	1/3	3	1,1	26 %
Grillgut drehen	1/3	1	1/3	3	0,6	16 %
Grillgut beheizen	3	3	1	5	2,0	50 %
Grillgut transportieren	1/3	1/3	1/5	1	0,3	8 %

**Anhang C.15**

**Methodenpass 4.10 Funktionen Kosten zuordnen**

**Blatt 1 von 2**

**Wozu?**

- Ermittlung der Kosten von Funktionen zur Vorbereitung der Potentialanalyse

**In welchem Kontext?**

Analyse von Funktionen- / Komponenten- oder Evolutionspotential

**Welche Chancen?**

Wirkungsbasierte Kosten werden herausgestellt

**Welche Risiken?**

Bei sehr vielen Komponenten wird die Kosten-Zuordnung sehr aufwändig (vorherige Clusterung zu empfehlen)

Kostenzuordnung schlägt Brücke zwischen den Funktionen und den Komp. des WA-Objekts

<b>Was wird benötigt?</b>	<b>Was wird erreicht?</b>
Funktionen	IST-Kosten der Funktionen
Stückliste	ggf. SOLL-Kosten der Funktionen

**Werkzeuge und Hilfsmittel?**

Tabellenkalkulationsprogramm

**Wie Moderieren?**

**2. Stückliste gruppieren**

Stückliste gruppieren  
Zusammenfassung von Teilen und BG zu Cluster-Baugruppen  
Bsp.: Eine Baugruppe Zahnrad + eine Baugruppe Welle A werden zur Gruppierung Welle A zusammengefasst

**3. Kosten zu Funktionen zuordnen**

Mit welchem Anteil ist die Komponente X an der Erfüllung von Funktion Y beteiligt?  
Wieviel trägt die Komponente X zur Erfüllung der Funktion Y bei?

**Weiterführende Literatur? Anmerkungen?**

u.a. [VDI GPP 2011], [WIGGER et.al. 2011]

**Wie wird vorgegangen?**

**Allgemeine Bearbeitungsfragen**

- Hat diese Komponente einen Anteil an der Realisierung Funktion?
- Welchen Anteil weist diese Komponente im Vergleich zu den anderen Funktionen an der Realisierung dieser Funktion auf?
- Welche Funktionen werden mit Hilfe dieses Bauteils realisiert?
- Wie hoch ist der Anteil des Bauteils an den gegebenen Funktionen?
- Werden weitere Funktionen mithilfe dieser Komponente (teilweise) realisiert?

**Anhang C.15**

**Methodenpass 4.10 Funktionen Kosten zuordnen**

**Blatt 2 von 2**

**Wie Moderieren?**

- Wurden alle Komponenten erfasst?
- Weist ein Komponente eventuell noch weitere Anteile an anderen Funktionen auf?
- Ist eine Komponente noch an weiteren Funktionen beteiligt?
- Sind genau 100% der Anteile jeder Komponente zugeordnet?
- Wurden alle Funktionen in die Zuweisungen mit einbezogen?
- Stimmen Gesamtsumme der Funktionensummen und Herstellkosten überein?
- Entsprechen die ermittelten Fkt-Kosten der Einschätzung des Teams?

**Anwendungsbeispiel**

Grill (Bsp. vgl. [KLEIN 2010], [HÄNDEL 1995])

Komponenten	Kosten [€]	Grillgut aufnehmen		Grillgut drehen		Grillgut beheizen		Grillgut transportieren	
		Anteil	Teil-Fkt-Kosten	Anteil	Teil-Fkt-Kosten	Anteil	Teil-Fkt-Kosten	Anteil	Teil-Fkt-Kosten
Gehäuse kompl.	12	1/3	4	1/3	4	1/3	4		
Getriebemotor	16			1	16				
Schalt-einheit	8			1/2	4	1/2	4		
Heizspirale	12					1	12		
Drehspieß	4	1/4	1	1/4	1	1/4	1	1/4	1
Fleischhaken	2			1	2				
Tropfpfanne	2					1	2		
<b>Σ Kosten-anteile</b>		<b>9%</b>	<b>5 €</b>	<b>48%</b>	<b>27 €</b>	<b>41%</b>	<b>23 €</b>	<b>2%</b>	<b>1 €</b>

**Anhang C.16**

**Methodenpass 4.11 Funktionen-Potential ermitteln**

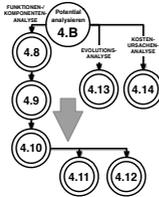
**Blatt 1 von 2**

**Wozu?**

- Ermittlung des Funktionenpotentials zur Identifikation von Optimierungsschwerpunkten

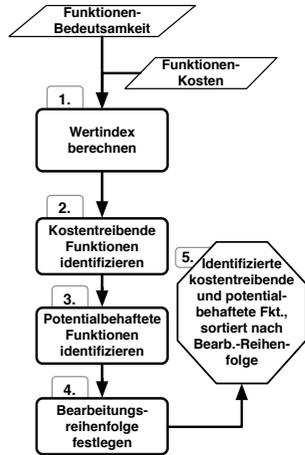
**In welchem Kontext?**

Analyse von Funktionen- / Komponenten- oder Evolutionspotential



Welche Chancen?	Welche Risiken?
Kostentreibende Funktionen (Kosten mehr als sie bedeutsam sind)	Funktionen-Potential-Index ist nicht alleiniger Indikator für Kostensenkungsbedarf
Potentialbehaftete Funktionen (Kosten weniger als sie bedeutsam sind) werden identifiziert	

**Wie wird vorgegangen?**



Was wird benötigt?	Was wird erreicht?
Funktionen-Kosten	Funktionen-Potential-Index der einzelnen Funktionen
Funktionen-Bedeutsamkeit	

**Wie Moderieren?**

- 2. Kostentreibende Funktionen identifizieren: Kostenanteil > Bedeutsamkeit, Wertindex < 1
- 3. Potentialbehaftete Funktionen identifizieren: Kostenanteil < Bedeutsamkeit, Wertindex > 1

**Kostentreibende Funktionen**

1. Kostentreibende Funktionen nach absolutem Kostenanteil absteigend sortieren
2. Nach absolutem Kostenanteil absteigend sortierte Kostentreibende Funktionen aufsteigend nach dem Wertindex sortieren

**Potentialbehaftete Funktionen**

1. Potentialbehaftete Funktionen absteigend nach dem Wertindex sortieren
2. Nach dem Wertindex absteigend sortierte Potentialbehaftete Funktionen aufsteigend nach dem absoluten Kostenanteil sortieren

**Werkzeuge und Hilfsmittel?**

- Tabellenkalkulationsprogramm

**Verknüpfte Systematiken?**

- 4.8 Funktionen-Bedeutsamkeit
- 4.9 Funktionen Kosten zuordnen

**Weiterführende Literatur? Anmerkungen?**

- u.a. [VDI GPP 2011], [WIGGER et.al. 2011]

**Anhang C.16**

**Methodenpass 4.11 Funktionen-Potential ermitteln**

**Blatt 2 von 2**

**Anwendungsbeispiel**

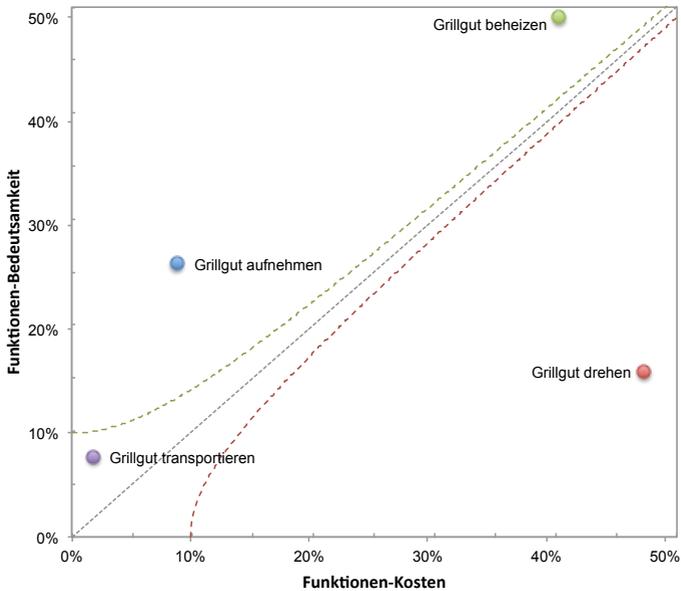
Grill (Bsp. ursprünglich vgl. [KLEIN 2010], [HÄNDEL 1995])

**Auswertung Funktionen-Potential-Analyse**

Funktionen	Fkt.-Bed. [%]	Fkt.-Kst. [%] [KLEIN 2010]	Fkt.-Kst. [€] [KLEIN 2010]
Grillgut aufnehmen	26	9	5
Grillgut drehen	16	48	27
Grillgut beheizen	50	41	23
Grillgut transportieren	8	2	1

**Kostentreibend**

**Funktionen-Potential-Analyse: Fkt.-Bedeutsamkeit über Funktionen-Kosten**



**Anhang C.17**

**Methodenpass 4.12 Komponenten-Potential ermitteln**

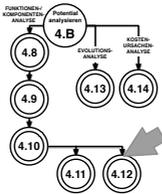
**Blatt 1 von 3**

**Wozu?**

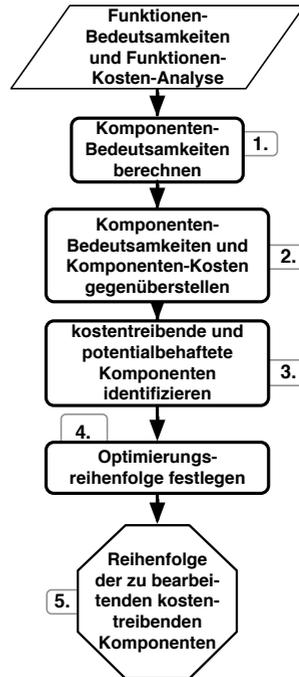
- Ermittlung der Komponentenpotentials (Komponente = Baugruppe oder Teil) zur Ermittlung von Optimierungsschwerpunkten (Wieviel trägt eine Komponente bei, im Verhältnis zu ihren Kosten)

**In welchem Kontext?**

Analyse von Funktionen- / Komponenten- oder Evolutionspotential



**Wie wird vorgegangen?**



Welche Chancen?	Welche Risiken?
Kostentreibende Komponenten (Kosten mehr als sie bedeutsam sind) werden identifiziert	Komponentenpotential ist nicht alleiniger Indikator für Kostensenkungsbedarf
Potentialbehaftete Komponenten (Kosten weniger als sie bedeutsam sind) werden identifiziert	

Was wird benötigt?	Was wird erreicht?
Funktionen-Komponenten-Zuordnungsmatrix der Fkt-Kst-Analyse	Komponenten-Potential-Index der Komponenten

**Werkzeuge und Hilfsmittel?**

- Tabellenkalkulationsprogramm

**Weiterführende Literatur? Anmerkungen?**

- u.a. [MEYER 2003]

**Verknüpfte Systematiken?**

- 4.8 Funktionen-Bedeutsamkeit
- 4.9 Funktionen Kosten zuordnen



## Anhang C.17

### Methodenpass 4.12 Komponenten-Potential ermitteln

Blatt 3 von 3

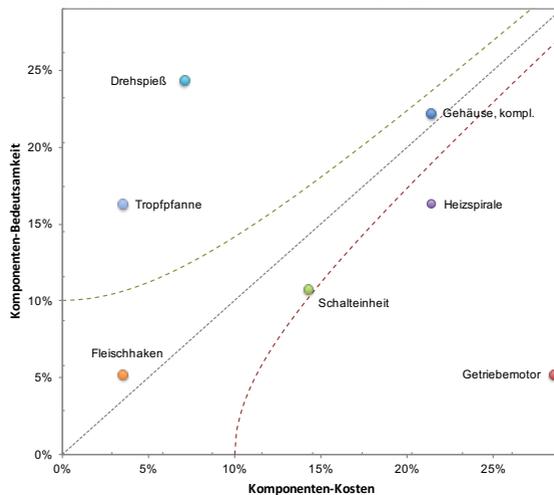
#### Anwendungsbeispiel

Grill (Bsp. ursprünglich vgl. [KLEIN 2010], [HÄNDEL 1995])

#### Ermittlung Komponenten-Bedeutsamkeit

Funktionen	Kosten [€]	Grillgut aufnehmen			Grillgut drehen			Grillgut beheizen			Grillgut transportieren			Σ Komp.-Bedeutsamkeit
		Anteil	Teil-Fkt-Kosten [€]	Teil-Bedeutsamkeit [%]	Anteil	Teil-Fkt-Kosten [€]	Teil-Bedeutsamkeit [%]	Anteil	Teil-Fkt-Kosten [€]	Teil-Bedeutsamkeit [%]	Anteil	Teil-Fkt-Kosten [€]	Teil-Bedeutsamkeit [%]	
Gehäuse kompl.	12	1/3	4	0,15	1/3	4	0,02	1/3	4	0,05				22 %
Getriebemotor	16				1	16	0,05							5 %
Schalt-einheit	8				1/2	4	0,03	1/2	4	0,08				11 %
Heizspirale	12							1	12	0,16				16 %
Drehspieß	4	1/4	1	0,11	1/4	1	0,01	1/4	1	0,04	1/4	1	0,08	24 %
Fleischhaken	2				1	2	0,05							5 %
Tropfpfanne	2							1	2	0,16				16 %
Σ Kostenanteile	9 %	5 €		48 %	27 €		41 %	23 €		2 %	1 €			

Baugruppen-Bedeutsamkeit über Baugruppen-Kosten - Grill



**Anhang C.18**

**MP 4.13 Evolutionsanalyse - Entwicklungsstand bestimmen**

**Wozu?**

- Bestimmen der für eine Evolutionsanalyse relevanten Subsysteme
- Bestimmen des evolutionären Entwicklungsstands der relevanten Subsysteme

---

**In welchem Kontext?**

Analyse von Funktionen- / Komponenten- oder Evolutionspotential

**Wie wird vorgegangen?**

---

Welche Chancen?	Welche Risiken?
Fokussierung auf die Entwicklungstreibenden Subsysteme	Analyse kann aufwändig sein
Einordnung des analysierten Objekts in Bezug auf seinen Technologie-Lebenszyklus	

---

Was wird benötigt?	Was wird erreicht?
Analyse-Objekte (ausgewähltes WA-Objekt und dessen Subsysteme)	Auswahl von zu untersuchenden Subsystemen
	Entwicklungsstände der betrachteten Analyse-Objekte

---

**Werkzeuge und Hilfsmittel?**

- übliche Moderationsmittel

---

**Verknüpfte Systematiken?**

- 5.B kombinierte Evolutionstrends
- 5.12 Evolutionsstand verbessern

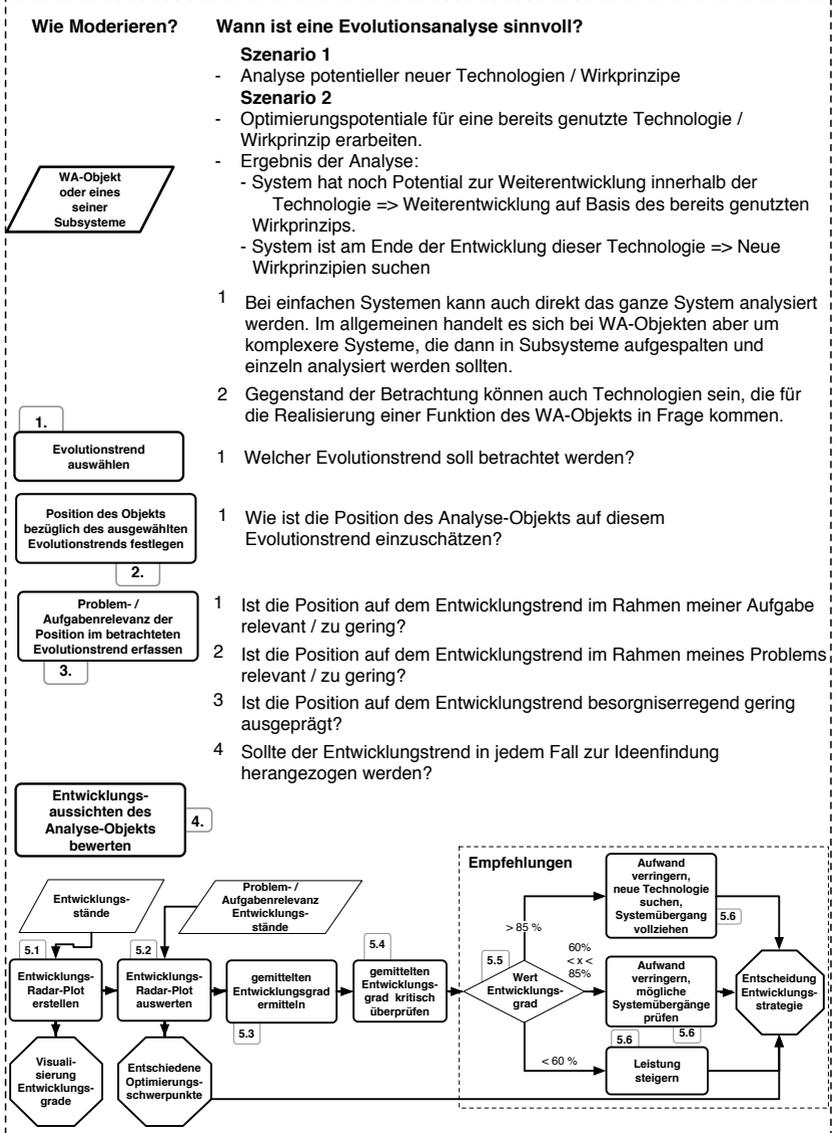
---

**Weiterführende Literatur? Anmerkungen?**

- u.a. [KOLTZE et.al. 2011], [LIVOTOV 2007]

Anhang C.18

MP 4.13 Evolutionsanalyse - Entwicklungsstand bestimmen



**Anhang C.18**

**MP 4.13 Evolutionsanalyse - Entwicklungsstand bestimmen**

**Anwendungsbeispiel**

Holzstuhl



5.

Position des Objekts  
bezüglich des ausgewählten  
Evolutionstrends festlegen

6.

Problem- /  
Aufgabenrelevanz der  
Position im betrachteten  
Evolutionstrend erfassen

Nr.	Name Evolutionstrend	Zuord. Stufe [%]	Begründung	Problem-/ Aufgabenrelevant?
1	Erhöhung des Energie-Leitvermögens	100	Es findet keine Energieumwandlung statt	Nein, ggf. für zukünftige Versionen
2	Abstimmung der Systemrhythmik	20	Kontinuierliche Wirkung. Stuhl stützt den Nutzer	Ja
3	Erhöhung der Fläche der Wechselwirkung	80	Wechselwirkung auf der Sitzfläche durch Flächenkontakt	Ja
4	Erhöhung der Formkoordination	40	Die Formen des Stuhls sind starr abgestimmt. Verwendete Materialien sind passiv.	Ja
5	Nutzung von Asymmetrien und Symmetrien	20	<u>Symmetrisches System:</u> Symmetrische Sitzfläche, 4 Stuhlbeine symmetrisch angeordnet, <u>symmetrische Rückenlehne</u>	Ja
6	Expansion-Kontraktion	20	Funktionaler Kern ist vorhanden	Ja
7	Übergang zum Bi-, Poly-, und Obersystem	<20	Mono-System. Keine Verbindung zu anderen Systemen	Ja
8	Erhöhung der Anpassungsfähigkeit	20	Mehrteiliger Körper (Sitzfläche, Stuhlbeine, Rückenlehne)	Ja
9	Erhöhung der Steuerbarkeit von Feldern	20	Nutzung der Gravitation (permanentes Feld) zur Stabilisierung des Systems	Ja
10	Segmentierung in die Mikroebene	20	Verwendung massiver Körper ohne Hohlräume.	Ja
11	Erhöhung des Automatisierungsgrades	20	Manuelle Steuerung. Das System ist komplett passiv	Ja

Entwicklungs-  
aussichten des  
Analyse-Objekts  
bewerten

9.

Gemittelter Evolutionsgrad = 33 %

**Gemittelter Evolutionsgrad < 60% => führt zur Optimierungs-  
strategie Leistung steigern**

**Anhang C.19**

**Methodenpass 4.14 Kostenursachen analysieren**

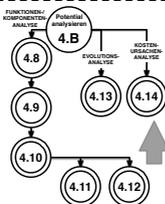
**Blatt 1 von 3**

**Wozu?**

- ganzheitliches Erarbeiten und Reflektieren von Kostenverursachung

**In welchem Kontext?**

Ermittlung von Kostenursachen im WA-Objekt für eine direkte Kostensenkung oder für die Potentialanalyse



**Welche Chancen?**

Systematische Erarbeitung von Kostenursachen in einem WA-Objekt

**Welche Risiken?**

Aufwändiger Prozess, wenn viele Baugruppen analysiert werden

**Was wird benötigt?**

Stückliste  
zu analysierende Baugruppe

**Was wird erreicht?**

Kostenursachen

**Werkzeuge und Hilfsmittel?**

- Tabellenkalkulationsprogramm
- Kartentechnik

**Verknüpfte Systematiken?**

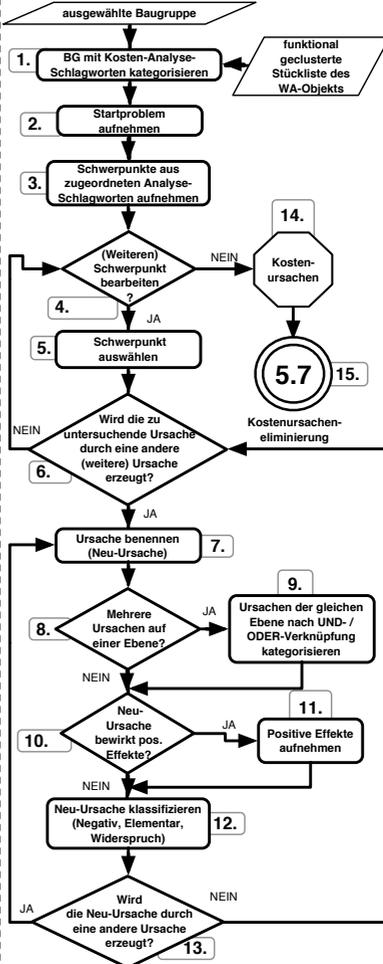
- 5.8 Root Cost Elimination

**Weiterführende Literatur?**

**Anmerkungen?**

- Adaptiert von [SOUCHKOV et al. 2006]. Hier wurde die Root Contradiction Analysis für die Analyse von Management-Problemen eingesetzt
- [WIGGER 2014]

**Wie wird vorgegangen?**



**Anhang C.19**

**Methodenpass 4.14 Kostenursachen analysieren**

**Blatt 2 von 3**

**Wie Moderieren?** Übergeordnete Moderationsfragen

1. **ausgewählte BG mit Kosten-Analyse-Tags kategorisieren**

Mit welchen Schwerpunkten kann die Kostenverteilung in der ausgewählten BG beschrieben werden?

  - zu vergebende Analyse-Tags: Materialkosten, Rüstkosten, Bearbeitungskosten, Montagekosten, Verteilkosten, Prüfkosten
2. **Startproblem aufnehmen**

Formulierung in der Form von: "BG A ist zu teuer"
3. **Ursachen aus Kostenkategorien aufnehmen**

Formulierungen in der Form von: "Materialkosten von BG A sind zu hoch"
4. **Zu bearbeitende als Kosten-Kategorie formulierte Ursache auswählen**

Welche als Kosten-Kategorie formulierte Kostenursache soll analysiert werden?
6. **Wird die zu untersuchende Ursache durch eine andere (weitere) Ursache erzeugt?**

Wird die zu untersuchende Ursache durch eine andere (weitere) Ursache erzeugt?
7. **Ursache benennen (Neu-Ursache)**

Wie soll die Ursache benannt werden?
8. **Mehrere Ursachen auf einer Ebene ?**

Sind außer der Neu-Ursache auch andere Ursachen auf der gleichen Ebene mit der zu untersuchenden Ursache verknüpft?
9. **Ursachen der gleichen Ebene nach UND- / ODER-Verknüpfung kategorisieren**
  - Falls die Ursache nur in Verbindung mit einer anderen Ursache ihre schädliche Wirkung entfaltet, sind die beiden Ursachen durch eine UND-Verknüpfung zu verbinden
  - Falls die Ursache für sich alleine ihre schädliche Wirkung entfaltet, ist die Ursache direkt mit der übergeordneten Ursache zu verbinden
10. **Bewirkt die Neu-Ursache positive Effekte?**

Bewirkt die Neu-Ursache positive Effekte?

Werden positive Effekte durch die Neu-Ursache ermöglicht?
11. **Positive(n) Effekt(e) aufnehmen**

Wie soll der positive Effekt (+) benannt werden?
12. **Neu-Ursache klassifizieren (Negativ, Elementar, Widerspruch)**

Wie kann die Ursache klassifiziert werden?

  - Als rein negativer Effekt (-) der zu beseitigen ist ?
  - Als nicht änderbarer negativer Effekt (--), der außerhalb unserer Einflussmöglichkeit liegt?
  - Als kombiniert positiver und negativer Effekt, der einen Widerspruch verursacht
13. **Wird die Neu-Ursache durch eine andere Ursache erzeugt ?**

Wird die Neu-Ursache durch eine andere Ursache erzeugt?



## Anhang C.20

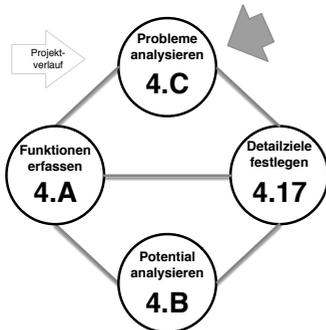
### Methodengruppe 4.C Probleme analysieren

Blatt 1 von 1

#### Wozu?

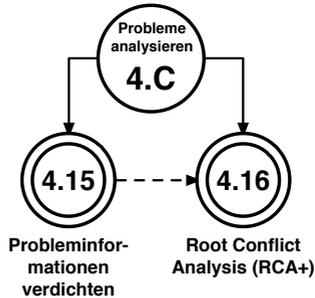
Die MG 4.C ermöglicht eine ganzheitliche Analyse der ermittelten Probleme und dient damit ausschließlich der *Wertverbesserung* eines WA-Objekts. Diese MG schafft die Grundlage für die Anwendung der Problemlösungsmethoden der TRIZ in MG 5.B. Dazu kombiniert sie im MP 4.15 Bestandteile der TRIZ-Methode *Innovationscheckliste* und ein Konzept zur Bewertung von Problemen. Zusätzlich wird im MP 4.16 das TRIZ-Werkzeug *Root Conflict Analysis* zur detaillierten Analyse von sehr komplexen, sehr bedeutsamen und lange bestehenden Problemen angeboten.

#### In welchem Kontext?



Die Problemanalyse wird in Phase 4 des WA-Arbeitsplans durchgeführt. Üblicherweise basiert die Problemanalyse dabei auf Erkenntnissen der Funktionenanalyse (siehe MG 4.A und 4.B) und den Ergebnissen der Durchführung von Phase 3 des WA-Arbeitsplanes.

#### Wie wird vorgegangen?



Die Problemanalyse besteht aus der Sequenz von MP 4.15 *Probleminformationen verdichten* und ggf. MP 4.16 *Root Conflict Analysis*.

#### Wann was? Verknüpfte Systematiken?

Methodenpass (MP)  
  Wertverbesserung  
  Wertgestaltung  
  Grundschritt  
  Voraussetzung

**4.C**  
**Probleme analysieren**  
 Sollen die Probleme des WA-Objekts untersucht werden?

**(4.15)** Probleminformationen verdichten

Gibt es Probleme, deren Ursachen nicht vollständig klar sind?  
 Gibt es Probleme, die sehr bedeutend und komplex sind und schon lange Bestand haben?

**(4.16)** Root Conflict Analysis (RCA+) Nur Probleme mit hohem und ggf. mittlerem Problemgrad

**Anhang C.21**

**Methodenpass 4.15 Probleminformationen verdichten**

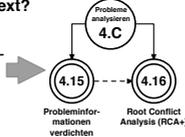
**Blatt 1 von 5**

**Wozu?**

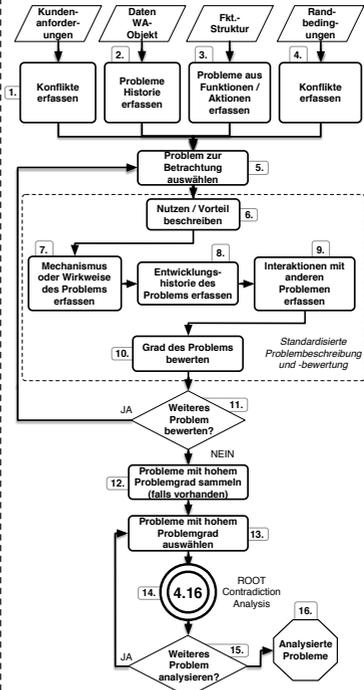
- Sammlung und standardisierte Beschreibung / Analyse von Problemen

**In welchem Kontext?**

Analyse von Problemen im WA-Objekt



**Wie wird vorgegangen?**



**Welche Chancen?**

Strukturierte Erfassung und Ranken von Problemen erleichtert die Priorisierung

**Welche Risiken?**

Aufwändig bei einer hohen Anzahl von Problemen

**Was wird benötigt?**

im Verlauf der Analyse entdeckte Probleme

**Was wird erreicht?**

Analyse der vorhandenen Probleme

**Werkzeuge und Hilfsmittel?**

- Tabellenkalkulationsprogramm / Liste

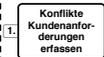
**Verknüpfte Systematiken?**

- 4.16 Root Conflict Analysis

**Weiterführende Literatur? Anmerkungen?**

- [ZOBEL 2007b], [ALTSCHULLER 1998], [WIGGER et.al. 2009], [JENKE 2006]

**Wie Moderieren?**



Welche Kundenanforderungen widersprechen sich? Inwiefern?

Ist der Widerspruch ein Problem?

Gibt es Kundenanforderungen, die gegensätzliche Entwicklungsrichtungen verlangen?

Verursachen diese gegensätzlichen Entwicklungsrichtungen Probleme?

Die Erfüllung welcher Kundenanforderungen verursacht die meisten Gegensätze?

Welche Kundenanforderungen sind am gegensätzlichsten?

## Anhang C.21

### Methodenpass 4.15 Probleminformationen verdichten

Blatt 2 von 5

#### Wie Moderieren?

2. **Probleme aus WA-Objekt-historie erfassen** Welche Probleme des Systems sind bekannt?  
Gibt es bekannte Schwächen des Systems?
3. **Probleme aus Funktionen / Aktionen erfassen** Sind schädliche / unerwünschte Funktionen / Aktionen bekannt?  
Sind diese als signifikante Probleme anzusehen?  
Bestehen bei Funktionen problematische Diskrepanzen in Bezug auf den Erfüllungsgrad von Merkmalen zwischen IST und SOLL?  
Gibt es unzureichende oder exzessive Wirkungen?  
Werden kompensierende Funktionen identifiziert?  
Verursachen diese kompensierenden Funktionen hohe Kosten?  
Werden Widersprüche identifiziert?
4. **Konflikte aus Randbedingungen erfassen** Welche Randbedingungen widersprechen sich? Inwiefern?  
Ist der Widerspruch ein Problem?  
Gibt es Randbedingungen, die gegensätzliche Entwicklungsrichtungen verlangen?  
Verursachen diese gegensätzlichen Entwicklungsrichtungen Probleme?  
Die Erfüllung welcher Randbedingungen verursacht die meisten Gegensätze?  
Welche Randbedingungen sind am gegensätzlichsten?
6. **Nutzen / Vorteil beschreiben** Kundenanforderungen Wozu dienen die gegensätzlichen Kundenanforderungen?  
Warum will der Kunde diese gegensätzlichen Kundenanforderungen erfüllt sehen?  
WA-Objekt-Historie: Was ist der wesentliche Nutzen/Vorteil der das Problem verursachenden Lösung?  
Probleme aus Funktionen:  
  
*Unzureichende/Exzessive Funktion: Warum wird die Funktion benötigt?*  
  
*Schädliche Funktion <- Warum wird die verursachende Funktion benötigt?*  
  
*Erfüllungsgrad <- Warum wird das nicht (vollständig) erfüllte Merkmal benötigt?*  
*Warum ist das nicht (vollständig) erfüllte Merkmal wichtig (für den Kunden wichtig)?*  
  
*Kompensierende Fkt. <- Warum wird die kompensierende Fkt. benötigt? Wieso muss der schädliche Effekt kompensiert werden?*  
  
Konflikte aus Randbedingungen Wozu dienen die gegensätzlichen Randbedingungen? Warum müssen diese gegensätzlichen Randbedingungen erfüllt sein?
7. **Mechanismus oder Wirkweise des Problems erfassen** Wodurch wird das Problem verursacht? Wie entsteht das Problem?
8. **Entwicklungshistorie des Problems erfassen** Wann ist das Problem entstanden? Besteht dieses Problem seit längerem?
9. **Interaktionen mit anderen Problemen erfassen** Verursacht das Problem weitere Probleme? Welche Probleme müssen auch gelöst werden, um den Nachteil auszuschalten? Werden weitere Probleme durch dieses Problem verschärft? Wird dieses Problem durch andere Probleme verschärft?

## Anhang C.21

### Methodenpass 4.15 Probleminformationen verdichten

Blatt 3 von 5

#### Wie Moderieren?

10. Grad des Problems bewerten

Ermittlung des Problemgrades durch Ermittlung von Problembedeutung, Problemkomplexität und Problemhistorie (Angelehnt an [JENKE 2007])

<b>Problembedeutung</b>	
gering	<ul style="list-style-type: none"> <li>... es liegen bereits verschiedene Lösungsideen vor</li> <li>... die Erfolgsaussichten dieser Lösungsideen werden als relativ gut eingeschätzt</li> <li>... die Lösung des Problems steht unter relativ geringem Zeitdruck</li> <li>... die bisher angefallenen oder zukünftig zu erwartenden finanziellen Belastungen für das Unternehmen sind gering</li> <li>... mit Gewinn- bzw. / Umsatzeinbußen, z.B. durch Rückgang von Aufträgen, ist vorläufig nicht zu rechnen.</li> </ul>
mittel	<ul style="list-style-type: none"> <li>... es liegen bereits ein paar Lösungsideen vor</li> <li>... die Erfolgsaussichten dieser Lösungsideen werden als mittel eingeschätzt</li> <li>... die Lösung des Problems steht unter mittlerem Zeitdruck</li> <li>... die bisher angefallenen oder zukünftig zu erwartenden finanziellen Belastungen für das Unternehmen sind wahrnehmbar</li> <li>... mit Gewinn- bzw. / Umsatzeinbußen, z.B. durch Rückgang von Aufträgen, ist mittel- bis langfristig zu rechnen.</li> </ul>
hoch	<ul style="list-style-type: none"> <li>... es herrscht ein akuter Mangel an Lösungsideen</li> <li>... die Lösung des Problems steht unter hohem Zeitdruck</li> <li>... die bisher angefallenen oder zukünftig zu erwartenden finanziellen Belastungen für das Unternehmen sind hoch</li> <li>... mit erheblichen Gewinn- bzw. / Umsatzeinbußen, z.B. durch Rückgang von Aufträgen, ist in Kürze zu rechnen</li> </ul>

<b>Problemkomplexität</b>	
gering	<ul style="list-style-type: none"> <li>... es sind wenige Elemente an dem Problem beteiligt</li> <li>... der Grad der Vernetzung zwischen den Elementen ist gering</li> <li>... es interagiert nicht mit anderen Problemen</li> <li>... die Ursache- / Wirkungszusammenhänge sind im Wesentlichen bekannt</li> <li>... es liegen keine gegensätzliche Ziele und / oder technische / physikalische Widersprüche vor</li> </ul>
mittel	<ul style="list-style-type: none"> <li>... es sind einige Elemente an dem Problem beteiligt</li> <li>... der Grad der Vernetzung zwischen den Elementen ist mittel</li> <li>... es interagiert mit einigen anderen Problemen</li> <li>... die Ursache- / Wirkungszusammenhänge sind nicht vollständig bekannt</li> <li>... es können gegensätzliche Ziele und / oder technische / physikalische Widersprüche vorliegen</li> </ul>
hoch	<ul style="list-style-type: none"> <li>... es sind sehr viele Elemente an dem Problem beteiligt</li> <li>... der Grad der Vernetzung zwischen den Elementen ist sehr hoch</li> <li>... es interagiert mit sehr vielen anderen Problemen</li> <li>... die Ursache- / Wirkungszusammenhänge sind unbekannt</li> <li>... es liegen gegensätzliche Ziele und / oder technische / physikalische Widersprüche vor</li> </ul>

<b>Problemhistorie</b>	
kurz	<ul style="list-style-type: none"> <li>... das Problem wird erst seit kurzem wahrgenommen</li> <li>... es wurden bisher keine oder kaum Versuche zu dessen Lösung unternommen</li> <li>... das Vorgehen der Problemlösung wurde nicht durch Methoden unterstützt</li> </ul>
mittel	<ul style="list-style-type: none"> <li>... das Problem wird seit einiger Zeit wahrgenommen</li> <li>... es wurden bereits mehrere Versuche zu dessen Lösung unternommen</li> <li>... das Vorgehen der Problemlösung wurde vereinzelt durch Methoden unterstützt</li> <li>... der Erfolg blieb bisher aus</li> </ul>
lang	<ul style="list-style-type: none"> <li>... das Problem wird seit längerer Zeit wahrgenommen</li> <li>... es wurden bereits zahlreiche Versuche zu dessen Lösung unternommen</li> <li>... das Vorgehen der Problemlösung wurde bereits durch verschiedene Methoden unterstützt</li> <li>... der Erfolg blieb bisher aus</li> </ul>

**Anhang C.21**

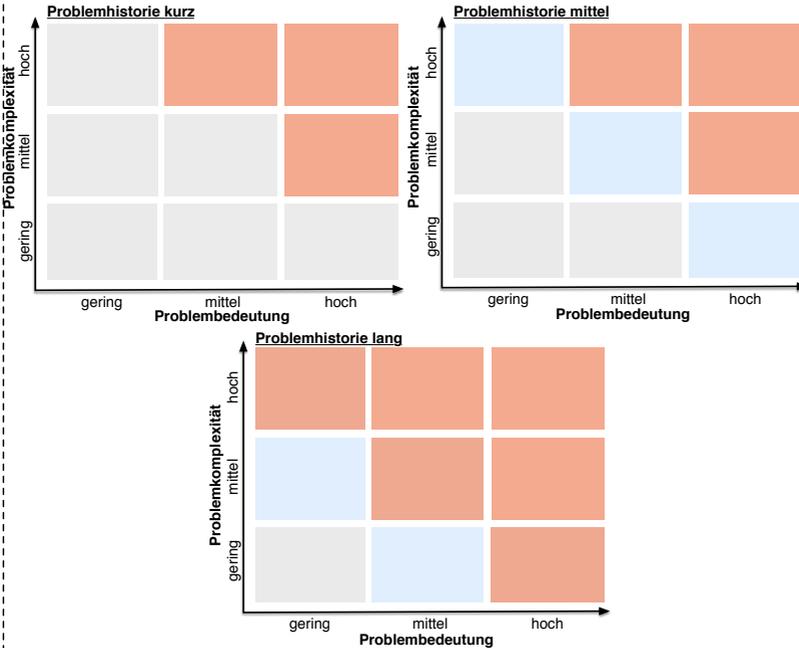
**Methodenpass 4.15 Probleminformationen verdichten**

**Blatt 4 von 5**

**Wie Moderieren?**

10. Grad des Problems bewerten Ermittlung des Problemgrades durch Ermittlung von Problembedeutung, Problemkomplexität und Problemhistorie (Angelehnt an [Jenke 2007])

- hoher Problemgrad (mit TRIZ-Werkzeugen behandeln)
- mittlerer Problemgrad (optional mit TRIZ-Werkzeugen behandeln)
- niedriger Problemgrad (nicht mit TRIZ-Werkzeugen behandeln)



## Anhang C.21

### Methodenpass 4.15 Probleminformationen verdichten

Blatt 5 von 5

**Anwendungsbeispiel** IST-Zustand eines Papierlochers (Auszug der Problemanalyse)

1. Konflikte Kundenanforderungen erfassen	Nr.	Kundenanforderung 1	Kundenanforderung 2	Beschreibung
	1	Gewicht niedrig	große Stabilität & wenig Kraftaufwand beim Lochen	Große Stabilität erfordert im IST-Zustand ein Metallgehäuse. Eine Reduktion des Kraftaufwands erfordert einen langen Hebelarm.

2. Probleme aus WA-Objekthistorie erfassen	Nr.	Problem	Beschreibung
	1	Verrutschen	Auf glatten Tischplatten minimiert die gummierte Unterseiten nicht ausreichend das Verrutschen
	2	Geringe Lochkapazität	Es kann nur eine geringe Anzahl (max. 15 Blatt) zum Lochen eingelegt werden
	3	Geringe Abfallkapazität	Das Volumen zur Schnipselabwahrung ist zu schnell voll.

3. Probleme aus Funktionen / Aktionen erfassen	Nr.	Funktion /Aktion	Typ
	1	Stempel verklemmen	Schädlich
	2	Rückstellkraft erzeugen	Exzessiv
	3	Müll abführen	Unzureichend

ausgewähltes Problem: schädliche Funktion **Stempel verklemmen**

6. Nutzen / Vorteil beschreiben  
 Warum wird die verursachende Funktion Papier schneiden benötigt?  
 Zur Ablage der Dokumente müssen die Löcher geschnitten werden.

7. Mechanismus oder Wirkweise des Problems erfassen  
 Wodurch wird das Problem verursacht?  
 Die Stempel schneiden Löcher in das Papier. Bei einer hohen Anzahl eingelegter Dokumente verklemmen aufgrund unzureichender Schneidwirkung abgescherte Papierschnipsel die Stempel. Diese müssen mit hohem Kraftaufwand wieder gelöst werden.

8. Entwicklungshistorie des Problems erfassen  
 Wann ist das Problem entstanden?  
 Problem trat erstmalig auf, als ungehärteter Stahl für die Schneidstempel eingeführt wurde.

9. Interaktionen mit anderen Problemen erfassen  
 Werden weitere Probleme durch dieses Problem verschärft?  
 Mögliche Anzahl zu lochender Dokumente wird weiter verringert.

10. Grad des Problems bewerten  
 Problembedeutung: Hoch  
 Problemkomplexität: Gering ⇒ **Problemgrad: MITTEL**  
 Problemhistorie: Mittel

**Anhang C.22**

**Methodenpass 4.16 Root Conflict Analysis**

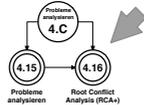
**Blatt 1 von 4**

**Wozu?**

- Strukturierte Ursachen- und Widerspruchsermittlung an den ausgewählten Problemen

**In welchem Kontext?**

Analyse von Problemen im WA-Objekt



**Welche Chancen?**

Widersprüche einfach zu identifizieren

Problemvernetzung einfach möglich

**Welche Risiken?**

**Was wird benötigt?**

Zur Untersuchung ausgewähltes Problem

**Was wird erreicht?**

detaillierte Verknüpfung von Ursachen und Widersprüchen für das ausgewählte Problem

**Werkzeuge und Hilfsmittel?**

- Tabellenkalkulationsprogramm

**Verknüpfte Systematiken?**

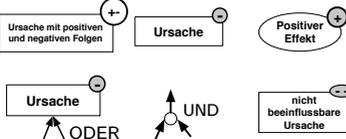
-

**Weiterführende Literatur? Anmerkungen?**

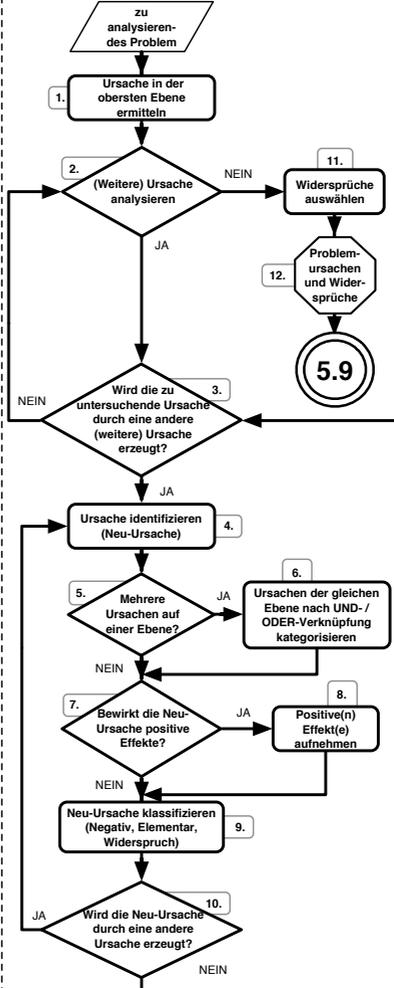
- [SOUCHKOV 2005], [SOUCHKOV 2011]

**Wie Moderieren?**

- Nomenklatur



**Wie wird vorgegangen?**



## Anhang C.22

### Methodenpass 4.16 Root Conflict Analysis

Blatt 2 von 4

#### Wie Moderieren?

1. **Ursache in der obersten Ebene ermitteln** Welches Problem (Symptom) soll betrachtet werden? Wie würde dieses Problem als Ursache (Quelle des Problems) formuliert lauten?

4. **Ursache identifizieren (Neu-Ursache)** Wie kann die identifizierte Ursache genannt werden? Wie soll die identifizierte Ursache beschrieben werden?

6. **Ursachen der gleichen Ebene nach UND- / ODER-Verknüpfung kategorisieren** Falls die Ursache nur in Verbindung mit einer anderen Ursache ihre schädliche Wirkung entfaltet, sind die beiden Ursachen durch eine UND-Verknüpfung zu verbinden  
Falls die Ursache für sich alleine ihre schädliche Wirkung entfaltet, ist die Ursache direkt mit der übergeordneten Ursache zu verbinden

8. **Positive(n) Effekt(e) aufnehmen** Wie ist der positive Effekt zu benennen? Welcher positive Effekt wird durch die Ursache ausgelöst / erbracht?

9.

**Neu-Ursache klassifizieren (Negativ, Elementar, Widerspruch)** Wie kann die Ursache klassifiziert werden?  
Als rein negativer Effekt ( - ) der zu beseitigen ist ?  
Als nicht änderbarer negativer Effekt (--), der außerhalb unserer Einflussmöglichkeit liegt?  
Als kombiniert positiver und negativer Effekt, der einen Widerspruch verursacht

11. **Widersprüche auswählen** Welche Widersprüche sollten bearbeitet werden?  
*Identifikation siehe Methodenpass 4.15 Blatt 3/5*

**Anhang C.22**

**Methodenpass 4.16 Root Conflict Analysis**

**Blatt 3 von 4**

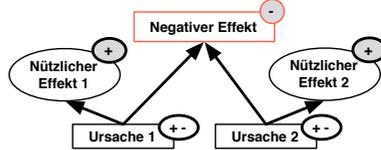
**Wie Moderieren?**

- Auswertung

Widersprüche auswählen

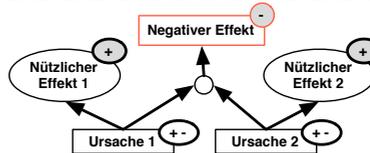
Unabhängige Widersprüche

Alle Widersprüche müssen zur Problemlösung eliminiert werden - Nach Grad des Problembetrags in Reihenfolge bringen und bearbeiten



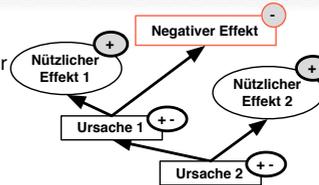
Abhängige Widersprüche

Einer der Widersprüche muss eliminiert werden



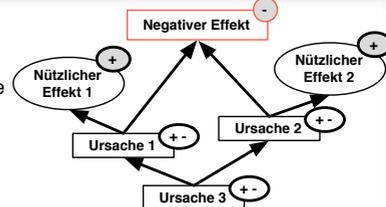
Ursächlich zusammenhängende Widersprüche

Einer der Widersprüche muss eliminiert werden. Es ist egal welcher Widerspruch das ist, da immer die Kette der Widersprüche unterbrochen wird



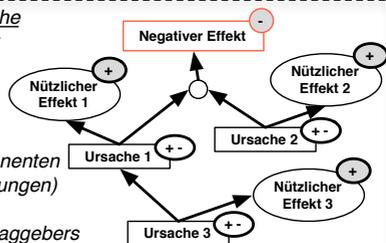
"Wurzel"-Widersprüche

Der "Wurzel"-Widerspruch muss eliminiert werden. Falls dies aufgrund von fehlenden Freiheitsgraden nicht möglich ist, sollten die vom "Wurzel"-Widerspruch ausgehenden Widersprüche eliminiert werden



Komplex-Zusammenhängende-Widersprüche

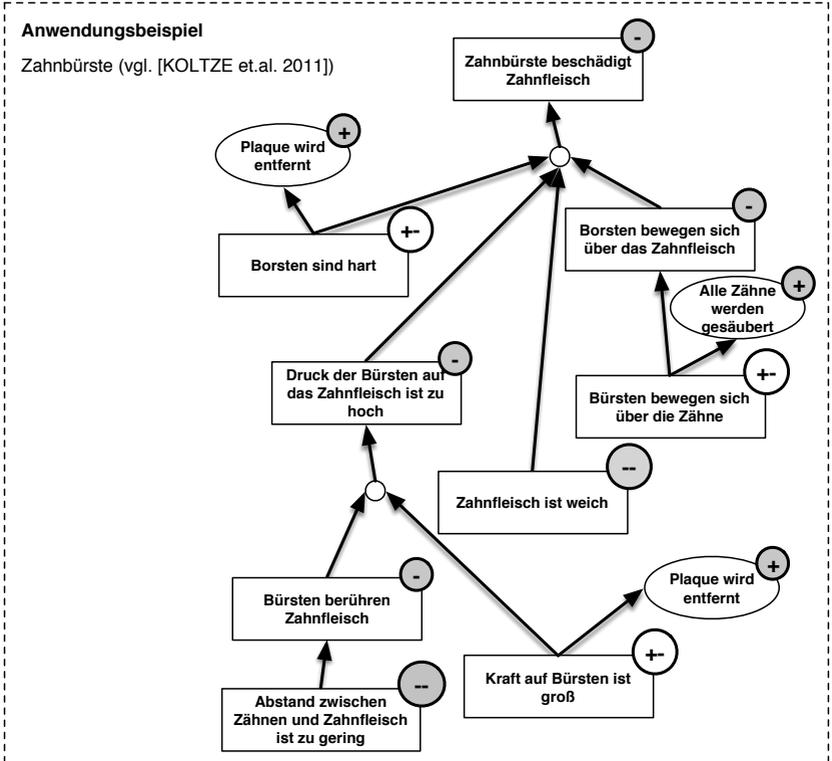
Zu eliminierende Widersprüche anhand der folgenden Kriterien auswählen  
 Anzahl der involvierten Elemente (je weniger desto besser)  
 Komponenten gehören bevorzugt zum betrachteten System (Supersystem-Komponenten bieten oft weniger Freiheitsgrade für Änderungen)  
 Einfach zu modifizieren  
 Entsprechen der überg. Strategie des Auftraggebers



**Anhang C.22**

**Methodenpass 4.16 Root Conflict Analysis**

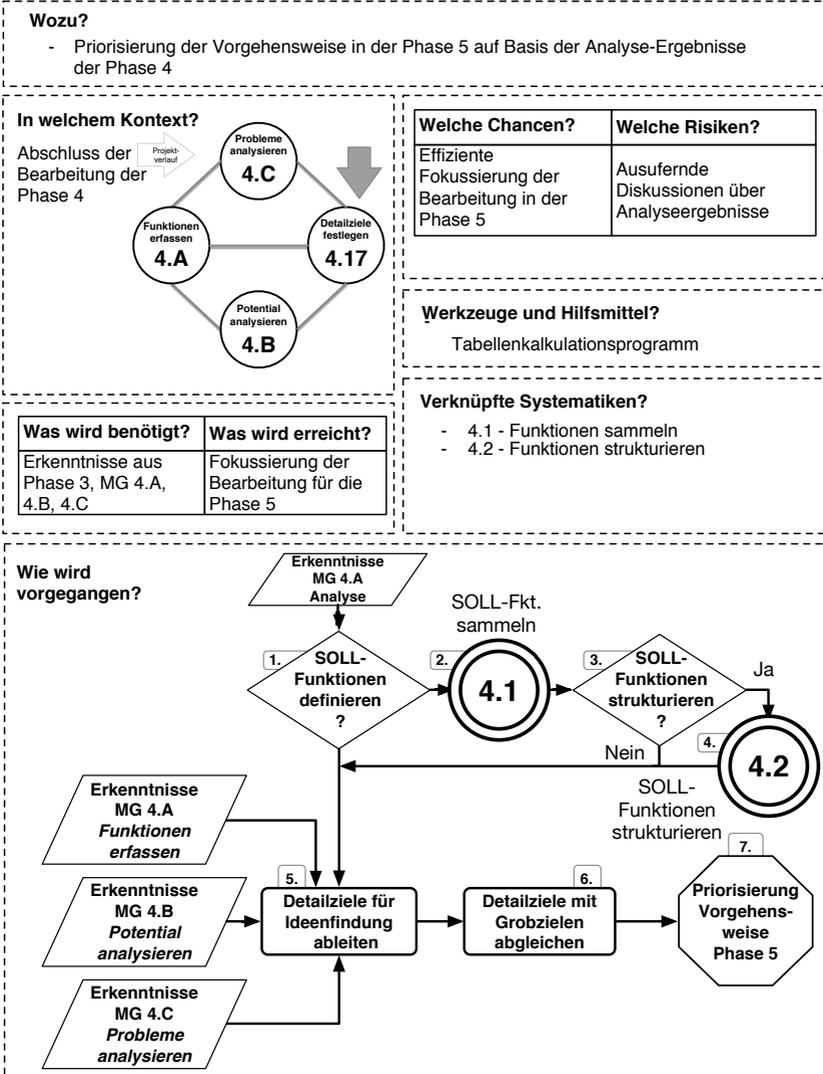
**Blatt 4 von 4**



**Anhang C.23**

**Methodenpass 4.17 Detailziele festlegen**

**Blatt 1 von 3**



**Anhang C.23**

**Methodenpass 4.17 Detailziele festlegen**

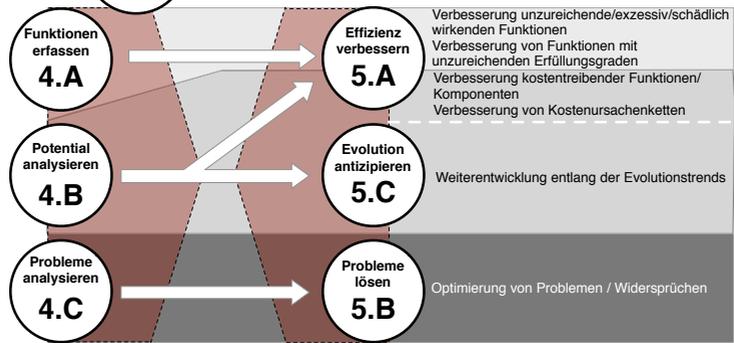
**Blatt 2 von 3**

**Wie Moderieren?**

1. **SOLL-Funktionen definieren ?** Sollen SOLL-Funktionen abweichend von den IST-Funktionen definiert werden? Unterscheidet sich der SOLL-Zustand funktional vom IST-Zustand?

3. **SOLL-Funktionen strukturieren ?** Sollte in Schritt 1 entschieden worden sein, SOLL-Funktionen zu definieren, können diese in Schritt 3 in einer Funktionenstruktur verknüpft werden.

5. **Detailziele für Ideenfindung ableiten** **Detailziele festlegen 4.17** Was ist wichtig? Was soll in welcher Reihenfolge behandelt werden?



6. **Detailziele mit Grobzielen abgleichen** Stehen mögliche Veränderungen durch die Bearbeitung der Ansatzpunkte im Einklang mit den Grobzielen des WA-Projekts? Müssen/Können Grobziele ggf. angepasst werden, um eine Bearbeitung zu ermöglichen?

**Anhang C.23**  
**Methodenpass 4.17 Detailziele festlegen**

**Anwendungsbeispiel**

Ableitung der Detailziele für einen Papierlocher

**Zusammenfassung der erarbeiteten Erkenntnisse**

Erkenntnisse  
 MG 4.A  
 Funktionen  
 erfassen

Nr.	Funktion /Aktion	Typ	Erfüllungsgrad [%]
1	Stempel verklemmen	Schädlich	-
2	Müll speichern	Unzureichend	30

Erkenntnisse  
 MG 4.B  
 Potential  
 analysieren

Kostentreibende Funktion: Drehmoment verstärken  
Kostentreibende Komponente: Griffhebel

Erkenntnisse  
 MG 4.C  
 Probleme  
 analysieren

Schädliche Funktion: Stempel verklemmen  
 ...

4. Detailziele für  
 Ideenfindung  
 ableiten

Festlegung der zu  
 bearbeitenden  
 Fkt. auf  
 Grundlage  
 fallspezifischer  
 Kriterien

Nr.	Funktion	Typ Ansatzpunkt	Begründung
1	Müll speichern	Nutzenerhöhung	Erfüllungsgrad sehr gering. Oft von Kunden moniert.
2	Stempel verklemmen	Problembeseitigung	Häufig auftretendes Problem. Anzahl der Kundenbeschwerden steigt.
3	Drehmoment verstärken / Griffhebel	Kostensenkung	Grobziel Kostensenkung um 5 %

9. Detailziele mit  
 Grobzielen  
 abgleichen

Die Bearbeitung der zu behandelnden Probleme entspricht  
 den Zielen des Projekts

# D Methoden Phase 5 - Ideenfindung

## Anhang D.1 Methodengruppen in Phase 5

Blatt 1 von 1

### Wozu?

- Sammlung und Entwicklung von Lösungsideen für die Optimierung des WA-Objekts

### In welchem Kontext?

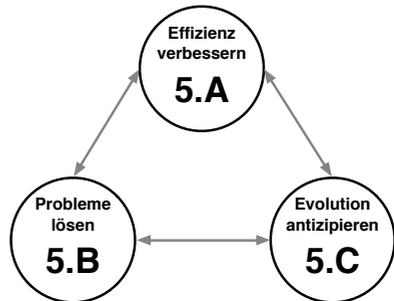
#### WA-Arbeitsplan (EN 12973)

<b>0</b>	Projekt vorbereiten - Machbarkeit untersuchen
<b>1</b>	Projekt definieren
<b>2</b>	Projekt vorbereiten - Projektarbeit freigeben
<b>3</b>	Umfassende Daten über das Produkt sammeln
<b>4</b>	Funktionen, Kosten, Detailziele festlegen
<b>5</b>	Lösungsideen sammeln und entwickeln
<b>6</b>	Lösungsideen bewerten
<b>7</b>	Ganzheitliche Vorschläge entwickeln - Lösung auswählen
<b>8</b>	Lösungen präsentieren - Entscheidung herbeiführen
<b>9</b>	Lösungen realisieren - Ergebnis dokumentieren



Die Phase 5 dient der Sammlung und Entwicklung von Lösungsideen für die Optimierung des WA-Objekts. Es werden in der WA bekannte Methoden und Methoden der TRIZ kombiniert

### Wie wird vorgegangen?



Im vorliegenden Konzept werden die Methoden in drei zweckgebundene Cluster unterteilt. Der Cluster "Effizienz verbessern" beinhaltet alle Methoden zur Steigerung des Wertes, also der Senkung der Kosten und Steigerung der Funktionalität des WA-Objekts. Der Cluster "Probleme lösen" beinhaltet alle Methoden zur Bearbeitung und Lösung von Problemen des WA-Objekts. Der Cluster "Evolution antizipieren" beinhaltet alle Methoden zur Weiterentwicklung des evolutionären Entwicklungsstands des WA-Objekts

### Weiterführende Literatur? Anmerkungen?

- [VDI2800 2010], [EN12973 2002]

## Anhang D.2 Methodengruppen in Phase 5

Blatt 1 von 1

**Wann was? Übersicht Phase 5**

Ⓜ **Methodenpass (MP)**  
 ■ **Wertverbesserung**  
 ■ **Wertgestaltung**  
 ⓧ **Grundlage der MG**  
 ⋮ **Voraussetzung**

<b>Effizienz verbessern</b> <span>Ⓜ</span> <b>5.A</b> Sollen die Kosten gesenkt werden? Sollen die Funktionalität gesteigert werden?	Sollen alternative Funktionsträger gefunden werden? Sollen Ideen zur Umsetzung von zu realisierenden Funktionen gefunden werden? SOLL-Funktionen <span>Ⓜ</span> <b>5.1</b>	Entscheidung ob MP 5.2 Kostenoptimierung/Effizienzsteigerung angewendet werden soll: Ideen zur Kostensenkung sollen gesucht werden. Ideen zur Effizienzsteigerung sollen gesucht werden. Potentiale für Funktionenintegration sollen gesucht werden. Kompensationen und Kostenursachen sollen eliminiert werden. <span>Ⓜ</span> <b>5.2</b> Kostenoptimierung/ Effizienzsteigerung	
	(4.1) Funktionen sammeln	Sollen vorhandene Ressourcen besser ausgenutzt werden? Sollen Ressourcen als mögliche neue Funktionsträger analysiert werden? <span>Ⓜ</span> <b>5.6</b> Ressourcenentwicklung	Soll auf Potentiale zur Funktionenintegration überprüft werden? Objektmodell erstellen <span>Ⓜ</span> <b>4.6</b>
	Sollen Kostenursachen eliminiert werden? Kostenursachen analysieren <span>Ⓜ</span> <b>4.14</b>	Sollen Kostenursachen eliminiert werden? Kostenursacheneliminierung <span>Ⓜ</span> <b>5.7</b>	
<b>Probleme lösen</b> <span>Ⓜ</span> <b>5.B</b> Sollen Ideen für die Probleme gesucht werden?	Problembearbeitung steuern <span>Ⓜ</span> <b>5.8</b>	Probleminformationen verdichten <span>Ⓜ</span> <b>4.15</b>	
	Gibt es Widersprüche, die zu bearbeiten sind? <span>Ⓜ</span> <b>5.9</b> Widersprüche aufstellen und lösen	Gibt es Probleme, die nicht als Widersprüche formuliert werden können? <span>Ⓜ</span> <b>5.10</b> Stoff-Feld-Modelle aufstellen und verbessern	
<b>Evolution antizipieren</b>	Sollen Ideen für die evolutionäre Weiterentwicklung gesucht werden? <span>Ⓜ</span> <b>5.11</b> Evolution antizipieren	Evolutionsanalyse Entwicklungsstand bestimmen <span>Ⓜ</span> <b>4.13</b>	

**Anhang D.3**

**Methodengruppe 5.A Effizienz verbessern**

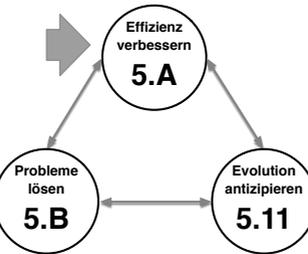
**Blatt 1 von 1**

**Wozu?**

Die MG 5.A ermöglicht die Untersuchung auf Potentiale für alternative Funktionenträger sowie Potentiale für Funktionenintegration und Kostensenkung. Die in dieser MG zusammengefassten Methodenpässen sind i.d.R. nur für die *Wertverbesserung* einsetzbar. Die Ausnahme bildet der MP 5.1 *Ideen für SOLL-Funktionen sammeln*, der für die *Wertgestaltung* gezielt nach Lösungen für noch nicht implementierte Funktionen sucht.

**In welchem Kontext?**

Wenn im Rahmen der Phase 4 Detailziele in Bezug auf die Steigerung der Effizienz, bspw. durch Senkung von Kosten oder der Verbesserung von Funktionalität festgelegt wurden, sollten Methoden aus dieser MG angewendet werden.



**Verknüpfte Systematiken?**

- 5.1 Ideen für SOLL-Fkt. sammeln
- 5.2 Kostenoptimierung
- 5.3 Trimmen
- 5.4 Trimmen von kompensierenden Funktionen
- 5.5 Fragen zur Kostensenkung
- 5.6 Ressourcenentwicklung
- 5.7 Kostenursachen-eliminierung

**Wie wird vorgegangen? Verknüpfte Systematiken?**

<b>Methodenpass (MP)</b>	<b>Wertverbesserung</b>	<b>Wertgestaltung</b>	<b>Grundlage der MG</b>	<b>Voraussetzung</b>		
<p><b>Effizienz verbessern</b></p> <p style="text-align: center;"><b>5.A</b></p> <p>Sollen die Kosten gesenkt werden?</p> <p>Soll die Funktionalität gesteigert werden?</p>	<p>Sollen alternative Funktionenträger gefunden werden?</p> <p>Sollen Ideen zur Umsetzung von zu realisierenden Funktionen gefunden werden?</p> <p style="text-align: center;"><b>5.1</b> SOLL-Funktionen</p> <p style="text-align: center;"><b>4.1</b> Funktionen sammeln</p>	<p>Entscheidung ob MP 5.2 Kostenoptimierung/Effizienzsteigerung angewendet werden soll:</p> <p>Ideen zur Kostensenkung sollen gesucht werden. Ideen zur Effizienzsteigerung sollen gesucht werden. Potentiale für Funktionenintegration sollen gesucht werden. Kompensationen und Kostenursachen sollen eliminiert werden.</p> <p style="text-align: center;"><b>5.2</b> Kostenoptimierung/ Effizienzsteigerung</p>	<p>Soll auf Potentiale zur Funktionenintegration überprüft werden?</p> <p style="text-align: center;"><b>4.6</b> Objektmodell erstellen</p> <p style="text-align: center;"><b>5.3</b> TRIMMEN</p>	<p>Sollen kompensierte Probleme untersucht werden?</p> <p style="text-align: center;"><b>4.7</b> Funktionen spezifizieren</p> <p style="text-align: center;"><b>5.4</b> Kompensationen</p>	<p>Sollen Ideen für Kostensenkungsmaßnahmen gefunden werden?</p> <p style="text-align: center;"><b>5.5</b> Kostensenkungsfragen</p>	<p>Sollen Kostenursachen eliminiert werden?</p> <p style="text-align: center;"><b>4.14</b> Kostenursachen analysieren</p> <p style="text-align: center;"><b>5.7</b> Kostenursacheneliminierung</p>

**Anhang D.4**

**Methodenpass 5.1 Funktionenbasiert Ideen sammeln**

**Blatt 1 von 2**

**Wozu?**

- Erarbeitung von funktionsbasierten Ideen für alternative Realisierungen von (SOLL-) Funktionen

---

**In welchem Kontext?**

Es wird nach anderen Implementierungsmöglichkeiten gesucht

**Wie wird vorgegangen?**

---

Welche Chancen?	Welche Risiken?
Lösen von der vorliegenden Implementierung	Nicht zu sehr ins Fantastische abdriften lassen
Breite Sammlung von Ideen	Fehlender Kontext zum Sinn der Sammlung von Ideen, Akzeptanzprobleme

---

Was wird benötigt?	Was wird erreicht?
SOLL-Funktionen	Lösungsideen

---

**Werkzeuge und Hilfsmittel?**

- Tabellenkalkulationsprogramm
- Kartentechnik
- Visualisierung

---

**Verknüpfte Systematiken?**

- MP 5.6 Ressourcenentwicklung

---

**Weiterführende Literatur? Anmerkungen?**

- [VDI2800 2010]

**Anhang D.4**

**Methodenpass 5.1 Funktionenbasiert Ideen sammeln**

**Blatt 2 von 2**

<b>Wie Moderieren?</b> - Übergeordnete Moderationsfragen	1. <b>Funktion auswählen</b>	1 Für welche SOLL-Funktion sollen Lösungsideoen gesucht werden?
	2. <b>Wettbewerb reflektieren</b>	1 Wie realisieren Wettbewerber (falls vorhanden) diese Funktion?
	3. <b>Best Practices reflektieren</b>	1 Wurde in anderen Branchen bereits eine solche Funktion realisiert? 2 Lassen sich Lösungen anderer Branchen für diese Funktion auf unseren Fall übertragen?
	4. <b>Analogien suchen</b>	1 Welche ähnlichen Konzepte gäbe es, um diese Funktion zu realisieren? 2 Gibt es in der Natur Lösungen, die diese Funktion realisieren?
	6. <b>Ideen vervollständigen</b>	1 Wodurch könnte die Funktion auch realisiert werden? 2 Wie könnte die Funktion anders realisiert werden? 3 Welche anderen Konzepte könnten diese Funktion realisieren?

<b>Anwendungsbeispiel</b>		
Kugelschreiber 		1. <b>Funktion auswählen</b> <i>Markierer übertragen</i> Markierer muss gleichmäßig dosiert und freigegeben werden
Systemhierarchie <ul style="list-style-type: none"> <li>Super-System: Papier positionieren, Stift positionieren, Stift wegstecken, Stift führen</li> <li>System: <b>Papier markieren</b></li> <li>Sub-System: Markierer übertragen, Markierer speichern/erzeugen, Handhabung ermöglichen, Befestigung ermöglichen, Verschmutzung vermeiden, Wertigkeit ausstrahlen</li> </ul>		2. <b>Wettbewerb reflektieren</b> <u>Prinzipie für Übertragung einer Markierung</u> Kugel, Tintenroller, Gelroller, Faserschreiber, ...
		3. <b>Best Practices reflektieren</b> <u>Prinzipie die in anderen Bereichen zur Markierung eingesetzt werden</u> z.B. Tintenstrahldrucker, Lasermarkierung von Oberflächen
		4. <b>Analogien suchen</b> <u>Dosierung und Übertragung von Flüssigkeiten in der Natur</u> Tintenfisch Speikobra Spinne <i>Wie können diese Beispiele für unseren Anwendungsfall genutzt werden?</i>
	<b>SOLL Betrachtung</b>	

### Anhang D.5

### Methodenpass 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren

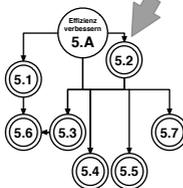
Blatt 1 von 5

**Wozu?**

- Erarbeitung von Ideen zur Effizienzsteigerung der Implementierung des WA-Objekts

**In welchem Kontext?**

Im Rahmen der Effizienzsteigerung eines WA-Objekts wird nach Kostensenkungs Ideen gesucht



Welche Chancen?	Welche Risiken?
Ganzheitliche Effizienzoptimierung des WA-Objekts	Kompletter Prozess kann aufwändig sein

Was wird benötigt?	Was wird erreicht?
IST-Funktionen des WA-Objekts	Ideen zum Trimmen von Funktionen
ggf. Kostentreibende Funktionen	Ideen zum Trimmen von Komponentent
ggf. Kostentreibende Komponenten	Ideen zur Kostensenkung von Komponentent

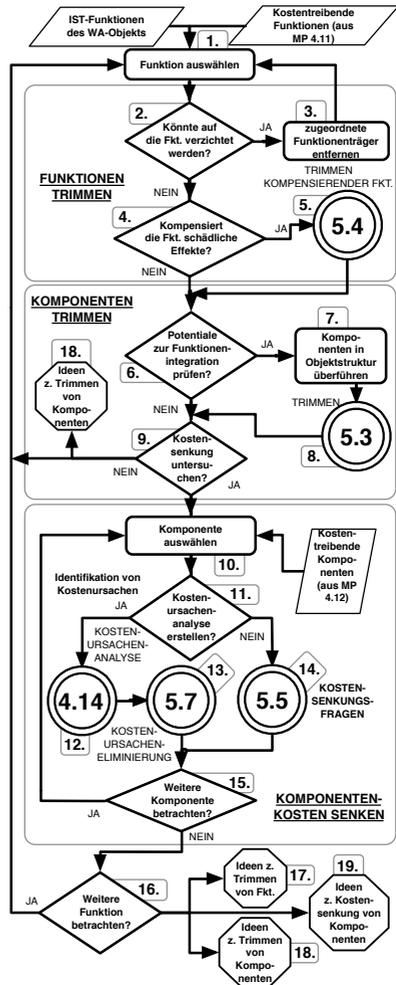
**Werkzeuge und Hilfsmittel?**

- Tabellenkalkulationsprogramm
- Kartentechnik
- ggf. unterstützende Software zur Anwendung der Kostensenkungsfragen

**Verknüpfte Systematiken?**

- 5.3 Trimmen
- 5.4 Trimmen kompensierender Funktionen
- 5.5 Fragen zur Kostensenkung
- 4.14 Kostenursachenanalyse
- 5.7 Kostenursacheneeliminierung

**Wie wird vorgegangen?**



## Anhang D.5

### Methodenpass 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren

Blatt 2 von 5

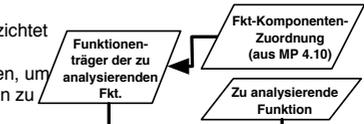
#### Wie Moderieren?



1. Welche Funktion des WA-Objekts soll betrachtet werden?  
Entscheidung auf Basis bspw. von:  
 1. Kostentreibende Funktionen zuerst  
 2. Kostenanteil der Funktionen



1. Könnte auf die Funktion verzichtet werden?  
 2. Was müsste geändert werden, um auf diese Funktion verzichten zu können?



- Alternativ  
 Ist die Funktion eine kompensierende Funktion?



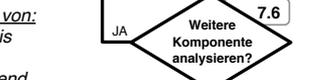
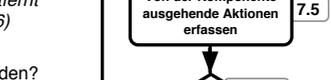
- Soll das WA-Objekt auf Möglichkeiten zur Funktionenintegration untersucht werden?  
Entscheidung auf Basis bspw. von:  
 1. Viele kostentreibende Komponenten (siehe Ergebnis MP 4.12)  
 2. Viele kleinere / weniger bedeutende / wenige Aktionen ausführende Funktionsträger (siehe Ergebnis MP 4.6)  
 3. Viele Funktionsträger, die weit von der Zielkomponente entfernt sind (siehe Ergebnis MP 4.6)



- Welche BG soll betrachtet werden?  
Entscheidung auf Basis bspw. von:  
 1. Teure Baugruppen (auf Basis einer ABC-Analyse)  
 2. Baugruppen die kostentreibend sind (siehe Ergebnis MP 4.12)  
 3. An kostentreibenden Funktionen beteiligte Baugruppen (siehe Ergebnis MP 4.11)



1. Sind die Ursachen der Kosten dieser Komponente unklar?  
 2. Sind die Auswirkungen von Entwicklungsentscheidungen in der Komponente unklar?



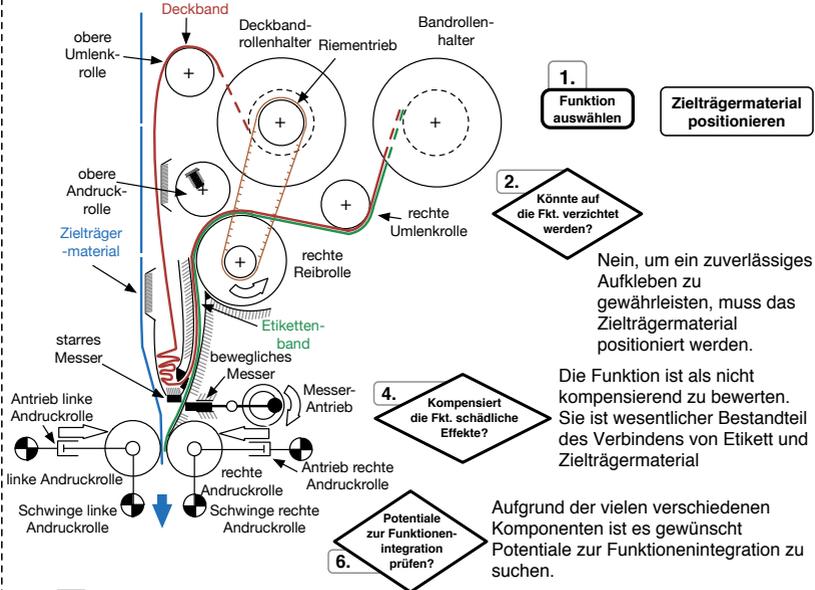
Anhang D.5

Methodenpass 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren

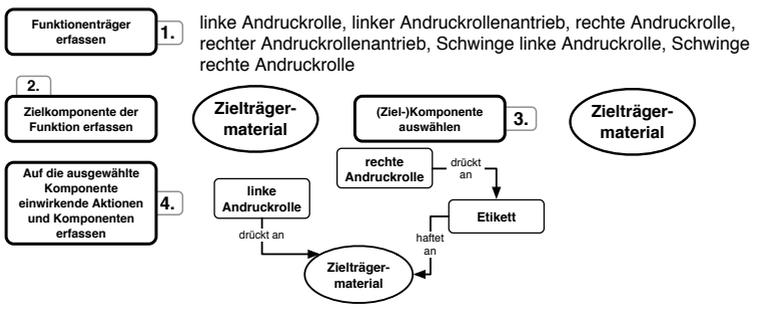
Anwendungsbeispiel

Funktionenintegration einer Etikettenklebemaschine

Prinzipskizze 4 Antriebe, 19 Komponenten



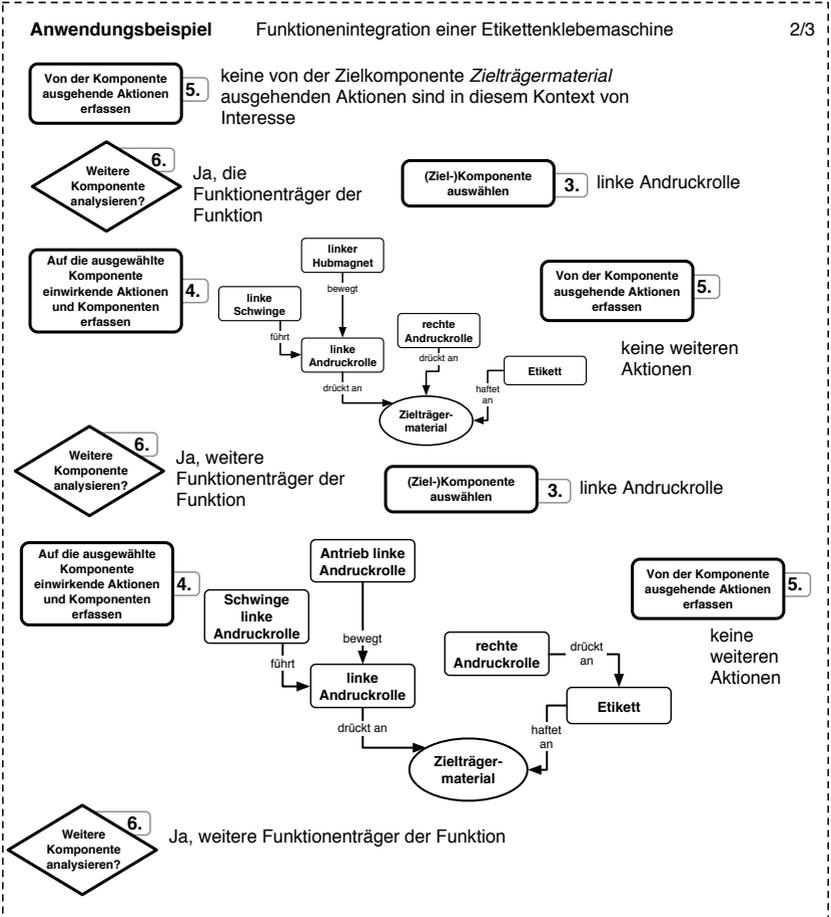
7. Für die Funktion *Zielträgermaterial positionieren* werden alle relevanten Komponenten und Interaktionen analysiert. Dazu wird die in MP 5.2 Blatt 2 dargestellte Vorgehensweise genutzt. Empfehlung: Mindestens für die Zielkomponente und für den Funktionsträger der ausgewählten Funktion modellieren.



Anhang D.5

Methodenpass 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren

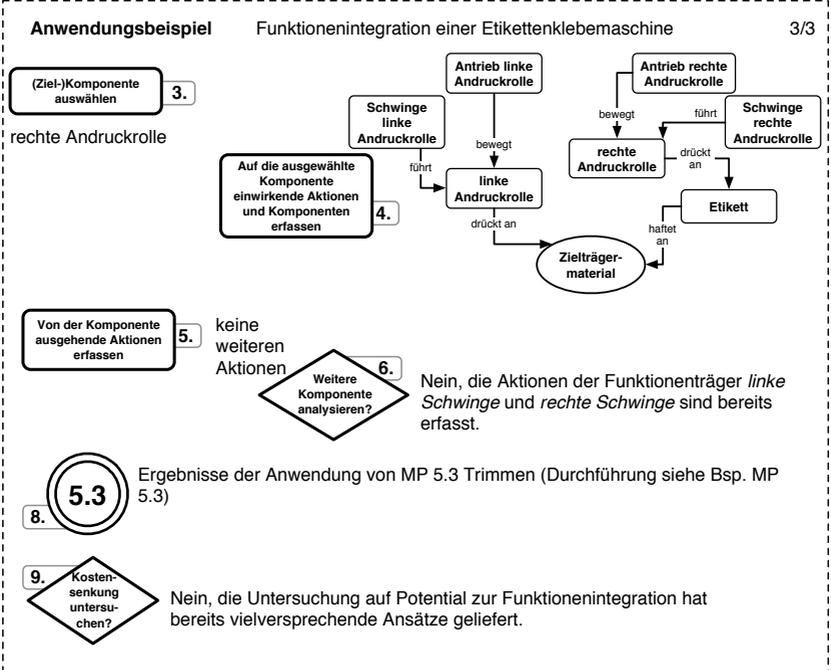
Blatt 4 von 5



Anhang D.5

Methodenpass 5.2 Kosten/Funktionalität optimieren

Blatt 5 von 5



**Anhang D.6  
Methodenpass 5.3 Komponenten trimmen**

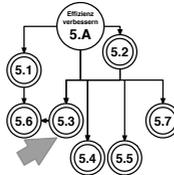
Blatt 1 von 4

**Wozu?**

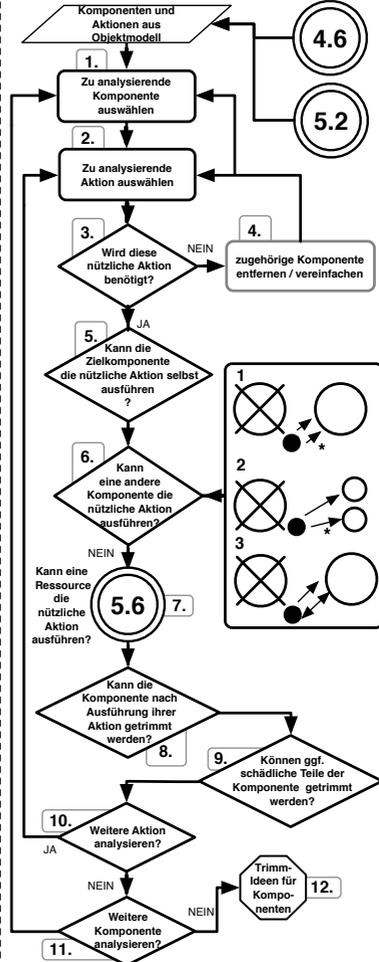
- Effizienzsteigerung durch systematisches Überprüfen von Möglichkeiten zur Funktionenintegration

**In welchem Kontext?**

Im Rahmen der Effizienzsteigerung eines WA-Objekts wird nach Ideen zur Funktionenintegration gesucht



**Wie wird vorgegangen?**



Welche Chancen?	Welche Risiken?
Entwicklung von Ansätzen zur Funktionenintegration im WA-Objekt.	

Was wird benötigt?	Was wird erreicht?
Komponenten und Aktionen des WA-Objekts (Aus MP 4.6 oder MP 5.2)	Ideen zur Eliminierung von Komponenten unter Beibehaltung der vorhandenen Funktionen (Funktionenintegration)

- Werkzeuge und Hilfsmittel?**
- Tabellenkalkulationsprogramm

- Verknüpfte Systematiken?**
- 4.6 Objektmodellierung
  - 5.2 Kosten und Funktionalität optimieren
  - 5.6 Ressourcenentwicklung

- Weiterführende Literatur? Anmerkungen?**
- [INVENTION 2000], [GADD 2011], [KOLTZE et.al. 2011]

**Anhang D.6**

**Methodenpass 5.3 Komponenten trimmen**

**Wie Moderieren?**

- Übergeordnete Moderationsfragen



Wird diese nützliche Aktion wirklich benötigt?

**Wenn die nützliche Aktion entfällt, kann auch die ausführende Komponente entfallen**

- 1 Wird diese nützliche Aktion wirklich benötigt?
- 2 Könnte die Aktion überflüssig gemacht werden?



Kann das Objekt die nützliche Aktion selbst ausführen?

**Wenn die nützliche Aktion durch das Objekt selbst ausgeführt wird, kann die bisher ausführende Komponente entfallen**

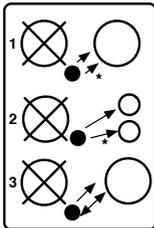
- 1 Kann das Objekt die nützliche Aktion selbst ausführen?
- 2 Kann die Aktion durch das Objekt selbst ausgeführt werden?



Kann eine andere Komponente die nützliche Aktion ausführen?

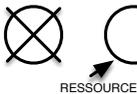
**Wenn eine andere Komponente die Aktion günstiger ausführen kann, kann die bisher ausführende teurere Komponente entfallen**

- 1 Kann eine andere Komponente die nützliche Aktion ausführen?
- 2 Könnte die Aktion von einer anderen Komponente ausgeführt werden?



**3 Fälle zur Übertragung von Aktionen auf andere Komponenten**

- 1 Kann die Aktion von einer anderen Komponente ausgeführt werden, die bereits eine ähnliche Aktion am Objekt ausführt?
- 2 Kann die Aktion von einer anderen Komponente ausgeführt werden, die bereits eine ähnliche Aktion an einem anderen Objekt ausführt?
- 3 Kann die Aktion von einer anderen Komponente ausgeführt werden, die bereits in irgendeiner Form mit dem Objekt interagiert?



Kann eine Ressource die nützliche Aktion ausführen?

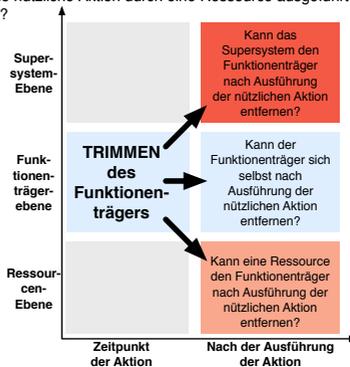
**Wenn eine im System vorhandene oder aus dem Systemumfeld leicht nutzbare Ressource die Aktion ausführen kann, kann die bisher ausführende Komponente entfallen**

- 1 Kann eine Ressource die nützliche Aktion ausführen?
- 2 Kann die nützliche Aktion durch eine Ressource ausgeführt werden?



**Wenn die Komponente nach Ausführung ihrer nützlichen Aktion eliminiert werden kann, dann kann Sie möglicherweise günstiger realisiert werden**

- 1 Kann die Komponente nach Ausführung ihrer Aktion getrimmt werden?
- 2 Kann nach Ausführung der nützlichen Aktion die ausführende Komponente eliminiert werden?



Anhang D.6

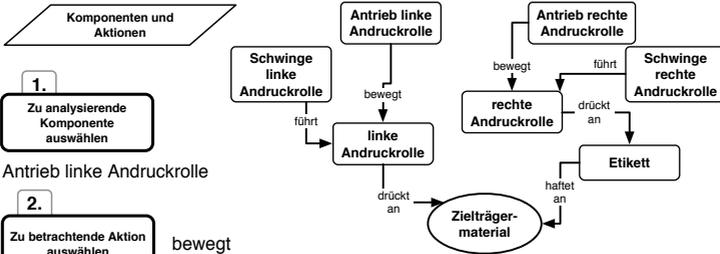
Methodenpass 5.3 Komponenten trimmen

Blatt 3 von 4

Anwendungsbeispiel

Funktionenintegration einer Etikettenklebmaschine

1/2



1. Zu analysierende Komponente auswählen

Antrieb linke Andruckrolle

2. Zu betrachtende Aktion auswählen

bewegt

3. Wird diese nützliche Aktion wirklich benötigt?

Nein, der Antrieb könnte entfallen. Eine stationäre Andruckrolle würde genügen. Dann könnte auch die Schwinge entfallen.

4. zugehörige Komponente entfernen / vereinfachen

Andruckrolle gestellfest lagern

1. Zu analysierende Komponente auswählen

linke Andruckrolle

2. Zu betrachtende Aktion auswählen

drückt an

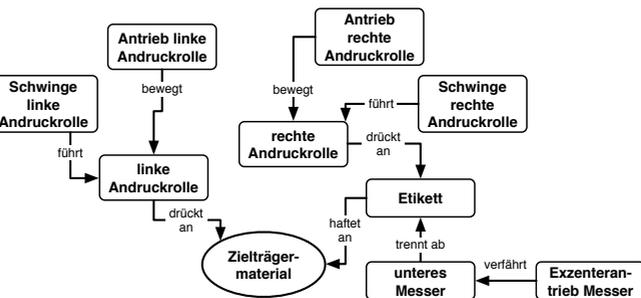
6. Kann eine andere Komponente die nützliche Aktion ausführen?

Kann die Aktion „drückt an“ von einer anderen Komponente ausgeführt werden, die bereits in ähnlicher Form mit einem anderen Objekt interagiert?

Die rechte Andruckrolle könnte diese Aktion mit übernehmen. Es ist lediglich ein stationäres Gegenhalten erforderlich.

1. Zu analysierende Komponente auswählen

Über eine weitere Iteration im MP 5.2 wurde das Objektmodell für die Funktion *Messer bewegen* um die Komponenten unteres *Messer* und *Exzenterantrieb Messer* erweitert



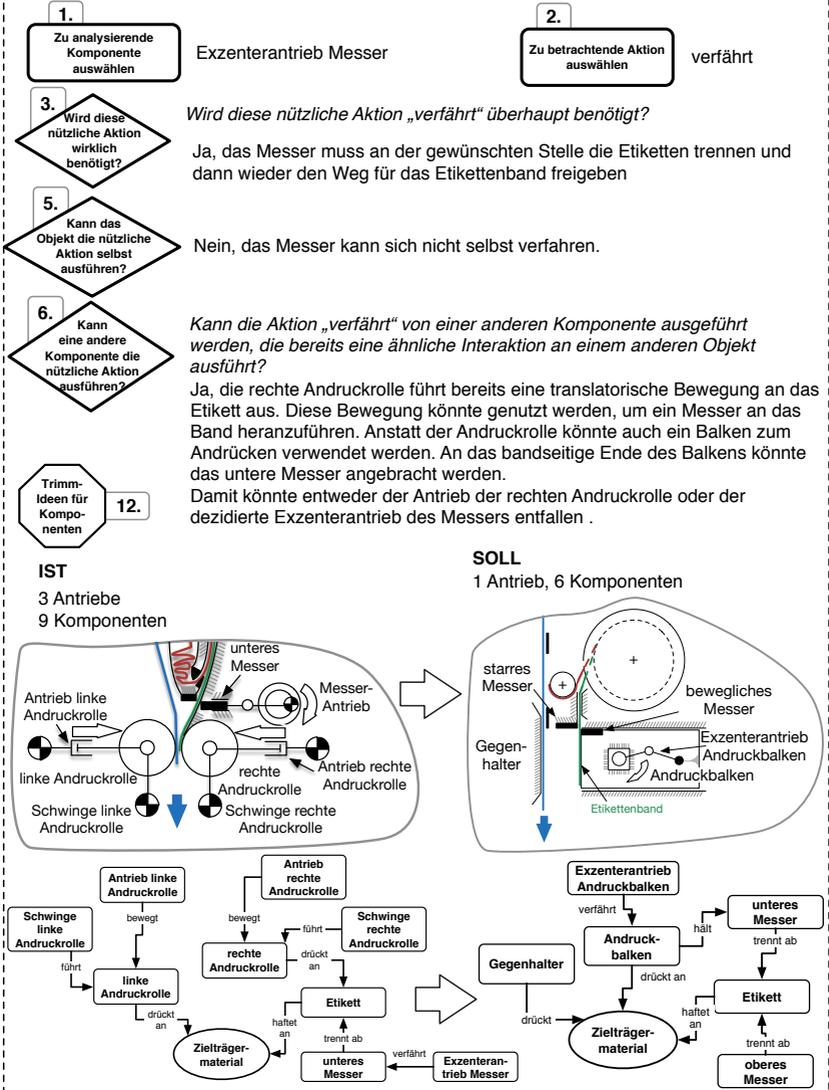
Anhang D.6

Methodenpass 5.3 Komponenten trimmen

Anwendungsbeispiel

Funktionenintegration einer Etikettenklebmaschine

2/2



**Anhang D.7**

**Methodenpass 5.4 Kompensierende Funktionen trimmen**

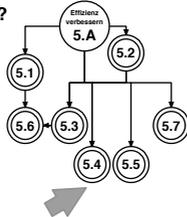
Blatt 1 von 3

**Wozu?**

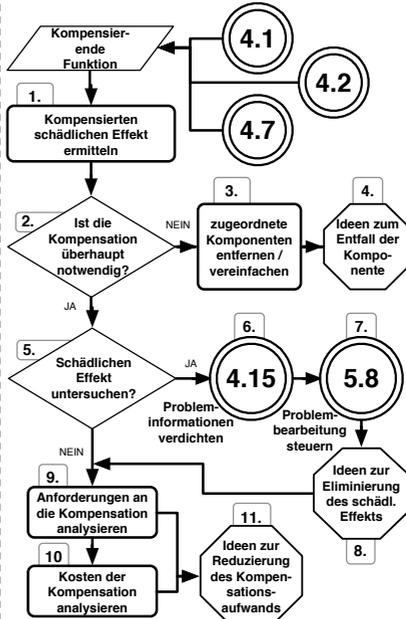
- Effizienzsteigerung durch Eliminieren oder Kostenreduzierung von Kompensationsmaßnahmen im WA-Objekt

**In welchem Kontext?**

Im Rahmen der Effizienzsteigerung eines WA-Objekts wird nach Ideen zur Eliminierung oder Kostensenkung von Kompensationsmaßnahmen gesucht



**Wie wird vorgegangen?**



Welche Chancen?	Welche Risiken?
Schaffung eines Bewusstseins für teure Kompensationsmaßnahmen	

Was wird benötigt?	Was wird erreicht?
Als kompensierend identifizierte Funktion des WA-Objekts	Ideen zur Eliminierung oder Kostensenkung von Kompensationsmaßnahmen

**Werkzeuge und Hilfsmittel?**

- Tabellenkalkulationsprogramm

**Weiterführende Literatur? Anmerkungen?**

- [WIGGER et.al. 2011]

**Verknüpfte Systematiken?**

- 4.15 Probleminformationen verdichten
- 5.8 Problembearbeitung steuern

## Anhang D.7

### Methodenpass 5.4 Kompensierende Funktionen trimmen

#### Wie Moderieren?

- Übergeordnete Moderationsfragen

1. **Kompensierten schädlichen Effekt ermitteln**
- 1 Welche schädliche Wirkung macht eine Kompensation notwendig?
  - 2 Wie wirkt der schädliche Effekt?
  - 3 Wodurch entsteht der schädliche Effekt?
  - 4 Welche Anforderung macht eine Kompensation notwendig?
  - 5 Was wäre das ideale Ergebnis der Problembearbeitung?
  - 6 Wurde das Problem bereits früher gelöst? Wie?

2. **Ist die Kompensation überhaupt notwendig?**
- 1 Kann die Kompensation entfallen?
  - 1 Kann die schädliche Wirkung eliminiert werden?

5. **Schädlichen Effekt untersuchen?**
- 1 Soll die schädliche Wirkung untersucht werden?

8. **Anforderungen an die Kompensation analysieren**
- 1 Kann die Anforderung reduziert / eliminiert / umgangen werden?

9. **Kosten der Kompensation analysieren**
- 1 Kann die Kompensation günstiger erfolgen?
  - 2 Wäre eine etwas geringere Kompensation immer noch gut genug?
  - 3 Könnte durch einen anderen Fkt-Träger günstiger kompensiert werden?
  - 4 Könnte ein anderer Fkt-Träger die Kompensation mit übernehmen?

Anhang D.7

Methodenpass 5.4 Kompensierende Funktionen trimmen

Anwendungsbeispiel

Kompensationen in einem System zur elektrischen Lenkunterstützung

Vorgehensweise zusammengefasst für drei kompensierende Funktionen

<u>Kompensierende Funktionen:</u>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Wärme ableiten</li> <li>2 Spannungsrippel minimieren</li> <li>3 Abstrahlung (EMV) minimieren</li> </ol>
-----------------------------------	--

1. **Kompensierten schädlichen Effekt ermitteln**

- 1 Verlustwärme durch elektrischen Widerstand heizt System auf.
- 2 Auftretende Spannungsrippel stören das Bordnetz.
- 3 Die auftretenden elektromagnetischen Felder beeinflussen die Bauteile des WA-Objekts.

2. **Ist die Kompensation überhaupt notwendig?**

- 1 Kompensation ist im IST-Zustand notwendig, da sonst die Spezifikation bezüglich Temperaturbereich nicht erfüllt wird
- 2 Kompensation ist notwendig, da sonst das System schädliche Auswirkungen auf das Obersystem hat.
- 3 Kompensation ist notwendig, da sich sonst die Bauteile gegenseitig stören und dadurch das System nicht zuverlässig arbeitet.

5. **Schädlichen Effekt untersuchen?**

Ursache aller drei schädlichen Effekte ist der hohe vorhandene Stromfluss. Daraus ergeben sich für die drei Kompensationen aus der Problemanalyse zwei Fragestellungen:

- 1 Kann der Stromfluss reduziert werden (Erhöhung der Versorgungsspannung, Verstärkung des Magnetfeldes, etc.)? Dies würde die Verlustwärme und die Amplitude der Spannungsrippel verringern.
- 2 Kann der elektrische Widerstand der Bauteile verringert werden?

8. **Anforderungen an die Kompensation analysieren**

Kompensationsanforderung kann nicht umgangen werden.

9. **Kosten der Kompensation analysieren**

Eine Kostensenkung ergibt sich mit einem verringerten Stromfluss, da dann Komponenten zur Kompensation des EMV und der Spannungsrippel entfallen könnten und die passive Kühlung weniger aufwändig realisiert werden könnte.

**Anhang D.8**

**Methodenpass 5.5 Kostensenkungsfragen anwenden**

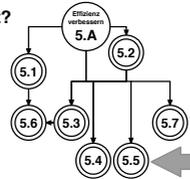
**Blatt 1 von 2**

**Wozu?**

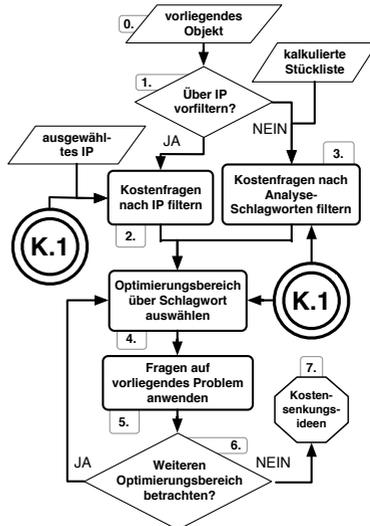
- Anregung der Kreativität in einer Kostensenkungs-Ideenfindung

**In welchem Kontext?**

Im Rahmen der Effizienzsteigerung eines WA-Objekts wird nach Ideen zur Kostensenkung im WA-Objekt gesucht



**Wie wird vorgegangen?**



**Welche Chancen?**

Systematisches Abarbeiten kostenrelevanter Schwerpunkte in einem WA-Objekt

**Welche Risiken?**

**Was wird benötigt?**

Analyse-Objekt  
kalkulierte Stückliste des WA-Objekts  
Kostensenkungsfragen

**Was wird erreicht?**

Ideen zur Kostensenkung

**Verknüpfte Systematiken?**

- K.1 Sammlung von Fragen zur Kostensenkung

**Werkzeuge und Hilfsmittel?**

- Tabellenkalkulationsprogramm
- ggf. Software zur Handhabung der Kostensenkungsfragen

**Wie**

**Modifizieren?**

**Analyse-Schlagworte**

Welches Analyse-Schlagwort trifft zu?

3. **Kostenfragen nach gewünschten Analyse-Schlagworten filtern**

**Analyse-Schlagworte**

- 1 Materialkosten
- 2 Rüstkosten
- 3 Bearbeitungskoste
- 4 Montagekosten
- 5 Verteilkosten
- 6 Prüfkosten

4. **gewünschten Optimierungsbereich über Schlagwort auswählen**

**Optimierungs-Tags**

Welcher Optimierungsbereich soll betrachtet werden?

**Optimierungs-Schlagworte**

- 1 Funktion
- 2 Anforderung
- 3 Gestaltung
- 4 Materialwahl
- 5 Bezugsart
- 6 Variantenvielfalt
- 7 Betriebsmittel
- 8 Fertigungsoptimierung
- 9 Montageoptimierung
- 10 Prüfoptimierung
- 11 Distribution

5. **Fragen auf vorliegendes Problem anwenden**

Wie könnte dieser vorgeschlagene Lösungsansatz zur Kostensenkung benutzt werden?

**Anhang D.8**

**Methodenpass 5.5 Kostensenkungsfragen anwenden**

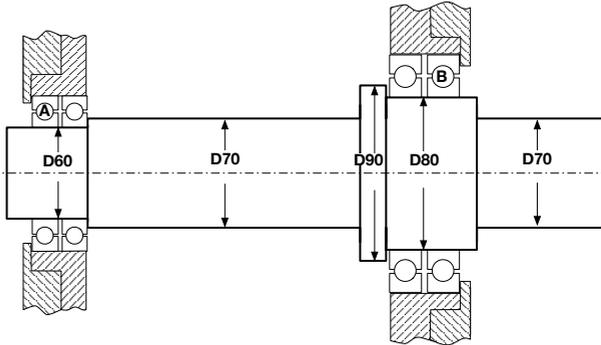
**Blatt 2 von 2**

**Anwendungsbeispiel**

Kostensenkung einer Welle eines Getriebes

Einschätzung aus der kalkulierten Stückliste

Der Baugruppe wird das Analyse-Schlagwort *Bearbeitungskosten* zugeordnet.



3. **Kostenfragen nach gewünschten Analyse-Schlagworten filtern**

Der Baugruppe wird das Analyse-Schlagwort *Bearbeitungskosten* zugeordnet.

4. **gewünschten Optimierungsbereich über Schlagwort auswählen**

Optimierungs-Schlagwort: *Gestalten* (Auszug) Sind geringere Oberflächenqualitäten und Toleranzen möglich?  
Kann die Anzahl von Bearbeitungsflächen reduziert werden?  
Könnte eine Umgestaltung des Teils Materialabfall reduzieren?

Optimierungs-Schlagwort: *Fertigungsoptimierung* (Auszug) Können unterschiedliche Abmessungen vereinheitlicht werden?  
Könnte durch eine Umgestaltung die Anzahl der notwendigen Fertigungsgänge reduziert werden?  
Könnte die Wegnahme von Material die Dauer der Fertigungsgänge reduzieren?  
Kann das Teil als Schmiedeteil hergestellt werden?

Optimierungs-Schlagwort: *Bezugsart* (Auszug) Kann ein ähnliches, bereits vorhandenes Teil genutzt werden?  
Wäre der Fremdbezug des Teils günstiger?  
Könnte die Wegnahme von Material die Dauer der Fertigungsgänge reduzieren?  
Kann das Teil als Schmiedeteil hergestellt werden?

5. **Fragen auf vorliegendes Problem anwenden**

Die ermittelten Fragen werden auf die Problemstellung angewendet

**Anhang D.9**

**Methodenpass 5.6 Ressourcen entwickeln**

**Blatt 1 von 3**

**Wozu?**

- Anregung der Kreativität über die Fokussierung auf (vorhandene) Ressourcen zur Umsetzung von Funktionen

---

**In welchem Kontext?**

Im Rahmen der Effizienzsteigerung eines WA-Objekts wird nach Ideen zur Nutzung (vorhandener) Ressourcen im WA-Objekt gesucht

**Wie wird vorgegangen?**

**DEFINIEREN: WARUM, WO und WANN notwendig**

**REIHENFOLGE: 1. UNVERÄNDERT, 2. KOMBINIERT, 3. MODIFIZIERT**

Welche Chancen?	Welche Risiken?
Systematische Nutzung vorhandener Ressourcen in einem WA-Objekt	Überforderung der Teammitglieder durch hohen Abstraktionsgrad des Ressourcenkonzepts

Was wird benötigt?	Was wird erreicht?
Funktionen / Aktionen des WA-Objekts	Ideen zur Effizienzsteigerung für das WA-Objekt
Komponenten des WA-Objekts	
Informationen zum Umfeld des WA-Objekts	

**Werkzeuge und Hilfsmittel?**

- Tabellenkalkulationsprogramm

**Verknüpfte Systematiken?**

- K.9 TRIZ-Ressourcen

**Weiterführende Literatur? Anmerkungen?**

- [GADD 2011], [PANNENBÄCKER 2007], [MÜLLER 2006], [ZLOTIN 2005], [MANN 2002]

## Anhang D.9

### Methodenpass 5.6 Ressourcen entwickeln

### Blatt 2 von 3

#### Wie Moderieren?

1. 

Funktion / Aktion beschreiben
-------------------------------------

  - 1 Warum wird diese Funktion/Aktion benötigt?
  - 2 Wann ist die Funktion / Aktion notwendig?
  - 3 Wo ist die Funktion / Aktion notwendig?
  
2. 

Ressourcen sammeln
-----------------------

  - 1 Welche Ressourcen sind vorhanden?

#### MÖGLICHE RESSOURCEN

Alles was im System und Systemumfeld nutzbar ist: Systeme, Substanzen, Komponenten

Ressourcen die im System oder aus dem Systemumfeld auf oder um die Komponenten wirken: Umgebungstemperatur, Luft, Sonnenlicht, Schwerkraft, Druck, Wärme, Geräusche, Geschmack, Licht, Kälte, Energie im System und der Systemumgebung, Kräfte im System oder im Systemumfeld.

Räumliche Elemente Volumen, Leerräume und Mangel an Volumen

Zeitliche Elemente Jegliche Pausen, Leerläufe, Parallele Aktionen, Kombinierte Aktionen, Vorausgehende Aktionen, Vorausgehende Platzierung von Elementen, etc.

Interaktionen Jegliche Aktionen, Reaktionen oder Ereignisse zum Betrachtungszeitpunkt, auch banale, schwer sichtbare, schon immer vorhandene Interaktionen

Problemeffekte und -ursachen Jegliches, was zum Zeitpunkt des Problems auftritt. Alles schädliche, unangenehme, Abweichungen von der Norm, etc.

4. 

Ressource analysieren
--------------------------

  - Unverändert:
    - 1 Kann die unveränderte Ressource die gewünschte Funktion/Aktion ausführen?
    - 2 Besitzt die unveränderte Ressource eine Wirkung, die genutzt werden kann?

#### Kombiniert mit anderen Ressourcen:

- 1 Kann die Ressource, kombiniert mit einer anderen Ressource die gewünschte Funktion/Aktion ausführen?
- 2 Besitzt die Ressource in Kombination mit einer anderen Ressource eine Wirkung, die genutzt werden kann?

#### Modifiziert

- 1 Kann die Ressource so modifiziert werden, dass die gewünschte Funktion/Aktion ausgeführt werden kann?

## Anhang D.9

### Methodenpass 5.6 Ressourcen entwickeln

Blatt 3 von 3

#### Anwendungsbeispiel

Detektion von Überhitzung durch Temperaturmessung an einem Gleitlager

Bsp. adaptiert aus [TERNINKO et al. 1998]

Im IST-Zustand wird ein Thermofühler im System zur Temperaturmessung eingesetzt. Eine alternative Möglichkeit zur Temperaturmessung wird gesucht

Die Funktion *Temperatur messen* wird zur Ressourcenanalyse ausgewählt

1. **Funktion / Aktion beschreiben**
- Warum? Zu hohe Temperaturen müssen detektiert werden um ein Abschalten zu ermöglichen und dadurch das Getriebe zu schützen.  
Wann? Während des Betriebs des Getriebes.  
Wo? Innerhalb des Getriebegehäuses

2. **Ressourcen sammeln**
- Welche Ressourcen sind vorhanden?
- Komponenten: Welle, Festlager, Gleitlager, Gehäuse, Zahnräder, Luft im Gehäuse, Öl im Gehäuse  
Ressourcen die auf Komponenten wirken: Kräfte durch mechanische Leistungsübertragung, Wärme aus mechanischer Reibung, Schwerkraft, Schwingungen des Systemumfelds  
Räumlich: Leervolumen im Gehäuse, Räumliche Anordnung der Komponenten  
Zeitlich: Zeitdauer, die das Getriebe in Betrieb ist  
Interaktionen: ...  
Problemeffekte und -ursachen: Hohe Wärmeentwicklung verursacht Wärmedehnung. Verschleiß der Zahnflanken durch mech. Reibung.

3. **Ressource auswählen**
- Gleitlager

4. **Ressource analysieren**
- Besitzt die Ressource *Gleitlager* in Kombination mit einer anderen Ressource eine Wirkung, die zur *Temperaturmessung* genutzt werden kann?

Einsatz der Ressource *Gleitlager* in Verbindung mit der aus dem Problemeffekt *Wärmedehnung* entstehenden Ressource

Durch steigende Temperaturen im Getriebe verringert sich im Gleitlager der Spalt zwischen dem Innenring und dem Außenring. Wenn der Innenring als kapazitiver Geber und der Außenring als kapazitiver Widerstand genutzt werden, kann mit Hilfe einer Messanordnung



## Anhang D.10

### Methodenpass 5.7 Kostenursachen eliminieren

Blatt 2 von 5

#### Wie Moderieren?

1.

Widerspruchs-  
konstellation auswählen

Welcher Widerspruch sollte ausgewählt werden?

- Priorisieren der Widersprüche durch Einteilung in 5 Fälle (Unabhängig, Abhängige, Ursächlich zusammenhängende, Wurzel-, Komplex-Zusammenhängende Widersprüche)
- siehe Erläuterung in 5.8.2

3.  
Welche  
Lösungs-  
strategie  
?

- Welche Lösungsstrategie sollte verfolgt werden? Technischer Widerspruch, physikalischer Widerspruch oder die direkte Anwendung der Kostensenkungsfragen?
- tbd.

4.  
Separations-  
prinzipien  
auswählen

Welche Separationsprinzipien sollen verwendet werden?

- Im Regelfall werden alle 4 Separationsprinzipien betrachtet.

5.  
Technische Parameter  
zuordnen

Welcher technische Parameter ist positiv? Welcher technische Parameter ist negativ?

- siehe Widerspruchsmatrix in 5.C

7.  
Innovationsprinzip  
ermitteln

Welche Innovationsprinzipien ergeben sich aus den Kombinationen der gewählten technischen Parameter?

- siehe Widerspruchsmatrix in 5.C

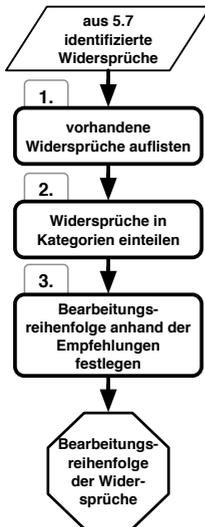
## Anhang D.10

### Methodenpass 5.7 Kostenursachen eliminieren

Blatt 3 von 5

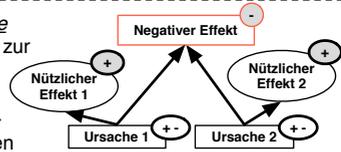
#### Wie Moderieren?

- Priorisieren von Widersprüchen



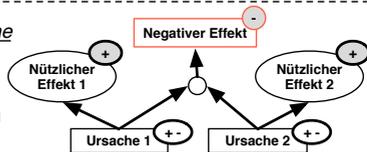
#### Unabhängige Widersprüche

Alle Widersprüche müssen zur Problemlösung eliminiert werden - Nach Grad des Problembetrags in Reihenfolge bringen und bearbeiten



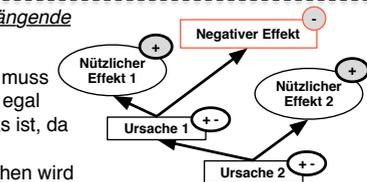
#### Abhängige Widersprüche

Einer der Widersprüche muss eliminiert werden. Welcher ist einfacher zu eliminieren?



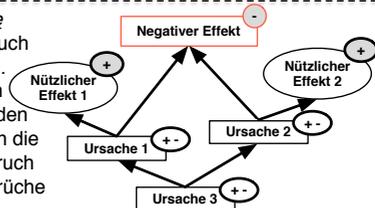
#### Ursächlich zusammenhängende Widersprüche

Einer der Widersprüche muss eliminiert werden. Es ist egal welcher Widerspruch das ist, da immer die Kette der Widersprüche unterbrochen wird



#### "Wurzel"-Widersprüche

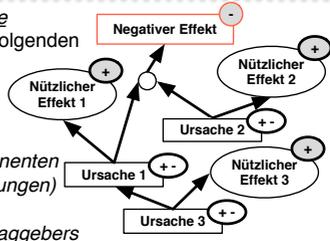
Der "Wurzel"-Widerspruch muss eliminiert werden. Falls dies aufgrund von fehlenden Freiheitsgraden nicht möglich ist, sollten die vom "Wurzel"-Widerspruch ausgehenden Widersprüche eliminiert werden



#### Komplex-Zusammenhängende-Widersprüche

Zu eliminierende Widersprüche anhand der folgenden Kriterien auswählen

- Anzahl der involvierten Elemente (je weniger desto besser)
- Komponenten gehören bevorzugt zum betrachteten System (Supersystem-Komponenten bieten oft weniger Freiheitsgrade für Änderungen)
- Einfach zu modifizieren
- Entsprechen der überg. Strategie des Auftraggebers



Anhang D.10

Methodenpass 5.7 Kostenursachen eliminieren

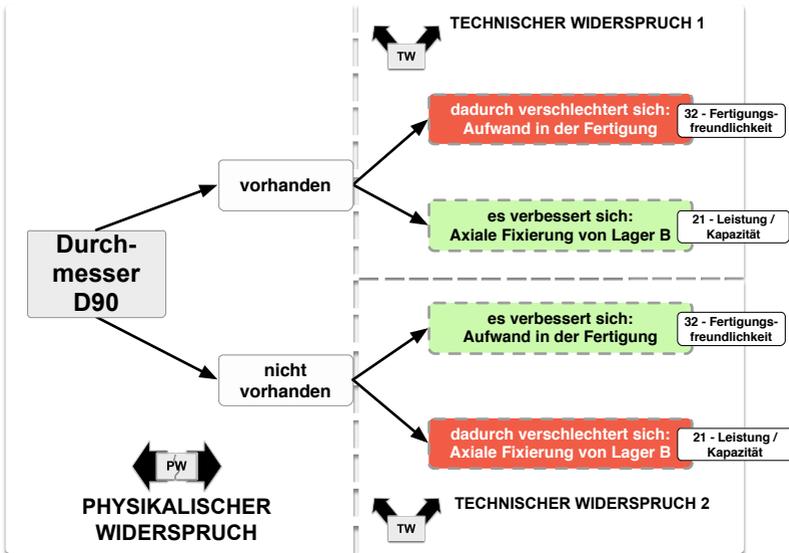
Anwendungsbeispiel Fortsetzung des Beispiels aus MP

1/2

1.

Widerspruchskonstellation auswählen

Widerspruch, hervorgerufen durch den Absatz D90.  
 WENN der Absatz D90 vorhanden ist,  
 DANN wird das Lager B axial fixiert,  
 ABER der Aufwand in der Fertigung ist hoch



3. Welche Lösungsstrategie?

Strategie Lösung Technischer Widerspruch und Kostensenkungsfragen

5. Technische Parameter zuordnen

WENN der Absatz D90 vorhanden ist,  
 DANN steigt die *Leistung/Kapazität* (21) der Welle ein Drehmoment zu übertragen,  
 ABER die *Fertigungsfreundlichkeit* (32) wird schlechter, da sehr viel Material abgedreht werden muss.

**Anhang D.10**

**Methodenpass 5.7 Kostenursachen eliminieren**

**Blatt 5 von 5**

**Anwendungsbeispiel (Fortsetzung)**

2/2

**7.**  
Innovationsprinzip ermitteln

**Innovationsprinzipie aus der Widerspruchsmatrix**

- 1x 1 - Zerlegung
- 1x 10 - Vorgezogene Aktion
- 1x 12 - Äquipotential
- 1x 24 - Vermittler
- 1x 26 - Kopieren
- 1x 27 - Billige Kurzlebigkeit statt teurer Langlebigkeit
- 1x 34 - Beseitigung und Regeneration von Teilen

**Kostensenkungsfragen**

zu IP 1 - Zerlegen  
*Optimierungs-Schlagwort Gestaltung*

- Kann das Teil in mehrere in Summe günstigere Teile zerlegt werden?
- Wäre es günstiger das Teil in mehrere Gleich- / Wiederholteile zu zerlegen?
- Kann das komplizierte Teil in einfachere Teile aufgetrennt werden?

zu IP 24 - Vermittler  
*Optimierungs-Schlagwort Gestaltung*

- Können Zwischenobjekte innerhalb der BG verwendet werden, um die Kosten zu senken?

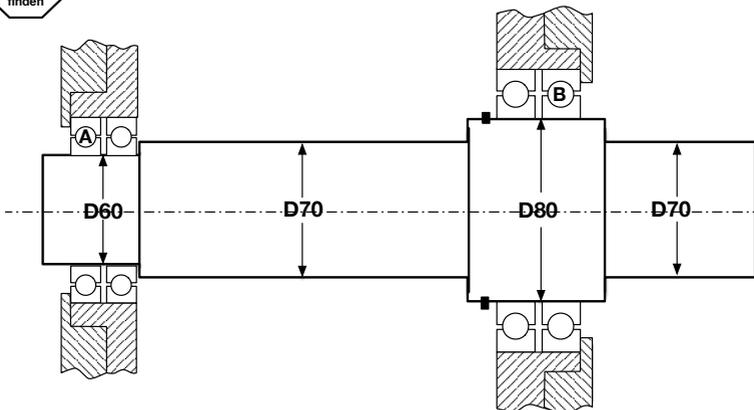
...

Durch Anwendung der Widerspruchsmatrix werden die obenstehenden IP ermittelt. Zusätzlich werden über die Anwendung von MP 5.5 die aufgeführten Kostensenkungsfragen genutzt.

**9.** Ideen aus IP finden

Ideen aus Kostenfragen finden **10.**

Die IP schlagen die Zerlegung des Konfliktpaares Welle und Absatz. Zusätzlich wird der Einsatz eines vermittelnden Elements vorgeschlagen. In ähnliche Richtungen zielen die ermittelnden Kostensenkungsfragen. Eine Lösungsidee ist, den Absatz D90 und die Welle durch den Einsatz eines Sicherungsrings zu zerlegen. Dieser agiert als ein vermittelndes Objekt.



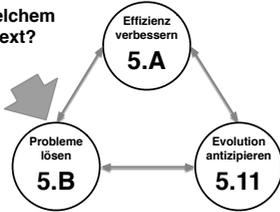
**Anhang D.11  
Methodengruppe 5.B Probleme lösen**

**Blatt 1 von 1**

**Wozu?**

Die MG 5.B ermöglicht die *Wertverbesserung* durch die Entwicklung von Lösungsansätzen für die in der MG 4.C ganzheitlich beschriebenen Probleme. Dazu steuert sie im MP 5.9 die Anwendung zweier TRIZ-Ansätze, die für die Lösung von Problemen entwickelt wurden. Für Analyse und Lösung von Widersprüchen können die in MP 5.10 hinterlegten Techniken eingesetzt werden. Ein weiterer Ansatz für eine systematische Suche nach Lösungsansätzen ist die in MP 5.11 hinterlegte Stoff-Feld-Analyse und -Verbesserung.

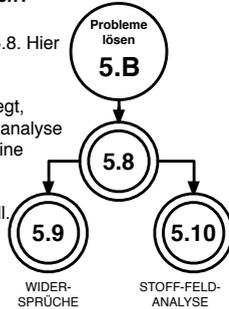
**In welchem Kontext?**



Wenn im Rahmen der Phase 4 Detailziele in Bezug auf die Lösung von Problemen des WA-Objekts festgelegt worden sind, sollten Methoden aus dieser MG zur Anwendung kommen.

**Wie wird vorgegangen?**

Die Nutzung der MG beginnt mit dem MP 5.8. Hier wird auf Basis der zur Verfügung stehenden Informationen festgelegt, ob eine Widerspruchsanalyse (siehe MP 5.9) oder eine Stoff-Feld-Analyse (siehe MP 5.10) verwendet werden soll.



**Wie wird vorgegangen? Verknüpfte Systematiken?**

<b>Probleme lösen</b>  Sollen Ideen für die Probleme gesucht werden?	Problembearbeitung steuern	Problem- informationen verdichten	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	Gibt es Widersprüche, die zu bearbeiten sind?	Widersprüche aufstellen und lösen	Stoff-Feld-Modelle aufstellen und verbessern

**Anhang D.12**

**Methodenpass 5.8 Problembearbeitung steuern**

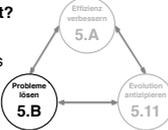
**Blatt 1 von 1**

**Wozu?**

- Systematisch Probleme aufgreifen und die Bearbeitung einleiten

**In welchem Kontext?**

Im Rahmen der Problemlösung eines WA-Objekts wird die Bearbeitung von identifizierten Problemen eingeleitet



**Welche Chancen?**

Probleme werden anhand ihres Problemgrades adäquat bearbeitet

**Welche Risiken?**

**Was wird benötigt?**

ermittelte Probleme

**Was wird erreicht?**

Auswahl der Methode zur Bearbeitung der Probleme

**Werkzeuge und Hilfsmittel?**

- Tabellenkalkulation

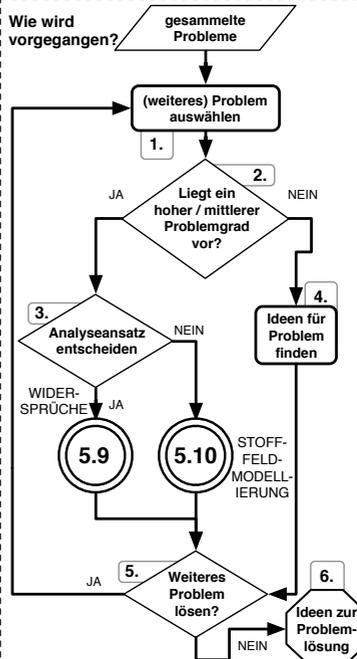
**Verknüpfte Systematiken?**

- 5.9 Widersprüche lösen
- 5.10 Stoff-Feld-Modelle aufstellen und verbessern

**Weiterführende Literatur? Anmerkungen?**

- Problemgrad siehe [JENKE 2006]

**Wie wird vorgegangen?**



**Wie Moderieren?**

**1.** (weiteres) Problem auswählen  
*Welches Problem sollte ausgewählt werden?*  
Liste der Probleme aus MP 4.15 abarbeiten

**2.** Liegt ein hoher / mittlerer Problemgrad vor?  
*Welchen Problemgrad hat das Problem?*  
siehe Einschätzung der Problemgrade aus MP 4.15

**4.** Ideen für Problem finden  
*Kategorien siehe MP 4.15*

**Mechanismus/Wirkweise des Nachteils**

- Wie könnte der Wirkmechanismus des Nachteils durchbrochen/aufgehoben werden?
- **Entwicklungshistorie des Problems**  
Kann der Zustand wiederhergestellt werden, der vor dem Auftreten des Problems vorhanden war?
- Kann der Teil der Weiterentwicklung, der das Problem verursacht, rückgängig gemacht werden?
- **Interaktionen mit anderen Problemen**  
Kann die Interaktion mit anderen Problemen abgeschwächt werden?
- Können die Auswirkungen anderer Probleme auf dieses Problem minimiert werden?

### Anhang D.13

## Methodenpass 5.9 Widersprüche formulieren und lösen Blatt 1 von 3

**Wozu?**

- Systematisch Probleme durch Widerspruchsmodellierung und -auflösung eliminieren

**In welchem Kontext?**

Im Rahmen der Problemlösung eines WA-Objekts werden die ausgewählten Probleme mit Hilfe der Widerspruchs-systematik der TRIZ behandelt

Welche Chancen?	Welche Risiken?
Nutzung von auf Patenten basierenden Prinzipien zur Lösung von Problemen	Nutzung der Prinzipbeschreibungen erfordert eine Eingewöhnung der Teammitglieder

Was wird benötigt?	Was wird erreicht?
ermittelte Probleme	Ideen zur Eliminierung des Problems
in Root Contradiction Analysis ermittelte und priorisierte Widersprüche	

**Werkzeuge und Hilfsmittel?**

- Tabellenkalkulation
- Kartentechnik

**Verknüpfte Systematiken?**

- K.5 Separationsprinzipien
- K.3 Innovationsprinzipien
- K.10 Zuordnung Innovationsprinzipien zu Separationsprinzipien

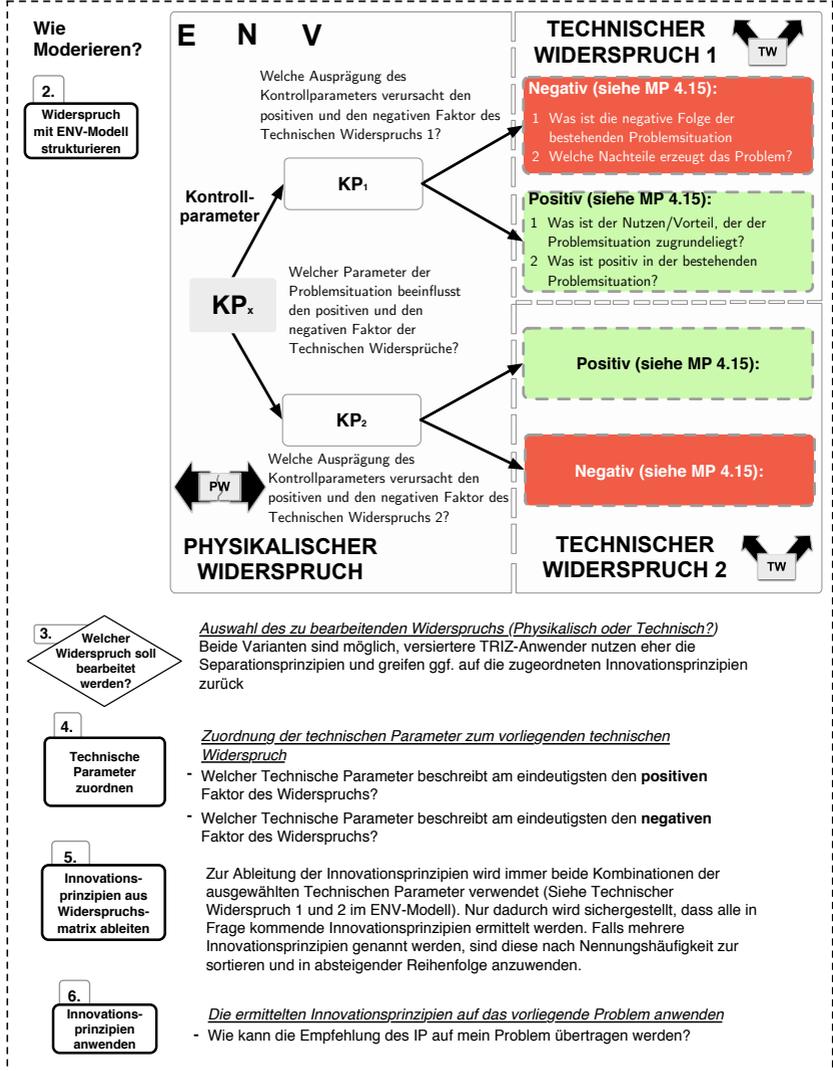
**Wie wird vorgegangen?**

**Weiterführende Literatur? Anmerkungen?**

- u.a. [CASCINI et.al. 2009], [ORLOFF 2006], [ALTSCHULLER 1998]

## Anhang D.13

### Methodenpass 5.9 Widersprüche formulieren und lösen Blatt 2 von 3



## Anhang D.13

### Methodenpass 5.9 Widersprüche formulieren und lösen Blatt 3 von 3

#### Anwendungsbeispiel

##### Nadelöhr einer Nähnaedel

Bsp. adaptiert aus [KOLTZE et al. 2011]  
Lösung patentiert in Offenlegungsschrift DE 198 49 558

Die maximalen Größe des Einstichlochs in das zu nähende Material bestimmt die maximale Größe des Nadelöhrs.

2.

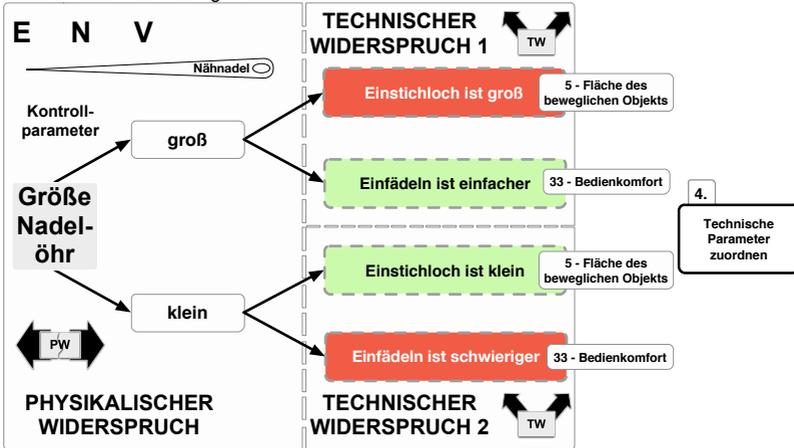
Widerspruch mit ENV-Modell strukturieren

Die Lösung ist ein Kompromiss zwischen der Einfachheit des Einfädelns des Nahtguts und der durch das Einstichloch verursachten Beschädigung des zu nähenden Material.

#### Technischer Widerspruch 1:

WENN das Nadelöhr groß ist,  
DANN wird das Einfädeln einfacher,  
einfacher,  
ABER das Einstichloch ist groß.

#### Technischer Widerspruch 2:



5.

Innovationsprinzipien aus Widerspruchsmatrix ableiten

ermittelte Innovationsprinzipien:  
2x 13 *Funktionsumkehr*  
2x 16 *Partielle oder überschüssige Wirkung*  
2x 17 *Übergang in eine höhere Dimension*  
1x 1 *Zerlegen*

6.

Innovationsprinzipien anwenden

Innovationsprinzip 15 *Dynamisierung*:  
Teile des Systems beweglich machen

=> Verwendung eines flexiblen Materials für das Nadelöhr. Groß zum Einfädeln, klein zum Einstechen

**Anhang D.14**

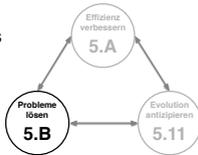
**Methodenpass 5.10 Stoff-Feld-Modelle aufstellen und verbessern**

**Wozu?**

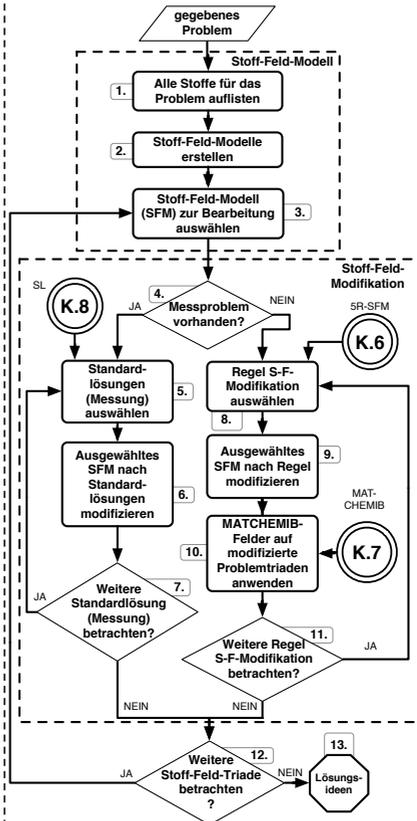
- Systematisch Probleme durch Stoff-Feld-Modellierung und -verbesserung eliminieren

**In welchem Kontext?**

Im Rahmen der Problemlösung eines WA-Objekts werden die ausgewählten Probleme mit Hilfe der Stoff-Feld-Modellierung behandelt



**Wie wird vorgegangen?**



Welche Chancen?	Welche Risiken?
5 Regeln zur Verbesserung von Stoff-Feld-Interaktionen ermöglichen	Abstraktheit des Stoff-Feld-Konzepts kann Anfänger überfordern
MATCHEMIB-Felder erweitern den Lösungshorizont	Abarbeiten der MATCHEMIB-Felder kann aufwändig sein

Was wird benötigt?	Was wird erreicht?
ermittelte Probleme	Ideen zur Eliminierung des Problems

**Werkzeuge und Hilfsmittel?**

- Tabellenkalkulation

**Verknüpfte Systematiken?**

- 5 X 76 Standardlösungen
- 5 X 5 Fälle Stoff-Feld-Modifikation
- 5 X MATCHEMIB-Felder

**Weiterführende Literatur? Anmerkungen?**

- u.a. [ALTSCHULLER 1998], [CASCINI et.al. 2009], [BELSKI 2007]

Anhang D.14

Methodenpass 5.10 Stoff-Feld-Modelle aufstellen und verbessern

*Nutzung der Innovationsprinzipien und Separationsprinzipien zur Ideengenerierung*

**Wie Moderieren?**

- Prinzipien werden als Analogien für die Ideengenerierung genutzt

**1.** **Alle Stoffe im Problemfokus auflisten**

*Welche Stoffe sind am vorliegenden Problem beteiligt?*  
*Welche Stoffe außerhalb des Problems interagieren mit den am Problem beteiligten Stoffen?*

- Alle Stoffe, die im Problemfokus interagieren, auflisten. Zusätzlich Stoffe auflisten, die im Umfeld des Problemfokus auftreten und in diesen hinein interagieren

**2.** **Stoff-Feld-Modell erstellen**

*Erstellung des Stoff-Feld-Modells*

- 1. Alle Stoffe auf Basis ihrer Interaktionen verknüpfen, jeweils das die Interaktion stützende Feld ansetzen.
- 2. Alle Interaktionen zwischen den Stoffen bewerten (nützlich, schädlich, nicht ausreichend, fehlend, exzessiv, überflüssig)

**3.** **Stoff-Feld-Modell (SFM) zur Bearbeitung auswählen**

**Konflikttriaten**  
*Welche Stoff-Feld-Triaden sind Konflikttriaten?*  
*In welcher Reihenfolge sollen die Konflikttriaten bearbeitet werden?*  
*Welche der Konflikttriaten ist am schädlichsten? Gibt es eine Konflikttriade die andere Konflikttriaten hervorruft?*

**unzureichende Stoff-Feld-Triaden**  
*Welche Stoff-Feld-Triaden sind unzureichend?*  
*Welche unzureichende Stoff-Feld-Triade stört am meisten? Welche unzureichende Stoff-Feld-Triade hat die größten Auswirkungen?*

- Bearbeitungsreihenfolge vom vorliegenden Problem abhängig.  
 Übliche Vorgehensweise:  
 1. Konflikttriaten (Stoff-Feld-Triaden mit schädlichen Interaktionen)  
 2. Unzureichende Triaden (Stoff-Feld-Triaden mit unzureichenden Interaktionen)  
 Innerhalb der beiden Gruppen muss dann noch mal priorisiert werden.

**4.** **Messproblem vorhanden?**

*Behandelt die ausgewählte Stoff-Feld-Triade ein Messproblem?*

- Ein Messproblem beinhaltet Interaktionen zur Messung oder Erkennung von Eigenschaften von Stoffen.  
 Zur Verbesserung von Stoff-Feld-Triaden die Messprobleme darstellen, sind die Standards der Klasse 4 definiert worden. Diese sollten für Messprobleme direkt angewendet werden.

**5.** **Standardlösungen (Messung) auswählen**

*Welche Standardlösung soll betrachtet werden?*

- Üblicherweise werden die 5 Standards für Mess- und Erkennungsprobleme (4.1 - 4.5) nacheinander abgearbeitet.

**6.** **Ausgewählte SFT nach Standardlösungen modifizieren**

*Was bedeutet die ausgewählte Standardlösung für die Stoff-Feld-Triade?*  
*Kann die Stoff-Feld-Triade im Sinne der Standardlösung modifiziert werden?*

**8.** **Regel S-F-Modifikation auswählen**

*Welche Regel zur Stoff-Feld-Modifikation soll untersucht werden?*

- Üblicherweise werden die 5 Regeln zur Stoff-Feld-Modifikation nacheinander abgearbeitet.

**9.** **Ausgewählte SFT nach Regel modifizieren**

*Wie muss die Stoff-Feld-Triade modifiziert werden, um der Regel zu entsprechen?*

- Hier geht es nicht zum aufwändiges Neu-Modellieren der Stoff-Feld-Triade, einfache Hilfsmittel (Stifte, Karten, IT) sind zu nutzen um den Teilnehmern die von der betreffenden Regel geforderte Änderung darzustellen

**10.** **MATCHEMID-Felder auf Problemtriaten anwenden**

*Wie könnte durch den Einsatz des Feldes X die gewünschte Modifikation umgesetzt werden?*

- Iterativ die einzelnen Felder durcharbeiten

Anhang D.14

Blatt 3 von 5

Methodenpass 5.10 Stoff-Feld-Modelle aufstellen und verbessern

1/3

Anwendungsbeispiel

Bsp. adaptiert aus [BELSKI 2007]

Verschließen von mit einer Medizin gefüllten Glasampullen

Die Glasampullen werden mit Hilfe einer Flamme verschlossen. Der Prozess ist zu langsam. Eine höhere Flammentemperatur, zur Verbesserung der Prozessgeschwindigkeit führt zu verdorbener Medizin.



1.

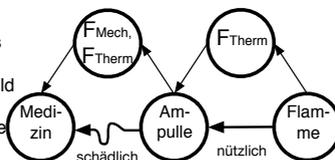
Alle Stoffe im Problemfokus auflisten

Medizin, Ampulle, Flamme

2.

Stoff-Feld-Modell erstellen

Der Stoff Ampulle hält die Medizin mittels eines mechanischen Feldes. Das zusätzlich von der Ampulle übertragene thermische Feld der Flamme hat einen schädlichen Einfluss auf die Medizin und verdirbt diese.



Der Stoff Flamme interagiert mittels eines thermischen Feldes mit der Ampulle. Die Wirkung ist hier nützlich, da eine Flamme mit hoher Intensität verwendet wird. Diese verschließt die Ampulle zuverlässig und mit hoher Geschwindigkeit.

3.

Stoff-Feld-Modell (SFM) zur Bearbeitung auswählen

Konflikttriade Medizin - Ampulle wird zur Bearbeitung ausgewählt.

8.

Regel S-F-Modifikation auswählen

9.

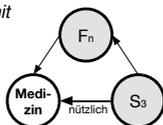
Ausgewählte SFT nach Regel modifizieren

Die Regeln in K.6 werden nacheinander angewendet (Verkürzte Darstellung)

MATCHEMIS-Felder auf Problemtriaden anwenden

Regel 1:

Finde einen Stoff mit einem Feld, der die Medizin enthalten kann und die thermische Beschädigung verhindert



Mechanisches Feld:

Direkter Kontakt, Kollisionen, etc.

Verwendung eines neuen Materials, das eine geringe Wärmeleitfähigkeit besitzt.

Thermisches Feld:

Aggregatzustände

Medizin vorab gefrieren

... Chemisches Feld:

Chemische Reaktionen, Reaktoren, Elemente und Mischungen

Additiv, dass die Medizin vor der Hitze schützt

Intermolekulares Feld:

Oberflächennahe Effekte, Evaporation, Kapillareffekt, Poröse Materialien

Medizin wird anstatt in Ampulle in einem porösen Stoff aufbewahrt.

Magnetisches Feld: ...

Biologisches Feld: ...

Anhang D.14

Methodenpass 5.10 Stoff-Feld-Modelle aufstellen und verbessern

Anwendungsbeispiel (Fortsetzung)

Bsp. adaptiert aus [BELSKI 2007]

2/3

8. Regel S-F-Modifikation auswählen

9. Ausgewählte SFT nach Regel modifizieren

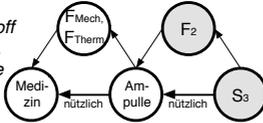
Die Regeln in K.6 werden nacheinander angewendet

10. MATCHEMIB-Felder auf Problemtriaten anwenden



Regel 2:

Finde einen Stoff mit einem Feld, der die Ampulle so modifiziert, dass die Medizin vor thermischer Beschädigung geschützt wird.



Mechanisches Feld:

Direkter Kontakt, Kollisionen, etc. Kühlkörper an der Ampulle für bessere Wärmeableitung.

Effekte in Verbindung mit Gas- und Fluidodynamik, Wind, Druck, Kompression, Vakuum,...

Ampulle in Fluid eintauchen, dass die thermische Beschädigung der Medizin verhindert.

Thermisches Feld:

Erwärmen und Kühlen. Endotherme und exotherme Reaktionen

Ampulle vorab kühlen

Wärmestrahlung, Konvektion, Wärmeübertragung, Wärmeisolation

Kalte Luft über die Ampulle blasen

Intermolekulares Feld:

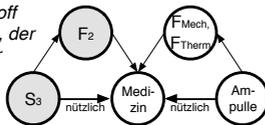
Oberflächeneffekte, Evaporation, Kapillareffekt, Poröse Körper

Ampulle mit poröser Oberfläche vor Kontakt mit Flamme in schützende Flüssigkeit tauchen, die dann aufgesaugt wird und vor Wärme lokal schützt.

Chemisches Feld: ...

Regel 3:

Finde einen Stoff mit einem Feld, der die Medizin vor thermischer Beschädigung schützt.



Mechanisches Feld:

Direkter Kontakt, Kollisionen, etc.

- Interner Kühlkörper für bessere Temperaturverteilung.

Vibrationen, Resonanzen,...

- Vibration beim Verschließen bewegt Medizin und verhindert lokale Temperaturspitzen in den Außenbereichen

Akustisches Feld:

Schalltransmission und -reflektion, Resonanzen stehende Wellen, Kavitation

Blasen in der Kontaktzone von Medizin und Ampulle erzeugen, die lokal die Wärmeleitfähigkeit herabsetzen.

Elektrisches Feld: ...

Intermolekulares Feld: ...

Biologisches Feld: ...

Anhang D.14

Methodenpass 5.10 Stoff-Feld-Modelle aufstellen und verbessern

Anwendungsbeispiel (Fortsetzung)

Bsp. adaptiert aus [BELSKI 2007]

3/3

8. Regel S-F-Modifikation auswählen

9. Ausgewählte SFT nach Regel modifizieren

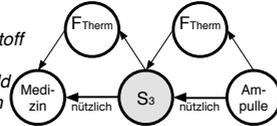
Die Regeln in K.6 werden nacheinander angewendet

10. MATCHEMIB-Felder auf Problemtriaden anwenden



Regel 4:

Füge einen zusätzlichen Stoff ein, der das thermische Feld auf die Medizin minimiert



Mechanisches Feld:

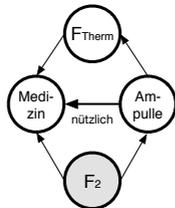
Direkter Kontakt, Kollisionen, etc. Verwendung eines dünnen Films mit hoher Wärmeleitfähigkeit. Dieser verteilt die Wärme sehr schnell über die ganze Ampulle und vermeidet lokale Temperaturspitzen  
Explosion (als Mittel zur Bewegung von Stoffen) Film innen in der Ampulle verwenden, der bei Wärmeeinwirkung explodiert und die Medizin von den Ampullenwänden wegbewegt.

Elektrisches Feld:

Elektrostatische Aufladung, Leiter und Isolatoren Medizin aufladen. Ampulle in elektrisches Feld platzieren, das die Medizin von der inneren Oberfläche der Ampulle fernhält.

Regel 5:

Führe ein zusätzliches Feld ein, das sowohl die Medizin und die Ampulle beeinflusst, und die Medizin schützt.



Mechanisches Feld:

Vibrationen, Resonanzen,... Medizin rühren, um lokale Wärmespitzen zu vermeiden

Thermisches Feld:

Erwärmen und Kühlen. Endotherme und exotherme Reaktionen Prozess in Tiefkühlkammer verlegen Aggregatzustände, Thermische Expansion Ampulle mit Medizin wird vorab gefroren.

**Anhang D.15**

**Methodenpass 5.11 Evolution antizipieren**

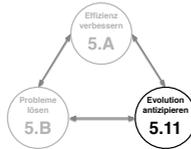
**Blatt 1 von 3**

**Wozu?**

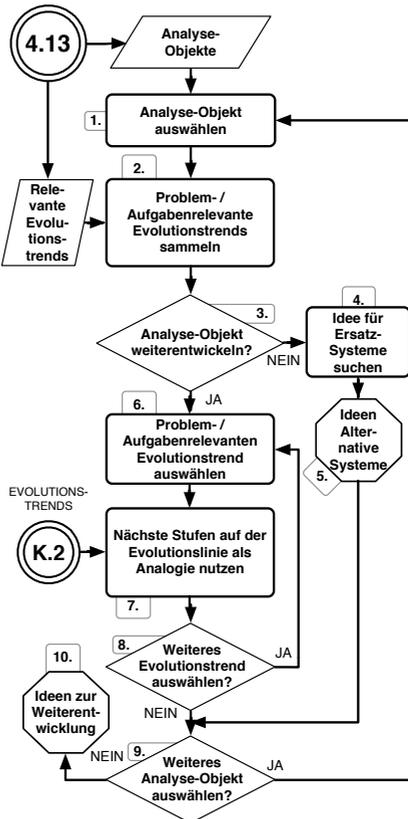
- Ideen für die evolutionäre Weiterentwicklung des WA-Objekts sammeln

**In welchem Kontext?**

Im Rahmen der Problemlösung eines WA-Objekts werden die Schritte der Evolutionstrends als Anregung für Ansätze zur Weiterentwicklung genutzt



**Wie wird vorgegangen?**



**Welche Chancen?**

Evolutionäre Weiterentwicklung des WA-Objekts

**Welche Risiken?**

**Was wird benötigt?**

evolutionär analysierte Subsysteme  
als problem- / aufgabenrelevant identifizierte Entwicklungstrends

**Was wird erreicht?**

Ideen zur Eliminierung Evolutionsengpässe

**Werkzeuge und Hilfsmittel?**

- Tabellenkalkulation

**Verknüpfte Systematiken?**

- 4.12 Evolutionsanalyse-Objekt bestimmen
- 4.13 Evolutionsstand bestimmen
- K.2 Evolutionstrends

**Weiterführende Literatur? Anmerkungen?**

- u.a. [LIVOTOV 2007], [KOLTZE et.al. 2011], [MANN 2002]

## Anhang D.15

### Methodenpass 5.11 Evolution antizipieren

Blatt 2 von 3

#### Wie Moderieren?

- Übergeordnete Moderationsfragen

- Analyse-Objekt auswählen**
  - Welches Analyse-Objekt soll zuerst betrachtet werden?
  - Abarbeiten der in Schritt 4.12 bestimmten Analyse-Objekten
- Problem- / Aufgabenrelevante Evolutionstrends für das Analyse-Objekt sammeln**
  - Welcher Evolutionstrend war relevant für das betreffende Subsystem?
  - Abarbeiten der in Schritt 4.13 bestimmten problem- oder aufgabenrelevanten Evolutionstrends
- Ideen für Ersatz-Systeme suchen**
  - 1 Wie lautet die Hauptfunktion des Analyse-Objekts?
  - 2 Welche anderen Systeme erfüllen die gleiche Hauptfunktion?
  - 3a Mit welchen anderen Systemen könnte das Analyse-Objekt kombiniert werden?
  - 3b In welche anderen Systeme könnte das Analyse-Objekt integriert werden?
- Problem- / Aufgabenrelevanten Evolutionstrend auswählen**
  - Welcher Evolutionstrend soll bearbeitet werden?
  - Auswahl eines aus den in 4.13 identifizierten relevanten Evolutionstrends
- Nächste Stufe auf der Evolutionslinie des betreffenden Engpasses als Analogie nutzen**
  - Wie könnte ein Übergang zur nächsten Stufe des Evolutionstrends aussehen?
  - Was bedeutet die nächste Stufe für das betrachtete Subsystem?
  - Wie müsste sich das betrachtete Subsystem verändern um die nächste Stufe zu erreichen?
  - Ideenfindung zur nächsten Stufe des betrachteten Evolutionstrends

**Anhang D.15**

**Methodenpass 5.11 Evolution antizipieren**

**Anwendungsbeispiel**

Holzstuhl



7.

Nächste Stufe auf der Evolutionslinie des betreffenden Engpasses als Analogie nutzen

Nr.	Name ET	IST-Stufe [%]	SOLL-Stufe [%]	Idee
2	Abstimmung der Systemrhythmik	20	40 60	<u>Einführung einer periodischen/pulsierenden Wirkung</u> ; Einführung einer Massagefunktion <u>Zeitliche Koordination von Wirkungen</u> ; Neigungsverstellung der Rückenlehne und Ausfahren einer Oberschenkelstütze.
3	Erhöhung der Fläche der Wechselwirkung	80	100	<u>Wechselwirkung über Volumen</u> : Einführen einer flexiblen Sitzfläche, die sich den Konturen des Nutzers anpasst.
4	Erhöhung der Formkoordination	40	75	<u>Dynamisch abgestimmte Formen</u> : Verwendung einer Lordosenstütze, die sich an die Rückenkontur anpasst.
5	Nutzung von Asymmetrien und Symmetrien	20	60	<u>Das System verwendet in erhöhtem Maß Asymmetrien</u> : Asymmetrische Form der Rückenlehne, zusätzliche Kopflehne
6	Expansion-Kontraktion	20	40	<u>Erhöhung der Anzahl der Hierarchiestufen im System</u> : Aufnahme weiterer Subsysteme für Verstellung/ Beweglichkeit
7	Übergang zum Bi-, Poly-, und Obersystem	<20	60	<u>Kombination unterschiedlicher sich ergänzender Systeme</u> : Hinzufügen von Rollen für verbesserte Beweglichkeit.
8	Erhöhung der Anpassungsfähigkeit	20	30 60	<u>Übergang von unbeweglichen zu beweglichen Teilen</u> : Neigungsverstellung der Rückenlehne <u>Nutzung von Objekten im gasförmigen Zustand</u> : Gasdruckzylinder zur Höhenverstellung
9	Erhöhung der Steuerbarkeit von Feldern	20	40 80	<u>Nutzung mechanischer Bewegung und Trägheit</u> : Rollen zur Erhöhung der Beweglichkeit <u>Nutzung aero-/hydrodynamischer Kräfte</u> : Gaszylinder zur Höhenverstellung <u>Anwendung von elektromagnetischen Feldern</u> : Nutzung E-Motor zur Neigungsverstellung
10	Segmentierung in die Mikroebene	20	60	<u>Segmentierung der Oberfläche</u> : Nutzung einer porösen Oberfläche für Atmungsaktive Sitzfläche <u>Segmentierung des Objekts</u> : Nutzung einer Wabenstruktur in der Sitzfläche zur Gewichtsreduktion
11	Erhöhung des Automatisierungsgrades	20	40 60	<u>Feste Steuerung nach einem Programm</u> : Nutzung eines vom Nutzer gesteuerten E-Motors für die Neigungsverstellung <u>Adaptive Steuerung</u> : System erkennt Gewicht des Nutzers und hält adaptiv die Sitzhöhe

Anhang D.16

Kataloge zur Nutzung der Methodenpässe

Blatt 1 von 1

- K.1** Kostensenkungsfragen
- K.2** kombinierte Evolutionstrends
- K.3** 40 Innovationsprinzipien siehe [SOLIDCREATIVITY 2013]
- K.4** Widerspruchsmatrix siehe [SOLIDCREATIVITY 2013]
- K.5** Separationsprinzipien siehe z.B. [KOLTZE et.al. 2011]
- K.6** 5 Fälle Stoff-Feld-Modifikation siehe [BELSKI 2007]
- K.7** MATCHEMIB-Felder siehe [BELSKI 2007]
- K.8** Stoff-Feld-Standardlösungen Klasse 4 „Mess- und Erfassungsprobleme“ u.a. [CASCINI et.al. 2009]
- K.9** TRIZ-Ressourcen u.a. [CASCINI et.al. 2009]
- K.10** Separationsprinzipien mit zugeordneten Innovationsprinzipien siehe z.B. [KOLTZE et.al. 2011]

*D Methoden Phase 5 - Ideenfindung*

## **E Kostensenkungsfragen**

Tab. E.1.: Kostenfragen

Frage	Schlagworte													IP				
	Materialk.	Ruestk.	Bearbeitungskst.	Montagek.	Verteilk.	Prüfkst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsapt.	Montageapt.	Prüfapt.	Distribution
Wie können zusätzliche Funktionen mit ausgeführt werden und dadurch andere BG/Teile weggelassen?	x		x	x			x											1, 3, 4, 5, 6, 17
Wie kann die Funktion in einem Mikro-System günstiger realisiert werden?	x		x	x			x											1
Wie kann die Anzahl der Funktionen verringert werden?	x		x	x			x											1, 2, 3, 6, 15
Wie kann sich nur auf eine Funktion konzentriert werden?	x		x	x			x											1, 2, 3, 5, 6, 15
Wie können die Anforderungen an die Umsetzung der Funktion reduziert werden?	x		x	x			x											3, 15, 16
Werden ähnliche Funktionen ausgeführt, die der Zielfunktion ähneln und von deren Fkt-Träger mit übernommen werden könnten?	x		x	x			x											4
Wie kann die Nutzung von Feldern die Umsetzung der Funktion billiger machen?	x		x	x			x											8, 14, 28
Wie kann etwas getan werden, um eine kompensierende Funktion überflüssig zu machen?	x		x	x			x											9, 11
Wie kann etwas Vorbeugendes getan werden, um eine kompensierende Funktion billiger zu machen?	x		x	x			x											9, 11
Wie kann eine Funktion eingeführt werden, etwas notwendiges vorab macht und dadurch eine andere Fkt. günstiger realisiert werden kann?	x		x	x			x											10

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materialkfst.	Ruestkfst.	Bearbeitungskfst.	Montagekfst.	Verteilkfst.	Prüfkfst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungssopt.	Montageopt.	Prüfopt.	Distribution
Wie kann die Umsetzung einer Fkt. etwas vorab ausführen, so das die Fkt. Im ganzen günstiger wird?	x		x	x			x											10
Wie wäre die Fkt. günstiger realisierbar, wenn das Energiepotential konstant gehalten würde?	x		x	x			x											12
Wie könnte die umgedrehte Funktion günstiger zu realisieren und auch ausreichend sein?	x		x	x			x											13
Wie könnte die Änderung der Abfolge der Fkt.-Ausführung Kosten sparen?	x		x	x			x											13
Wie könnte eine andere Funktion für diese Umsetzung günstiger und trotzdem sinnvoll sein?	x		x	x			x											15
Wie kann die Funktion weniger gut ausgeführt werden?	x		x	x			x											16
Wie könnte eine weniger starke / gute Ausführung der Funktion ausreichen?	x		x	x			x											16
Wie kann die Nutzung von Schwingungen die Fkt. günstiger realisierbar machen?	x		x	x			x											18
Wie können Pausen zwischen der Fkt.-Ausführung genutzt werden um andere Fkt. auszuführen die das Objekt in Summe günstiger machen?	x		x	x			x											19, 20
Wie könnte die Realisierung der Fkt., wenn die Fkt. sehr schnell ausgeführt wird, billiger werden?	x		x	x			x											21
Wie könnte die Realisierung der Fkt., wenn die Fkt. sehr langsam ausgeführt wird, billiger werden?	x		x	x			x											21

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materiall.kst.	Ruestkst.	Bearbeitungskst.	Montagekst.	Verteilkst.	Prüfktst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantevteifalt	Betriebsmittel		Fertigungsopst.	Montageopst.	Prüfopst.	Distribution
Wie kann die Nutzung schädlicher Faktoren die Umsetzung einer Fkt. günstiger machen?	x		x	x			x											22
Wie kann die Realisierung einer Fkt. dadurch günstiger werden, dass ein externer schädlicher Faktor genutzt wird, um einen internen schädlichen Faktor zu eliminieren?	x		x	x			x											22
Wie kann die Nutzung einer Rückkopplung / -meldung die Realisierung einer Fkt. günstiger machen?	x		x	x			x											23
Wie kann eine Kostensenkung erreicht werden, in dem die Umsetzung der Fkt. besser steuerbar wird?	x		x	x			x											23
Wie können vorab ausgeführte Hilfsfkt. die Umsetzung der betrachteten Fkt. günstiger machen?	x		x	x			x											24
Wie kann das Vermeiden von Hilfsfunktionen das System günstiger machen?	x		x	x			x											24
Wie kann die zeitweise Nutzung einer externen Hilfsfunktion das System günstiger machen?	x		x	x			x											24, 25
Wie kann eine autarke Umsetzung der Fkt. günstiger sein?	x		x	x			x											25
Wie kann die Nutzung von im Objekt vorhandene Abfall oder Verlustenergie die Umsetzung der Fkt. günstiger machen?	x		x	x			x											25
Wie kann die Fkt. sehr einfach, dafür austauschbar, realisiert werden?	x		x	x			x											26, 27, 34

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materialkfst.	Ruestkfst.	Bearbeitungskfst.	Montagekfst.	Verteilkfst.	Prüfkfst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsopt.	Montageopt.	Prüfopt.	Distribution
Wie wäre die Fkt. günstiger mit einem integrierten Teil realisierbar?	x		x	x			x											26
Wie können günstige Vorsichtsmaßnahmen die Umsetzung der Fkt. günstiger machen?	x		x	x			x											27
Wie kann die Fkt. günstiger realisiert werden, wenn die Umsetzung als Wegwerfprodukt konzipiert wird?	x		x	x			x											27, 34
Wie kann die Fkt. günstiger realisiert werden, wenn ihre Umsetzung auf Basis gasförmiger oder flüssiger Teile erfolgt?	x		x	x			x											29, 35
Wie würde die Verwendung von Unterdruck oder Vakuum die Kosten der Umsetzung der Fkt. senken?	x		x	x			x											29
Wie könnte eine Umsetzung mit Hilfe flexibler Hüllen oder dünner Filme die Umsetzung der Fkt. günstiger machen?	x		x	x			x											30
Wie wäre eine geringere / höhere Flexibilität bei der Umsetzung der Fkt. günstiger?	x		x	x			x											30
Wie kann die Fkt. auf Basis thermischer Expansion oder Kontraktion günstiger umgesetzt werden?	x		x	x			x											37
Wie kann die Nutzung von Vakuum die Realisierung der Fkt. günstiger machen?	x		x	x			x											39
Wie können Verbundmaterialien die Umsetzung der Fkt. günstiger machen?	x		x	x			x											40

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP			
	Materiall.kst.	Ruestkst.	Bearbeitungskst.	Montagekst.	Verteilkst.	Prüf.kst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsapt.	Montageapt.	Prüfapt.
Wie kann die BG zusätzliche Funktionen übernehmen und damit andere Komponenten überflüssig machen?	x							x									1, 3, 5, 6
Wie kann die BG in günstigere unabhängige Teile aufgespalten werden?	x		x					x							x		1
Wie kann die Teileanzahl reduziert werden?	x			x					x						x		1, 7, 26
Wie können mehrere Teile zu einem Teil vereinigt werden?	x		x					x							x		1, 7, 26
Wie können weniger verschiedenartige Teile verwendet werden?	x		x					x							x		1, 7, 26
Wie kann die Integralbauweise angewendet werden?	x		x					x							x		1, 7, 26
Wie kann die BG durch Reduzierung der Anforderungen zusätzliche Funktionen mit übernehmen?	x							x									1, 3, 5
Dient ein Teil nur zum Zweck der Verbindung von Teilen?	x								x						x		1, 2, 3, 6, 11
Wie kann die Anzahl der auszuführenden Fkt. für die BG verringert werden?	x								x								1, 2, 3, 6, 11
Sollte das Konzept der Baugruppe verändert werden?	x								x								3, 16
Wie können Anforderungen an Baugruppen reduziert werden?	x									x							3, 16
Wie können durch Symmetrie in der BG Kosten gesenkt werden?	x							x									4
Wie können durch Asymmetrie in der BG Kosten gesenkt werden?	x							x									4

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materialkfst.	Ruestkfst.	Bearbeitungskfst.	Montagekfst.	Vertiklst.	Prüfkst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsopt.	Montageopt.	Prüfopt.	Distribution
Wie kann eine andere BG, die etwas ähnliches macht, die Funktionen dieser BG mit übernehmen?	x						x		x									5
Wie würde eine zeitliche Vertaktung der Abläufe in der BG Kosten sparen?	x								x									5
Wie kann die BG in einem Bi-/Polysystem Kosten senken?	x								x									5
Wie können teure Kompensationsmaßnahmen in der BG eliminiert werden?	x								x									6
Wie könnte eine andere Anordnung der BG die Kosten senken?	x								x									7, 15
Wie können Teile der BG ineinander integriert werden?	x								x						x			7, 15
Wie würde eine Desintegration der BG Kosten sparen?	x								x									7, 15
Wie würde ein Aufspalten der BG in verschiedene BG Kosten sparen?	x								x						x			7, 15
Wie kann die Nutzung von Feldern die BG günstiger machen?	x								x									8, 14, 18, 28
Wie kann ein schädlicher Faktor in der BG früher kompensiert werden, damit die Kosten der Kompensation sinken?	x								x									9, 11
Wie kann das Eliminieren eines schädlichen Faktors die BG günstiger machen?	x								x									9, 11
Wie kann ein schädlicher Faktor in der BG günstiger kompensiert werden?	x								x									9, 11

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materiall.kst.	Ruestkst.	Bearbeitungskst.	Montagekst.	Verteilkst.	Prüf.kst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsopt.	Montageopt.	Prüfopt.	Distribution
Ist es günstiger, einen schädlichen Faktor in der BG erst nach Entstehung zu kompensieren?	x								x									9, 16
Wie kann eine andere BG etwas notwendiges für die betrachtete BG ausführen und dadurch die betrachtete BG günstiger machen?	x								x									10
Wie kann die Anordnung der BG so optimiert werden, dass alle Teile kostensparender eingesetzt werden können?	x								x									10
Wie können Kosten durch das Reduzieren der Anforderungen an die Zuverlässigkeit der BG gesenkt werden?	x								x									11
Wie kann die BG günstiger werden, wenn ihre Teile mit konstantem Energiepotential arbeiten können?	x								x									12, 13
Wie wäre eine BG, die das Gegenteil macht sinnvoll und günstiger?	x								x									13
Wie können Kosten gespart werden, wenn die beweglichen Teile der BG unbeweglich, die unbeweglichen Teile der BG beweglich gemacht werden?	x								x									13
Wie wäre eine spiegelbildlich (mit spiegelbildlichen Fkt.) realisierte BG günstiger?	x								x									13
Wie kann die Änderung der Abläufe innerhalb der BG Kosten sparen?	x								x									13
Wie können krummlinige Konturen in der BG Kosten sparen?	x								x									14

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materialkfst.	Ruestkfst.	Bearbeitungskst.	Montagekfst.	Verteilkfst.	Prüfkst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsopt.	Montageopt.	Prüfopt.	Distribution
Wie würde der Übergang von kubischen zu kugelförmigen Konturen in der BG Kosten sparen?	x								x									14
Wie wäre eine auf rotatorischen Bewegungen basierende BG günstiger?	x								x									14
Wie kann die BG durch Adaption an Betriebszustände Kosten sparen?	x								x									15
Wie kann der Verzicht auf Austauschbarkeit von Teilen der BG Kosten sparen?	x								x									15
Wie können durch Verzicht auf bewegliche Teile in der BG Kosten gespart werden?	x								x									15
Wie kann die BG die Anforderungen übererfüllen und damit Kostenersparnis an anderer Stelle ermöglichen?	x								x									16
Wie können durch eine andere Anordnung innerhalb der BG Kosten gesenkt werden?	x								x									17
Wie kann die Ausnutzung der zweiten und / oder dritten Dimension in der Anordnung der BG Kosten sparen?	x								x									17
Wie kann eine Nutzung verschiedener Ebenen in der BG Kosten sparen?	x								x									17
Wie kann der Verzicht auf mehrere Ebenen in der BG Kosten sparen?	x								x									17
Wie kann das Kippen der BG Kosten sparen?	x								x									17
Wie kann die Veränderung der Ausrichtung der BG Kosten sparen?	x								x									17

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materiall.kst.	Ruestkst.	Bearbeitungskst.	Montagekst.	Verteilkst.	Prüf.kst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsapt.	Montageapt.	Prüfapt.	Distribution
Wie kann die Veränderung der Lage der BG Kosten sparen?	x								x									17
Wie kann die BG kostengünstiger auf der Seite liegend realisiert werden?	x								x									17
Wie kann die Nutzung von Schwingungen die BG günstiger realisierbar machen?	x								x									18
Wie können Resonanzfrequenzen zur Kostensenkung genutzt werden?	x								x									18
Wie kann die Vermeidung von Resonanzfrequenzen in der BG zur Kostensenkung beitragen?	x								x									18, 19
Wie wäre ein auf periodischer / pulsierender Wirkung basierendes Konzept für die BG kostengünstiger?	x								x									19
Wie kann die Änderung von Frequenzen in der BG zur Kostenreduktion beitragen?	x								x									19
Wie kann eine gleichmäßigere Belastung der Teile der BG die Kosten senken?	x								x									20
Wie kann eine ungleichmäßige Belastung der Teile der BG die Kosten senken?	x								x									20
Wie kann die BG, wenn diese ihre Funktion sehr schnell ausführt, kostengünstiger werden?	x								x									21
Wie kann die BG, wenn diese ihre Funktion sehr langsam ausführt, kostengünstiger werden?	x								x									21
Wie kann die Nutzung schädlicher Faktoren BG günstiger machen?	x								x									22

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materialkfst.	Ruestkfst.	Bearbeitungskst.	Montagekfst.	Verteilkfst.	Prüfkst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsopt.	Montageopt.	Prüfopt.	Distribution
Wie kann die BG günstiger werden, in dem ein externer schädlicher Faktor genutzt wird, um einen internen schädlichen Faktor zu eliminieren?	x								x									22
Wie kann ein schädlicher Faktor in der BG soweit verstärkt werden, dass er aufhört schädlich zu sein?	x								x									22
Wie können Rückkopplungen /-meldungen genutzt werden, um die BG kostengünstiger zu machen?	x								x									23
Wie kann zur Kostensenkung die die Steuerbarkeit der BG erhöht werden?	x								x									23
Wie können Zwischenobjekte innerhalb der BG verwendet werden, um die Kosten zu senken?	x								x									24
Wie kann die zeitweise Nutzung einer externen BG die Kosten der betrachteten BG senken?	x								x									24, 25
Wie kann eine autarke Umsetzung der BG günstiger sein?	x								x									25
Wie könnte die BG sich selbst reparieren um Kosten zu sparen?	x								x									25
Wie kann die Nutzung von im Objekt vorhandenem Abfall oder Verlustenergie die BG günstiger machen?	x								x									25
Wie kann die BG sehr einfach, dafür leicht austauschbar, ausgelegt werden?	x								x									26, 27, 34

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materiall.kst.	Ruestkst.	Bearbeitungskst.	Montagekst.	Verteilkst.	Prüfkst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantevteifalt	Betriebsmittel		Fertigungsopt.	Montageopt.	Prüfopt.	Distribution
Wie können günstige Vorsichtsmaßnahmen die BG günstiger machen?	x							x										27
Wie kann die BG günstiger realisiert werden, wenn diese als Wegwerfprodukt konzipiert wird?	x							x	x									27, 34
Wie kann die BG kostengünstiger werden, wenn feste schwere Teile durch flüssige oder gasförmige Teile ersetzt werden?	x							x	x									29, 35
Würde die Verwendung von Unterdruck oder Vakuum die Kosten der BG senken?	x							x										29, 39
Wie könnte eine Umsetzung mit Hilfe flexibler Hüllen oder dünner Filme die BG günstiger machen?	x							x	x									30, 31
Wie könnte die Steigerung / Verringerung von Flexibilität in der BG Kosten sparen?	x							x	x									30
Wie können durch die Veränderung der Lackierung der BG Kosten gespart werden?	x							x	x									32
Wie können optimierte Materialpaarungen die Kosten der BG senken?	x							x	x									33
Wären stark unterschiedliche Materialpaarungen für die BG kostengünstiger?	x							x	x									33
Wie könnten gleichartige Materialpaarungen die Kosten der BG senken?	x							x	x									33
Wie kann die BG auf Basis thermischer Expansion oder Kontraktion günstiger umgesetzt werden?	x							x	x									37

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materialialkt.	Ruestkst.	Bearbeitungskst.	Montagekst.	Verteilkst.	Prüfkest.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsopt.	Montageopt.	Prüfopt.	Distribution
Wie können Verbundmaterialien die Umsetzung der BG günstiger machen?	x								x	x								40
Wie könnte die Verwendung verschiedener Materialien die Kosten der BG senken?	x									x								1, 2
Wie kann eine BG komplett (extern vormontiert) beschafft werden?	x		x								x				x			1, 2
Wie kann die BG so konstruiert werden, dass komplett aus einer Hand beschafft werden kann?	x		x						x		x				x			1
Wie könnte ein Verbundmaterial die Realisierung der BG aus einem Teil möglich machen?	x								x	x								1
Wie können die Bedingungen geschaffen werden, dass die BG aus kostengünstigeren Materialien zusammengesetzt wird?	x								x	x								1, 2, 3
Wie können Anforderungen an die BG gesenkt werden um die Beschaffung zu vereinfachen?	x								x	x	x							1, 2, 3
Wie wäre die Beschaffung verschiedener unabhängiger BG günstiger?	x									x	x							1
Wie kann die BG so konstruiert werden, dass das Kernelement günstig beschafft werden kann?	x									x	x							2
Wie könnten gleiche Materialien zur Verbesserung der Beschaffungssituation verwendet werden?	x										x							3
Wie können zu beschaffende Komponenten möglichst einfach gehalten werden?	x																x	3

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materiall.kst.	Ruestkst.	Bearbeitungskst.	Montagekst.	Verteilkst.	Prüfktst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsopt.	Montageopt.	Prüfopt.	Distribution
Wie könnte ein asymmetrischer / symmetrischer Aufbau der BG eine günstigere Materialkombination ermöglichen?	x							x			x							4
Wie könnte die BG komplett aus einem, günstig zu beziehenden Material gefertigt werden?	x								x		x							5
Wie kann die BG so umgestaltet werden, dass eine Vormontage möglich / einfacher möglich / wird?			x					x							x			1, 2
Wie kann die BG durch ein einfach zu montierendes Teil (gleiche Pkt/n) ersetzt werden?			x					x							x			1, 2
Wie kann die Anzahl variantenspezifischer BG reduziert werden?				x				x				x						1, 2
Wie kann die BG zu einem, leicht zu montierenden Integralteil zusammengefasst werden?				x					x						x			1, 2
Wie kann die Montage in mehr, dafür einfachere Schritte aufgeteilt werden?			x												x			1
Wie können Verbindungsteile eliminiert werden?			x						x									1
Wie kann die Montage durch Mikro-Systeme, Felder etc. vereinfacht werden?			x												x			1
Wie können andere Teile an einem zentralen Teil einfach ausgerichtet werden?			x						x						x			2
Ist die Anzahl an Verbindungsstellen reduzierbar?			x						x									3, 5
Wie können Fügelagen durch Bauteile eindeutig bestimmt werden?			x						x									4, 3

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materialkfst.	Ruestkfst.	Bearbeitungskst.	Montagekfst.	Vertikl.kst.	Prüfkst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsopt.	Montageopt.	Prüfopt.	Distribution
Wie können Befestigungsrichtungen vereinheitlicht werden?				x					x									5
Wie können Fügestellen reduziert werden?				x					x									5
Wie kann eine Basisbaugruppe vorgesehen werden, die dann modular montiert wird?				x					x									5
Wie können Fügeachsen vereinheitlicht werden?				x					x									7
Wie kann die BG so ausgerichtet werden, dass bei der Montage Teile durch die Schwerkraft positioniert werden?				x					x							x		8
Wie können Einstelltätigkeiten an der BG vermieden werden?				x					x									9
Wie können Justagetätigkeiten an der BG vermieden werden?				x					x									9
Wie können die BG-Teile vorab so positioniert werden, dass die BG schneller montiert werden kann?				x												x		10
Wie können Füge- / Zentrierhilfen verwendet werden?				x												x		11, 24
Wie könnte die BG sich selbst ausrichten / zentrieren?				x													x	11, 24
Wie können "leichte" BG in "schwere" BG montiert werden?				x													x	12, 2, 3
Wie kann das Handling minimiert werden?				x													x	12, 2, 3
Wie könnte durch spiegelbildliche Konzeptionierung der BG die Montage deutlich vereinfacht werden?				x													x	13

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materiall.kst.	Ruestkst.	Bearbeitungskst.	Montagekst.	Verteilkst.	Prüfkst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsapt.	Montageapt.	Prüfapt.	Distribution
Wie könnte die Verwendung von geradlinigen Konturen die Montage der BG vereinfachen?			x					x										14
Wie könnte durch Konturanpassung (sphärisch-<-> eben) die Montage der BG vereinfacht werden?			x					x										14
Wie können an kugelförmigen Teilen geradlinige Flächen (wenn möglich asymmetrisch) zur einfacheren Montage der BG vorgesehen werden?			x					x										14
Wie kann durch die Verwendung von geringfügig mehr Material die Montage der BG erleichtert werden?			x					x										16
Wie könnte die Wegnahme von Material die Montage der BG vereinfachen?			x					x										16
Wie könnte eine andere Anordnung die Montagetage der BG vereinfachen?			x					x										17
Wie können die Fügerichtungen begrenzt werden?			x					x										23, 25
Wie könnte die BG sich selbst justieren?			x					x										25
Wie könnte Farbe die Zuordnung in der Montagetage der BG erleichtern?			x												x			32
Wie könnten Baugruppen vormontiert werden?			x												x			1
Wie wäre eine Montage von einer Seite schneller?			x												x			4
Wie wäre eine Montage von zwei Seiten schneller?			x												x			4

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materialkfst.	Ruestkfst.	Bearbeitungskfst.	Montagekfst.	Verteilkfst.	Prüfkst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsopt.	Montageopt.	Prüfopt.	Distribution
Wie könnten Vorrichtungen zur Montage genutzt werden, die mehrere Objekte bereits kombiniert in die BG einsetzen?				x									x	x				5, 9, 15
Wie könnten Montagearbeiten durch verbesserte Zugänglichkeiten erleichtert werden				x										x				5, 11
Wie könnten mehrere Montagegänge gleichzeitig ausgeführt werden?				x										x				6
Wie könnten Vorrichtungen genutzt werden, die eine translatorische Montage vereinfachen?				x									x	x				7
Wie könnten Handlingshilfen (Kran, etc.) zur Beschleunigung der Montage eingesetzt werden?				x									x	x				8, 9
Wie können Teile besser vorgeordnet werden?				x											x			10
Wie können Verbindungsteile vormontiert werden?				x											x			10
Wie können Baugruppen vormontiert werden (stärker als bisher)?				x											x			10
Wie können Füge- / Zentrierhilfen verwendet werden?				x											x			11
Wie kann die Zugänglichkeit von Verbindungen verbessert werden?				x											x			11
Wie kann bei Montageschritten das Handling erleichtert werden?				x											x			12
Sind geeignete Handhabungsgeräte vorhanden?				x									x		x			12
Wie könnten geeignete Handhabungsgeräte die Montage vereinfachen?				x									x		x			12

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP			
	Materiall.kst.	Ruestl.kst.	Bearbeitungskst.	Montagekst.	Verteilkst.	Prüf.kst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsapt.	Montageapt.	Prüfapt.
Wie wäre eine andere Reihenfolge von Montageschritten günstiger?			x												x		13
Wie können Konturen (krummlinig<->geradlinig) zur einfacheren Montage genutzt werden?			x					x							x		14
Wie können geradlinige Flächen an kugelförmigen Konstruktionen zur einfacheren Montage genutzt werden?			x					x							x		14
Wie kann die Montagebewegung auf eine Dimension reduziert werden und dadurch Zeit sparen?			x												x		17
Wie würde das Kippen des Objekts Montagegänge vereinfachen?			x												x		17
Wie würde eine Veränderung der Lage des Objekts Montagegänge vereinfachen?			x												x		17
Wie können Schwingungen zur Vereinfachung von Montagegängen genutzt werden?			x												x		18
Wie kann die Nutzung schädlicher Faktoren die Montage günstiger machen?			x												x		22
Wie könnten Montagegänge durch Automatisierung beschleunigt werden?			x												x		23
Wie könnten die Nutzung von Adaptern Montagegänge beschleunigen?			x												x		24
Wie könnte eine Ausrichtung zur Montage automatisiert erfolgen?			x												x		25

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materialkfst.	Ruestkfst.	Bearbeitungskfst.	Montagekfst.	Vertilkfst.	Prüfkfst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsopt.	Montageopt.	Prüfopt.	Distribution
Wie können schädliche Effekte anderer Maschinen für die Beschleunigung des Montagegangs eingesetzt werden?				x											x			25
Wie können günstige Dummy-Teile die Vormontage der Baugruppe beschleunigen?				x											x			26, 1
Wie können möglichst einfache Montagewerkzeuge verwendet werden?				x											x			26, 1
Wie könnten teure Vorrichtungen durch billige Kopien ersetzt werden, die gut genug sind?				x									x		x			27
Wie könnten magnetische Felder das Handling in der Montage vereinfachen?				x									x		x			28, 8
Wie könnten andere auf Pneumatik/ Hydraulik basierende Handlungshilfen die Montage beschleunigen?				x									x		x			29
Wie könnte die Nutzung thermischer Expansion oder Kontraktion von Materialien die Montage günstiger machen?				x											x			37
Wie könnte die Konstruktion so geändert werden, dass Prüfschritte ganz entfallen können?																x		2, 6, 9
Wie könnten Prüfschritte durch asymmetrische / symmetrische Gestaltung vereinfacht werden?																x		4
Wie könnte die BG angepasst werden um die Qualitätsprüfung zu vereinfachen?																	x	10, 11
Wie könnte die Qualitätsprüfung durch andere Prüfmittel beschleunigt werden?																	x	11

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materiall.kst.	Ruestkst.	Bearbeitungskst.	Montagekst.	Verteilkst.	Prüfkst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsapt.	Montageapt.	Prüfapt.	Distribution
Wie könnten einzelne Prüfschritte direkt während der Montage durchgeführt werden?					x										x			1
Wie könnten im montierten Zustand mehrere Prüfschritte zu einem Prüfschritt kombiniert werden?					x											x		5
Wie könnten gleichartige Prüfschritte gleichzeitig erledigt werden?					x										x			5
Wie könnten unnötige Prüfschritte vermieden werden?					x											x		6
Wie können Baugruppen getrennt geprüft werden?				x														10
Wie könnte ein anderes Merkmal geprüft werden, dass Rückschlüsse auf das original zu prüfende Merkmal zulässt?						x												13
Wie wäre eine andere Reihenfolge von Prüfschritten in der Montage günstiger?						x									x			13
Wie wäre eine Prüfung unter Nutzung von Schwingungen effizienter?						x										x		18
Wie könnten mehrere Merkmale in einem Arbeitsgang geprüft werden?						x										x		20
Wie können Prüfschritte sehr schnell ausgeführt werden?						x											x	21
Wie können Adapter verwendet werden, um Prüfschritte zu beschleunigen?						x											x	24
Wie könnte schneller an billigen Kopien geprüft werden?																	x	26

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materialkfst.	Ruestkfst.	Bearbeitungskfst.	Montagekfst.	Verteilkfst.	Prüfkfst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsopt.	Montageopt.	Prüfopt.	Distribution
Wie kann das Teil in mehrere in Summe günstigere Teile zerlegt werden?	x								x		x	x						1, 2, 3, 26
Wäre es günstiger, das Teil in mehrere Gleichteile oder Wiederholteile zu zerlegen?	x								x		x							1, 2, 3, 26
Wie könnten Teilefamilien, Baureihen, Baukästen eingesetzt / geschaffen werden?	x								x		x							1, 2, 3, 26
Wie kann das betrachtete Teil mit anderen Teilen kombiniert werden?	x								x									1, 15
Wie kann das Teil durch Reduzierung der Anforderungen zusätzlichen Funktionen mit übernehmen?	x								x		x							1
Wie kann ein kompliziertes Teil in einfachere Teile aufgetrennt werden?	x								x									1
Wie könnte durch die Parallelschaltung von Wirkflächen (Leistungsverzweigung) Material gespart werden?	x								x									1, 11, 15
Wie kann die Funktion des Teils in einem Mikro-System ausgeführt werden und dadurch das Teil ersetzen?	x								x									1
Dienen alle zu bearbeiteten Flächen der Funktionserfüllung?	x		x						x									2
Müssen alle Wirkflächen bearbeitet werden?	x		x						x									2
Wie kann die Anzahl der durch das Teil auszuführenden Funktionen reduziert werden?	x		x						x	x								2
Wie können Überdimensionierungen vermieden werden?	x		x															2
Sind die Funktionen des Teils geklärt?	x		x						x	x								2, 15

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materiall.kst.	Ruestkst.	Bearbeitungskst.	Montagekst.	Verteilkst.	Prüf.kst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsopt.	Montageopt.	Prüfopt.	Distribution
Wie kann am betrachteten Teil Material eingespart werden?	x							x										3
Wie können Materialstärken reduziert werden?	x							x	x									3
Wie kann das Teil Funktionen anderer Teile mit übernehmen?	x						x											3, 5, 26
Wie sollte das Funktionsprinzip verändert werden?	x							x										3
Wie können die Anforderungen an das Teil reduziert werden?	x		x	x			x	x										3
Ist die Funktionserfüllung eindeutig, einfach und sicher?	x		x				x											3
Wie können Biege- und Torsionsbeanspruchungen vermieden werden?	x							x										3
Wie kann sich auf Zug- / Druckbeanspruchung beschränkt werden?	x								x									3
Wie könnte durch eine asymmetrische Form Material eingespart werden?	x								x									4
Wie könnte durch eine symmetrische Form Material eingespart werden?	x								x									4
Wie kann ein anderes Teil, das eine ähnliche Fkt. ausführt, die Fkt. dieses Teils mit übernehmen?	x								x									5
Wie kann dieses Teil mit anderen Teilen zu einem in Summe kostengünstigeren Bispolysystem zusammengefasst werden?	x			x					x									5
Sind der Material- und der Fertigungsaufwand für die Funktionserfüllung gerechtfertigt?	x		x					x										6

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte														IP			
	Materialkfst.	Ruestkfst.	Bearbeitungskfst.	Montagekfst.	Verteilkfst.	Prüfkfst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel	Fertigungsopt.		Montageopt.	Prüfopt.	Distribution
Ist das Teil notwendig?	x						x	x										6
Ist die Funktion des Teils notwendig?	x						x											6
Wie können teure Kompensationsmaßnahmen bezüglich des Teils eliminiert werden?	x		x					x	x	x								6
Wie können die Schnittstellen des Teils kostengünstiger ausgeführt werden?	x		x						x	x								7
Wie kann Material gespart werden, in dem das Teil im Inneren eines anderen Teils angeordnet wird?	x									x								7
Wie könnten Kosten gespart werden, wenn das Teil an der Außenseite der BG angeordnet würde?	x										x							7
Wie kann das Teil durch die Nutzung von Fehlern günstiger werden?	x										x							8, 18, 28
Wie würde die Eliminierung eines von diesem Teil ausgehenden schädlichen Einflusses Kosten senken?	x										x							9, 11
Wie würde eine frühere Kompensation eines von diesem Teil ausgehenden schädlichen Faktors die Kosten senken?	x										x							9, 11
Wie könnte ein von diesem Teil ausgehender schädlicher Faktor günstiger kompensiert werden?	x										x							9, 11
Ist es günstiger einen durch dieses Teil verursachten schädlichen Einfluss erst nach Entstehung zu kompensieren anstatt in zu eliminieren?	x																x	9, 16

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materiall.kst.	Ruestkst.	Bearbeitungskst.	Montagekst.	Verteilkst.	Prüf.kst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsopt.	Montageopt.	Prüfopt.	Distribution
Wie kann ein anderes Teil etwas notwendiges für dieses Teil vorab ausführen und damit dieses Teil günstiger machen?	x							x										10
Würde eine andere Anordnung des Teils Kosten sparen?	x							x										10
Würde eine andere Form des Teils die Integration in die BG kostengünstiger machen?	x							x										10
Wie könnten Kosten durch das Reduzieren von Anforderungen an die Zuverlässigkeit des Teils gesenkt werden?	x							x										11
Wie kann das Teil günstiger werden, wenn es mit konstantem Energiepotential arbeiten kann?	x							x										12
Wäre ein Teil das das Gegenteil macht, sinnvoll und ggf. günstiger?	x							x										13
Wie können Kosten gespart werden, wenn das Teil beweglich gemacht wird?	x							x										13
Wie können Kosten gespart werden, wenn das Teil unbeweglich gemacht wird?	x							x										13
Wäre ein spiegelbildlich realisiertes Teil günstiger?	x							x										13
Wie könnte eine Änderung der Abfolge von Wirkflächen des Teils Material sparen?	x							x										13
Wie könnte eine krummlinige Kontur des Teils Material sparen?	x							x										14
Wie würde der Übergang von kubischer zu kugelförmiger Form des Teils Material sparen?	x							x										14

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materialkfst.	Ruestkfst.	Bearbeitungskst.	Montagekfst.	Vertikl.kst.	Prüfkst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsopt.	Montageopt.	Prüfopt.	Distribution
Wie wäre ein auf rotatorischen Bewegungen basiertes Teil günstiger?	x								x									14
Wie wäre ein auf geradlinigen Bewegungen basiertes Teil günstiger?	x								x									14
Wie wäre ein sich an verschiedene Betriebszustände adaptierendes Teil in Summe für das System günstiger?	x								x									15
Wie könnte das Fixieren (die Nicht-Austauschbarkeit) des Teils Kosten sparen?	x								x									15
Wie kann das Teil die Anforderungen übererfüllen und damit Kostenersparnis an anderer Stelle ermöglichen?	x							x										16
Wie kann das Teil die Anforderungen leicht untererfüllen und dadurch Kosten sparen?	x								x									16
Wie kann durch die Wegnahme von Material Kosten gespart werden?	x								x									16
Wie kann die Verwendung von ein wenig mehr Material an anderer Stelle Kosten sparen?	x								x									16
Wie kann das Teil durch die Nutzung von Resonanzfrequenzen (Eigenfrequenzen) zusätzliche Funktionen übernehmen und dadurch das System in Summe günstiger machen?	x								x									18, 19
Wie wäre ein auf periodischer / pulsierender Wirkung basierendes Konzept für das Teil kostengünstiger?	x								x									19
Wie kann eine gleichmäßigere Belastung des Teils die Kosten senken?	x								x									20

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materiall.kst.	Ruestkst.	Bearbeitungskst.	Montagekst.	Verteilkst.	Prüf.kst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsop.	Montageop.	Prüfop.	Distribution
Wie kann eine ungleichmäßige Belastung des Teils die Kosten senken?	x								x									20
Wie können rotatorische Bewegungen durch linere Bewegungen ersetzt werden und dadurch Material eingespart werden?	x								x									20
Wie kann das Teil wenn es seine Funktion sehr schnell ausführt, kostengünstiger werden?	x								x									21
Wie kann das Teil, wenn es seine Funktion sehr langsam ausführt, kostengünstiger werden?	x								x									21
Wie kann die Nutzung vorhandener schädlicher Faktoren das Teil günstiger machen?	x								x									22
Wie kann das Teil günstiger werden, in dem ein externer schädlicher Faktor genutzt wird, um einen internen schädlichen Faktor zu eliminieren?	x								x									22
Wie kann ein vom Teil ausgehender schädlicher Faktor soweit verstärkt werden, dass dieser aufhört schädlich zu sein?	x								x									22
Wie können Rückkopplungen /-meldungen genutzt werden, um das Teil günstiger zu machen?	x								x									23
Wie kann zur Kostensenkung die Steuerbarkeit des Teils erhöht werden?	x								x									23
Wie kann das Teil als Zwischenobjekt wirken und dadurch Kosten senken?	x								x									24

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materialkfst.	Ruestkfst.	Bearbeitungskfst.	Montagekfst.	Verteilkfst.	Prüfkfst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsopt.	Montageopt.	Prüfopt.	Distribution
Wie kann das Teil durch die zeitweise Nutzung eines günstigeren externen Teils ersetzt werden?	x								x									24, 25
Wie könnte das Teil sich selbst reparieren und damit dem System Kosten sparen?	x								x									25
Wie kann die Nutzung von im Objekt vorhandenem Abfall oder Verlustenergie das Teil günstiger machen?	x								x									25
Wie kann das Teil sehr einfach, dafür leicht austauschbar ausgelegt werden?	x								x									26, 27, 34
Wie können Norm-, Serien,- oder Kaufteile verwendet werden?	x									x								26, 27, 34
Wie können günstige Vorsichtsmaßnahmen das Teil absichern und die Anforderungen an das Teil senken?	x								x									27
Wie kann das Teil günstiger realisiert werden, wenn es als Wegwerfprodukt konzipiert wird?	x								x									27, 34
Wie könnte Material durch die Nutzung flüssiger oder gasförmiger Teile gespart werden?	x								x									29, 35
Wie würde die Verwendung von Unterdruck oder Vakuum das Teil kostengünstiger machen?	x								x									29, 39
Wie könnte Material durch Verringerung von Wandstärken sinnvoll eingespart werden?	x								x									30, 31
Wie würde der Einsatz eines flexibleren Materials Kosten sparen?	x								x									30

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materiall.kst.	Ruestkst.	Bearbeitungskst.	Montagekst.	Verteilkst.	Prüfkst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsopt.	Montageopt.	Prüfopt.	Distribution
Wie könnte Gewicht durch ein poröses Material eingespart werden?	x							x										31
Wie können durch die Veränderung der Lackierung des Teils Kosten gespart werden?	x							x										32
Wie könnte die Nutzung thermischer Expansion oder Kontraktion das Teil günstiger machen?	x							x										37
Wie könnte eine Umsetzung des Teils als Verbundelement Kosten sparen?	x							x										40
Wie kann das Teil aus einer günstigeren Materialkombination zusammengesetzt werden?	x							x	x									1, 5
Wie wäre die Verwendung eines Verbundmaterials günstiger?	x							x	x	x								1
Wie können die Bedingungen geschaffen werden, dass ein günstigeres Material verwendet werden kann?	x							x	x	x								1, 5
Wie können hochbeanspruchte Werkstoffe (da für weniger) an den notwendigen Stellen verwendet werden?	x									x								1, 11, 35
Wie können billige Standardwerkstoffe dort verwendet werden, wo keine hohen Beanspruchungen auftreten?	x									x								1, 11, 35
Wie wären mehrere Teile aus jeweils verschiedenen der Aufgabe angepassten Materialien günstiger?	x									x								1
Wie wäre Material für die Realisierung eines Mikro-Systems günstiger?	x									x								1

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materialkfst.	Ruestkfst.	Bearbeitungskst.	Montagekfst.	Verteilkfst.	Prüfkst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsopt.	Montageopt.	Prüfopt.	Distribution
Wie könnte ein anderer Werkstoff geringere Materialdicken ermöglichen?	x								x	x								3
Wie könnten verschiedene Wirkflächen aus verschiedenen angepassten Materialien gefertigt werden und dadurch in Summe (Material-Einsparung, etc.) Kosten sparen?	x								x	x								3
Wie kann ein günstigerer Werkstoff verwendet werden?	x										x							3
Wie kann weniger von einem besseren, dafür teureren Werkstoff verwendet werden?	x									x	x							3
Wie könnten andere Materialien asymmetrische Formen ermöglichen, die kostengünstiger sind?	x									x	x							4
Wie könnte eine Anzahl verschiedener Materialien durch ein Material ersetzt werden, was alle Anforderungen erfüllt und in Summe günstiger ist?	x									x								5
Wie könnte nur ein Material für alle Teile des Bi-/Polysystems verwendet werden?	x										x							5
Wie kann ein Material verwendet werden, dass die Nutzung der ausgewählten Felder begünstigt und dadurch Kosten spart?	x										x							8, 18, 28
Wie kann ein Material gewählt werden, damit ein schädlicher Faktor gar nicht erst auftritt?	x										x							9, 11
Wie kann ein Material gewählt werden, dass einen schädlichen Faktor günstiger kompensiert?	x										x							9, 11

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materialkfst.	Ruestkst.	Bearbeitungskst.	Montagekst.	Verteilkst.	Prüfkst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsopt.	Montageopt.	Prüfopt.	Distribution
Wie kann ein Material eliminiert werden, dass einen schädlichen Faktor teuer kompensiert?	x								x	x								9, 11
Wie kann ein Material gewählt werden, dass nach einer Vorbehandlung dem schädlichen Faktor entgegenwirkt und damit eine teure Kompensation überflüssig macht?	x								x	x								9
Wie wäre ein Material mit komplett gegensätzlichen Eigenschaften sinnvoll und kostengünstiger?	x								x	x								13
Wie könnte durch eine kugelförmige Konstruktion des Teil ein günstigeres Material verwendet werden?	x								x	x								14
Wie könnte ein adaptives Material eingesetzt werden, das verschiedene Teile ersetzt und damit Kosten spart?	x								x	x								15, 35
Wie können Materialien verwendet werden, die die Nutzung von Resonanzfrequenzen (Eigenfrequenzen) tolerieren und damit die Übernahme zusätzlicher Fkt. ermöglichen?	x								x	x								18, 19
Wie kann bei gleichmäßiger Belastung ein günstigeres Material verwendet werden?	x								x	x								20
Wie kann weniger von einem teureren Material mit höherer ertragbarer Torsionsspannung verwendet werden?	x									x								14, 20
Wie kann ein günstiges Material verwendet werden, dessen Nachteil einen anderen schädlicher Faktor kompensiert?	x								x	x								22

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP			
	Materialkfst.	Bearbeitungskst.	Montagekfst.	Verteilkfst.	Prüfkst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel	Fertigungsopt.		Montageopt.	Prüfopt.	Distribution
Wie kann ein Material verwendet werden, dass eine Rückkopplung /-meldung als Teil der Materialeigenschaften bietet?	x							x	x								23
Wie können Materialien verwendet werden, die die Steuerbarkeit des Systems erhöhen und dort andere Teile ersetzen könnten?	x							x	x								23
Wie kann ein sehr günstiges Material als Material des Zwischenobjekts verwendet werden?	x								x								24
Wie kann ein selbstheilendes Material eingesetzt werden, dass andere Teile des Systems überflüssig macht?	x								x								25
Wie kann ein anderes, kostengünstigeres weniger gutes Material verwendet werden?	x								x								26, 27, 34
Wie kann ein billiges Material für eine Vorichtsmaßnahme eingesetzt werden, die das System in Summe günstiger macht?	x								x								27
Wie kann ein sehr günstiges Material eingesetzt werden, dass sich als Wegwerfprodukt eignet?	x																27, 34
Wie könnte ein günstiges flüssiges oder gasförmiges Material verwendet werden?	x								x								29, 35
Wie könnte ein Material eingesetzt werden, dass eine Materialeinsparung durch Wandstärkenverringering ermöglicht?	x								x								30
Wie könnte ein vorlackiertes / vorbehandeltes Material verwendet werden?	x								x								32

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materiall.kst.	Ruestkst.	Bearbeitungskst.	Montagekst.	Verteilkst.	Prüf.kst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantevvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsopt.	Montageopt.	Prüfopt.	Distribution
Wie könnten Materialpaarungen aus kostengünstigerem Material realisiert werden?	x							x	x									33
Wie wäre ein Material mit hohem Wärmeausdehnungskoeffizienten günstiger?	x								x									37
Wie könnte ein Verbundmaterial bezogen werden, dass (bezogen auf die notwendige Menge) das Teil kostengünstiger machen würde?	x								x									40
Wie könnte das Teil mit mehreren anderen Teilen zu einem Integralteil zusammengefasst werden, dass günstiger zu fertigen ist?		x						x						x				1
Wie können Bedingungen geschaffen werden, um dieses Teil mit anderen Teilen zu einem Integralteil zu kombinieren?		x						x							x			1
Ist eine geringere Oberflächenqualität und sind grobere Toleranzen möglich?		x							x					x				2, 3
Wie können unterschiedliche Abmessungen vereinheitlicht werden?		x							x					x				3
Wie kann das Teil integral als Schmiedeteil hergestellt werden?	x								x	x				x	x			3
Wie kann das Teil integral als Tiefziehteil hergestellt werden?	x								x	x				x	x			3
Wie kann das Teil integral aus Guss hergestellt werden?	x								x	x				x	x			3
Wie kann das Teil integral aus Blechumformung hergestellt werden?	x								x	x				x	x			3
Wie kann das Teil integral mit Sinterverfahren hergestellt werden?	x								x	x				x	x			3

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materialkfst.	Ruestkfst.	Bearbeitungskfst.	Montagekfst.	Vertilkfst.	Prüfkst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsopt.	Montageopt.	Prüfopt.	Distribution
Wie kann das Teil integral mit Outsert- / In-serttechnik hergestellt werden?	x		x						x					x	x			3
Wie könnte durch asymmetrische Gestaltung das Spannen des Teils verbessert werden?			x					x						x				4
Wie könnte durch symmetrische Gestaltung das Spannen des Teils verbessert werden?		x						x						x				4
Wie kann das Teil so ausgelegt werden, dass es auf jeder Maschine nur einmalig aufgespannt werden muss?			x					x						x				5, 9, 17
Wie können an diesem Teil geeignete Befestigungseinrichtungen vorgesehen werden, um das Bewegen zwischen Bearbeitungsstationen zu vereinfachen?				x					x					x				8, 9
Wie kann das Teil durch geeignete Schwerpunktpositionierung das Ausrichten / Aufspannen vereinfachen?		x								x				x				8, 12, 25
Wie kann das Teil ferromagnetisch sein um das Handling zu vereinfachen?		x								x				x				8
Wie könnte das Teil ohne Umspannen bearbeitet werden?		x								x				x				9, 11, 12, 13, 17, 25
Wie könnte das Spannen des Teils verbessert werden?		x								x				x				9, 11, 12, 13, 17, 25
Wie können die Bearbeitungsflächen am Teil reduziert werden?			x													x		9, 11, 12, 13, 17, 25

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materiall.kst.	Ruestkst.	Bearbeitungskst.	Montagekst.	Verteilkst.	Prüf.kst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantevteifalt	Betriebsmittel		Fertigungsopt.	Montageopt.	Prüfopt.	Distribution
Wie können schiefwinklig zueinander stehende Bearbeitungsflächen vermieden werden?			x						x									9, 11, 12, 13, 17, 25
Wie können Bearbeitungsflächen gleichartig (z.B. gleiche Bohrungen) ausgeführt werden?			x						x									9, 11, 12, 13, 17, 25
Wie können Bemaßungen messbar ausgelegt werden?						x			x									9, 11, 12, 13, 17, 25
Wie könnte das Teil maschinenangepasst konstruiert werden?		x	x						x									9, 11, 12, 13, 17, 25
Wie kann der Verschnitt durch geeignete Gestaltung reduziert werden?			x						x									9, 11, 12, 13, 17, 25
Wie könnte eine Änderung der Abfolge von zu bearbeitenden Wirkflächen des Teils die Fertigung vereinfachen?			x						x					x				13, 15, 17
Wie könnte durch Konturanpassung (geradlinig <-> gekrümmt) die Verspannung in Maschinen vereinfacht werden?		x							x									14
Wie können an sphärischen Teilen ebene Flächen zur einfacheren Verspannung vorgesehen werden?		x							x									14
Wie können an kugelförmigen Teilen geradlinige Flächen zur einfacheren Verspannung vorgesehen werden?		x							x									14

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materialkfst.	Ruestkfst.	Bearbeitungskfst.	Montagekfst.	Verteilkfst.	Prüfkst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsopt.	Montageopt.	Prüfopt.	Distribution
Wie könnte durch Umgestaltung des Teils die Anzahl der Fertigungsgänge reduziert werden?	x	x	x					x						x				15
Wie kann durch die Verwendung von geringfügig mehr Material die Bearbeitung erleichtert (beschleunigt) werden?			x					x										16
Wie könnte die Wegnahme von Material die Bearbeitung vereinfachen?	x							x										16
Wie könnte eine Anpassung des Teils die Positionierung auf der Bearbeitungsmaschine erleichtern?	x							x										17
Wie können Materialien verwendet werden, die die Nutzung von Resonanzfrequenzen (Eigenfrequenzen) tolerieren und damit die Bearbeitung vereinfachen (beschleunigen)?			x					x		x								18
Wie kann das Teil so angepasst werden, dass es simultan an verschiedenen Stellen bearbeitet werden kann?	x		x					x						x				19, 20
Wie könnte das Teil so ausgelegt werden, dass es bei der Bearbeitung entstehende Wärme zu einer gewünschten Formänderung nutzt?			x							x								22
Wie könnte das Teil so modifiziert werden, dass unter Anbringung eines externen Hilfteils die Bearbeitung vereinfacht / beschleunigt wird?			x							x				x				24
Wie könnte die Färbung des Teils die Zuordnung in der Fertigung vereinfachen?	x							x										32

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materiall.kst.	Ruestkst.	Bearbeitungskst.	Montagekst.	Verteilkst.	Prüfkst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsopt.	Montageopt.	Prüfopt.	Distribution
Wie kann das Teil aus einem möglichst einfach zu bearbeitenden Material gefertigt werden?			x							x								33
Wie könnte eine vorgesehene Zustandsänderung (bspw. Erwärmung) das Bearbeiten des Teils vereinfachen?			x					x		x								35, 36, 37
Wie könnte ein flexibleres Teil die Fertigung vereinfachen?			x							x								35
Wie könnte eine Auslegung des Teils aus Verbundmaterial Fertigungsgänge entfallen lassen?			x							x								40
Wie kann die Teileanzahl reduziert werden?																		1
Wie kann die Variantenzahl reduziert werden?	x							x		x								1
Wie kann die Anzahl variantenspezifischer Teile reduziert werden?	x							x		x								1
Wie können Verbindungssteile vermieden werden?	x																	1
Wie können einfache Verbindungen (ohne Zusatzteile) verwendet werden?	x																	2
Wie können Bauteile sehr einfach gestaltet werden?	x																	3
Wie wird die Fügelage durch das Teil eindeutig bestimmt?																		4
Wie können Befestigungsrichtungen vereinheitlicht werden?																		5
Wie können Fügestellen reduziert werden?																		5
Wie können Fügeachsen vereinheitlicht werden?																		7

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP			
	Materialkfst.	Ruestkfst.	Bearbeitungskfst.	Montagekfst.	Verteilkfst.	Prüfkfst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsopt.	Montageopt.	Prüfopt.
Wie kann das Teil translatorisch montiert werden?				x					x						x		7
Wie können bei translatorischer Montage Schnapp- oder Rastverbindungen verwendet werden?			x					x							x		7
Wie können bei translatorischer Montage Bördel-, Stauch-, Verlapp- oder Kerbverbindungen verwendet werden?			x					x							x		7
Wie kann sich zur Montage auf eine Bewegungsart beschränkt werden?			x					x							x		7
Wie kann von möglichst nur einer Richtung stapelartig montiert werden?			x					x							x		7
Wie können an diesem Teil geeignete Befestigungseinrichtungen vorgesehen werden, die das Ausrichten bei der Montage vereinfachen?			x						x						x		8
Wie können Fügelagen durch geeignete Schwerpunktpositionierung des Teils eindeutig bestimmt werden?			x						x						x		8, 12
Wie kann das Teil ferromagnetisch sein um das Handling zu vereinfachen?			x						x						x		8
Wie können Einstellträglichkeiten vermieden werden?			x						x						x		9
Wie können Justagetätigkeiten vermieden werden?			x						x								9
Wie können Wirtteile vermieden werden?																	10
Wie können variantenspezifische BG erst gegen Ende montiert werden?			x						x						x		10

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materiall.kst.	Ruestkst.	Bearbeitungskst.	Montagekst.	Verteilkst.	Prüf.kst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungssopt.	Montageopt.	Prüfsopt.	Distribution
Wie können Anbaubedingungen von variantenunabhängigen BG vereinfacht werden?			x					x				x						10
Wie können Schnittstellen vorgesehen werden?			x					x										10
Wie kann das Teil so modifiziert werden, dass es nicht verwechselbar, nach Lage erkennbar und gut greifbar ist?			x					x										11, 12, 17
Wie können biegeschlaiffe Teile vermieden werden?			x					x										11
Wie kann die Fügerrichtung auf eine begrenzt werden (Sandwichbauweise)?			x					x										12
Wie könnte durch Konturanpassung (geradlinig <-> gekrümmt) die Montage vereinfacht werden?			x					x								x		14
Wie könnte durch Konturanpassung (sphärisch<-> eben) die Montage vereinfacht werden?			x					x								x		14
Wie können an kugelförmigen Teilen geradlinige Flächen (wenn möglich asymmetrisch) zur einfacheren Montage vorgesehen werden?			x					x								x		14
Wie könnten durch die Kombination des Teils mit anderen Teilen Montagegänge eingespart werden?			x					x								x		15
Wie kann durch die Verwendung von geringfügig mehr Material die Montage erleichtert werden?			x					x								x		16
Wie könnte die Wegnahme von Material die Montage vereinfachen?			x					x								x		16

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materialkfst.	Ruestkfst.	Bearbeitungskst.	Montagekfst.	Vertikl.kst.	Prüfkst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsopt.	Montageopt.	Prüfopt.	Distribution
Wie können Klebeverbindungen verwendet werden?				x					x						x			24
Wie könnte das Teil so modifiziert werden, dass unter Anbringung eines externen Hilfstells die Montage vereinfacht / beschleunigt wird?			x	x					x						x			24
Wie können die notwendigen Fügerichtungen begrenzt werden?			x	x					x						x			25
Wie kann das Teil leicht transportierbar, leicht handhabbar und leicht einführbar gestaltet werden?			x	x					x						x			25
Wie kann das Teil selbsttätig ausrichtend und sichernd ausgeführt werden?			x	x					x						x			25
Wie könnte die Färbung des Teils die Zuordnung in der Montage vereinfachen?			x	x					x						x			32
Wie kann das Teil aus einem möglichst einfach zu fügenden Material gefertigt werden?			x	x					x									33
Wie könnte eine vorgesehene Zustandsänderung (bspw. Erwärmung) das Fügen des Teils vereinfachen?			x	x					x						x			35
Wie könnte ein flexibleres Teil die Montage vereinfachen?			x	x					x						x			35
Wie könnte eine Kombination des Teils mit anderen Teilen unter Nutzung von Verbundmaterial Montagegänge sparen?			x	x					x						x			40
Wie kann die Beschaffung von Produktions- / Betriebsmitteln optimiert werden?			x													x	x	3

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materialkfst.	Ruestkst.	Bearbeitungskfst.	Montagekst.	Verteilkst.	Prüfkst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantevvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsopt.	Montageopt.	Prüfopt.	Distribution
Wie wäre die Nutzung verschiedener, besser an die Anforderungen angepassten Betriebsstoffen in Summe günstiger?			x										x	x				4
Wie kommen andere Lieferanten für Betriebsmittel in Frage?			x										x	x				4
Ist es günstiger die Betriebsmittel aus einer Hand oder aus verschiedenen Händen zu beziehen?			x										x					4
Wie können Betriebsstoffe kombiniert werden und dadurch die Fertigung vereinfachen / beschleunigen?			x										x	x				5
Wie könnten Werkstücke besser vorgeordnet werden?			x											x	x			10
Wie könnten Betriebsmittel gut erreichbar angeordnet werden?			x										x					10
Wie könnte die Logistik der Betriebsmittelversorgung optimiert werden?			x										x					10
Wie könnte die Logistik der Werkstückzuführung verbessert werden?			x											x	x			10
Wie wäre die Anwendung adaptiver Betriebsstoffe in Summe günstiger?			x										x					15
Wie kann der Materialfluss verbessert werden?			x										x	x	x			15
Wie könnte die Verwendung von ein wenig mehr Betriebsmittel die Fertigung beschleunigen?			x										x					16
Wie könnte eine automatisierte Zuführung von Betriebsmitteln. Fertigungsgänge verkürzen?			x										x	x				25

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materialkfst.	Ruestkfst.	Bearbeitungskfst.	Montagekfst.	Verteilkst.	Prüfkst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsopt.	Montageopt.	Prüfopt.	Distribution
Wie können sich selbst reinigende Betriebsstoffe eingesetzt werden?	x		x										x					25, 34
Ist das Rohmaterial oder ein Kaufteil kostengünstiger zu beschaffen?	x										x							26
Wie kann das Halbzeug bzw. der Rohling vorbehandelt bezogen werden?	x										x							26
Wie kann Materialabfall vermieden werden?	x																	27
Wie können Betriebsstoffe wiederverwendet werden?	x	x	x					x										27, 25
Wie könnten Verbundstoffe als Betriebsstoffe die Fertigung oder die Montage beschleunigen?	x		x											x	x			40
Wie könnten Fertigungsgänge in mehrere zerlegt werden, die auf unterschiedlichen Maschinen in Summe schneller abgearbeitet werden könnten?			x												x			1
Wie kann man (Nach-)Bearbeitungsschritte einsparen?			x												x			2
Wie kann man aufwändige Anpassarbeiten vermeiden?			x												x			2
Passt das Bauteil in das firmenspezifische Teilespektrum?			x							x	x				x			2
Muss das Bauteil im Haus gefertigt werden?			x												x			2
Wie können lange Rüst- und Bearbeitungszeiten optimiert werden?			x							x	x				x			2
Bieten sich andere (leistungsfähigere) Fertigungsverfahren an?			x												x			2, 3

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP			
	Materialkst.	Ruestkst.	Bearbeitungskst.	Montagekst.	Verteilkst.	Prüfktst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsopt.	Montageopt.	Prüfopt.
Wie könnte eine andere Maschine verwendet werden, die die Durchführung mehrerer Fertigungsgänge erlaubt?		x	x											x			5
Wie können Vorrichtungen genutzt werden, um mehrere Teile gleichzeitig einzuspannen?		x	x											x			5, 9, 15
Wie könnten mehrere Fertigungsgänge auf Basis der selben Einspannung durchgeführt werden?		x	x											x			5
Wie könnten Bearbeitungszentren die Fertigung vereinfachen?		x	x											x			5, 6
Wie könnten Handlungshilfen (Kran, etc.) zur Reduzierung der Stillstandszeiten zwischen Fertigungsgängen eingesetzt werden?		x	x		x									x			8, 9
Wie wird die Fertigungstechnologie im Haus beherrscht?			x				x				x			x			11
Wie kann die Beherrschung der Fertigungstechnologie im Haus verbessert werden?			x				x				x			x			11
Wie wäre ein komplett gegensätzliches / anderes Fertigungsverfahren besser geeignet?			x					x						x			13
Wie wäre eine andere Reihenfolge von Fertigungsgängen günstiger?			x											x			13
Wie können Konturen (krummlinig <- >geradlinig) zur besseren Verspannung genutzt werden?			x						x					x			14
Wie können geradlinige Flächen an kugelförmigen Konstruktionen zur einfacheren Verspannung genutzt werden?			x					x						x			14

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP			
	Materialkfst.	Ruestkfst.	Bearbeitungskst.	Montagekfst.	Verteilkfst.	Prüfkst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsopt.	Montageopt.	Prüfopt.
Wie wäre eine auf rotatorischer Bearbeitung basierende Fertigung des Teils günstiger?	x	x	x											x			14
Wie wären andere Fertigungsgänge günstiger?	x	x	x											x			15
Wie könnte die Anzahl der Fertigungsgänge reduziert werden?	x	x	x											x			15
Wie könnten andere Vorrichtungen Kosten senken?	x	x	x											x			15
Sind die Fertigungszeiten gerechtfertigt?	x	x	x											x			15
Ist die Reihenfolge der Arbeitsgänge optimal?	x	x	x											x			15
Ist die Fertigung auf anderen Maschinen kostengünstiger?	x	x	x											x			15
Sind andere Verfahren zur Werkstofftrennung, zur Oberflächenbehandlung, zum Fügen und Montieren möglich?	x	x	x											x	x		15
Wie könnten mehrere Fertigungsgänge parallel ausgeführt werden?	x	x	x											x			15
Wie könnte die Wegnahme von Material die Dauer der Fertigungsgänge reduzieren?	x	x	x							x				x			16
Wie würde die Verwendung von mehr Material Fertigungsgänge vereinfachen?	x	x	x							x				x			16
Wie könnte ein Fertigungsgang in drei statt in zwei Dimensionen erfolgen und dadurch Zeit sparen?	x	x	x											x			17
Wie würde das Kippen des Objekts Fertigungsgänge vereinfachen?	x	x	x											x			17
Wie würde eine Veränderung der Lage des Objekts Fertigungsgänge vereinfachen?	x	x	x											x			17

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materiall.kst.	Ruestkst.	Bearbeitungskst.	Montagekst.	Verteilkst.	Prüfkst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsopt.	Montageopt.	Prüfopt.	Distribution
Wie können Schwingungen zur Vereinfachung von Fertigungsgängen genutzt werden?	x	x	x											x				18
Wie könnte die Nutzung von Resonanzfrequenzen Fertigungsgänge beschleunigen?	x	x	x											x				18
Wie wäre ein Fertigungsgang basierend auf periodischer / pulsierender Wirkung schneller / günstiger?	x	x	x											x				19
Wie können mehrere Fertigungsgänge zu einem kontinuierlichen Fertigungsgang zusammengefasst werden?	x	x	x											x				20
Wie könnte Leerlauf zwischen Fertigungsgängen für andere Fertigungsgänge genutzt werden?	x	x	x											x				20
Wie kann die Geschwindigkeit des Fertigungsganges so stark erhöht werden, dass der schädliche Faktor nicht wirksam wird?	x	x	x											x				21
Wie kann die Nutzung schädlicher Faktoren die Fertigung günstiger machen?	x	x	x											x				22
Wie könnten Fertigungsgänge durch Automatisierung beschleunigt werden?	x	x	x											x				23
Wie könnten die Nutzung von Adaptem Fertigungsgänge beschleunigen?	x	x	x											x				24
Wie könnte eine Ausrichtung zur Bearbeitung automatisiert erfolgen?	x	x	x											x				25
Wie können schädliche Effekte anderer Maschinen für die Beschleunigung des Fertigungsgangs eingesetzt werden?	x	x	x											x				25

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materialkfst.	Ruestkfst.	Bearbeitungskfst.	Montagekfst.	Verteilkfst.	Prüfkst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsopt.	Montageopt.	Prüfopt.	Distribution
Wie könnten einfachere Fertigungsverfahren verwendet werden?	x	x	x											x				26
Wie könnten teure Vorrichtungen durch billige Kopien ersetzt werden, die gut genug sind?	x	x	x											x				27
Wie könnte eine mechanische Bearbeitung durch eine günstigere Bearbeitung mit Feldern höherer Ordnung ersetzt werden?	x	x	x											x				28, 8
Wie könnten magnetische Felder das Handling in der Fertigung vereinfachen?	x	x	x											x				28, 8
Wie könnten andere auf Pneumatik/ Hydraulik basierende Handlungshilfen die Pausen zwischen Fertigungsgängen verkürzen?	x	x	x											x				29
Wie würde eine andere Materialwahl für Bearbeitungswerkzeuge Fertigungsgänge beschleunigen?	x	x	x											x				33
Wie würde eine Vorbehandlung des Werkstücks Fertigungsgänge beschleunigen?	x	x	x											x				35
Wie könnten Phasenübergänge für die Beschleunigung von Fertigungsverfahren genutzt werden?	x	x	x											x				36
Wie könnte die Nutzung thermischer Expansion oder Kontraktion von Materialien das Fertigen des Teils günstiger machen?	x	x	x											x				37
Wie wäre eine Montage von einer Seite schneller?																		4
Wie wäre eine Montage von zwei Seiten schneller?																		4

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materiall.kst.	Ruestk.st.	Bearbeitungskst.	Montagek.st.	Verteilk.st.	Prüfk.st.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsapt.	Montageapt.	Prüfapt.	Distribution
Wie könnten Vorrichtungen zur Montage genutzt werden, die mehrere Objekte bereits kombiniert in die BG einsetzen?				x									x	x				5, 9, 15
Wie können Zugänglichkeiten für Montagearbeiten gewährleistet werden?				x											x			5, 11
Wie könnten mehrere Montagegänge gleichzeitig ausgeführt werden?				x											x			6
Wie könnten Vorrichtungen genutzt werden, die eine translatorische Montage vereinfachen?				x									x	x				7
Wie könnten Handlungshilfen (Kran, etc.) zur Beschleunigung der Montage eingesetzt werden?				x									x	x				8, 9
Wie können Teile besser vorgeordnet werden?				x											x			10
Wie können Verbindungsteile vormontiert werden?				x											x			10
Wie können Baugruppen vormontiert werden (stärker als bisher)?				x											x			10
Wie können Füge- / Zentrierhilfen verwendet werden?				x									x	x				11
Ist die Zugänglichkeit von Verbindungen gewährleistet?				x											x			11
Sind geeignete Handhabungsgeräte vorhanden?				x									x	x				12
Wie könnten geeignete Handhabungsgeräte die Montage vereinfachen?				x									x	x				12
Wäre eine andere Reihenfolge von Montageschritten günstiger?				x											x			13

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP			
	Materialkfst.	Ruestkfst.	Bearbeitungskfst.	Montagekfst.	Verteilkfst.	Prüfkst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsopt.	Montageopt.	Prüfopt.
Wie können Konturen (krummlinig >geradlinig) zur einfacheren Montage genutzt werden?				x					x						x		14
Wie können geradlinige Flächen an kugelförmigen Konstruktionen zur einfacheren Montage genutzt werden?				x					x						x		14
Wie würde die Verwendung von mehr Material die Montage vereinfachen?				x					x						x		16
Wie kann die Montagebewegung auf eine Dimension reduziert werden und dadurch Zeit sparen?				x											x		17
Wie würde das Kippen des Objekts Montagegänge vereinfachen?				x											x		17
Wie würde eine Veränderung der Lage des Objekts Montagegänge vereinfachen?				x											x		17
Wie können Schwingungen zur Vereinfachung von Montagegängen genutzt werden?				x											x		18
Wie kann die Nutzung schädlicher Faktoren die Montage günstiger machen?				x											x		22
Wie könnten Montagegänge durch Automatisierung beschleunigt werden?				x											x		23
Wie könnten die Nutzung von Adaptern Montagegänge beschleunigen?				x											x		24
Wie könnte eine Ausrichtung zur Montage automatisiert erfolgen?				x											x		25

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materiall.kst.	Ruestkst.	Bearbeitungskst.	Montagekst.	Verteil.kst.	Prüf.kst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantevteifalt	Betriebsmittel		Fertigungsopt.	Montageopt.	Prüfopt.	Distribution
Wie können schädliche Effekte anderer Maschinen für die Beschleunigung des Montagegangs eingesetzt werden?			x												x			25
Wie können möglichst einfache Montagewerkzeuge verwendet werden?			x												x			26
Wie könnten teure Vorrichtungen durch billige Kopien ersetzt werden, die gut genug sind?			x										x		x			27
Wie könnten magnetische Felder das Handling in der Montage vereinfachen?			x										x		x			28, 8
Wie könnten andere auf Pneumatik/ Hydraulik basierende Handlingshilfen die Montage beschleunigen?			x										x		x			29
Wie würde eine Vorbehandlung des Werkstücks Montagetätigkeiten beschleunigen?															x			35
Wie könnte die Nutzung thermischer Expansion oder Kontraktion von Materialien die Montage günstiger machen?			x												x			37
Wie könnte die Konstruktion so geändert werden, dass Prüfschritte ganz entfallen können?																	x	2, 6, 9
Wie können Oberflächen des Teils konstruktiv so vorbereitet werden, dass Prüfschritte entfallen oder sehr einfach durchzuführen sind?																	x	3
Wie könnten Prüfschritte durch asymmetrische / symmetrische Gestaltung vereinfacht werden?																	x	4
Wie könnte das Teil angepasst werden um die Qualitätsprüfung zu vereinfachen?																	x	10

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materialkfst.	Ruestkfst.	Bearbeitungskst.	Montagekfst.	Verteilkfst.	Prüfkst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsopt.	Montageopt.	Prüfopt.	Distribution
Wie kann das Teil so modifiziert werden, dass eine Qualitätsprüfung einfacher möglich ist?						x												11
Wie könnte die Qualitätsprüfung durch andere Prüfmittel beschleunigt werden?						x							x					11
Wie könnten einzelne Prüfschritte direkt während der Fertigung durchgeführt werden?						x												1
Wie würde eine Prüfung nur an einer Seite ausreichen?						x												4
Wie könnten mehrere Prüfschritte zu einem Prüfschritt kombiniert werden?						x												5
Wie könnten gleichartige Prüfschritte am Teil gleichzeitig erledigt werden?						x												5
Wie könnten Prüfschritte so modifiziert werden, dass ihre Aussage andere Prüfschritte entfallen lassen würde?						x												6
Sind Prüfschritte unnötig?																		
Wie könnten mehrere Prüfschritte durch Verschachtelung gleich zeitig ausgeführt werden?						x												6
Wie könnte ein anderes Merkmal geprüft werden, dass Rückschlüsse auf das originär zu prüfende Merkmal zulässt?						x												7
Wie wäre eine andere Reihenfolge von Prüfschritten in der Fertigung günstiger?																		
Wie wäre eine Prüfung unter Nutzung von Schwingungen effizienter?																		13
Wie könnten mehrere Merkmale in einem Arbeitsgang geprüft werden?																		
Wie wäre eine andere Reihenfolge von Prüfschritten in der Fertigung günstiger?						x												13
Wie wäre eine Prüfung unter Nutzung von Schwingungen effizienter?						x												18
Wie könnten mehrere Merkmale in einem Arbeitsgang geprüft werden?						x												20

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materialkst.	Ruestkst.	Bearbeitungskst.	Montagekst.	Verteilkst.	Prüfkst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsopt.	Montageopt.	Prüfopt.	Distribution
Wie können Prüfschritte sehr schnell ausgeführt werden?						x										x		21
Wie können Adapter verwendet werden, um Prüfschritte zu beschleunigen?						x										x		24
Wie könnte das Werkstück sich selbst prüfen?						x										x		25
Wie könnte die Maschine im Fertigungsengang direkt mit prüfen?						x								x				25
Wie könnte schneller an billigen Kopien geprüft werden?						x										x		26, 27
Wie könnte schneller an einer optischen Kopie geprüft werden?						x										x		26
Wie könnte mit Feldern höherer Ordnung effizienter geprüft werden?						x										x		28
Wie könnte Farbe zur effizienteren Prüfung eingesetzt werden?						x										x		32
Wie können gleichartige Prüfmethoden für viele verschiedene Prüfungen verwendet werden und dadurch Zeit sparen?						x										x		33
Wie können physikalische oder chemische Effekte ausgenutzt werden, die die Prüfung effizienter machen?						x										x		35
Wie können Wärmedehnungen für effizientere Prüfungen eingesetzt werden?						x										x		37
Wie könnten einzelne Prüfschritte direkt während der Montage durchgeführt werden?						x										x		1

Weiter auf der nächsten Seite

Tab. E.1 – fortgeführt von der vorherigen Seite

Frage	Schlagworte													IP				
	Materialkst.	Ruestkst.	Bearbeitungskst.	Montagekst.	Vertilkst.	Prüfkst.	Funktion	Anforderungen	Gestaltung	Materialwahl	Bezugsart	Variantenvielfalt	Betriebsmittel		Fertigungsopt.	Montageopt.	Prüfopt.	Distribution
Wie könnten im montierten Zustand mehrere Prüfschritte zu einem Prüfschritt kombiniert werden?						x										x		5
Wie könnten gleichartige Prüfschritte gleichzeitig erledigt werden?						x										x		5
Wie könnte ein anderes Merkmal geprüft werden, dass Rückschlüsse auf das originär zu prüfende Merkmal zulässt?						x										x		13
Wie wäre eine andere Reihenfolge von Prüfschritten in der Montage günstiger?						x										x		13
Wie wäre eine Prüfung unter Nutzung von Schwingungen effizienter?						x										x		18
Wie könnten mehrere Merkmale in einem Arbeitsgang geprüft werden?						x										x		20
Wie können Prüfschritte sehr schnell ausgeführt werden?						x										x		21
Wie können Adapter verwendet werden, um Prüfschritte zu beschleunigen?						x										x		24
Wie könnte schneller an billigen Kopien geprüft werden?						x										x		26

*E Kostensenkungsfragen*

## F Stoff-Feld-Modifikation nach Belski

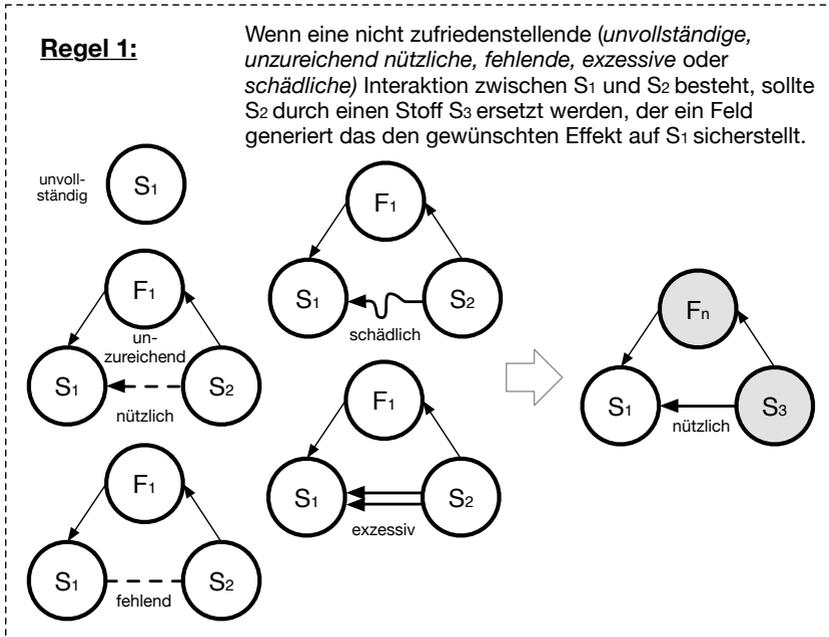


Abb. F.1: Regel 1 zur Stoff-Feld-Modifikation (in Anlehnung an [BELSKI 2007])

Die Regel 1 (vgl. Abb. F.1) sieht den Ersatz des die nicht zufriedenstellende Interaktion auslösenden Stoffes durch einen gänzlich anderen vor [BELSKI 2007]. Diese Regel ermuntert den Anwender nach umfassenden Lösungen für den Ersatz von Stoffen zu suchen.

Die Regel 2 (vgl. Abb. F.2) sieht das Hinzufügen eines zusätzlichen Stoffes  $S_3$  vor, der auf das Werkzeug  $S_2$  so wirkt, dass die gewünschte Interaktion zwischen  $S_1$  und  $S_2$  gewährleistet werden kann.

Die Regel 3 (vgl. Abb. F.3) sieht das Hinzufügen eines zusätzlichen Stoffes  $S_3$  vor, der auf das Objekt  $S_1$  so wirkt, dass die gewünschte Interaktion zwischen  $S_1$  und  $S_2$  gewährleistet werden kann.

Die Regel 4 (vgl. Abb. F.4) sieht die Einführung eines Stoffes  $S_3$  vor, der zwischen  $S_1$  und  $S_2$  als Puffer wirkt und entweder mit  $S_1$  oder mit  $S_2$  direkt interagiert. Zwei

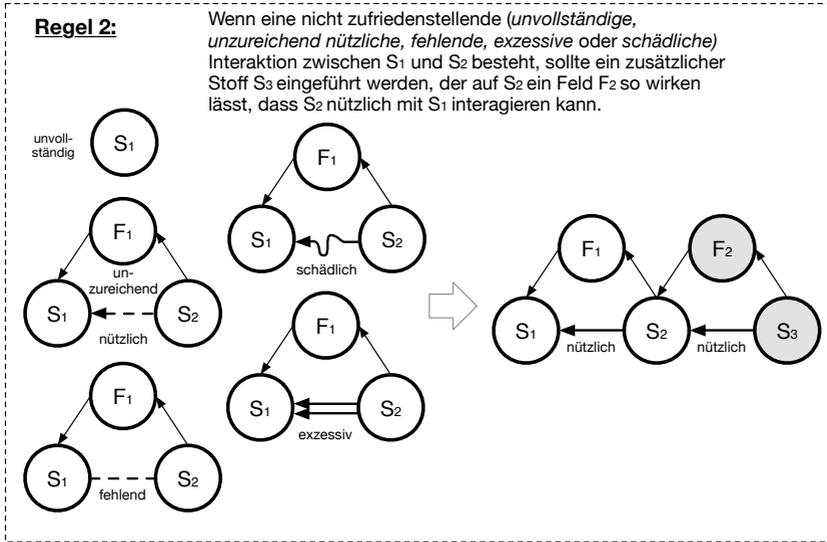


Abb. F.2: Regel 2 zur Stoff-Feld-Modifikation (in Anlehnung an [BELSKI 2007])

idealisierte Varianten dieser Regel sehen die Verwendung einer Modifikation von  $S_1$  oder  $S_2$  vor. Diese Modifikation wird durch ein zusätzliches Feld  $F_A$  realisiert. Um die Ermittlung einer modifizierten Substanz zu erleichtern, kann die Len-Kaplan-Regel zusätzlich angewendet werden (vgl. [BELSKI 2007]).

Die Regel 5 sieht die Einführung eines zusätzlichen Feldes vor, dass auf  $S_1$  und  $S_2$  wirkt und damit die gewünschte Interaktion zwischen beiden Stoffen sicherstellt.

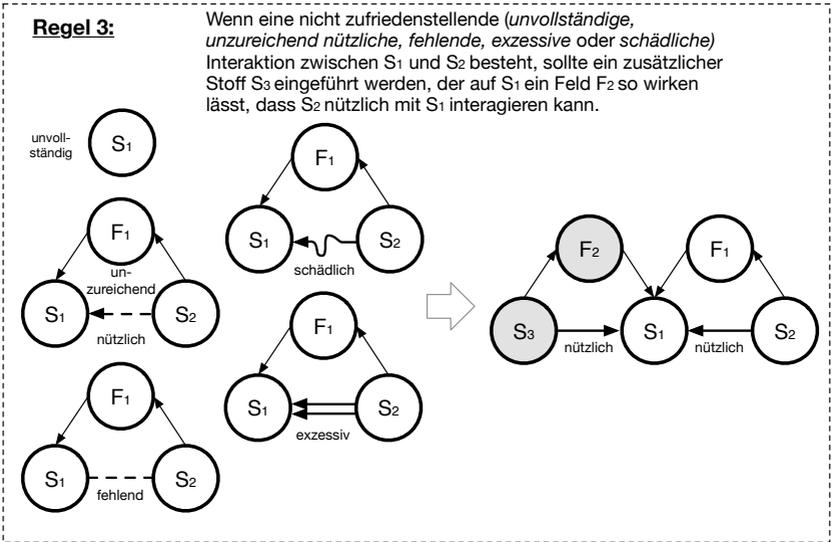


Abb. F.3: Regel 3 zur Stoff-Feld-Modifikation (in Anlehnung an [BELSKI 2007])

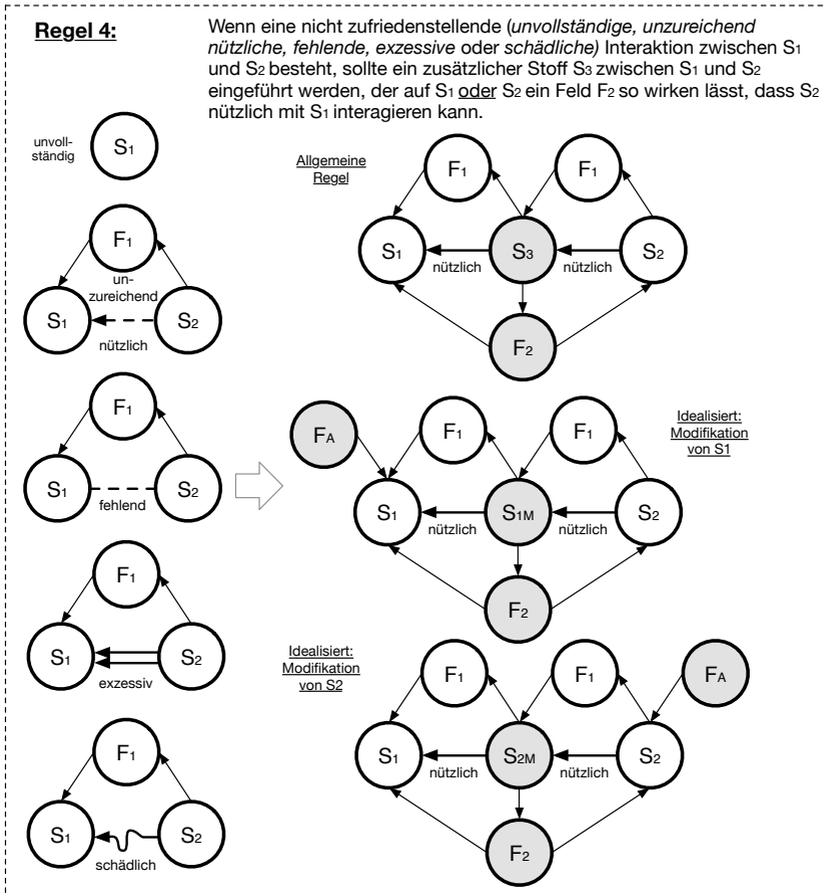


Abb. F.4: Regel 4 zur Stoff-Feld-Modifikation (in Anlehnung an [BELSKI 2007])

## Len-Kaplan-Methode:

Ermittlung einer möglichen Substanz S<sub>3</sub>, die zwischen S<sub>1</sub> und S<sub>2</sub> eingefügt werden könnte

### **1** Identifiziere die gegensätzlichen Eigenschaften von S<sub>1</sub> und S<sub>2</sub>

<u>Bsp.</u>	Stoff	Ball	Luft
gegensätzliche Eigenschaften		Fest	Gasförmig
		Stationär	In Bewegung

### **2** Kombiniere die gegensätzlichen Eigenschaften zu möglichen neuen Substanzen

- Bsp.
- feste Luft
  - stationäre Luft
  - gasförmiger Ball
  - in Bewegung befindlicher Ball

Abb. F.5: Len-Kaplan-Methode zur Identifikation von Stoff-Modifikationen (vgl. [BELSKI 2007])

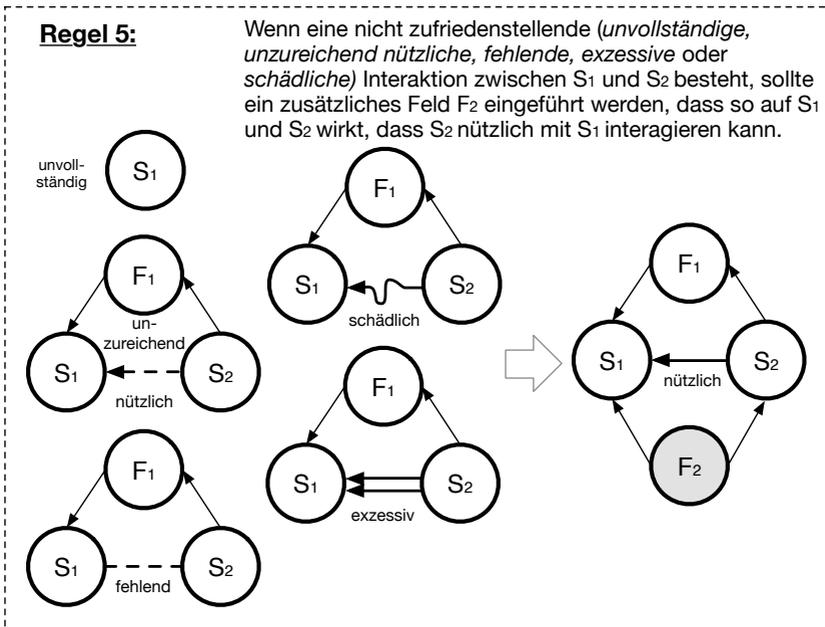


Abb. F.6: Regel 5 zur Stoff-Feld-Modifikation (in Anlehnung an [BELSKI 2007])

## G TRIZ-Ressourcen

<b>SYSTEM-TECHNISCHE RESSOURCEN</b>			
<b>SYSTEM-RESSOURCEN</b>	<b>INFORMATIONSS-RESSOURCEN</b>	<b>FUNKTIONALE RESSOURCEN</b>	<b>STRUKTUR-RESSOURCEN</b>
Gehören zu den allgemeinen Systemeigenschaften	Gehören zur Übertragung von Signalen, tragen Mitteilungen	Gehören zur Schaffung von Funktionen	Gehören zum Bestand des Objekts
Effektivität, Produktivität, Zuverlässigkeit, Sicherheit, Langlebigkeit und andere	Zuverlässigkeit, Störungsresistenz, Genauigkeit, Vollständigkeit, Methoden und Effektivität der Kodierung, Verfahren und Parameter der Datenkompression u.ä.	Zweck (nützliche Hauptfunktion), Hilfsfunktionen, negative Funktionen, Beschreibung des Funktionsprinzips (Funktionales Modell)	Komponenten und Verbindungen zwischen Komponenten, Strukturarten (lineare, verzweigte, parallele, geschlossene u.ä.)
<b>PHYSIKALISCH-TECHNISCHE RESSOURCEN</b>			
<b>ZEITLICHE RESSOURCEN</b>	<b>RÄUMLICHE RESSOURCEN</b>	<b>STOFFLICHE RESSOURCEN</b>	<b>ENERGETISCHE RESSOURCEN</b>
Gehören zur Bewertung der Zeit	Gehören zu den geometrischen Eigenschaften	Gehören zu den Materialeigenschaften	Gehören zu den energetischen Eigenschaften und ihren Erscheinungen
Häufigkeit von Ereignissen, Dauer der Zeitintervalle, Reihenfolge der Ereignisse in der Zeit, Wert der Verspätung oder des Überholens	Form eines Objekts, Größe – Länge, Breite, Höhe, Durchmesser usw., Besonderheiten der Form – Vorhandensein von vorspringenden Teilen, Hohlräumen usw.	Chemische Zusammensetzungen, physikalische Eigenschaften, spezielle ingenieurtechnische Eigenschaften	Arten genutzter und berücksichtigter Energien, inkl. mechanischer Kräfte, Gravitations-, Wärme-, elektromagnetische Kräfte usw.





Tobias Wigger studierte nach dem Abitur am Willibrord Gymnasium in Emmerich am Rhein Wirtschaftsingenieurwesen am Fachbereich Maschinenbau der Universität Siegen und war dort Stipendiat der Wolfgang-Dreger-Stiftung. Nach Abschluss des Studiums arbeitete er als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Konstruktion der Universität Siegen. Seine Dissertation schloss er 2017 ab.

Die Wertanalyse (WA) ist ein in der Industrieanwendung bewährtes Werkzeug zur systematischen Entwicklung, gekennzeichnet durch einen ganzheitlichen Ansatz zur Produktoptimierung und einen diesem Ansatz entsprechenden Arbeitsplan nach *EN12973*.

Kern der systematischen Entwicklung nach diesem Arbeitsplan sind die Phasen 4 und 5. In deren Kontext erfolgen die Analyse und die Erarbeitung von Lösungsansätzen zur Optimierung der betrachteten Systeme.

Die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ist ein Konzept zur Integration und Kombination von Methoden der WA und der TRIZ zu entwickeln. Wesentlicher Fokus ist der Einsatz der TRIZ zur Kostensenkung in WA-Projekten. Ein Ergebnis sind die auf der Grundlage der 40 Innovationsprinzipien definierten kreativitätsanregenden Kostensenkungsfragen. Mit der *Root Conflict Analysis* wird zudem eine TRIZ-Methode zur Kostenursachenanalyse adaptiert, die Transparenz in Bezug auf Kostenursachenketten schaffen kann. Zusätzlich wird die WA um einen einfachen Ansatz zur *Komponenten-Potential-Analyse* erweitert. Die Definition einer standardisierten Beschreibung legt den Grundstein für die Methodenkombination. Die Sammlung der *Methodenpässe* bietet eine ganzheitliche und systematische Aufarbeitung, Verbesserung der Anwendung und Visualisierung der verschiedenen Methoden. Diese Arbeit bereitet die Basis für eine effektive Kombination von Wertanalyse und TRIZ und verdeutlicht damit, wie deren Kombination die Effizienz in einem Entwicklungsprojekten steigern kann.



Verlag  
Dr. Hirt

ISBN 978-3-8439-3254-7



9 783843 932547

