



Martin Humnig, BSc

**Entwicklung einer Methodik zum Generieren
von Lösungsprinzipien für einen
Kältemittelkompressorhersteller**

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Masterstudium Wirtschaftsingenieurwesen-Maschinenbau

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer

Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Wolfgang A. Marko
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Stefan Vorbach

Institut für Unternehmungsführung und Organisation

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

AFFIDAVIT

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources/resources, and that I have explicitly indicated all material which has been quoted either literally or by content from the sources used. The text document uploaded to TUGRAZonline is identical to the present master's thesis.

Datum / Date

Unterschrift / Signature

Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei der Secop Austria GmbH für die Möglichkeit der Durchführung meiner Masterarbeit bedanken. Für deren Unterstützung und Hilfsbereitschaft danke ich allen Mitarbeitern der Research & Development Abteilung in Fürstenfeld.

Seitens der Universität bedanke ich mich recht herzlich bei Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Stefan Vorbach und Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Wolfgang A. Marko für die kompetente Betreuung und Mitwirkung in allen fachlichen und organisatorischen Belangen.

Großer Dank gilt meiner Familie und meinen Freunden, die mir im Laufe des Studiums und auch während der Erstellung dieser Arbeit stets zur Seite gestanden sind. Speziell erwähnen möchte ich meine Eltern, die mich die letzten Jahre über in jeder erdenklichen Art und Weise unterstützt und somit die Rahmenbedingungen für einen erfolgreichen Abschluss meines Bildungsweges geschaffen haben.

*„Man belohnt seinen Lehrer schlecht,
wenn man immer sein Schüler bleibt.“*

(Friedrich Nietzsche, 1844–1900)

Kurzfassung

Die Secop Austria GmbH mit Sitz in Fürstenfeld entwickelt und produziert Kältemittelkompressoren für Haushaltsgeräte und definiert sich als Kostenführer im Top-Performance-Segment. Derzeit werden drei verschiedene Kompressortypen gefertigt. Um zukünftig am hart umkämpften Markt mit steigendem Umweltbewusstsein und Kostendruck bestehen zu können, muss die Effizienz der Kompressoren laufend gesteigert werden.

Ein mehrjähriges Entwicklungsprojekt soll eine Kompressorplattform hervorbringen, welche wesentliche Neuerungen zu den bestehenden Lösungen beinhaltet. Für die Suche nach den Lösungen ist ein Vorgehen nach einer Methodik zielführend.

Die vorliegende Arbeit definiert eine Methodik zur Entwicklung von prinzipiellen Lösungen für technische Problemstellungen. Dazu wurden anfangs verschiedene Methodiken analysiert, beschrieben und miteinander verglichen.

Aufbauend auf den gewonnenen Erkenntnissen wurde eine eigene Methodik, welche an Systems Engineering angelehnt ist, entwickelt. Diese ist mehrstufig aufgebaut und behandelt die Problemanalyse, Zieldefinition, Lösungssuche und -auswahl. Die Methodik ist grob in Vor-, Haupt-, Detailstudie und Systembau gegliedert, wobei der Fokus auf den beiden erstgenannten Abschnitten liegt. Für die verschiedenen Phasen werden Methoden als Werkzeuge genannt und erklärt, die der Zielerfüllung dienlich sind.

Somit wird einerseits ein Ablaufmodell zur Lösungssuche, welches durchlaufen werden kann und ein geordnetes Vorgehen sichert, präsentiert. Andererseits wird das methodische Rüstzeug zur Erarbeitung der gewünschten Lösungen vermittelt.

Abschließend erfolgte die punktuelle Anwendung des Vorgehensmodells auf das Ventilsystem eines Kältemittelkompressors.

Dafür sollten neue Gestaltungs- und Funktionsprinzipien gefunden werden, um die derzeit auftretenden Verluste zu verringern. Im Zuge dessen wurde die Situation analysiert, davon abgeleitet ein Lastenheft erstellt und das Lösungsfeld für die weitere Bearbeitung und Lösungssuche eingengt.

Abstract

Secop Austria GmbH develops and produces hermetic reciprocating compressor and is located in Fürstenfeld, Austria. The company defines itself as the cost leader within the top performance segment. The compressors are used in household refrigerating appliances and sold to customers worldwide. Currently Secop Austria GmbH produces three different types of compressors.

Sustainability and energy saving becomes more important within the industry. To secure the obtained market position, compressor efficiency must be continuously improved.

During an ongoing technology development program, Secop Austria's research and development team creates a new compressor platform, which benefits of revolutionary solutions. In order to find these new solutions, it is practicable to follow a certain methodology.

This thesis defines a process which helps to find principle solutions for given technical problems. Starting with an explanation and comparison of different process models, a tailored model that fits to the company's needs and is based on Systems Engineering, was developed. It consists of different stages and focuses on the analysis of the problem, target definition, search for solutions, evaluation and selection of those. The methodology is roughly divided into a pre study, main study, detailed study and a realization phase, with the emphasis on the pre- and main study. For each phase, a set of tools which may be used is introduced.

So both, a methodology that ensures a structured mode of operation and the supporting tools are presented.

Finally, the methodology and tools were partially executed to find new principle solutions for the valve system of a hermetic reciprocating compressor in order to minimize its losses.

Therefore, the situation was analyzed and a specification sheet for the new valve system was created. Furthermore, the area of search for the new solutions was defined.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Secop Austria	1
1.1.1	Produkte	1
1.1.2	Entwicklung	2
1.2	Aufgabenstellung und Ziele der Arbeit	2
1.3	Aufbau der Arbeit	3
2	Entwicklungsmethodiken	4
2.1	Gründe für das Vorgehen nach einer Methodik	4
2.2	Systems Engineering	5
2.2.1	Systemdenken	6
2.2.2	Systems-Engineering-Vorgehensmodell	7
2.2.3	Phasen des Systems Engineering	8
2.3	Münchener Vorgehensmodell	11
2.3.1	Phasen des Münchener Vorgehensmodells	11
2.3.2	Anwendung des Münchener Vorgehensmodells	14
2.4	W-Modell	15
2.4.1	Phasen des W-Modells	16
2.4.2	Ablauf des W-Modells	17
2.5	Vergleich der Vorgehensmodelle	18
2.6	Wahl eines Vorgehensmodells	19
3	Prinziplösungs-Vorgehensmodell und dessen Methoden	22
3.1	Anstoß	24
3.2	Vorstudie	25
3.2.1	Zielsuche	25
3.2.1.1	Situationsanalyse	26
3.2.1.2	Funktionsmodellierung	30
3.2.1.3	Ziele und Anforderungen	32
3.2.2	Lösungssuche	39
3.2.2.1	Benchmarking	40
3.2.2.2	Patentrecherche	47
3.2.3	Einfache Bewertung und Lösungsauswahl	48
3.2.3.1	Technologieportfolio	49
3.2.3.2	Einfache Punktebewertung	51
3.2.3.3	Paarweiser Vergleich	51

3.2.3.4	Argumentenbilanz	51
3.2.4	Tor Nr. 1	53
3.3	Hauptstudie	53
3.3.1	Lösungssuche	54
3.3.1.1	Kreativ-intuitive Lösungssuche	55
3.3.1.2	Systematisch-analytische Lösungssuche	68
3.3.1.3	Morphologie	71
3.3.1.4	Theorie des erfinderischen Problemlösens	75
3.3.2	Ausführliche Bewertung und Lösungsauswahl	78
3.3.2.1	Gewichtete Punktebewertung	78
3.3.2.2	Nutzwertanalyse	80
3.3.2.3	Business Model Canvas	82
3.3.2.4	Quality Function Deployment	84
3.3.2.5	Failure Mode and Effect Analysis	86
3.3.2.6	Ishikawa-Einflussdiagramm	88
3.3.3	Tor Nr. 2	89
3.4	Detailstudie	89
3.4.1	Grundregeln der Konstruktion	90
3.4.1.1	Eindeutige Gestaltung	90
3.4.1.2	Einfache Gestaltung	91
3.4.1.3	Sichere Gestaltung	92
3.4.2	Tor Nr. 3	93
3.5	Systembau	93
3.5.1	Simulation	94
3.5.2	Versuch	95
3.5.3	Tor Nr. 4	96
4	Anwendung des Prinziplösungs-Vorgehensmodells	97
4.1	Grundlagen des Kompressorkühlschranks	97
4.1.1	Kältemittelkompressor	97
4.1.2	Kühlkreislauf	98
4.2	Anstoß	99
4.3	Vorstudie	99
4.3.1	Situationsanalyse	100
4.3.2	Funktionsmodellierung	102
4.3.3	Ziele und Anforderungen	102
4.3.4	Lösungsfelder	103
4.3.5	Bewertung der Lösungsfelder und Auswahl	103
4.3.6	Tor Nr. 1	105
5	Fazit und Ausblick	106
A	Anhang	A 1
A.1	Lastenheft	A 1

Abbildungen

Abb. 2.1	SE-Konzept	5
Abb. 2.2	Grundbegriffe des Systemdenkens	6
Abb. 2.3	Stufenweise Detaillierung im SE	8
Abb. 2.4	Problemlösungszyklus im SE	9
Abb. 2.5	Phasenablauf im SE	10
Abb. 2.6	Grundstruktur des MVM	12
Abb. 2.7	Ablauf im MVM	14
Abb. 2.8	W-Modell	15
Abb. 2.9	Fortschreitende Konkretisierung und Auswahl der Ideen im W-Modell	18
Abb. 2.10	Gewichtete Punktebewertung zur Auswahl eines Vorgehensmodells	20
Abb. 3.1	Grundstruktur des PL-VM	22
Abb. 3.2	Stage-Gate-Entscheidungsprozess in der Vorstudie	23
Abb. 3.3	Anstoß im Ablauf des Phasenmodells	24
Abb. 3.4	Vorstudie im Ablauf des Phasenmodells	25
Abb. 3.5	Problem-, Eingriffs-, Lösungs- und Wirkungsbereich der Abgrenzung	27
Abb. 3.6	Kausal- und Verhaltensdiagramm einer positiven Rückkopplungsschleife	28
Abb. 3.7	Kausal- und Verhaltensdiagramm einer negativen Rückkopplungsschleife	28
Abb. 3.8	Komplexitätsdimensionen eines Systems	29
Abb. 3.9	Anteil der Gebrauchs- und Geltungsfunktion bei verschiedenen Gütern	31
Abb. 3.10	Verschiedene Sichtweisen auf die Funktionen eines Systems	32
Abb. 3.11	Funktionsbaum eines Wasserkochers	33
Abb. 3.12	Interne und externe Anforderungsquellen	34
Abb. 3.13	Konsistenzmatrix zum Finden von Zielkonflikten	36
Abb. 3.14	Kano-Modell zur Merkmalsgliederung	38
Abb. 3.15	Möglicher Aufbau einer Anforderungsliste	38
Abb. 3.16	Ablauf zur Definition der Lösungsfelder	39
Abb. 3.17	Grundtypen des Benchmarking	41
Abb. 3.18	Erweiterte Typen des Benchmarking	43
Abb. 3.19	Ablauf des Benchmarking-Prozesses	44
Abb. 3.20	Technologieportfolio nach Pfeiffer	50
Abb. 3.21	Paarweiser Vergleich der Varianten	51
Abb. 3.22	Anforderungen an die Batterie	52
Abb. 3.23	Eigenschaften der Batterien	52
Abb. 3.24	Vergleich der drei Batterien	53
Abb. 3.25	Hauptstudie im Ablauf des Phasenmodells	54
Abb. 3.26	Vorgehensschema der SIL-Methode	59

Abb. 3.27	Vollständig ausgefülltes 635-Formular	61
Abb. 3.28	Mind-Map zum Erwerb eines Hauses	62
Abb. 3.29	Analogiebildung am Beispiel des Klettverschlusses	67
Abb. 3.30	Attribute Listing mit Zielvorgabe für ein Radio	69
Abb. 3.31	Problemlösungsbaum für das Problem „Platzknappheit im Betrieb“	70
Abb. 3.32	Ausschnitt eines morphologischen Kastens für ein Tischstaubsaugergerät	72
Abb. 3.33	Korrelationsmatrix für Parameter und Bewertungskriterien	74
Abb. 3.34	Sequenzielle Morphologie für den Anzugkauf	75
Abb. 3.35	Methodenportfolio der TRIZ	77
Abb. 3.36	Ablauf einer gewichteten Punktebewertung	79
Abb. 3.37	Ablauf einer Nutzwertanalyse	81
Abb. 3.38	Business Model Canvas	82
Abb. 3.39	House of Quality des QFD	85
Abb. 3.40	FMEA-Formblatt	87
Abb. 3.41	Grundstruktur eines Ishikawa-Diagramms	88
Abb. 3.42	Detailstudie im Ablauf des Phasenmodells	89
Abb. 3.43	Systembau im Ablauf des Phasenmodells	93
Abb. 4.1	Vergleichsprozess für Betriebsbedingungen nach ASHRAE im TS-Diagramm	99
Abb. 4.2	Innerhalb der Vorstudie durchgeführte Tätigkeiten	100
Abb. 4.3	Abgrenzung des Ventilsystems Anhand eines Delta Kompressors	101
Abb. 4.4	Funktionsmodellierung des Ventilsystems	102
Abb. 4.5	Einordnung der drei Lösungsfelder innerhalb des Technologieportfolios	105

Tabellen

Tab. 2.1	Allgemeiner Vergleich der Vorgehensmodelle	19
Tab. 3.1	Checkliste zur Anforderungsklärung in allgemeiner Form	35
Tab. 3.2	Informationsquellen des Benchmarkings	46
Tab. 3.3	Mögliche Kriterien zur Evaluierung der Vorstudie	53
Tab. 3.4	Vor- und Nachteile des Brainstormings	57
Tab. 3.5	Vor- und Nachteile des Brainwritings	60
Tab. 3.6	Verkürzte Darstellung einer Synektiksitzung	65
Tab. 3.7	Mögliche Kriterien zur Evaluierung der Hauptstudie	89
Tab. 3.8	Mögliche Kriterien zur Evaluierung der Detailstudie	93
Tab. 3.9	Mögliche Kriterien zur Evaluierung des Systembaus	96
Tab. 4.1	Normwerte für R600a	98
Tab. 4.2	Punktebewertung der drei Lösungsfelder	103
Tab. 4.3	Optimierungspotential des Saugventils	104

Abkürzungen

ABS	Antiblockiersystem
ACT	Advanced Cooling Technology
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
COP	Coefficient-of-Performance
DMU	Digitaler Mock-Up
FEM	Finite Elemente Methode
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
HoQ	House of Quality
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light-emitting Diode
Li	Lithium
MKS	Mehrkörpersystem
MVM	Münchner Vorgehensmodell
NWA	Nutzwertanalyse
PL-VM	Prinziplösungs-Vorgehensmodell
PLZ	Problemlösungszyklus
PMU	Physical Mock-Up
QFD	Quality Function Deployment

SE	Systems Engineering
SIL	Sukzessive Integration von Lösungselementen
TRIZ	Teoria reschenija isobretatjelskich sadatsch, dt. Theorie des erfinderischen Problemlösens
WLAN	Wireless Local Area Network

1. Einleitung

Die vorliegende Arbeit wurde in Kooperation mit der Secop Austria GmbH am Standort Fürstenfeld verfasst. In diesem Kapitel werden die Unternehmung sowie die Aufgabenstellung und Ziele der Masterarbeit beschrieben.

1.1. Secop Austria GmbH

Das Unternehmen Secop Austria GmbH wurde 1982 als Verdichter Oe GmbH mit Sitz in Fürstenfeld gegründet und ist seit Ende 2013 eine Tochtergesellschaft des deutschen Secop Konzerns. Die Kernkompetenzen des Standortes Fürstenfeld sind die Entwicklung und Erzeugung hochqualitativer Kältekompressoren für Haushaltskühlgeräte. Mit den Produkten werden Kunden weltweit beliefert. Die Secop Austria GmbH erzielte im Jahr 2012, damals noch als ACC Austria GmbH, mit rund 680 Mitarbeitern einen Umsatz von etwa € 150 Mio. und positioniert sich mit ihren Produkten als Kostenführer im Top-Performance-Bereich. Der europäische Marktanteil wurde im Jahr 2012 mit ca. 39 % beziffert. Die Unternehmung ist somit europäischer Marktführer im Branchensegment. Mit Jänner 2014 wurde die ACC Austria GmbH durch die Secop GmbH übernommen und firmiert nun unter dem Namen Secop Austria GmbH (nachfolgend Secop genannt). (Secop Austria, 2014a, S. 2f)

1.1.1. Produkte

Am Standort Fürstenfeld werden drei Fertigungslinien für Kompressoren geführt. Die derzeit in Produktion stehenden Kompressoren liegen im Bereich von 50–210 W elektrischer Eingangsleistung. Dieser Leistungsbereich deckt etwa 90 % des Gesamtmarktes im Segment der Haushaltskompressoren ab. Die erzeugten Kompressortypen sind (Secop Austria, 2012, S. 25):

ALPHA Kompressorenlinie im Leistungsbereich von 50–210 W. Verwendete Kühlmittel sind Tetrafluorethan (R134a) und Isobutan (R600a), der maximale Coefficient-of-Performance-

(COP) Wert (siehe auch Seite 98) liegt bei 1,47 unter Normbedingungen, wie sie die American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) definiert.

KAPPA Hochleistungskompressoren im Leistungsbereich von 93–198 W. Hier kommt nur R600a zum Einsatz. Der COP-Wert beträgt maximal 1,8.

DELTA Der weltweit effizienteste „Mini-Kompressor“ im Leistungsbereich von 50–120 W. Es kommt ebenfalls nur mehr R600a zum Einsatz. Der maximale COP-Wert liegt bei 1,83.

Die Produktionskapazität beträgt für jede der drei Kompressortypen rund 4 Mio. Stk. pro Jahr, somit ergibt sich eine Gesamtkapazität von 12 Mio. Stk. pro Jahr am Standort Fürstenfeld. (Secop Austria, 2012, S. 25)

1.1.2. Entwicklung

In der Entwicklungsabteilung am Standort Fürstenfeld kümmern sich rund 30 Mitarbeiter um die Weiterentwicklung der bestehenden Kompressoren und Neuentwicklungen für den Bereich Household.

Die Secop betreibt ein plattformunabhängiges Technologieentwicklungsprojekt, Advanced Cooling Technology (ACT), welches die Entwicklung einer neuen Kompressortechnologie zum Ziel hat. Anlass für dieses Projekt sind unter anderem ständig steigende Anforderungen der Kunden an die Energieeffizienz der Kompressoren sowie die Konkurrenz durch Mitbewerber innerhalb der Branche. Die vorliegende Arbeit ist thematisch in diesem Technologieentwicklungsprojekt angesiedelt. (Secop Austria, 2014f, S. 8f, 46f)

1.2. Aufgabenstellung und Ziele der Arbeit

Während des Technologieentwicklungsprojekts ACT werden innovative Lösungsprinzipien für technische Probleme, welche bei der Entwicklung eines Kältemittelkompressors auftreten, gesucht. Im Fokus der Betrachtung steht dabei die Verbesserung des Wirkungsgrades des Verdichters.

Im Zuge der vorliegenden Arbeit soll eine generische Methodik entwickelt werden, die eine systematische Generierung, Bildung von Varianten und Auswahl von Prinziplösungen für ein gegebenes technisches Problem unterstützt und sicherstellt. Unter einer Prinziplösung versteht man die Kombination von physikalischen Effekten, um eine bestimmte Funktionalität zu ermöglichen

(Feldhusen & Grote, 2013, S. 315). Die hierfür in Frage kommenden Werkzeuge werden zu einem Prozess verknüpft. Somit werden einerseits das Vorgehen (Methodik), andererseits auch die Werkzeuge (Methoden) erarbeitet.

Im Anschluss wird die generische Methodik für die Thematik des Ventilsystems exemplarisch angewendet. Dadurch sollen alternative, noch nicht verwendete Lösungsprinzipien für das Ventilsystem des Kältemittelkompressors gefunden werden, um dessen Effizienz zu steigern. Diese Prinzipien werden bewertet und das vielversprechendste zur weiteren Betrachtung empfohlen.

1.3. Aufbau der Arbeit

Die Arbeit besteht aus einem Theorie- und einem Praxisteil.

Im Theorieteil der Arbeit werden erst verschiedene Vorgehensmodelle zur Problemlösung und Entwicklung vorgestellt und daraus eine Methodik für das vorliegende Problem der Prinzipiölsuche abgeleitet. Diese Methodik soll ein strukturiertes Vorgehen innerhalb der Problemlösung sicherstellen. Die zur Bearbeitung des Problems unterstützenden Werkzeuge werden den einzelnen Phasen des Vorgehens zugeordnet und beschrieben.

Im anschließenden Praxisteil der Arbeit kommt es zur Anwendung des entwickelten Vorgehens für das Ventilsystem ACT. Dabei werden ausgewählte Schritte der Methodik mit Fokus auf den für das Ventilsystem relevanten Punkten durchlaufen.

2. Entwicklungsmethodiken

Als Herangehensweise an Entwicklungsprobleme stehen mehrere Methodiken, welche aus verschiedenen Fachgebieten hervorgehen, zur Verfügung. Nachfolgend werden ausgewählte, für die Technologie- und Produktentwicklung anwendbare Vorgehensweisen skizziert und deren Struktur erörtert. Im Anschluss werden die vorgestellten Vorgehensmodelle miteinander verglichen. Darauf aufbauend wird ein Gesamtmodell, welches bei der Suche nach Prinziplösungen unterstützt, abgeleitet.

Die beiden Begriffe Methode und Methodik werden im täglichen Sprachgebrauch oft synonym verwendet. Die vorliegende Arbeit differenziert in Anlehnung an die Literatur zwischen den beiden Begriffen und grenzt sie voneinander ab (Ponn & Lindemann, 2011, S. 22f):

Methode Unter einer Methode wird ein Werkzeug, welches einem bestimmten Zweck dient, verstanden. Dies kann beispielsweise eine Kreativitätsmethode zum Sammeln von Lösungen oder eine Methode zur Funktionsanalyse eines Produkts sein.

Methodik Eine Methodik wird als Vorgehensmodell verstanden. Sie kombiniert mehrere Methoden zu einem Ablauf oder Prozess, der zum Erfüllen eines bestimmten Zwecks durchlaufen wird. Die Methodik bildet somit den Rahmen, in dem die Problemlösung stattfindet.

2.1. Gründe für das Vorgehen nach einer Methodik

Durch die steigende Komplexität von Problemen wird die Bearbeitung dieser zunehmend erschwert. Um trotzdem deren Beherrschung und Handhabbarkeit zu sichern, stehen verschiedene Vorgehensmodelle zur Verfügung. Eine Methodik, verbunden mit den richtigen Methoden, kann den Entwickler bei seinen Aufgaben gezielt unterstützen. Somit wird der Entwicklungsprozess in geordnete Bahnen geleitet, strukturiert und ausreichend dokumentiert. Das Vorgehen nach einer Methodik soll auch die optimale Nutzung der unternehmensinternen Ressourcen sicherstellen und ist deshalb unerlässlich. (Lindemann, 2009b, S. 1f)

2.2. Systems Engineering

Systems Engineering (SE) ist eine generische Vorgehensweise, um komplexe Problemstellungen und Aufgaben strukturiert zu lösen. Haberfellner et al. (2012, S. 27) definieren ein Problem folgendermaßen:

„Ein Problem ist der Unterschied zwischen dem Soll- und dem Istzustand.“

Diese Definition wird auch innerhalb dieser Arbeit verwendet. Das Erreichen des Sollzustandes ist von mehreren Faktoren abhängig, wie z.B. Fachwissen, Erfahrung und Kenntnis der Situation. Bei SE handelt es sich um die methodische Komponente, die für das Erreichen des Sollzustandes von Bedeutung ist.

SE beinhaltet mehrere Komponenten, die in Abbildung 2.1 ersichtlich sind und nachfolgend erklärt werden. Die zentralen Punkte, auf welche näher eingegangen wird, sind das Systemdenken und das SE-Vorgehensmodell. Der Phasenablauf im SE wird ebenfalls beschrieben. (Haberfellner et al., 2012, S. 28f)

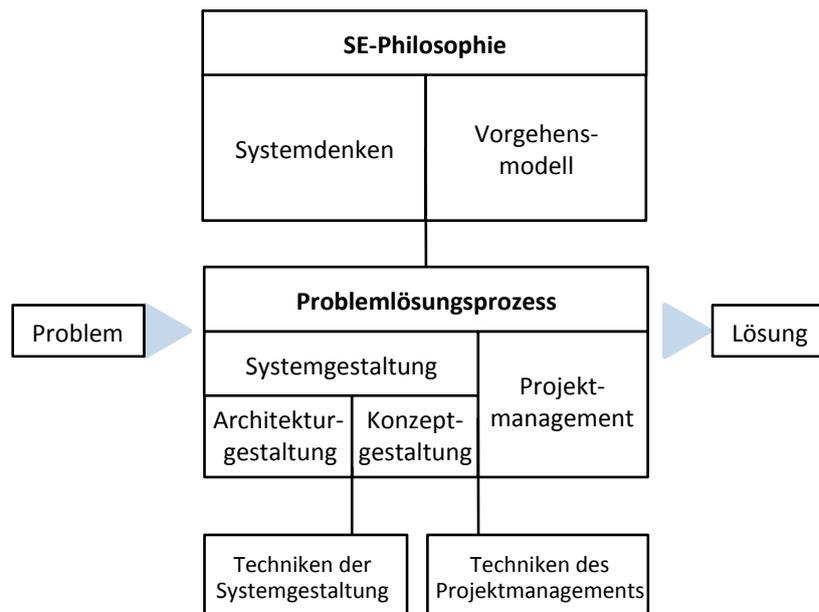


Abbildung 2.1.: SE-Konzept (in Anlehnung an Haberfellner et al., 2012, S. 28)

2.2.1. Systemdenken

Das Systemdenken hilft dabei, die Zusammenhänge eines Sachverhalts besser zu verstehen und veranschaulichen zu können. Zur Beschreibung von Gegebenheiten werden fundamentale Begriffe verwendet, welche in Abbildung 2.2 ersichtlich sind und nachfolgend erklärt werden:

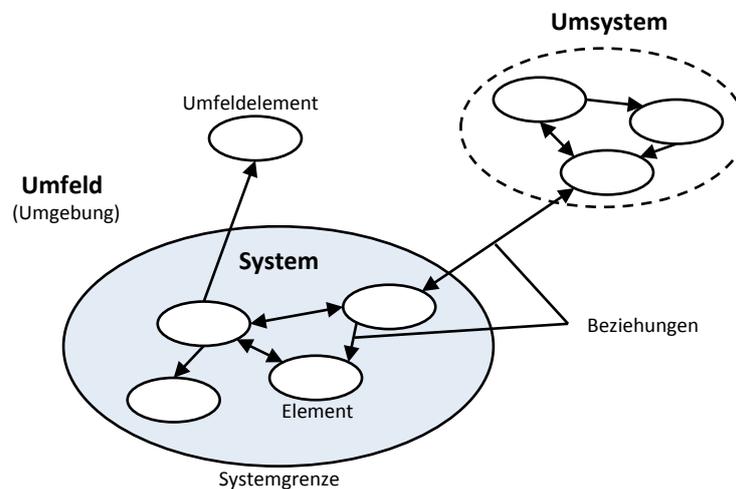


Abbildung 2.2.: Grundbegriffe des Systemdenkens (in Anlehnung an Haberfellner et al., 2012, S. 34)

System, Element, Beziehungen Ein System besteht aus mehreren Elementen, die voneinander abhängig sind. Zwischen den Elementen herrschen also Beziehungen. Die Elemente sind die Bausteine des Systems und besitzen gewisse Eigenschaften und Funktionen. (Haberfellner et al., 2012, S. 34)

Sub-, Übersystem Ein komplexes Element innerhalb eines Systems kann wiederum als System mit eigenen Elementen definiert werden. Man spricht dann von einem Subsystem. Ein System kann aber auch ein Element eines anderen Systems sein, welches somit als Übersystem bezeichnet wird. (Haberfellner et al., 2012, S. 36f)

Systemgrenze, Umfeld Ein System ist in einem Umfeld eingebettet und durch die Systemgrenze zu ihm abgegrenzt. In dem Umfeld können ebenfalls Elemente vorhanden sein, welche als Umfeldelemente bezeichnet werden. Zwischen Elementen des Systems und Umfeldelementen können Beziehungen bestehen. Eine Verknüpfung von mehreren Umfeldelementen wird Umsystem genannt. (Haberfellner et al., 2012, S. 35)

Systemhierarchie Die Gliederung eines Systems in mehrere Stufen führt zu einem hierarchischen Aufbau, der Systemhierarchie. Es erfolgt eine Untergliederung in Subsysteme. Die unterste

Stufe bilden jene Elemente, welche nicht mehr untergliedert werden. (Haberfellner et al., 2012, S. 38)

Systembetrachtung Im SE gibt es mehrere Betrachtungsweisen, die charakteristisch für das Systemdenken sind. Die *umgebungsorientierte* Betrachtung dient dazu, die Wechselwirkungen zwischen dem System und dem Umfeld zu beleuchten. Bei der *wirkungsorientierten* Betrachtungsweise wird vorerst nur auf den Input und Output des Systems Rücksicht genommen. Welche Mechanismen innerhalb des Systems für die Transformation von Input in Output sorgen, wird in der *strukturorientierten* Betrachtung untersucht. (Haberfellner et al., 2012, S. 41ff)

2.2.2. Systems-Engineering-Vorgehensmodell

Das SE-Vorgehensmodell besteht aus vier Grundprinzipien, die während der Bearbeitung eines Problems zur Anwendung kommen:

Vom Groben zum Detail Das Vorgehen vom Groben zum Detail wird auch als Top-Down-Methode bezeichnet. Anfangs wird das System abstrahiert und eine Betrachtung des Ganzen vorgenommen. Mit zunehmender Kenntnis über das System folgt eine schrittweise Detaillierung der Problemstellung und Konzentration auf die Detailspekte, was in Abbildung 2.3 zum Ausdruck gebracht wird. Durch stetige Konkretisierung und Einengung des Problemfeldes sollen Rücksprünge auf frühere Planungsphasen des Problemlösungsprozesses vermieden werden. (Haberfellner et al., 2012, S. 58ff)

Denken in Varianten Das Denken in Varianten erinnert daran, nicht die erstbeste Lösung zu akzeptieren. Dies kann zum Ignorieren von eventuell besseren Varianten führen, weshalb ein Denken in Varianten zu forcieren ist. Die generierten Varianten können quantitativ, wenn nicht möglich auch qualitativ, bewertet und somit die optimale Lösung gefunden werden. Eine nachvollziehbare Bewertung sorgt für eine saubere Dokumentation und verständliche Kommunikation der Ergebnisse. Das Variantendenken wird in Kombination mit dem Vorgehen der stufenweisen Detaillierung eingesetzt und soll somit zu einem möglichst guten Ergebnis auf jeder Detaillierungsebene des Problems führen. (Haberfellner et al., 2012, S. 61ff)

Phasengliederung Der Prozess der Systementwicklung und anschließender -realisierung soll einem vorher definierten Zeitplan folgen und in einen Phasenablauf mit einzelnen Unterpunkten gegliedert sein. Dies wird als Makro-Logik verstanden. Sie ermöglicht eine klare

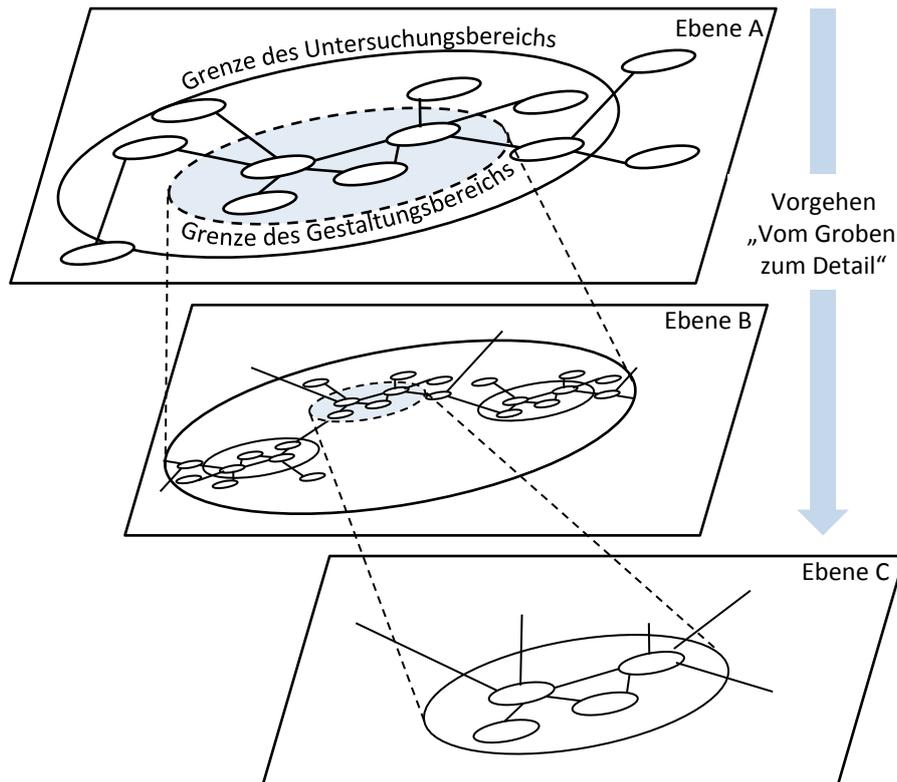


Abbildung 2.3.: Stufenweise Detaillierung „Vom Groben zum Detail“ im SE (in Anlehnung an Haberfellner et al., 2012, S. 60)

Strukturierung und ein geordnetes Durchlaufen der einzelnen Prozessschritte. In Abschnitt 2.2.3 wird näher auf die verschiedenen Phasen eingegangen. (Haberfellner et al., 2012, S. 65)

Problemlösungszyklus Der Problemlösungszyklus (PLZ), wird in jeder Phase beim Bearbeiten von Problemen durchlaufen. Man spricht hier von der Mikro-Logik. Er stellt einen Leitfaden dar, der ein systematisches Vorgehen sicherstellen soll und besteht aus Zielsuche, Lösungssuche und Auswahl. In Abbildung 2.4 ist der PLZ dargestellt. Der PLZ kommt in jeder der Phasen aus Abschnitt 2.2.3 zur Anwendung. (Haberfellner et al., 2012, S. 73f)

2.2.3. Phasen des Systems Engineering

Der Ablauf des SE gliedert sich in mehrere Phasen. Diese sind in Abbildung 2.5 ersichtlich und werden nachfolgend erläutert:

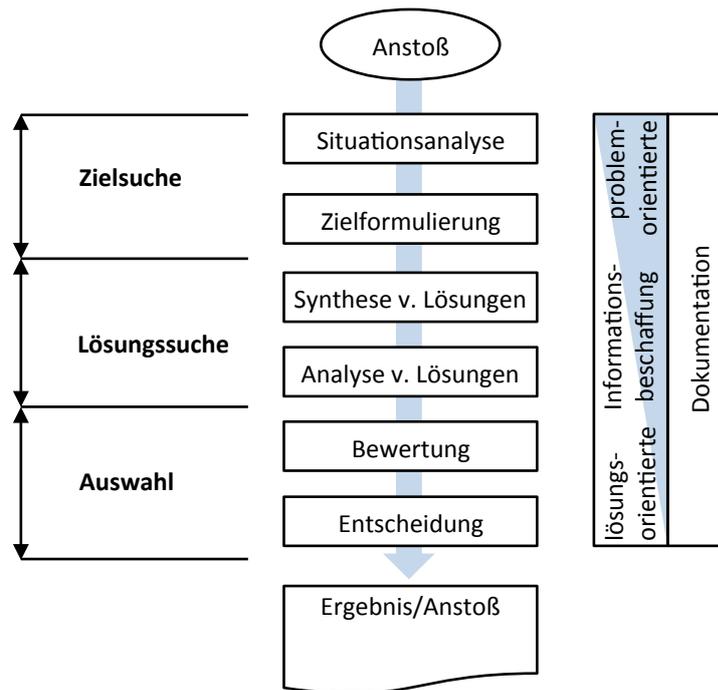


Abbildung 2.4.: Problemlösungszyklus im SE (in Anlehnung an Haberfellner et al., 2012, S. 74)

Anstoß Der Anstoß ist die Phase, in der ein Problem erstmals wahrgenommen und ein bestimmtes Unbehagen verspürt wird. Gleichzeitig wird eine Chance vermutet, den gegenwärtigen Zustand zu verbessern. Erste Lösungsideen beginnen sich zu formen und der Entschluss, etwas verändern zu wollen, wird gefasst. Die Dauer der Phase ist abhängig vom Leidensdruck und den vorhandenen Ressourcen, die für eine weitere Behandlung in der Vorstudie vorhanden sind. (Haberfellner et al., 2012, S. 66f)

Vorstudie Im Zuge der Vorstudie wird die vorliegende Situation analysiert. Dabei wird das Problem abgegrenzt, die wirkenden Mechanismen betrachtet und Anforderungen an die Lösung gestellt. Im Anschluss werden grundsätzlich denkbare Lösungsprinzipien gesucht und eine Vorauswahl getroffen. In der Vorstudie wird auch entschieden, ob das Problem weiter behandelt oder das Vorgehen abgebrochen wird. (Haberfellner et al., 2012, S. 67ff)

Hauptstudie Innerhalb der Hauptstudie wird das in der Vorstudie erarbeitete Lösungsprinzip weiter konkretisiert. Dazu werden mehrere Konzeptvarianten erarbeitet und mittels geeigneten Bewertungsmethoden untersucht. Aufbauend darauf fällt die Entscheidung für eine der gefundenen Varianten. Somit wird ein Gesamtkonzept gefunden, welches für die weitere Entwicklung und Realisierung maßgebend ist. Auch in der Hauptstudie ist ein Projektabbruch möglich. (Haberfellner et al., 2012, S. 69f)

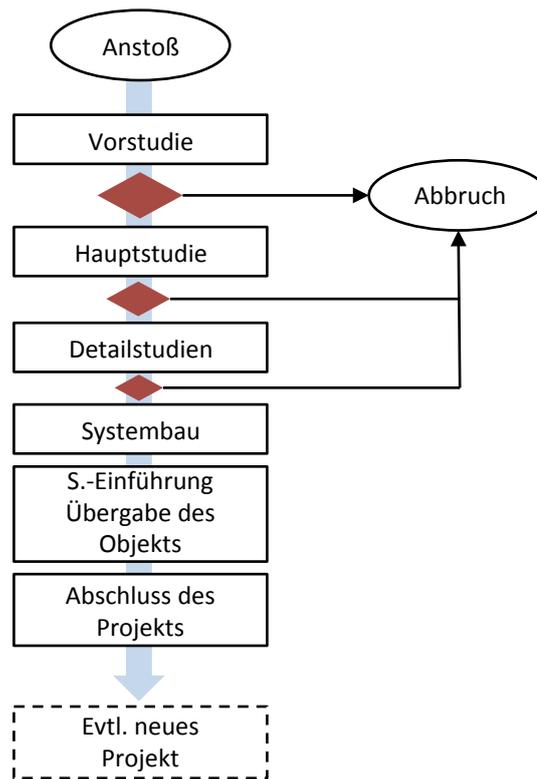


Abbildung 2.5.: Phasenablauf im SE (in Anlehnung an Haberfellner et al., 2012, S. 65)

Detailstudie In der Detailstudie werden ausgewählte Subsysteme des Gesamtkonzepts genauer betrachtet. Es werden detaillierte Einzellösungen für bestimmte Systemaspekte entwickelt und die Teillösungen so weit konkretisiert, dass die anschließende Umsetzung und Systemintegration möglichst reibungslos ermöglicht werden. Nicht umsetzbare Teillösungen werden verworfen. (Haberfellner et al., 2012, S. 70f)

Systembau Der Systembau dient der Umsetzung von Lösungen. Dabei kann es sich um das Errichten von Gebäuden, die Programmierung einer IT-Software oder die Herstellung von Produkten bzw. Prototypen handeln. Im Systembau werden Teil- oder Gesamtlösungen einführungsreif gemacht. (Haberfellner et al., 2012, S. 71)

Systemeinführung Einfache und leicht überschaubare Lösungen können in einem Schritt eingeführt werden. Handelt es sich allerdings um eine komplizierte Lösung, die mehrere Teilbereiche umfasst, so ist eine stufenweise Implementierung ratsam. Eine ausreichende Schulung der zukünftigen Anwender mit einem gut funktionierenden Know-how-Transfer ist von besonderer Bedeutung. In dieser Phase erfolgt auch eine Überprüfung der Zielerfüllung durch den Auftraggeber. (Haberfellner et al., 2012, S. 71f)

Abschluss des Projekts Die Übernahme der Lösung durch den Auftraggeber bildet den Abschluss des Projekts. Es folgen weitere Tätigkeiten wie die Ver- und Abrechnung, Projektbewertung und Auflösung des Projektteams. Im Anschluss kann ein neues Projekt gestartet werden. (Haberfellner et al., 2012, S. 72)

Die SE-Philosophie bildet lediglich den Rahmen des Vorgehens und ersetzt keinesfalls das notwendige Fachwissen sowie Erfahrung und weitere Kompetenzen des Anwenders. Vielmehr soll der Nutzer seiner Kreativität freien Lauf lassen. Seine individuellen Fähigkeiten sollen durch die Unterstützung des SE systematisch zur Anwendung kommen. (Haberfellner et al., 2012, S. 126)

2.3. Münchner Vorgehensmodell

Das Münchner Vorgehensmodell (MVM) wurde am Lehrstuhl für Produktentwicklung der TU München entwickelt, baut auf bekannten Modellen auf und vereint deren Stärken zur Lösung von Problemen (Lindemann, 2009b, S. 46).

Auch hier wird eine Definition des Problembegriffs gegeben (Lindemann, 2009b, S. 334):

„Ein Problem liegt vor, wenn ein Ziel zu erreichen ist, allerdings der Weg zum Ziel nicht bekannt oder die Mittel nicht verfügbar sind.“

Die Schwächen der bekannten Modelle sollen so gut wie möglich vermieden werden. Dies wird dadurch bewerkstelligt, dass lineare Muster der Modelle aufgebrochen werden und die einzelnen Teilschritte netzwerkartig miteinander verbunden werden. Diese Darstellung entspricht den realen Prozessen während der Problemlösung, in denen Rücksprünge und Iterationen vorkommen können. In Abbildung 2.6 ist das MVM dargestellt. (Lindemann, 2009b, S. 46ff)

2.3.1. Phasen des Münchner Vorgehensmodells

Die Inhalte im MVM lassen sich drei übergeordneten Grundschritten zur Problemlösung zuordnen (Lindemann, 2009b, S. 46):

1. Zieldefinition: Dieser Schritt enthält die Zielplanung und die Zielanalyse.
2. Generierung von Lösungsalternativen: Er setzt sich zusammen aus einer Problemstrukturierung und der Ermittlung von Lösungsideen.

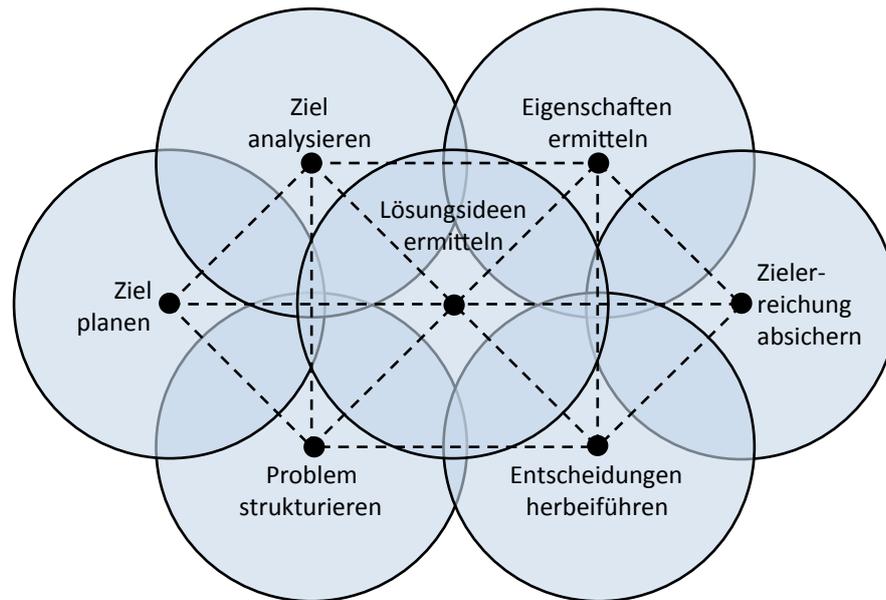


Abbildung 2.6.: Grundstruktur des MVM (in Anlehnung an Lindemann, 2009b, S. 47)

3. Herbeiführen einer Entscheidung: Dazu müssen die Eigenschaften ermittelt werden, anhand denen die Entscheidungen getroffen werden. Weiters ist die Zielerreichung abzusichern.

Diese Hauptschritte werden weiter detailliert in die sieben Teilschritte des MVM (siehe Abbildung 2.6):

Ziel planen Die Planung des Ziels umfasst die Produkt- oder Prozessplanung und bildet den Ausgangspunkt des MVM. Es erfolgt eine Analyse der gegenwärtigen Situation mit Abschätzung der zukünftigen Entwicklung, woraus Maßnahmen abgeleitet werden. Abhängig von den Zielen werden verschiedene Aspekte betrachtet, wie z.B. Markt, Wettbewerb, Kunden oder Politik. Die Zielplanung gibt die groben Ziele des angestrebten Projekts vor. (Lindemann, 2009b, S. 48, 64)

Ziel analysieren Innerhalb der Zielanalyse wird eine Definition des angestrebten Zielzustandes vorgenommen, wobei auch Zwischenziele innerhalb des Projekts abgeleitet werden. Der Detaillierungsgrad des Projekts wird ebenfalls beschlossen. Die Anforderungen an das zu gestaltende Objekt werden festgelegt und eventuelle Verknüpfungen und Zielkonflikte hervorgehoben. Die erarbeiteten Anforderungen werden anschließend dokumentiert. (Lindemann, 2009b, S. 48, 93)

Problem strukturieren Die Hauptaufgabe während der Problemstrukturierung besteht darin, ein Problemmodell aufzubauen, von dem die Schwerpunkte der Entwicklungstätigkeit abgeleitet

werden können. Dazu wird das Problem als System mit seinen Teilsystemen betrachtet und abstrahiert, wodurch sich die Komplexität reduziert und Zusammenhänge besser verstanden werden können. Dadurch werden auch Denkbarrieren aufgebrochen, die bei der Entwicklung neuartiger Lösungen im Weg stehen können. Der Gestaltungsspielraum der Entwicklung wird ebenfalls betrachtet. (Lindemann, 2009b, S. 48f, 115)

Lösungsideen ermitteln In der Phase der Ermittlung der Lösungsideen werden einerseits schon vorhandene Lösungen gesucht, aber auch neue Lösungen generiert. Für die ermittelten Teilsysteme bzw. -probleme werden Teillösungen gesucht. Dies führt zu Lösungsfeldern, aus denen die jeweils optimalen Teillösungen gefunden werden müssen, welche anschließend zu einer Gesamtlösung kombiniert werden. Zu beachten ist hierbei, dass die Summe aller optimalen Teillösungen nicht zwangsläufig die beste Gesamtlösung ergeben muss. Deshalb ist ein Vergleich möglicher Varianten und Kombinationen von Teillösungen sinnvoll. Innerhalb des Lösungsfindungsprozesses findet eine stufenweise Detaillierung statt, sodass zu Beginn vermehrt nach prinzipiellen Lösungen gesucht wird, welche im Laufe der Zeit immer konkretere Gestalt annehmen. (Lindemann, 2009b, S. 49, 134)

Eigenschaften ermitteln Die Ermittlung der Eigenschaften ist die Grundlage für die spätere Bewertung und Entscheidung. Anhand der Ausprägung von Merkmalen werden die Eigenschaften der Lösungsvarianten beschrieben, welche auch Aussagen über die Aufgabenerfüllung der Lösungsvarianten zulassen. Je detaillierter das Produktmodell ist, desto genauer lassen sich die Eigenschaften ermitteln. Die Ermittlung der Eigenschaften kann durch einfache Beobachtung oder durch gezielte Analyse (z.B. Festigkeitsberechnung, Schwingungssimulation) erfolgen. Im Zuge der Eigenschaftsermittlung wird auch das Systemverständnis gefördert, sodass mögliche Optimierungspotentiale, welche zuvor übersehen wurden, eventuell gefunden werden können. (Lindemann, 2009b, S. 49, 157)

Entscheidungen herbeiführen Um Entscheidungen herbeizuführen, bedarf es einer Bewertung der erarbeiteten Varianten und anschließender Auswahl. Dabei handelt es sich um eine explizite Entscheidung. Implizite Entscheidungen werden in den vorhergehenden Teilschritten laufend getroffen, wobei deren Qualität maßgeblich durch die Erfahrung und das Können des Entwicklers beeinflusst werden. Entscheidungen sollen möglichst objektiv, nachvollziehbar und auf Fakten beruhend getroffen werden. Eine gewisse Subjektivität lässt sich jedoch nur schwer vermeiden. Auf den ersten Blick wenig relevant scheinende Detailentscheidungen können sich gravierend auf das Gesamtsystem auswirken und somit die Gesamtfunktion stark beeinflussen. (Lindemann, 2009b, S. 49f, 176)

Zielerreichung absichern Zweck des Absicherns der Zielerreichung ist die Verminderung, idealerweise Vermeidung, von Risiken im Entwicklungsprozess sowie im daraus hervorgehenden

Produkt. Die Risiken müssen erkannt, strukturiert und bewertet werden. Im Anschluss können Gegenmaßnahmen ausgearbeitet und eingeleitet werden, wobei diese auf ihre Wirksamkeit überprüft werden müssen. Die Dokumentation des Vorgehens spielt hierbei eine wichtige Rolle, um aus gemachten Erfahrungen zu lernen und nicht mehrmals die gleichen Fehler zu begehen. Somit ist das Absichern der Zielerreichung maßgeblich für die Qualität eines Entwicklungsprozesses, aber auch für die durch ihn entstehenden Produkte, verantwortlich. (Lindemann, 2009b, S. 50, 197)

2.3.2. Anwendung des Münchner Vorgehensmodells

Das MVM kann zur strategischen Planung, aber auch zur operativen Umsetzung von Entwicklungsprozessen und deren Teilaufgaben genutzt werden. Da das MVM einen netzwerkartigen Charakter

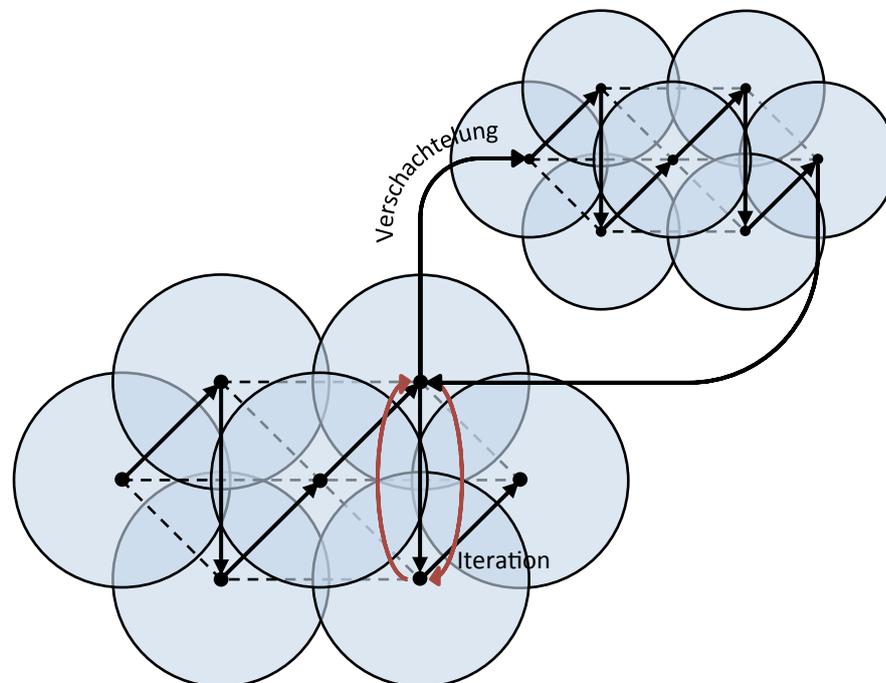


Abbildung 2.7.: Ablauf im MVM (in Anlehnung an Lindemann, 2009a, S. 39ff)

aufweist, sind verschiedene Wege zum Durchlaufen der einzelnen Phasen des Modells zielführend. Es ist auch durchaus möglich, gewisse Teilschritte auszulassen oder Iterationen und Rücksprünge durchzuführen. Die konkrete Abfolge der Teilschritte ist dabei abhängig von dem zu behandelnden Problem. In Abbildung 2.7 ist das Standardvorgehen im MVM sowie eine Iteration zwischen den Punkten *Eigenschaften ermitteln* und *Entscheidung herbeiführen* ersichtlich. Zu dieser Iteration kann es beispielsweise kommen, wenn die Eigenschaften im ersten Durchlauf bloß grob und quali-

tativ ermittelt werden und eine Vorauswahl getroffen wird. Im zweiten Durchlauf findet dies auf einer detaillierteren Betrachtungsebene, mittels quantifizierenden Methoden, statt. Durch Iteration ist es somit möglich, bestimmten Aspekten des Vorgehensmodells besondere Aufmerksamkeit zukommen zu lassen. Im MVM können jedoch auch Verschachtelungen auftreten. Dies ist dann der Fall, wenn zum Abarbeiten der Aufgaben eines Punktes mehrere Arbeitsschritte nötig sind, die sich wiederum nach dem münchener Schema gliedern lassen. Eine solche Verschachtelung ist in Abbildung 2.7 ebenfalls dargestellt. (Lindemann, 2009b, S. 50ff)

2.4. W-Modell

Das W-Modell nach Eversheim et al. (2002) in Anlehnung an Brandenburg (2002) dient als Vorgehensmodell für die Planung und Entwicklung technischer Produktinnovationen sowie deren Verankerung innerhalb einer sogenannten *Innovation Roadmap*. Diese Roadmap stellt eine Struktur der Innovationstätigkeiten einer Unternehmung dar. Das W-Modell ist durch einen Aufbau in sieben Phasen gekennzeichnet, welche nach operativem und strategischem Kontext eingeteilt sind. Stellt man die Teilschritte dementsprechend dar, ergibt sich die namensgebende W-Anordnung, welche in Abbildung 2.8 ersichtlich ist. (Eversheim et al., 2002, S. 32ff)

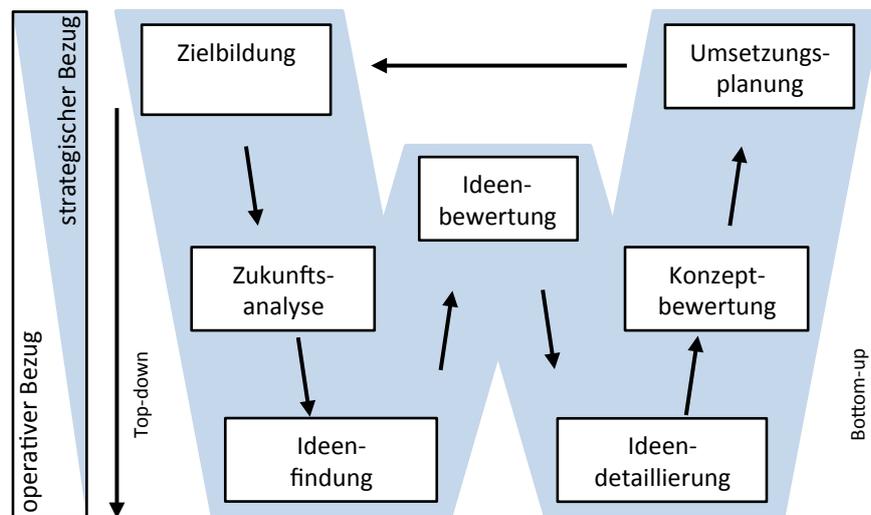


Abbildung 2.8.: W-Modell (in Anlehnung an Eversheim et al., 2002, S. 33, nach Brandenburg (2002))

2.4.1. Phasen des W-Modells

Das W-Modell gliedert sich in folgende sieben Phasen:

Zielbildung Die Zielbildung dient als strategische Maßnahme zur Definition der Entwicklungsziele und wird stark durch die Unternehmensstrategie geprägt. Unter Zuhilfenahme und Analyse von internen und externen Daten wird der Gestaltungsbereich für die geplante Innovation bestimmt. Weiters erfolgt eine Festlegung der Innovationsstrategie mit ihren Zielen und Abschätzung derer Potentiale. (Eversheim et al., 2002, S.33)

Zukunftsanalyse Die Zukunftsanalyse dient der Abschätzung von Innovationspotentialen. Hierzu werden allgemeine Trends, im Speziellen die Trends innerhalb der in der Zielbildung definierten Gestaltungsbereiche, beobachtet. Der Einfluss dieser Trends auf die Unternehmung und die Innovationstätigkeit wird untersucht sowie Zukunftsprognosen und daraus abgeleitete Szenarien erstellt. Diese werden mit den unternehmensinternen Potentialen verglichen und daraus Schwerpunkte der Innovationstätigkeit abgeleitet. (Eversheim et al., 2002, S.33f)

Ideenfindung Ausgehend von den ermittelten Innovationspotentialen werden im Zuge der Ideenfindung neue Produktideen erarbeitet. Die Phase der Ideenfindung besteht aus dem Erarbeiten von Produktideen erster Ordnung, also dem Finden von Problem- und Lösungsideen (Eversheim et al., 2002, S.34):

Problemidee Eine Problemidee definiert ein Problem, welches in Zukunft von Bedeutung sein wird und wofür es derzeit noch keine zufriedenstellende Lösung gibt. Dies können Anforderungen, Aufgabenstellungen und Ziele sein.

Lösungsidee Eine Lösungsidee ist eine neuartige technische Prinziplösung mit hohem Potential, deren Anwendungsbereich noch nicht geklärt ist.

Die gefundenen Produkt- und Lösungsideen werden anschließend miteinander verknüpft und die Ergebnisse dokumentiert. Dabei spricht man von Produktideen zweiter Ordnung. (Eversheim et al., 2002, S.34)

Ideenbewertung Im Zuge der Ideenbewertung werden die identifizierten Produktideen hinsichtlich ihres Potentials bewertet. Dabei spielen markt- und technologie-seitige Faktoren eine Rolle. Die Übereinstimmung der Ideen mit der Unternehmensstrategie und der Nutzen für die Unternehmung werden ebenfalls kontrolliert. Somit führt die Phase der Ideenbewertung zu einer Potentialbewertung und Einordnung der Produktideen innerhalb der Innovationss-

strategie einer Unternehmung. (Eversheim et al., 2002, S.34)

Ideendetaillierung Die Ideendetaillierung dient zur weiteren Informationsbeschaffung technologischer und marktwirtschaftlicher Art zu ausgewählten Produktideen. Weiters werden die Produkthanforderungen detailliert und daraus technische Aufgabenstellungen abgeleitet, zu denen Lösungen gefunden werden müssen. Aufbauend darauf werden Varianten von Produktkonzepten zu den Produktideen generiert und erste physische Modelle gebaut. (Eversheim et al., 2002, S.34f)

Konzeptbewertung In der Phase der Konzeptbewertung werden die erarbeiteten Produktkonzepte quantitativ bewertet. Das Vorgehen ist analog zur Phase der Ideenbewertung mit der Erweiterung, dass nun auch wirtschaftliche Betrachtungen vorgenommen werden. Dies geschieht durch Gegenüberstellungen von Einsatz und Nutzen (Kosten - Leistung, Aufwand - Ertrag). (Eversheim et al., 2002, S.35)

Umsetzungsplanung Während der Umsetzungsplanung werden die für die einzelnen Produktkonzepte entwickelten Aktivitäten innerhalb der Innovation Roadmap verankert. Diese Roadmap soll einen geordneten Ablauf der Innovationstätigkeiten einer Unternehmung ermöglichen und deren Erfolg unterstützen. Somit stellt die Innovation Roadmap eine Sammlung von Vorhaben dar, welche den Aufbau sowie die Nutzung und Pflege von technologischen Innovationen ermöglicht. (Eversheim et al., 2002, S.35)

2.4.2. Ablauf des W-Modells

Das in Abschnitt 2.4.1 beschriebene Vorgehen ist als Standardablauf zu verstehen. Die einzelnen Punkte sind jedoch nicht isoliert zu betrachten, sondern miteinander verknüpft. Im Hinblick auf eine Verkürzung der Entwicklungsdauer können gewisse Phasen zeitlich überlappen oder gar simultan ablaufen. Je nach Anforderung des Entwicklungsprozesses kann der Fokus auf verschiedenen Teilschritten des W-Modells liegen, bzw. bestimmte Schritte übersprungen werden. Speziell die beiden Phasen *Ideenfindung* und *Ideendetaillierung* werden in der Praxis oft zu einem Teilschritt zusammengefasst und bearbeitet. Die Anzahl der Ideen wird während dem Durchlaufen der Methodik stetig reduziert. Dadurch sinkt die anfangs hohe Flexibilität bei der Lösungssuche. Ein kontinuierliches Ausscheiden von nicht brauchbar scheinenden Ideen ist jedoch notwendig, da sich der Aufwand zur Bearbeitung einer Idee mit zunehmender Konkretisierung erhöht. In Abbildung 2.9 ist der somit entstehende Ideentrichter dargestellt. (Eversheim et al., 2002, S. 32, 35ff)

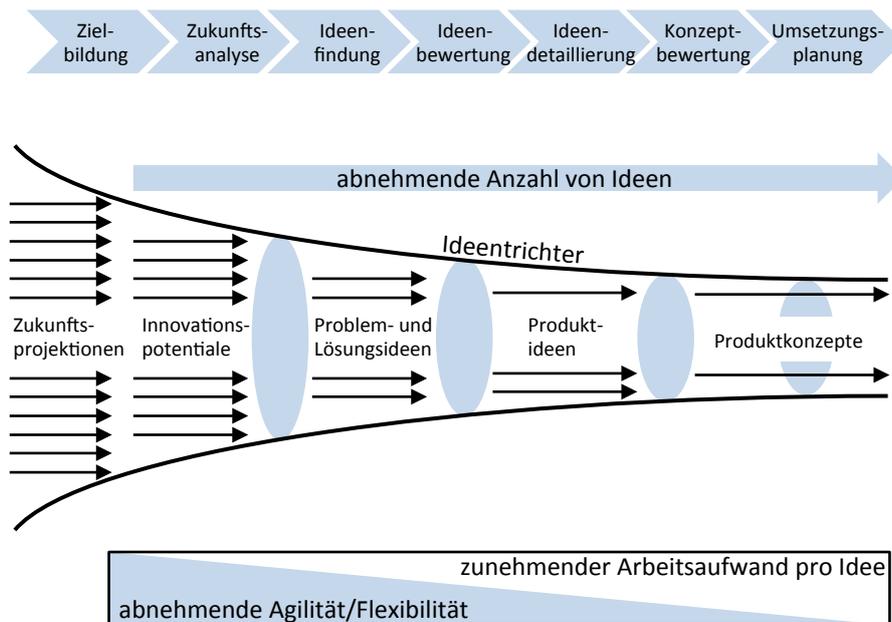


Abbildung 2.9.: Fortschreitende Konkretisierung und Auswahl der Ideen im W-Modell (in Anlehnung an Eversheim et al., 2002, S. 37)

2.5. Vergleich der Vorgehensmodelle

Die beschriebenen Vorgehensmodelle entstammen verschiedenen Fachgebieten. Um einen Vergleich der Modelle anzustellen, werden diese in bestimmten Kategorien mit verschiedenen Ausprägungsformen beurteilt und gegenübergestellt. Durch den Vergleich sollen die Vorgehensmodelle in ihren Grundzügen untereinander verglichen werden.

Der Vergleich der drei Vorgehensmodelle erfolgt dabei aufgrund nachfolgender Kriterien:

- **Brancheneignung:** Innerhalb welcher Branchen kann das Vorgehensmodell zur Anwendung kommen?
- **Betrachtungsebene:** Kommt das Vorgehensmodell auf strategischer oder operativer Ebene zur Anwendung?
- **Phasenabdeckung:** Welche Phasen des Entwicklungsprozesses werden durch das Vorgehensmodell abgedeckt? Die aus den drei beschriebenen Vorgehensmodellen ableitbaren Phasen erstrecken sich von der Definition der Unternehmungs- und Produktstrategie (1 und 2) über die Projektorganisation (3), Analyse und Zieldefinition (4), Entwurf & Konstruktion (5), Realisierung (6) und Betrieb (7) bis zur Außerdienststellung (8) der erbrachten Leistung. In

Tabelle 2.1 werden die Phasen durch die Nummern angegeben, wobei in Klammern gesetzte Phasen nur teilweise im Vorgehensmodell abgebildet sind.

- Methodenunterstützung: Es stellt sich die Frage, ob das betrachtete Vorgehensmodell Methoden nennt und beschreibt, die in den einzelnen Phasen zur Anwendung kommen können.
- Qualitätssicherung der Ergebnisse: Beinhaltet das Vorgehensmodell eine Praktik zur Qualitätssicherung der Ergebnisse?

Die Ergebnisse des Vergleichs sind in Tabelle 2.1 zusammengefasst.

Kategorie	Bewertung		
	SE	MVM	W-Modell
Brancheneignung	generisch, alle Branchen	Herstellende Industrie, Technik allgemein, auch Naturwissenschaften und IT	Herstellende Industrie, Technik allgemein
Betrachtungsebene	operativ	operativ	strategisch und operativ
Phasenabdeckung	3, 4, 5, 6, (7, 8)	(2), 3, 4, 5, 6	1, 2, 3, 4, (5, 6)
Methodenunterstützung	ja	ja	teilweise
Qualitätssicherung	teilweise	ja	ja

Tabelle 2.1.: Allgemeiner Vergleich der Vorgehensmodelle (in Anlehnung an Haberfellner et al., 2012; Lindemann, 2009b; Eversheim et al., 2002)

2.6. Wahl eines Vorgehensmodells

Eines der drei präsentierten Vorgehensmodelle soll als Grundgerüst für das Prinziplösungs-Vorgehensmodell (PL-VM) dienen, welches zukünftig innerhalb der Secop für die Lösungssuche zur Anwendung kommen wird. Um eine Auswahl zu ermöglichen, erfolgte ein Secop-spezifischer Vergleich der Vorgehensmodelle mittels einer gewichteten Punktebewertung. Deren Grundlagen werden unter Abschnitt 3.3.2 erklärt.

Es wurden folgende Secop-spezifische Bewertungskriterien definiert:

- Branchenbezug: Ist das Vorgehensmodell für die Branche, innerhalb der die Secop operiert, geeignet?

Das gewählte Modell wird für den konkreten Anwendungsfall der Prinziplösungssuche adaptiert und um Aspekte aus anderen Vorgehensmodellen, welche der Zielerreichung dienlich sind, erweitert. Eine ausführliche Beschreibung des PL-VMs mit seinen Zielen und Inhalten wird in Kapitel 3 durchgeführt.

3. Prinziplösungs-Vorgehensmodell und dessen Methoden

Das PL-VM dient als operativer Leitfaden für die Tätigkeiten während der Entwicklung von neuartigen Prinziplösungen und baut auf SE auf. Da der Anstoß zur Entwicklungstätigkeit strategische Entscheidungen beinhaltet, wird darauf im PL-VM nur kurz eingegangen (Eversheim et al., 2002, S. 27). Der Fokus des Vorgehensmodells liegt auf der Beschreibung des technischen Problems sowie der Lösungssuche innerhalb der Vor- und Detailstudie. Des Weiteren werden die Rahmenbedingungen und möglichen Tätigkeiten innerhalb der beiden Phasen Detailstudie und Systembau skizziert. Da die gefundene Lösung nicht zur Serienreife gebracht werden soll, wird die Systemeinführung des SE übersprungen. Abbildung 3.1 zeigt die Grundstruktur des PL-VM.



Abbildung 3.1.: Grundstruktur des PL-VM (eigene Darstellung in Anlehnung an Haberfellner et al., 2012, S. 94)

Es ist zweckmäßig, den Entwicklungsfortschritt regelmäßig zu kontrollieren. So müssen nach Durchlaufen der einzelnen Projektphasen gewisse Ziele erreicht und Aktivitäten durchgeführt worden sein. Ist dies der Fall, so darf zur nächsten Phase übergegangen werden. (Haberfellner et al., 2012, S. 65f)

Die Tore an den Phasenenden weisen alle dieselbe Grundstruktur auf. Es werden bestimmte Resultate erwartet, welche zu Beginn der Phase definiert und nach gewissen festgelegten Kriterien bewertet werden. Diese Kriterien werden auf einer Checkliste festgehalten, was auch in Abbildung 3.2 ersichtlich ist. Die in der jeweiligen Phase zu erreichenden Ziele richten sich nach dem konkret vorliegenden Entwicklungsprojekt und können sowohl wirtschaftlicher als auch technischer Art sein.

Weiters generiert jedes Tor einen Output, nämlich eine Entscheidung über den weiteren Verlauf

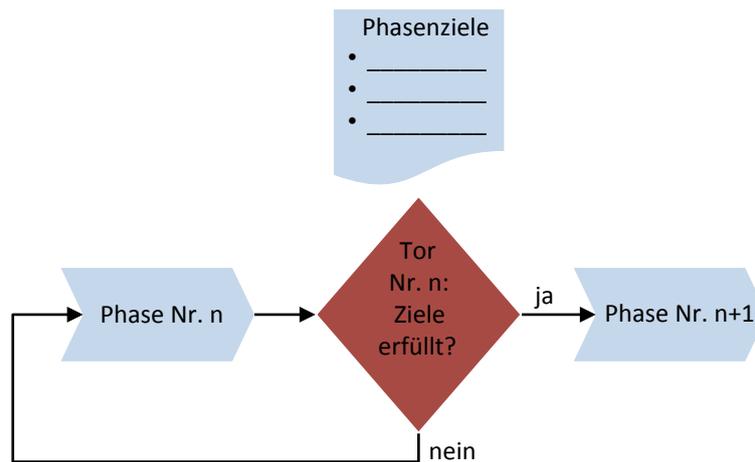


Abbildung 3.2.: Stage-Gate-Entscheidungsprozess in der Vorstudie (in Anlehnung an Cooper, 2002, S. 146)

des Projekts. Sind die Kriterien zufriedenstellend erfüllt, so erfolgt eine Fortsetzung des Projekts und der Übergang in die nächste Phase. In diesem Fall werden auch bereits die Kriterien für das nächste Tor definiert und festgehalten.

Wurden die Kriterien allerdings nicht in ausreichendem Maße erfüllt, so muss entschieden werden, ob gewisse Elemente der Phase oder gar die gesamte Phase nochmals durchlaufen werden. Im Extremfall kann es aber auch zu einem Projektabbruch kommen. (Cooper, 2002, S. 145ff)

Die in den einzelnen Abschnitten zur Anwendung kommenden Methoden sollen das Erreichen der jeweiligen Phasenziele sichern. Die Auswahl der dargestellten Methoden basiert auf einem Workshop, welcher am Institut für Unternehmungsführung und Organisation am 10.6.2014 durchgeführt wurde. Am Workshop beteiligt waren Prof. DI Dr. Vorbach, DI Wolfgang A. Marko und der Verfasser der vorliegenden Arbeit. Dabei stand die generelle Eignung der Methoden sowie die Vereinbarkeit mit den innerhalb der Secop vorhandenen Tools im Vordergrund.

Nachfolgend werden die einzelnen Phasen und die in ihnen zur Anwendung kommenden Methoden beschrieben.

3.1. Anstoß

Für den Start einer Entwicklungstätigkeit gibt es mehrere Gründe und Einflussfaktoren. Diese lassen sich in interne und externe Faktoren unterteilen. In diesem Zusammenhang differenziert man zwischen *Technology Push* und *Demand-* bzw. *Market Pull*, wobei in der Praxis eine klare Zuordnung nicht immer möglich ist, da meist beide Faktoren bei Innovationsentscheidungen involviert sind (Martin, 1994, S. 44f):

Technology Push Die Innovation wird durch die Unternehmung aktiv auf den Markt gebracht und beworben. Es ist noch nicht genau bekannt, ob sie von den potentiellen Kunden auch angenommen wird, weshalb den Marketingaktivitäten besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden muss.

Market Pull Der Markt verlangt nach innovativen Lösungen für bestehende Probleme, die bisher nicht oder nur wenig zufriedenstellend gelöst sind. Somit ist die Unternehmung gezwungen, neue Produkte zu entwickeln, welche die Bedürfnisse der Kunden befriedigen. Andernfalls besteht die Gefahr, diese Kunden zu verlieren.

Oft ergibt sich der Anstoß aus der Unternehmungs- und Produktstrategie. Dessen Hauptziel ist die Steigerung des Unternehmungswertes (Müller-Prothmann & Dörr, 2009, S. 21). Im Zuge der Entwicklung der Produktstrategie werden die Ziele für zukünftige Produkte und Produktgruppen definiert sowie der Weg zur Zielerreichung als grobe Roadmap vorgegeben (Eversheim et al., 2002, S. 27).

Die in der Branche vorherrschende Situation hat wesentlichen Einfluss auf die Produktstrategie. Dadurch empfiehlt es sich, das Unternehmungsumfeld zu analysieren. Technologien und Produkte unterliegen aber auch natürlichen Alterungsprozessen. So ist es nicht ungewöhnlich, dass eine mehrere Jahre alte Technologie nicht mehr dem aktuellen Stand der Technik entspricht und somit für einen Nachfolger gesorgt werden muss. (Herrmann & Huber, 2013, S. 85ff)

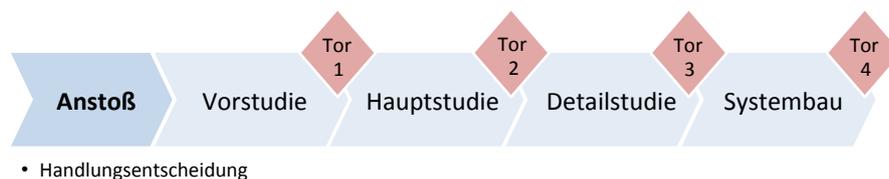


Abbildung 3.3.: Anstoß im Ablauf des Phasenmodells (eigene Darstellung)

Durch die klare Definition der Entwicklungsstrategie ergibt sich der Rahmen, in dem die Technologie- und Produktentwicklung abläuft. Es werden Entwicklungsschwerpunkte definiert, die in Einzelpro-

jekten zu bearbeiten sind und jeweils mit einer Vorstudie begonnen werden. Abbildung 3.3 zeigt den Anstoß im Ablauf des PL-VMs. (Bullinger et al., 2009, S. 126ff)

3.2. Vorstudie - Definition und Vorauswahl



Abbildung 3.4.: Vorstudie im Ablauf des Phasenmodells (eigene Darstellung)

Ziel der Vorstudie ist es, das Problemverständnis zu schärfen, das Suchfeld einzugrenzen und nach einer ersten Grobsichtung eine Vorauswahl der Prinziplösungen zu treffen (Haberfellner et al., 2012, S. 67).

Der Problemlösungszyklus des SE nach Haberfellner et al. (2012, S. 74ff) wird in vollem Umfang angewandt. Abbildung 3.4 gibt einen Überblick über die Inhalte der Vorstudie.

3.2.1. Zielsuche

Die Zielsuche innerhalb der Vorstudie dient der Analyse der vorliegenden Situation. Das Problemverständnis soll dadurch geschärft werden. Weiters werden die Ziele und Anforderungen an die zu findende Lösung definiert.

Folgende Arbeitsschritte werden während der Zielsuche innerhalb der Vorstudie durchgeführt:

- Situationsanalyse
- Funktionsmodellierung
- Ziel- und Anforderungsdefinition

3.2.1.1. Situationsanalyse

Die Situationsanalyse dient der Abgrenzung des Problems und der Darstellung der gegenwärtigen Istsituation. Das vorliegende Problem wird dabei analysiert und abgegrenzt. Weiters werden die verschiedenen Beziehungen zwischen den einzelnen Elementen untersucht. (Haberfellner et al., 2012, S. 75)

Systemanalyse und Abgrenzung

Die Definition des vorliegenden Problems ist für die weitere Bearbeitung von maßgebender Bedeutung. Je besser das Problem verstanden wird, desto eher werden sich im Laufe des Entwicklungsprozesses adäquate Lösungen finden lassen. (Cooper, 2002, S. 23f)

Die Beschreibung beginnt mit einer Systemanalyse, welche nach den in Abschnitt 2.2.1 beschriebenen Gesichtspunkten erfolgt. Dabei wird das System, etwaige Um- und Subsysteme, Elemente und deren Beziehungen zueinander definiert. Im Zuge der Systemanalyse findet auch eine Abgrenzung statt. Man unterscheidet in diesem Zusammenhang zwischen Problemfeld, Lösungsfeld, Eingriffsbereich und Wirkungsbereich, wie in Abbildung 3.5 dargestellt und nachfolgend erklärt wird:

Problemfeld Innerhalb des Problembereichs werden die relevanten Zusammenhänge vermutet und untersucht. Dieser Bereich ist anfangs schwer zu definieren, jedoch werden die Grenzen mit zunehmendem Fortschritt der Analyse konkreter. Es ist mitunter hilfreich, organisatorische oder physische Grenzen des Objekts vorerst zu übernehmen. Diese Grenzen müssen aber nicht zwangsläufig für das Problemfeld gelten. (Haberfellner et al., 2012, S. 206)

Eingriffsbereich Als Eingriffsbereich bezeichnet man jenes Gebiet, in dem ein Agieren zum Lösen des Problems sinnvoll erscheint. Hier spielen mehrere Faktoren eine Rolle. Unter anderem muss ein Eingriff in dem beabsichtigten Bereich erlaubt sein, eine Lösungsmöglichkeit gegeben sein und der daraus gezogene Nutzen den Aufwand rechtfertigen. (Haberfellner et al., 2012, S. 206f)

Lösungsbereich Der Lösungsbereich ist noch enger definiert als der Eingriffsbereich. Er beinhaltet die Lösung, welche zu entwickeln ist. Im Eingriffsbereich sind also mehrere Lösungsbe-
reiche und somit Lösungen enthalten, im Lösungsbereich nur die konkret zu entwickelnde. (Haberfellner et al., 2012, S. 207)

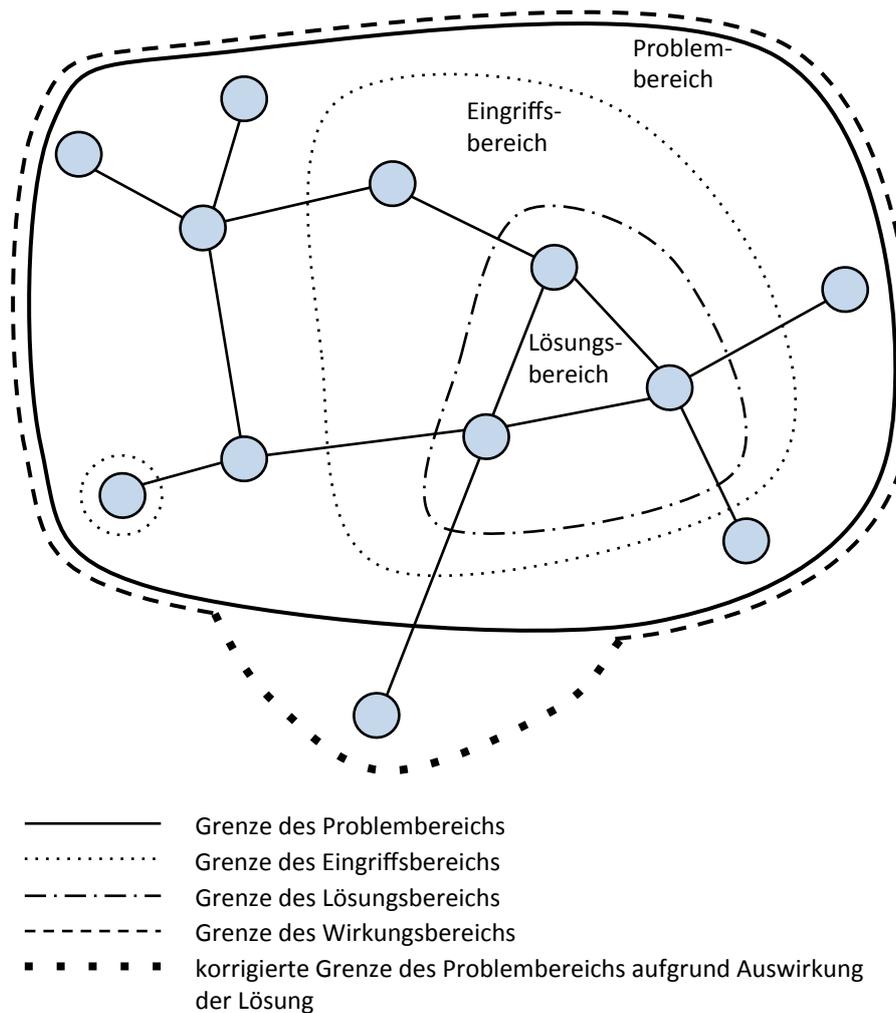


Abbildung 3.5.: Problem-, Eingriffs-, Lösungs- und Wirkungsbereich der Abgrenzung (in Anlehnung an Haberfellner et al., 2012, S. 207)

Wirkungsbereich Der Bereich, in dem nach Einführung der Lösung Veränderungen auftreten, wird als Wirkungsbereich bezeichnet. Er liegt innerhalb des Problemfeldes und geht für gewöhnlich über den Lösungsbereich hinaus. Sollte der Wirkungsbereich unerwartet außerhalb des Problembereichs liegen, ist dieser neu zu definieren. (Haberfellner et al., 2012, S. 207f)

Eine Veränderung des Systems kann auf drei verschiedenen Ebenen erfolgen. Bei der *Melioration* erfolgt lediglich die Beseitigung der stark störenden Mängel mittels kleinen Verbesserungen. Die *Umgestaltung* bringt größere Veränderungen mit sich. Wird die alte Lösung durch eine neue ersetzt, so spricht man von einer *Neugestaltung*. (Haberfellner et al., 2012, S. 207)

Wirkungsbeziehungen

Zwischen den definierten Elementen des Systems herrschen Wechselbeziehungen. Diese lassen sich mit einem *Causal Loop Diagram* (Kausalschleifendiagramm) veranschaulichen, was zu einem besseren Verständnis beiträgt. Es existieren zwei verschiedene Wirkungsbeziehungen, die sich durch ihre Effekte unterscheiden (Dillerup & Stoi, 2013, S. 32f):

Gleichgerichtete Beziehungen Diese, auch als positiv bezeichneten, Beziehungen führen dazu, dass sich Ursache und Wirkung in gleicher Richtung ändern. So führt beispielsweise eine Zunahme der Aufträge bei voller Auslastung der Kapazitäten zu einer Verlängerung der Lieferzeit.

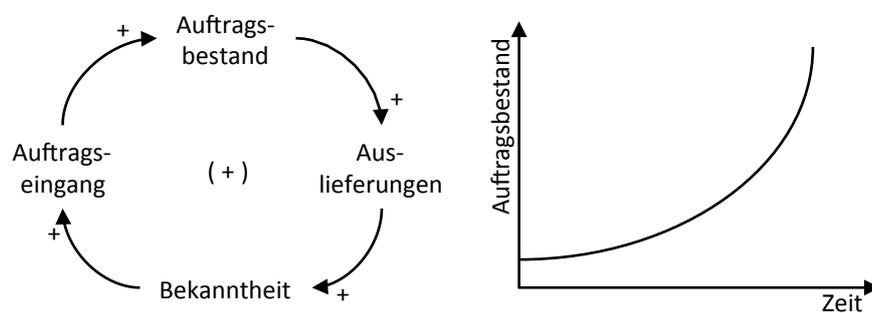


Abbildung 3.6.: Kausal- und Verhaltensdiagramm einer positiven Rückkopplungsschleife (in Anlehnung an Dillerup & Stoi, 2013, S. 33)

Entgegengerichtete Beziehungen Entgegengesetzte oder negative Beziehungen führen zu einer Veränderung der Wirkung in entgegengesetzter Richtung der Ursache. Eine längere Lieferzeit führt beispielsweise zu einer Verminderung der Auftragseingänge.

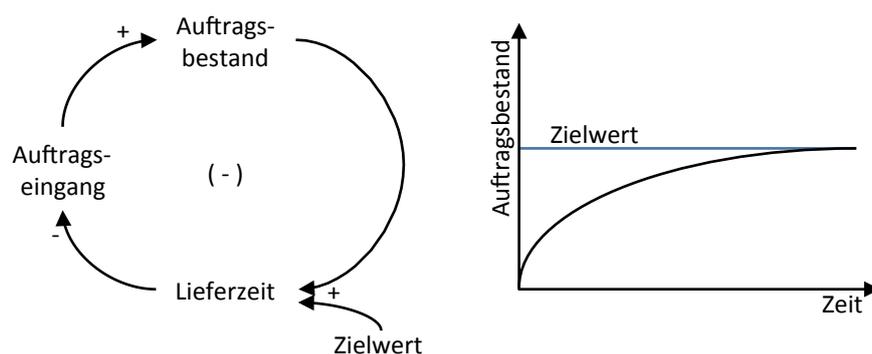


Abbildung 3.7.: Kausal- und Verhaltensdiagramm einer negativen Rückkopplungsschleife (in Anlehnung an Dillerup & Stoi, 2013, S. 32)

Durch die Aneinanderreihung mehrerer Beziehungen entsteht eine Kausalschleife. Die Multiplikation der Beziehungen innerhalb der Schleife ergibt die Wirkungsrichtung, welche positiv oder negativ sein kann. (Dillerup & Stoi, 2013, S. 33)

In Abbildung 3.6 ist eine positive Rückkopplungsschleife dargestellt. Hier führt eine Erhöhung des Auftragsbestands zu mehr Auslieferungen. Dadurch steigt die Bekanntheit, was zu einer Erhöhung der Auftragseingänge und somit wiederum zu einer Vermehrung der Auftragsbestände führt. Alle Beziehungen dieser Schleife sind positiv, somit ergibt sich als Produkt auch eine positive Rückkopplungsschleife. Positive Rückkopplungsschleifen entfernen sich immer mehr von ihrem Ausgangszustand und sind selbstverstärkend. (Dillerup & Stoi, 2013, S. 33)

Im Gegensatz dazu gibt es negative Rückkopplungsschleifen. Eine solche ist in Abbildung 3.7 dargestellt. Eine Erhöhung des Auftragsbestands führt zu einer Verlängerung der Lieferzeit (positive Beziehung). Die Verlängerung der Lieferzeit bedingt eine Verminderung der Auftragseingänge (negative Beziehung). Der Auftragseingang beeinflusst den Auftragsbestand wieder positiv. Durch Multiplikation der Beziehungsvorzeichen ergibt sich eine insgesamt negative Rückkopplung. Negative Rückkopplungsschleifen nähern sich einem Zielwert an, wirken somit also stabilisierend. Die Differenz zwischen Ist- und Sollzustand wird kontinuierlich verringert. (Dillerup & Stoi, 2013, S. 32f)

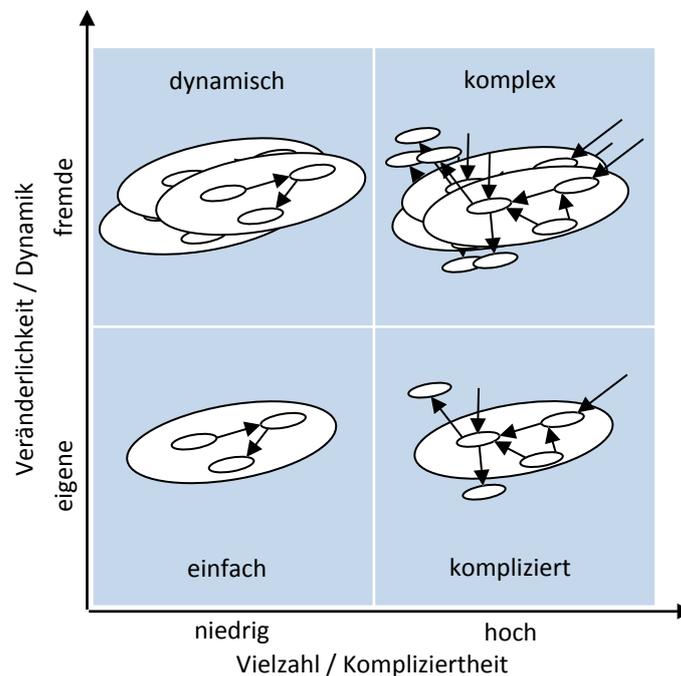


Abbildung 3.8.: Komplexitätsdimensionen eines Systems (in Anlehnung an Dillerup & Stoi, 2013, S. 34 nach Ulrich & Probst, 2001, S. 61)

Es sind auch Zusammenschlüsse mehrerer Kausalschleifen möglich, die zu einem komplexeren System führen und teilweise nur mehr mittels Simulationsmodellen analysiert werden können. Ein System gilt als kompliziert, wenn es viele verschiedene Elemente und Beziehungen aufweist. Wenn sich diese mit der Zeit verändern, spricht man von einem dynamischen System. Ist ein System dynamisch und kompliziert, so wird es als komplexes System bezeichnet. Dies kommt in Abbildung 3.8 zum Ausdruck. (Ulrich & Probst, 2001, S. 59ff)

3.2.1.2. Funktionsmodellierung

Die Funktionsmodellierung dient zweierlei Zwecken. Zum einen erfolgt durch sie eine Abstraktion, welche die Lösungsvielfalt vergrößert. Durch eine lösungsneutrale Formulierung des Problems wird die gedankliche Fixierung an konkreten Lösungen aufgehoben. Zum anderen hilft die Funktionsmodellierung bei der Veranschaulichung komplexer Systeme. (Ehrlenspiel & Meerkamm, 2013, S. 420)

Von jedem Objekt gehen bestimmte Wirkungen aus, welche als Funktionen bezeichnet und jeweils durch ein Substantiv und ein Verb beschrieben werden. Es ist auf eine knappe, lösungsneutrale und zielführende Formulierung zu achten. Ein Beispiel hierfür wäre die Funktion "Ventil bewegen". (Ammann, 2011, S. 57f)

Arten und Klassen von Funktionen

Bronner & Herr (2006) differenzieren zwischen zwei Arten von Funktionen. Je nach Branche werden Kaufentscheidungen aufgrund einer der beiden Arten oder einer Kombination getroffen (Bronner & Herr, 2006, S. 13):

Gebrauchsfunktion Die Gebrauchsfunktion dient der technischen und wirtschaftlichen Nutzung und lässt sich meist quantifizieren.

Geltungsfunktion Diese Funktion ist unabhängig von der Gebrauchsfunktion und bedient ästhetische oder prestigeorientierte Ansprüche, wird stark subjektiv wahrgenommen und lässt sich somit nur eingeschränkt quantifizieren.

In Abbildung 3.9 ist eine Reihe von Produkten und deren Einordnung innerhalb der beiden Funktionsarten ersichtlich.

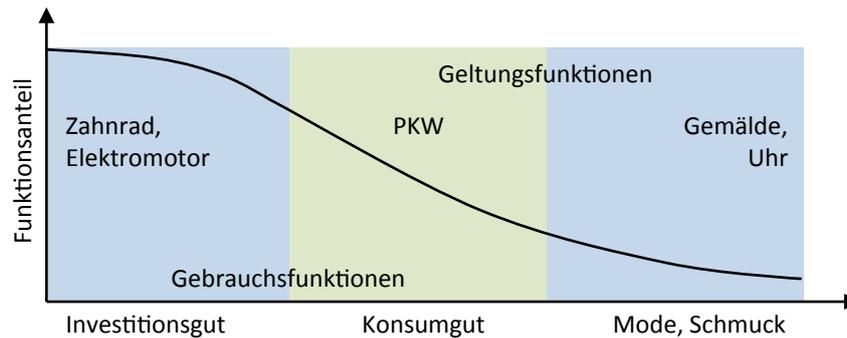


Abbildung 3.9.: Anteil der Gebrauchs- und Geltungsfunktion bei verschiedenen Gütern (in Anlehnung an Bronner & Herr, 2006, S. 9)

Ammann (2011) gliedert Funktionen in drei verschiedene Klassen und unterscheidet zwischen Haupt-, Neben- und unnötigen Funktionen (Ammann, 2011, S. 61f):

- **Hauptfunktionen:** Diese erscheinen als sehr wichtig und beschreiben den Verwendungszweck des Objekts. Sie müssen erfüllt werden.
- **Nebenfunktionen:** Dabei handelt es sich um weitere notwendige Funktionen, welche die Hauptfunktionen unterstützen und oft durch das Lösungskonzept bestimmt sind. Die Komplexiertheit des Konzepts wird von der Anzahl der Nebenfunktionen bestimmt. Nebenfunktionen, welche nicht mehr teilbar sind, werden als Elementarfunktionen bezeichnet.
- **Unnötige Funktionen:** Unnötige oder unerwünschte Funktionen sind vermeidbare oder unvermeidbare, somit nicht gewünschte Wirkungen des betrachteten Objekts. Sie leisten keinen positiven Beitrag zum Produkt.

Ermittlung und Darstellung von Funktionen

Die Funktionsmodellierung kann mit unterschiedlichen Sichten auf das System durchgeführt werden, welche sich nach dem jeweiligen Einsatzzweck richten. Es können somit für ein und dasselbe Produkt grundverschiedene Funktionsmodelle entwickelt werden. Dabei wird zwischen drei zentralen Sichten der Funktionsmodellierung unterschieden, was auch in Abbildung 3.10 zum Ausdruck gebracht wird (Ponn & Lindemann, 2011, S. 66f):

Umsatzorientierte Sicht Es steht das Umsatzprodukt im Mittelpunkt der Betrachtung. Dabei kann es sich um Stoffumsatz, Energieumsatz oder Signalumsatz handeln. Das Ergebnis ist ein umsatzorientiertes Funktionsmodell.

Sicht auf das System		technische Funktion	Beispielsystem PKW
Umsatzart	Stoff	Fahrzeug bewegen	
	Energie	Energie wandeln	
Relation zur Hauptfunktion	nützlich	selbst zur Arbeit fahren	
	schädlich	Menschen gefährden	
Nutzer	Gebrauchsfunktion	Einkaufstasche transportieren	
	Geltungsfunktion	Fahrgefühl genießen	

Abbildung 3.10.: Verschiedene Sichtweisen auf die Funktionen eines Systems (in Anlehnung an Ponn & Lindemann, 2011, S. 67)

Relationsorientierte Sicht Die Wechselwirkungen der Funktionen untereinander werden betrachtet. Es wird unterschieden, ob die Funktionen den Systemzweck oder andere Funktionen des Systems positiv oder negativ beeinflussen. Die Sicht führt zu einem relationsorientierten Funktionsmodell, bei dem zwischen nützlichen und schädlichen Funktionen unterschieden wird.

Nutzerorientierte Sicht Die Interaktion des Nutzers mit dem System wird analysiert. Es kommt eine Differenzierung zwischen Gebrauchs- und Geltungsfunktion zur Anwendung, welche ein nutzerorientiertes Funktionsmodell hervorbringt.

Als Darstellungsmethode der Ergebnisse einer Funktionsanalyse dient der Funktionenbaum. Man kann diesen sowohl von links als auch von rechts ausgehend interpretieren. Geht man von links nach rechts vor, hinterfragt man die Anordnung mit „Wie?“. In entgegengesetzter Richtung wird nach dem „Warum?“ gefragt. Der Funktionenbaum ist hierarchisch aufgebaut, wobei ganz links die Gesamt- oder Hauptfunktion des Systems angeführt ist, rechts daneben die Teilfunktionen. Rechts außen sind die Elementarfunktionen angeordnet. In Abbildung 3.11 ist der Funktionenbaum eines Wasserkochers ersichtlich. „Heißwasser bereitstellen“ ist die Hauptfunktion. Man kann hinterfragen, wie Heißwasser erzeugt wird. Die Antwort lautet durch „Wasser kochen“ und „Ausguss ermöglichen“. Umgekehrt lässt sich die Frage stellen, wozu Wasser gekocht wird und ein Ausguss ermöglicht wird - nämlich um Heißwasser bereitzustellen. (Lingohr & Kruschel, 2011, S. 34ff)

3.2.1.3. Ziele und Anforderungen

Zur erfolgreichen Entwicklung eines Produkts ist es notwendig, eine Vielzahl von Entwicklungszielen zu erreichen. Diese Ziele lassen sich in allgemeine und produktspezifische einteilen. Unter allgemeinen Zielen werden beispielsweise Terminvereinbarungen, Ressourcenplanung oder teams-

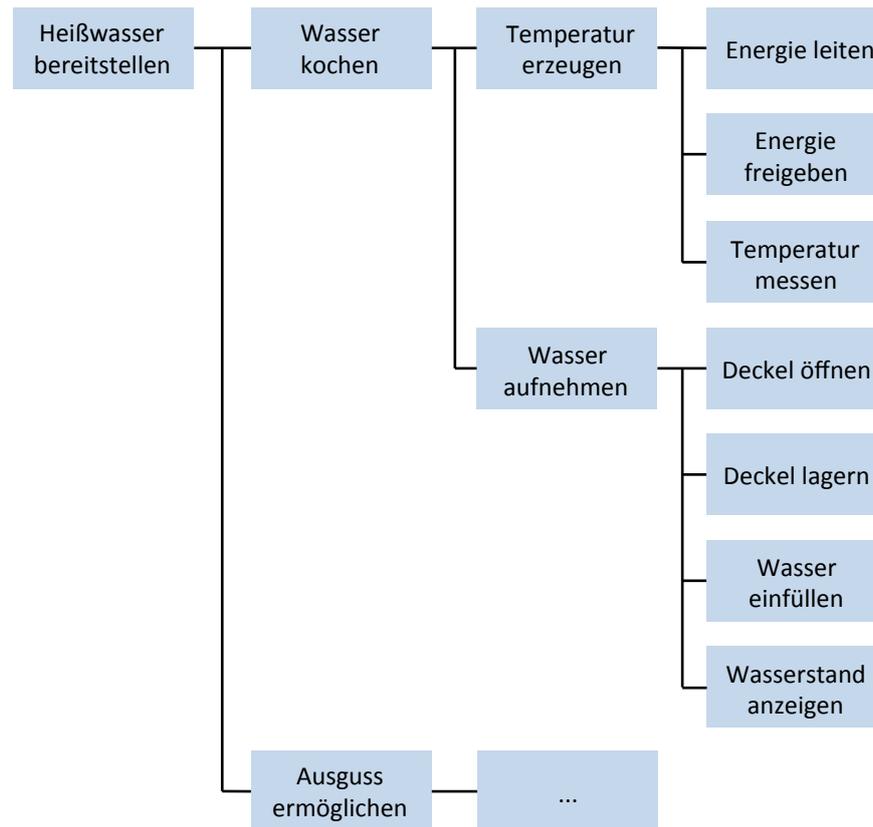


Abbildung 3.11.: Funktionsbaum eines Wasserkochers (in Anlehnung an Lingohr & Kruschel, 2011, S. 35)

spezifische Ziele verstanden. Produktspezifische Ziele beziehen sich auf das zu entwickelnde Produkt und den Entwicklungsprozess an sich. Diese werden auch als Anforderungen bezeichnet. Die Anforderungen stellen den Rahmen der Entwicklung dar. Werden sie nicht erfüllt, so muss in der Regel nachgebessert werden. (Lindemann, 2009b, S. 95ff)

Anforderungen lassen sich durch Merkmale und deren Ausprägungen definieren. Das Merkmal stellt das Bezugsobjekt dar und die Ausprägung bezeichnet dessen Sollwert (Ahrens, 2000, S. 173f). Somit lautet eine Produkthanforderung beispielsweise „Gewicht maximal 2 kg“. Es handelt sich also um das Merkmal „Gewicht“ und die Ausprägung „maximal 2 kg“. (Ponn & Lindemann, 2011, S. 39)

Ermittlung der Anforderungen

Anforderungsquellen können beispielsweise der Markt, Normen und Gesetze, Kunden, Zulieferer, Unternehmensstrategien und der Wettbewerb sein. Da die Anforderungen oft nur implizit in den Quellen vorhanden sind, kann es mitunter schwer sein, diese zu erheben. Dieses implizite Wissen lässt sich durch spezielle Fragetechniken erfassen (Herbig, 2001, S. 43f). Explizites Wissen kann dagegen systematisch erfasst und gedeutet werden. (Lindemann, 2009b, S. 96)

Pohls Kategorisierung sieht drei verschiedene Quellen von Anforderungen vor (siehe Abbildung 3.12) (Pohl, 2008, S. 315ff):

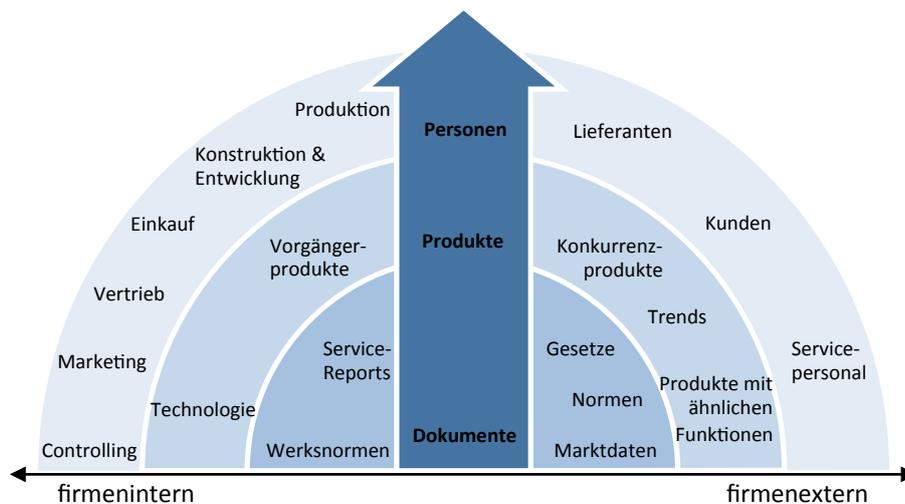


Abbildung 3.12.: Interne und externe Anforderungsquellen (in Anlehnung an Pohl, 2008, S. 316)

1. **Personen:** Diese können sowohl firmeninterne (Mitarbeiter in Produktion und Vertrieb) oder firmenexterne Personen (Kunden oder Lieferanten) sein.
2. **Produkte:** Innerhalb der Unternehmung können ähnliche Produkte als Anforderungsquelle dienen. Externe Quellen sind Konkurrenzprodukte oder Produkte, welche die neu zu entwickelnde Technologie bereits erfolgreich einsetzen. In diesem Zusammenhang sei auf das Benchmarking unter Abschnitt 3.2.2 verwiesen.
3. **Dokumente:** Zu den allgemeinen, firmenexternen Dokumenten zählen z.B. Gesetzestexte und Normen. In die Gruppe der firmeninternen, produktspezifischen Dokumente fallen Mängelberichte oder Beschwerdereports von ähnlichen oder Vorgängerprodukten.

Um wichtige Anforderungen nicht aus Versehen zu vergessen, empfiehlt sich der Einsatz von

Hauptmerkmale	Beispiele
Geometrie	Größe, Länge, Breite, Höhe, Durchmesser, Anzahl, Anordnung, Anschlüsse, Volumen
Kinematik	Bewegungsart, Bewegungsrichtung, Geschwindigkeit, Beschleunigung
Kräfte	Kraftgröße, Richtung, Anzahl, Gewicht, Last, Verformung, Steifigkeit, Federeigenschaften, Stabilität, Resonanzen, Dynamik
Energie	Leistung, Leistung, Verlust, Wirkungsgrad, Zustandsgrößen: Druck, Temperatur, Erwärmung, Kühlung, Anschlussenergie, Speicherung, Arbeitsaufnahme, Energieumformung, Signal
Stoff	physikalische, biologische, chemische Eigenschaften des Ein- und Ausgangsprodukts, Hilfsstoffe, Werkstoffe, Materialtransport, Logistik
Signal	Eingangs- und Ausgangssignale, Anzeigen, Betriebs- und Überwachungsgeräte, Signalform
Sicherheit	Sicherheitstechnik, Schutzsysteme, Betriebs-, Arbeits-, Umweltsicherheit, CE-Siegel
Ergonomie	Mensch-Maschine-Beziehung: Bedienung, Übersichtlichkeit, Beleuchtung, Form, Haptik, Gebrauchstauglichkeit
Fertigung	Einschränkungen durch Produktionsstätte, herstellbare Abmessungen, Fertigungsverfahren, Fertigungsmittel, Qualität, Toleranzen, Beschaffung
Kontrolle	Prüfeinrichtungen, Vorschriften (TÜV, DIN, ISO, CE, etc.)
Montage	Montagevorschriften, Zusammenbau, Einbau, Baustellenmontage, Fundament, Inbetriebnahme, Endprüfung
Transport	Begrenzung durch Hebezeuge, Bahnprofil, Transportwege nach Größe und Gewicht, Versandart und -bedingungen, Container, Luftfracht
Gebrauch	Geräusch, Verschleißrate, Anwendung und Absatzgebiet, Einsatzort
Instandhaltung	Wartungsfreiheit, Wartungsintervall, Inspektion, Austausch und Instandsetzung, Anstrich, Säuberung
Recycling	Wiederverwendung, Wiederverwertung, Weiterverwertung, Weiterverwertung, Endlagerung, Beseitigung
Kosten	Zulässige Herstellkosten, Werkzeugkosten, Investition und Amortisation, Betriebskosten
Termin	Ende der Entwicklung, Netzplan für Zwischenschritte, Lieferzeit

Tabelle 3.1.: Checkliste zur Anforderungsklä rung in allgemeiner Form (in Anlehnung an Feldhusen & Grote, 2013, S. 331)

Anforderungs-Checklisten. Dies sind strukturierte Sammlungen von Anforderungen, welche für bestimmte Produkte häufig vorkommen. (Lindemann, 2009b, S. 97f)

Weiters existiert eine Hauptmerkmalliste, welche in Tabelle 3.1 in einer allgemeinen Form wiedergegeben ist und zur Hilfe bei der Anforderungsklä rung herangezogen werden kann. (Feldhusen & Grote, 2013, S. 331)

Gewichtung der Anforderungen

Im Zuge der Anforderungsermittlung kann es zu Mehrfachnennungen bzw. Überschneidungen von Anforderungen kommen. Anforderungen können nur selten isoliert betrachtet werden, da sie sich meist gegenseitig beeinflussen und voneinander abhängig sind. Vor allem Zielkonflikte stellen ein Problem dar. Daher ist es notwendig, die ermittelten Anforderungen gegenüberzustellen und auf ihre Widerspruchsfreiheit zu überprüfen. (Lindemann, 2009b, S. 102ff)

Da es meist schwer fällt, alle Anforderungen zu überblicken, eignet sich eine Konsistenzmatrix zum Erkennen von Zielkonflikten, welche in Abbildung 3.13 exemplarisch für einen PKW dargestellt ist (Steinmeier, 1999, S. 56f). Sollte die Konsistenzmatrix zu groß und dadurch unübersichtlich werden, so empfiehlt es sich, diese in Subsysteme zu gliedern (Lindemann, 2009b, S. 103).

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
Fahrkomfort	Schwingungskomfort - Gesamt	1	0	0	0				0	0										0		0	
	Sitzfederung	2		0	0				0	0													
	Aufbauschwingung	3			0				0	0											0	0	0
	Schwingung der Kraftübertragung	4				0			0														
Bedienkomfort	Kraft- / Wegcharakteristik d. prim. Bedieneinrichtung	5					0														0	0	
	Bedienungskomfort der "sekundären" Bedieneinrichtung	6						0	0	0	0	0	0										
	Bedienungserleichterungen in Betriebssituationen	7									0	0	0										
Transportkomfort	Innenraumangebot	8							0	0	Z	0	0	0	0	0	0	0		0		0	
	Sitzkomfort	9								Z				0	0	0	0	0					
	Ein- und Ausstieg	10										0											
	Gepäckunterbringung	11											0	0	0						0		0
	Unterbringung diverser Gegenstände	12												0							Z		0
Klimakomfort	Innenraumbelichtung	13																					
	Thermische Behaglichkeit der Insassen	14													0	0	0	0					
	Lüftung	15														0	0	0	0	Z	Z	0	
	Heizung	16															0	0	0	Z	Z	0	
	Kühlung	17																0	0	Z	Z	0	
Akustikkomfort	Passive Reduktion des Wärmestroms	18																			0	0	0
	Innenraumakustik - Gesamt	19																				0	0
	Geräuschkomponenten - Schallpegel	20																					0
	Schalltechnische Eigenschaften	21																					

0: variierender Zusammenhang
Z: Zielkonkurrenz

Abbildung 3.13.: Konsistenzmatrix zum Finden von Zielkonflikten (Steinmeier, 1999, S. 57)

Anforderungen lassen sich nach ihrer Wichtigkeit in Forderungen und Wünsche gliedern (Ehrlen-spiel & Meerkamm, 2013, S. 396f):

Forderungen Diese sind unter allen Umständen zu erfüllen. Ein Lösungsvorschlag, welcher die Forderungen nicht erfüllt, ist inakzeptabel. Forderungen können in Fest- und Bereichsforderungen unterteilt werden. Festforderungen haben keinen Toleranzbereich. Sie können sowohl qualitativer (z.B. ein Videorekorder, der Show-View-fähig sein muss) als auch quantitativer (z.B. Gestängedurchmesser $d = 12 \text{ mm}$) Natur sein. Bereichsforderungen orientieren sich an Intervallen, Mindest- und Maximalforderungen. Beispiele hierfür sind der Verstellbereich einer Kopfstütze von 10 bis 50 mm, ein Mindestwirkungsgrad von 95 % oder maximale Herstellkosten von € 34,- pro Stück.

Wünsche Wünsche sind nach Möglichkeit zu erfüllen. Es besteht jedoch kein Erfüllungszwang.

Kundenbedürfnisse stellen eine wichtige Informationsquelle zur Gewichtung von Anforderungen dar. Kano (1984) postuliert, dass es im Wettbewerb oft nicht genügt, lediglich die von den Kunden genannten Anforderungen zu erfüllen. Deshalb muss versucht werden, den Kunden mit von ihm unerwarteten Produktmerkmalen zu begeistern. Daher unterscheidet er zwischen drei Arten von Produktmerkmalen, nämlich *Grundmerkmalen*, *Leistungsmerkmalen* und *Begeisterungsmerkmalen*, was in Abbildung 3.14 ersichtlich ist. (Zäh & Lindemann, 2012, S. 54)

Die Erfüllung der Grundmerkmale wird vom Kunden vorausgesetzt und nicht explizit zum Ausdruck gebracht. Werden diese nicht erfüllt, führt dies allerdings zu großer Unzufriedenheit. Leistungsmerkmale stehen in proportionalem Zusammenhang mit der Kundenzufriedenheit. Je besser die Leistung, desto zufriedener ist der Kunde. Unerwartete Merkmale können beim Kunden Begeisterung auslösen und ermöglichen eine deutliche Abhebung von der Konkurrenz.

Die Klassifizierung der Merkmale unterliegt einem zeitlichen Wandel. War beispielsweise ein Antiblockiersystem (ABS) bei einem PKW vor 20 Jahren noch ein Begeisterungsmerkmal, so ist es heute als Grundmerkmal einzustufen, welches in nahezu jedem Fahrzeug vorhanden ist. (Lindemann, 2009b, S. 106f)

Dokumentation der Anforderungen

Die schriftliche Festhaltung von Entwicklungszielen und Anforderungen ist für eine Kontrolle des Entwicklungsfortschritts und der Zielerreichung unerlässlich. Zu diesem Zweck ist es praktikabel, eine Anforderungsliste zu führen. Sie hilft, die für die Entwicklung benötigten Informationen aktuell und konsistent zu halten. Sie kann auch Anhaltspunkte zur Bewertung von Lösungsvarianten für die Entwicklungsaufgabe liefern. Eine Anforderungsliste ist auch ein häufiger Bestandteil

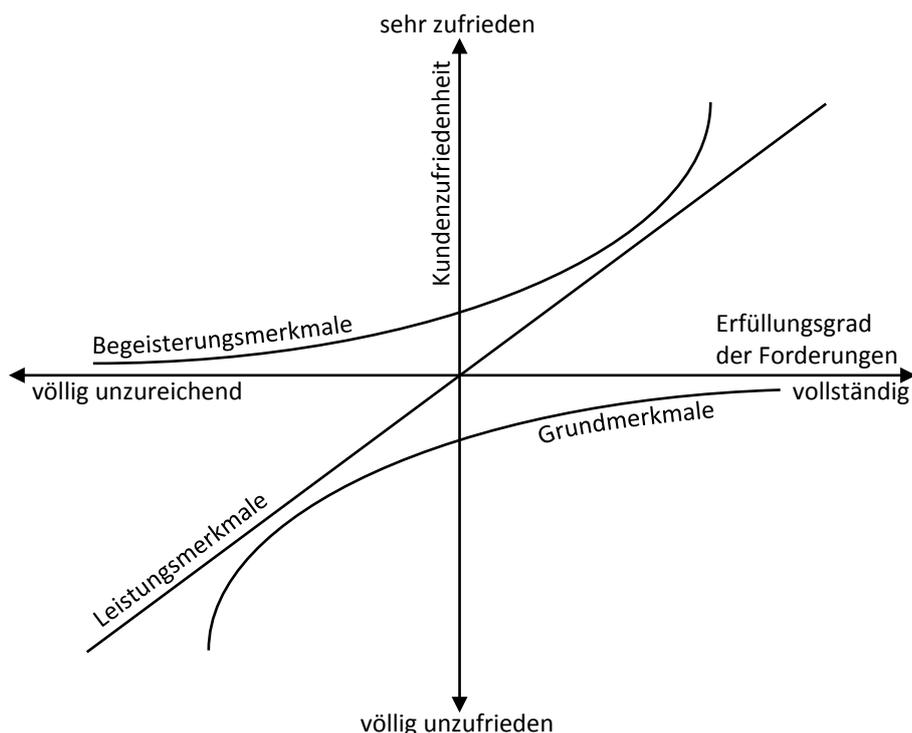


Abbildung 3.14.: Kano-Modell zur Merkmalsgliederung (in Anlehnung an Kreuzer & Land, 2013, S. 65 nach Berger et al., 1993, S. 26)

von Verträgen zwischen Kunde und Hersteller. In Abbildung 3.15 ist eine Anforderungsliste mit

Nr.	Beschreibung / Name d. Anforderung	Bezeichnung (Variable)	Zahlenwert mit Toleranz			Einheit (phys.)	Gewichtung	Ursprung/ Erläuterung
			min.	exakt	max.			
1								
1.1								
1.2								
1.3								
2								
2.1								

Abbildung 3.15.: Möglicher Aufbau einer Anforderungsliste (in Anlehnung an Lindemann, 2009b, S. 108)

ihrem möglichen formalen Aufbau ersichtlich. Jede Anforderung muss nummeriert sein, um eine eindeutige Identifikation zu ermöglichen und besteht aus zwei Elementen, nämlich dem Merkmal, welches den Namen und eine Beschreibung der Anforderung enthält sowie der Ausprägung dieses Merkmals. Ist die Ausprägung quantifizierbar, so sind auch etwaige Toleranzen anzugeben.

Besonderes Augenmerk ist auf eine lösungsneutrale Formulierung der Anforderungen zu legen. (Lindemann, 2009b, S. 108ff)

In der Praxis ist das Lastenheft eine gebräuchliche Methode zur Beschreibung von Produktanforderungen. Dieses wird vom Auftraggeber verfasst und dem Auftragnehmer übergeben. Es beschreibt, was das bestellte Produkt zu leisten im Stande sein muss. Der Auftragnehmer erstellt daraus ein Pflichtenheft. Dieses veranschaulicht, wie der Auftragnehmer gedenkt, die Vorgaben des Lastenhefts zu erfüllen. (Ahrens, 2000, S. 216, 218)

3.2.2. Lösungssuche

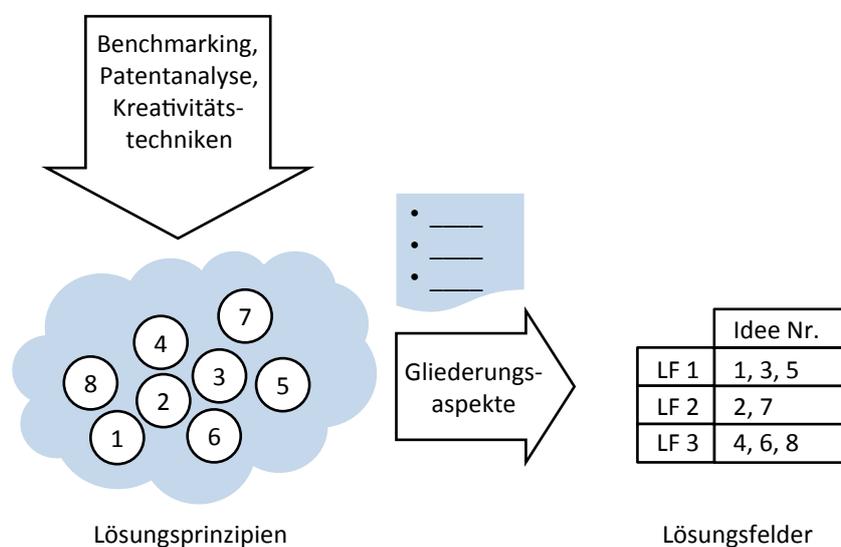


Abbildung 3.16.: Ablauf zur Definition der Lösungsfelder (eigene Darstellung)

Aufbauend auf der Erstellung des Funktionsmodells und einer Definition der Ziele und Anforderungen in Abschnitt 3.2.1 werden im nächsten Schritt prinzipielle Lösungen entwickelt. Die Lösungssuche im Zuge der Vorstudie beschränkt sich hierbei auf das Finden von Grundprinzipien, welche zur Problemlösung tauglich sind. Alternativ kann auch nur ein erstes Eingrenzen und Strukturieren der Suchfelder für diese Prinzipialösungen vorgenommen, also Lösungsfelder definiert werden. Dazu ist es notwendig, elementare Lösungen zu finden, mit denen die ermittelten Teilfunktionen erfüllt werden können. Diese werden nach verschiedenen Gesichtspunkten gegliedert. Innerhalb eines so gefundenen Lösungsfeldes finden sich also ähnliche Lösungen, welche auf demselben Grundprinzip aufbauen. Aufgrund von Bewertungskriterien werden die Lösungsfelder anschließend in Abschnitt 3.2.3 bewertet und ausgewählt. In Abbildung 3.16 ist das Vorgehen schematisch skizziert.

Zum Finden von Lösungsprinzipien sind mehrere Tools geeignet, wovon ausgewählte innerhalb der folgenden Abschnitte genauer besprochen werden. Innerhalb der Vorstudie werden die beiden Methoden Benchmarking und Patentrecherche beschrieben.

Auch Methoden zur Lösungssuche, welche in der Hauptstudie unter Punkt 3.3.1 vorgestellt werden, können innerhalb der Vorstudie zur Anwendung kommen (Haberfellner et al., 2012, S. 370f).

3.2.2.1. Benchmarking

Im Zuge des Benchmarkings werden die Unterschiede zwischen Objekten innerhalb der eigenen Organisation und äquivalenten Objekten eines Vergleichspartners oder mehrerer Vergleichspartner untersucht. Die Identifikation von erfolgreichen Lösungen und deren Implementierung innerhalb der eigenen Unternehmung oder Abteilung stellen wesentliche Aspekte des Benchmarkings dar. Benchmarking soll dabei helfen, sowohl das „*Was*“ als auch das „*Warum*“ dieser erfolgreichen Lösungen aufzuzeigen. (Fahrni et al., 2002, S. 3ff)

Benchmarking führt zu zwei Ergebnissen. Einerseits erhält man Werte zum Vergleichen von Leistungsfähigkeiten, andererseits lassen sich auch die Praktiken, welche zu Leistungssteigerungen führen, aufdecken. Aufgrund der Tatsache, dass keine Unternehmung der anderen gleicht, muss jedoch bedacht werden, dass die gefundenen Praktiken meist nicht direkt übernommen werden können. Es hat also eine Anpassung an die Gegebenheiten innerhalb der eigenen Unternehmung zu erfolgen. (Watson, 1993, S. 21)

Die Datenerhebung kann mitunter Schwierigkeiten bereiten. Im Zuge eines Konkurrenzbenchmarkings können zur Vereinfachung der Informationsbeschaffung Partnerschaften mit Wettbewerbern eingegangen werden. Jedoch muss mit den Daten sensibel umgegangen und deren Qualität kontrolliert werden. (Siebert & Kempf, 2002, S. 19f)

Arten von Benchmarking

Es sind vier Grundtypen des Benchmarkings zu differenzieren, welche sich durch die Charakteristika der Benchmarking-Partner unterscheiden. Die Partner können sowohl innerhalb der eigenen Branche als auch außerhalb dieser liegen und gehören entweder der eigenen oder einer fremden Organisation an. (Fahrni et al., 2002, S. 13f)

Durch diese Kriterien ergeben sich die verschiedenen Benchmarking Typen, welche in Abbildung 3.17 dargestellt sind und anschließend besprochen werden:

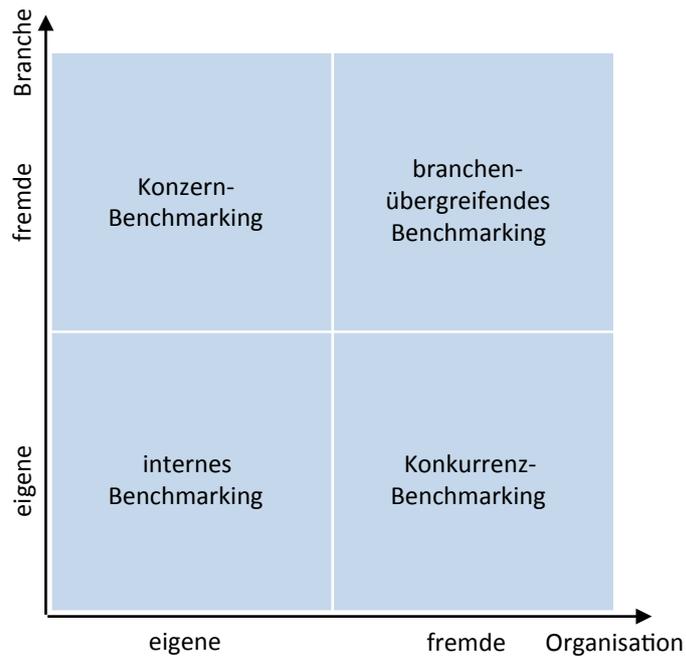


Abbildung 3.17.: Grundtypen des Benchmarking (in Anlehnung an Fahrni et al., 2002, S. 13)

Internes Benchmarking Internes Benchmarking findet innerhalb der eigenen Organisation und Branche statt, beispielsweise wenn ein Hersteller Kennzahlen der Produktion seiner Werke miteinander vergleicht (Fahrni et al., 2002, S. 13). Es werden sich ähnelnde Abläufe in verschiedenen Bereichen innerhalb der eigenen Unternehmung verglichen (Watson, 1993, S. 111). Das interne Benchmarking dient einerseits zur Leistungsverbesserung, kann andererseits aber auch als erster Schritt (interne Ist-Analyse) zum organisationsfremden Benchmarking gesehen werden (Siebert & Kempf, 2002, S. 35).

Die Vorteile des internen Benchmarkings liegen in der einfachen Beschaffung der Daten sowie der Tatsache, dass Kennzahlenvergleiche möglich sind. Ein Nachteil ist, dass dem internen Benchmarking oft nicht die nötige Akzeptanz entgegengebracht wird, da innerhalb der eigenen Unternehmung oft keine relevanten erfolgreichen Lösungen vermutet werden. (Fahrni et al., 2002, S. 13f)

Konzernbenchmarking Diese Form des Benchmarkings findet branchenübergreifend innerhalb eines Konzerns, einer Holding oder einem Konglomerat statt. Somit stellt das interne Benchmarking einen Sonderfall des Konzernbenchmarkings dar. (Fahrni et al., 2002, S. 14)

Konzernbenchmarking weist die selben Vorteile wie das interne Benchmarking auf, nämlich die Orientierung an Kennzahlen und die einfache Verfügbarkeit der Daten. Jedoch kann die Übertragbarkeit der identifizierten erfolgreichen Lösungen Schwierigkeiten bereiten. (Fahrni et al., 2002, S. 14)

Konkurrenzbenchmarking Von Konkurrenzbenchmarking spricht man, wenn die Vergleichsobjekte der gleichen Branche angehören und es sich um Mitbewerber handelt. Hier spielt vor allem der Vergleich von Kennzahlen eine Rolle, welcher jedoch aufgrund von Wettbewerbsgründen nur schwer möglich ist. (Fahrni et al., 2002, S. 16f)

Sofern sich die Untersuchungsobjekte nicht gegeneinander richten, ist eine Durchführung des Benchmarkings gemeinsam mit der Konkurrenz möglich. Dies kann beispielsweise im Bereich des Produktionsmanagements, der Sicherheit oder der Fortbildungsmaßnahmen zutreffend sein. (Siebert & Kempf, 2002, S. 40f)

Der Vorteil des Konkurrenzbenchmarkings ist eine klare Positionierung der eigenen Unternehmung innerhalb des Konkurrenzumfeldes. Nachteilig sind die schwierige Informationsbeschaffung und die Gefahr, nicht „über den Tellerrand hinaus“ zu blicken, da es innerhalb einer Branche große Ähnlichkeiten gibt. Somit ist es unwahrscheinlich, innovative Lösungen zu finden. (Fahrni et al., 2002, S. 17)

Branchenübergreifendes Benchmarking Im Zuge des branchenübergreifenden Benchmarkings werden Unternehmungen verglichen, welche weder demselben Konzern noch derselben Branche angehören (Fahrni et al., 2002, S. 14). Es handelt sich hierbei um ein funktionales, ablauforientiertes Benchmarking, bei dem eine Funktion, beispielsweise ein bestimmter Prozessablauf, zweier oder mehrerer Vergleichspartner aus verschiedenen Branchen im Mittelpunkt steht (Watson, 1993, S. 224).

Branchenübergreifendes Benchmarking bietet das größte Innovationspotential der vier beschriebenen Benchmarking Typen. Jedoch muss geklärt sein, ob eine Übertragbarkeit der gefundenen Lösungen auf die eigene Unternehmung möglich ist. (Siebert & Kempf, 2002, S. 43)

Eine weitere Möglichkeit bietet die Einteilung des Benchmarkings in Produkt-, Prozess- und strategisches Benchmarking, worauf ebenfalls kurz eingegangen wird:

Produktbenchmarking Das Produktbenchmarking oder Reverse Engineering ist eine effektive Methode, die eigenen Produkte mit denen der Konkurrenz zu vergleichen und daraus Schlüsse für die Optimierung zu ziehen. Dabei werden die Vergleichsprodukte zerlegt und miteinander bezüglich technischer Lösungen, verursachten Kosten und Leistungsfähigkeit verglichen. Diese Form des Benchmarkings erlaubt eine schnelle Umsetzung der Verbesserungen und dient hauptsächlich der Kostenreduktion und Optimierung mittels Redesign. (Siebert & Kempf, 2002, S. 43ff)

Prozessbenchmarking Prozessbenchmarking orientiert sich an den Prozessen innerhalb der Unternehmung und vergleicht diese mit den Benchmarking-Partnern. Durch die Optimierung

der Geschäftsprozesse soll eine Leistungserhöhung erreicht werden. Die Prozesse müssen genau definiert und quantifiziert werden, damit sie verglichen werden können. Die aufgedeckten Verbesserungspotentiale werden auf die internen Vergleichsprozesse übertragen und führen so zu einer Verbesserung dieser. (Siebert & Kempf, 2002, S. 46ff)

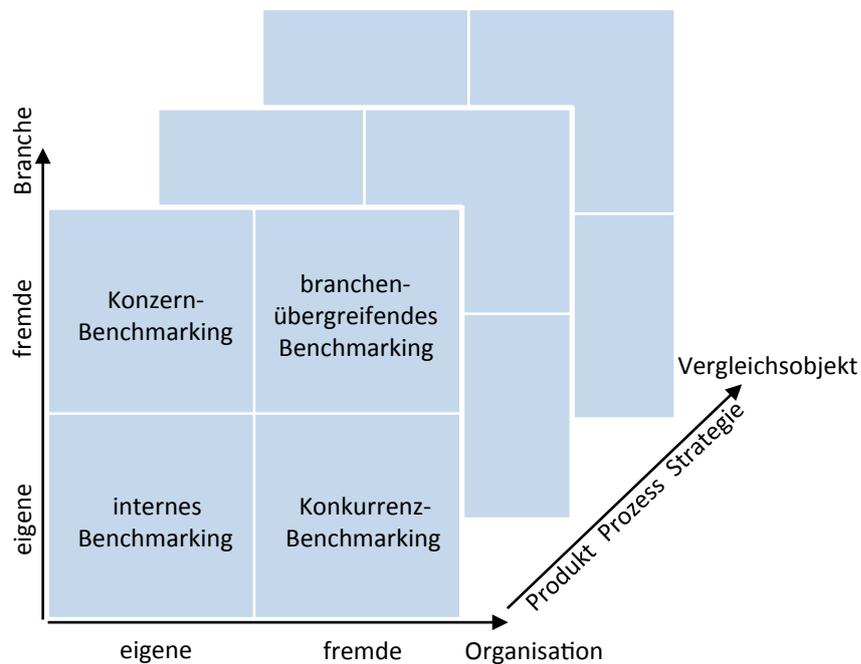


Abbildung 3.18.: Erweiterte Typen des Benchmarking (eigene Darstellung in Anlehnung an Fahrni et al., 2002, S. 13)

Strategisches Benchmarking Das strategische Benchmarking dient zur Ausrichtung der eigenen Unternehmung hinsichtlich Kernkompetenzen sowie der Kernprozessverbesserung. Dadurch sollen Veränderungen, welche externen und internen Ursprungs sein können, erkannt und bei Bedarf darauf eingegangen werden. (Siebert & Kempf, 2002, S. 54ff)

Eine Kombination der Einteilungen nach Fahrni et al. (2002) und Siebert & Kempf (2002) liefert eine dreidimensionale Klassifizierung des Benchmarkings mit den Achsen *Organisation*, *Branche* und *Vergleichsobjekt*, siehe Abbildung 3.18.

Vorgehensweise im Benchmarking

Um ein systematisches Vorgehen zu ermöglichen und das Benchmarking effizient zu betreiben, beschreiben Sabisch & Tintelnot (1997, S. 29ff) ein mehrstufiges Ablaufmodell zur Durchführung des Benchmarkings. Dieses wird nachfolgend erklärt und ist in Abbildung 3.19 ersichtlich:

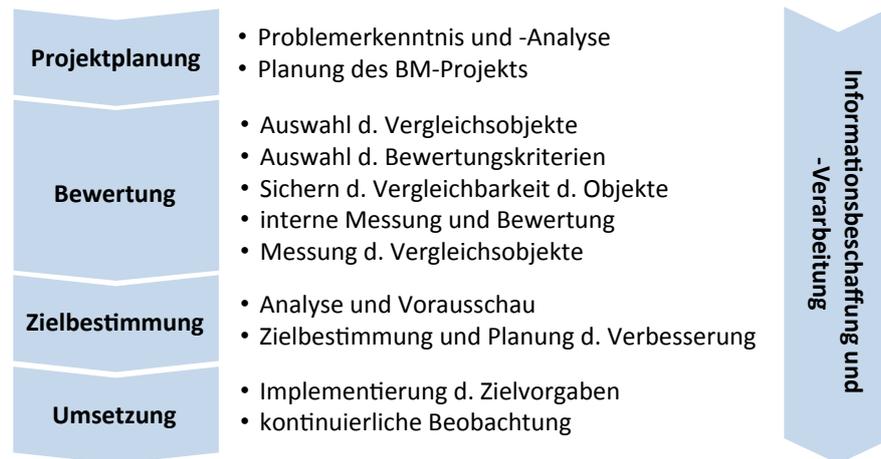


Abbildung 3.19.: Ablauf des Benchmarking-Prozesses (in Anlehnung an Sabisch & Tintelnot, 1997, S. 29)

1. Projektplanung: Im Zuge der Projektplanung finden die Problemanalyse und die Planung des Benchmarking-Projekts statt. Die Problemanalyse dient zur Definition von Ist- und Sollzustand. Daraus werden Ziele abgeleitet, welche im Zuge des Benchmarkings zu erreichen sind. Die Planung des Benchmarkings schafft die organisatorischen Rahmenbedingungen. Dazu zählen die Festlegung des Benchmarking-Objekts, Definition der Ziele, Bestellung des durchführenden Teams, Zeitplanung und das Finden von Benchmarking-Partnern. (Sabisch & Tintelnot, 1997, S. 32f)

2. Bewertung: In dieser Phase werden Messung und Bewertung vorbereitet, anschließend intern und bei den Benchmarking-Partnern durchgeführt (Sabisch & Tintelnot, 1997, S. 34f). Die Bewertung umfasst folgende Arbeitsschritte:

Auswahl der Vergleichsobjekte: Die Objekte, welche mit der eigenen Lösung zu vergleichen sind, werden bestimmt. Bei der Form des Konkurrenzbenchmarkings sind sowohl die führenden Konkurrenten als auch jene, welche in einer gewissen Teildisziplin Bestlösungen aufweisen zur Untersuchung heranzuziehen. Beim branchenübergreifenden Benchmarking ist das Augenmerk auf die einzelnen Funktionen zu legen. (Sabisch & Tintelnot, 1997, S. 35)

Auswahl der Bewertungskriterien: Die Problemanalyse liefert die Grundlage für die Auswahl der richtigen Bewertungskriterien. Besondere Beachtung muss jenen Merkmalen geschenkt werden, welche für die Lösung des Problems am wichtigsten scheinen. Die Anzahl der Bewertungskriterien sollte nicht zu niedrig, aber auch nicht zu hoch sein. Je mehr Kriterien beachtet werden, desto eher kann die Komplexität des realen Sachver-

halts abgebildet werden. Jedoch sinkt mit steigender Anzahl der Bewertungskriterien der Einfluss jedes einzelnen Kriteriums auf das Gesamtergebnis. (Sabisch & Tintelnot, 1997, S. 35)

Herstellung und Sicherung der Vergleichbarkeit der Objekte: Die Objekte müssen vergleichbar sein. Dazu sind Objekte mit gleichem oder zumindest ähnlichem Leistungsumfang (z.B. verschiedene Fahrzeuge mit einer ähnlichen Motorleistung) zu vergleichen sowie ein einheitlicher Vergleichszeitpunkt oder -raum zu wählen (überholte Daten sind auszuschließen). Sollte eine direkte Vergleichbarkeit nicht möglich sein, so muss eine Umrechnung, etwa mittels Preissteigerungskoeffizienten, durchgeführt werden. (Sabisch & Tintelnot, 1997, S. 35f)

Interne Messung und Bewertung: Die interne Analyse der Leistungen ist die Grundlage für den anschließenden Vergleich mit den erfolgreichen Lösungen der Benchmarking-Partner. Die Bewertung muss objektiv erfolgen, da sonst der Vergleich mit den Mitbewerbern verfälscht wird. (Sabisch & Tintelnot, 1997, S. 36)

Messung und Bewertung der Vergleichsobjekte: Die Messung und Bewertung der Vergleichsobjekte dient zum Ermitteln von erfolgreichen Lösungen der Benchmarking-Partner. Erfolgreiche Lösungen können sich auf einzelne Bewertungskriterien (z. B. bestimmte Parameter eines Produkts), Gesamtobjekte (als Zusammenfassung der Einzelbewertungen eines Objekts) oder einzelne Funktionen (Abläufe oder Prozesse) einer Unternehmung beziehen. Zur Visualisierung von Lösungen und Merkmalsausprägungen des Benchmarkings kann ein Spinnendiagramm hilfreich sein, welches sowohl qualitative als auch quantitative Merkmale beinhalten kann. (Sabisch & Tintelnot, 1997, S. 36ff)

3. Zielbestimmung der Verbesserung: Aufbauend auf den in den vorhergehenden Schritten gewonnenen Erkenntnissen des Benchmarkings erfolgt eine Festlegung der Verbesserungsziele innerhalb der eigenen Unternehmung, wozu eine Abschätzung der zukünftigen Branchenveränderungen ebenfalls erforderlich ist. Diese Analyse der Leistungsentwicklung ist nötig, da die erfolgreichen Lösungen einem zeitlichen Wandel unterliegen und keinesfalls statisch sind. Eine Vorausschau der Entwicklung kann durch verschiedene Methoden erfolgen, z.B. durch Zeitreihen und deren Extrapolation, Szenario-Modelle oder Expertenbefragungen. Ausgehend von diesen Einschätzungen sind die internen Ziele festzulegen. Diese Ziele sollen gleichzeitig anspruchsvoll aber realistisch sein. (Sabisch & Tintelnot, 1997, S. 39f)

4. Umsetzung der Ergebnisse: Die Umsetzung der Ergebnisse geschieht durch Implementierung der Zielvorgaben zur Verbesserung. Dies erfordert, dass alle Beteiligten motiviert an einem Strang ziehen und hinter dem Projekt stehen. Nach erfolgreicher Implementierung

Art der Quelle	Informationsquellen
unternehmensinterne Informationen	<ul style="list-style-type: none"> • Bilanzdaten, Daten aus Buchhaltung und Kostenrechnung, interne Betriebsstatistiken • F&E-Berichte und Projektdaten • Marktstudien, Messe- und Konferenzberichte • Qualitätskontrollen und -analysen, Prüfberichte • Informationen des betrieblichen Vorschlagswesens
öffentliche Informationen	<ul style="list-style-type: none"> • Statistiken und Veröffentlichungen • Informationen aus öffentlichen Einrichtungen • Fachveröffentlichungen technischer/wirtschaftlichen Art (Zeitschriften, Bücher, Veröffentlichungen wissenschaftlicher Institute, Diplomarbeiten und Dissertationen) • Firmenschriften, Werbematerialien, Produktinformationen und -kataloge • Messe- und Konferenzunterlagen • Normen (DIN-, ISO-, US-, andere Normen) • Patente (national, international) • Auszeichnungen von Unternehmungen und deren Produkten • Datenbankabfragen • Produktdokumentationen
Informationen externer Unternehmenspartner, die nicht ohne die Zustimmung oder Mithilfe Dritter genutzt werden können	<ul style="list-style-type: none"> • Informationen aus Persönlichen Kontakten • vertrauliche Kundeninformationen • Informationen von Zulieferern und Handels- und Kooperationspartnern • interne Informationen aus anderen Unternehmungen • Informationen aus vergangenen gemeinsamen Benchmarking-Projekten • Informationen von Beratungsfirmen und Fachexperten • Informationen aus Studien- und Untersuchungsberichten von Universitäten, Forschungsinstituten oder anderen Unternehmungen

Tabelle 3.2.: Informationsquellen des Benchmarkings (in Anlehnung an Sabisch & Tintelnot, 1997, S. 31)

wird ein kontinuierlicher Untersuchungsprozess gestartet. Dieser dient der regelmäßigen Aktualisierung der Benchmarks sowie zur Kontrolle der Zielerfüllung. (Sabisch & Tintelnot, 1997, S. 40f)

5. Informationsbeschaffung und -verarbeitung: Informationsbeschaffung und deren Verarbeitung sind zentrale Bestandteile aller bisher erwähnten Phasen des Benchmarkings, was auch in Abbildung 3.19 zum Ausdruck gebracht wird. Zur Informationsbeschaffung dienen sowohl primäre als auch sekundäre Quellen, welche intern und extern vorkommen können. Primärinformationen werden speziell für die vorliegende Benchmarking Studie erhoben. Dabei kann es sich beispielsweise um Befragungen von Kunden, Lieferanten oder Mitarbeitern handeln. Sekundärinformationen hingegen liegen bereits in irgendeiner Form vor und sind lediglich für die Verwendung aufzubereiten. In Tabelle 3.2 sind bedeutende Informationsquellen nach deren Art gegliedert aufgelistet. (Sabisch & Tintelnot, 1997, S. 30ff)

Damit die Benchmarking Aktivität nicht ausufert, ist ein zeitlicher Rahmen von sechs bis neun Monaten einzuhalten (Siebert & Kempf, 2002, S. 63).

Wird Benchmarking auf einer sehr groben Ebene betrieben, so kann es einen guten Überblick über vorhandene und gebräuchliche Lösungsprinzipien für ein gegebenes technisches Problem liefern (Haberfellner et al., 2012, S.375).

3.2.2.2. Patentrecherche

Eine Patentrecherche wird zu mehreren Zwecken durchgeführt. Zum einen dient sie der Abklärung, ob eine Erfindung neu ist und sich deren Patentierung lohnt. Sie kann aber auch einen guten Überblick über den Stand der Technik innerhalb eines bestimmten Fachgebiets liefern. So können durch Patentrecherchen im Zuge der Entwicklungstätigkeiten eventuell auch Anregungen für neue Lösungen gewonnen werden. Zum anderen soll die Recherche eine etwaige Ressourcenverschwendung verhindern, falls gewisse Lösungsprinzipien durch Patente geschützt sind. Diese Lösungen können von Anfang an ausgeschlossen werden, sofern eine Lizenzierung nicht gewünscht oder möglich ist. (Wagner & Thieler, 2007, S. 179ff)

Grundsätzlich lässt sich die Patentrecherche in folgende Phasen gliedern:

- **Offline-Phase 1:** Es erfolgt eine Festlegung der Rechercheaufgabe und -ziele. Weiters werden die Suchbefehle, die Suchstrategie und die zu durchforstenden Datenbanken bestimmt. Der Rechercheumfang sollte aufgrund von bestimmten Kriterien geplant und eingegrenzt werden.

Diese Kriterien sind entweder sachlicher, zeitlicher oder territorialer Natur. Es werden also die zu durchsuchenden Patentklassen, die retrospektive zeitliche Ausdehnung sowie die Länder der Anmeldungen eingeschränkt. (Wagner & Thieler, 2007, S. 183ff)

- **Online-Phase:** In diesem Abschnitt erfolgt die aktive Suche in den ausgewählten Datenbanken. Die Schlagworte werden eingegeben und die Treffer gewonnen. Die Recherche kann auf einschlägigen Webseiten erfolgen oder aber auch in offline-Datenbanken. (Wagner & Thieler, 2007, S. 179)
- **Offline-Phase 2:** Aufgabe der zweiten offline-Phase ist die Sichtung und Auswertung sowie eine abschließende Präsentation der Ergebnisse. Bei der Analyse sollte vom Groben zum Detail vorgegangen werden. Im ersten Durchgang werden Anmelder, Erfinder sowie Zusammenfassungen der Patente geprüft. Die in diesem ersten Schritt als relevant eingestuft Patentschriften werden in einem zweiten Durchgang genau betrachtet. (Wagner & Thieler, 2007, S. 238f)

Eine statistische Analyse der Patentdaten kann Aufschlüsse über Technologieentwicklungen liefern. Um die Aktivitäten der eigenen Unternehmung strategisch auszurichten ist es wichtig, die technologischen Veränderungen zumindest in den Technologiefeldern, in denen man selbst tätig ist, zu erkennen. Aus der Patentstatistik lassen sich auch oft neue Entwicklungsfelder ableiten. So kann beispielsweise die Anmeldung vieler Patente zum Begriff „Li-Ionen-Akku“ eines Automobilherstellers bedeuten, dass dieser an der Entwicklung eines Elektromobils arbeitet. Des Weiteren kann ein Vergleich der Patentanmeldungen zu einem gewissen Themengebiet verteilt über die Zeit hilfreich bei der Einordnung einer Technologie in ein Technologielebenszyklus-Modell sein. Ein Rückschluss von der Anzahl der angemeldeten Patente auf den wirtschaftlichen Erfolg einer Unternehmung ist nicht möglich. Allerdings lässt eine langfristige Veränderung der Anzahl der Patentanmeldungen zu einem bestimmten Sachgebiet sehr wohl darauf zurückschließen, dass die Unternehmung eventuell dabei ist, einen strategischen Wandel zu vollziehen. (Wagner & Thieler, 2007, S. 238ff)

3.2.3. Einfache Bewertung und Lösungsauswahl

In frühen Entwicklungsphasen kommen einfache Bewertungsmethoden zum Einsatz, da sich die Eigenschaften der Lösungsalternativen nur schwer oder meist gar nicht quantifizieren lassen. Diese ermöglichen die Auswahl einer prinzipiellen Lösung bzw. eines Lösungsfeldes, welches in der Hauptstudie (Abschnitt 3.3) genauer untersucht wird. Aus der Anforderungsliste lassen sich unbedingt zu erfüllende Kriterien ableiten. Wird ein solches Ausschlusskriterium nicht erfüllt, so

muss die Idee verworfen werden. (Ponn & Lindemann, 2011, S. 127)

Nachstehend werden folgende Methoden zur groben Bewertung der Lösungsalternativen vorgestellt:

- Technologieportfolio
- einfache Punktebewertung
- paarweiser Vergleich
- Argumentenbilanz

3.2.3.1. Technologieportfolio

Innerhalb einer Unternehmung kommen meist verschiedene Technologien zur Anwendung. Die Technologien können nach zwei Dimensionen, nämlich ihrer Attraktivität für die Umwelt und der unternehmungsinternen Ressourcenstärke eingeteilt werden. Mit den jeweiligen Ausprägungen „gering“, „mittel“ und „hoch“ ergibt sich somit eine Matrix mit neun Feldern, siehe Abbildung 3.20. Für die Felder lassen sich bestimmte Normstrategien ableiten. Diese geben Handlungsempfehlungen für die betreffenden Technologien. (Bea & Haas, 2005, S. 159; Voigt, 2008, S. 162)

Pfeiffer et al. (1985, S. 85ff) liefern eine Beschreibung der beiden Dimensionen:

Technologieattraktivität Die Dimension Technologieattraktivität setzt sich aus der *Technologiepotentialrelevanz* und der *Technologiebedarfsrelevanz* zusammen. Das Potential der Technologie definiert sich durch dessen Weiterentwickelbarkeit und die dafür benötigte Zeit. Der Technologiebedarf enthält den Anwendungsumfang der verschiedenen Anwendungsarten sowie den Diffusionsverlauf der Technologie.

Ressourcenstärke *Finanzen* und *Know-how* bilden die Dimension Ressourcenstärke. Die Finanzstärke ist beeinflusst durch die Höhe der eingesetzten Mittel und deren Kontinuität. Das Know-how wird nach dem aktuellen Stand sowie der Gefahr des Abflusses in Form von Kündigungen bewertet.

Aufgrund der Bewertung nach den beiden Dimensionen lassen sich die Technologien innerhalb der neun Felder einordnen. Die für die Felder vorgeschlagenen Normstrategien sind Desinvestition, Selektion und Investition (Pfeiffer et al., 1985, S. 99ff):

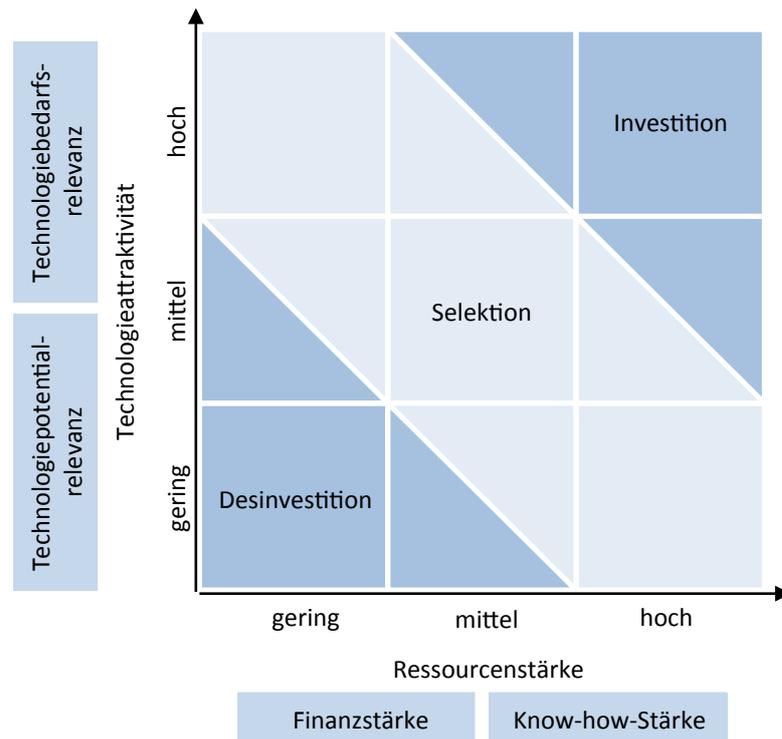


Abbildung 3.20.: Technologieportfolio nach Pfeiffer (in Anlehnung an Schuh & Klappert, 2011, S. 334)

Desinvestition Es lohnt sich nicht, in Technologien mit niedriger bis mittlerer Attraktivität und Ressourcenstärke zu investieren, da diese Investitionen keine Verbesserung der Leistungsstärke mit sich bringen. Viel mehr sollten F&E-Mittel in diesem Bereich freigesetzt werden, sodass sie für andere Technologien zur Verfügung stehen.

Selektion Hier muss individuell für jede Technologie entschieden werden, ob eine Investition sinnvoll erscheint. Ist die Technologieattraktivität hoch, aber die Ressourcenstärke schwach, so stellt sich die Frage, ob sich die hohen Investitionen lohnen oder nicht ein Zukauf der Technologie besser ist. Bei wenig attraktiven Technologien und hoher Ressourcenstärke ist es möglich, den technologischen Vorsprung durch geringe Investitionen zu erhalten. Alternativ kann auch desinvestiert und ein niedriger Entwicklungsstand in Kauf genommen werden.

Investition In Technologien mit mittlerer bis hoher Attraktivität und Ressourcenstärke soll investiert werden. Diese Technologien sind meist neu und bedürfen hohem Ressourceneinsatz. Sie sind nach Möglichkeit auszubauen und der Leistungsstand auf hohem Niveau zu halten oder zu verbessern.

3.2.3.2. Einfache Punktebewertung

Eine sehr einfache Bewertungsmethode stellt die ungewichtete Punktebewertung dar. Es werden Bewertungskriterien definiert, anhand denen die einzelnen Varianten beispielsweise mit null bis zehn Punkten bewertet werden. Eine Gewichtung der Kriterien findet jedoch nicht statt. Die Variante mit den meisten Punkten gilt als die beste Lösung und wird weiter bearbeitet. (Ehrlenspiel & Meerkamm, 2013, S. 536)

3.2.3.3. Paarweiser Vergleich

Der paarweise Vergleich ist eine Methode, mehrere Lösungsvarianten miteinander bezüglich eines Kriteriums zu vergleichen und so eine Reihung der Alternativen zu erhalten (Ponn & Lindemann, 2011, S. 447).

Betriebssicherheit der Batterie	Typ 1	Typ 2	Typ 3	Σ Punkte	Rang
Typ 1	-	2	2	4	1
Typ 2	0	-	0	0	3
Typ 3	0	2	-	2	2

Abbildung 3.21.: Paarweiser Vergleich der Varianten (in Anlehnung an Ehrlenspiel & Meerkamm, 2013, S. 536)

Die Varianten werden bezüglich des Kriteriums mit Punkten 0 (schlechter), 1 (gleich gut) und 2 (besser) bewertet. In dem Beispiel in Abbildung 3.21 ist der Batterietyp 1 besser als Typ 2 und Typ 3. Typ 2 ist schlechter als Typ 1 und Typ 3, während Typ 3 schlechter als Typ 1 und besser als Typ 2 ist. Somit ergibt sich die ersichtliche Reihung. Der paarweise Vergleich kann sowohl von einer Einzelperson als auch im Team durchgeführt werden. Durch die Systematik werden Entscheidungen getroffen, die von allen Teammitgliedern nachvollziehbar sind, was die Akzeptanz erhöht. Gewichtete, quantitative Wertungen sind allerdings im Zuge des paarweisen Vergleichs nicht möglich. (Ehrlenspiel & Meerkamm, 2013, S. 535f; Oprey, 2005, S. 41f)

3.2.3.4. Argumentenbilanz

Der Vergleich von Vor- und Nachteilen einer Lösungsvariante gegenüber einer anderen wird als Argumentenbilanz bezeichnet. Die Variante kann sowohl mit einer realen derzeitigen Lösung als

auch mit einer fiktiven idealen Lösung verglichen werden. Es ist hilfreich, die Vergleichslösung zuerst zu definieren und eine Kriterienliste zu erstellen. Das Vorgehen soll an einem Beispiel verdeutlicht werden. (Ehrlenspiel & Meerkamm, 2013, S. 534)

Zum Kauf stehen drei verschiedene Batterietypen, wobei die beste Alternative gefunden werden soll. Die Anforderungen sind in Abbildung 3.22 zusammengefasst und bilden gleichzeitig die Bewertungskriterien. Im Anschluss werden die Eigenschaften der in Frage kommenden Batterien

Merkmäl	Ausprägung	Wichtigkeit
Funktion	mind. 8,0 V unter Last	Forderung
Kosten / Preis	max. € 3,- / Stk.	Forderung
Betriebssicherheit	kein Auslaufen und Halten der Spannung über ein Jahr	Wunsch

Abbildung 3.22.: Anforderungen an die Batterie (in Anlehnung an Ehrlenspiel & Meerkamm, 2013, S. 534)

ermittelt, wobei die Forderungen von allen Alternativen erfüllt werden müssen, siehe Abbildung 3.23. In Abbildung 3.24 werden nun die Typen 2 und 3 mit der besten Batterie Typ 1, welche

Batterietyp	Merkmale		
	Funktion	Kosten	Betriebssicherheit
Typ 1	9,1 V	€ 2,50	gut
Typ 2	8,5 V	€ 2,20	schlecht
Typ 3	8,9 V	€ 1,60	mittel

Abbildung 3.23.: Eigenschaften der Batterien (in Anlehnung an Ehrlenspiel & Meerkamm, 2013, S. 534)

allerdings die teuerste ist, bezüglich der Merkmale aus Abbildung 3.23 verglichen. (Ehrlenspiel & Meerkamm, 2013, S. 534f)

Eine Argumentenbilanz eignet sich gut zum Beurteilen, ob einzelne Ideen weiterverfolgt werden sollen oder nicht. Sie lässt sich mit wenig Aufwand durchführen, hat jedoch aufgrund ihrer Einfachheit auch einige Schwächen. So eignet sie sich weniger gut zum Vergleichen von vielen Alternativen, da dies schnell unübersichtlich wird. Des Weiteren werden die Merkmale nicht nach ihrer Relevanz gegliedert und fällt die Entscheidung oft aufgrund einer gefühlsmäßigen Wertung. (Ammann, 2011, S. 145f)

Merkmal	Gegenüber Batterie Typ 1 ...			
	... hat Typ 2		... hat Typ 3	
	Vorteil	Nachteil	Vorteil	Nachteil
Funktion	-	nicht sehr gut	fast gleich gut	-
Kosten	günstiger	-	sehr günstig	-
Betriebsicherheit	-	kaum akzeptabel	-	noch akzeptabel

Abbildung 3.24.: Vergleich der drei Batterien (in Anlehnung an Ehrlenspiel & Meerkamm, 2013, S. 534)

3.2.4. Tor Nr. 1

Kriterium	Ziel
Aufgabenstellung und Problemdefinition	klare Definition, ausreichende Abgrenzung, Verständnis des Umfeldzusammenhangs, Klarheit im Projektteam und gegenüber dem Auftraggeber
Gestaltungsbereich	ausreichende Definition, sinnvolle Abgrenzung
Anforderungen und Ziele	klare Zieldefinition
Lösungsprinzipien	Bestehen einer klaren Übersicht
Entscheidung	möglich für ein Prinzip, Nachvollziehbarkeit der Entscheidung

Tabelle 3.3.: Mögliche Kriterien zur Evaluierung der Vorstudie (in Anlehnung an Haberfellner et al., 2012, S. 68f)

Innerhalb der Vorstudie müssen gewisse Ziele erreicht werden. In Tabelle 3.3 sind mögliche Kriterien zur Evaluierung der Vorstudie zusammengefasst. Werden die Kriterien erfüllt, so darf zur Hauptstudie übergegangen werden. Andernfalls muss nachgebessert oder das Projekt abgebrochen werden. (Cooper, 2002, S. 145ff)

3.3. Hauptstudie - Gesamtkonzept

Innerhalb der Hauptstudie erfolgt wie in Abbildung 3.25 dargestellt die weitere Konkretisierung der in der Vorstudie ausgewählten prinzipiellen Lösung oder Lösungen. Dabei sind die innerhalb des Abschnitts 3.2.1 der Vorstudie dargestellten Rahmenbedingungen zu beachten und der definierte Anforderungskatalog als Entwicklungsziel zu verstehen. Es werden Teillösungen zu verschiedenen Gesamtlösungen kombiniert und detailliert bewertet. Somit erfolgt die Auswahl

eines Gesamtkonzepts. Das Gesamtkonzept kann in Form von Plänen, Zeichnungen und verbalen Beschreibungen oder Tabellen vorliegen. Dieses wird nach Passieren von Tor 2 in der Detailstudie weiter konkretisiert. (Haberfellner et al., 2012, S. 70)

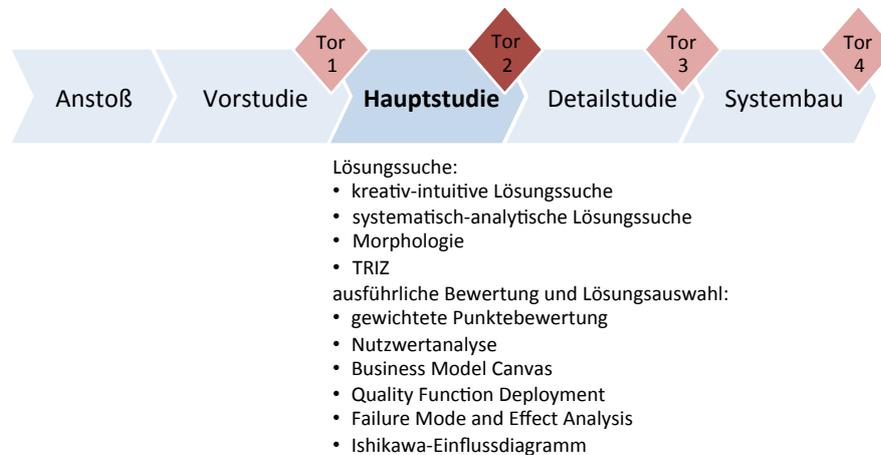


Abbildung 3.25.: Hauptstudie im Ablauf des Phasenmodells (eigene Darstellung)

3.3.1. Lösungssuche

Die Kreativität des Entwicklers spielt für die Lösungssuche eine entscheidende Rolle. Ehrlenspiel & Meerkamm (2013, S. 431) definieren Kreativität als

„Die Fähigkeit des Menschen, Ideen, Konzepte, Kombinationen und Produkte hervorzubringen, die in wesentlichen Merkmalen neu sind und dem Bearbeiter vorher unbekannt waren.“

Auch die Übertragung von bekannten Strukturen auf neue Problemsituationen wird als kreativer Prozess gesehen. Kreativität ist keinesfalls eine angeborene Eigenschaft, sie kann bis zu einem gewissen Grad erlernt werden und ist auch stark abhängig von der Motivation, Anstrengung und Ausdauer des Entwicklers. (Knieß, 2006, S. 1)

Es stellt sich also die Frage, wie die Kreativität angeregt und gefördert werden kann. Es existieren diverse Methoden, die eine Hilfestellung zur kreativen Lösungssuche bieten und die benötigten Rahmenbedingungen dazu schaffen. Dabei handelt es sich um Kreativitätstechniken, welche sich grob in unsystematische und systematische Methoden gliedern lassen. Nachfolgend werden ausgewählte Kreativitätstechniken beider Arten besprochen. (Ehrlenspiel & Meerkamm, 2013, S. 431ff)

3.3.1.1. Kreativ-intuitive Lösungssuche

Die kreativ-intuitive Lösungssuche bedient sich Methoden, welche die Kreativität der Personen fördern und somit helfen, psychologische Barrieren zu überwinden und aus dem schemenhaften Denken auszubrechen. Viele der Techniken werden innerhalb einer Gruppe angewandt, da durch die Interaktion der Beteiligten eine positive Eigendynamik zustande kommt. Die meisten nachfolgend vorgestellten kreativ-intuitiven Methoden bauen auf zwei Grundsätzen, nämlich der Zurückhaltung negativer Kritik und der Entfaltung der Fantasie, auf. (Krause, 2013, S. 25f; Schlicksupp, 1992, S. 104)

Innerhalb der Hauptstudie werden die nachfolgend aufgelisteten kreativ-intuitiven Methoden zur Lösungssuche behandelt:

- Brainstorming-Methoden
 - Konventionelles Brainstorming
 - Anonymes Brainstorming
 - Solo-Brainstorming
 - Diskussion-66
 - Sukzessive Integration von Lösungselementen

- Brainwriting-Methoden
 - Methode-635
 - Mind-Mapping
 - Galeriemethode

- Analogiemethoden
 - Synektik
 - Bionik

Konventionelles Brainstorming

Das Brainstorming ist eine der wichtigsten Kreativitätsmethoden, die innerhalb von Unternehmen und Organisationseinheiten zur Anwendung kommt. Es soll verhindern, dass Ideen, welche

während Besprechungen und Workshops eingebracht werden, im Keim erstickt werden und somit trotz möglichem Potential nicht weiter verfolgt werden. Dies führt unter anderem dazu, dass einfallsreiche Personen ihre Gedanken nicht mehr äußern und in den Hintergrund treten. Somit wird die Sitzung meist nur mehr von einer dominanten Person beherrscht, was den Nutzen deutlich schmälert. Die Methode des Brainstormings soll dies verhindern. Dazu soll das Wissen mehrerer Personen genutzt und Blockaden, welche für ein sehr einseitiges Denken verantwortlich sind, überwunden werden. Weiters sollen unnötige Diskussionen verhindert sowie ein respektvoller Umgang mit Ideen der anderen gepflogen werden und somit keine Suppression von Ideen stattfinden. (Knieß, 2006, S. 57)

Für jede Brainstorming-Sitzung gelten die folgenden vier Grundregeln:

- **Keine Kritik:** Während eines Brainstormings findet eine Ideengenerierung, allerdings keine Wertung oder gar kritische Betrachtung dieser statt. Die Bewertung wird in einer nachfolgenden, strikt getrennten Phase durchgeführt. Dies soll helfen, einen kontinuierlichen Ideenfluss aufrecht zu erhalten. Die Zurückhaltung von vor allem unsachlicher Kritik verhindert eine Frustration der Teilnehmer und andauernde Diskussionen über die Sinnhaftigkeit der Ideen. Auch nonverbale Kritik wie z.B. Stirnrunzeln oder Kopfschütteln gilt es zu vermeiden. (Schlicksupp, 1992, S. 104f)
- **Aufgreifen von Ideen anderer Teilnehmer:** Eine eingebrachte Idee ist nicht das Eigentum der jeweiligen Person, sondern soll vielmehr von den beteiligten Kollegen modifiziert und weiterentwickelt werden. Dabei sollen die positiven, zur Problemlösung besonders gut geeigneten Aspekte des Einfalls hervorgehoben und mit eigenen guten Gedanken verknüpft werden. Dies führt zu Synergieeffekten und einer Eigendynamik, die das Team beflügelt und auch den Zusammenhalt stärkt. (Schlicksupp, 1992, S. 105f)
- **Der Fantasie freien Lauf lassen:** Alles ist erlaubt, jede Anregung willkommen. Egal ob sie von einem Experten oder einem Laien stammen, alle aufkommenden Ideen werden gleich behandelt. Laien verfügen noch nicht über die „Betriebsblindheit“, wodurch sie durchaus interessante Impulse in die Diskussion einbringen können. Hochqualitative Vorschläge sind nicht notwendig sondern eher das Gegenteil ist der Fall, da diese Ideen meist bekannte und erprobte Lösungen enthalten. Der Fokus liegt aber auf neuen, noch nicht da gewesenen Ideen. Sollte sich die Gruppe jedoch gedanklich zu weit vom eigentlichen Thema entfernen, so ist dem entgegenzuwirken. (Schlicksupp, 1992, S. 106f)
- **Viele Ideen in kurzer Zeit:** Im Fokus steht nicht die Qualität, sondern die Quantität der Ideen. Es sollen innerhalb der zur Verfügung stehenden Zeit möglichst viele Ideen generiert werden, um sich in weiterer Folge aus einem großen Ideenpool bedienen zu können. Dadurch steigt

die Wahrscheinlichkeit, dass unter den Ideen eine oder sogar mehrere gute dabei ist bzw. sind. (Schlicksupp, 1992, S. 107)

Die Vorbereitung einer Brainstorming-Session umfasst eine klare Definition des Problems sowie die rechtzeitige Information der beteiligten Personen. Die Verfügbarkeit eines Raumes sowie der benötigten Materialien muss auch gegeben sein. Ideal ist eine Gruppengröße von fünf bis sieben Teilnehmern, wobei es sinnvoll ist, einen Moderator und einen Protokollant einzusetzen. Der Moderator stellt zu Beginn das Problem vor und schreitet ein, falls sich die Gruppe zu sehr von der Behandlung des eigentlichen Problems entfernt. Weiters hat er für eine angemessene Gesprächskultur zu sorgen und kann anregende Impulse in die Diskussion einbringen. Dies erfordert dessen Auseinandersetzung mit dem Problem vor Beginn des Brainstormings. Der Protokollant hält die Ideen schriftlich und für alle Beteiligten sichtbar auf einem Flipchart fest, darf jedoch keinesfalls eine Wertung der Ideen vornehmen. Moderation und Protokollierung können auch von ein und derselben Person übernommen werden. Nach Beendigung der rund 30 minütigen Sitzung werden die Ideen von einer Person oder einem Team geclustert und bewertet. Es wird zwischen verwendbaren und nicht verwendbaren Ideen sowie jenen, die weiterentwickelt werden können, unterschieden. Da das Gehirn oft unterbewusst am Lösen des Problems weiterarbeitet, ist es möglich, dass den Teilnehmern des Brainstormings noch einige Tage danach wertvolle Ideen einfallen, welche ebenfalls aufgenommen und verwertet werden sollen. Tabelle 3.4 listet mögliche Vor- und Nachteile des Brainstormings auf. (Knieß, 2006, S. 58ff; Schlicksupp, 1992, S. 107ff)

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • geringe Kosten 	<ul style="list-style-type: none"> • Bindung der Teilnehmer an deren Erfahrung sowie Gesetzmäßigkeiten kann nicht überwunden werden
<ul style="list-style-type: none"> • sinnvolles Kommunikationstraining 	<ul style="list-style-type: none"> • eventueller Zwang der Teilnehmer zur Nennung ausgefallener Lösungen
<ul style="list-style-type: none"> • Steigerung des Selbstbewusstseins der Teilnehmer 	<ul style="list-style-type: none"> • Ausufernde Fantasie
<ul style="list-style-type: none"> • Verbesserung des Arbeitsklimas • Nutzung des Wissens mehrerer Personen 	<ul style="list-style-type: none"> • kaum außergewöhnliche Lösungsansätze • Spannungen durch einzelne dominante Teilnehmer
<ul style="list-style-type: none"> • Verminderung von Denkblockaden 	<ul style="list-style-type: none"> • aufwändige Ideenselektion und -weiterverarbeitung
<ul style="list-style-type: none"> • einfach, schnell und kurzfristig durchführbar 	

Tabelle 3.4.: Vor- und Nachteile des Brainstormings (in Anlehnung an Knieß, 2006, S. 60f)

Anonymes Brainstorming

Die Gruppenteilnehmer erarbeiten bereits vor dem Start der eigentlichen Brainstorming-Session Lösungen und leiten sie dem Moderator weiter. Innerhalb der Gruppe werden diese Ansätze vom Moderator einzeln präsentiert, weitergedacht und um die Gedanken der anderen Teilnehmer erweitert. Durch diese Form des Brainstormings werden die Gruppenideen durch alltägliche, eigene Ideen erweitert. Anonymes Brainstorming eignet sich gut für große Gruppen und solche, bei denen mit Konflikten zu rechnen ist. Ein Nachteil ist die Fokussierung der Teilnehmer auf ihre eigenen Ideen. (Knieß, 2006, S. 63f)

Solo-Brainstorming

Beim Solo-Brainstorming, welches in Einzelarbeit durchgeführt wird, findet keine Anregung der Fantasie durch die anderen Gruppenmitglieder statt. Dies soll durch bestimmte Situationen, Bilder, Aktionen oder Reizwörter kompensiert werden. Durch die Einzelarbeit entfallen die Nachteile der Gruppenarbeit in Tabelle 3.4. Weiters kann die Methode unabhängig von Ort und Zeit zur Anwendung kommen. Nachteilig ist das Entfallen der Anregungen aus der Gruppe sowie der geringere zur Verfügung stehende Wissenspool einer Einzelperson. (Knieß, 2006, S. 64)

Diskussion-66

Die Methode dient dazu, eine größere Anzahl von Personen in den Diskussionsprozess miteinzubeziehen als beim konventionellen Brainstorming und wurde ursprünglich zur Diskussionsanregung nach Vorträgen eingesetzt. Die Teilnehmer werden in Gruppen zu je sechs Personen aufgeteilt und haben sechs Minuten Zeit, sich einem Thema zu widmen und Lösungen dafür zu finden. Im Anschluss tragen die jeweiligen Gruppensprecher die erarbeiteten Lösungen vor, gefolgt von einer Diskussion dieser Ansätze. Somit findet bei der Diskussion-66 ein ständiger Wechsel zwischen Gruppenarbeit und Diskussion statt. Dieses Vorgehen kann beliebig oft für verschiedene Problemstellungen wiederholt werden und erlaubt eine sehr hohe Gesamtteilnehmerzahl. (Knieß, 2006, S. 65)

Sukzessive Integration von Lösungselementen

Die Sukzessive Integration von Lösungselementen (SIL) von Schlicksupp (1992) soll das Potential der Synergien, die innerhalb von Gruppen auftreten, optimal ausschöpfen. Es finden abwechselnd

Einzel- und Gruppenarbeiten statt. Dabei werden die besonders nützlichen Aspekte der Einzellösungen der Teilnehmer in eine Gesamtlösung eingearbeitet. Die somit erhaltene Gesamtlösung vereint also die besten Bestandteile der Einzellösungen und kombiniert diese zu einer herausragenden optimalen Lösung. (Schlicksupp, 1992, S. 120ff)

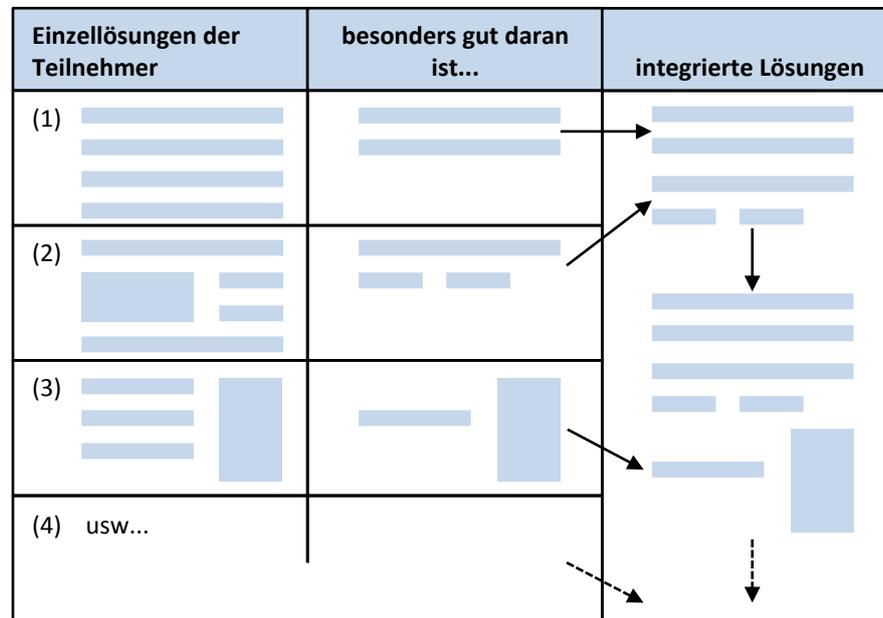


Abbildung 3.26.: Vorgehensschema der SIL-Methode (in Anlehnung an Schlicksupp, 1992, S. 122)

Zur Durchführung der SIL-Methode wird das zu bearbeitende Problem einer Gruppe von sechs bis acht Personen präsentiert, woraufhin jeder Teilnehmer in Einzelarbeit eine Lösung erarbeitet. Zur Lösungserarbeitung stehen rund 15 Minuten zur Verfügung. Nach Ablauf der Zeit präsentiert der erste Teilnehmer seine ausgearbeitete Lösung, welche in der Gruppe diskutiert und dabei die besonders tauglichen Elemente hervorgehoben werden. Im Anschluss erläutert die nächste Person ihr Lösungskonzept, wobei wieder die besonders guten Aspekte von der Gruppe unterstrichen werden. Nun werden die Vorteile der ersten und zweiten Lösung zu einer ersten integrierten Gesamtlösung kombiniert. Es erfolgt die schrittweise Erweiterung der Gesamtlösung um die Vorzüge der weiteren Einzellösungen, bis alle in die Gesamtlösung eingearbeitet sind. Dieses Vorgehenskonzept ist in Abbildung 3.26 dargestellt. Das Ergebnis dieser Methode ist eine integrierte Gesamtlösung, in der sich alle Teilnehmer mit ihren besonders guten Lösungsaspekten wiederfinden. (Schlicksupp, 1992, S. 120f)

Speziell für komplexe Probleme eignet sich die SIL-Methode durch die systematische Kombination der kreativen Lösungen besonders gut. Die generierte Lösung ist deutlich reifer und detaillierter als bei einer klassischen Brainstorming-Session und die Lösungsakzeptanz in der Gruppe groß, da sich jede Einzellösung in der Gesamtlösung wiederfindet. Nachteilig ist die geringe Anzahl der

entwickelten Lösungen. Auch stellt die SIL-Methode hohe Anforderungen an den Moderator und ist mit einer Dauer von zwei bis drei Stunden recht zeitintensiv. (Knieß, 2006, S. 69)

Brainwriting-Methoden

Brainwriting ist dem Brainstorming sehr ähnlich. Der Unterschied besteht darin, dass die Teilnehmer ihre Ideen nicht in der Runde diskutieren, sondern aufschreiben. Ein Sprechen der beteiligten Personen während dem Brainwriting-Durchgang soll so gut wie möglich vermieden werden. Ein Vorzug des Brainwritings ist die Vermeidung der Nachteile von Gruppendiskussionen, wie sie während eines Brainstormings entstehen können und in Tabelle 3.4 erläutert sind. Tabelle 3.5 listet die generellen Vor- und Nachteile der Brainwriting-Methoden auf. Nachfolgend werden verschiedene Brainwriting Methoden erklärt. (Disselkamp, 2012, S. 106)

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • Generierung einer großen Lösungsanzahl in geringer Zeit • durch parallel arbeitende Gruppen weitere Steigerung der Lösungsanzahl • geringes Konfliktpotential durch schriftliche Bearbeitung • kein Beteiligungszwang für die Teilnehmer • Unterbindung der Gefahr, dass ein Teilnehmer zu dominant wird und die anderen unterdrückt • keine besonderen Kenntnisse vom Moderator verlangt • kein gesondertes Protokoll nötig, da die Ideen auf den Formularen dokumentiert sind • besonders gut geeignet für visuell veranlagte Personen 	<ul style="list-style-type: none"> • eventuell für den Nachfolgenden nicht verständliche Lösungsbeschreibung und keine Möglichkeit der Rückfrage • eingeschränkte Kommunikation • keine Möglichkeit zur Äußerung von Kritik • Teilnehmer kennen nur die Lösungen, welche auf dem ihnen vorliegenden Blatt stehen • eventuelle Stresssituation für die Teilnehmer durch die zeitliche Beschränkung, die zu Denkblockaden führen kann • Mehrfachnennungen nicht ausgeschlossen • mögliche Hemmung zur Niederschrift von besonders außergewöhnlichen Lösungen, da die Teilnehmer an ihrer Handschrift erkennbar sind

Tabelle 3.5.: Vor- und Nachteile des Brainwritings (in Anlehnung an Knieß, 2006, S. 72ff)

Methode-635

Eine der bekanntesten Brainwriting-Methoden ist die Methode-635. Sie eignet sich zur Bearbeitung von beinahe jeder Art von Suchproblemen, aber auch für Analyse- und Konstellationsprobleme. Ihre Bezeichnung verdankt die Methode dem Umstand, dass sechs Teilnehmer drei Lösungen in fünf Minuten generieren. (Schlicksupp, 1992, S. 116)

In Abbildung 3.27 ist ein ausgefülltes 635-Formular dargestellt. Die Durchführung der 635-Methode beginnt mit einer klaren und detaillierten Definition des Problems. Daraufhin schreiben die sechs Teilnehmer je drei Lösungsvorschläge für das gegebene Problem auf einem vorgefertigten Formular nieder, welches jeder vor sich liegen hat. Dazu stehen ihnen fünf Minuten zur Verfügung. Nach Verstreichen der fünf Minuten werden die sechs Formulare im oder gegen den Uhrzeigersinn an die jeweiligen Sitznachbarn weitergereicht. Die Ideen des Nachbarn werden aufgegriffen, weiterentwickelt und die Gedanken in der nächsten Zeile niedergeschrieben. Es können aber auch neue Ideen hinzugefügt werden. Dieser Vorgang wird so lange wiederholt, bis jeder Teilnehmer jedes Formular einmal bearbeitet hat. Nun erfolgt die Analyse der Lösungsvorschläge. Dazu werden die Formulare wieder innerhalb der Gruppe herumgereicht und jeder Teilnehmer markiert die drei seiner Meinung nach besten Lösungen. Die Lösungen werden nach ihrer Markierungshäufigkeit gereiht und weiterverarbeitet. Bei sechs Gruppenteilnehmern erhält man auf diese Art bis zu 108 (6 x 3 x 6) Lösungen innerhalb einer halben Stunde. (Knieß, 2006, S. 70f)

Aufgabenstellung: Gesucht werden Ideen zur Gestaltung der Ausstattung von Wohnungen für alte und gebrechliche Menschen.		
keine Türschweller (Rollstuhltauglichkeit)	Raumklimatisierung	Notrufeinrichtung zur Polizei oder Rettung
rutschfeste Boden- beläge	lärmgeschützte Fenster	Telefondosen in allen Räumen
weiche, dämpfende Böden (Stürze)	Fernbedienung für Licht (Ein/Aus)	Notrufanlage zur Nachbarwohnung
gepolsterte Wände und Türkanten	Dimmer für Lampen (Nachtbeleuchtung)	Notrufklingel bei Badewanne
Funksprechanlage zur Haustür	große Balkons mit Pflanzenanlage	-
„Fahrstuhl- Briefkasten“ am Fenster	automatische Schiebetüren	Kochherd mit auto- matischer Zeitab- schaltung

Abbildung 3.27.: Vollständig ausgefülltes 635-Formular (in Anlehnung an Knieß, 2006, S. 73)

Die Anzahl der beteiligten Personen muss nicht unbedingt auf sechs festgelegt sein, sondern kann durchaus zwischen vier und acht betragen. Ebenso gilt die Bearbeitungszeit von je fünf Minuten eher als Richtwert. Um genügend Zeit für die klare Formulierung der Ansätze zu gewähren, können die Zeitintervalle auch auf acht Minuten ausgedehnt werden. (Knieß, 2006, S. 71)

Mind-Mapping

Mind-Mapping ist eine universelle Methode zur Dokumentation von Ideen und Lösungsalternativen, welche auch gut bei Alltagsproblemen eingesetzt werden kann. Die Methode eignet sich gut für Computerunterstützung und bietet den Vorteil, dass nach jedem Meeting ein Ergebnis, in Form einer Mind-Map, sichtbar ist und weiter bearbeitet werden kann. Mind-Mapping stellt eine Kombination aus Brainstorming verbunden mit einer grafischen Darstellung der Ergebnisse dar. Die visuelle Bearbeitung des Problems spricht beide Gehirnhälften an, wodurch die Ideenfindung begünstigt wird. (Knieß, 2006, S. 76; Geschka & Schwarz-Geschka, 2011)

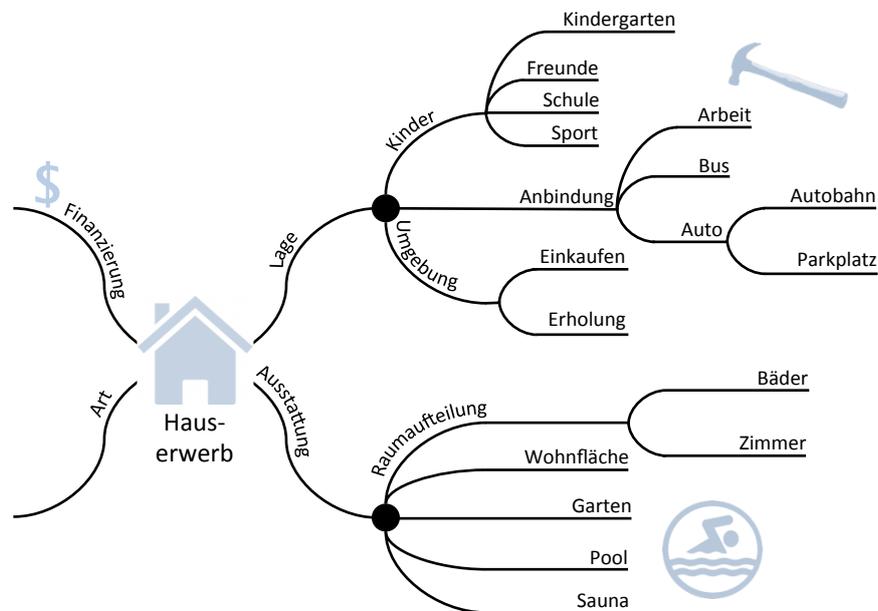


Abbildung 3.28.: Ausschnitt aus einer Mind-Map zum Erwerb eines Hauses (in Anlehnung an Knieß, 2006, S. 79)

Zur Durchführung eines Mind-Mappings werden unterschiedliche Stifte und ausreichend großes Papier benötigt, bei Gruppenarbeit Flipcharts und zusätzlich ein Moderator. Zu Beginn wird das Thema mit einem Schlüsselwort in der Mitte des Papiers festgehalten und hervorgehoben. Vom Zentrum gehen Äste aus, die das Thema in Teilbereiche strukturieren und zu Assoziationen anregen sollen. An jedem Ast, von dem weitere Verzweigungen ausgehen, hat ein Schlüsselwort zu

stehen. Es wird in einer beliebigen Ecke begonnen und im Uhrzeigersinn gearbeitet. Grundsätzlich sollten nicht mehr als vier bis sechs Hauptäste vom Zentrum ausgehen. Diese Hauptäste stehen für Ideenbereiche, die weiter nach dem Prinzip *Vom Groben zum Detail* aufgeschlüsselt werden. Die Dauer der Anwendung ist beliebig, jedoch sollten 20 bis 30 Minuten für Alltagsaufgaben genügen. Zur Formulierung der Ideen werden nur Substantive verwendet, welche durch Symbole, Bilder und dergleichen untermalt werden. Abbildung 3.28 zeigt den Ausschnitt einer beispielhaften Mind-Map, die sich mit dem Erwerb eines Hauses auseinandersetzt. Die Methode ist einfach erlernbar und kann auch in Einzelarbeit angewandt werden. Durch die bildliche Darstellung ist die Methode gut für visuelle Typen geeignet. Bei komplexen Fragestellungen ist mit hohem Zeitbedarf zur Bearbeitung zu rechnen und mitunter kann die Wahl passender Schlüsselworte Schwierigkeiten bereiten. Die Nachteile der handschriftlichen Erfassung (Platzprobleme, schwierige nachträgliche Änderung, Unübersichtlichkeit) können durch den Einsatz einer Software überwunden werden. (Knieß, 2006, S. 76ff)

Galeriemethode

Die Galeriemethode vereint die beiden Elemente Einzel- und Gruppenarbeit. Bei ihr können sowohl Laien als auch Experten mitwirken. Der Ablauf der Methode beginnt mit der Konkretisierung des Problems. Hierbei wird das Problem in Form einer Frage formuliert und prägnant visualisiert. Die Teilnehmer der Session entwerfen nun möglichst spontan erste Lösungsvorschläge, welche niedergeschrieben und in einer Galerie ausgehängt werden. Nach einer Besichtigung der Vorschläge werden diese unter den Gruppenmitgliedern diskutiert. In einer weiteren Phase der Lösungsfindung fließen die Anregungen der Kollegen in die Weiterentwicklung der eigenen Lösung mit ein. Diese Phasen können mehrmals wiederholt werden, wodurch sich die Ergebnisse verbessern. Abschließend erfolgt eine Analyse und Auswahl der besten Lösung. Alternativ kann die Problemformulierung auch in einem mehreren Mitarbeitern zugänglichen Raum (z.B. Aufenthaltsraum) aufgehängt werden. Jede Person kann ihre Lösungsvorschläge zum dargestellten Problem auf den Aushang schreiben und somit wertvollen Input liefern. (Knieß, 2006, S. 95f; Ehrlenspiel et al., 2014, S. 73)

Diskussionen werden bei dieser Methode vermieden, weiters wird kein Moderator benötigt. Die Teilnehmerzahl ist beinahe unbegrenzt, wobei eine Zuordnung der Lösungsvorschläge zu den jeweiligen Personen aufgrund der individuellen Handschriften bestehen bleibt. (Knieß, 2006, S. 95f)

Analogiemethoden

Die Analogiemethoden stellen eine weitere Gruppe von kreativ-intuitiven Methoden dar. Unter dem Begriff *Analogie* werden Ähnlichkeiten zwischen zwei Phänomenen verstanden. Diese Ähnlichkeiten können in Form von Strukturen, Abläufen, Funktionen, Zwecken, Komponenten und Materialien auftreten. Durch die Analogiebildung sollen neue Ideen von bestehenden Lösungen abgeleitet werden. Die zwei bedeutendsten Vertreter dieser Technik sind die Synektik und die Bionik. (Disselkamp, 2012, S. 116)

Synektik

Klassische Synektik gilt als die psychologisch am besten fundierte Methode zur Ideenfindung innerhalb einer Gruppe. Die Gruppe soll aus möglichst kreativen, hochqualifizierten Personen bestehen und muss gut in den Bereichen Informationsverarbeitungspsychologie und Problemlösungsverhalten geschult sein. Im Zuge einer Synektik-Sitzung werden die Teilnehmer mit schwierigen Aufgaben konfrontiert und viel Kreativität zur Bearbeitung des Problems von ihnen gefordert. Die Grundlage der Synektik ist die Verwendung problemfremder Reizwörter und anschließende Übertragung dieser auf das eigentliche Problem. Durch Verfremdung des Problems sollen neuartige, unkonventionelle Lösungsvorschläge gefunden werden. (Knieß, 2006, S. 106f; Orloff, 2006, S. 31)

Die Durchführung der Synektik-Sitzung erfordert einen Moderator, der über ein sehr gutes Allgemeinwissen verfügen muss sowie sechs bis acht interdisziplinäre Teilnehmer, die aber ein homogenes Ganzes bilden sollen. Als Arbeitsmaterial wird ein Flipchart oder eine Pinnwand empfohlen. Eine Synektik-Konferenz dauert rund zwei Stunden. Die Kommentare der Teilnehmer sollen kurz und treffend sein, wobei auch Stichworte erlaubt sind. Eine respektvolle Gesprächskultur ohne Zwischenrufe wird vorausgesetzt und eine Wertung der Lösungsvorschläge findet nicht statt. Konflikte gilt es zu vermeiden und die Ideen müssen visuell festgehalten werden, sodass sie für alle Teilnehmer ersichtlich sind. (Knieß, 2006, S. 108; Schlicksupp, 1992, S. 125f)

Der Ablauf einer Synektik-Sitzung gliedert sich in folgende Abschnitte, wobei zum besseren Verständnis auf das Beispiel in Tabelle 3.6 verwiesen wird (Knieß, 2006, S. 108ff; Schlicksupp, 1992, S. 124f):

- 1. Problemanalyse und -definition:** Hier erfolgt die genaue Abgrenzung und Analyse des vorherrschenden Problems. Weiters werden die benötigten Informationen zum Problem gesammelt.

Problemstellung: Suchen Sie nach Möglichkeiten, Bilder zu rahmen	
1. Problemanalyse und -definition	Es handelt sich darum, eine Deckplatte aus Glas möglichst einfach auf dem flachen Bildträger zu befestigen.
2. spontane Lösungen	Klammern, transparente Klebefolie, Saugnäpfe am Bildträger, etc.
3. Neudefinition des Problems	wie zuvor, jedoch mit der Betonung, dass die Glasplatte sehr einfach wieder abgenommen werden kann
4. direkte Analogie aus der Natur: Wechsel von Bedeckungen	Schneedecke schmilzt, Schlange häutet sich, Wolken ziehen vorbei, Erosion Abstoßen eines Geweihs, etc.
davon ausgewählt:	Schlange häutet sich
5. persönliche Analogie: Wie fühle ich mich als häutende Schlange?	es juckt mich am ganzen Körper; die alte Haut engt mich ein; ich bin neugierig, wie ich jetzt aussehe; endlich frische Luft; ich hätte gerne Hände; etc.
davon ausgewählt:	die alte Haut engt mich ein
6. symbolische Analogien zu: die alte Haut engt mich ein	bedrückende Hülle, schimmernder Panzer, würgendes Ich, lückenlose Fessel, unterdrückte Identität, etc.
davon ausgewählt:	lückenlose Fessel
7. direkte Analogien aus der Technik zu: lückenlose Fessel	Leitplanken der Autobahn, Druckbehälter, Schienenstrang, Stierkampfarena, Radar-Warnsystem, etc.
8. Analyse der letztgenannten Analogien mit dem Versuch, aus deren Strukturmerkmalen Lösungsideen abzuleiten, mit dem Problem in Verbindung zu bringen	<i>Leitplanke</i> : Blechprofil, auf beiden Seiten der Autobahn, verformbar <i>Abgeleitete Ideen</i> : Bildträger und Glasrahmen werden in einem Profilrahmen verklemmt, Halterungen werden nur an zwei Seiten angebracht, knetartige Kugeln auf die Ecken von Bildträger und Glas drücken <i>Druckbehälter</i> : steht unter Spannung, geschlossenes Volumen, Ein- und Auslass <i>Abgeleitete Ideen</i> : Bildträger hat Greifkanten und ist leicht vorgekrümmt, dadurch erzeugt er selbst die Haltespannung, wenn er an das Deckglas angepresst wird; Träger und Glas werden in eine genau passende Tasche aus PE gesteckt, Träger und Glasplatte haben an den Ecken Löcher und werden mit einer Art Druckknopf verbunden (die nachfolgenden Begriffe werden analog aufgearbeitet)

Tabelle 3.6.: Verkürzte Darstellung einer Synektiksitzung (in Anlehnung an Schlicksupp, 1992, S. 128f)

- 2. spontane Lösungen und Neuformulierung des Problems:** Es werden nun spontane Lösungsansätze genannt, die bei den Teilnehmern Platz für neue Gedanken schaffen sollen. Außerdem wird damit sichergestellt, dass die Fragestellung richtig verstanden wurde.
- 3. Neuformulierung des Problems:** Ist die Fragestellung nicht richtig verstanden worden, so wird das Problem neu formuliert oder weiter detailliert.
- 4. Bildung direkter Analogien:** Das Problem wird durch die Gruppe zur Verfremdung auf andere Bereiche übertragen. Dabei kann es sich um Natur, Technik, Soziologie, etc. handeln. Dazu werden die Analogien von den Teilnehmern aufgeschrieben und die für die Gruppe interessanteste ausgewählt.
- 5. Bildung persönlicher Analogien:** Zur Identifikation der Gruppe mit der gewählten direkten Analogie werden nun von den Teilnehmern persönliche Analogien dazu aufgestellt. Eine bewusste Formulierung der Analogien in der Ich-Form soll beim Hineinversetzen in das beschriebene Objekt helfen.
- 6. Bildung symbolischer Analogien:** Zu den persönlichen werden jetzt Analogien symbolischer Art gebildet, die aus Substantiv und Adjektiv bestehen. Diese werden wieder aufgeschrieben und die beste Analogie für die nächste Phase verwendet.
- 7. Bildung neuer direkter Analogien:** Wieder werden direkte Analogien gesucht und die beste ausgewählt, welche anschließend in ihre Eigenschaften zerlegt und beschrieben wird.
- 8. Übertragung auf das Grundproblem:** Es stellt sich die Frage, wie die gefundenen Strukturen die Lösung des Problems unterstützen können. Diese Ideenfindung kann mittels Brainstorming (Abschnitt 3.3.1.1) erfolgen und dient zur Übertragung der problemfremden Ansätze auf das Ausgangsproblem.

Durch die Synektik ist eine sehr starke Verfremdung des Ausgangsproblems möglich, was das Finden von außergewöhnlichen Ideen für komplizierte Aufgabenstellungen begünstigt. Allerdings ist die Methode zeitintensiv und nicht einfach handzuhaben. Die hohen Schulungskosten für die Teilnehmer und den Moderator sind ebenfalls nicht zu verachten. (Knieß, 2006, S. 110)

Bionik

Unter Bionik versteht man das Lernen von der Natur und die Übertragung der gewonnenen Erkenntnisse auf die Technik (Nachtigall & Pohl, 2013, S. 1). Dazu werden in der Natur vorkommende

Problemlösungen und Phänomene, welche sich im Laufe vieler Millionen Jahre evolutionsbedingt entwickelt haben und Ideale Lösungen darstellen, systematisch analysiert und in die Technik übertragen. (Herrmann & Huber, 2013, S. 162)

Die Analyse der biologischen Vorgänge und Strukturen erfolgt durch Beobachtung und anschließende Beschreibung des wahrgenommenen Effekts. Die Observation kann sowohl mit den Sinnesorganen des Beobachters als auch durch Geräte (Thermokamera, Mikroskop, Mikrofon, etc.) erfolgen. Weiters können Vorgänge in der Natur durch aktives Experimentieren untersucht werden. Als Beispiel sei das Einbringen eines Vogels in einen Windkanal und Filmen seines Flügelschlags genannt. (Nachtigall, 2010, S. 15ff)

Aus den Beobachtungen werden Schlussfolgerungen gezogen, wobei hier zwischen induktivem und deduktivem Vorgehen unterschieden wird (Nachtigall, 2010, S. 33f):

- induktive Methode: Bei der induktiven Vorgehensweise wird von einzelnen Tatsachen auf Gesetzmäßigkeiten geschlossen. Die wissenschaftliche Grundlagenforschung bedient sich dieser Methode, indem versucht wird, aus Neuentdecktem allgemeine Prinzipien abzuleiten.
- deduktive Methode: Bei der deduktiven Vorgehensweise versucht man, aus allgemeinen Gesetzmäßigkeiten die zugrunde liegenden Einzelprinzipien abzuleiten. Sie bildet somit den Gegensatz zur induktiven Methode.

Diese Schlussfolgerungen lassen sich wiederum in Prinzipien überleiten, welche zu Modellen verknüpft werden. Die technische Realisierung dieser Modelle führt letztendlich zu Lösungen für das eigentliche Ausgangsproblem. (Nachtigall, 2010, S. 15)

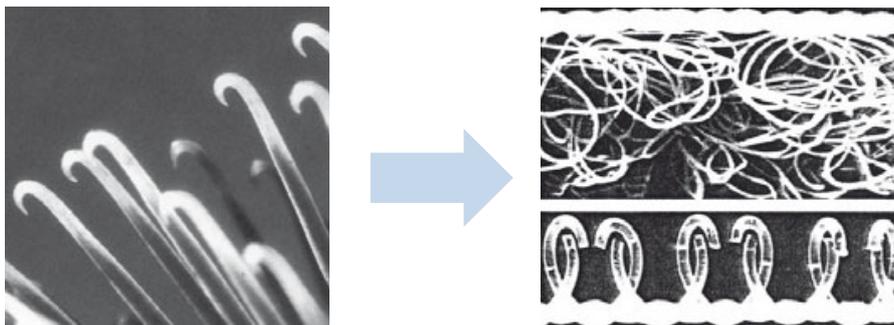


Abbildung 3.29.: Analogiebildung am Beispiel des Klettverschlusses: Links die Haken des Pflanzensamens, rechts die technische Umsetzung mit Haken- und Wollband (Nachtigall & Wisser, 2013, S. 46)

Beispiele für Lösungen aus der Bionik gibt es viele. Eines der bekanntesten ist der Klettverschluss.

Gewisse Pflanzen besitzen Hüllblätter mit Widerhaken, die sich im Fell von Tieren verhaken, wenn diese damit in Berührung kommen. Somit wird der Bestand der Pflanze durch deren Weiterverbreitung gesichert. Ein schweizer Ingenieur bemerkte als er mit seinem Hund spazieren ging, dass sich in dessen Fell diese Samen verhakten und mitgeschleppt wurden. Damit war die Idee des Klettverschlusses geboren. Die Entwicklung von Haken- und Wollband beanspruchte rund zehn Jahre. Schlussendlich wurde jedoch ein äußerst erfolgreiches Produkt hervorgebracht, welches vielseitig zur Anwendung kommt. Abbildung 3.29 verdeutlicht die Analogie. (Nachtigall & Wissler, 2013, S. 46)

Durch Bionik können völlig neue und revolutionäre Lösungsansätze für technische Probleme gefunden werden. Diese Lösungen können auch spontan beim Betrachten eines natürlichen Vorgangs oder Sachverhalts entstehen. Dem hohen Potential steht der große Anwendungsaufwand gegenüber. Zur Durchführung sollte ein erfahrener Bioniker herangezogen werden, was mit erheblichen Kosten verbunden ist. (Knieß, 2006, S. 105)

3.3.1.2. Systematisch-analytische Lösungssuche

Der Grundgedanke der systematisch-analytischen Kreativitätsmethoden ist die Zerlegung des vorliegenden Problems in einzelne Teilprobleme, wobei anschließend jedes einzeln für sich gelöst wird. Zum Bilden dieser Einzellösungen werden die schon beschriebenen kreativ-intuitiven Methoden angewendet. Danach erfolgt eine Kombination der Einzellösungen und Bildung von Gesamtlösungsvarianten. Da die systematische Erarbeitung von Lösungen im Vordergrund steht, eignen sich diese Methoden auch für Einzelarbeit. Eine bedeutende systematische Kreativitätstechnik ist die Morphologie, auf die unter anderem auch eingegangen wird. (Lindemann, 2009b, S. 151f)

Auf den nächsten Seiten werden folgende systematische-analytische Methoden zur Lösungssuche vorgestellt, welche bei der Findung eines Gesamtkonzepts hilfreich sein können:

- Attribute Listing
- Problemlösungsbaum
- morphologischer Kasten
- sequenzielle Morphologie

Attribute Listing

Diese Methode wird hauptsächlich zur Eigenschaftsanalyse und -verbesserung bereits bestehender Produkte oder Prozesse eingesetzt. Ziel des Attribute Listings ist es, systematisch alle erkennbaren Lösungen zur Verbesserung der Produkt- oder Prozesseigenschaften zu finden. (Knieß, 2006, S. 137f)

Das Vorgehen des Attribute Listings gliedert sich in vier Schritte (Knieß, 2006, S. 138ff):

- 1. Zerlegung in einzelne Merkmale:** Die Merkmale des zu untersuchenden Gegenstandes werden systematisch analysiert und aufgelistet. Dies sollte nach Möglichkeit vor Beginn der Kreativitätssitzung vom Problemsteller erledigt werden.
- 2. Beschreibung der derzeitigen Merkmalsausführung:** Es erfolgt eine Beschreibung der derzeitigen Ausführung für die im ersten Punkt ermittelten Merkmale. Auch diese Tätigkeit kann vom Aufgabensteller im Vorhinein durchgeführt werden.
- 3. Systematische Suche nach Variationsmöglichkeiten jedes Merkmals:** Die Suche nach alternativen Möglichkeiten findet im Team statt. Die optimale Größe beträgt vier bis acht Personen, wobei es sich aufgrund der geringen Anforderungen der Methode nicht um Experten handeln muss. Zur Ideengenerierung können wiederum verschiedene intuitive Techniken eingesetzt werden.
- 4. Auswahl und Realisierung:** Eine Grobauswahl der Änderungen erfolgt durch die Gruppe, die endgültige Aufstellung der Attribute obliegt dem Problemsteller.

Merkmals	derzeitige Ausführung	Zielvorgabe	mögliche alternative Gestaltung
Material	Holz	pflegeleichter	Holzimitat aus PVC, Metall
Anzeige	analog	moderner	digital, LCD, LED
Farbe	braun	modischer	schwarz, metallic
Zubehör	keines	erweitern	Fernbedienung, USB-Anschluss, WLAN-Streaming, Smartphone-APP

Abbildung 3.30.: Attribute Listing mit Zielvorgabe für ein Radio (in Anlehnung an Knieß, 2006, S. 140)

Die Anforderungen an den Moderator sind nicht besonders hoch, wodurch auch unerfahrene Personen die Sitzung leiten können. Ein Vorteil der Methode stellt die große Anzahl an generierten

Varianten und deren systematische Erfassung dar. Negativ ist die Tatsache, dass die große Anzahl der Lösungsmöglichkeiten schnell unübersichtlich werden und eventuell sogar vom eigentlichen Problem ablenken kann. Attribute Listing eignet sich gut für Produkte und Technologien, die kurz vor dem Ende ihres Lebenszyklus stehen. Durch relativ einfache Neuerungen kann die Attraktivität und somit Lebensdauer des Produkts oder der Technologie verlängert werden. In Abbildung 3.30 ist ein beispielhaftes Attribute Listing mit integrierter Zielvorgabe für ein neues Radio dargestellt. (Knieß, 2006, S. 140; Schlicksupp, 1992, S. 91ff)

Problemlösungsbaum

Der Problemlösungsbaum ist eine Technik, die es erlaubt, alle sich zu einer Fragestellung anbietenden Lösungen zu dokumentieren und geordnet darzustellen. Somit handelt es sich hierbei auch um eine Form der Morphologie. Die Methode ist benannt nach der Darstellungsform der Ergebnisse, die an einen Baum mitsamt seinen Ästen erinnert. Die Verästelungen erfolgen immer nach definierten Kriterien der Differenzierung des jeweiligen Untersuchungsbereichs. Unterscheidungskriterien, welche eine elementare Untergliederung erlauben werden jenen, die weniger konkrete Unterschiede zwischen den Ausprägungsformen beschreiben, vorgezogen. Es kann auch vorkommen, dass die Hierarchien nicht klar sind und sich manche Ebenen austauschen lassen. Das Problem bzw.

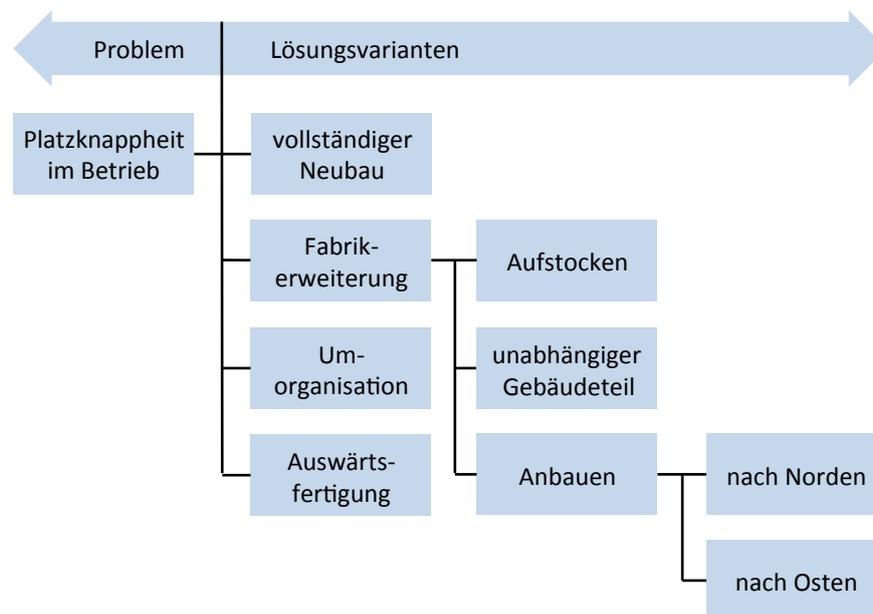


Abbildung 3.31.: Problemlösungsbaum für das Problem „Platzknappheit im Betrieb“ (in Anlehnung an Ammann, 2011, S. 135)

die Aufgabe stellt den Ausgangspunkt (Wurzel) des Problems dar. Ausgehend davon werden die

verschiedenen Lösungsalternativen hierarchisch angeordnet. Somit ergibt sich eine vollständige Übersicht über die gefundenen Lösungsvarianten, siehe Abbildung 3.31. (Ammann, 2011, S. 134f; Schlicksupp, 1992, S. 100f)

Zur Erstellung eines Problemlösungsbaumes werden Experten mit Kenntnis im jeweiligen Fachbereich benötigt. Dabei kann es sich um eine Einzelperson oder eine Kleingruppe bestehend aus zwei bis drei Personen handeln. Etwa ab der fünften Hierarchiestufe und sehr feinen Unterschieden der Alternativen wird ein Problemlösungsbaum unübersichtlich. Bewegt man sich jedoch innerhalb dieser Grenzen, so lassen sich gefundene Lösungen damit gut strukturieren und darstellen. (Schlicksupp, 1992, S. 100, 102)

3.3.1.3. Morphologie

Eine Systematik, die beim Überblicken der gefundenen Lösungsalternativen hilft, ist die Morphologie. Sie basiert auf der vollständigen Nennung von möglichen Beziehungen zwischen Variablen. Dadurch wird vermieden, dass gewisse Kombinationsvarianten von Lösungsausprägungen vorzeitig verworfen werden. Durch die Morphologie entsteht eine nach bestimmten Kriterien hergestellte Ordnung sowie eine vergleichende Betrachtungsweise. Nachfolgend werden zwei repräsentative Methoden der Morphologie erläutert. (Ophrey, 2005, S. 116; Schlicksupp, 1992, S. 81)

Morphologischer Kasten

Der morphologische Kasten ist eine Methode zur mehrdimensionalen Klassifikation von Objekten mit dem Ziel, alle möglichen Lösungen in geordneter Form darzustellen. Dazu werden komplexe Sachverhalte in Teilsysteme zerlegt, für diese Lösungsvarianten gesucht werden. Anschließend werden die Teillösungen wieder zu Varianten von Gesamtlösungen kombiniert. (Schlicksupp, 1992, S. 81)

Der Ablauf der Methode lässt sich in folgende fünf Schritte gliedern, wodurch ein morphologischer Kasten wie in Abbildung 3.32 entsteht (Knieß, 2006, S. 125ff; Schlicksupp, 1992, S. 82f):

- 1. Problemanalyse und -definition:** Das Suchfeld ist möglichst umfassend zu definieren. Dabei muss mit hoher Präzision vorgegangen werden. Eine Verallgemeinerung des Problems kann hilfreich bei der Beschreibung des technischen Systems sein. Durch die Formulierung darf keine Lösungsmöglichkeit im Vorfeld ausgeschlossen werden.

- 2. Zerlegung des Problems:** Das Problem wird in seine Parameter und Bestandteile zerlegt. Die Parameter bilden dabei eine Gruppe von verwandten Faktoren. Die Suche nach den Parametern kann mit allen möglichen Elementen beginnen, welche nachfolgend gruppiert und sinnvoll selektiert werden. Die Anzahl der Parameter sollte nicht größer als sieben sein. Eine Unabhängigkeit der Parameter untereinander muss gewährleistet sein. Die Parameter werden in eine Spalte untereinander geschrieben und somit festgehalten.
- 3. Ermittlung der möglichen Parameterausprägungen:** Für die ermittelten Parameter bzw. Merkmale werden nun die möglichen Ausprägungen ermittelt. Zum Generieren der Parameterausprägungen können die kreativ-intuitiven Methoden zur Lösungssuche zu Hilfe genommen werden. Die Ausprägungen sollen sich deutlich unterscheiden, konkret formuliert sein und der Zielerfüllung dienen. Weiters sollen für jeden Parameter mindestens drei Ausprägungen vorhanden sein. Diese werden in die jeweilige Zeile des Parameters eingetragen.
- 4. Analyse der Alternativen:** Durch Kombination der Merkmalsausprägungen miteinander ergeben sich mehrere Alternativen zur Lösung des Problems. Eine Kombination mehrerer Ausprägungen desselben Parameters untereinander ist nicht zulässig. Weiters muss jeder Parameter in der Gesamtlösung enthalten sein.
- 5. Auswahl der Alternativen:** Die verschiedenen Kombinationen von Parameterausprägungen werden untersucht und auf ihre generelle technische Machbarkeit geprüft. Nicht realisierbare Varianten können ausgeschlossen werden, die prinzipiell möglich werden in weiterer Folge näher betrachtet und bewertet sowie deren Parameterausprägungen zur besseren Visualisierung mit einem Linienzug verbunden oder farblich hervorgehoben.

Parameter	Parameterausprägungen				
Schmutz aufnehmen	Saugen	Bürste	Elektrostatik	Slimy	Förderband
Energie bereitstellen	Akku	Luftdruck	Schwungrad	Feder	
Energie transferieren	Lüfterrad	Bürste	Kohäsion	elektr. Feld	
Raum bereitstellen	Gehäuse	Sack	Vakuumpatrone	kein Raum gestellt	

Abbildung 3.32.: Ausschnitt eines morphologischen Kastens für ein Tischstaubsaugergerät (in Anlehnung an Lindemann, 2009b, S. 154)

Zur Durchführung kann eine Einzelperson oder eine Gruppe von sieben bis zehn Teilnehmern

herangezogen werden, wobei es möglich ist, dass sich die Erstellung des Kastens über mehrere Tage hinweg zieht. Durch die vielen Parameter und deren Ausprägungen besteht die Gefahr, dass der Lösungsraum schnell unübersichtlich wird. So ergibt sich allein für den Teil eines morphologischen Kastens in Abbildung 3.32 eine Anzahl von 384 verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten ($6 \times 4 \times 4 \times 4$). Dieser Problematik kann auf zwei verschiedene Arten entgegengewirkt werden. Zum einen ist es möglich, nur die sinnvollsten Ausprägungen der Parameter zu berücksichtigen und die anderen zu eliminieren. Eine weitere Möglichkeit stellt die Zerlegung in Teilprobleme dar. Dabei wird der morphologische Kasten in Untermatrizen aufgeteilt, die separat behandelt werden. (Knieß, 2006, S. 128ff)

Positiv hervorzuheben ist die große Anzahl an Lösungsvarianten, die durch Anwendung des morphologischen Kastens gefunden werden können. Das Problem wird gut dargestellt und die Lösungen so angeordnet, dass man sich einen guten Überblick über die Gesamtsituation verschaffen kann. Bei der Lösungssuche werden alle intuitiv gefundenen Teillösungen in Betracht gezogen und somit ein lückenloses Vorgehen gesichert. Die Methode setzt jedoch vom Bearbeiter eine genaue Kenntnis des Problems und dessen Umfeldes voraus und ist sehr zeitintensiv. (Knieß, 2006, S. 132f)

Sequenzielle Morphologie

Die sequenzielle Morphologie ist eine Weiterentwicklung des vorhergehend beschriebenen morphologischen Kastens. Sie integriert die Entscheidung für eine Variante in den Ablauf und eignet sich besonders für hochkomplexe Problemstellungen. Dadurch, dass nicht sinnvolle Ideen vernachlässigt werden, steigt auch die Übersichtlichkeit. Speziell bei einer großen Anzahl von Parametern und Ausprägungen ist dies sehr hilfreich. (Knieß, 2006, S. 133)

Die Anwendung der sequenziellen Morphologie wird nachfolgend an einem konkreten Beispiel erklärt (Knieß, 2006, S. 133ff; Schlicksupp, 1992, S. 89ff):

1. **Problemdefinition:** Das Problem sowie die Parameter und Ausprägungen der potentiellen Lösungen werden beschrieben, siehe Schritt eins bis drei unter Abschnitt 3.3.1.3.
2. **Ableitung der Bewertungskriterien:** Aus der Aufgabenstellung werden Kriterien für die Bewertung der Lösungsalternativen abgeleitet. Nach ihnen wird später die Qualität der gefundenen Lösungen bewertet.
3. **Gewichtung der Bewertungskriterien:** Die Bewertungskriterien werden von 0,0 bis 1,0 gewichtet, wobei jenes Kriterium mit dem größten Einfluss auf die Lösungsqualität die

Gewichtung 1,0 erhält und die anderen jeweils eine entsprechend niedrigere.

4. Bestimmung des Parametereinflusses: Der qualitätsgestaltende Parametereinfluss auf die Zielkriterien wird beurteilt. Dazu werden den Parametern Einflusszahlen auf die jeweiligen Kriterien zwischen 0,0 und 1,0 zugewiesen. Jeder Parameter steht für einen Bestandteil der Gesamtlösung, der auch in der Bewertung berücksichtigt werden muss. Am Beispiel eines Anzugkaufs wird dies erklärt.

Die Parameter der Anzüge sind

- P1: Stoffqualität,
- P2: Schnitt,
- P3: Muster.

Die Kriterien, unter denen die Kaufentscheidung gefällt wird, sind

- K1: Eleganz (1,0),
- K2: Lebensdauer (0,4),
- K3: Preis (0,8).

Die Werte in Klammern repräsentieren die jeweilige Gewichtung im Zielsystem. Durch Abschätzung der Korrelationen zwischen den Parametern und Bewertungskriterien ergibt sich die Korrelationsmatrix in Abbildung 3.33. Aus ihr erkennt man, dass beispielsweise der Parameter *Schnitt* in keiner Beziehung zum Kriterium *Lebensdauer* steht (0,0). Die Eleganz des Anzugs wird jedoch stark durch den Schnitt beeinflusst (0,9).

	Bewertungskriterien		
Parameter	K1: Eleganz (1,0)	K2: Lebensdauer (0,4)	K3: Preis (0,8)
P1: Stoffqualität	0,3	0,7	0,9
P2: Schnitt	0,9	0,0	0,4
P3: Muster	0,8	0,0	0,1

Abbildung 3.33.: Korrelationsmatrix für Parameter und Bewertungskriterien (in Anlehnung an Schlicksupp, 1992, S. 90)

Somit erhalten die Parameter folgende Wertigkeiten

$$P1 = 0,3 \cdot 1,0 + 0,7 \cdot 0,4 + 0,9 \cdot 0,8 = 1,30$$

$$P2 = 0,9 \cdot 1,0 + 0,0 \cdot 0,4 + 0,4 \cdot 0,8 = 1,22$$

$$P3 = 0,8 \cdot 1,0 + 0,0 \cdot 0,4 + 0,1 \cdot 0,8 = 0,88$$

und Parameter P1 geht als wichtigster der drei hervor.

5. Aufbau des morphologischen Kastens: Der Bau des morphologischen Kastens beginnt nun mit den beiden wichtigsten Parametern, in unserem Fall P1 und P2. Für diese beiden Parameter werden die verschiedenen Ausprägungsformen notiert.

6. Ermittlung der Ausprägungskombination der beiden Hauptparameter: Die Auswahl der Ausprägungen der beiden Parameter erfolgt aufgrund der Bewertungskriterien für die Zielerfüllung. Leinen ist günstig und strapazierfähig, weshalb dieser Stoff in Kombination mit einem taillierten, weil eleganten Schnitt gewählt wird.

Parameter	Ausprägungsformen		
P1: Stoffqualität	Baumwolle	Seide	Leinen
P2: Schnitt	weit	normal	tailliert
P3: Muster	Uni	Streifen	Karo

Abbildung 3.34.: Sequenzielle Morphologie für den Anzugkauf (in Anlehnung an Schlicksupp, 1992, S. 90)

7. Sequenzielle Vervollständigung des morphologischen Kastens: Nun werden die weiteren Parameter nach ihrer Wertigkeit nacheinander zum Kasten hinzugefügt und deren Ausprägung nach den Bewertungskriterien gewählt. Parameter mit sehr niedrigen Wertziffern können unberücksichtigt bleiben, da sie für die Lösung unbedeutend sind. Abbildung 3.34 zeigt das Ergebnis der bewerteten Morphologie. Gekauft wird ein einfarbiger, taillierter Leinenanzug.

Da der Bewertungsvorgang in den morphologischen Ablauf integriert ist, erhöht sich natürlich der Bearbeitungsaufwand im Vergleich zum klassischen morphologischen Kasten aus Abschnitt 3.3.1.3. Jedoch entfällt eine anschließende explizite Bewertung der gefundenen Lösungsvarianten, wodurch der Mehraufwand mehr als wett gemacht wird. Die Durchführung einer sequenziellen Morphologie erfordert ebenfalls speziell geschultes Fachpersonal. (Knieß, 2006, S. 135)

3.3.1.4. Theorie des erfinderischen Problemlösens

Die *Teoria reschenija isobretatjelskich sadatsch*, zu dt. Theorie des erfinderischen Problemlösens (TRIZ) ist eine Sammlung verschiedener Methoden zur Lösung von Problemen technischer Art. Genrich Altshuller entwickelte die TRIZ mit der Absicht, eine systematische Methodik des Erfindens zu kreieren. Die Kreativität soll dabei nicht dem Zufall überlassen

werden, sondern durch verschiedene Mechanismen gezielt hervorgerufen werden. Während seiner Arbeit als Patentamtsangestellter bemerkte Altschuller, dass innerhalb unterschiedlicher Branchen und Technologiezweige verschiedene Probleme auftreten. Diese lassen sich jedoch meist auf identische, grundsätzliche Problemstellungen, die sogenannten Systemwidersprüche, zurückführen. Diese Widersprüche werden in allen Zweigen auf demselben prinzipiellen Weg gelöst. Diese Erkenntnis führte zur Entstehung der Prinzipien der TRIZ sowie einer Vielzahl an unterstützenden Methoden. (Ammann, 2011, S. 137ff)

Orloff (2006) nennt die drei Grundprinzipien der TRIZ:

- **Widerspruchsorientierung:** Um das Problem zu lösen müssen die zugrunde liegenden Widersprüche gefunden, aufgelistet und gelöst werden.
- **Idealität:** Ein technisches System ist in Richtung steigender Idealität zu entwickeln. Ein ideales technisches System erfüllt seine Funktionen ohne Ressourcen zu verbrauchen.
- **Entwicklung entlang der Gesetze der Evolution:** Nachhaltige und hochwertige Problemlösungen stützen sich auf die Gesetze der Evolution.

Die Umsetzung der Prinzipien wird durch die Anwendung der TRIZ Methoden gefördert. Sie sind in Abbildung 3.35 dargestellt und lassen sich in vier Kategorien einordnen (Ammann, 2011, S. 141):

- **Systematik:** Die Methoden, welche sich der Systematik zuordnen lassen, bilden die Grundlage für die Anwendung der Methoden aus den anderen Kategorien Wissen, Analogie und Vision. Methoden der Systematik können sowohl sehr spezifischer (Zwerge-Modell, Operator Maße-Zeit-Kosten) als auch generischer Natur (ARIZ als Algorithmus der Problemlösung, Innovationscheckliste) sein.
- **Wissen:** Die Kategorie Wissen lässt sich in zwei Subkategorien unterteilen. Zum einen sind darin Methoden enthalten, die sich auf die Anwendung von angehäuften Wissen (z.B. aus Datenbanken) und physikalischen oder chemischen Effekten stützen. Zum anderen beinhaltet die Kategorie Methoden zur Modellierung und Darstellung von Problemen, die in technischen Systemen auftreten. Stellvertretend dafür sind die Widerspruchsanalyse und Stoff-Feld-Analyse zu nennen.
- **Analogie:** Aufbauend auf der Darstellung der Probleme erfolgt die Anwendung der Analogiemethoden. Dadurch sollen Lösungsansätze für die Problemstellungen gefunden werden. Die dazu gebräuchlichen Methoden sind die 40 Innovationsprinzipien zur Auflösung technischer

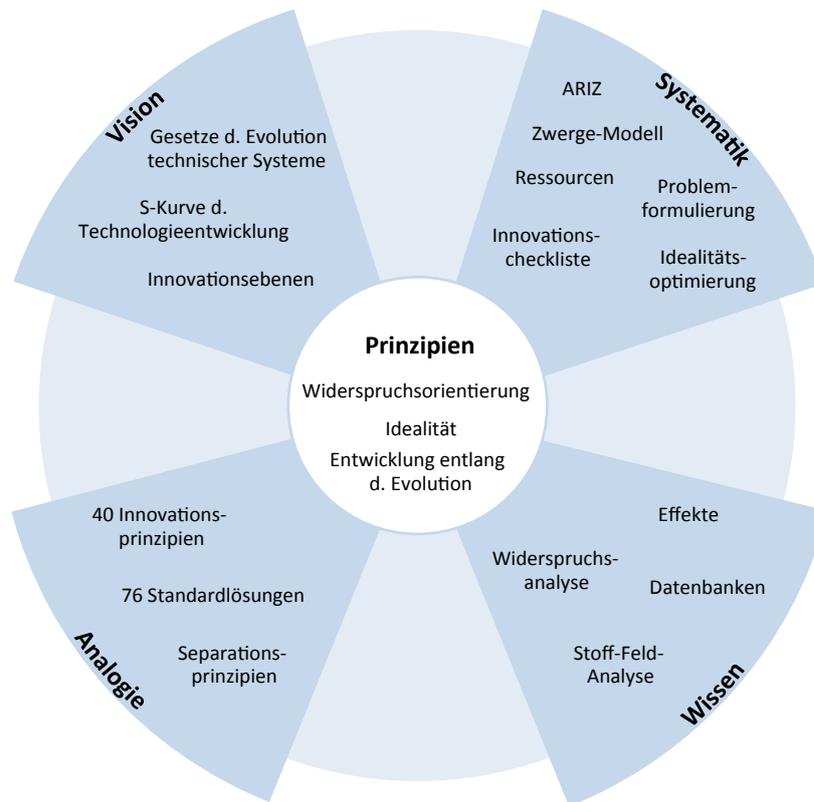


Abbildung 3.35.: Methodenportfolio der TRIZ (in Anlehnung an Ammann, 2011, S. 140)

Widersprüche, die 76 Standardlösungen zur Modifikation von Stoff-Feld-Modellen oder die vier Separationsprinzipien zu Auflösung physikalischer Widersprüche.

- **Vision:** Es existieren Methoden zur Vorhersage der Entwicklung eines Technischen Systems. Diese sind der Kategorie Vision zugeordnet. Zuerst wird die Istsituation analysiert, aufbauend darauf werden die Zukunftsentwicklungen abgeschätzt. Dazu bedient man sich der Technologie-S-Kurve, Evolutionsgesetzen für technische Systeme und verschiedener Innovationsebenen von technischen Lösungen.

Die TRIZ regt dazu an, in Widersprüchen und Paradoxen zu denken und führt dadurch zu einem guten Problemverständnis. Wichtig für die erfolgreiche Bearbeitung einer Aufgabe ist eine ausgeprägte Vorstellungskraft und die Fähigkeit, außerhalb der gewohnten Bahnen zu denken. Die TRIZ Methoden sollen dabei helfen, diese Hindernisse zu überwinden. Letztendlich ist jedoch auch die Motivation des Entwicklers ausschlaggebend für das Finden einer Problemlösung. (Orloff, 2006, S. 339ff)

3.3.2. Ausführliche Bewertung und Lösungsauswahl

Die durch kreativ-intuitive und systematisch-analytische Methoden generierten Lösungsvarianten müssen einer Bewertung unterzogen werden, um eine Auswahl treffen zu können, welche von ihnen weiterverfolgt wird. Zu diesem Zweck existieren neben den in Abschnitt 3.2.3 vorgestellten Methoden, welche eine grobe qualitative Bewertung ermöglichen, noch detaillierte Methoden. (Ehrlenspiel & Meerkamm, 2013, S. 536)

Die nachstehend angeführten Bewertungsmethoden erlauben eine Beurteilung und Auswahl bei komplexen alternativen und werden im weiteren Verlauf besprochen:

- gewichtete Punktebewertung
- Nutzwertanalyse
- Business Model Canvas
- Quality Function Deployment
- Failure Mode and Effect Analysis
- Ishikawa-Einflussdiagramm

3.3.2.1. Gewichtete Punktebewertung

Die gewichtete Punktebewertung verläuft gleich wie die einfache Punktebewertung, jedoch werden die Bewertungskriterien bei dieser Methode priorisiert. Die Gewichtung wird zwischen 0,0 und 1,0 gewählt und der Punktebereich erstreckt sich von 0 bis 10. Die Summe der Gewichte muss 1,0 ergeben. Zur Punktevergabe werden Unter- und Obergrenzen für die Ausprägung der Merkmale festgelegt, zwischen denen die Punkte linear vergeben werden. (Ehrlenspiel & Meerkamm, 2013, S. 536f)

Die Durchführung einer gewichteten Punktebewertung wird nun anhand des Batteriebeispiels aus der Vorstudie erklärt und ist in Abbildung 3.36 dargestellt (Ehrlenspiel & Meerkamm, 2013, S. 537):

- 1. Ermittlung der Bewertungskriterien:** Die drei ermittelten Bewertungskriterien lauten „*Funktion*“, „*Kosten*“ und „*Betriebssicherheit*“.
- 2. Gewichtung der Kriterien:** Diese Kriterien werden nach eigenem Ermessen gewichtet. Dabei werden die Funktion und Kosten mit je 0,4, die Betriebssicherheit mit 0,2 gewichtet. Die

	Funktion	Kosten	Betriebs- sicherheit	(1)
	$g_1 = 0,4$	$g_2 = 0,4$	$g_3 = 0,2$	(2)
Typ 1	9,1 V	€ 2,50	gut	(3)
Typ 2	8,5 V	€ 2,20	schlecht	
Typ 3	8,9 V	€ 1,60	mittel	
	P_{1j} $P_{1j}g_1$	P_{2j} $P_{2j}g_2$	P_{3j} $P_{3j}g_3$	(4)
	10 4,0	1 0,4	8 1,6	
	5 2,0	4 1,6	3 0,6	
	9 3,6	10 4,0	5 1,0	
		$\Sigma P_{ij}g_i$		(5)
Typ 1		6,0		
Typ 2		4,2		
Typ 3		8,6		

Abbildung 3.36.: Ablauf einer gewichteten Punktebewertung (in Anlehnung an Ehrlenspiel & Meerkamm, 2013, S. 537)

Summe der Gewichte ergibt 1,0.

- 3. Bestimmung der Merkmalsausprägungen:** Aufgrund der Eigenschaftsanalyse sind die Merkmale und deren Ausprägungen der jeweiligen Batterietypen bekannt (siehe hierzu auch Abbildung 3.23).
- 4. Variantenbewertung:** Es erfolgt die Bewertung der Varianten mit Punkten und die Multiplikation dieser Punkte mit den jeweiligen Gewichten.
- 5. Reihung und Ergebnis:** Die Gesamtpunkte jedes Batterietyps werden ermittelt und eine Reihung der Varianten vorgenommen. Aufgrund der gewichteten Punktebewertung ist Typ 3 zu favorisieren.

Damit die Gewichtung überhaupt eine Berechtigung hat, sollte eine große Ungleichheit unter den Gewichten herrschen. Dies ist möglich, wenn nur wenige Merkmale vorhanden sind und diese sich in ihrer Relevanz stark unterscheiden. Um die Vergabe der Punkte zu erleichtern und auch für Dritte nachvollziehbar zu gestalten, ist es ratsam, Werteskalen aufzustellen. (Ehrlenspiel &

Meerkamm, 2013, S. 537)

3.3.2.2. Nutzwertanalyse

Zur Erleichterung der Bewertung und Auswahl von komplexen Alternativen eignet sich eine Nutzwertanalyse (NWA). Der Nutzen und die spezifischen Vor- und Nachteile der verschiedenen Alternativen lässt sich damit zahlenmäßig ausdrücken. Es wird angenommen, dass jede Teilfunktion eines Produkts einen gewissen Nutzen erbringt und die Summe der Teilnutzen den Gesamtnutzen darstellen (Herrmann & Huber, 2013, S. 163). Durch die Bewertung jeder einzelnen Eigenschaft werden Schwachstellen offengelegt, Potential für Detailverbesserungen aufgezeigt und eine pauschale Bewertung vermieden. (Bronner & Herr, 2006, S. 117; Feldhusen & Grote, 2013, S. 390)

Der Ablauf einer NWA wird ebenfalls anhand des Batteriebeispiels erklärt und in Abbildung 3.37 dargestellt (Ehrlenspiel & Meerkamm, 2013, S. 540f; Wohinz, 2012, Kap. 3, S. 13):

- 1. Aufstellung des Zielsystems:** Aufgrund der Anforderungsliste lassen sich die Zielkriterien für die Batterie ableiten. Diese werden hierarchisch in einem Zielsystem dargestellt.
- 2. Zielgewichtung:** Die ermittelten Teilziele werden nach ihrer Relevanz gewichtet. Man unterscheidet zwischen relativem und absolutem Gewicht. Das absolute Gewicht ergibt sich aus der Multiplikation des relativen Gewichts des jeweiligen Subziels mit dem absoluten Gewicht des übergeordneten Ziels. Die Summe der absoluten Gewichte jeder Hierarchie ergibt 1,0.
- 3. Alternativenbewertung:** Die Varianten werden bezüglich ihrer Anforderungserfüllung mit Punkten bewertet. Der Punktebereich kann sich beispielsweise von 0 bis 10 erstrecken.
- 4. Teilnutzwertermittlung:** Zur Ermittlung der Teilnutzwerte werden die absoluten Gewichte der niedrigsten Hierarchie mit den ermittelten Bewertungspunkten multipliziert.
- 5. Gesamtnutzwertermittlung:** Die Teilnutzwerte jeder Varianten werden addiert, wodurch sich der Gesamtnutzwert ergibt. Dieser lässt eine Reihung der Alternativen zu.

Die NWA ist gegenüber der Punktebewertung differenzierter und ermöglicht eine Rechnerunterstützung. Durch die systematische Strukturierung der Bewertungskriterien ist eine stufenweise Ableitung der jeweiligen Gewichte möglich, welche auch gut nachvollziehbar ist. Es ist auf die Unabhängigkeit der einzelnen Teilziele zu achten, da sonst mehrfach bewertet und das Ergebnis

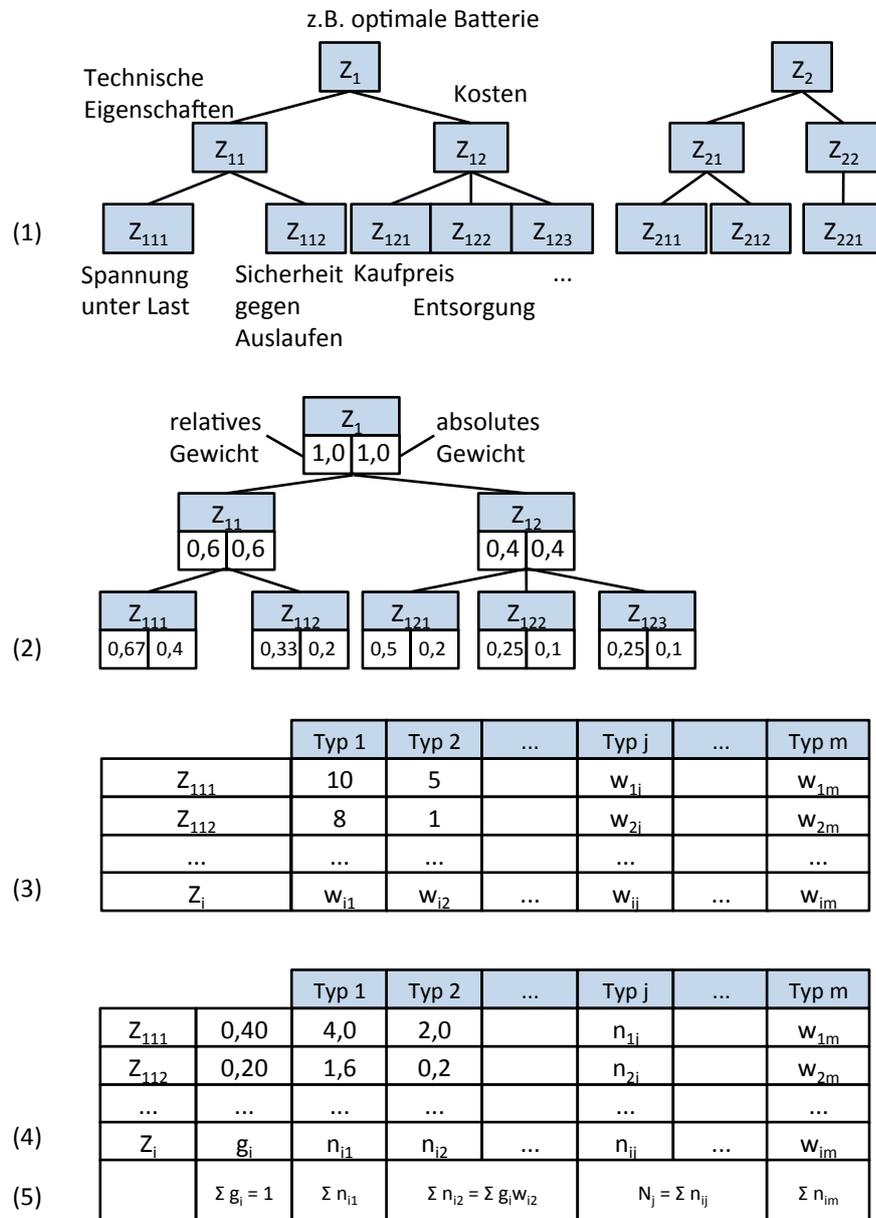


Abbildung 3.37.: Ablauf einer Nutzwertanalyse (in Anlehnung an Ehrlenspiel & Meerkamm, 2013, S. 541)

verfälscht wird. Dadurch, dass die Kriterien scheinbar quantitativ durch Zahlenwerte erfasst sind, wird leicht vergessen, dass die Gewichtung und Wertzuweisung hauptsächlich subjektiv erfolgt. (Ehrlenspiel & Meerkamm, 2013, S. 540; Feldhusen & Grote, 2013, S. 392)

3.3.2.3. Business Model Canvas

Um eine Entscheidung zugunsten oder gegen eine Lösungsvariante treffen zu können, muss die Alternative vollständig verstanden werden. Dabei müssen mehrere Dimensionen, die über die technische hinaus gehen, in Betracht gezogen werden. Das *Business Model* (dt. Geschäftsmodell) vereint die verschiedenen Gesichtspunkte und erlaubt die Darstellung in einem *Business Model Canvas*, dessen Grundaufbau in Abbildung 3.38 ersichtlich ist. (Osterwalder & Pigneur, 2010, S. 14f)

Ein Business Model Canvas besteht aus neun Elementen, die der Beschreibung des Geschäftsmodells dienen (Schallmo, 2013, S. 86). Die neun Elemente lassen sich den vier Hauptgebieten eines Geschäfts (Kunden, Angebot, Infrastruktur und Finanzen) zuordnen und werden nachfolgend erklärt:



Abbildung 3.38.: Business Model Canvas (in Anlehnung an Osterwalder & Pigneur, 2010, S. 44)

Kundensegmente Das Element Kundensegmente definiert die verschiedenen Kundengruppen, die angesprochen werden sollen. Es empfiehlt sich, ähnliche Kunden zu Kundensegmenten zusammenzufassen. Diese Segmente lassen sich nach bestimmten Kriterien definieren, beispielsweise nach Vertriebskanal, Kundenbeziehung oder Profitabilität. Beispielhafte Kundensegmente sind der Massenmarkt, Nischenmarkt oder segmentierter Markt. Es ist

zu überlegen, welche Kundengruppen es zu erreichen gilt und welche ignoriert werden. (Osterwalder & Pigneur, 2010, S. 20f)

Nutzenversprechen Für die jeweiligen gewählten Kundensegmente müssen passende Leistungspakete geboten werden. Bei einem überzeugenden Nutzenversprechen werden sich die Kunden eher für das eigene Angebot als das der Konkurrenz entscheiden. Die Attraktivität eines Nutzenversprechens kann durch verschiedene Eigenschaften begründet sein: Neuigkeit, Leistung, Individualisierung, Design, Marke und Prestige, Preis, Risikoverminderung, Einfachheit und Komfort. Die richtige Kombination der Eigenschaften entscheidet über die Akzeptanz innerhalb des jeweiligen Kundensegments. (Osterwalder & Pigneur, 2010, S. 22ff)

Kanäle Zum Erreichen der Kundensegmente und Erbringen des Nutzenversprechens im Sinne der Leistungserfüllung müssen die richtigen Vertriebskanäle vorhanden sein. Sie stellen die Berührungspunkte zwischen der eigenen Unternehmung und den Kundensegmenten her und dienen der Information, Kommunikation, Distribution sowie dem Kundendienst. Grundsätzlich wird zwischen direktem und indirektem Vertrieb unterschieden. Es gilt, eine optimale Balance aus den verschiedenen Vertriebskanälen zu finden, um so die Kundenzufriedenheit und den Umsatz zu maximieren. (Osterwalder & Pigneur, 2010, S. 26f)

Kundenbeziehungen Es muss klar sein, welche Beziehungen zu den verschiedenen Kundensegmenten herrschen sollen. Jedes Kundensegment stellt andere Erwartungen an die Beziehungen, worauf Rücksicht genommen werden muss. Diese Beziehungen können von reiner Selbstbedienung des Kunden, über automatisierte Services, persönlicher Betreuung bis hin zu Zusammenarbeit mit dem Kunden gehen und haben großen Einfluss auf die Kundenzufriedenheit. (Osterwalder & Pigneur, 2010, S. 28f)

Umsatzströme Jedes Kundensegment generiert Umsatzströme, die der Unternehmung zu Gute kommen und den Weiterbestand sichern. Es muss die Frage beantwortet werden, welches Kundensegment bereit ist, welchen Preis für die gebotene Leistung zu zahlen. Es existieren zwei Arten von Umsatzströmen, denen sich das Geschäftsmodell bedienen kann: Verkaufsumsätze, die aus Einmalzahlungen resultieren und wiederkehrende Umsätze, die sich durch andauernde Zahlungsströme oder Kundendienste ergeben. Die wichtigsten Wege, Umsatzströme zu generieren sind: Verkauf, Benutzungsgebühr, Vermietung, Abonnementgebühr, Lizenzierung und Werbung, wobei es sich um fixe oder marktsituationsabhängige Preise handeln kann. (Osterwalder & Pigneur, 2010, S. 30ff)

Schlüsselressourcen Die Schlüsselressourcen werden zur Erfüllung der Nutzenversprechen benötigt. Dabei kann es sich um physische, intellektuelle, finanzielle oder Humanressourcen

handeln. Zu den physischen Ressourcen zählen beispielsweise Gebäude, Maschinen, Fahrzeuge oder Vertriebsnetzwerke. Intellektuelle Ressourcen sind relativ schwer zu entwickeln, können dann jedoch von großem Wert sein. Dabei handelt es sich um Wissen, Patente, Schutzrechte und Kundendaten. Finanzielle Ressourcen beinhalten unter anderem Barmittel, Kreditlimits und Aktienoptionen für Mitarbeiter. Humanressourcen umfassen die Mitarbeiter der Unternehmung und deren individuelle Fähigkeiten. (Osterwalder & Pigneur, 2010, S. 34f)

Schlüsselaktivitäten Unter den Schlüsselaktivitäten werden jene Handlungen verstanden, die zum Betreiben des Geschäftsmodells unbedingt nötig sind. Diese umfassen die Produktion (z.B. Design, Fertigung, Logistik), die Problemlösung (z. B. Entwicklung neuer Lösungen, Weiterbildung der Mitarbeiter und Wissensmanagement) und das Betreiben der Plattform bzw. des Netzwerkes. (Osterwalder & Pigneur, 2010, S. 36f)

Schlüsselpartner Nicht alle notwendigen Aktivitäten werden selbst durchgeführt, weshalb auf Partner zurückgegriffen wird. Diese Schlüsselpartner übernehmen bestimmte Schlüsselaktivitäten und stellen Schlüsselressourcen zur Verfügung. Gründe für das Schaffen von Partnerschaften sind Optimierung, Risikominimierung und Aneignung von benötigten Ressourcen. (Osterwalder & Pigneur, 2010, S. 38f)

Kostenstruktur Die Umsetzung und Betreuung eines Geschäftsmodells ist mit Kosten verbunden, welche sich aus fixen (z.B. Mieten, Fertigungsstätten) und variablen (z. B. Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe) Kosten zusammensetzen. Als *Economies of Scale* (Skaleneffekte) werden jene Kostenvorteile bezeichnet, die sich durch steigenden Output ergeben. Darunter fallen beispielsweise bessere Konditionen bei den Lieferanten aufgrund größerer Abnahmemengen. *Economies of Scope* (Verbundeffekte) werden durch Mehrfachnutzung von Ressourcen hervorgerufen. Dabei lassen sich zwei oder mehr Produkte gemeinsam günstiger herstellen als dies getrennt voneinander der Fall wäre. (Osterwalder & Pigneur, 2010, S. 40f)

Ein Business Model Canvas fördert das Verständnis für eine vorliegende Situation, indem es eine Beschreibungsmöglichkeit für Geschäftsmodelle in neun verschiedenen Dimensionen darstellt und erhöht somit auch die Qualität der Entscheidungen. (Schallmo, 2013, S. 90)

3.3.2.4. Quality Function Deployment

Die Methode Quality Function Deployment (QFD) erlaubt eine Beurteilung, ob die Kundenanforderungen vom entwickelten Produkt bzw. der Lösungsvariante erfüllt werden (Ehrlenspiel &

Meerkamm, 2013, S. 240). Dadurch wird die Stimme des Kunden zum Maß für Entscheidungen und nicht das technisch Machbare, sondern das vom Kunden Geforderte verwirklicht. Im QFD werden die Forderungen des Kunden mit Produkteigenschaften sowie diese untereinander verknüpft und im House of Quality (HoQ) dargestellt. Außerdem erfolgt ein Vergleich mit den Konkurrenzprodukten. (Zäh & Lindemann, 2012, S. 60f)

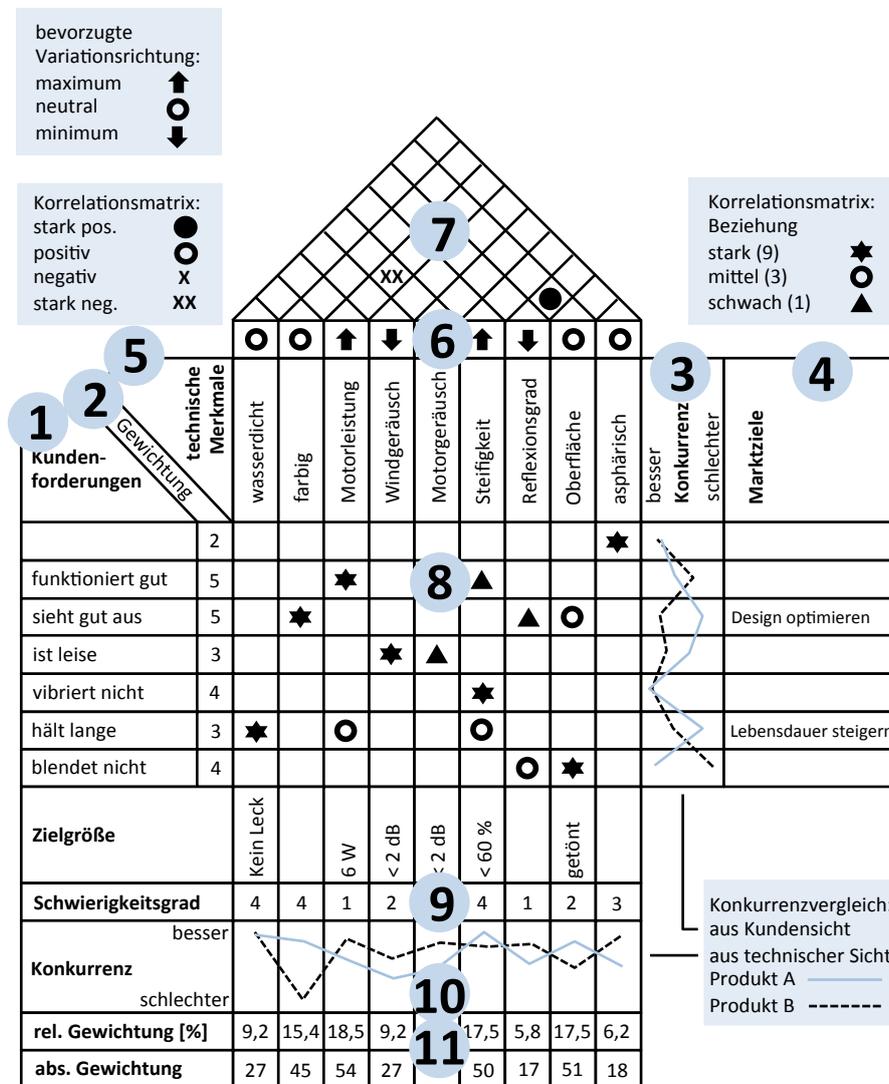


Abbildung 3.39.: House of Quality des QFD (in Anlehnung an Gausemeier et al., 2001, S. 68)

Abbildung 3.39 zeigt den Aufbau eines HoQ für einen Fahrzeugaußenspiegel. Die Erstellung lässt sich grob in Markt- und Produktanalyse (horizontales bzw. vertikales Vorgehen) unterteilen und wird nachfolgend erklärt, wobei die Nummerierungen der Teilschritte mit denen in Abbildung 3.39 übereinstimmen (Gausemeier et al., 2001, S. 65f):

Marktanalyse

1. Auflistung der Kundenanforderungen
2. Gewichtung der Kundenanforderungen
3. Wettbewerbsvergleich der Anforderungserfüllung aus Kundensicht
4. Festlegung der Marktziele

Produktanalyse

5. Auflistung der technischen Merkmale
6. Festlegung der Optimierungsrichtung der technischen Merkmale
7. Bewertung der Zielkonflikte zwischen den technischen Merkmalen
8. Korrelation der technischen Merkmale mit den Kundenanforderungen
9. Bewertung der Realisierbarkeit der technischen Optimierungen
10. Wettbewerbsvergleich der technischen Merkmale
11. Festlegung der technischen Ziele und Bewertung der Bedeutung

QFD hilft als Methode, in interdisziplinärer Teamarbeit Kundenanforderungen und -erwartungen in technische Produkteigenschaften umzusetzen und ist in allen Phasen der Produktentwicklung einsetzbar (Zäh & Lindemann, 2012, S. 62).

Dadurch wird das unternehmerische Risiko minimiert und die Akzeptanz des Produkts am Markt erhöht. Allerdings ist die Methode mit hohem Aufwand verbunden und ihr Erfolg schwer messbar. (Gausemeier et al., 2001, S. 67f)

3.3.2.5. Failure Mode and Effect Analysis

Die Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dient zur Identifikation und Verbesserung von Schwachstellen einer Lösungsvariante. Dadurch sollen die Entwicklungszeiten reduziert, Risiken sowie Fehlerkosten vermieden und letztendlich die Kundenzufriedenheit erhöht werden. (Schuh, 2012, S. 208f)

Es wird zwischen zwei grundsätzlichen Arten der FMEA unterschieden. Die beiden FMEA Typen *System-FMEA Produkt* und *System-FMEA Prozess* verfolgen einen ganzheitlichen Ansatz und betrachten jeweils ein System, welches ein Produkt oder Prozess sein kann. Die Durchführung erfolgt

Firma/Abteilung:		Team:		Risikobewertung				Restrisikobewertung						
Produkt:		Datum:		Auftrittswahrscheinlichkeit	Bedeutung für den Kunden	Risiko der Weitergabe	Risikoprioritätszahl	Ursache	Maßnahme	Wirkung	Auftrittswahrscheinlichkeit	Bedeutung für den Kunden	Risiko der Weitergabe	Risikoprioritätszahl
Teilfunktion	Potenzieller Fehler	Potenzielle Folgen												

Abbildung 3.40.: FMEA-Formblatt (Werdich, 2012, S. 233)

formularunterstützt und baut auf einer Funktionsanalyse (siehe Abschnitt 3.2.1) zur Ermittlung der Haupt- und Teilfunktionen eines Objekts auf. Ausgehend davon werden mögliche Fehler, deren Ursachen und Folgen abgeleitet. Neben Kreativitätstechniken im Allgemeinen (Abschnitt 3.2.2) eignet sich zur systematischen Suche von Fehlerursachen ein *Ishikawa Diagramm*, welches später näher beschrieben wird. Die Fehlerursachen werden nach den drei Kriterien *Fehlerauftrittswahrscheinlichkeit*, *Bedeutung für den Kunden* und *Entdeckungswahrscheinlichkeit vor Auslieferung an den Kunden* mittels Punkten von 1 bis 10 bewertet. Durch Multiplikation der einzelnen Werte ergibt sich für jeden Fehler die Risikoprioritätszahl (RPZ), welche möglichst niedrig sein sollte. Somit wird eine Reihung der Fehler nach ihrer Priorität ermöglicht, wobei der Grenzwert für einen Handlungsbedarf individuell für das jeweilige Entwicklungsprojekt festzulegen ist. Üblich sind Grenzwerte bei einer RPZ zwischen 100 bis 125. Anschließend werden mögliche Vermeidungs- und Entdeckungsmaßnahmen zur Risikominimierung eingearbeitet und die geänderte Situation erneut bewertet. Abbildung 3.40 zeigt ein mögliches FMEA-Formblatt, welches zur Durchführung einer System-FMEA Produkt benutzt werden kann. (Zäh & Lindemann, 2012, S. 95ff)

Bei konsequenter Anwendung der Methode und intensiver Teamarbeit lassen sich potentielle Fehler in einem frühen Entwicklungsstadium erkennen und somit Fehlerkosten oder Fehlfunktionen beim Kunden vermeiden (Zäh & Lindemann, 2012, S. 94). Die FMEA ist somit ein universelles Werk-

zeug des Risikomanagements und dient der nachhaltigen Produkt- und Dienstleistungsverbesserung in jeder erdenklichen Branche (Werdich, 2012, S. 221f).

3.3.2.6. Ishikawa-Einflussdiagramm

Zur Beschreibung von Problemen sowie funktionalen Zusammenhängen und als Hilfestellung zur Analyse während einer FMEA eignet sich ein Ishikawa-Einflussdiagramm, auch Ursache-Wirkungs- oder Fischgrätendiagramm genannt. Mittels dem Diagramm werden die Zusammenhänge zwischen den Ursachen und der Wirkung nach der in Abbildung 3.41 ersichtlichen Grundstruktur geordnet dargestellt. Die verschiedenen zur Wirkung führenden Ursachen werden unter Zuhilfenahme

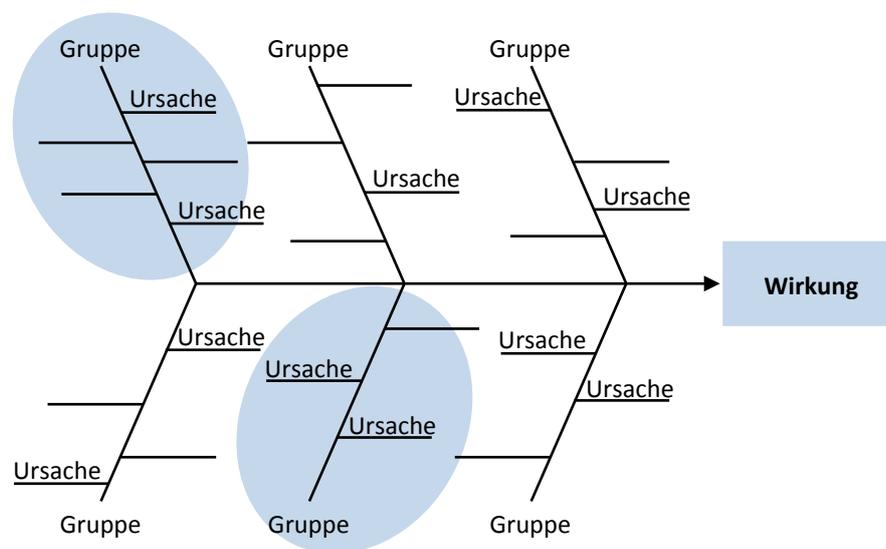


Abbildung 3.41.: Grundstruktur eines Ishikawa-Diagramms (in Anlehnung an Ophey, 2005, S. 44)

diverser Kreativitätstechniken gesammelt und anschließend in das Diagramm eingetragen. Dabei können die Ursachen zur besseren Übersicht nach gewissen Kriterien gruppiert und auf einer gemeinsamen Fischgräte platziert werden. Die Ursachen können beispielsweise vom Menschen, Material, der Methode oder Maschine ausgehen. (Ophey, 2005, S. 44)

Mithilfe eines Ishikawa-Diagramms lassen sich alle Einflüsse und Ursachen für einen gewissen Zustand einfach und leicht verständlich darstellen. Die Methode ist auch für größere Gruppen geeignet und fördert den Informationsaustausch unter den Beteiligten. Bei komplexen Problemen wird die Darstellung allerdings schnell unübersichtlich. (Ophey, 2005, S. 45)

3.3.3. Tor Nr. 2

Kriterium	Ziel
Gesamtkonzept	Möglichkeit der Realisierung, Funktionserfüllung gegeben
Varianten, Lösungen	ausreichende Übersicht gegeben, Beitrag zum Gesamtkonzept
kritische Komponenten	Bekanntheit und Verständnis
Entscheidung	möglich für ein Lösungskonzept, Nachvollziehbarkeit der Entscheidung, Vertretbarkeit und Tragbarkeit nach Innen und Außen
finanzielle Bewertung	Kosten und Nutzen der Alternative abgeschätzt
weiteres Vorgehen	Klarheit im Projektteam, Aktivitäten geplant

Tabelle 3.7.: Mögliche Kriterien zur Evaluierung der Hauptstudie (in Anlehnung an Haberfellner et al., 2012, S. 70; Burgelman et al., 2004, S. 896)

Um weiter in die Detailstudie gehen zu dürfen, müssen während der Hauptstudie gewisse Ziele erfüllt und Aktivitäten stattgefunden haben. Die Erfolgskontrolle findet anhand vorher definierter Kriterien statt, wovon einige mögliche in Tabelle 3.7 aufgelistet sind. Je nach Zielerfüllung wird zwischen Übergang zur Detailstudie, teilweiser bzw. kompletter Wiederholung der Hauptstudie oder Projektabbruch entschieden. (Cooper, 2002, S. 145ff)

3.4. Detailstudie - Konkretisierung der Gestalt

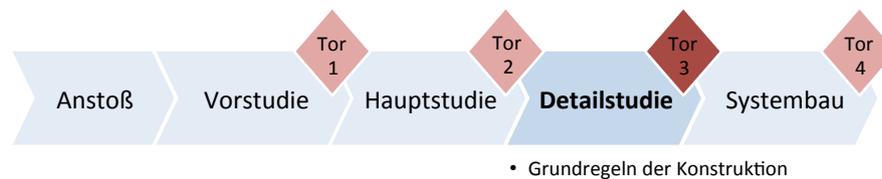


Abbildung 3.42.: Detailstudie im Ablauf des Phasenmodells (eigene Darstellung)

Die Detailstudie dient der Verknüpfung der abstrakten Lösungen mit geometrischen und stofflichen Merkmalen in Bezug auf die konkrete Aufgabe. Dabei werden einzelne Teilaspekte, die genauerer Betrachtung bedürfen, gesondert behandelt. Im Zuge der Detailstudie wird das Gesamtkonzept so ausführlich ausgestaltet, dass ein anschließender Systembau der entwickelten umsetzungsfähigen Lösung ermöglicht wird. Handelt es sich bei dem Entwicklungsobjekt um ein physisches, so ist das Ziel der Detailstudie die abgeschlossene Konstruktion der Einzelteile inklusive der zur Fertigung und anschließendem Zusammenbau benötigten Dokumentation, siehe Abbildung 3.42.

Die Aufgaben können auch auf mehrere Detailstudien verteilt werden, damit diese nicht zu umfangreich und leichter handhabbar sind. (Haberfellner et al., 2012, S. 70)

Da die Darstellung einer Konstruktionsmethodik nicht Ziel der vorliegenden Arbeit ist, wird darauf nicht näher eingegangen. Allerdings werden die Grundregeln der Konstruktion als übergeordnetes Regelwerk besprochen.

3.4.1. Grundregeln der Konstruktion

Im Fall der Produktentwicklung findet während dieser Phase die Gestaltung des Produkts statt. Diese besteht im Wesentlichen aus der Konstruktion der Bauteile. Hierfür gibt es essenzielle Grundregeln, die zu sicheren und kostengünstigen Produkten führen sollen. Deren Kernaussagen werden nachfolgend besprochen. (Feldhusen & Grote, 2013, S. 494)

3.4.1.1. Eindeutige Gestaltung

Eine eindeutige Gestaltung ist für das Endprodukt wichtig, da dadurch die Funktionalität gesichert wird. Weiters führt die eindeutige Gestaltung der Lösung zu kostengünstigen Produkten. So kann beispielsweise der Montageprozess durch eindeutig und nur richtig montierbare Teile erleichtert und weniger fehleranfällig gemacht werden. Dies führt zu einem geringeren Bedarf an Nacharbeit und somit zu einer Kostensenkung. (Feldhusen & Grote, 2013, S. 494f)

Die im Sinne einer eindeutigen Gestaltung zu beachtenden Kriterien werden nachfolgend dargestellt (Feldhusen & Grote, 2013, S. 495ff):

Funktion Eine lückenlose Zuordnung der Teilfunktionen mit den jeweiligen Ein- und Ausgangsgrößen innerhalb der Funktionsstruktur muss gewährleistet sein.

Wirkprinzip Die physikalischen Zusammenhänge des Wirkkonzepts müssen Ursachen und Wirkungen aufweisen. Ein geordneter Kraft-, Informations- und Energiefluss ist sicherzustellen. Andernfalls kann es zu ungewollten Spitzen von Kräften, Momenten, und dergleichen kommen, was erhöhten Verschleiß und schlimmstenfalls ein frühzeitiges Versagen des Produkts zur Folge hat. Die Dehnungsrichtungen sind zu beachten und in der Konstruktion zu berücksichtigen, wie beispielsweise bei der kombinierten Verwendung von Fest- und Loslagern. Auch auf die Vermeidung von Doppelpassungen, eine gleichzeitige Führung bzw. Abstützung an zwei oder mehr Punkten, ist zu achten.

Auslegung Der vorherrschende Lastzustand ist für die Auslegung und Wahl des Werkstoffs von großer Bedeutung. Dieser ist abhängig von der Größe, Art, Häufigkeit und Einwirkdauer der Kräfte. Die ermittelten Lasten müssen vom Bauteil oder Produkt über die geplante Lebensdauer verkraftbar sein und nicht ertragbare Belastungszustände vermieden werden.

Ergonomie Speziell bei Produkten, welche eine hohe Mensch-Maschine-Interaktion aufweisen, ist auf eine einfache Bedienung zu achten.

Fertigung und Kontrolle Die zur Fertigung benötigten Unterlagen sind in Form von Zeichnungen, Modellen, Stücklisten und Anweisungen vorzulegen. Im Gegenzug kann der Konstrukteur ein Fertigungsprotokoll zur Überprüfung von kritischen Fertigungsschritten von der Produktion fordern.

Montage und Transport Die Bauteile sind so zu konstruieren, dass eine einfache und zwangsläufig richtige Montage gewährleistet ist.

Gebrauch und Instandhaltung Wartungen sollen einfach durchführbar sowie deren Zeitpunkt und Umfang klar definiert sein. Eine Kontrolle des Wartungserfolges muss ebenfalls gegeben sein.

Recycling Besteht das Produkt aus verschiedenen Materialien, so ist auf deren einfache Trennung nach Außerdienststellung zu achten. Die Demontage ist durch eine Dokumentation zu unterstützen.

3.4.1.2. Einfache Gestaltung

Die Vermeidung von zusammengesetzten, unübersichtlichen und mit hohem Aufwand verbundenen Lösungen ist ein zentraler Punkt in der Konstruktion. Je weniger Teile und Komponenten zur Realisierung einer Lösung nötig sind, desto geringer ist auch die Wahrscheinlichkeit, dass während der Fertigung Fehler passieren. Somit kann das Produkt günstig hergestellt werden. Allerdings ist dies nur der Fall, wenn sich dadurch die Kompliziertheit der wenigen Einzelteile nicht stark erhöht. In der Praxis gilt es, eine für den vorliegenden Fall optimale Balance zwischen den beiden Extremen der Integral- und Differenzialbauweise zu finden. (Feldhusen & Grote, 2013, S. 501)

3.4.1.3. Sichere Gestaltung

Die Sicherheit des Produkts steht, vor allem wenn es in direktem Kontakt mit Menschen und Umwelt steht, an oberster Stelle. Ein Produkt gilt als sicher, wenn es seine technischen Funktionen zuverlässig innerhalb der definierten Betriebsumgebung und -verhältnisse erfüllt und dabei keine Gefahr für Mensch und Umwelt darstellt. Zur Gewährleistung der Betriebssicherheit müssen Produkte unterschiedliche Tests und Prüfverfahren durchlaufen. Diese sind abhängig von der Produktkategorie und dem jeweiligen Einsatzort. (Feldhusen & Grote, 2013, S. 505ff)

Von einem Produkt gehen deterministische und stochastische Gefährdungen aus (Feldhusen & Grote, 2013, S. 511f):

deterministische Gefährdungen Diese sind über die gesamte Produktlebensdauer in konstanter Höhe vorhanden. Sie existieren aufgrund funktioneller Gegebenheiten, beispielsweise durch die geforderte Interaktion des Menschen mit einer Maschine. Diesen Gefahren kann durch Schutzmaßnahmen der Sicherheitstechnik entgegengewirkt werden.

stochastische Gefährdungen Sie treten überwiegend am Beginn und am Ende der Lebensdauer des Produkts auf und sind meist auf ein Bauteilversagen zurückzuführen. Die Erkennbarkeit dieser Gefährdungen erweist sich als besonders schwierig, weshalb es mitunter zu ernsthaften Unfällen mit weitreichenden Folgen für die betroffenen Personen kommen kann.

Es existieren drei Konstruktionsprinzipien, die zur Minimierung der von Produkten ausgehenden Gefährdungen angewandt werden:

Prinzip des sicheren Bestehens Durch ausreichende Dimensionierung soll ein Versagen der Bauteile und dadurch des Produkts während der geplanten Lebensdauer ausgeschlossen werden. Dies setzt eine exakte Kenntnis der wirkenden Belastungen und das Ausbleiben von unerwarteten Zuständen während des Betriebs voraus. Speziell bei wartungsfreien Produkten kommt dieses Prinzip zur Anwendung. (Feldhusen & Grote, 2013, S. 519ff)

Prinzip des beschränkten Versagens Hier sind die Systeme und Bauteile so konzipiert, dass ein Ausfall zwar grundsätzlich passieren kann, sich der dabei entstehende Schaden aber in vorher definierten Grenzen hält (*fail-safe-Prinzip*). Dieses Prinzip kommt beispielsweise bei Lastkraftwagen mit pneumatisch betätigten Bremsen zur Anwendung. Kommt es zu einem Druckabfall im Druckluftsystem, welches auch die Bremsen betätigt, so wirken die vorgespannten Federspeicher auf die Feststellbremse und bringen das Fahrzeug zum Stillstand. (Feldhusen & Grote, 2013, S. 521f)

Prinzip der Redundanz Bei redundant arbeitenden Systemen erfüllen mehrere Baugruppen dieselben Funktionen, wodurch ein Ausfall einer Baugruppe ohne Gefahr überstanden werden kann. Dies ist z.B. bei Flugzeugen der Fall, die meist über drei redundant arbeitende Bordcomputer verfügen. (Feldhusen & Grote, 2013, S. 522f)

3.4.2. Tor Nr. 3

Kriterium	Ziel
Anforderungen	Die konstruierten Bauteile müssen die gestellten Anforderungen erfüllen.
Kompatibilität	Die Bauteile müssen sich in das Gesamtprodukt einfügen lassen.
Sicherheit	Die Betriebssicherheit muss gegeben sein.
Konkretisierungsgrad	Das Produkt muss so weit konkretisiert sein, dass es sich fertigen lässt.
Dokumentation	Die zur Fertigung benötigten Unterlagen müssen vorhanden sein.

Tabelle 3.8.: Mögliche Kriterien zur Evaluierung der Detailstudie (in Anlehnung an Haberfellner et al., 2012, S. 71; Feldhusen & Grote, 2013, S. 500)

Um den Erfolg der Detailstudien zu evaluieren und eventuelle Verbesserungsmaßnahmen einzuleiten, ist die Zielerreichung anhand bestimmter Kriterien zu überprüfen. Tabelle 3.8 listet mögliche Kriterien zur Detailstudienevaluierung auf. Werden die Kriterien erfüllt, so steht dem Systembau nichts im Wege, andernfalls muss eine oder mehrere Iterationen der Detailstudie durchgeführt werden. (Cooper, 2002, S. 145ff)

3.5. Systembau - Proof of Concept

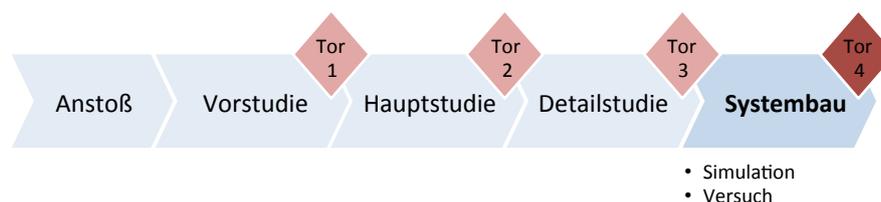


Abbildung 3.43.: Systembau im Ablauf des Phasenmodells (eigene Darstellung)

Der Systembau des ausgearbeiteten PL-VMs, ersichtlich in Abbildung 3.43, beschäftigt sich mit der Erprobung der umsetzungsfähigen Lösung (Haberfellner et al., 2012, S. 71). Hierzu werden

Simulationen angestellt, ein oder mehrere Prototypen gebaut und diese gewissen Funktionstests unterzogen. Somit unterscheidet man hierbei zwischen virtuellen und physischen Analysemethoden. (Bertsche & Bullinger, 2007, S. 9)

Diese Methoden werden nachfolgend überblicksartig besprochen.

3.5.1. Simulation

Simulationsmethoden sind rechnerunterstützte Verfahren zur Validierung der Eigenschaften einer Konstruktion. In diesem Zusammenhang fällt häufig der Begriff *Digitaler Mock-Up (DMU)*. Darunter versteht man das dreidimensionale Modell des Gesamtobjekts, welches für die verschiedenen Analysen herangezogen wird. Anhand des DMUs wird beispielsweise analysiert, ob sich ein Bauteil überhaupt in das vorgegebene System einbauen lässt, ohne mit vorhandenen Teilen zu kollidieren. (Gausemeier et al., 2001, S. 413)

Zur Festigkeitsanalyse von Bauteilen und -gruppen werden Strukturanalysen nach der Finite Elemente Methode (FEM) durchgeführt. Dabei werden komplexe Bauteile und Einzelteile aus einfachen Objekten, den finiten Elementen, zusammengesetzt, welche über Knoten miteinander verbunden sind. Für jedes dieser Elemente werden die physikalischen Zustandsgrößen beschrieben. Durch die Verbindungen mittels der Knoten entsteht ein Gesamtsystem, welches über ein Gleichungssystem näherungsweise beschrieben werden kann. Dieses Gleichungssystem wird durch Anwendung numerischer Verfahren gelöst bzw. angenähert, wodurch sich für jeden Knoten die unbekannt Größen (z.B. Verschiebungen und Verdrehungen) ermitteln lassen. Diese lassen sich anschließend über Materialgesetze in weitere Größen wie Spannungen und Dehnungen umrechnen. Je mehr Knoten im Modell vorhanden sind, desto genauer lassen sich die gewünschten Werte berechnen, allerdings steigt mit Erhöhung der Knotenanzahl auch der Rechenaufwand schnell an. (Gausemeier et al., 2001, S. 439ff)

Die Bewegung von Körpern und Systemen lässt sich durch die Simulation von Mehrkörpersystemen (MKS) analysieren. MKS Simulationen behandeln sowohl die Kinematik als auch die Dynamik von Objekten (Gausemeier et al., 2001, S. 425):

- Kinematik: Die Kinematik umfasst die Bewegung starrer Körper, ohne dass die wirkenden Kräfte und Momente berücksichtigt werden.
- Dynamik: Sie beschreibt das Systemverhalten aufgrund der inneren und äußeren Kraft- und Momenteneinwirkung.

Die kinematische Analyse dient hauptsächlich zur Positionsbestimmung der Einzelnen Bauteile

nach einer bestimmten Verschiebung. Dazu werden die starren Körper über verschiedene Gelenke unterschiedlicher Freiheitsgrade miteinander verbunden und bewegt. Dieses Verfahren kommt bei den schon erwähnten Kollisionsprüfungen zur Anwendung.

Wird die Dynamik eines Systems betrachtet, so ist dieses durch ein Ersatzsystem zu beschreiben. Dieses besteht ebenfalls aus starren Körpern, jedoch besitzen diese eine Masse und dadurch Trägheitseigenschaften. Die Körper sind über Federn und Dämpfer miteinander verbunden, weshalb man von einem *Masse-Feder-Dämpfer-System* spricht. Aus dem physikalischen Ersatzmodell wird ein mathematisches, meist nichtlineares Differentialgleichungssystem abgeleitet, welches durch numerische Methoden gelöst wird. Somit erhält man die gesuchten Größen. (Gausemeier et al., 2001, S. 425ff)

DMUs und Simulationen führen zu Zeit- und Kostenersparnissen in der Entwicklung, da sie den aufwändigen und zeitintensiven Bau und Test teurer physischer Prototypen teilweise sogar vollständig ersetzen. Der Einsatz der Simulationsmethoden setzt jedoch hohe Anwenderkenntnisse sowie eine IT-Ausstattung mit entsprechender Hard- und Software voraus. (Gausemeier et al., 2001, S. 383f)

3.5.2. Versuch

Speziell bei Fällen, wo neue Werkstoffe zum Einsatz kommen, sind Versuche den Simulationen vorzuziehen, da oft keine detaillierten Stoffgesetze existieren und Versuche die Realität besser abbilden (Ehrlenspiel & Meerkamm, 2013, S. 523). Hierbei wird ein Prototyp unter realen Einsatzbedingungen überprüft. Dadurch werden Aussagen über die Eigenschaften des Testobjekts sowie die tatsächliche Erfüllung der Anforderungen ermöglicht. Im Zuge der Versuchsplanung werden die zu untersuchenden Parameter definiert. Weiters ist es notwendig, die möglichen Störgrößen, welche die Messergebnisse beeinflussen, qualitativ und quantitativ zu erfassen. Somit lässt sich die Güte der durchgeführten Messungen abschätzen. Nach Beendigung des Versuchs erfolgen die Auswertung und Dokumentation der Ergebnisse. (Lindemann, 2009b, S. 323)

Es gibt verschiedene Arten zur Einteilung von Versuchen. Die nachfolgende Gliederung stellt eine Möglichkeit der Differenzierung dar (Ponn & Lindemann, 2011, S. 174f):

Komponententest Bei einem Komponententest werden einzelne Module des Endprodukts einem Test unterzogen. Dies vereinfacht die Versuchsdurchführung und lässt eine Fokussierung auf die Parameter des Moduls zu. Somit können diese genauer analysiert werden als es in einem Test des Gesamtsystems möglich wäre.

Integrationstest Hierbei wird das Zusammenspiel eines oder mehrerer neuer Module mit dem Gesamtsystem betrachtet und beurteilt. Integrationstests finden häufig bei Neuentwicklungen von bestimmten Baugruppen eines bestehenden Produkts statt.

Systemtest Dabei wird das Gesamtsystem einem Test unterzogen. Dadurch lässt sich beurteilen, ob die Anforderungen an das finale Produkt erfüllt werden.

Versuche sind ein probates Mittel zur Überprüfung von Neuentwicklungen. Vor allem bei kritischen Bauteilen und Systemen, welche nur unzureichend simuliert werden können, kommen sie zur Anwendung. Sollten die Versuchsergebnisse stark von den subjektiven Erwartungen abweichen, so empfiehlt sich eine Wiederholung der durchgeführten Tests, um die Ergebnisse zu validieren. Versuche lassen detaillierte Aussagen über die Eigenschaften von Komponenten und Gesamtsystemen zu, sind jedoch meist teuer und zeitintensiv. (Lindemann, 2009b, S. 323; Feldhusen & Grote, 2013, S. 756)

3.5.3. Tor Nr. 4

Um die Phase des Systembaus erfolgreich abzuschließen, müssen bestimmte Ziele erfüllt und Fragen beantwortet sein. Mögliche Kriterien sind in Tabelle 3.9 angeführt. Sind die Simulationen

Kriterium	Ziel
Festigkeit	Das Testobjekt muss den Belastungen über die gesamte geplante Lebensdauer standhalten.
Integration	Die Einzelmodule müssen sich in das Gesamtsystem integrieren lassen.
Funktion	Die einwandfreie Funktion und Erfüllung der gestellten Aufgaben muss gewährleistet sein.

Tabelle 3.9.: Mögliche Kriterien zur Evaluierung des Systembaus

und Versuche zufriedenstellend verlaufen, so ist die ausgewählte Lösung bis zur Serienreife und abschließenden Markteinführung weiterzuentwickeln.

4. Anwendung des Prinziplösungs-Vorgehensmodells

Nachfolgend werden als Grundlage unter Punkt 4.1 die Funktionsweise eines hermetischen Kältemittelkompressors und der Kühlkreislauf eines Kompressorkühlschranks erklärt.

Anschließend werden in den Abschnitten 4.2 und 4.3 Teilaspekte des PL-VMs für das Ventilsystem des Kältemittelkompressors angewendet. Dabei wird auf den Anstoß eingegangen und die Vorstudie durchlaufen. Somit wird eine Basis für die weitete Bearbeitung der Thematik innerhalb der Hauptstudie geschaffen.

4.1. Grundlagen des Kompressorkühlschranks

Es wird nun kurz die Funktionsweise eines Kältemittelkompressors sowie seine Anwendung im Kühlkreislauf erklärt.

4.1.1. Kältemittelkompressor

Der Aufbau eines hermetischen Kältemittelkompressors ist in Abbildung 4.3 ersichtlich. Ein Einphasen-Asynchronmotor treibt die Kurbelwelle an. Während des Startvorgangs ist dessen Hilfsfeld für rund eine halbe Sekunde unter Spannung, um den Anlauf zu ermöglichen. Die Kurbelwelle (Crankshaft) treibt über eine Exzentrizität und die Pleuelstange (Conrod) den Kolben (Piston) an. Bei einer Kolbenbewegung vom oberen zum unteren Totpunkt wird gasförmiges Kältemittel durch das Saugventil (Suction Valve) in den Zylinder gesaugt. Bei der anschließenden Bewegung vom unteren zum oberen Totpunkt wird das Gas komprimiert, bis der Zylinderdruck größer als der druckseitige Druck ist. Dann öffnet das Druckventil (Discharge Valve) selbsttätig und das Kältemittel wird aus dem Zylinder geschoben.

Zur Pulsationsdämpfung des Gases werden Dämpfungskammern (Suction und Discharge Muffler) verwendet, wodurch das Betriebsgeräusch reduziert wird.

Die Schmierung der beweglichen Bauteile erfolgt durch Öl, welches durch eine schräge Ölförderbohrung und die auftretenden Fliehkräfte in der Kurbelwelle nach oben gefördert wird und sich dort gleichmäßig verteilt. Der Kompressor ist hermetisch dicht von einem Gehäuse (Shell) umschlossen. (Secop Austria, 2012, S. 27f)

4.1.2. Kühlkreislauf

Als Kältemittel kommt Isobutan (R600a) zum Einsatz. Dessen Normwerte bei den Bedingungen, wie sie die *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) definiert und auch innerhalb der Secop verwendet werden, sind in Tabelle 4.1 angegeben.

Verdampfungstemperatur bei 0,627 bar in °C	-23.3
Kondensationstemperatur bei 7,780 bar in °C	55.0

Tabelle 4.1.: Normwerte für R600a (in Anlehnung an Secop Austria, 2014d, S. 2)

In Abbildung 4.1 ist der Vergleichsprozess eines Kühlkreislaufs im TS-Diagramm dargestellt. Nach Eintritt in den Kompressor (Punkt 1) wird das Gas von 0,627 auf 7,78 bar verdichtet (von Punkt 2 auf 3) und gelangt aus dem Kompressor in den Kondensator (Punkt 4). Bei Raumtemperatur gibt das Gas nun Wärmeenergie an die Umgebung ab und wird verflüssigt (Kondensationstemperatur 55 °C, Punkt 4 bis 5). Nach vollständiger Verflüssigung und Unterkühlung (Punkt 5) erfolgt eine Druckreduktion durch ein Kapillarrohr auf 0,627 bar, was dem Saugdruck entspricht und wodurch sich eine Siedetemperatur des Kältemittels von -23.3 °C einstellt (Punkt 6). Da das Innere des Kühlschranks wärmer als diese Temperatur ist, nimmt das Kältemittel Wärmeenergie aus dem Innenraum auf und verdampft, wodurch es zu einer Kühlung des Innenraums kommt (Punkt 6 bis 1). Das Gas wird nun wieder vom Kompressor angesaugt und verdichtet. (Secop Austria, 2014d, S. 2f)

Eine bedeutende dimensionslose Kennzahl für Kompressoren ist der COP, der das Verhältnis von aus dem Kühlgerät abgeführter Wärmemenge zu elektrischer Eingangsleistung des Kompressors bei den Normbedingungen laut Tabelle 4.1 angibt (Secop Austria, 2014d, S. 3):

$$\text{COP [-]} = \frac{\text{Kälteleistung}}{\text{elektrische Eingangsleistung}}$$

Der theoretisch maximale COP für einen verlustfreien Kompressor beträgt 2,7 bei einer Umgebungstemperatur von 32 °C (Secop Austria, 2014d, S. 4).

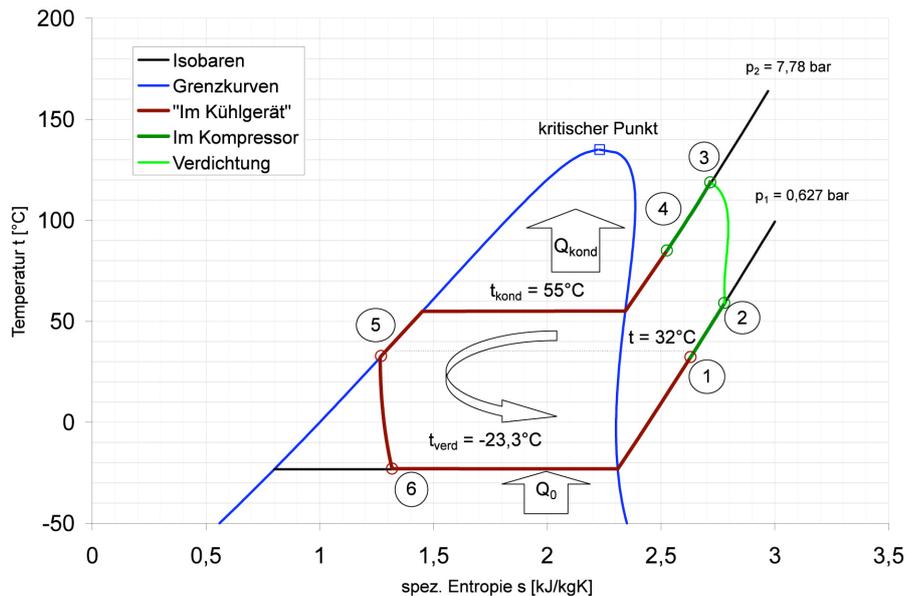


Abbildung 4.1.: Vergleichsprozess für Betriebsbedingungen nach ASHRAE im TS-Diagramm (Freiberger, 2003, S. 22)

4.2. Anstoß

Ein wesentlicher Fokus der Bemühungen innerhalb der Entwicklungsabteilung der Secop liegt auf der Verbesserung des COPs. Da auf das Ventilsystem rund 22 % der Gesamtverluste des Kompressors entfallen, soll dessen Optimierung in Zukunft vermehrte Aufmerksamkeit geschenkt werden. (Secop Austria, 2014e, S. 2)

Somit entstand innerhalb der Secop der Wunsch nach einer Vorgehensmethodik, welche die Suche nach Prinzipiellen Lösungen für ein neuartiges Ventilsystem unterstützt. Diese Methodik soll auch auf andere Komponenten des Kältemittelkompressors anwendbar sein, weshalb sie generisch zu gestalten ist. Aus diesem Grund kam es zur Entscheidung, die Masterarbeit in Auftrag zu geben und letztendlich mit der Anwendung des entwickelten Vorgehensmodells zu beginnen. (Secop Austria, 2014b, S. 4f)

4.3. Vorstudie

Für die zukünftige Kompressorplattform ACT soll ein neuartiges Ventilsystem entwickelt werden, da die derzeit verwendete Technologie keinen wesentlichen Entwicklungsspielraum mehr zu bieten

scheint. Dazu sollen alternative Lösungsprinzipien zu dem aktuell verwendeten gefunden und auf deren Tauglichkeit untersucht werden. Abbildung 4.2 gibt einen Überblick über die im Zuge der Vorstudie durchgeführten Tätigkeiten. (Secop Austria, 2014b, S. 6f)

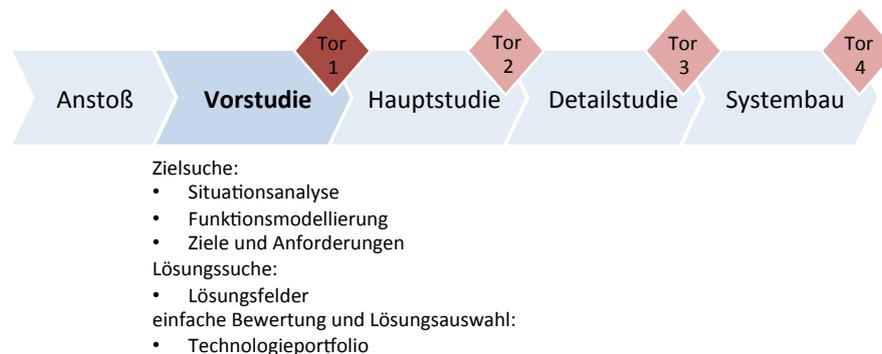


Abbildung 4.2.: Innerhalb der Vorstudie durchgeführte Tätigkeiten (eigene Darstellung)

Stand der Technik ist ein Ventilsystem, welches aus Ventilplatte und je einem Lamellenventil für die Saug- und Druckseite aufgebaut ist. Die Betätigung der Ventillamellen, welche aus Federstahl (7C27Mo2) bestehen, erfolgt ausschließlich durch den Druckunterschied, der zwischen Zylinderinnenraum und Saug- bzw. Druckseite herrscht. Hierbei kommt es zu Verlusten, die durch das neue Ventilsystem verringert werden sollen. (Secop Austria, 2014d, S. 5)

4.3.1. Situationsanalyse

Die Abgrenzung des Problems ist in Abbildung 4.3 ersichtlich. Als Problemfeld wurde die Kopfgruppe des Kompressors angenommen, welche das Ventilsystem neben anderen Komponenten beinhaltet. Der Eingriffsbereich liegt im Ventilsystem selbst. Ventilplatte, Saug- und Druckventil wurden als eigenständige Lösungsbereiche definiert, für welche eine Neugestaltung angestrebt wird. Der Wirkungsbereich ist jedoch weitaus größer als der Problembereich, da das Ventilsystem weitreichenden Einfluss auf die anderen Funktionsgruppen hat. Das Ventilsystem funktioniert beispielsweise nur bis zu einer gewissen Drehzahl des Kompressors. Somit beeinflusst es das Motorkonzept, damit die Größe des Gehäuses und die Kinematik. Abbildung 4.3 zeigt eine Explosionszeichnung der aktuellen Delta Kompressorplattform mit einer Abgrenzung der verschiedenen Bereiche, wobei die einzelnen Lösungsbereiche in der Detailansicht erkennbar sind.

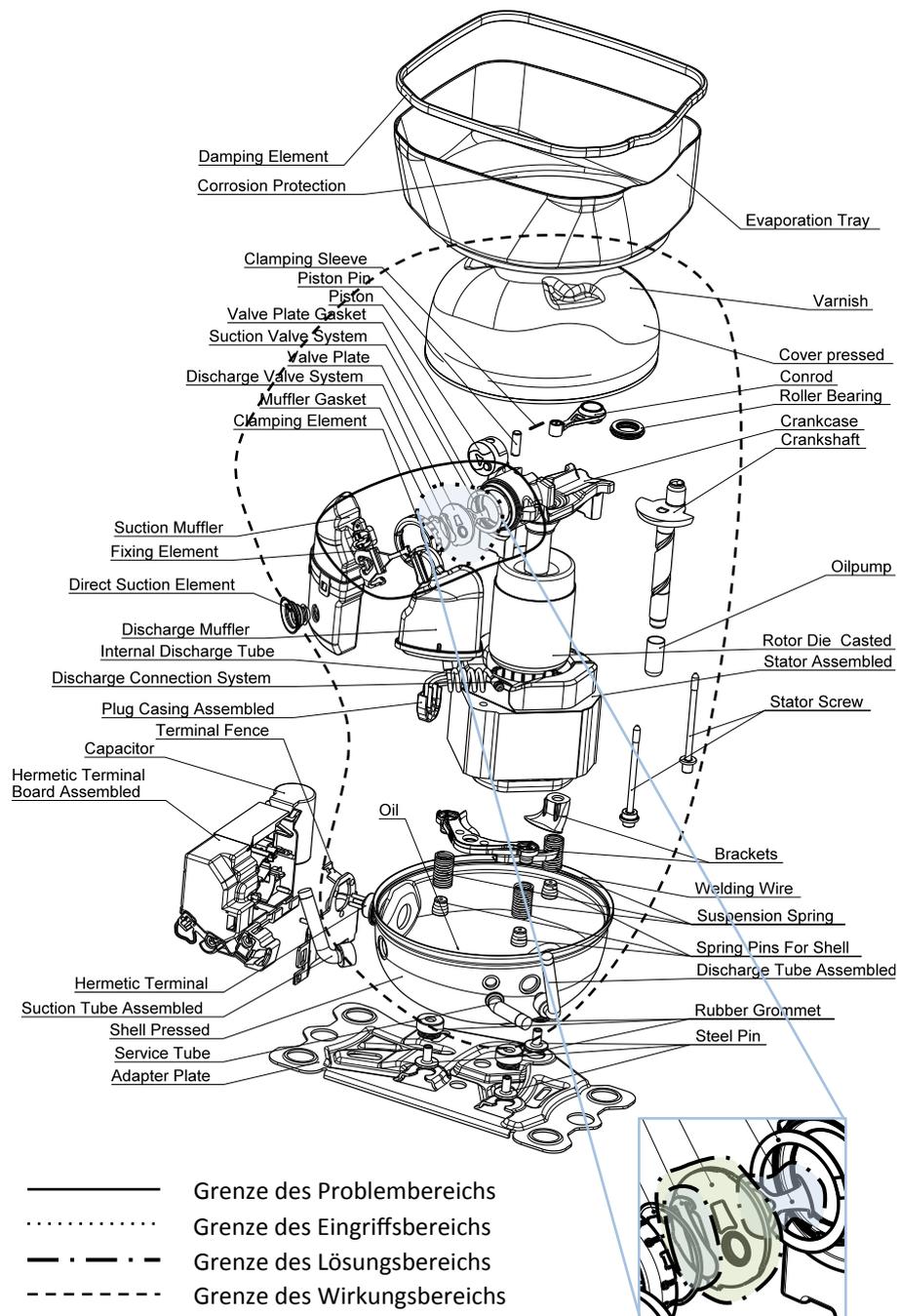


Abbildung 4.3.: Abgrenzung des Ventilsystems Anhand eines Delta Kompressors (in Anlehnung an Secop Austria, 2014c, S. 1)

4.3.2. Funktionsmodellierung

Die Funktionsmodellierung des Ventilsystems baut auf der Arbeit von Amtmann (2014, S. 67) auf, im Zuge derer eine Modellierung der Kopfgruppe durchgeführt wurde. Das Ergebnis ist in Abbildung 4.4 gezeigt. Da es sich bei einem Kältemittelkompressor um ein Industriegut handelt,

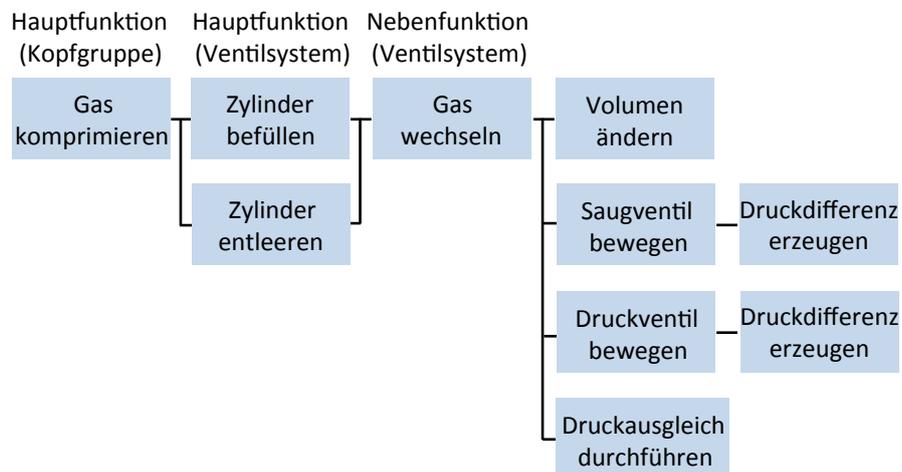


Abbildung 4.4.: Funktionsmodellierung des Ventilsystems (in Anlehnung an Amtmann, 2014, S. 67)

hat er überwiegend Gebrauchsfunktionen zu erfüllen. Dies gilt insbesondere für das Ventilsystem. (Amtmann, 2014, S. 54f)

4.3.3. Ziele und Anforderungen

Die Anforderungen an das Ventilsystem ACT wurden in einem Lastenheft festgehalten, welches im Zuge der Masterarbeit verfasst wurde und im Anhang unter A.1 angehängt ist. Darin wird die vorliegende Situation detailliert beschrieben und sowohl qualitative als auch quantitative Ziele für das neu zu entwickelnde Ventilsystem genannt.

Das Lastenheft wurde an ausgewählte Ventilhersteller, die als zukünftige Partner bei der Entwicklung des Ventilsystems ACT in Frage kommen, übermittelt.

4.3.4. Lösungsfelder

Zum Erreichen der Ziele wurden während einer Befragung drei verschiedene Lösungsfelder identifiziert, welche nachfolgend erklärt werden und im Lastenheft auf Seite A 10 detaillierter beschrieben sind (Ses-tec, 2014, S. 3ff):

Designänderung Durch eine Veränderung des Designs der Ventilplatte und der beiden Ventillamellen kann der Wirkungsgrad des Kompressors erhöht werden. Dies erfordert eine Neukonstruktion und -auslegung der drei Elemente.

erregtes Ventil Die Öffnung der Ventile wird auf noch nicht definierte Weise unterstützt, indem für eine kurze Zeitdauer eine Kraft auf diese wirkt. Dies kann auf verschiedene Arten realisiert werden, beispielsweise mechanisch oder magnetisch. Jedoch muss die Kraft zum richtigen Zeitpunkt auf das Ventil wirken, sodass zusätzlich zur Aktorik eine Sensorik benötigt wird.

gesteuertes Ventil Durch eine aktive Steuerung der Ventile können diese unabhängig von der Kurbelwellenposition geöffnet und geschlossen werden. Dazu ist ebenfalls eine Sensorik zur Bestimmung der Kurbelwellenposition sowie eine Aktorik zur Betätigung der Ventile notwendig.

4.3.5. Bewertung der Lösungsfelder und Auswahl

Um eine Entscheidung für eines der drei gefundenen Lösungsfelder zu ermöglichen, wurden diese in verschiedenen Dimensionen bewertet und anschließend in einem Technologieportfolio gegenübergestellt.

Variante	Technologieattraktivität			Ressourcenstärke		
	Potential	Bedarf	Mittelwert	Finanzstärke	Know-how	Mittelwert
Designänderung	3	9	6	9	9	9
erregtes Ventil	3	9	6	3	1	2
gesteuertes Ventil	9	9	9	1	1	1

Tabelle 4.2.: Punktebewertung der drei Lösungsfelder (in Anlehnung an Berger et al., 2014)

Die drei Lösungsfelder wurden nach ihrer Attraktivität und der zur Umsetzung vorhandenen Ressourcenstärke bewertet.

Die Bewertung in den einzelnen Kategorien erfolgte nach einer Punktebewertung, welche im Zuge

einer Besprechung innerhalb der Secop durchgeführt wurde. Für eine niedrige Bewertung wurde ein Punkt, für eine mittlere drei, für eine hohe neun Punkte vergeben. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4.2 zusammengefasst. Die Mittelwerte ergeben sich jeweils aus den beiden Dimensionen der Technologieattraktivität und der Ressourcenstärke. (Berger et al., 2014)

Variante	Absolutwerte			Änderungen	
	Q ₀ [W]	P _{el} [W]	COP [-]	Q ₀ [%]	COP [%]
Referenz	89,89	51,96	1,73	0,00	0,00
Designänderung	101,15	54,12	1,87	12,53	8,04
erregtes Ventil	97,70	51,79	1,89	8,69	9,05
gesteuertes Ventil	99,43	52,13	1,91	10,61	10,25

Tabelle 4.3.: Optimierungspotential des Saugventils (in Anlehnung an Ses-tec, 2014, S. 28)

Die Kategorien *Bedarf*, *Finanzstärke* und *Know-how* wurden im Zuge der Besprechung analysiert und bewertet. Der Bedarf nach der Technologie und eine damit einhergehende Verringerung der Verluste ist in jedem Fall gegeben. Eine ausreichende Finanzstärke und Know-how sind hauptsächlich für die Designänderung gegeben, da sich die Secop in der Vergangenheit weder mit erregten noch gesteuerten Ventilen beschäftigt hat. Hier muss erst Wissen angeeignet und eine Finanzierungsmöglichkeit gefunden werden. (Berger et al., 2014)

Die Bewertung des *Potentials* der Technologieattraktivität basierte auf einer externen Studie für das Saugventil der Firma Ses-tec. Aus ihr geht hervor, dass eine Designänderung schon eine wesentliche Verbesserung des Wirkungsgrades mit sich bringt. Eine Erregung oder gar vollständige Steuerung wirkt sich nur mehr unwesentlich aus, was aus den Daten in Tabelle 4.3 ersichtlich ist. Für das Druckventil gilt sinngemäß dasselbe, wenngleich die Verluste und damit die Potentiale dort nur ein Viertel der Werte des Saugventils betragen. (Ses-tec, 2014, S. 3ff)

Aufbauend auf der Punktebewertung erfolgte eine Einteilung innerhalb der Technologieportfolio-Matrix, wie sie in Abbildung 4.5 zu sehen ist. Es lässt sich erkennen, dass die Designänderung als beste Lösung hervorgeht. Ein gesteuertes Ventil weist die höchste Technologieattraktivität auf, jedoch ist die notwendige Ressourcenstärke nicht vorhanden. Das erregte Ventil weist die gleiche Technologieattraktivität wie die Designänderung auf, jedoch eine deutlich geringere Ressourcenstärke. (Berger et al., 2014)

Aufgrund dieser Bewertung empfiehlt sich das Lösungsfeld der Designänderung für die weitere Lösungssuche innerhalb der Hauptstudie.

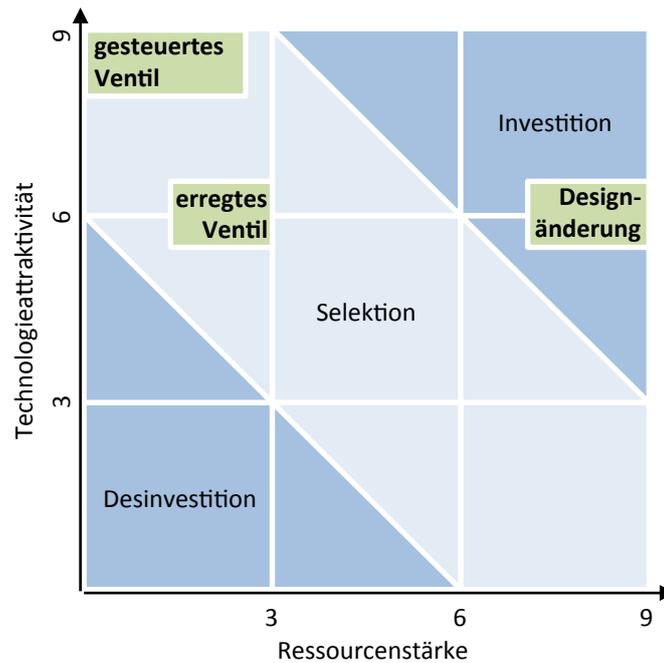


Abbildung 4.5.: Einordnung der drei Lösungsfelder innerhalb des Technologieportfolios (eigene Darstellung in Anlehnung an Berger et al., 2014)

4.3.6. Tor Nr. 1

Alle in Tabelle 3.3 genannten Kriterien zur Evaluierung der Vorstudie wurden erfüllt. Das Problem wurde klar definiert und ausreichend abgegrenzt. Der Gestaltungsbereich wurde bestimmt und die Ziele und Anforderungen an das neue Ventilsystem in einem Lastenheft dokumentiert. Die drei gefundenen Lösungsfelder wurden bewertet und somit eine Grundlage für die weitere Bearbeitung innerhalb der Hauptstudie geschaffen.

Diese ist jedoch nicht mehr Teil der vorliegenden Arbeit, sondern wird im Zuge der Entwicklungstätigkeiten der Secop durchgeführt.

5. Fazit und Ausblick

Entwicklungsprojekte laufen oftmals ungeordnet und eher zufällig als geplant ab. Besonders bei umfangreichen Projekten kann dies zu einem Mangel an Qualität und Ressourcenverschwendung führen. Um dieser Problematik entgegenzuwirken gibt es verschiedene Vorgehensmodelle, die eine strukturierte Bearbeitung von umfangreichen Aufgaben ermöglichen.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, eine Methodik zum Generieren von Lösungsprinzipien zu definieren und diese punktuell auf das Ventilsystem eines Kältemittelkompressors anzuwenden. Dazu wurden verschiedene Vorgehensmodelle unterschiedlichen Ursprungs vorgestellt, analysiert und miteinander verglichen.

Aufbauend auf den Ergebnissen wurde ein Vorgehensmodell abgeleitet, welches zukünftig innerhalb der Secop Austria als Stütze beim Bearbeiten von technischen Problemstellungen dienen kann. Das Modell baut auf Systems Engineering auf und wurde um gewisse Elemente aus anderen Vorgehensmodellen ergänzt, welche zum Erreichen der Ziele geeignet schienen. Das Ergebnis ist ein mehrstufiger Ablaufplan, der einen Weg zum Finden von Prinziplösungen vorgibt.

Zusätzlich zur Methodik, die den Rahmen der Tätigkeiten darstellt, wurden Methoden genannt, die in den einzelnen Phasen zur Anwendung kommen können.

Bei den präsentierten Methoden handelt es sich größtenteils um Lösungsfindungsmethoden, welche sich grob in kreativ-intuitive und systematisch-analytische unterteilen lassen. Dabei wurde der Morphologie besondere Aufmerksamkeit geschenkt, da sie ein umfassendes Werkzeug zur Kombination von Teillösungen darstellt. Die TRIZ als Methodensammlung zum erfinderischen Problemlösen wurde kurz angesprochen und deren Grundzüge dargelegt.

Auch auf Bewertungsmethoden wurde umfangreich eingegangen, sodass eine sinnvolle und nachvollziehbare Auswahl der besten Lösungsvariante ermöglicht wird.

Zur Überleitung von der generischen Lösungssuche zum praktischen Design der gewählten Lösung wurden die Grundregeln der Konstruktion sowie verschiedene Methoden zur virtuellen und physischen Erprobung von Bauteilen und Produkten beschrieben.

Die Anwendung des PL-VMs auf das Ventilsystem der neuen Kompressorplattform ACT, beginnend mit einer kurzen Erklärung des aktuellen Kompressoraufbaus sowie des Kühlkreislaufes, beschränkte sich auf einige Elemente der Vorstudie. Es wurden eine Situationsanalyse und Funktionsmodellierung durchgeführt sowie die Ziele für das Ventilsystem ACT definiert.

Aufbauend darauf wurde ein Lastenheft formuliert, welches die relevanten Informationen und Anforderungen dokumentiert und ausgewählten Ventilherstellern zugesandt wurde. Dieses ist im Anhang beigefügt.

Weiters wurde das Lösungsfeld für die weitere Lösungssuche innerhalb der Hauptstudie auf selbsttätige Ventile eingeschränkt. Dazu wurden die drei Lösungsfelder nach verschiedenen Kriterien bewertet und in einem Technologieportfolio eingeordnet.

Die zukünftige Lösungssuche sollte sich auf selbsttätige Ventile beschränken und hier eine radikale Designänderung angestrebt werden, da diese Variante die optimale Kombination aus Technologieattraktivität und der innerhalb der Secop Austria vorhandenen Ressourcen darstellt.

Nach einem zukünftigen Durchlaufen der Hauptstudie sollte es möglich sein, mit der Konstruktion des neuen Ventilsystems zu beginnen und dieses anschließend mittels Simulation und am Prüfstand zu validieren.

Quellen

- Ahrens G., 2000: *Das Erfassen und Handhaben von Produktanforderungen*, Dissertation, Technische Universität Berlin.
- Ammann J.M., 2011: *Wertanalyse – das Tool im Value Management*, Springer, Berlin, Heidelberg, 6. Auflage.
- Amtmann S., 2014: *Erarbeitung des morphologischen Kastens für den Kältekompressor 2018 auf Basis einer Systemkostenanalyse unter Zuhilfenahme verschiedener Ansätze zur Wertanalyse*, Diplomarbeit, Technische Universität Graz.
- Bea F.X., Haas J., 2005: *Strategisches Management*, Grundwissen der Ökonomik, UTB, Stuttgart, 4 Auflage.
- Berger C., Blauth R., Boger D., Bolster C., Burchill G., DuMouchel W., Pouliot F., Richter R., Rubinoff A., Shen D., Timko M., Walden D., 1993: *Kano's Methods of Understanding Customer-defined Quality*, in: Center for Quality of Management Journal, 2 (4), S. 3 – 36.
- Berger E., Heimel M., Lang W., Muhr N., Posch S., 2014: *Persönliches Interview, geführt vom Verfasser*, Fürstenfeld, 25.4.2014.
- Bertsche B., Bullinger H.J., 2007: *Entwicklung und Erprobung innovativer Produkte – Rapid Prototyping*, VDI-Buch, Springer, Berlin, Heidelberg.
- Brandenburg F., 2002: *Methodik zur Planung technologischer Produktinnovationen*, Dissertation, RWTH Aachen.
- Bronner A., Herr S., 2006: *Vereinfachte Wertanalyse Mit Formularen und CD-ROM*, Engineering online library, Springer, Berlin, Heidelberg, 4. Auflage.
- Bullinger H.J., Spath D., Warnecke H.J., Westkämper E., 2009: *Handbuch Unternehmensorganisation*, VDI-Buch, Springer, Berlin, Heidelberg, 3. Auflage.

- Burgelman R.A., Christensen C.M., Wheelwright S.C., 2004: *Strategic management of technology and innovation*, McGraw-Hill Irwin, New York, 4. Auflage.
- Cooper R.G., 2002: *Top oder Flop in der Produktentwicklung: Erfolgsstrategien: Von der Idee zum Launch*, Wiley, Weinheim, 1. Auflage.
- Dillerup R., Stoi R., 2013: *Unternehmensführung*, Vahlen, München, 4. Auflage.
- Disselkamp M., 2012: *Innovationsmanagement*, Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2. Auflage.
- Ehrlenspiel K., Kiewert A., Lindemann U., Mörtl M., 2014: *Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren*, Springer, Berlin, Heidelberg, 7. Auflage.
- Ehrlenspiel K., Meerkamm H., 2013: *Integrierte Produktentwicklung*, Hanser, München, 5. Auflage.
- Eversheim W., Baessler E., Bauernhansl T., Böhlke U., Brandenburg F., Gerhards A., Grawatsch M., Rosier C., Schöning S., 2002: *Innovationsmanagement für technische Produkte*, Engineering online library, Springer, Berlin, Heidelberg, 1. Auflage.
- Fahrni F., Bodmer C., Völker R., 2002: *Erfolgreiches Benchmarking in Forschung und Entwicklung, Beschaffung und Logistik*, Hanser, München, 1. Auflage.
- Feldhusen J., Grote K.H., 2013: *Pahl/Beitz Konstruktionslehre*, Springer, Berlin, Heidelberg, 8. Auflage.
- Freiberger A., 2003: *Vorstudie zur Entwicklung der Druckstrecke einer Kleinkältemaschine*, Diplomarbeit, Technische Universität Graz.
- Gausemeier J., Ebbesmeyer P., Kallmeyer F., 2001: *Produktinnovation: strategische Planung und Entwicklung der Produkte von morgen*, Hanser, München, 1. Auflage.
- Geschka H., Schwarz-Geschka M., 2011: *Kreativitätstechniken – Mind Mapping*. <http://innovationsmanagement.de/kreativitaetstechnik/mindmapping.html> (Zugriff: 5.7.2014)
- Haberfellner R., De Weck O., Fricke E., Vössner S., 2012: *Systems Engineering: Grundlagen und Anwendung*, Orell Füssli, Zürich, 12. Auflage.

- Herbig B., 2001: *Vergleichende Untersuchung von Struktur und Inhalt expliziten und impliziten Wissens im Arbeitskontext*, Berichte aus der Psychologie, Shaker, Aachen, 1. Auflage.
- Herrmann A., Huber F., 2013: *Produktmanagement*, Springer Fachmedien, Wiesbaden, 3. Auflage.
- Kano N., 1984: *Attractive Quality and Must-be Quality*, in: Hinshitsu: The Journal of the Japanese Society for Quality Control, 14(2), S. 39–48.
- Knieß M., 2006: *Kreativitätstechniken: Möglichkeiten und Übungen*, Beck im dtv, Dt. Taschenbuch-Verlag, München, 1. Auflage.
- Krause D.E., 2013: *Kreativität, Innovation und Entrepreneurship*, Springer Fachmedien, Wiesbaden.
- Kreutzer R.T., Land K.H., 2013: *Digitaler Darwinismus*, Springer Fachmedien, Wiesbaden.
- Lindemann U., 2009a: *Methoden der Produktentwicklung*. http://www.electroncentrum.de/EFFIZIENZ/Ingenieurbuero_files/MethodenderProduktentwicklungVorlesungsskriptProfLindemann.pdf (Zugriff: 21.05.2014)
- Lindemann U., 2009b: *Methodische Entwicklung technischer Produkte*, Springer, Berlin, Heidelberg, 3. Auflage.
- Lingohr T., Kruschel M., 2011: *Best Practices im Value Management: Wie Sie durch Einkauf und Technik einen Nachhaltigen Wertbeitrag leisten können*, Gabler, Springer Fachmedien, Wiesbaden, 1. Auflage.
- Martin M.J.C., 1994: *Managing Innovation and Entrepreneurship in Technology-Based Firms*, Wiley Series in Engineering and Technology Management, Wiley, New York.
- Muhr N., 2014: *Persönliches Interview, geführt vom Verfasser*, Fürstenfeld, 23.5.2014.
- Müller-Prothmann T., Dörr N., 2009: *Innovationsmanagement: Strategien, Methoden und Werkzeuge für systematische Innovationsprozesse*, Nr. Bd. 10 in *Innovationsmanagement: Strategien, Methoden und Werkzeuge für systematische Innovationsprozesse*, Hanser, München, 1. Auflage.
- Nachtigall W., 2010: *Bionik als Wissenschaft*, Springer, Berlin, Heidelberg.
- Nachtigall W., Pohl G., 2013: *Bau-Bionik*, Springer, Berlin, Heidelberg, 2. Auflage.

- Nachtigall W., Wisser A., 2013: *Bionik in Beispielen*, Springer, Berlin, Heidelberg.
- Ophey L., 2005: *Entwicklungsmanagement: Methoden in der Produktentwicklung*, Springer, Berlin, Heidelberg.
- Orloff M.A., 2006: *Grundlagen der klassischen TRIZ: Ein praktisches Lehrbuch des erfinderischen Denkens für Ingenieure*, VDI-Buch, Springer, Berlin, Heidelberg, 3. Auflage.
- Osterwalder A., Pigneur Y., 2010: *Business Model Generation: A Handbook for Visionaries, Game Changers, and Challengers*, Wiley Desktop Editions, Wiley, Hoboken.
- Pfeiffer W., Metze G., Schneider W., Amler R., 1985: *Technologie-Portfolio zum Management strategischer Zukunftsgeschäftsfelder*, Vanderhoeck & Ruprecht, Göttingen, 3. Auflage.
- Pohl K., 2008: *Requirements Engineering: Grundlagen, Prinzipien, Techniken*, Dpunkt.Verlag, Heidelberg, 2. Auflage.
- Ponn J., Lindemann U., 2011: *Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte*, Springer, Berlin, Heidelberg, 2. Auflage.
- Sabisch H., Tintelnot C., 1997: *Integriertes Benchmarking: für Produkte und Produktentwicklungsprozesse*, Innovations- und Technologiemanagement, Springer, Berlin, Heidelberg.
- Schallmo D., 2013: *Geschäftsmodell-Innovation*, Springer Fachmedien, Wiesbaden.
- Schlicksupp H., 1992: *Innovation, Kreativität und Ideenfindung*, Reihe Management / Vogel, Würzburg, 4. Auflage.
- Schuh G., (Hrsg.), 2012: *Innovationsmanagement*, Springer, Berlin, Heidelberg, 2. Auflage.
- Schuh G., Klappert S., (Hrsg.), 2011: *Technologiemanagement*, Springer, Berlin, Heidelberg, 2. Auflage.
- Secop Austria, 2012: *Informationen für unsere neuen Mitarbeiter*.
- Secop Austria, 2014a: *Allgemeine Firmenbeschreibung Secop Austria*.
- Secop Austria, 2014b: *Aufgabenbeschreibung zum Werkvertrag*.
- Secop Austria, 2014c: *Delta Exploded View Drawing*.

- Secop Austria, 2014d: *Der Verdichter*.
- Secop Austria, 2014e: *Makro Verlustteilung*.
- Secop Austria, 2014f: *R&D and Innovation Management*.
- Ses-tec, 2014: *Potentialbewertung gesteuertes Saugventil*.
- Siebert G., Kempf S., 2002: *Benchmarking: Leitfaden für die Praxis*, Pocket-Power, Hanser, München, 2. Auflage.
- Steinmeier E., 1999: *Realisierung eines systemtechnischen Produktmodells – Einsatz in der PKW-Entwicklung*, Dissertation, Technische Universität München.
- Ulrich H., Probst G.J.B., 2001: *Anleitung zum ganzheitlichen Denken und Handeln: ein Brevier für Führungskräfte*, Gesammelte Schriften, P. Haupt, Bern, 3. Auflage.
- Voigt K.I., 2008: *Industrielles Management: Industriebetriebslehre aus prozessorientierter Sicht*, Springer-Lehrbuch, Springer, Berlin, Heidelberg, 1. Auflage.
- Wagner M., Thieler W., 2007: *Wegweiser für den Erfinder*, VDI-Buch, Springer, Berlin, Heidelberg, 3. Auflage.
- Watson G.H., 1993: *Benchmarking: vom Besten lernen*, Verlag Moderne Industrie, Landsberg am Lech.
- Werdich M., 2012: *FMEA – Einführung und Moderation*, Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, 2. Auflage.
- Wohinz J.W., 2012: *Induscript Industriebetriebslehre*, Vorlesungsskript, Technische Universität Graz, 26 Auflage.
- Zäh M., Lindemann U., 2012: *Qualitätsmanagement – Qualität im Produktlebenszyklus*, Vorlesungsskript, Technische Universität München, 10. Auflage.

A. Anhang

A.1. Lastenheft

Lastenheft Kompressorventile

SECOOP

KBD-00-044372-A-2-W

15.08.2014

Auftrag an XYZ GmbH
z. Hd. Maximilian Mustermann
Beispielgasse 10, 1110 Wien

Version Nr. Versionsnummer 1.0

1 Inhalt

1	Inhalt.....	2
2	Einleitende Projektbeschreibung.....	4
3	Ausgangssituation.....	5
3.1	Öffnungsverluste.....	5
3.1.1	Öffnungsverluste Saugventil.....	5
3.1.2	Öffnungsverluste Druckventil.....	5
3.2	Strömungsverluste.....	6
3.2.1	Strömungsverluste Saugventil.....	6
3.2.2	Strömungsverluste Druckventil.....	7
3.3	Schließverluste.....	7
3.3.1	Schließverluste Saugventil.....	7
3.3.2	Schließverluste Druckventil.....	7
3.4	Quantifizierung Verluste Saugventil.....	8
3.5	Quantifizierung Verluste Druckventil.....	8
3.6	Gesamtverluste Ventilsystem.....	8
3.7	Optimierungspotential.....	9
4	Einsatzbedingungen.....	11
4.1	Umgebendes Medium.....	11
4.2	Kompressorleistung.....	11
4.3	Massenstrom.....	12
4.4	Kompressordrehzahl.....	12
4.5	Betriebsdauer.....	13
5	Zielsetzung.....	14
5.1	Projektziel.....	14
5.2	Erfolgskriterien.....	14
5.3	Messverfahren.....	14
5.3.1	Calo-Messung.....	14
5.3.2	Noise-Messung.....	14
5.4	Terminierung.....	14
6	Anforderungen und Funktionen.....	15
6.1	Quantitative Anforderungen und Funktionen.....	15
6.1.1	Quantitative Anforderungen Saugventil.....	15
6.1.2	Quantitative Anforderungen Druckventil.....	15
6.1.3	p-V-Diagramm.....	16
6.1.4	Geräusch des Ventilsystems.....	16
6.2	Abmessungen, Baugröße.....	17
6.3	Schadraum.....	17

7	Neuigkeitsgrad des Ventilsystems.....	18
7.1	Designänderung.....	18
7.2	Erregtes Ventil	18
7.3	Vollständig geregeltes Ventil.....	18
7.4	Vergleich der Veränderungsmaßnahmen	18
8	Zeitplan und Phasen des Projekts.....	19
8.1	Phasenplan und Meilensteine des Projekts	19
9	Kosten	21
9.1	Derzeitige Kosten Ventilsystem Delta.....	21
9.2	Erlaubte Kosten Ventilsystem	21
10	Abgrenzung	22
10.1	Lieferumfang	22
10.2	Nicht-Lieferumfang	22
11	Rahmenvereinbarung	23
11.1	Vertraulichkeit und Publikationsrecht.....	23
11.2	Schutzrechte, Urheberrechte, Nutzungsrechte.....	24
11.3	Vertragsdauer, Kündigung, Geltungsbereich.....	26
11.4	Schlussbestimmungen.....	26
12	Anhang	27

2 Einleitende Projektbeschreibung

Aufgrund ständig steigender Anforderungen an Leistung und Effizienz arbeitet die Secop Austria gegenwärtig an der Entwicklung einer neuen Kompressortechnologie, welche in zukünftigen sowie bestehenden Kompressorplattformen zur Anwendung kommen soll. Da die momentan verwendeten Kompressorventile relativ hohe Verluste aufweisen, soll das Ventilkonzept überarbeitet und effizienter gestaltet werden. Im nachfolgenden Dokument werden die gegenwärtige Istsituation sowie Anforderungen und Rahmenbedingungen für das neue Ventilkonzept erläutert.

Die Angaben zur derzeitigen Situation beziehen sich auf das Ventilsystem des Delta Kompressors HXD55 mit einer Eingangsleistung von 55 W und ASHRAE Bedingungen (-23,3/45°C), sofern nicht anders angegeben.¹

¹ Secop Austria, 2014a

3 Ausgangssituation

Das derzeit verwendete Ventilsystem besteht aus einer Ventilplatte und je einem Flatterventil für die Druck- und Saugseite. Die Ventilplättchen bestehen aus Federstahl (7C27Mo2) und werden ausschließlich durch Druckdifferenzen zwischen Zylinderinnenraum und Druck- bzw. Saugseite betätigt. Bei diesem Ventilsystem kommt es sowohl beim Saug- als auch beim Druckventil zu Verlusten. Diese gliedern sich jeweils in Öffnungs-, Strömungs- und Schließverluste, welche im Folgenden näher beschrieben und quantifiziert werden. Die Druckdifferenzen, welche für die Ventilöffnung benötigt werden, schlagen sich unmittelbar in Verlusten nieder.²

3.1 Öffnungsverluste

Durch das zur Schmierung verwendete Öl und weitere Mechanismen kommt es zu einem Ankleben des Ventilplättchens an der druckseitigen Ventilplatte. Aufgrund dieses Effekts tritt beim Kompressionsvorgang eine Drucküberhöhung bzw. beim Ansaugvorgang ein zu großer Unterdruck im Zylinder auf. Dies erhöht die benötigte Leistung und verursacht somit Verluste.

3.1.1 Öffnungsverluste Saugventil

Das Saugventil öffnet durch den unter Abschnitt 3.1 beschriebenen Effekt zu spät. Das Schmieröl wirkt wie eine Art Klebefilm und verhindert so ein rechtzeitiges Öffnen des Saugventilplättchens. Hierdurch kommt es zu einem Unterdruck im Zylinder, dadurch zu einem erhöhten Leistungsbedarf und somit zu Verlusten. Zum Zeitpunkt der Öffnung des Saugventils herrscht ein Absolutdruck von 0,455 bar im Zylinder. Die Druckdifferenz zum Solldruck ist in Tabelle 1 ersichtlich.

Tabelle 1: Druck im Zylinder bei Saugventilöffnung

	Druck in bar
Solldruck	0,627
Istdruck	0,455
Differenz	0,172

3.1.2 Öffnungsverluste Druckventil

Das Druckventil öffnet ebenfalls zu spät, wodurch es zu einer Drucküberhöhung im Zylinder kommt. Diese führt wieder zu erhöhtem Leistungsbedarf und Verlusten. Der Sachverhalt ist in Tabelle 2 dargestellt.

² Braun & Reisenhofer, 2013

Tabelle 2: Druck im Zylinder bei Druckventilöffnung

	Druck in bar
Solldruck	7,78
Istdruck	9,19
Differenz	1,41

3.2 Strömungsverluste

Aufgrund der Geometrie der Ventilplättchen und deren Öffnungsbewegung kann das Kältemittel nicht ungehindert durchströmen. Dies ist in Abbildung 1 ersichtlich.

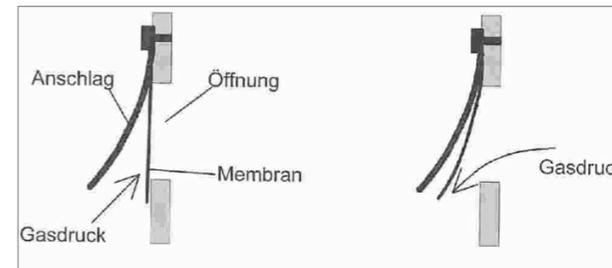


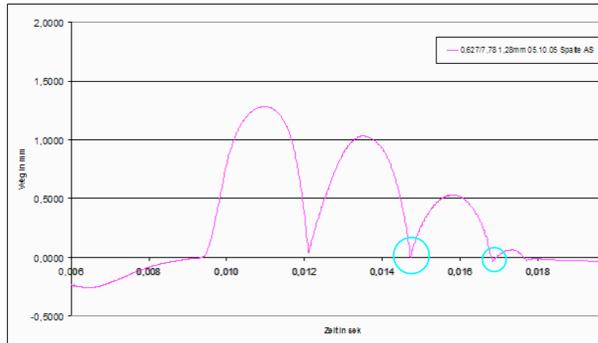
Abbildung 1: Schematische Darstellung eines Flatterventils³

Dadurch treten die Strömungsverluste bei Saug- und Druckventil auf, was zu einer Erhöhung der Leistungsaufnahme des Kompressors führt.

3.2.1 Strömungsverluste Saugventil

Das Saugventil ist im offenen Zustand nicht durchgehend geöffnet. Viel mehr schwankt es zwischen offenem und geschlossenem Zustand hin und her, wodurch es zu ungünstigen Strömungsbedingungen kommt. Weiters wird die Strömung durch den geringen Hub des Ventilplättchens und den somit verringerten Strömungsquerschnitt begrenzt. Der Ventilhub liegt während dem Ansaugen zwischen 0 mm und 1,25 mm. Diese beiden Sachverhalte sind in Abbildung 2 ersichtlich, die blauen Kreise heben die geschlossenen Zustände des Saugventils hervor.

³ Braun & Reisenhofer, 2013, S. 31

Abbildung 2: Saugventil im offenen Zustand ⁴

3.2.2 Strömungsverluste Druckventil

Das Druckventil öffnet lediglich 1 mm, da die Öffnung mittels Anschlag im Druckschalldämpfer (Druckmuffler) begrenzt werden muss, um einem möglichen Ventilbruch und damit verbundenem Kompressorversagen vorzubeugen. Aufgrund dessen wird die Strömung behindert.

3.3 Schließverluste

Im Folgenden werden die Schließverluste ebenfalls gesondert für Saug- und Druckventil betrachtet.

3.3.1 Schließverluste Saugventil

Das ideale Saugventil schließt beim unteren Totpunkt (UT). Durch den zu geringen Druckunterschied zwischen Saugschalldämpfer (Saugmuffler) und Zylinder ist dieser Sachverhalt nicht gegeben. Das reale Saugventil schließt erst bei der Bewegung des Kolbens Richtung Oberer Totpunkt (OT). Dies führt zu einem verringerten Hubvolumen und somit zu einem Verlust an Kälteleistung.

3.3.2 Schließverluste Druckventil

Das Druckventil schließt nicht wie gewünscht bei OT, sondern verspätet. Dies hat zur Folge, dass während des Ansaugvorgangs nicht das gesamte Hubvolumen genutzt werden kann und es zu Verlusten kommt.

⁴ Braun & Reisenhofer, 2013, S. 46

3.4 Quantifizierung Verluste Saugventil

Die Gesamtverluste des Saugventils belaufen sich auf ca. 4 W, bzw. rund 18 % bezogen auf die elektrische Eingangsleistung des Kompressors. Die Aufteilung der einzelnen Verluste ist in Tabelle 3 aufgelistet.⁵

Tabelle 3: Quantifizierung Verluste Saugventil

Saugventil	Verlustleistung [W]	Anteil an Saugventilverlusten [%]
Öffnungsverluste	0,3	7,5
Strömungsverluste	2,0	50
Schließverluste	1,7	42,5
Gesamtverluste	4	100

3.5 Quantifizierung Verluste Druckventil

Die Gesamtverluste des Druckventils belaufen sich auf ca. 1 W. Dies entspricht einem Anteil von rund 4 % bezogen auf die elektrische Eingangsleistung des Kompressors. Diese teilen sich laut Tabelle 4 auf.

Tabelle 4: Quantifizierung Verluste Druckventil

Druckventil	Verlustleistung [W]	Anteil an Druckventilverlusten [%]
Öffnungsverluste	0,1	10
Strömungsverluste	0,2	20
Schließverluste	0,7	70
Gesamtverluste	1	100

3.6 Gesamtverluste Ventilsystem

Die Gesamtverluste des derzeitigen Ventilsystems ergeben sich aus der Summe von Saug- und Druckventilverlusten. Diese sind zur besseren Übersicht in Tabelle 5 zusammengefasst.

⁵ Zach, 2013

Tabelle 5: Gesamtverluste Ventilsystem und Aufteilung

Ventilsystem	Verlustleistung [W]	Anteil an Kompressor-Gesamtverlusten [%]
Saugventil	4	18
Druckventil	1	4
Summe	5	22

Es lässt sich erkennen, dass das Optimierungspotential des Saugventils deutlich über dem des Druckventils liegt. Somit ist der Schwerpunkt der Entwicklungsarbeit auf die Optimierung des Saugventils zu legen.

3.7 Optimierungspotential

Das Optimierungspotential für Saug- und Druckventil ist in Diagramm 1 grafisch dargestellt. Es lässt sich erkennen, dass sowohl eine Reduktion der elektrischen Eingangsleistung als auch eine Erhöhung der Kühlleistung zur Optimierung beiträgt.

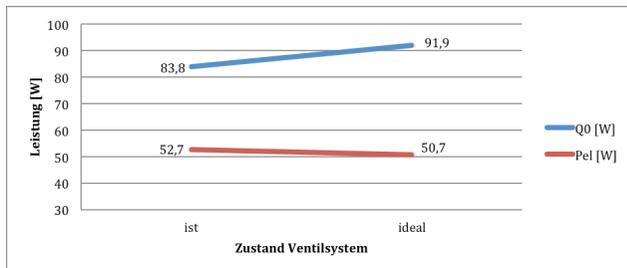


Diagramm 1: Leistungen im Ist- und Idealzustand des Ventilsystems

Aus den Leistungen in Diagramm 1 ergibt sich ein Verlauf des COP, welcher in Diagramm 2 ersichtlich ist. Es lässt sich ein deutliches Potential erkennen, selbst wenn der Idealzustand des Ventilsystems nicht vollständig erreicht wird.

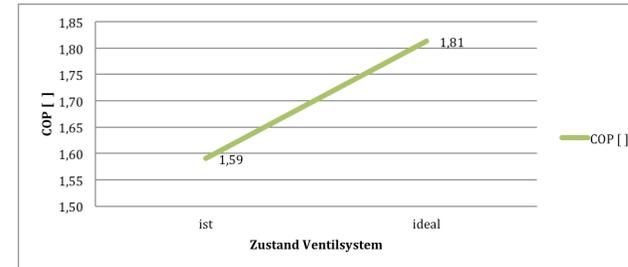


Diagramm 2: COP im Ist- und Idealzustand des Ventilsystems

In diesem Zusammenhang muss beachtet werden, dass eine Verringerung gewisser Kälteleistungsverluste eine Erhöhung der elektrischen Eingangsleistung hervorrufen. Werden die Schließverluste des Saugventils eliminiert, befindet sich mehr Gas im Zylinder, welches komprimiert werden muss. Dadurch steigt die benötigte elektrische Leistung des Kompressors. In Summe überwiegen allerdings die Einsparungen der elektrischen Leistung gegenüber der zusätzlich benötigten, was in Diagramm 1 zum Ausdruck kommt.

4 Einsatzbedingungen

Das Ventilsystem soll in neuen und bestehenden Kompressorgenerationen zum Einsatz kommen. Während dem Betrieb des Kompressors herrschen vereinfacht Bedingungen nach ASHRAE, welche in Tabelle 6 ersichtlich sind.

Tabelle 6: Kompressorbedingungen nach ASHRAE⁶

	Gastemperatur [°C]	Gasdruck [bar]
Saugseite	32	0,627
Druckseite	60, Überhitzung auf ca. 118°C während der Kompression	7,78

4.1 Umgebendes Medium

Als Kältemittel, welches durch den Kühlreislauf zirkuliert, kommt Isobutan (R600a) zum Einsatz. Dessen relevante Eigenschaften sind Tabelle 7 zu entnehmen.

Tabelle 7: Eigenschaften Isobutan R600a

Verdampfungstemperatur bei 0,627 bar [°C]	-23,3
Kondensationstemperatur bei 7,78 bar [°C]	55
Gefahrenstoffkennzeichnung	F+, hochentzündlich

4.2 Kompressorleistung

Die neue Kompressorgeneration soll eine Kühlleistung Q_0 von 10–180 W abdecken und drehzahl geregelt sein. Das Verhältnis von Minimal- zu Maximaldrehzahl eines Kompressortyps wird mit 1:5 angenommen.⁷ Eine sich daraus ergebende mögliche Leistungsstaffelung ist im Folgenden ersichtlich:

- 10–50 W
- 20–100 W
- 30–150 W
- 40–200 W

⁶ Secop Austria, 2014a

⁷ Secop Austria, 2014b

Diese Staffelung kann einerseits durch Veränderung des Hubes, andererseits auch durch Variieren der Grunddrehzahl erzielt werden.

4.3 Massenstrom

Da die neue Kompressorgeneration eine Kühlleistung Q_0 von 10 bis 180 W leisten soll, variiert der Massenstrom \dot{m} auch im selben Verhältnis. Die folglich benötigten Massenströme des Kältemittels in Abhängigkeit von Q_0 wurden berechnet. Hierfür wurden zur Vereinfachung isentrope Verdichtung und isenthalpe Expansion angenommen. Aus der Enthalpiedifferenz folgt unmittelbar die spezifische Kälteleistung. Division der Kälteleistung durch die spezifische Kälteleistung führt zum Massenstrom des Kältemittels. Die Ergebnisse sind in Tabelle 8 zusammengefasst.

Tabelle 8: Erforderliche Massenströme bei ASHRAE Bedingungen (-23,3/55°C)

Q_0 [W]	\dot{m} [kg/h]
10	0,20772
180	3,73896

Aus internen Berechnungen und Abschätzungen mittels Berechnungstools der Secop Austria (Simulation Kurbeltrieb) geht hervor, dass der Massenstrom bei Betriebsbedingungen zwischen zwei und vier Watt liegt.⁸ Für diesen Bereich muss das Ventilsystem optimiert sein, siehe Tabelle 9.

Tabelle 9: Optimierungsbereich des Massenstroms des neuen Ventilsystems bei Einsatzbedingungen

Q_0 [W]	180	180	180
Bedingungen	-23,3/55°C	-10/55°C	-5/55°C
\dot{m} [kg/h]	2	3,7	4,7

Das Ventilsystem muss jedoch so ausgelegt werden, dass auch deutlich größere Massenströme von bis zu 15kg/h ohne Beschädigung bewältigt werden. Dies sind Extrembedingungen, wie sie unter normalem Betrieb nur sehr selten auftreten. Ein Beispiel hierfür ist die erstmalige Inbetriebnahme des Kühlerätes.

4.4 Kompressordrehzahl

Die neue Kompressorgeneration soll in einem Drehzahlbereich von 1.000 bis 30.000 U/min betrieben werden können, wobei noch zu definieren ist, ob dieser Drehzahlbereich von einem oder mehreren Kompressoren abgedeckt wird.⁹ Für den

⁸ Secop Austria, 2014c

⁹ Secop Austria, 2014b

Anfang wird nur der Bereich von 1000 bis 5000 U/min betrachtet. Das hierfür ausgelegte Ventilsystem soll durch etwaige Modifikationen für das gesamte Drehzahlband von 1.000 bis 30.000 U/min nutzbar gemacht werden können.

4.5 Betriebsdauer

Die Kompressoren werden auf eine Lebensdauer von 15 Jahren ausgelegt und in einem Drehzahlbereich von 1.000–30.000 U/min betrieben. Der Berechnung der Anzahl der Ventilbewegungen wird eine mittlere Drehzahl von 3000 U/min und eine Einschaltdauer von 90% zu Grunde gelegt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 10 zusammengefasst.

Tabelle 10: Betriebsdauer Ventilsystem

Anzahl der Ventilhübe/s	50
Anzahl der Ventilhübe für Saug- und Druckseite während Lebensdauer, je	$21,3 \times 10^9$
Wartungsintervall	wartungsfrei

Aus den Berechnungen geht hervor, dass das Ventilsystem dauerhaft sein muss, um eine einwandfreie Funktionalität während der gesamten geplanten Einsatzdauer des Kompressors zu gewährleisten.

5 Zielsetzung

Es werden folgend die Ziele des Entwicklungsprojekts sowie auch die Erfolgskriterien, an denen das Projekt gemessen wird, definiert. Die zur Anwendung kommenden Messverfahren werden ebenfalls beschrieben.

5.1 Projektziel

Ziel des Projekts ist die Entwicklung eines neuartigen Ventilsystems für eine neue Kompressorgeneration.

5.2 Erfolgskriterien

Der Erfolg des Projekts wird an der daraus hervorgehenden Prinziplösung für das neuartige Ventilsystem, der Erfüllung der Anforderungen unter Abschnitt 6 und einem funktionsfähigen Prototyp des Ventilsystems gemessen.

5.3 Messverfahren

Zur Evaluierung des Prototyps werden sowohl eine Calo-Messung als auch eine Noise-Messung durchgeführt.

5.3.1 Calo-Messung

Bei der Messung mittels Kalorimeter wird die Kälteleistung (Q_0) des Kompressors gemessen. Aus dem Quotient von Kälteleistung und elektrischer Eingangsleistung errechnet sich der Coefficient of Performance (COP) des Kompressors.

5.3.2 Noise-Messung

Die Noise-Messung dient zur Ermittlung der Geräuschemissionen des Kompressors und wird in einer schalldichten Kammer durchgeführt.

5.4 Terminierung

Die Terminierung erfolgt laut des in Kapitel 7 erläuterten Phasenplans.

6 Anforderungen und Funktionen

Die Bedingungen, unter denen die Ventile zur Anwendung kommen, sind in Kapitel 4 angeführt.

Nachfolgend werden die Anforderungen an das Ventilsystem definiert.

6.1 Quantitative Anforderungen und Funktionen

Die quantitativen Anforderungen werden gesondert für Saug- und Druckventil betrachtet. Es handelt sich hierbei jeweils um die Verringerung der auftretenden Verluste, welche in Kapitel 3 angeführt wurden.

6.1.1 Quantitative Anforderungen Saugventil

Die aktuellen bzw. angestrebten Verluste des Saugventils sind in Tabelle 11 gegenüber gestellt.

Tabelle 11: Quantitative Anforderungen Saugventil

Saugventil	aktuell	zukünftig
prozentueller Anteil an Gesamtkompressorleistung [%]	23,6	16,52
absoluter Verlust [W]	5,92	4,14

Der Gesamtverlust des Saugventils muss um 30% verringert werden, wobei die Aufteilung auf die Verlustmechanismen dem Auftragnehmer obliegt. Anzustreben ist jedoch eine möglichst ausgeglichene Verminderung der Teilverluste.

6.1.2 Quantitative Anforderungen Druckventil

Die Verluste des Druckventils müssen ebenfalls um 30 % verringert werden. Daraus ergeben sich die in Tabelle 12 ersichtlichen Werte.

Tabelle 12: Quantitative Anforderungen Druckventil

Druckventil	aktuell	zukünftig
prozentueller Anteil an Gesamtkompressorleistung [%]	8,6	6,02
absoluter Verlust [W]	1,17	0,82

Die Aufteilung der Verbesserungen auf die Verlustmechanismen obliegt wieder dem Auftragnehmer.

6.1.3 p-V-Diagramm

Im p-V Diagramm (Abbildung 3) lassen sich die Verluste von Saug- und Druckventil erkennen. Die blaue Linie kennzeichnet den Realverlauf des Druckes im Zylinder bei ASHRAE Bedingungen über dem Zylindervolumen. Es ist erkennbar, dass das Druckventil nicht bei 7,78, sondern erst bei rund 9,5 bar öffnet und es dadurch zu einer Drucküberhöhung kommt. Auch während dem Auslassvorgang ist der Zylinderdruck deutlich höher als der Gegendruck (gelbe Gerade).

Beim Ansaugvorgang erkennt man, dass der Zylinderdruck merklich unter dem Saugdruck von 0,627 bar liegt (violette Gerade).

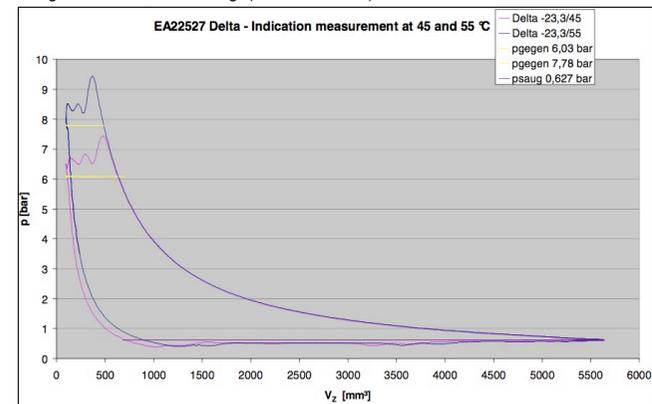


Abbildung 3: p-V-Diagramm für -23,3/45 und -23,3/55°C¹⁰

Idealziel für das Ventilsystem ist eine Annäherung des Realverlaufs des Zylinderinnendrucks an die gelbe bzw. violette Gerade. Dies würde ein optimal funktionierendes Ventilsystem bedeuten.

6.1.4 Geräusch des Ventilsystems

Die Geräuschemission des gesamten Kompressors muss unter 32 dB(A) liegen. Um dieses Ziel zu erreichen, sind speziell die Strömungsgeräusche des Ventilsystems zu beachten. Diese treten derzeit bei der Durchströmung der Ventilkonäle auf und werden aufgrund der Ablenkung der Strömung durch die Ventilplättchen zusätzlich verstärkt. Beim Aufschlagen des Ventilplättchens auf die Ventilplatte entstehen ebenfalls Geräusche.

¹⁰ Braun & Reisenhofer, 2013, S. 50

6.2 Abmessungen, Baugröße

Die Zielwerte für die Baugröße des Ventilsystems sind in Tabelle 13 aufgelistet und beziehen sich auf die gesamte Kopfgruppe, d. h. Ventilplatte inkl. Ventilen, Dichtungen und Befestigungselement am Zylindergehäuse. Die angegebenen Werte sind als Richtwerte zu verstehen, da sie stark von den benachbarten Funktionsgruppen, insbesondere von den Abmessungen des Kolbens, abhängig sind.

Tabelle 13: Zielabmessungen Ventilsystem¹¹

	min	max
Länge in mm	10	30
Breite in mm	10	30
Höhe in mm	2	30

Das entwickelte Ventilsystem soll so ausgeführt werden, dass es auch kompatibel zu den bestehenden Kompressorplattformen ist. Dadurch muss es mit geringem Aufwand modifizierbar sein, um auch hier eingesetzt werden zu können. In Abschnitt 0, Abbildung 6 ist beispielhaft der Ausschnitt der Detailzeichnung der Ventilplatte des Delta Kompressors mit ihren Abmessungen ersichtlich.

6.3 Schadraum

Als Schadraum bezeichnet man den Raum, der bei OT zwischen Kolben und Ventilplatte zurückbleibt. Dieser bleibt mit komprimiertem Gas gefüllt, welches wieder expandiert, wenn sich der Kolben in Richtung UT bewegt. Dadurch verkleinert sich das nutzbare Ansaugvolumen, was zu Leistungsverlusten führt. Dies muss beim Entwerfen des neuen Ventilsystems bedacht und optimiert werden.

¹¹ Secop Austria, 2014b

7 Neuigkeitsgrad des Ventilsystems

Durch gewisse Veränderungsmaßnahmen zum aktuellen Ventildesign werden unterschiedliche Optimierungspotentiale erwartet. Die Abschätzung wurde für das Saugventil durchgeführt, gilt sinngemäß aber auch für das Druckventil. Für das Druckventil kann jeweils mit einem Drittel der Zahlenwerte des Saugventils gerechnet werden, da die Verluste des Druckventils ein Drittel der Saugventilverluste betragen. Die verschiedenen Veränderungsstufen werden nachfolgend erläutert und deren Potentiale quantifiziert.¹²

7.1 Designänderung

Das Ventildesign wird geändert. Dies bedeutet eine Änderung der Geometrie, die auch eine Entdrosselung des Ansaugbereiches zur Folge hat. Für die Quantifizierung wird die Einströmfläche verdoppelt und die Durchflussverluste vernachlässigt.

7.2 Erregtes Ventil

Die Bewegung des Ventils wird zusätzlich zur Designänderung aus 7.1 durch eine Kraft angeregt. Hierdurch lassen sich die Klebekräfte bei der Ventilöffnung teilweise eliminieren. Die Kraft wirkt bei einem Zylinderdruck kleiner 0,6 bar und weniger als 60° Kurbelwinkel.

7.3 Vollständig geregeltes Ventil

Die Ventilposition soll vollständig gesteuert werden können und somit unabhängig von der Kolbenbewegung sein. Das Ventil ist von 30° bis 180° Kurbelwellenwinkel geöffnet. Die unter 7.1 getroffenen Annahmen gelten ebenfalls.

7.4 Vergleich der Veränderungsmaßnahmen

In Tabelle 14 sind die verschiedenen Ausprägungsformen der Veränderungen mit ihren Potentialen aufgelistet und zueinander verglichen.

Tabelle 14: Potentiale der Veränderungsstufen

	Q ₀ [W]	P _{el} [W]	COP	Q ₀ Änderung [%]	COP Änderung [%]
Designänderung	101,15	54,12	1,87	12,53	8,04
erregtes Ventil	98,67	53,31	1,85	9,77	6,98
gesteuertes Ventil	99,43	52,13	1,91	10,61	10,25

¹² ses-tec, 2014

8 Zeitplan und Phasen des Projekts

Geplanter Start: KW 25, 2014

Geplanter Abschluss: KW 28, 2014

Über den Fortschritt des Projektes ist regelmäßig zu berichten.

8.1 Phasenplan und Meilensteine des Projekts

In Abbildung 5 ist die Vorlage einer Work Package List ersichtlich. Die einzelnen Phasen beinhalten Work Packages und werden jeweils mit einem Meilenstein abgeschlossen. Das Vorgehen erfolgt laut Systems Engineering und hat die folgenden vier Punkte als Grundsätze:

- Gliederung in Projektphasen
- vom Groben zum Detail
- Bilden von Varianten
- Einhaltung des Problemlösungszyklus (PLZ)

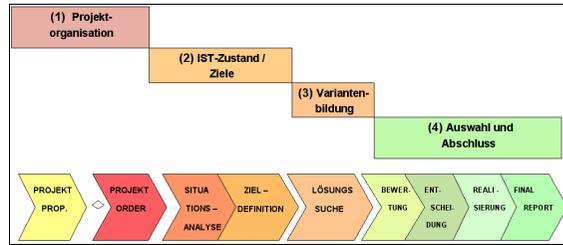


Abbildung 4: Vorgehensweise im PLZ

Project Organization						
Project ...						
Work package list WPL						
...						
Nr.	Decision Level	Work package Name	Decision Date year	Responsible Name	Decis. Status	Solution Documentation
1	Phase 1	Project Order Phase 1 (incl. Target definition)				
2	Phase 1	...				
3	Phase 1	...				
4	Phase 1	WPs t.b.d.				
5	Phase 1	Guidelines for WP				
6	Phase 1	see WP-Report-Template				
7	Phase 1	...				
8	Phase 1	...				
9	Phase 1	...				
10	Phase 1	Final Report Phase 1				
11	Phase 2	Project Order Phase 2 (incl. Target definition)				
12	Phase 2	...				
13	Phase 2	...				
14	Phase 2	WPs t.b.d.				
15	Phase 2	Guidelines for WP				
16	Phase 2	see WP-Report-Template				
17	Phase 2	...				
18	Phase 2	...				
19	Phase 2	...				
20	Phase 2	Final Report Phase 2 (incl. Target definition)				
21	Phase 3	Project Order Phase 3				
22	Phase 3	...				
23	Phase 3	...				
24	Phase 3	WPs t.b.d.				
25	Phase 3	Guidelines for WP				
26	Phase 3	see WP-Report-Template				
27	Phase 3	...				
28	Phase 3	...				
29	Phase 3	...				
30	Phase 3	Final Report Phase 3				

Abbildung 5: Vorlage Work Package List

9 Kosten

Da in der Kältekompressorindustrie ein starker Preiskampf herrscht, muss auch auf die Herstellkosten des Ventilsystems besonderes Augenmerk gelegt werden. Durch den Einsatz des neuen Ventilsystems sollen die Verluste vermindert werden, wodurch sich eine Verbesserung des Coefficient of Performance (COP) ergibt. Der COP beträgt für einen idealen Kompressor 3,2 und errechnet sich aus Kälteleistung (Q_0) geteilt durch elektrischer Eingangsleistung (P_{el}).

9.1 Derzeitige Kosten Ventilsystem Delta

Im Folgenden werden nur die Materialkosten berücksichtigt, welche für das derzeitige Ventilsystem etwa 0,20 € betragen. Diese verteilen sich auf Ventilplatte und die beiden Ventilplättchen. Das Befestigungselement am Zylindergehäuse kostet 0,29 €, wird hier aber nicht weiter betrachtet.

9.2 Erlaubte Kosten Ventilsystem

Da der COP durch das neue Ventilsystem gesteigert werden soll, sind gewisse Mehrkosten im Vergleich zum Delta Ventilsystem erlaubt. Die Mehrkosten dürfen € 0,5 / Prozent COP Steigerung betragen, wobei der ideale COP (3,2) mit 100% definiert ist. Dies ist in Tabelle 15 festgehalten.

Tabelle 15: COP Vergleich ideal - derzeit

	COP [-]	Anteil an Idealwert [%]
Ideal	3,209	100
derzeit	1,962	61,14

Da die Ventile zu 21,4% an den Gesamtverlusten des Kompressors beteiligt sind, ergibt sich eine maximale COP Verbesserung von 7,8 %, wenn man die Ventilverluste komplett eliminiert. Dies ergibt zulässige Mehrkosten des gesamten Ventilsystems von € 3,9 bzw. Gesamtkosten von € 4,1 für das Ventilsystem. Bei einer geringeren COP Verbesserung sinken diese Werte dementsprechend.

10 Abgrenzung

Das Betrachtungsfeld des Projekts wird nachfolgend definiert.

10.1 Lieferumfang

Der Lieferumfang erstreckt sich auf die Erarbeitung eines im Kältekompressorenbau neuartigen Ventilsystems sowie ein Proof of Principle. Dies hat mittels Prototyp am Prüfstand zu erfolgen.

10.2 Nicht-Lieferumfang

Es soll keine andere Funktionsgruppe des Kältekompressors bearbeitet werden. Das Ventilsystem ist isoliert zu betrachten. Eine Integration in einen Kältemittelkompressor muss natürlich grundsätzlich möglich sein.

11 Rahmenvereinbarung

Nachfolgend werden die rechtlichen Grundlagen des Vertrages erläutert.

11.1 Vertraulichkeit und Publikationsrecht

Der Vertragspartner verpflichtet sich, sämtliche Arbeitsergebnisse und sämtliche im Rahmen des Entwicklungsvorhabens von Secop Austria erlangten Informationen sowie die Beschreibung, die Zeitpläne, Ziele und Ideen für die Ausführung des Entwicklungsvorhabens streng geheim zu halten. Alle Skizzen, Zeichnungen, Musterteile und für die Projektabwicklung zur Verfügung gestellte Baugruppen und sonstige Teile sind streng vertraulich zu behandeln. Sie dürfen weder vervielfältigt oder fotografiert noch hergezeigt oder weitergegeben werden. Damit ist auch eine Veröffentlichung in Berichten, Broschüren oder im Internet und dergleichen nicht zulässig.

Der Vertragspartner wird alle im Zusammenhang mit der Entwicklungszusammenarbeit erlangten Informationen über innerbetriebliche Verhältnisse und Vorgänge bei Secop Austria sowie innerhalb der Secop Gruppe sowie sonstige technische oder wirtschaftliche Informationen über Secop Austria oder der Secop Gruppe geheim halten.

Der Vertragspartner bestätigt hiermit, dass die mit der Durchführung des gegenständlichen Projektes betrauten Mitarbeiter oder sonstigen Beauftragten entsprechenden Geheimhaltungsverpflichtungen unterliegen. Darüber hinaus werden alle angemessenen Vorkehrungen getroffen, um zu verhindern, dass Dritte Zugriff auf die Ergebnisse der Entwicklung und der dabei erlangten Informationen nehmen können.

Dem Vertragspartner ist bekannt, dass

- Die Verletzung von Betriebs- oder Geschäftsgeheimnissen nach §§ 17, 18 UWG strafbar ist und mit einer Freiheitsstrafe von bis zu 5 Jahren geahndet werden kann und
- Derjenige, der Betriebs und Firmengeheimnisse verletzt, zum Ersatz des daraus entstandenen Schadens auch nach § 19 UWG verpflichtet ist.

Die Geheimhaltungsverpflichtung gilt umgekehrt für Secop Austria sowie innerhalb der Secop Gruppe, wenn ihr im Rahmen der Entwicklungszusammenarbeit vertrauliche Informationen der Firma XYZ, die als solche gekennzeichnet sind, bekannt werden. Dies schließt eine Veröffentlichung der Projektergebnisse in Form von Patenten oder Produkten nicht aus.

Die Vertraulichkeitsverpflichtung gilt für einen Zeitraum von fünf (5) Jahren nach Abschluss des Entwicklungsvorhabens weiter.

Während der Laufzeit des Projektes darf der Vertragspartner Veröffentlichungen, die in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Projekt stehen und in denen direkt produkt- oder verfahrensrelevante Daten verwendet werden, nur mit Zustimmung von Secop Austria durchführen. Geplante Veröffentlichungen sind Secop Austria zur Kenntnisnahme zu übermitteln. Secop Austria hat das Recht zu verlangen, dass der Inhalt (Text, Diagramme, Zeichnungen, Fotos, usw.) der geplanten Veröffentlichung im Sinne der Geheimhaltung nach Vorgabe von Secop Austria abgeändert wird. Langt binnen vier Wochen keine Rückmeldung vom Auftraggeber ein, so gilt die Zustimmung zur Veröffentlichung als erteilt. Dieses Vorgehen bezüglich Publikation gilt auch noch 3 Jahre nach Projektende.

11.2 Schutzrechte, Urheberrechte, Nutzungsrechte

Der Vertragspartner ist bei der Durchführung des Entwicklungsvorhabens unter Anwendung entsprechender Sorgfalt bemüht, ein von Schutzrechten Dritter freies Ergebnis zu erreichen.

Sind dem Vertragspartner Schutzrechte Dritter bekannt, die dem angestrebten Entwicklungsergebnis entgegenstehen, sind diese Secop Austria unverzüglich nach bekannt werden mitzuteilen und die Entscheidung über deren Verwertung - so weit rechtlich zulässig - oder Nichtverwertung bei Secop Austria einzuholen.

Der Vertragspartner ist und bleibt Inhaber seiner vor Beginn dieses Entwicklungsvorhabens gemachten Erfindungen, der darauf angemeldeten oder erteilten Schutzrechte sowie der bestehenden Urheberrechte. („Altschutzrechte“)

Der Vertragspartner wird Secop Austria Altschutzrechte unverzüglich offen legen, soweit sie im voraussichtlichen Entwicklungsergebnis Verwendung finden und teilt Secop Austria ferner mit, inwieweit Dritte zur Nutzung von Altschutzrechten berechtigt sind und inwieweit der Vertragspartner in der Benutzung dieser Schutzrechte beschränkt ist.

Soweit Altschutzrechte des Vertragspartner für die Verwertung des Entwicklungsergebnisses erforderlich sind, erhält Secop Austria ein zeitlich und örtlich unbegrenztes, nicht ausschließliches Nutzungsrecht zu marktconformen Bedingungen, das die Nutzung für die Zwecke der Serienfertigung durch Secop Austria sowie für Secop Austria durch Dritte und die Nutzung durch Mutter-Tochtergesellschaften oder Schwestergesellschaften von Secop Austria einschließt. Die Rechtsinhaberschaft an sämtlichen Ergebnissen (einschließlich aller Erfindungen, des neuen Know-hows, Versuchs und Entwicklungsberichte, Anregungen, Ideen, Entwürfe, Gestaltung, Vorschläge, Muster, Modelle etc.) die der Vertragspartner im Rahmen dieses Vertrages erzielt fällt Secop Austria zu. Dies gilt im Besonderen für Patente und Gebrauchsmuster.

Sind in den Entwicklungsergebnissen, die der Vertragspartner Secop Austria mitzuteilen und zu überlassen hat, schutzfähige Erfindungen oder Gedanken

enthalten, ist Secop Austria berechtigt hierauf nach freiem Ermessen und in eigenem Namen unter Nennung des Erfinders nach den jeweiligen gesetzlichen Bestimmungen in beliebigen Ländern Schutzrechte anzumelden, diese weiter zu verfolgen und auch jederzeit fallen zu lassen. Der Vertragspartner wird Secop Austria alle für die Schutzrechtsverfolgung nötigen Informationen zur Verfügung stellen. Dem Vertragspartner hierdurch entstehenden Kosten werden voll von Secop Austria getragen. Im Übrigen wird der Vertragspartner alles unterlassen, was für die Erteilung der nachgesuchten Schutzrechte schädlich sein könnte.

Secop Austria wird mitteilen, für welche Erfindungen eine Anmeldung im In oder Ausland beabsichtigt ist. Sollte Secop Austria trotz des Wunsches des Vertragspartners innerhalb von 6 Monaten nach schriftlicher Mitteilung über die Erfindung diese nicht auf eigene Kosten einreichen, so ist der Vertragspartner bzw. der Erfinder berechtigt diese im eigenen Namen und auf eigene Kosten anzumelden. Secop Austria erhält in diesem Fall ein weltweites, nicht ausschließliches kostenloses Nutzungsrecht.

Der Vertragspartner hat schutzrechtsfähige Erfindungen, die seine Mitarbeiter oder von ihm beauftragte Dritte im Rahmen dieses Entwicklungsprojektes machen, durch Erklärung gegenüber dem Erfinder entsprechend österr. PatentG und für den Vertragspartner geltenden Kollektivvertrag in Anspruch zu nehmen; das Recht auf die Erfindung ist unverzüglich auf Secop Austria zu übertragen. Secop Austria bezahlt dem Vertragspartner pro übertragener Erfindung eine Erfinderprämie in der Höhe von €800,- zur Weiterleitung an die Erfinder. Weitere Vergütungsleistungen bezüglich Erfindervergütungen übernimmt Secop Austria nicht.

Soweit die Arbeitsergebnisse des Vertragspartners durch Urheberrechte geschützt sind, räumt dieser Secop Austria das ausschließliche unwiderrufliche, übertragbare, zeitlich und örtlich unbegrenzte Recht ein, in allen in Verbindung mit der Entwicklung stehenden Nutzungsarten unentgeltlich beliebig zu nutzen. Dies gilt insbesondere auch für eine Vervielfältigung, und Verarbeitung, sowie für mögliche Veränderungen, Erweiterungen und Weiterentwicklungen.

Secop Austria räumt dem Vertragspartner ein nicht ausschließliches Nutzungsrecht am Entwicklungsergebnis und den damit in Verbindung stehenden Schutz und Urheberrechten ein, beschränkt auf die Verwendung außerhalb des Tätigkeitsbereiches potentieller Wettbewerber von Secop Austria. Dies gilt im Besonderen für die Verwendung in hermetischen Kältemittelkompressoren. Secop Austria kann dieses Nutzungsrecht jederzeit widerrufen, falls der Vertragspartner mit einem Wettbewerber von Secop Austria auf dem im Wesentlichen gleichen Gebiet zusammenarbeitet. Das Widerrufsrecht endet grundsätzlich 7 Jahre nach Beendigung dieses Projektes. Secop Austria kann aus triftigem Grund eine angemessene Verlängerung dieses Konkurrenzverbotes für höchstens weitere 3 Jahre verlangen.

11.3 Vertragsdauer, Kündigung, Geltungsbereich

Dieser Vertrag tritt mit seiner Unterzeichnung in Kraft und verpflichtet beide Vertragspartner unbeschränkt zur Einhaltung der Richtlinien in Bezug auf Vertraulichkeit, Schutz- und Nutzungsrechte. Eine Sonstige Bindung hinsichtlich weiterer Verträge besteht nicht.

Im Falle einer Beendigung der Zusammenarbeit sind sämtliche Gegenstände, die Secop Austria dem Vertragspartner überlassen hat, unabhängig davon, ob sie bearbeitet oder unbearbeitet sind, einschließlich aller Zeichnungen und sonstigen Unterlagen und Vorrichtungen vom Vertragspartner an Secop Austria zurückzugeben.

Gegenständliche Vereinbarung bleibt auch mit dem Abschluss weiterführender Verträge aufrecht, sofern dies in diesen nicht explizit anders vereinbart wird.

11.4 Schlussbestimmungen

Änderungen und Ergänzungen dieses Vertrages bedürfen der Schriftform. Sollte eine Bestimmung dieses Vertrages unwirksam sein oder werden, so wird dadurch die Gültigkeit dieses Vertrages im Übrigen nicht berührt. Die Vertragsparteien sind im Rahmen des Zumutbaren nach Treu und Glauben verpflichtet, unwirksame Bestimmungen durch eine ihr in wirtschaftlichem Erfolg gleichkommende zulässige Regelung zu ersetzen, sofern dadurch keine wesentliche Änderung des Vertragsinhaltes herbeigeführt wird.

Erfüllungsort und Ausschließlicher Gerichtsstand, soweit nicht gesetzlich zwingend anders vorgeschrieben, für alle Streitigkeiten, die sich aus oder in Zusammenhang mit diesem Vertrag ergeben, ist Graz. Alle Streitigkeiten, die sich aus oder im Zusammenhang mit dieser Vereinbarung ergeben unterstehen der Republik Österreich.

Für den Vertragspartner

Für Secop Austria

.....

Ort:
 Datum:

Ort:
 Datum:

12 Anhang

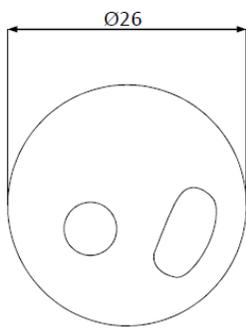


Abbildung 6: Ventilplatte eines Delta Kompressors mit Abmessung in mm (schematisch)¹³

¹³ Secop Austria, 2014d