



**Erarbeitung des morphologischen Kastens für den  
Kältekompressor 2018 auf Basis einer  
Systemkostenanalyse unter Zuhilfenahme  
verschiedener Ansätze zur Wertanalyse**

**Diplomarbeit**

durchgeführt von

**Stefan Amtmann**

zur Erlangung des akademischen Grades

**Diplom-Ingenieur**

Institut für Unternehmensführung und Organisation  
der Technischen Universität Graz

Leiter: Univ.-Prof. Dr. Stefan Vorbach

Begutachter: Univ.-Prof. Dr. Stefan Vorbach

Betreuerin: Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Christiana Müller

**Graz, im Februar 2014**

## Eidesstattliche Erklärung

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.

Graz, am .....

.....

(Stefan Amtmann)

## Vorwort und Danksagung

Ich möchte die Gelegenheit gerne nutzen und mich bei der Firma ACC Austria GmbH für die Möglichkeit der Durchführung der Diplomarbeit recht herzlich bedanken. Besonders die Abteilung für Forschung und Entwicklung, in der ich einen Arbeitsplatz im Rahmen der Diplomarbeit zur Verfügung gestellt bekommen habe, möchte ich mich noch zusätzlich für Ihre Hilfsbereitschaft und Unterstützung bedanken.

Besonderen Dank gilt natürlich Herrn DI Walter Brabek (Leiter der F&E-Abteilung), der die grobe Struktur der Diplomarbeit vorgab, und Herr Heinz Hösch und Herr Michael Gartner (Betreuer seitens ACC Austria) für Ihre kompetenten Ratschläge und kreativen Ansätze zur Gestaltung der Diplomarbeit.

Des Weiteren möchte ich noch die exzellente Unterstützung durch Frau DI Christiana Müller, Universitäts-Assistentin und Herrn Univ.-Prof. Dr. Stefan Vorbach, Leiter des Instituts für Unternehmungsführung und Organisation, hervorheben.

Das letzte und größte „Danke schön“ geht an meine Eltern, die mir während des gesamten Studiums großartig unterstützt haben, und mir somit optimale Rahmenbedingungen geschaffen haben, ohne die vieles nicht möglich gewesen wäre.

***„Unser größter Ruhm ist nicht, niemals zu fallen,  
sondern jedes Mal wieder aufzustehen.“***

Nelson Mandela (1918 - 2013)

# Zusammenfassung

Die ACC Austria GmbH in Fürstenfeld verbuchte mit ihren Kompressoren in der Vergangenheit große Erfolge und avancierte sich weltweit zur Nummer zwei und europaweit zur Nummer eins aller Kältekompressorenhersteller. Der Konkurrenzkampf innerhalb dieser Branche ist in den letzten Jahren enorm gestiegen. Um an den Erfolgen der letzten Jahre reibungslos anknüpfen zu können wurde bereits vor einigen Jahren ein Projekt zur Gestaltung des zukünftigen Kompressors gestartet und dafür Zielwerte definiert. Zur Zeit befindet sich das Projekt in einer Phase in der viele verschiedene Ideen und Konzepte generiert werden. In Zukunft wird derjenige Kompressor Marktführer sein, der die geringsten Systemkosten aufweist. Zu den Systemkosten gehören nicht nur die offensichtlichen Kosten eines Produktes (z.B. Material- und Arbeitskosten), sondern auch Kostenstellen (z.B. Verlustkosten und funktionale Kosten), welche mittels Umrechnungsfaktoren in der Systemkostenbetrachtung berücksichtigt werden.

Innerhalb dieser Diplomarbeit werden die aktuellen Systemkosten des Kompressors ermittelt und mit den Zielwerten des zukünftigen Kompressors verglichen. Darauf aufbauend werden die vorhandenen Widersprüche neu bewertet. Ein Widerspruch entsteht, wenn das Verbessern eines Parameters (z.B. Gewicht, Größe, Geschwindigkeit) zu einer Verschlechterung eines anderen Parameters führt. Mit Hilfe von wertanalytischen Ansätzen, wie bspw. der Funktionenanalyse, wird der Kompressor durchleuchtet und die relevanten Teilfunktionen ermittelt.

Zur Darstellung der verschiedenen Konzepte wird zu jedem Untersystem des Kompressors ein morphologischer Kasten erstellt. Unter Zuhilfenahme der zuvor erstellten Funktionenanalysen wurden die bestimmenden Teilfunktionen für den morphologischen Kasten definiert. Somit können die morphologischen Kästen mit den bereits generierten bzw. neuen Ideen gefüllt werden.

Abschließend wird eine Anleitung zur Erstellung von Lösungsvarianten gegeben. Diese Anleitung soll später dazu dienen, die Kombination von Lösungsprinzipien, das Finden von geeigneten Lösungsvarianten und die anschließende Bewertung der Lösungsvarianten zu erleichtern.

# Abstract

The ACC Austria GmbH in Fürstenfeld achieved great success with their compressors in the past and gained the world's number two position and the number one position in Europe of all refrigerant compressor manufacturers. The competition within the compressor sector has increased in recent years and the competitors all over the world have caught up enormously. In order to be able to continue on the success of recent years, a project for the future compressor was started a few years ago and target values were defined. Currently the project is located in the concept phase, where many different ideas and concepts are generated. In future, the compressor with the lowest system costs will be the market leader. The system costs include not only the obvious costs of a product (e.g. material costs and labor costs) but also the cost centers (e.g. losses costs and functional costs) which are taken into the system cost analyses.

In this diploma thesis the current system costs of the compressor are determined and compared with the target values of the future compressor. Based on the system cost analyses the contradictions are re-evaluated. A contradiction is produced when improving one parameter (e.g. weight, size and speed) leads to a deterioration of another parameter.

With the aid of value analyses, such as the functional analysis, the relevant sub-functions of the compressor are identified. With the current state of the system costs the sub-functions of the compressor can be quantified.

To illustrate the various concepts, a morphological box is created for each sub-system of the compressor. With the functional analyses, which was applied before, the relevant sub-functions for the morphological box were defined. The morphological boxes can now be filled with the previously generated ideas respectively new ideas.

Finally, a guide for creating possible solutions is given. This instructions should provide the basis for the combination of the solution principles, the finding of suitable solution variants and the evaluation of the solution variants.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1	Problemstellung .....	2
1.2	Aufgabenstellung und Zielsetzung .....	2
1.3	Vorgehensweise in der Ausarbeitung.....	3
<b>2</b>	<b>ACC Austria GmbH .....</b>	<b>7</b>
2.1	Firmenphilosophie und Firmenleitbild .....	8
2.2	F&E Abteilung.....	8
2.3	Der Umbruch.....	11
<b>3</b>	<b>Der Kältekompressor .....</b>	<b>13</b>
3.1	Kompressorkühlschrank.....	13
3.2	Kompressor DELTA 1.....	14
3.2.1	Modellreihen des Delta Kompressors.....	15
3.2.2	Aufbau und Funktionsweise des Kompressors .....	16
3.2.3	Der COP .....	19
3.3	Der Kompressor für 2018.....	20
<b>4</b>	<b>Systemkostenanalyse.....</b>	<b>24</b>
4.1	Systemeinzelkosten des Delta Kompressors .....	26
4.2	Materialkosten DM.....	28
4.2.1	Erhebung des Ist-Standes der DM .....	29
4.2.2	Vergleich der DM „September 2013“ mit „in Serie“ .....	31
4.2.3	Vergleich der Materialkosten mit den Zielwerten für den KK2018 .....	36
4.2.4	Potentialanalyse der Materialkosten.....	38
4.3	Verlustkosten (Losses) .....	41
4.3.1	Erhebung des Ist-Standes .....	42
4.3.2	Vergleich der Verlustkosten mit den Zielwerten für den KK2018.....	44
4.3.3	Potentialanalyse der Verlustkosten .....	45
4.4	Zusammenfassung.....	47

<b>5</b>	<b>Wertanalyse WA</b>	<b>49</b>
5.1	Begriffsdefinitionen	51
5.2	Der Begriff „Wert“	53
5.3	Funktionsanalyse	55
5.3.1	Gliederung der Funktionen	57
5.3.2	Funktionsbaum	59
5.3.3	FAST-Diagramm	61
5.4	Funktionsanalyse innerhalb der ACC	62
5.4.1	Festlegung der Untersysteme	62
5.4.2	Festlegung der Teams und Vorgehensweise	63
5.5	Anwendung der Funktionsanalyse	64
5.6	TRIZ innerhalb der Wertanalyse	71
5.6.1	TRIZ	71
5.6.2	Anwendung von TRIZ-Werkzeugen	72
5.6.3	Neubewertung der Widersprüche	73
5.7	Zusammenfassung	82
<b>6</b>	<b>Morphologischer Kasten</b>	<b>84</b>
6.1	Systematisch-analytische Methoden	84
6.1.1	Morphologische Matrix	85
6.1.2	Attribute-Listing	85
6.1.3	Mind-Mapping	85
6.1.4	Clustering	86
6.1.5	Progressive Abstraktion	86
6.1.6	KJ-Methode	87
6.1.7	Problemlösungsbaum	87
6.2	Vorgehensweise zur Erstellung eines morphologischen Kastens	88
6.3	Wichtige Anwendungshinweise	91
6.4	Morphologischer Kasten bei ACC	93
<b>7</b>	<b>Anleitung zur Erstellung von Lösungsvarianten</b>	<b>97</b>
7.1	Richtlinien für Lösungsprinzipien	97
7.2	Kombination der Ausprägungen	98
7.3	Herausfiltern von geeigneten Lösungsvarianten	99
7.4	Bewertung der Lösungsvarianten	99
7.4.1	Nutzwertanalyse	100
7.4.2	Vorgehensweise der NWA	100

<b>8</b>	<b>Fazit und Ausblick .....</b>	<b>104</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>107</b>
	<b>Anhang .....</b>	<b>A1</b>
<b>A</b>	<b>Contradiction List .....</b>	<b>A1</b>
<b>B</b>	<b>Morphologische Kästen .....</b>	<b>A7</b>
<b>C</b>	<b>Ermittlung der Umformungskosten .....</b>	<b>A12</b>

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Komponenten des SE-Modells .....	3
Abbildung 1.2: Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Komponenten des SE-Vorgehensmodell .....	4
Abbildung 1.3: Phasenplan der Diplomarbeit.....	5
Abbildung 1.4: Ausschnitt aus der WPL.....	6
Abbildung 2.1: Aufbau der F&E-Abteilung .....	9
Abbildung 3.1: Der Kühlkreislauf.....	13
Abbildung 3.2: Aufbau des Delta Kompressors .....	17
Abbildung 4.1: Systemkosten der verschiedenen Kompressorplattformen.....	25
Abbildung 4.2: Prozentuale Auflistung der einzelnen Systemkosten des Delta Kompressors .....	27
Abbildung 4.3: Einsparungspotential der einzelnen Untersysteme in Euro.....	34
Abbildung 4.4: Formel für die Berechnung der Verlustkosten.....	41
Abbildung 4.5: Verbesserungsbedarf der Teilwirkungsgrade .....	46
Abbildung 4.6: Aktualisierte Systemkostendarstellung .....	47
Abbildung 5.1: WA-Arbeitsplan nach EN 12973 .....	52
Abbildung 5.2: Gebrauchs- und Geltungswert von verschiedenen Konsumgütern .....	54
Abbildung 5.3: Der Begriff Funktion innerhalb der WA .....	56
Abbildung 5.4: Gliederung in Haupt-, Neben- und unnötige Funktion.....	58
Abbildung 5.5: Funktionenbaum .....	60
Abbildung 5.6: FAST-Diagramm.....	61
Abbildung 5.7: Funktionenbaum: „Casing“ .....	65
Abbildung 5.8: Funktionenbaum: „Kinematics“ .....	66
Abbildung 5.9: Funktionenbaum: „Gaslinie“ .....	67

Abbildung 5.10: Funktionenbaum: „Power Unit“ .....	68
Abbildung 5.11: Funktionenbaum: „Motor Control“ .....	69
Abbildung 5.12: Funktionenbaum: „Communication System“ .....	70
Abbildung 5.13: Untersysteme des Kompressors .....	74
Abbildung 5.14: Ausschnitt der Widerspruchsbewertung.....	79
Abbildung 5.15: Berücksichtigung der Auswirkungen und Einflüsse .....	80
Abbildung 5.16: Bewertung der Widersprüche in Geldeinheiten.....	81
Abbildung 5.17: Prozentuale Darstellung der Widerspruchsbewertung .....	82
Abbildung 6.1: Grundgerüst des Morphologischen Kastens .....	89
Abbildung 6.2: 635-Methode.....	91
Abbildung 6.3: Morphologischer Kasten für das Untersystem „Casing“ .....	94
Abbildung 7.1: Bildung von Lösungsvarianten durch Kombination der Ausprägungen .....	98
Abbildung 8.1: Funktionenkosten „Kinematics“ .....	106
Abbildung B.1: Morphologischer Kasten für das Untersystem „Kinematics“ .....	A7
Abbildung B.2: Morphologischer Kasten für das Untersystem „Gaslinie“ .....	A8
Abbildung B.3: Morphologischer Kasten für das Untersystem „Power Unit“ .....	A9
Abbildung B.4: Morphologischer Kasten für das Untersystem „Motor Control“ ..	A10
Abbildung B.5: Morphologischer Kasten für das Untersystem „Communication System“ .....	A11
Abbildung C.1: Ermittlung der Umformungskosten - Teil 1 .....	A12
Abbildung C.2: Ermittlung der Umformungskosten - Teil 2 .....	A13

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Grunddaten der ACC Austria GmbH.....	7
Tabelle 2.2: Technische Größen von ALPHA, KAPPA und DELTA.....	10
Tabelle 2.3: Kooperationen mit Forschungseinrichtungen.....	11
Tabelle 3.1: Modellreihen des Delta Kompressors.....	15
Tabelle 3.2: ASHRAE- und CECOMAF-Betriebstemperaturen.....	19
Tabelle 3.3: Zielwerte für den KK2018 im Jahr 2008.....	21
Tabelle 3.4: Zusammensetzung des Zielwertes DM.....	21
Tabelle 3.5: DM-Zielwerte für den KK2018 im Jahr 2013.....	22
Tabelle 3.6: Zielwert der Verlustkosten.....	23
Tabelle 3.7: Teilwirkungsgrade des KK2018.....	23
Tabelle 4.1: Umrechnungsfaktoren (aus dem Jahr 2010).....	26
Tabelle 4.2: Systemkosten Delta, RPM-Delta und KK2018.....	27
Tabelle 4.3: Materialkosten.....	28
Tabelle 4.4: Aufschlüsselung der DM des Delta Kompressors (September 2013) .....	29
Tabelle 4.5: Aufschlüsselung der DM des Delta Kompressors bei Serienbetrieb	31
Tabelle 4.6: Vergleich der DM des Delta Kompressors zwischen September 2013 und im Serienbetrieb.....	32
Tabelle 4.7: Kostenersparnis der einzelnen Untersysteme.....	33
Tabelle 4.8: Gesamtes Einsparungspotential der DM.....	34
Tabelle 4.9: Komponentenkosten der Elektronik.....	35
Tabelle 4.10: Prozentuale Verteilung des Einsparungspotentials der einzelnen Komponenten zuzüglich Elektronik.....	36
Tabelle 4.11: DM-Vergleich zwischen Delta und KK2018.....	37
Tabelle 4.12: Reihung der Untersysteme aufgrund ihres Potentials.....	38

Tabelle 4.13: Ausschnitt der Materialkostenaufschlüsselung in Rohmaterial und externe Umformungskosten.....	40
Tabelle 4.14: Ist-Werte der Teilwirkungsgrade des Delta Kompressors .....	43
Tabelle 4.15: Verlustkosten des Delta Kompressors (ALT & NEU) .....	43
Tabelle 4.16: Veränderungen der Verlustkosten aufgrund von Verbesserungen	44
Tabelle 4.17: Teilwirkungsgrade des RPM-Delta Kompressors.....	45
Tabelle 4.18: Vergleich der Teilwirkungsgrade (KK2018 - RPM-Delta) .....	45
Tabelle 4.19: Reihung der Teilwirkungsgrade aufgrund ihres Potentials .....	46
Tabelle 4.20: Aktualisierte Systemkostendarstellung in Werten .....	48
Tabelle 5.1: Ermittlung des gesamten Einsparungspotentials .....	77
Tabelle 5.2: Verteilung des Einsparungspotentials DM .....	77
Tabelle 5.3: Verteilung des Einsparungspotentials Gaslinie .....	78
Tabelle 7.1: Gewichtung der Zielkriterien .....	101
Tabelle 7.2: Ermittlung des Teilnutzens und des Nutzwertes .....	102

# Abkürzungsverzeichnis

ACC	Appliances Components Companies
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigeratin and Air- Conditioning Engineers
CECOMAF	European Committee of Air Handling and Refrigeration Equipment Manufacturers
DM	Materialkosten
DIN	Deutsches Institut für Normung
DIN EN	Deutsche Übernahme einer Europäischen Norm
EN	Europäische Norm
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
FAST	Funktionen-Analyse-System-Technik
FMEA	Failure mode and effects analysis
KK2018	Kältekompressor 2018
Losses	Verlustkosten
NWA	Nutzwertanalyse
RC	Resistor Capacitor
SE	Systems Engineering
TRIZ	Theorie des erfinderischen Problemlösens
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WA	Wertanalyse
WA-Arbeitsplan	Wertanalyse-Arbeitsplan
WA-Objekt	Wertanalyse-Objekt
WA-Team	Wertanalyse-Team
WPL	Work Package List
WS	Widerspruch
ZF	Zusatzfunktionen

# 1 Einleitung

Ein Produktentwicklungsprojekt resultiert aus strategischen Entscheidungen, verbunden mit den vorgegebenen Zielen. Diese Zielsetzung muss in allen Ebenen und Bereichen eines Unternehmens klar definiert sein, sodass sich ein Projekt an diesen Zielen orientieren kann und dadurch messbar gemacht wird. Ein wichtiger Aspekt ist die Erkenntnis über die Markt-Kunden-Situation. Wichtige Fragen sollten im Vorfeld eines Projektstarts beantwortet werden, um ein Projekt zielgesteuert bearbeiten zu können.<sup>1</sup>

Die wichtigsten Fragestellungen lauten:<sup>2</sup>

- In welchen Märkten befinde ich mich derzeit mit dem Produkt?
- Besteht die Möglichkeit, in neue Märkte einzudringen und wenn ja, in welche?
- Wer sind die Haupt- und Nebenkunden?
- Was sind die Anforderungen an das Produkt?
- Wer sind die Wettbewerber und mit welchen Produkten sind sie am Markt?
- Wer könnte in Zukunft zu einem erstzunehmenden Wettbewerber heranwachsen bzw. neu in den Markt einsteigen?
- Welchen Preis muss man mit welchen Anforderungen erzielen um am Markt konkurrenzfähig zu sein?

Können die meisten Fragen nicht ausreichend beantwortet werden aufgrund mangelnder Informationen über die nötigen Kundenbeziehungen und Marktforschungen, dann können auch die Erwartungen durch das Produkt meistens nicht erfüllt werden. Zudem hat man die große Chance vertan, mit dem richtigen Produkt, den richtigen Markt zu erobern und somit Wettbewerbsvorteile verspielt. Dies kann z.B. durch eine Wertanalyse verhindert werden, denn sie verknüpft die Funktionen eines Produktes mit den Kundenanforderungen und ist somit ein starkes Werkzeug, um sich an die stetig veränderten Anforderungen, aufgrund von z.B. Umweltpolitik und Konsumverhalten, anzupassen.

---

<sup>1</sup> Pauwels, 2011, S.2

<sup>2</sup> Pauwels, 2011, S.3

## 1.1 Problemstellung

Das Projekt „Kältekompressor 2018“ (KK2018) befindet sich derzeit in der Phase der Vorentwicklung, in welcher das Projektteam verschiedene Konzepte zu den einzelnen Komponenten erstellt. Ergebnis dieser Phase ist eine Vielzahl an möglichen Konzepten für die jeweiligen Komponenten des KK2018. Am Ende gibt es eine große Menge an Kombinationsmöglichkeiten zwischen den einzelnen Komponentenkonzerten. Um eine gezielte Auswahl der Konzepte zu treffen, soll die Entscheidung, neben strategischen Aspekten, auf ökonomische und technische Parameter (z.B. Kosten, Wirkungsgrad etc.) gestützt sein. Ein Werkzeug zur Unterstützung der Entscheidungsfindung für mögliche Konzeptkombinationen ist derzeit noch nicht vorhanden. Des Weiteren wurden wertanalytische Ansätze, wie bspw. die Funktionenanalyse, noch nicht in Betracht gezogen.

## 1.2 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Die ACC Austria entschloss sich als unterstützendes Werkzeug für die Entscheidungshilfe der Konzeptkombinationen einen morphologischen Ansatz zu wählen, damit die in der Projektphase der Vorentwicklung erarbeitenden Konzepte gegliedert und miteinander kombiniert werden können. Zuerst soll der Blick auf die Systemkosten gerichtet sein, um Entwicklungsschwerpunkte ableiten zu können. Danach sollen wertanalytische Ansätze die Umsetzung unterstützen und neue Erkenntnisse liefern.

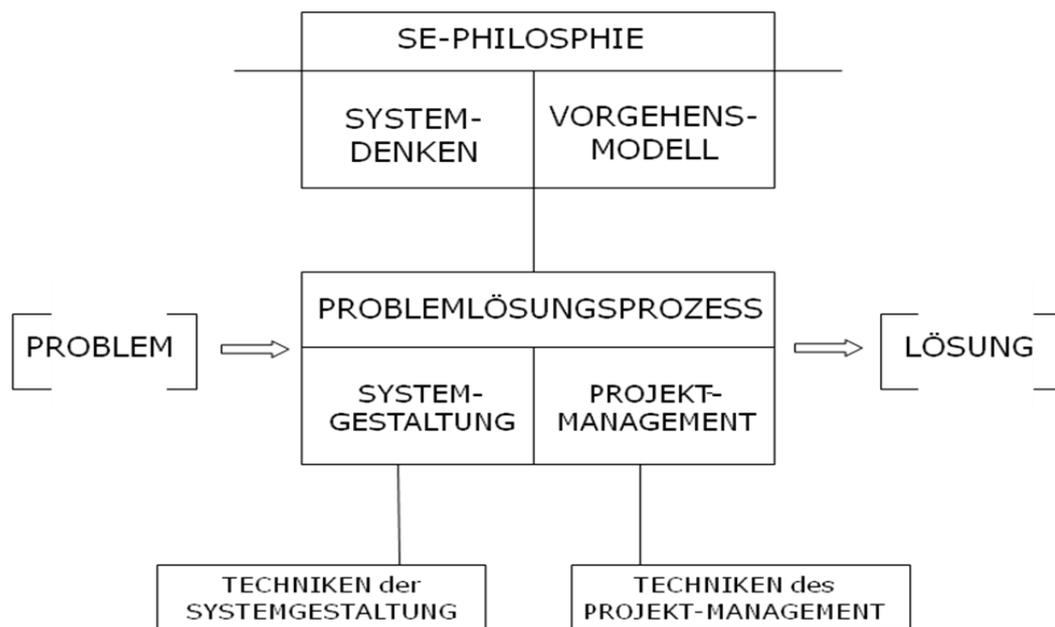
Basierend auf einer umfassenden Systemkostenanalyse des Delta Kompressors und mit Hilfe von wertanalytischen Ansätzen soll ein Konzept in Form eines morphologischen Kastens erarbeitet werden, in dem alle möglichen Ausprägungsformen eines Kompressors realisiert werden können.

Ziel dieser Diplomarbeit ist die Gestaltung eines morphologischen Kastens für den KK2018, sodass zukünftige Strategien bzw. Konzeptkombinationen abgeleitet werden können. Für die Zielerreichung wurden folgende Sub-Ziele definiert:

- Durchführung einer Systemkostenanalyse und Vergleich mit den Zielwerten des KK2018.
- Ermittlung der Teilfunktionen des Kompressors.
- Anleitung zur Erstellung von Lösungsvarianten.

### 1.3 Vorgehensweise in der Ausarbeitung

Innerhalb dieser Diplomarbeit wurde die Vorgehensmethodik Systems Engineering (SE) gewählt, damit von Beginn an eine logische und strukturierte Arbeitsabfolge gewährleistet ist. SE wird auch in der Firma ACC Austria GmbH verwendet und ist ein wichtiger Begleiter der einzelnen Projekte. Die Komponenten des SE-Modells sind in der Abbildung 1.1 dargestellt.



**Abbildung 1.1:** Komponenten des SE-Modells<sup>3</sup>

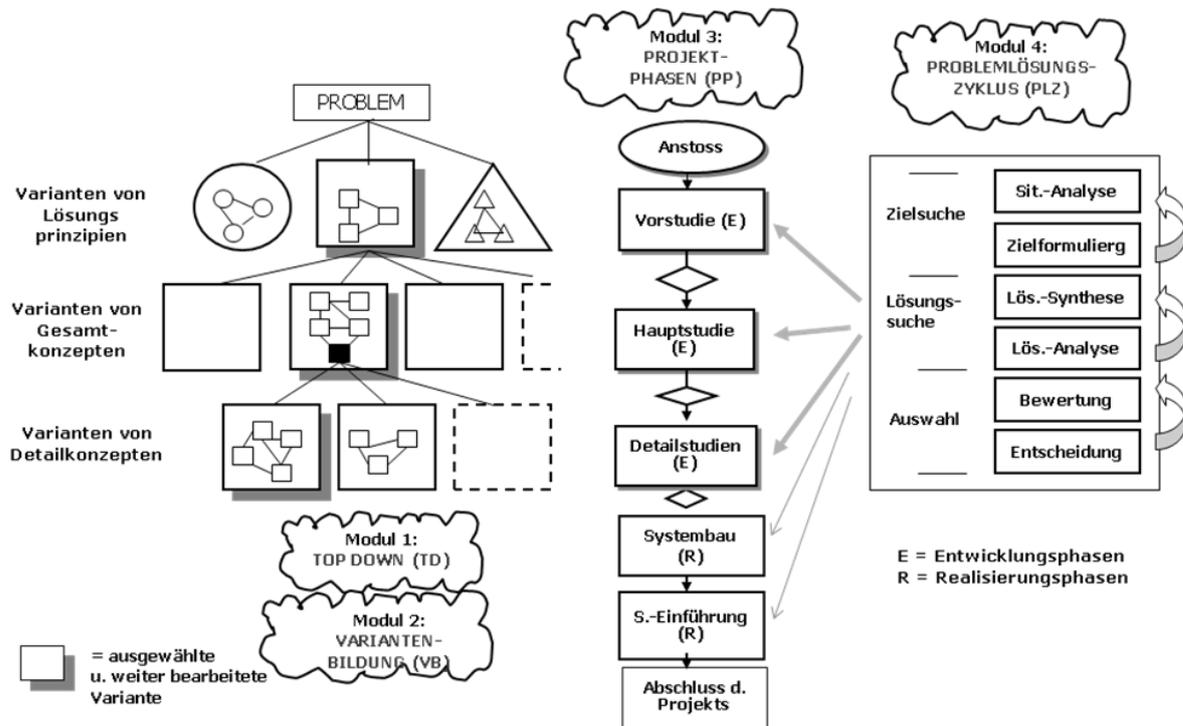
Die vier Grundgedanken die dabei dahinter stecken sind:<sup>4</sup>

- vom Grobem ins Detail zu gehen.
- mehrere Varianten zu berücksichtigen und nicht gleich die „erstbeste“ wählen.
- die zeitliche Gliederung der Systementwicklung und -realisierung (Phasenablauf) in Projektphasen.
- beim Lösen der auftretenden Problemen nach einem Problemlösungszyklus vorzugehen.

<sup>3</sup> Haberfellner et al., 2012, S.33

<sup>4</sup> Haberfellner et al., 2012, S.57

Diese vier Komponenten können miteinander kombiniert werden und ergeben in Summe ein sinnvolles Ganzes.<sup>5</sup> Die Zusammenhänge der vier Komponenten sind in der Abbildung 1.2 ersichtlich.

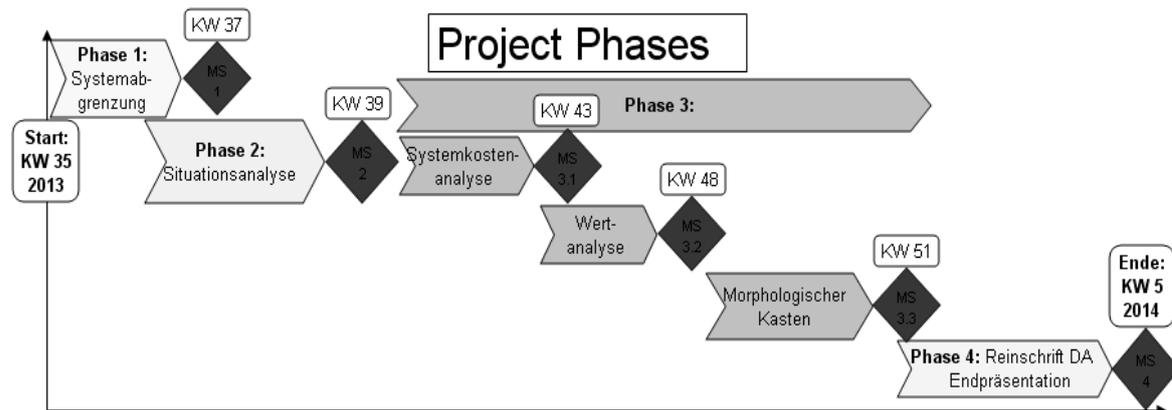


**Abbildung 1.2:** Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Komponenten des SE-Vorgehensmodell<sup>6</sup>

Am Anfang dieser Diplomarbeit wurde ein Phasenplan (siehe Abbildung 1.3) erstellt. Darin wurde die Diplomarbeit in einzelne Projektphasen eingeteilt und der zeitliche Rahmen definiert. Als Vorlage diente ein firmeninternes Template. Der Problemlösungszyklus des SE-Modells musste nicht angewandt werden, da keine schwerwiegende Probleme auftauchten.

<sup>5</sup> Habermellner et al., 2012, S.57

<sup>6</sup> Habermellner et al., 2012, S.85



**Abbildung 1.3:** Phasenplan der Diplomarbeit

Im Anschluss daran wurde im selben Template die Work Package List (WPL) erstellt. Die WPL (siehe Abbildung 1.4) beinhaltet alle relevanten Arbeitsschritte der einzelnen Projektphasen.

In der ersten Phase geht es vor allem darum, sich mit der Abteilung und dem Arbeitsumfeld vertraut zu machen und den Phasenplan mit den dazugehörigen Arbeitsschritten zu erstellen.

Die zweite Phase beinhaltet die Literaturrecherche der relevanten Themengebiete in dieser Arbeit wie bspw. dem morphologische Kasten und der Wertanalyse. Um ein besseres Verständnis über das Projekt KK2018 zu erlangen, werden die bereits vorhandenen Diplomarbeiten der letzten Jahre und firmeninterne Dokumente über den Kompressor analysiert.

Phase drei beinhaltet die Erarbeitung der Aufgabenstellungen und ist dadurch in drei weiterer Sub-Phasen untergliedert: die Systemkostenanalyse, die Wertanalyse und dem morphologischen Kasten. In der Phase der Systemkostenanalyse richtet sich der Fokus auf die Material- und Verlustkosten. Die jeweiligen aktuellen Material- und Verlustkosten werden ermittelt und mit den Zielwerten verglichen um Entwicklungsschwerpunkte zu setzen. In der Phase der Wertanalyse wird eine Funktionenanalyse für alle Untersysteme des Kompressors durchgeführt und daraus Funktionenbäume erstellt. Darüber hinaus wird die TRIZ-Methodik „Widersprüche“ aufgegriffen und Mithilfe der Systemkostenanalyse neu bewertet. Aufbauend auf die Ergebnisse der Funktionenanalyse werden die morphologischen Kästen abgeleitet und erstellt. Abschließend wird noch eine Anleitung zur Erstellung von Lösungsvarianten gegeben.

In der letzten Phase erfolgt die Reinschrift der Diplomarbeit und die Endpräsentation.

Nach jeder Phase sind Meilensteine definiert, damit die Zeitdauer kontrolliert und bei Überschreitungen reagiert werden kann.

		Work package list WPL			
		Erarbeitung des morphologischen Kastens für den Kältekompressor 2018 auf Basis einer Systemkostenanalyse unter Zuhilfenahme verschiedener Ansätze zur Wertanalyse			
BD-00-043579-A-1-					
Nr.	Decision Level	Work package Name	Decision Date week	Responsible Name	Decis. Status
1	Phase 1	Kennen lernen der ACC Austria GmbH und F&E Abteilung	35	Amtmann	
2	Phase 1	Einführung in das Problem			
3	Phase 1	Projektauftrag für die Diplomarbeit			
4	Phase 1	Vorstellung bei ACC Austria			
5	Phase 1	Activity order			
6	Phase 1	Work package list + Project phases			
7	MS 1	Final Report Phase 1	37		
8	Phase 2	Target definition Phase 2			
9	Phase 2	DA Sorger, DA Bilek, DA Unger, DA Lang, DA Breuss			
10	Phase 2	Disseratation Hösch			
11	Phase 2	Literaturrecherche Systemkosten, Materialkosten			
12	Phase 2	Literaturrecherche Wertanalyse, Funktionsanalyse			
13	Phase 2	Literaturrecherche Morphologischer Kasten			
14	MS 2	Final Report Phase 2	39		
15	Phase 3	Target definition Phase 3			
16	Phase 3	Systemkostenanalyse von DELTA 1			
17	Phase 3	Aktuelle Systemkostenbetrachtung			
18	Phase 3	Definition der Zielwerte für KK2018			

Abbildung 1.4: Ausschnitt aus der WPL

## 2 ACC Austria GmbH

Die ACC Austria GmbH<sup>7</sup> mit Sitz in Fürstenfeld wurde im Jahr 1982 gegründet. ACC steht für „Appliances Components Companies“. Das Unternehmen stellt hermetisch geschlossene Kältekompressoren für Haushaltskühlgeräte her und beliefert weltweit Kunden. Zu den Hauptkunden zählen u. a.: Liebherr, Whirlpool und Electrolux.

### Eckdaten der Firma

Im Jahr 2012 erzielte das Unternehmen mit rund 680 Mitarbeitern einen Umsatz von etwa 150 Millionen Euro. Jährlich werden rund 6 Mio. Kältekompressoren in Fürstenfeld hergestellt, wobei die Exportquote bei etwa 95% liegt. Der europäische Marktanteil im Jahr 2012 wird lt. ACC Austria GmbH mit ca. 39% beziffert. Das Unternehmen positioniert sich somit als europäischer Marktführer im Branchensegment. Zur besseren Veranschaulichung sind die wichtigsten Firmendaten nochmals in der Tabelle 2.1 zusammengefasst.

Gründungsjahr	1982 in Fürstenfeld
Branche	Metallerzeugung und -verarbeitung
Produktgruppe	hermetisch geschlossene Kältekompressoren für Haushaltskühlgeräte
Mitarbeiter	ca. 680
Umsatz 2012	rund €150 Mio.
Produktionsvolumen	zwischen 5,5 bis 6 Mio./Jahr
Exportquote	ca. 95%
Marktanteil Europa	ca. 39%

**Tabelle 2.1:** Grunddaten der ACC Austria GmbH<sup>8</sup>

<sup>7</sup> seit 07.01.2014: SECOP Austria

<sup>8</sup> ACC, 2013a, S.4ff

Das Unternehmen ermöglicht, Produkte mit höchster Qualität und Produktivität zu flexible Lieferzeiten zu produzieren. Die ACC gilt als zuverlässiger Partner, da sie aufgrund von Markttrends und Anforderungen des Marktes exakt auf die Bedürfnisse der Kunden eingehen.

## **2.1 Firmenphilosophie und Firmenleitbild**

Als entscheidenden Erfolgsfaktor sieht die ACC Austria GmbH Ihre MitarbeiterInnen. Um am dynamischen Weltmarkt bestehen zu können braucht man eine qualifizierte Belegschaft, die mit Motivation und Begeisterung bei der Arbeit ist, und somit Innovationssprünge und Technologieführung ermöglichen.

Das Firmenleitbild, welches in der Firma in Form von Bildern ersichtlich ist, beschreibt die Richtung in die man geht:

*Einen Schritt näher an den Kundenanforderungen*

*Einen Schritt schneller in Entwicklung und Technologie*

*Einen Schritt perfekter in allen Geschäfts- und Fertigungsprozessen*

*Einen Schritt attraktiver für unsere Mitarbeiter und Partner*

*Einen Schritt achtsamer in der Berücksichtigung gesellschaftlicher und ökologischer Interessen*

*Einen Schritt erfolgreicher in wirtschaftlichen Belangen*

## **2.2 F&E Abteilung**

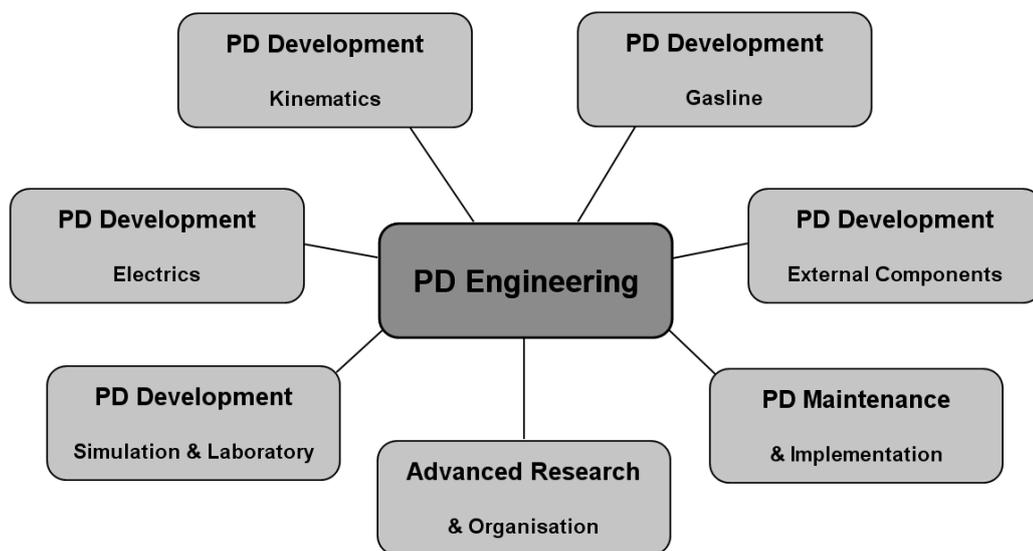
Der Schwerpunkt liegt in der Entwicklung und Verbesserung der Technologien von Kompressoren mit dem Fokus auf einen extrem niedrigen Energieverbrauch.

Innerhalb der Abteilung für Forschung und Entwicklung wird stets versucht sich an bestimmte Erfolgsparameter zu halten:

- Intelligentes Produkt-Portfolio
- Kostenführerschaft im Top-Leistungs-Segment
- Konzentration auf Hubkolben-Technologie

- Kontinuierliche Erforschung alternativer Technologien
- Erforschung der Markt-Trends
- Beste Kundenbeziehungen durch hohe technische Unterstützung

Besonders in der F&E Abteilung hat man ein Klima geschaffen, in dem sich die Mitarbeiter wohl fühlen und ihr Innovationsgeist und ihre Kreativität geweckt werden. Derzeit sind ca. 25 Mitarbeiter in der F&E Abteilung beschäftigt und die F&E Ausgaben betragen in etwa 7% des Jahresumsatzes. Der Aufbau der F&E Abteilung ist in der Abbildung 2.1 ersichtlich.



**Abbildung 2.1:** Aufbau der F&E-Abteilung

Zusätzlich zu den einzelnen Bereichen gibt es so genannte Experten, welche sich aufgrund der intensiven Beschäftigung und Forschung mit einer Thematik ein enormes Fachwissen aneigneten.

## Produkte

Die ACC Austria GmbH fertigt drei Kompressorplattformen: ALPHA, KAPPA und DELTA (siehe Tabelle 2.2).

ALPHA ist jene Plattform, die das Unternehmen seit Gründung fertigt. Bei KAPPA wurde eine eigene interne Entwicklergruppe engagiert, um diese Plattform zu entwickeln. Die Plattform KAPPA erzielt nach wie vor das größte Produktions-

volumen in Fürstenfeld. Die dritte Plattform, DELTA, befindet sich derzeit in Serienhochlauf.

Alle drei Kompressorplattformen gibt es in den unterschiedlichsten Ausführungen in Bezug auf Kühlleistung und Wirkungsgrad. Bei der Plattform ALPHA gibt es noch ein drittes Unterscheidungsmerkmal, das Kühlmittel.

	ALPHA	KAPPA	DELTA
Kühlmittel	R134a / R600a	R600a	R600a
Nennspannung [V]	220 – 240	220 – 240	220 – 240
Elektronik		optionale Startvorrichtung	optionale Startvorrichtung
Kühlleistung [W]	70 – 205	93 – 202	46 – 120

**Tabelle 2.2:** Technische Größen von ALPHA, KAPPA und DELTA<sup>9</sup>

## Innovation und Forschung

Aufgrund von Innovation und zielgesteuerter Forschung ist Technologieführung möglich. Als Beispiel dafür ist der Kompressor DELTA zu nennen, welcher vor allem durch die Merkmale Größe und Gewicht den Weltmarkt revolutionierte, als kleinster und leichtester Kompressor.

Die Schwerpunkte der Forschung liegen u. a. in den Bereichen der Kältetechnik, Kinematik, Akustik und Werkstoffe, um sich an veränderte Anforderungen und Trends anzupassen.

Des Weiteren bestehen enge Kontakte mit Forschungseinrichtungen (siehe Tabelle 2.3), um den Informations- und Innovationsgrad zu erhöhen.

<sup>9</sup> ACC, 2013a

Zusammenarbeit mit Universitäten	Technische Universitäten, Fachhochschulen
Zusammenarbeit mit außeruniversitären Forschungseinrichtungen	diverse Forschungseinrichtungen
Beteiligungen an Kompetenzzentren, CD-Labors, etc.	Christian Doppler Labor, ITZ Fürstenfeld

**Tabelle 2.3:** Kooperationen mit Forschungseinrichtungen

## 2.3 Der Umbruch

Die ACC Austria GmbH war bis vor der Anmeldung zur Insolvenz ein Teil des ACC Konzerns mit Hauptsitz in Italien (Pordenone). Neben Fürstenfeld hatte der ACC Konzern noch Niederlassungen in Deutschland (Oldenburg), Ungarn, Spanien und China. Aufgrund der Insolvenz der Muttergesellschaft in Italien und der Tochtergesellschaft in Deutschland, war auch die ACC Austria dazu gezwungen, Ende des Jahres 2012 in Insolvenz zu gehen. Somit war der größte Arbeitgeber in der Region Fürstenfeld in höchster Bedrängnis und stand zum Verkauf. Im April 2013 endeten die Vertragsverhandlungen mit der Übernahme durch Secop, einer Tochtergesellschaft von AURELIUS. Dies wird als wichtiger und strategischer Schritt beiderseits gesehen, da einerseits die ACC Austria ein wichtiger internationaler Lieferant ist und somit eine perfekte Ergänzung des Secop-Portfolios darstellt. Andererseits wurden dadurch der Produktionsstandort in Fürstenfeld und die damit verbundenen Arbeitsplätze sichergestellt. Nach Prüfung der jeweiligen Kartellämter konnte die Übernahme Ende des Jahres 2013 positiv abgeschlossen werden.<sup>10</sup>

### Secop

Die deutsche Firma Secop GmbH (früher: Danfoss Household Compressors) mit Sitz in Flensburg ist, ähnlich wie die ACC Austria, ein Produzent von Kompressoren für Haushalts- und Gefriergeräte, gewerblichen Kleinanlagen und

<sup>10</sup> Wirtschaftsblatt, 2013

Gleichstromverdichter für mobile Verwendungen. Des Weiteren gibt es Produktionsstandorte in der Slowakei, China und Slowenien. In den Abteilungen Produktsupport, Forschung und Entwicklung und Vertrieb arbeiten in etwa 100 Mitarbeiter. Die Secop GmbH ist eine Tochtergesellschaft von AURELIUS, eine Industrieholding-Gruppe mit Sitz in München.<sup>11</sup>

## **AURELIUS**

Das Geschäftsmodell der AURELIUS Gruppe zielt darauf ab, Unternehmen zu erwerben und diese mit operativen Mitteln zu unterstützen. Dabei werden langfristige Beziehungen mit Unternehmen angestrebt, welche ein hohes Entwicklungspotential aufweisen. Ihre Kompetenz liegt vor allem in langjähriger Erfahrung von Investitionen und Management. Die operativen Mittel beinhalten vor allem Managementkapazitäten und finanzielle Unterstützung für Investitionen in neue, innovative Produkte, Forschung und Vertrieb. Der Fokus bei der weltweiten Unternehmungssuche richtet sich u.a. auf die Bereiche Industrieunternehmen, Verbrauchsgüter, Telekommunikation, Nahrungsmittel und Getränke, Unternehmensdienstleistungen und Chemie. Der Umsatz stieg im Jahr 2012 von 1,26 auf 1,38 Mrd. Euro.<sup>12</sup>

---

<sup>11</sup> Wirtschaftsblatt, 2013

<sup>12</sup> Wirtschaftsblatt, 2013

### 3 Der Kältekompressor

In diesem Kapitel wird zuerst das Kühlschranksystem erklärt, bei dem der Kompressor zur Anwendung kommt. Danach wird näher auf den Delta Kompressor eingegangen und der Aufbau, die Funktionsweise, sowie die Leistungszahl (COP) erläutert. Abschließend werden die Zielwerte für den KK2018 festgelegt.

#### 3.1 Kompressorkühlschrank

Die meisten Kühlgeräte, welche in Haushalte und Industrie zur Anwendung kommen, basieren auf diesem System. Neben Kompressorkühlschränke gibt es noch Absorberkühlschränke und thermoelektrische Kühlschränke. Der Kompressor befindet sich bei einem Kompressorkühlschrank an der Rückseite. Das physikalische Grundprinzip des Kühlkreislaufes (siehe Abbildung 3.1) basiert auf der Tatsache, dass die Energie immer vom höheren zum niedrigeren Potential wandert (z.B.: von warmen zu kalten Objekten). Als Kältemittel wird beim Delta Kompressor das Gas R600a verwendet. Die Normwerte für R600a sind:

- Saugdruck 0,627bar (abs) = -23,3°C Siede- (Verdampfungs-) temperatur
- Gegendruck 7,78bar (abs) = 55°C Siede- (Verdampfungs-) temperatur

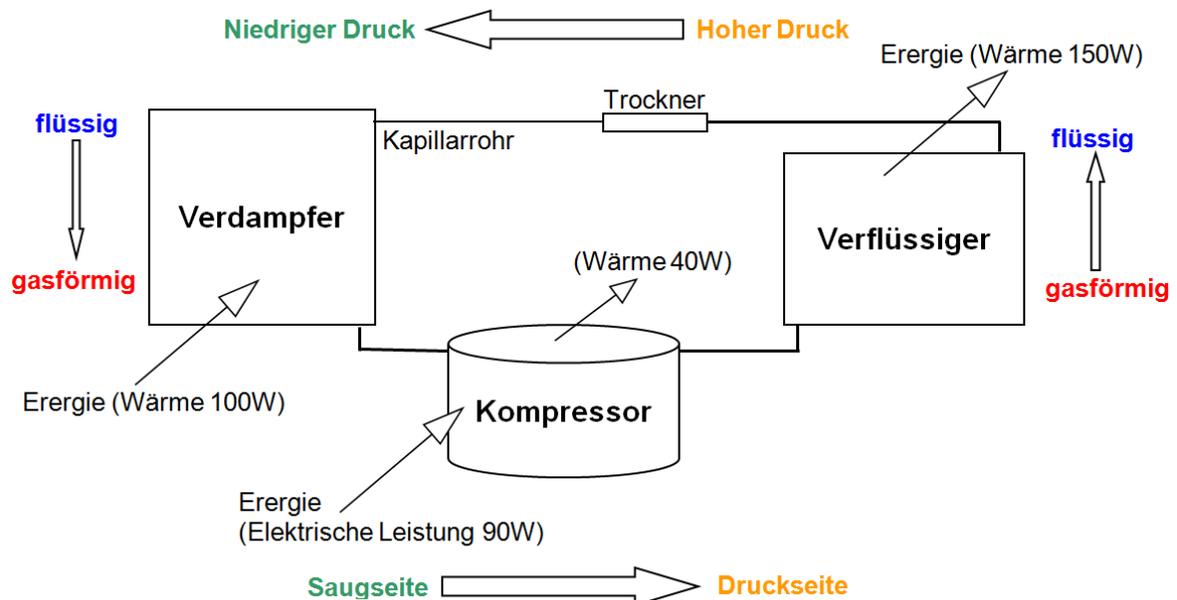


Abbildung 3.1: Der Kühlkreislauf<sup>13</sup>

<sup>13</sup> Vgl. Schögler, 1997, S.3

Der Kompressor verdichtet das Gas von 0,627 bar auf 7,78 bar. Während des Verdichtens wird das Gas bis auf 160°C erwärmt. Das Gas kommt vom Verdichter in den Verflüssiger. Die Raumtemperatur beträgt im Normalfall rund 20°C, sodass das heiße Gas nun Energie (Wärme) an die Umgebung abgibt. Sinkt die Temperatur des Gases auf unter 55°C, wird das Gas flüssig, da die Siedetemperatur des Gases bei diesem Druck unterschritten wird (zum Vergleich: Wasser siedet bei 100°C). Die Flüssigkeit geht nun durch den Trockner, der verhindert, dass die Restwassermenge des Verdichters die Kapillare verstopft. Durch das Kapillarrohr (ca. 1,5m lang und 0,5mm Durchmesser) wird der Druck von 7,78 auf 0,627 bar reduziert. Durch das Senken des Druckes reduziert sich auch die Siedetemperatur, das heißt, dass das Gas nun bei ca. -23°C siedet. Die Siedetemperatur ist nun niedriger als die Temperatur im Inneren des Kühlschranks und das Gas nimmt nun die Energie aus der Umgebung (Kühlraum) auf. Das Gas, welches durch das Verdampfen entstanden ist, wird wieder vom Verdichter angesaugt. Das Wirkprinzip des Kompressor-Kühlschranks ist ähnlich dem einer Wärmepumpe, sie unterscheiden sich lediglich durch die Nutzung der Wärmeübertrager. Die Temperaturregelung des Kompressors erfolgt über einen Thermostaten, der den Kompressor ein- und ausschaltet (ON/OFF Betrieb).<sup>14</sup>

Derzeit werden rund 240 Mio. Kompressoren weltweit produziert, davon werden in etwa 140 Mio. Kompressoren (rund 60%) für den Haushaltssektor gebraucht. Davon sind 97% noch im klassischen ON/OFF Betrieb.<sup>15</sup>

### 3.2 Kompressor DELTA 1

Der Delta Kompressor (1. Generation) wird seit rund vier Jahren in Fürstenfeld produziert. Wie schon der Kappa Kompressor wurde Delta komplett in Fürstenfeld geplant, konstruiert und gefertigt. Er besticht vor allem durch seine kleine und leichte Bauweise gegenüber den Konkurrenzprodukten. Aber auch in anderen Bereichen wurde der Delta Kompressor effizienter gestaltet:

- 50% geringeres Gewicht
- 40% kleiner
- 30% weniger Komponenten

---

<sup>14</sup> Schögler, 1997, S.3

<sup>15</sup> ACC, 2013b, S.3

- 15% mehr Energieeffizienz
- erhöhter Wirkungsgrad (je nach Modell)
- kompakte Bauform
- kundenorientierter

### 3.2.1 Modellreihen des Delta Kompressors

Der Delta Kompressor wird grundsätzlich in zwei Bereiche untergliedert: „Top efficiency“ und „Superior efficiency“. In beiden Bereichen gibt es unterschiedliche Modelle, welche je nach Anwendung zur Auswahl stehen. Somit besteht die Möglichkeit in beiden Bereichen zwischen 6 Modellen zu wählen, was eine Gesamtsumme von 12 Modellen (siehe Tabelle 3.1) des Delta Kompressors ergibt.

Die Unterscheidungsmerkmale sind zu einem die Kühlleistung und zum anderen der daraus resultierende COP zu ASHRAE (-23,3°C) und CECOMAF (-25°C) Bedingungen. ASHRAE und CECOMAF sind zwei unterschiedliche Normen, nach denen gemessen wird (siehe Tabelle 3.2).

	Modell	Kühlleistung [W]		COP ohne RC		COP mit RC	
		AHSRAE	CECO-MAF	AHSRAE	CECO-MAF	AHSRAE	CECO-MAF
Top efficiency	HTD30AA	46	34	1,51	1,18	1,6	1,24
	HTD35AA	56	42	1,54	1,2	1,63	1,27
	HTD40AA	67	50	1,57	1,23	1,64	1,29
	HTD45AA	82	62	1,59	1,26	1,68	1,32
	HTD55AA	102	77	1,62	1,28	1,71	1,35
	HTD60AA	120	90				
Superior efficiency	HXD30AA	46	34			1,7	1,33
	HXD35AA	56	42			1,72	1,36
	HXD40AA	67	50			1,75	1,37
	HXD45AA	82	62			1,79	1,41
	<b>HXD55AA</b>	<b>102</b>	<b>77</b>			<b>1,83</b>	<b>1,45</b>
	HXD60AA	120	90			1,82	1,44

**Tabelle 3.1:** Modellreihen des Delta Kompressors<sup>16</sup>

Bei den Top-Modellen gibt es die Möglichkeit, mit und ohne RC (engl. Resistor Capacitor) zu wählen. Die Superior-Modelle werden nur mit RC angeboten. Man erkennt auch, dass die Superior-Modelle einen deutlich höheren COP aufweisen,

<sup>16</sup> ACC, 2013c

was beim Endkunden einen geringeren Energieverbrauch und somit zu geringeren Kosten führt.

Als Bezugsbasis dient der Delta Kompressor des Typs HXD55AA. Alle in dieser Diplomarbeit ermittelten Werte beziehen sich auf dieses Modell.

### **3.2.2 Aufbau und Funktionsweise des Kompressors**

In der Abbildung 3.2 ist der Aufbau des Kompressors mit den wesentlichen Elementen (z.B. Gehäuse, Stator, Rotor, Kurbelwelle, Pleuel, Kolben, etc.) ersichtlich.

Der Delta Kompressor ist ein hermetisch geschlossenes System. Laut einer Verordnung wird ein hermetisch geschlossenes System folgendermaßen definiert:<sup>17</sup>

*„Ein System, bei dem alle Bauteile, die Kältemittel enthalten, durch Schweißen, Löten oder eine ähnliche dauerhafte Verbindung abgedichtet sind und das auch gesicherte Ventile und gesicherte Zugangsstellen für die Wartung enthalten kann, die einer ordnungsgemäßen Reparatur oder Beseitigung dienen und die eine geprüfte Leckagerate von weniger als drei Gramm pro Jahr unter einem Druck von wenigstens einem Viertel des höchstzulässigen Drucks haben“.*

Systeme gelten jedoch nur als hermetisch geschlossen, wenn sie entsprechend gekennzeichnet sind.

---

<sup>17</sup> Verordnung (EG), 2006

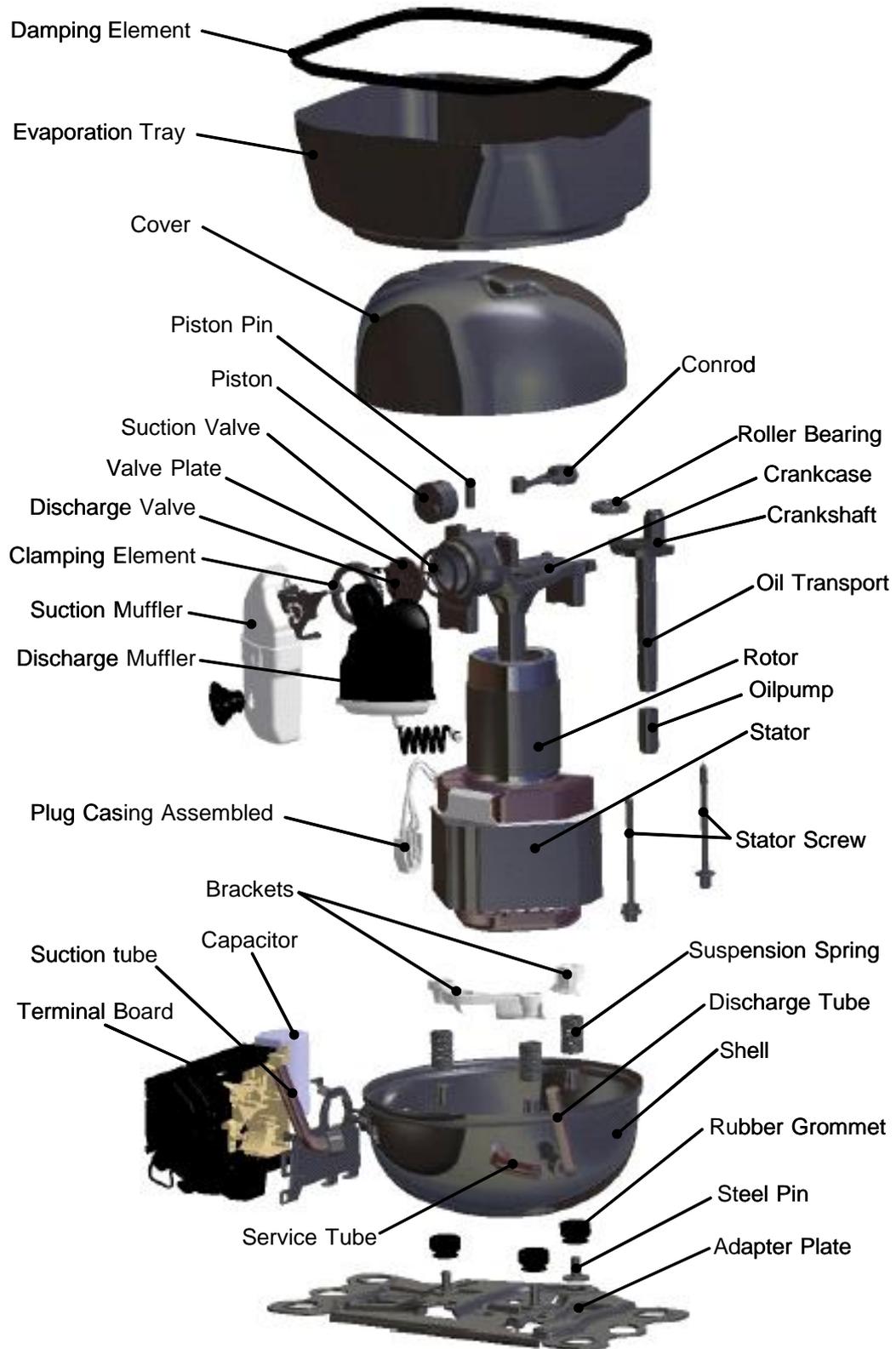


Abbildung 3.2: Aufbau des Delta Kompressors<sup>18</sup>

<sup>18</sup> ACC, 2013d, S.2

Der Motor, bestehend aus Stator, Rotor und Befestigungsschrauben (Stator Screws), ist ein Einphasen-Asynchronmotor mit einem Hilfsfeld. Nach dem Einschaltvorgang des Kompressors ist das Hilfsfeld nur eine halbe Sekunde unter Spannung. Genau zu diesem Zeitpunkt erzeugen beide Felder ein drehendes, magnetisches Feld. Diese Bewegungsenergie treibt den Kolben (Piston) über die Pleuelstange (Conrod) an. Die Pleuelstange wird durch ein Wälzlager (Roller Bearing) gehalten. Somit wird eine Rotationsbewegung (Kurbelwelle) in eine translatorische Bewegung (Kolben) umgewandelt, und der Kolben bewegt sich hin und her bzw. je nach Position nach unten und nach oben. Bewegt sich der Kolben nach unten, wird ein Vakuum im Zylinder erzeugt. Der Gasdruck im Kompressor öffnet das Saugventil (Suction Valve) und das Gas strömt in den Zylinder. Bewegt sich der Kolben wieder nach oben, steigt der Gasdruck im Zylinder. Ist der Gasdruck im Zylinder größer als der Druck an der Druckseite, öffnet sich das Druckventil (Discharge Valve) und das Gas wird aus dem Zylinder geschoben.

Die Gasströmung ist aufgrund der Kolbenbewegung nicht gleichmäßig, was zu einer Gaspulsation und in weiterer Folge zu einem erhöhten Geräuschpegel führt. Um das zu verhindern werden Dämpfungskammern (Suction Muffler und Discharge Muffler), sowohl an der Druckseite, als auch an der Saugseite angebracht, sodass die Gasströmung im Kühlkreislauf möglichst gleichmäßig verläuft und in weiterer Folge das Geräusch gedämpft wird. Zusätzliche Aufhängefedern (Suspension Spring), auf denen der Motor steht, verhindern Vibrationen, und mildern somit den Geräuschpegel. Zur weiteren Vibrationsminderung befinden sich so genannte Gummitülle (Rubber Grommet) auf den Stahlbolzen (Steel Pins) der Adapter Platte, sowie ein Dämpfungselement (Damping Element) oben an der Verdunsterschale (Evaporation Tray).

Damit alle beweglichen Teile reibungslos laufen, müssen sie auch geschmiert werden. Durch die entstehenden Fliehkräfte in der Pleuelstange wird an deren Unterseite das Öl angesaugt und durch die schräge Ölförderbohrung an der Pleuelstange nach oben befördert und den Schmierstellen zugeführt. In den beweglichen Teilen befinden sich Bohrungen, um alle Laufflächen mit Öl zu versorgen.

Die Verdunsterschale, welche sich oben am Kompressor befindet dient einerseits als Auffangbecken für das Kondenswasser, welches sich während des Kühlkreislaufes (siehe Abbildung 3.1) bildet, und andererseits wirkt sie wie eine zusätzliche Kühlrippe.

### 3.2.3 Der COP

Der COP (engl. **C**oefficient **o**f **P**erformance) ist die Leistungszahl eines Kompressors und dient dazu, die Verluste bei der Energieumwandlung bzw. der Energieübertragung anzugeben. Der COP ist gleich wie der Wirkungsgrad eine dimensionslose Größe, jedoch kann er größer als eins sein.

Bei einem Kältekompressor ist der COP das Verhältnis von der erzeugten Kälteleistung zur eingesetzten elektrischen Leistung. Ein COP von bspw. 2 bedeutet, dass aus 1 KW elektrischer Leistung, eine Kälteleistung von 2 KW zur Verfügung steht. Der COP ist abhängig vom Betriebspunkt, deswegen gibt es gewisse internationale Normen für COP-Messungen (ASHRAE und CECOMAF).

ASHRAE (**A**merican **S**ociety of **H**eating, **R**efrigerating and **A**ir-**C**onditioning **E**ngineers) ist die Norm, nach der weltweit gemessen wird. Das ASHRAE Handbuch ist ein Nachschlagewerk im Bereich der Klimatechnik, indem auch Normen und Richtlinien veröffentlicht werden.

Unter ASHRAE Bedingungen versteht man einen Vergleichsprozess bei dem die relevanten Betriebstemperaturen vorgegeben sind. Unter diesen Betriebstemperaturen wird der Kompressor betrieben, um bestimmte Kennwerte zu ermitteln. CECOMAF (European Committee of Air Handling and Refrigeration Equipment Manufacturers) ist die europäische Norm für Lüftungs-, Klima- und Kältetechnik. Die wichtigen Betriebstemperaturen von ASHRAE und die Unterschiede zu den CECOMAF Bedingungen sind in der Tabelle 3.2 dargestellt.

	ASHRAE	CECOMAF
Verdampfungstemperatur	-23,3°C	-25°C
Verflüssigungstemperatur	54,4°C	55°C
Überhitzungstemperatur	32,2°C	32°C
Unterkühlungstemperatur	32,2°C	55°C

**Tabelle 3.2:** ASHRAE- und CECOMAF-Betriebstemperaturen<sup>19</sup>

<sup>19</sup> ACC, 2013e, S.2

## **Einflussfaktoren auf den COP**

Der COP eines Kompressors wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Um einen Eindruck über die Vielzahl an Einflussfaktoren zu gewinnen, werden die wichtigsten Faktoren aufgelistet, die einen negativen Einfluss auf den COP haben.<sup>20</sup>

- Motor:
  - magnetischen Verluste im Eisen ↑: COP ↓
  - Kupferverluste ↑: COP ↓
  - Luftspalt zwischen Stator und Rotor ↑: COP ↓
- Schadraum (Jener Raum der übrig bleibt, wenn der Kolben an der obersten Position ist):
  - Schadraum ↑: COP ↓
- Gasfüllung des Zylinders:
  - Temperatur der Gasfüllung ↑: COP ↓
  - Volumen der Gasfüllung ↓: COP ↓
- Strömungsverluste:
  - Strömungsquerschnitte ↓: COP ↓
- Ventile:
  - Radius im Druckventilsitz ↓: COP ↓
- Paarungsspiel zwischen Zylinder und Kolben:
  - Paarungsspiel ↑: COP ↓
- Reibung:
  - Rauigkeit der Gleitflächen ↑: COP ↓
  - Schmutz an den Gleitflächen ↑: COP ↓
  - Ölmenge ↓: COP ↓
- Sonstiges:
  - Magnetisierung des Zylindergehäuses ↑: COP ↓
  - Gasbewegung im Verdichter ↑: COP ↓

### **3.3 Der Kompressor für 2018**

Das Projekt KK2018 startete bereits vor einigen Jahren mit den ersten grob definierten Zielen:

- Kleinere Bauform

---

<sup>20</sup> Schögler, 1997, S.5ff

- Geringerer Energieverbrauch
- Große Kühlleistungsabdeckung
- Intelligente Anbindung an den Kühlschrank
- Kostenoptimiert
- Ein Kompressor für alle Anwendungen
- Plug & Play – System

### Zielwerte ALT

Im Jahr 2008 wurden bereits die ersten genauen Zielwerte<sup>21</sup> für den KK2018 bezüglich der Materialkosten (DM) und Verlustkosten (Losses) definiert:

	KK2018
DM [€]	12,7
Losses [€]	13,5

**Tabelle 3.3:** Zielwerte für den KK2018 im Jahr 2008

Die genaue Erklärung der DM und Losses erfolgt in den Kapiteln 4.2 bzw. 4.3.

Der Zielwert für die DM setzt sich aus den Einzelzielwerten der Untersysteme<sup>22</sup> zusammen, welche unter Mithilfe von DI Brabek im Jahr 2008 geschätzt wurden:

Untersysteme	Zielwerte [€]	in Prozent
Druckstrecke	0,5	4%
HK&KW	1,2	9%
Kopfgruppe	0,4	3%
Antrieb	3,5	28%
Gehäuse	2	16%
Saugstrecke	0,3	2%
Steuerung	4,8	38%
DM für KK2018	12,7	100%

**Tabelle 3.4:** Zusammensetzung des Zielwertes DM<sup>23</sup>

<sup>21</sup> Sorger, 2008, S.77

<sup>22</sup> Sorger, 2008, S.50

<sup>23</sup> Sorger, 2008, S.58

Man erkennt, dass sich die Kosten für DM größtenteils auf die Untersysteme Steuerung und Antrieb aufteilen.

### Zielwerte NEU

Nach den aktuellen Ermittlungen gibt es Erneuerungen bezüglich der vorher festgelegten Zielwerte, welche dann in den Kapiteln 4.2.3 und 4.3.2 mit den Ist-Werten verglichen werden. Bezüglich der Zielwerte für die DM (siehe Tabelle 3.5) und Losses (siehe Tabelle 3.6) ergeben sich folgende Neudefinitionen:

#### DM:

Untersysteme		Zielwerte [€]
NEU	ALT	
Kinematik	HK&KW	1,2
Gaslinie	Druckstrecke	0,5
	Saugstrecke	0,3
	Kopfgruppe	0,4
Externe Komponenten	Gehäuse	2
Motor	Antrieb	3,5
Steuerung & Kommunikation	Steuerung	8 - 12
DM		15,9 - 19,9

**Tabelle 3.5:** DM-Zielwerte für den KK2018 im Jahr 2013

Der große Unterschied besteht in der Integration einer geregelten Motorsteuerung und einer Kommunikationseinheit. Inkludiert sind hier die Kosten für die Drehzahlregelung (rpm-control) mit €5 und die Kosten für die Zusatzfunktionen (additional functions) mit €3 bis €7. Daraus resultiert der neue Zielwert für die Steuerung und Kommunikation mit €8 bis €12.

**Losses:**

Der Zielwert für die Losses (€13,5) wurde im Jahr 2010 auf den neuen Wert von €14,06 aktualisiert, was einen COP von 2,76 entspricht, wie in der Tabelle 3.6 ersichtlich.

	Zielwerte
COP (bezogen auf 1)	0,72
idealer COP	3,84
COP (bezogen auf 3,84)	2,76
Einflussfaktor [€/1% COP]	0,5
Losses [€]	14,06

**Tabelle 3.6:** Zielwert der Verlustkosten

Aufgeteilt in die Teilwirkungsgrade des Kompressors ergibt das folgende Tabelle:

Teilwirkungsgrade	Zielwerte
mechanisch	0,93
thermisch	0,86
elektrisch	0,9
Gesamt	0,72

**Tabelle 3.7:** Teilwirkungsgrade des KK2018

Die Aufteilung in Teilwirkungsgrade ist wichtig, um zu erkennen, in welchen Bereichen noch Verbesserungen möglich sind und wo noch Bedarf nach oben hin vorhanden ist.

## 4 Systemkostenanalyse

Die Betrachtung der Systemkosten als ein Initiator für zukünftige Überlegungen hat in der Vergangenheit zu verschiedenen neuen Projekten geführt. In der Abbildung 4.1 sind die Systemkosten der Modellreihen Kappa3, Delta, RPM-Delta (ein geschwindigkeits-geregelter, virtueller Kompressor) und KK2018 abgebildet.

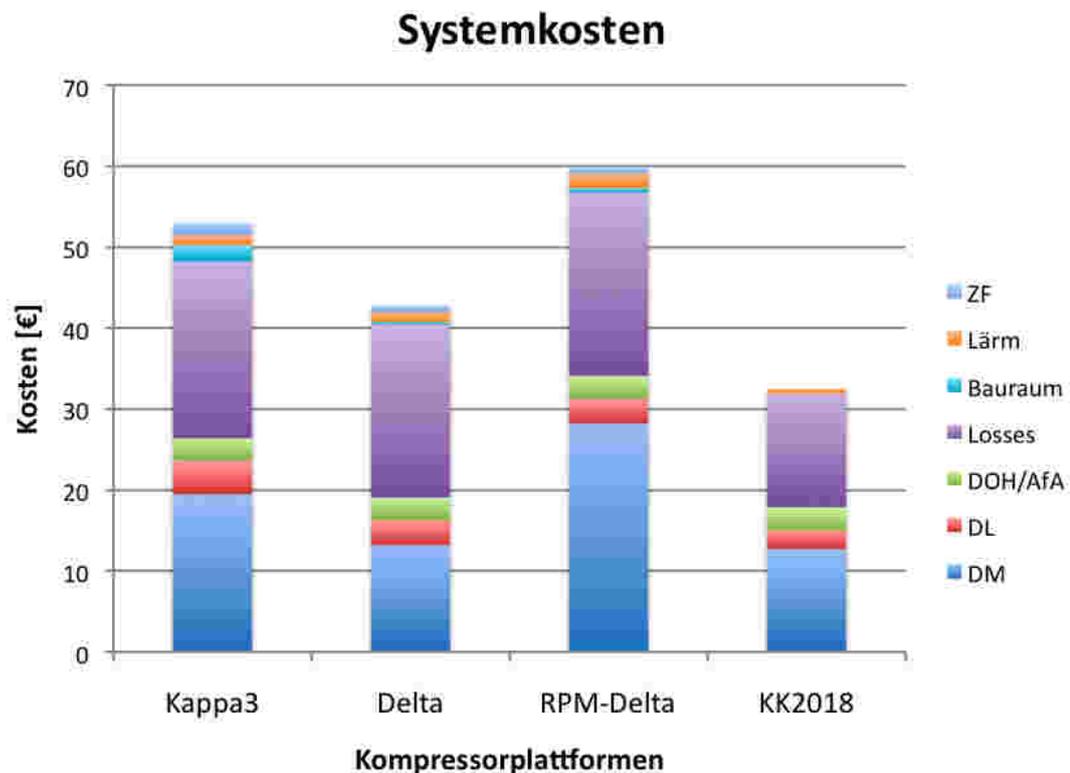
Ausgangsbasis dieser Betrachtung waren zuerst die direkt mit dem Produkt verbundenen Herstellkosten, bestehend aus den Materialeinzelkosten, den direkten Arbeitskosten und den Gemeinkosten/Abschreibungen und den Verlustkosten. Im Jahre 2010 wurde dann diese Systemkostenbetrachtung, im Rahmen einer Diplomarbeit<sup>24</sup> mit drei zusätzlichen Komponenten (Zusatzfunktionen, Lärm und Bauraum) erweitert.

Die Systemkosten setzten sich somit aus sieben Komponenten zusammen:

- ZF            Zusatzfunktionen
- Lärm
- Bauraum
- Losses        Verlustkosten
- DOH/AfA    Gemeinkosten/Abschreibung
- DL            Direkt Labour Costs        (direkte Arbeitskosten)
- DM            Direkt Material Costs      (Materialeinzelkosten)

---

<sup>24</sup> Bilek, 2010, S.44



**Abbildung 4.1:** Systemkosten der verschiedenen Kompressorplattformen<sup>25</sup>

Die genauen Zahlenwerte der einzelnen Balken sind in der Tabelle 4.2 ersichtlich.

Die geringeren Systemkosten von Delta im Vergleich zu Kappa3 sind überwiegend auf die geringeren Materialkosten (DM) zurückzuführen. Der Grund ist die kleinere Bauform und die damit verbundenen Einsparungen im Materialverbrauch. RPM-Delta symbolisiert einen geschwindigkeits-geregelten Kompressor, der durch eine zusätzliche Steuerungseinheit erheblich mehr an Material benötigt. Dieser RPM-Delta Kompressor existiert nur virtuell im Labor, um den nicht geschwindigkeits-geregelten Delta Kompressor mit dem zukünftigen Kompressor KK2018 vergleichen zu können, mit der Annahme, dass der KK2018 geschwindigkeits-geregelt ausgeführt wird. Der Trend der geschwindigkeits-geregelten Kompressoren hat sich mittlerweile verstärkt, sodass man heutzutage davon ausgehen kann, dass auch die Konkurrenz diesem Trend nachgehen wird.

Allgemein betrachtet nehmen die Verlustkosten gemeinsam mit den Materialkosten den überwiegenden Teil der Systemkosten ein. Des Weiteren ist ersichtlich, dass die Kostenstellen DL und DOH/AfA sich nur geringfügig verändert

<sup>25</sup> Bilek, 2010, S.46

haben und die Kostenstelle ZF beim KK2018 überhaupt nicht mehr vorkommt, da dieser Kompressor als Komplettlösung verkauft werden soll. Als Zusatzfunktionen versteht man bspw. die elektrische Anbindung des Kompressors oder die Befestigungsvorrichtung, welche je nach Kundenbedürfnisse variieren können. Da die drei Kostenstellen ZF, Lärm und Bauraum einen Mehrwert beim Kunden ergeben, wurden sie bei der Systemkostenbetrachtung im Jahr 2010 miteinbezogen. Um diese drei Kostenstellen mit Kosten bewerten zu können, wurden Umrechnungsfaktoren (siehe Tabelle 4.1) eingeführt, die auch im Rahmen der Diplomarbeit im Jahr 2010 festgelegt wurden.

	Umrechnungsfaktor	Einheit
ZF	0,5	€ / #
Lärm	0,2	€ / dB(A)
Bauraum	0,3	€ / l

**Tabelle 4.1:** Umrechnungsfaktoren (aus dem Jahr 2010)<sup>26</sup>

In der Diplomarbeit Bilek<sup>27</sup> ist weiters nachzulesen, dass in Zukunft die Sensibilität gegenüber Lärm zunimmt, und somit sich auch der Umrechnungsfaktor verändern wird. Dies ist nach neuerlichen Expertengesprächen schon geschehen. Der Umrechnungsfaktor von Lärm stieg von 0,2 auf 0,5 Euro je dB(A). Als IFR-Wert (ideal final result) wurde ein Wert von 28 dB(A) festgelegt. Somit ergeben sich die Kosten für Lärm durch die Abweichung vom tatsächlichen Geräuschpegel zum idealen Geräuschpegel multipliziert mit dem Umrechnungsfaktor. Die beiden anderen Umrechnungsfaktoren sind weiterhin unverändert geblieben.

#### 4.1 Systemeinzelnkosten des Delta Kompressors

Die genauen Zahlenwerte des Balkendiagramms aus der Abbildung 4.1 sind in der Tabelle 4.2 dargestellt. Berücksichtigt wurde nicht nur der Delta Kompressor, sondern auch die beiden Kompressorplattformen RPM-Delta und KK2018.

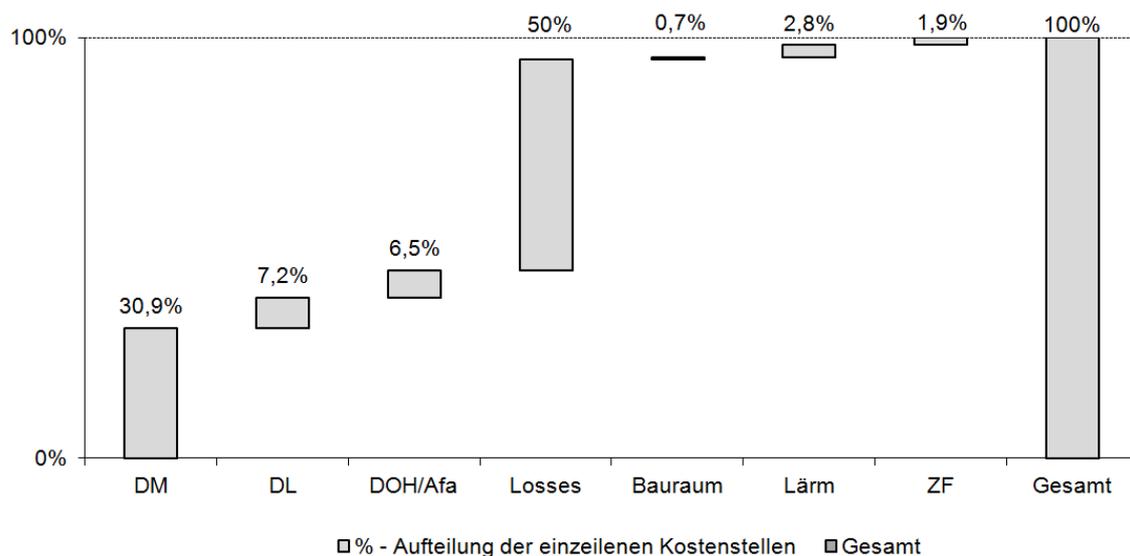
<sup>26</sup> Bilek, 2010, S.45

<sup>27</sup> Bilek, 2010, S.45

Komponenten	Delta	RPM-Delta	KK2018
ZF	0,8	0,8	0
Lärm	1,2	1,8	0,6
Bauraum	0,28	0,57	0
Losses	21,41	22,66	14,06
DOH/Afa	2,8	2,8	2,8
DL	3,09	3,09	2,38
DM	13,2	28,2	12,7
<b>Systemkosten [€]</b>	<b>42,8</b>	<b>59,9</b>	<b>32,5</b>

**Tabelle 4.2:** Systemkosten Delta, RPM-Delta und KK2018<sup>28</sup>

Wie bereits erwähnt bestehen die Systemkosten derzeit aus sieben Kostenstellen, daraus ergibt sich die Summe von €42,8 für die gesamten Systemkosten des Delta Kompressors. Die größten Kostenstellen sind „Losses“ gefolgt von „DM“ und „DL“. Zur besseren Darstellung der prozentualen Verteilung der einzelnen Systemkosten dient die Abbildung 4.2.



**Abbildung 4.2:** Prozentuale Auflistung der einzelnen Systemkosten des Delta Kompressors

<sup>28</sup> ACC, 2013f

Daraus erkennt man sehr gut die prozentuale Zusammensetzung der Systemkosten des Delta Kompressors. Im Rahmen dieser Diplomarbeit werden, unter Absprache mit DI Brabek, nur die beiden Kostenstellen DM und Losses des Delta Kompressors näher betrachtet, da diese beiden Bereiche den größten Anteil der gesamten Systemkosten mit rund 80% einnehmen und darin das größte Verbesserungspotential steckt. In der weiteren Systemkostenanalyse werden diese beiden Systemkosten genauer untersucht und mit den Zielwerten des KK2018 verglichen.

## 4.2 Materialkosten DM

Die Materialkosten setzen sich aus den Materialeinzelkosten und den Materialgemeinkosten zusammen (siehe Tabelle 4.3). Unter Materialeinzelkosten versteht man Kosten, die direkt einem Produkt zugeordnet sind wie bspw. das Roh- und Fertigungsmaterial. Materialgemeinkosten sind dann jene Kosten, welche für alle Produkte anfallen und deshalb gesondert ermittelt werden, z.B. durch eine Zuschlagskalkulation.<sup>29</sup>

<b>Materialkosten</b>	<b>Materialeinzelkosten EK</b>	<b>Rohstoffkosten</b> (Rohmaterial, Fertigungsmaterial)
	<b>Materialgemeinkosten GK</b>	<b>Hilfsstoffkosten</b> (Verpackungsmaterial, Reinigungsmaterial, Lagerkosten, Frachtkosten,...)
		<b>Betriebsstoffkosten</b> (Strom, Gas, Öl,...)

**Tabelle 4.3:** Materialkosten

Die in der Systemkostenbetrachtung vorkommenden Materialkosten sind Materialeinzelkosten (DM), also Kosten welche direkt für die Produktion und Fertigung des Produktes in Verbindung stehen. Die wesentlichsten Materialien, aus die der Kompressor besteht, sind Stahl, Kupfer und Aluminium.

<sup>29</sup> Steven, 2012, S.203

#### 4.2.1 Erhebung des Ist-Standes der DM

Die DM des Delta Kompressors betragen im Jahr 2008 €13,2<sup>30</sup> (siehe Tabelle 4.2), zu einem Zeitpunkt, bei dem der Delta Kompressor noch nicht in Produktion war. Die Serienproduktion begann erst später, sodass dieser theoretisch festgelegte Wert noch keinen praktischen Bezug hatte. Deswegen begannen die Nachforschungen damit, den heutigen Stand der DM zu erheben. Das Ergebnis ist in Tabelle 4.4 ersichtlich. Die englischen Namen der Komponenten wurden beibehalten und nicht ins Deutsche übersetzt, da die englische Bezeichnung innerhalb der F&E-Abteilung Standard ist und somit von einer deutschen Übersetzung abgeraten wurde, um unnötige Verwirrung zu vermeiden.

DM - Direkt Material Costs in Euro (September 2013)							
DELTA	22,75	(blanker) Kompressor	18,18	Kinematik	4,91	Crankcase	0,54
						Crankshaft	3,4
						Conrad	0,49
						Pisten	0,1
						Piston Pin	0,21
						Oil	0,16
				Gaslinie	3,23	Cylinder Head & Gasket	0,53
						Z-Valve Plate	0,15
						Suction Muffler	0,55
						Discharge System	2,01
				Externe Komponenten	4,19	Suspension	0,21
						Shell / Cover	1,49
						Shell Assembly	1,36
						Ext. Components	1,05
						Ext. Rubber Parts	0,08
				Motor	5,84	Rotor	0,61
		Stator	5,24				
		Elektronik	4,57				

**Tabelle 4.4:** Aufschlüsselung der DM des Delta Kompressors (September 2013)<sup>31</sup>

<sup>30</sup> Sorger, 2008, S.58

<sup>31</sup> ACC, 2013g

Die DM des Delta Kompressor ergeben sich aus der Summe der einzelnen Untersysteme (Kinematik, Gaslinie, Externe Komponenten und Motor) zuzüglich der Elektronik. Im weiteren Verlauf wird der Kompressor ohne Elektronik auch als „blanker“ Kompressor bezeichnet. Die drei größten Kostenstellen sind der Stator, gefolgt von der Kurbelwelle (Crankshaft) und dem Entladungssystem (Discharge System).

Die gesamten DM des Delta Kompressors betragen also €22,75. Das ist eine erhebliche Abweichung zu dem im Jahr 2008 theoretisch festgelegten Wert von €13,2. Dieser Unterschied ist damit zu erklären, dass ein bestimmtes Produktionsvolumen angenommen wurde, welches jedoch bis dato noch nicht erreicht wurde. Das liegt aber weniger an den Kundenbedürfnissen, sondern mehr an den finanziellen Ressourcen die zur Verfügung stehen. Der Markt benötigt durchaus ein höheres Produktionsvolumen, jedoch sind aufgrund der jüngsten Ereignisse (siehe Kapitel 2.3) gewisse Rahmenbedingungen gegeben, welche ein höheres Produktionsvolumen derzeit noch nicht zulassen. Ein weiterer Grund der Abweichung liegt im Produktionsprozess selbst, wo noch Verbesserungen zu erwarten sind.

In naher Zukunft werden ein weitaus höheres Produktionsvolumen und Prozessverbesserungen angestrebt, was sich auch positiv auf die DM niederschlagen wird. Aus der heutigen Sicht könnten die DM durch diese Maßnahmen auf €16,24 (siehe Tabelle 4.5) gesenkt werden.

DM - Direkt Material Costs in Euro (in Serie)							
DELTA	16,24	Kompressor	13,49	Kinematik	2,59	Crankcase	0,49
						Crankshaft	1,3
						Conrod	0,34
						Piston	0,09
						Piston Pin	0,21
						Oil	0,16
				Gaslinie	1,69	Cylinder Head & Gasket	0,43
						Z-Valve Plate	0,15
						Suction Muffler	0,36
						Discharge System	0,76
				Externe	3,65	Suspension	0,21
						Shell / Cover	1,37
						Shell Assembly	1,16
						Ext. Components	0,83
						Ext. Rubber Parts	0,07
				Motor	5,56	Rotor	0,6
		Stator	4,96				
		Elektronik	2,75				

**Tabelle 4.5:** Aufschlüsselung der DM des Delta Kompressors bei Serienbetrieb<sup>32</sup>

Um genau analysieren zu können, in welchen Untersystemen bzw. Komponenten die größten Einsparungen zu erwarten sind, werden die beiden Tabellen miteinander verglichen.

#### 4.2.2 Vergleich der DM „September 2013“ mit „in Serie“

Die prozentualen Veränderungen in den jeweiligen Untersystemen und Komponenten sind in der Tabelle 4.6 dargestellt.

<sup>32</sup> ACC, 2013g

DM - Direkt Material Costs (Vergleich zwischen Aktuell und Serie)							
<b>DELTA</b>	<b>-28,60%</b>	Kompressor	<b>-25,80%</b>	Kinematik	<b>-47,20%</b>	Crankcase	-9,60%
						Crankshaft	-61,80%
						Conrod	-30,90%
						Piston	-10,00%
						Piston Pin	0,00%
						Oil	0,00%
				Gaslinie	<b>-47,70%</b>	Cylinder Head & Gasket	-19,20%
						Z-Valve Plate	-1,40%
						Suction Muffler	-34,10%
						Discharge System	-62,40%
				Externe	<b>-13,10%</b>	Suspension	0,00%
						Shell / Cover	-7,90%
						Shell Assembly	-14,60%
						Ext. Components	-21,50%
						Ext. Rubber Parts	-17,70%
		Motor	<b>-4,90%</b>	Rotor	-1,00%		
				Stator	-5,30%		
Elektronik	<b>-39,90%</b>						

**Tabelle 4.6:** Vergleich der DM des Delta Kompressors zwischen September 2013 und im Serienbetrieb

Es ist sehr gut ersichtlich, welche Bereiche die meisten Einsparungspotentiale in Prozent aufweisen. So steckt in den beiden Untersystemen Kinematik und Gaslinie das größte Einsparungspotential. Relativiert wird dies allerdings mit der Höhe der Ersparnis, da kleine prozentuale Verbesserungen bei größeren Beträgen mehr zur Kostenreduzierung beitragen, als größere prozentuale Verbesserungen bei kleineren Beträgen. Als Beispiel sei hier der Stator und das Pleuel (Conrod) erwähnt:

- Stator: 5,3% von €5,24 = €0,28

- Pleuel: 30,9% von €0,49 = €0,15

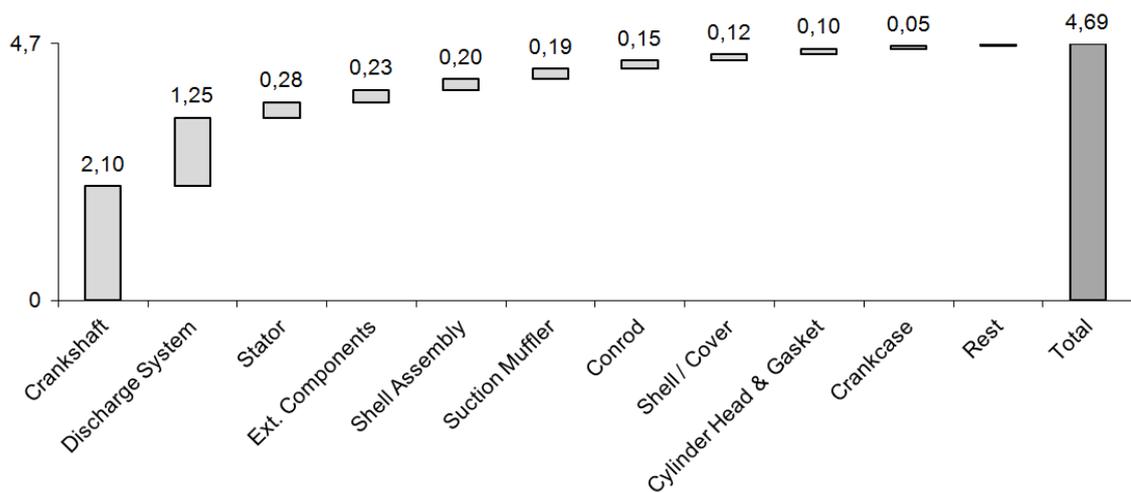
Reiht man alle Komponenten nach der Höhe der Einsparungen, so ergibt sich folgende Tabelle:

Reihenfolge	Komponenten	Einsparung [€]
1	Crankshaft	2,1
2	Discharge System	1,25
3	Stator	0,28
4	Ext. Components	0,23
5	Shell Assembly	0,2
6	Suction Muffler	0,19
7	Conrod	0,15
8	Shell / Cover	0,12
9	Cylinder Head & Gasket	0,1
10	Crankcase	0,05
11	Ext. Rubber Parts	0,01
12	Piston	0,01
13	Rotor	0,01
14	Z-Valve Plate	0,002
15	Oil	0
16	Pinston Pin	0
17	Suspension	0
Gesamt		4,69

**Tabelle 4.7:** Kostenersparnis der einzelnen Untersysteme

Der Gesamtwert von €4,69 gilt für den blanken Kompressor. Zur Kontrolle: €18,18 (September 1013) - €13,49 (in Serie) = €4,69

Zur besseren Darstellung (siehe Abbildung 4.3) wurden die Komponenten, welche nur eine geringfügige Ersparnis bringen (< €0,05) unter der Rubrik „Rest“ zusammengefasst.



**Abbildung 4.3:** Einsparungspotential der einzelnen Untersysteme in Euro

Nun ist deutlich ersichtlich in welchen Bereichen bzw. Komponenten das größte Potential liegt. Die zwei größten Bereiche bilden die Kurbelwelle (Crankshaft) und Entladungssystem (Discharge System) mit rund 70% des gesamten Einsparungspotentials für den blanken Kompressor.

### Elektronik

Bis jetzt wurden nur die Untersysteme des Kompressors ohne Elektronik betrachtet. Das gesamte Einsparungspotential der DM des Delta Kompressors ergibt sich natürlich aus dem des blanken Kompressors zuzüglich dem der Elektronik (siehe Tabelle 4.8).

	Sept. 2013 [€]	in Serie [€]	Einsparungspotential [€]	in Prozent
Blanker Kompressor	18,18	13,49	4,69	72%
Elektronik	4,57	2,75	1,82	28%
DM - Gesamt	22,75	16,24	6,51	100%

**Tabelle 4.8:** Gesamtes Einsparungspotential der DM

Die Elektronik setzt sich aus folgenden Hauptkomponenten zusammen:

- PTC (Murata Typ X55)
- EST (inkl. Arclux + BDG)
- Terminal Board (inkl. Motorprotector)
- Capacitor (Kondensator, bei Delta: Ducati 2 $\mu$ F)

Die genaue Zusammensetzung der Elektronikkosten sind in der Tabelle 4.9 dargestellt.

	Sept. 2013 [€]	in Serie [€]	Einsparungs- potential [€]	in Prozent
PTC	0,16	0,14	0,02	1%
EST	1,3	0,7	0,6	33%
Terminal Board	2,55	1,39	1,16	64%
Capacitor	0,55	0,51	0,04	2%
Rest	0,01	0,01	0	0%
Gesamt	4,57	2,75	1,82	100%

**Tabelle 4.9:** Komponentenkosten der Elektronik

Vor allem im Terminal Board, das den Großteil der Elektronikkosten einnimmt, steckt ein enormes Verbesserungspotential dahinter. Der E-Starter (EST, engl. Electronic Starting Device) nimmt gemeinsam mit dem Terminal Board fast das gesamte Einsparungspotential der Elektronik ein. Sieht man die Elektronik selbst als Komponente, so ergibt sich folgende Reihenfolge (Tabelle 4.10), gemessen am gesamten Einsparungspotential der DM:

DM Gesamt [€]	6,51	100%	
Crankshaft	2,1	32,20%	79%
Elektronik	1,82	28%	
Discharge System	1,25	19,20%	
Stator	0,28	4,30%	21%
Ext. Components	0,23	3,50%	
Shell Assembly	0,2	3%	
Suction Muffler	0,19	2,90%	
Conrod	0,15	2,30%	
Shell / Cover	0,12	1,80%	
Cylinder Head & Gasket	0,1	1,60%	
Crankcase	0,05	0,80%	
Rest	0,04	0,60%	

**Tabelle 4.10:** Prozentuale Verteilung des Einsparungspotentials der einzelnen Komponenten zuzüglich Elektronik

Die Bereiche Kurbelwelle, Elektronik und Entladungssystem liefern mit rund 80% das größte Einsparungspotential, um den in Serie festgelegten Zielwert von €16,24 zu erreichen. Somit ist klar ersichtlich, wo das primäre Potential bezüglich der DM für den Delta Kompressor liegt.

#### 4.2.3 Vergleich der Materialkosten mit den Zielwerten für den KK2018

Der Zielwert für die DM liegt im Bereich zwischen €15,9 und €19,9 (Kapitel 3.3.2). Diese Kostenspanne entsteht aufgrund der Kostenspanne der Platine (€3 bis €7). Nach Gesprächen mit den F&E-Mitarbeitern kann noch kein eindeutiger Wert abgeschätzt werden, deswegen wird unter Absprache mit dem Mittelwert weitergerechnet. Somit beträgt der geschätzte Zielwert €10 für die Steuerungs- und Kommunikationseinheit des KK2018.

Ausgangsbasis für den Vergleich der DM mit den Zielwerten für den KK2018 sind die in Serie ermittelten Soll-Kosten, da in naher Zukunft das angestrebte Produktionsvolumen erreicht werden soll.

Die gesamten DM im Serienbetrieb von €16,24 inkludiert noch nicht die zusätzliche Steuerungs- und Kommunikationseinheit, welche für einen geregelten Kompressor benötigt wird. Um daher einen Vergleich zulässig zu machen, müssen die Kosten hierfür addiert werden. Nach derzeitigem Stand betragen diese €15<sup>33</sup>.

Somit ergibt sich in Summe ein Wert für die DM von €31,24 inklusive der Elektronik. Da die alte Elektronik zur Gänze durch die Steuerungs- und Kommunikationseinheit ersetzt wird, wird der Betrag der Elektronik (€2,75) noch abgezogen. Dies ergibt einen Wert von €28,49 für die neuen DM des Delta Kompressors. Somit können nun die beiden Kompressorplattformen miteinander verglichen und die Abweichungen angeführt werden (siehe Tabelle 4.11).

Untersysteme	Delta [€]	KK2018 [€]	Abweichung [€]
Kinematik	2,59	1,2	1,39
Gaslinie	1,69	1,2	0,49
Externe Komponenten (Gehäuse + Mech. Integration)	3,65	2	1,65
Motor	5,56	3,5	2,06
Steuerung & Kommunikation	15	10	5
Summe	28,49	17,9	10,59

**Tabelle 4.11:** DM-Vergleich zwischen Delta und KK2018

Es ist deutlich erkennbar, dass das Untersystem „Steuerung & Kommunikation“ mit fast 50% den größten Anteil der Abweichung liefert. Im Grunde genommen tragen aber alle Untersysteme ihren Teil dazu bei, die DM des Delta Kompressors auf den Zielwert von KK2018 zu reduzieren.

<sup>33</sup> ACC, 2013h, S.10

#### 4.2.4 Potentialanalyse der Materialkosten

Zuerst werden die nötigen Kostenreduzierungen der einzelnen Untersysteme näher betrachtet:

- **Kinematik:** muss um €1,39 = **54%** reduziert werden
- **Gaslinie:** muss um €0,49 = **29%** reduziert werden
- **Externe Komponenten:** muss um €1,65 = **45%** reduziert werden
- **Motor:** muss um €2,06 = **37%** reduziert werden
- **Steuerung & Kommunikation:** muss um €5 = **33%** reduziert werden

Jetzt könnte angenommen werden, dass das größte Potential in der Kinematik mit 54% liegt. Jedoch ergeben, wie schon im Kapitel 4.2.2 erklärt, geringere prozentuale Verbesserungen bei größeren Beträgen höhere Abweichungen und somit verschiebt sich das Potential. Nimmt man die Gesamtabweichung (€10,59) als Ausgangspunkt (100%) und zerlegt sie in ihre Bestandteile (Untersysteme), kommt es zur folgenden Reihung:

Reihung	Untersysteme	Abweichung [€]	Gesamtabweichung aufgeteilt in [%]
1	Steuerung & Kommunikation	5	47
2	Motor	2,06	19
3	Externe Komponenten (Gehäuse + Mech. Integration)	1,65	16
4	Kinematik	1,39	13
5	Gaslinie	0,49	5
			Σ 100

**Tabelle 4.12:** Reihung der Untersysteme aufgrund ihres Potentials

Das größte Verbesserungspotential steckt in der Steuerungs- und Kommunikationseinheit. Die Kosten für die Drehzahlregelung betragen derzeit €15. Im Jahr 2018 sollten sie nur noch zwischen €8 bis €12 betragen. Derzeit sind keine zusätzlichen Funktionen in der Elektronik vorhanden, in Zukunft werden zwischen 5 bis 15 Zusatzfunktionen dazukommen. Die Kosten für die

Zusatzfunktionen werden zwischen €3 bis €7 betragen. In Expertengesprächen war die Meinung, dass man durch einen Wechsel der Zulieferer und durch weitere Prozessverbesserungen in den jeweiligen Untersystemen das nötige Verbesserungspotential ausschöpfen kann.

Ein weiteres Potential zur Reduzierung der DM liegt beim Lieferanten. Deswegen werden die einzelnen Komponentenkosten nochmals genauer durchleuchtet.

### **Erweiterte Materialkostenbetrachtung**

Ein Ausschnitt der genauen Materialkostenaufschlüsselung der einzelnen Komponenten, die direkt mit der Herstellung des Delta Kompressors in Verbindung stehen, sind in der Tabelle 4.13 dargestellt, in der zusätzlich eine Aufteilung der Kosten in Rohmaterialkosten und externen Umformungskosten erfolgte. Aufgrund der Weiterverwendung dieser Tabelle innerhalb der Abteilung wurden die englischen Begriffe nicht ins Deutsche übersetzt, weil die englischen Bezeichnungen geläufig sind.

Alle Komponenten sind Zukaufteile von unterschiedlichsten Lieferanten, die teilweise noch intern weiterverarbeitet werden. Die internen Weiterverarbeitungskosten werden in der Kostenstelle DL (direct labour costs) erfasst und sind deshalb nicht in dieser Tabelle aufgelistet, da es sich hier rein um DM (direct material costs) handelt. Daher sind die Kosten der jeweiligen Komponente der Preis, den der Lieferant für die Komponente fordert. Dieser Preis setzt sich aus dem Rohmaterial und den externen Umformungskosten zusammen. Als externe Umformungskosten sind jene Kosten gemeint, die der Lieferant zusätzlich aufbringt um aus dem Rohmaterial die Komponente herzustellen die er anschließend an seine Kunden (ACC) verkauft.

Der Grund für diese weitere Kostenaufschlüsselung ist folgender:

Bei Kappa wurden die externen Umformungskosten bereits ermittelt. Vergleicht man diese mit den externen Umformungskosten bei Delta, sollte ungefähr der gleiche Betrag herauskommen. Kommt es hier zu großen Abweichungen, könnte man den Lieferanten darauf aufmerksam machen, dass hier ein Verbesserungspotential besteht, und bei Ausschöpfung dieses Potentials der Verkaufspreis des Lieferanten gesenkt werden kann, was wiederum zu geringeren DM-Kosten des Kompressors führt.

Ausgangsbasis für die Ermittlung der externen Umformungskosten ist der Einkaufspreis, also jene Kosten, die direkt einer Komponente zugeordnet werden können. Die einzelnen Komponenten werden intern abgewogen und mit den Rohmaterialpreisen pro Kilogramm multipliziert. Somit ergeben sich die Rohmaterialkosten des Lieferanten. Die Rohmaterialpreise für bspw. Kupfer, Gusseisen, Stahl, etc. können an der Börse entnommen werden. Die externen Umformungskosten ergeben sich somit durch die Subtraktion des Einkaufspreises mit den Rohmaterialkosten.

Ermittlung der Umformungskosten						
Untersysteme / Komponenten	Kosten [€]	Rohmaterial			externe Umformungskosten [€]	
		[g]	[€/kg]	[€]		
<b>Crankcase</b>	Crankcase casted	0,52	460,00	0,65	0,30	0,22
	crankcase scrap	-0,03	-160,00			
	<b>Total</b>	<b>0,49</b>				
<b>Crankshaft</b>	Crankshaft cast	0,36	130,00	1,00	0,13	0,23
	Crankshaft premachined	0,70				
	Oil pick up assembled	0,02	3,00	0,65	0,00	0,02
	Ball Bearing	0,22				
	<b>Total</b>	<b>1,30</b>				
<b>Conrod</b>	Conrod (sintered-scrap)	0,23	8,50	1,80	0,02	0,21
	cost for calibration	0,11				
	<b>Total</b>	<b>0,34</b>				
<b>Piston</b>	Piston (sintered-scrap)	0,09	11,10	1,80	0,02	0,07
	<b>Total</b>	<b>0,09</b>				
<b>Piston Pin</b>	Piston Pin	0,12	2,20	1,80	0,00	0,12
	Clamping Sleeve / Elastic Pin	0,09	0,04	0,65	0,00	0,09
	<b>Total</b>	<b>0,21</b>				
<b>Oil</b>	Oil	0,16	68,00	2,30	0,16	
	<b>Total</b>	<b>0,16</b>				
<b>Kinematic</b>		<b>2,58</b>				

**Tabelle 4.13:** Ausschnitt der Materialkostenaufschlüsselung in Rohmaterial und externe Umformungskosten<sup>34</sup>

Die komplette Tabelle der Ermittlung der Umformungskosten ist im Anhang C ersichtlich.

Bei allen Komponenten ist es jedoch nicht möglich bzw. nur mit großem Aufwand verbunden, die externen Umformungskosten zu ermitteln, wie bspw. beim Lack (Varnish) oder diversen Pasten (Transparentpaste, Pigmentpaste). Hierfür müsste man die genaue chemische Zusammensetzung wissen. Da aber diese Kosten (1 bis 2 Cent pro Kompressor) ohnehin sehr gering sind, ist es nicht unbedingt erforderlich.

<sup>34</sup> ACC, 2013g

Teilweise betragen die Kosten für das Rohmaterial weniger als 1 Cent, weil das Gewicht so gering ist, sodass sich die Kosten für die jeweilige Komponente fast ausschließlich aus den Umformungskosten zusammensetzen.

Des Weiteren ist ersichtlich, dass der interne Bearbeitungsabfall (Crankcase Scrap, Shell Scrap, Stator Scrap) weiterverkauft wird und dadurch indirekt Einnahmen erzielt werden, welche um diesen Betrag den jeweiligen Komponentenkosten wieder abgezogen werden.

### 4.3 Verlustkosten (Losses)

Unter Verlustkosten versteht man die Abweichung vom tatsächlichen zum idealen COP. Je geringer die Verlustkosten, desto näher befindet sich der tatsächliche COP am idealen COP, welcher beim nicht geschwindigkeits-geregelten Kompressor bei 3,2<sup>35</sup> und beim geschwindigkeits-geregelten Kompressor bei 3,84<sup>36</sup> liegt.

Ist der COP nicht in Prozent sondern als Wert gegeben, so erfolgt die Berechnung nach folgender Formel:

$$\text{Verlustkosten} = \frac{(\text{idealer COP} - \text{COP}) * 100}{\text{idealer COP}} \times \text{Einflussfaktor}$$

Abbildung 4.4: Formel für die Berechnung der Verlustkosten<sup>37</sup>

Beispiel: COP = 2,656; idealer COP = 3,2; Einflussfaktor = €0,5

$$\text{Verlustkosten} = \frac{(3,2 - 2,66) * 100}{3,2} * 0,5 = €8,5$$

<sup>35</sup> idealer Kreisprozess für einen Kühlkreislauf

<sup>36</sup> resultiert bei gleichem Kreisprozess aus den Einsparungen der Antriebsenergie durch die Geschwindigkeitsregelung

<sup>37</sup> firmen-interne Festlegung

Ist der COP in Prozent angegeben (z.B.: 83%), errechnen sich die Verlustkosten wie folgt:

$$\text{Verlustkosten} = (100\% - 83\%) * \text{€}0,5 = \text{€}8,5$$

Es sei erwähnt, dass es keinen Unterschied macht in welcher Form der COP angegeben wird, da die Umrechnung zwischen Prozent und Wert eine einfache Prozentrechnung ist, immer gemessen am idealen COP.

### **COP-Einflussfaktor**

Die Abweichung der Verlustleistung beträgt €0,5 je 1% COP-Abweichung. Dieser Einflussfaktor von €0,5 wurde aufgrund von diversen Einflüssen im Rahmen einer Diplomarbeit im Jahre 2010 bestimmt und ist nach wie vor gültig.

Bestimmt wurde dieser COP-Einflussfaktor durch drei Kriterien, woraus er sich abschätzen ließ. Diese sind:<sup>38</sup>

- Kupfer: Für die Wicklungen im Stator wird Kupfer verwendet. Der COP des Kompressors ist stark vom Kupferpreis abhängig. Je mehr Kupfer verwendet wird, desto höher ist der COP. Daraus kam man zu der Abschätzung von rund €0,5 Kosten pro 1% COP-Steigerung.
- Einsparungspotential: Das Einsparungspotential vom Endverbraucher steigt proportional mit dem COP an. Ausgehend von der Einsparung innerhalb eines Jahres stellte sich ein Mittelwert von 0,48€ pro 1% COP-Steigerung ein.
- Energieklasse: Aufgrund des EU-Energie-Labeling Systems können die Kältschrankhersteller ihre Preispolitik danach richten (energieeffizienter = teurer). Daher sind die Kunden von ACC auch bereit, €0,5 mehr für 1% COP-Steigerung zu bezahlen um ihren an den Endkunden gerichteten Verkaufspreis begründen zu können.

#### **4.3.1 Erhebung des Ist-Standes**

Die Verlustkosten des Delta Kompressors im Jahr 2010 betragen €21,41 (siehe Tabelle 4.2). Mithilfe der Berechnungsformel für die Verlustkosten (Abbildung 4.4) ergibt das einen COP von 1,83. Wie bereits im Kapitel 3.2.1 erwähnt, richtet sich der Fokus auf den Delta Kompressor des Typs HXD55AA.

---

<sup>38</sup> Bilek, 2010, S.42

Der COP von 1,83 repräsentiert den „Gesamtwirkungsgrad“ eines Kompressors. Dieser setzt sich aus der Multiplikation der Teilwirkungsgrade der einzelnen Komponenten des Kompressors zusammen. Während ein idealer COP nur in der Theorie möglich ist, gibt es in der Praxis immer Verluste in Form von Reibung und Wärme. Überall dort wo Energie übertragen und in eine andere Energieform umgewandelt wird, entstehen automatisch Verluste. So auch bei einem Kompressor. Zum Beispiel gibt es Verluste bei der Übertragung der Leistung vom Elektromotor auf die Kurbelwelle (elektrisch), von der Kurbelwelle auf den Kolben (mechanisch) und vom Kolben auf das Gas (thermisch). Gemeinsam ergeben diese Verluste den „Gesamtwirkungsgrad“ eines Kompressors.

Aufgrund von diversen Weiterentwicklungen haben sich die Teilwirkungsgrade des aktuellen Delta Kompressors verbessert. In Tabelle 4.14 sind die verbesserten Teilwirkungsgrade und somit der gesteigerte „Gesamtwirkungsgrad“ ersichtlich.

COP <sub>gesamt</sub>	0,61	COP <sub>mechanisch</sub>	0,927
		COP <sub>thermisch</sub>	0,788
		COP <sub>elektrisch</sub>	0,834

**Tabelle 4.14:** Ist-Werte der Teilwirkungsgrade des Delta Kompressors<sup>39</sup>

Bezieht man den „Gesamtwirkungsgrad“ auf den unregulierten, idealen COP des Delta Kompressors, dann betragen die Verlustkosten €19,54 (siehe Tabelle 4.15).

	ALT	NEU
COP (bezogen auf 1)	0,57	0,61
idealer COP	3,2	3,2
COP (bezogen auf 3,84)	1,83	1,95
Einflussfaktor [€/1% COP]	0,5	0,5
Losses [€]	21,41	19,54

**Tabelle 4.15:** Verlustkosten des Delta Kompressors (ALT & NEU)

<sup>39</sup> ACC, 2013i

Durch die kleinen Verbesserungen der Teilwirkungsgrade konnten somit die Verlustkosten um €1,87 reduziert werden.

#### 4.3.2 Vergleich der Verlustkosten mit den Zielwerten für den KK2018

Der KK2018 wird, wie bereits erwähnt, geschwindigkeits-geregelt ausgeführt. Somit bezieht sich der Zielwert der Verlustkosten (€14,06) auf einen idealen Wirkungsgrad von 3,84. Berechnet man nun den Wirkungsgrad mithilfe der Berechnungsformel (Abbildung 4.4) ergibt dies einen Wirkungsgrad von 2,76. Da aber der Delta Kompressor sich auf einen idealen Wirkungsgrad von 3,2 bezieht, ist es nicht sinnvoll diese zwei Kompressortypen miteinander zu vergleichen. Deswegen wurde der virtuelle RPM-Delta Kompressor entwickelt, um einen Vergleich zulässig zu machen. Die damals festgelegte COP-Steigerung aufgrund der geregelten Motorsteuerung beträgt 15%, was zu folgenden Veränderungen führt:

- Delta: COP-Verbesserung von 1,83 auf 1,95
- RPM-Delta (+15%): COP-Verbesserung von 2,1 auf 2,24

Ausgehend vom neuen COP des RPM-Delta Kompressors, welcher sich auf einen geregelten, idealen COP von 3,84 bezieht, ergeben sich neue Verlustkosten (siehe Tabelle 4.16).

	Delta neu	RPM-Delta neu	KK2018
COP (bezogen auf den idealen COP)	1,95	2,24	2,76
idealer COP	3,2	3,84	3,84
COP (bezogen auf 1)	0,61	0,58	0,72
Verlustkosten [€]	19,54	20,81	14,06

**Tabelle 4.16:** Veränderungen der Verlustkosten aufgrund von Verbesserungen

Die Verlustkosten ergeben sich aus den Teilwirkungsgraden des Kompressors, daher ist ein Vergleich der Teilwirkungsgrade sinnvoller, da die Aussagekraft dadurch deutlich erhöht wird.

Der neue COP des RPM-Delta Kompressors setzt sich dementsprechend aus folgenden Teilwirkungsgraden zusammen:

COP <sub>gesamt</sub>	0,58	COP <sub>mechanisch</sub>	0,93
		COP <sub>thermisch</sub>	0,79
		COP <sub>elektrisch</sub>	0,8

**Tabelle 4.17:** Teilwirkungsgrade des RPM-Delta Kompressors

Somit kann nun der Delta Kompressor, mittels den Teilwirkungsgraden des virtuellen RPM-Delta Kompressors, mit den Teilwirkungsgraden des KK2018 (Tabelle 3.7) verglichen werden, um die Potentiale ermitteln zu können.

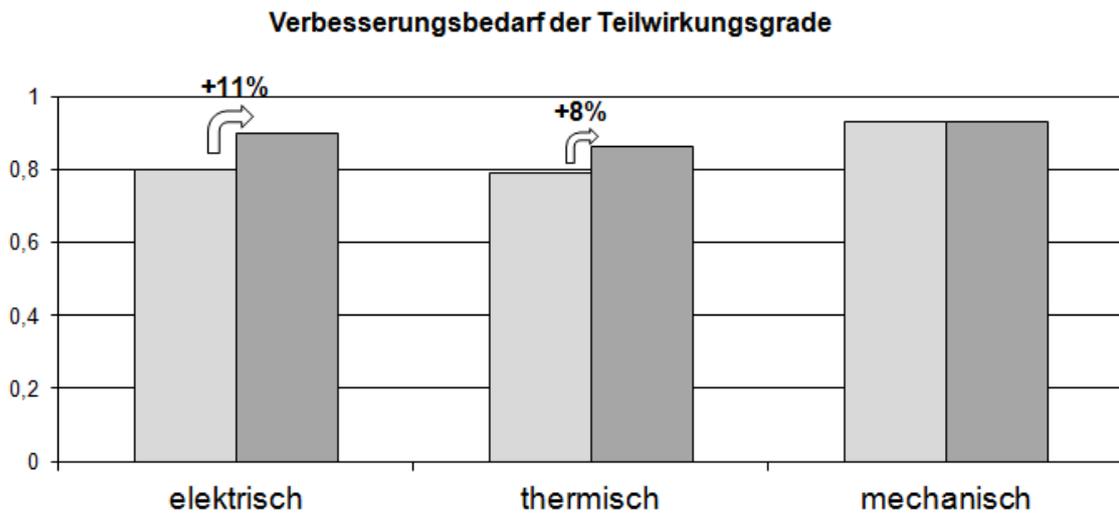
	KK2018	RPM-Delta	Abweichung
COP <sub>mechanisch</sub>	0,93	0,93	0
COP <sub>thermisch</sub>	0,86	0,79	0,07
COP <sub>elektrisch</sub>	0,9	0,8	0,1
COP <sub>gesamt</sub>	0,72	0,58	0,14

**Tabelle 4.18:** Vergleich der Teilwirkungsgrade (KK2018 - RPM-Delta)

Daraus ist erkennbar, dass der thermische und elektrische COP noch steigerungsfähig sind. Der mechanische COP erreicht bereits jetzt den angestrebten Zielwert. Dies erweckt den Eindruck, dass der mechanische COP bereits am Zenit angekommen ist. Jedoch sollten auch hier noch kleine Verbesserungen möglich sein. Dennoch liegt die primäre Aufmerksamkeit in den beiden anderen COP-Bereichen.

### 4.3.3 Potentialanalyse der Verlustkosten

Der Verbesserungsbedarf der Teilwirkungsgrade (siehe Abbildung 4.6) orientiert sich an den Zielwerten für den KK2018.



**Abbildung 4.5:** Verbesserungsbedarf der Teilwirkungsgrade

Der Verbesserungsbedarf in Worten gefasst:

- **elektrisch:** muss um 0,1 = **11%** gesteigert werden
- **thermisch:** muss um 0,07 = **8%** gesteigert werden
- **mechanisch:** -

Reihung	Teilwirkungsgrade	Verbesserungsbedarf [%]
1	elektrisch	11%
2	thermisch	8%
3	mechanisch	-

**Tabelle 4.19:** Reihung der Teilwirkungsgrade aufgrund ihres Potentials

In der Tabelle 4.19 ist klar erkennbar, dass der elektrische Teilwirkungsgrad den größten Verbesserungsbedarf für die Zukunft darstellt, gefolgt vom thermischen und mechanischen Teilwirkungsgrad. Um die elektrischen Verluste zu verringern sollten vor allem die Kupferverluste und die magnetischen Verluste im Eisen reduziert werden. Des weiteren sollte der Luftspalt zwischen Stator und Rotor möglichst klein ausgeführt sein, weil in Luft ca. der 1000-fache Strom benötigt wird um ein gleich starkes Magnetfeld aufzubauen, wie in Eisen.

Die thermischen Verluste könnten dadurch reduziert werden indem darauf geachtet wird, dass die Gasfüllung möglichst groß und kalt ist, sodass der

Zylinderinhalt optimal ausgenutzt wird. Damit das Gas weniger erwärmt wird, werden schon Plastischalldämpfer an Saug- und Druckseite verwendet, um eine COP-Steigerung zu erreichen.

Auch wenn der Zielwert des mechanischen Teilwirkungsgrades schon erreicht ist, wären auch hier noch geringfügige Verbesserungen möglich.

#### 4.4 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurden die Systemkosten in ihre Bestandteile zerlegt und aktualisiert. Danach wurden die aktuellen Materialkosten (DM) und Verlustkosten (Losses) ermittelt, sodass diese mit den definierten Zielwerten aus dem 3.Kapitel verglichen werden können. Fasst man die Ergebnisse von diesem Kapitel in einem Satz zusammen, kann gesagt werden, dass die größte Entwicklungsarbeit in den Bereichen Steuerungs- und Kommunikationseinheit und Verbesserung des elektrischen Teilwirkungsgrades steckt.

Abschließend ist in der Abbildung 4.6 die aktuelle Systemkostendarstellung der drei Kompressorplattformen Delta, RPM-Delta und KK2018 basierend auf der vorangegangenen Systemkostenanalyse ersichtlich. Die dazugehörigen Werte der einzelnen Systemkosten sind in der Tabelle 4.20 dargestellt. Der neue Lärm-Einflussfaktor wurde nicht berücksichtigt.

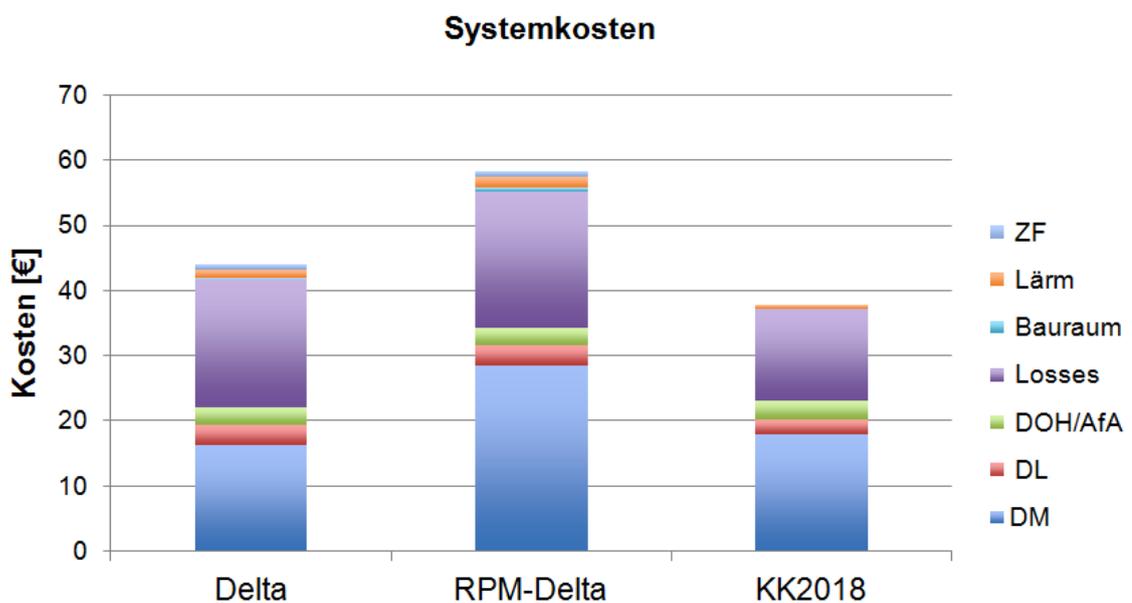


Abbildung 4.6: Aktualisierte Systemkostendarstellung

---

	<b>Delta</b>	<b>RPM-Delta</b>	<b>KK2018</b>
<b>DM</b>	<b>16,24</b>	<b>28,49</b>	<b>17,9</b>
DL	3,09	3,09	2,38
DOH/AfA	2,8	2,8	2,8
<b>Losses</b>	<b>19,54</b>	<b>20,81</b>	<b>14,06</b>
Bauraum	0,28	0,57	0
Lärm	1,2	1,8	0,6
ZF	0,8	0,8	0
<b>Summe</b>	<b>43,95</b>	<b>58,36</b>	<b>37,74</b>

**Tabelle 4.20:** Aktualisierte Systemkostendarstellung in Werten

Die Philosophie die hinter der Systemkostenbetrachtung steckt hat Herr DI Brabek folgendermaßen formuliert: *“Nur das Produkt mit den geringsten Systemkosten wird in Zukunft Marktführer sein“*.<sup>40</sup>

---

<sup>40</sup> Fürstenfeld, 22.08.2013

## 5 Wertanalyse WA

Die Wertanalyse (WA) tauchte erstmals in den USA nach dem 2. Weltkrieg im Jahre 1947 auf. Der Amerikaner Lawrence D. Miles (1904 - 1985), ein Ingenieur von General Electric, hatte die Aufgabe, die Produkte kostengünstiger zu gestalten, da aufgrund von Materialknappheiten viele Firmen damit konfrontiert wurden ihre Produkte im Sinne von Alternativmaterialien zu optimieren. Daraufhin entwickelte Miles eine systematische Vorgehensweise mit dem Fokus, vermeidbare Kosten aufzuspüren und diese zu reduzieren. Die Entwicklung dieser Vorgehensweise dauerte bis 1951 mit dem Resultat einer neuartigen Methodik die als „Value Analysis“ bezeichnet wurde.<sup>41</sup>

Miles definierte die WA als eine *„systematische schöpferische Methode, die das Ziel hat, im Stadium der Produktentwicklung oder zwischen Messmustern und Produktion oder an Standardprodukten aus laufender Fertigung wirksam unnötige Kosten festzustellen, d. h. Kosten, die weder zur Qualität, zum Nutzwert, zur Lebensdauer, zur äußeren Erscheinung beitragen, noch zu anderen Eigenschaften, die dem Kunden erwünscht sind“*<sup>42</sup> bzw. als *„eine organisierte Anstrengung, die Funktionen eines Produktes für die niedrigsten Kosten zu erstellen, ohne dass die erforderliche Qualität, Zuverlässigkeit und Marktfähigkeit des Produktes negativ beeinflusst werden“*<sup>43</sup>.

In der Norm wird die Wertanalyse wie folgt definiert:<sup>44</sup>

*„Wertanalyse ist ein organisierter und kreativer Ansatz, der einen funktionsorientierten und wirtschaftlichen Gestaltungsprozess zur Anwendung bringt mit dem Ziel der Wertsteigerung eines WA-Objekts.*

*ANMERKUNG 1: Das WA-Objekt kann sowohl ein bestehendes als auch ein neues, in Entwicklung befindliches Produkt sein.*

*ANMERKUNG 2: Der WA-Arbeitsprozess wird durch ein WA-Team durchgeführt und durch den WA-Arbeitsplan strukturiert“.*

---

<sup>41</sup> Lingohr & Kruschel, 2011, S.26f

<sup>42</sup> Lingohr & Kruschel, 2011, S.27

<sup>43</sup> VDI-GSP, 1995, S.11

<sup>44</sup> DIN EN 1325-1, 1996

Nachdem Miles die WA im Jahre 1951 vollendete und die ersten Erfolge nachweisbar waren, gewann die WA in den USA schnell an Bedeutung und wurde u.a. in der Bauindustrie und bei der US-Marine eingesetzt. Zur Weiterentwicklung und zum Erfahrungsaustausch dieser Methode wurde eigens dafür ein Verein mit dem Namen SAVE (Society of American Value Engineers) im Jahre 1959 gegründet.<sup>45</sup>

In Deutschland tauchte der Begriff WA erstmals Ende der 1950er Jahre auf. Ausschlaggebend für den Gebrauch der WA im deutschsprachigen Raum war die deutsche Übersetzung des Werkes „Technique of Value Analyses and Engineering“ von Miles (erschienen 1961, deutsche Übersetzung 1964).<sup>46</sup>

Im deutschsprachigen Raum übernahm 1975 der *VDI-Gemeinschaftsausschuss „Wertanalyse“* die Ziele der SAVE, welche dann später durch das *Zentrum Wertanalyse (ZWA) der VDI-GSP* in Deutschland und durch das *Zentrum Wertanalyse im Wirtschaftsförderungsinstitut der Wirtschaftskammer (WIFI-ZWA)* in Österreich übernommen wurden.<sup>47</sup>

Bis heute hat sich diese Methode ständig weiterentwickelt und ist in der vorläufig endgültigen Version VDI 2800, aktualisiert im Jahre 2010, einsehbar. Die klassische WA fokussierte sich auf die Optimierung der Herstellkosten und Wertsteigerung von bestehenden Produkten.<sup>48</sup> Die heutige WA zielt auf ein „*temporäres wirtschaftliches Optimum*“ ab. Somit entwickelte sich die WA weg von der kostengünstigsten Lösung hin zur gewinnträchtigsten Lösung<sup>49</sup>.

Die WA kommt heutzutage nicht nur bei Produkten zur Anwendung sondern auch zur Optimierung von Prozessen und Dienstleistungen. Der Hauptgrund für den Erfolg der klassischen WA war wohl die Zerlegung des Produktes in Funktionen, welche die einzelnen Bauteile erfüllen. Diese Sichtweise ist bis in der heutigen WA gleich geblieben und ist ein Hauptcharakteristika der WA.<sup>50</sup>

---

<sup>45</sup> VDI-GSP, 1995, S. 12

<sup>46</sup> Lingohr & Kruschel, 2011, S.28

<sup>47</sup> VDI-GSP, 1995, S.12

<sup>48</sup> Lingohr & Kruschel, 2011, S.29

<sup>49</sup> Bronner & Herr, 2006, S.1

<sup>50</sup> Lingohr & Kruschel, 2011, S.29

## 5.1 Begriffsdefinitionen

### Wertanalyse-Objekt (WA-Objekt)

Als WA-Objekt wird ein Funktionsträger bezeichnet, welches mittels einer WA untersucht wird. Ein Funktionsträger ist in diesem Zusammenhang ein Objekt, das gewisse Funktionen erfüllen muss wie bspw. Kundenbedürfnisse oder technische Anforderungen.<sup>51</sup>

WA-Objekte können sein:<sup>52</sup>

- Produkte
- Produktionsmittel und -verfahren
- Dienstleistungen
- Organisations- und Verwaltungsabläufe
- Informationsinhalte und -prozesse

### Wertanalyse-Arbeitsplan (WA-Arbeitsplan)

Der WA-Arbeitsplan ist eine methodische Vorgehensweise, in dem die wichtigsten Arbeitsschritte der Wertanalyse definiert werden. Anfangs bestand er aus 6 Schritten (DIN 69910):

- 1.) Projekt vorbereiten
- 2.) Objektsituation analysieren
- 3.) SOLL-Zustand beschreiben
- 4.) Lösungsideen entwickeln
- 5.) Lösungen festlegen
- 6.) Lösungen verwirklichen

Später wurden sie in den neueren Normen (Aktualisierung im Jahr 2010) auf insgesamt 10 Schritten erweitert (siehe Abbildung 5.1). Die Inhalte sind dabei

---

<sup>51</sup> Marchthaler et al., 2011, S.31

<sup>52</sup> Marchthaler et al., 2011, S.31

aber im wesentlichen gleich geblieben, nur die Beschreibung wurde ausführlicher und genauer gestaltet.<sup>53</sup>

<b>Grundschritte</b>	<b>Einsatz von methodischen Instrumenten</b>
0.) Vorbereitung des Projektes	Risiko-Analyse - FMEA Quality Function Deployment (QFD) Target Costing
1.) Projekt-Definition	Life Cycle Costing Marktanalyse Benchmarking
2.) Planung	Teambuilding Projektmanagement Netzplantechnik
3.) Umfassende Daten über die Studie sammeln	Simultaneous Engineering Engpass-Analyse Ursache-/wirkungs-Analyse
4.) Funktionen-/Kostenanalyse/ Detailziele	Funktionen-Kosten-Analyse Funktionen-Erfüllungsgrad Funktionenbaum / FAST-Diagramm
5.) Sammeln und Finden von Lösungsideen	Brainstorming, Morphologie Analogie-Verfahren / Bionik / Synektik Querdenk-Management
6.) Bewertung der Lösungsideen	Nutzwertanalyse Machbarkeits-Untersuchung Wirtschaftlichkeits-Analyse
7.) Entwicklung ganzheitlicher Vorschläge	Plausibilitäts-Studie Maßnahmenkatalog Mind Map
8.) Präsentation der Vorschläge	Präsentations-Technik Moderations-Technik Dokumentations-Konzept
9.) Realisierung	Projektmanagement Netzplantechnik Projekt-Controlling

**Abbildung 5.1:** WA-Arbeitsplan nach EN 12973

Der wesentliche Unterschied zum alten WA-Arbeitsplan ist der Schritt 0. Darin wird nicht nur das Objekt beschrieben, sondern mit Hilfe einer Machbarkeits-

<sup>53</sup> Marchthaler et al., 2011, S.35

analyse sollen grundlegende Fragen wie Chancen, Risiken, Sinnhaftigkeit, Dringlichkeit und Auswirkungen am Markt beantwortet werden. Danach folgt Schritt 1, der mit dem des alten WA-Arbeitsplanes gleichzusetzen ist. Das in der neuen Version des Arbeitsplanes die wirtschaftliche Sichtweise verstärkt ist, erkennt man dadurch, dass die WA-Objekt-Optimierung nicht nur auf eine Nutzsteigerung basiert, sondern auch die Markt und Wettbewerbssituation verstärkt miteinbezogen wird (z.B. Trends oder Marketingstrategien).<sup>54</sup>

### **Wertanalyse-Team (WA-Team)**

Für die Durchführung der Schritte 2 bis 7<sup>55</sup> wird ein WA-Team gebildet, das sich in regelmäßigen Teamsitzungen untereinander austauscht und in der Zwischenzeit an ihre projekt-spezifischen Aufgaben weiterarbeiten. Dieses Team ist für die Anwendung einer WA besonders wichtig und besteht bis zum Abschluss des Projektes.<sup>56</sup>

## **5.2 Der Begriff „Wert“**

Bei der **Wertanalyse** (**Value** Analyses, **Value** Engineering, **Value** Management) spielt der Begriff „Wert“ und die damit verbundene Wertsteigerung eine zentrale Rolle.

Ursprünglich wurde unter dem Begriff Wert innerhalb der WA einfach das Verhältnis zwischen Nutzen und Aufwand verstanden<sup>57</sup>.

Der Aufwand (Herstellungskosten) bestimmt den Marktpreis mit. Daraus lässt sich ableiten, dass eine Wertsteigerung mit verhältnismäßig geringerem Aufwand und somit einem geringeren Preis erreicht wird. Umgekehrt sinkt der Wert, wenn der Preis verhältnismäßig groß ist. Unterscheidet man aber den Wert in Gebrauchswert und Geltungswert (siehe Abbildung 5.2), dann ist dieser Ansatz nicht immer richtig. Beim Gebrauchswert mag er noch stimmen, aber beim Geltungswert

---

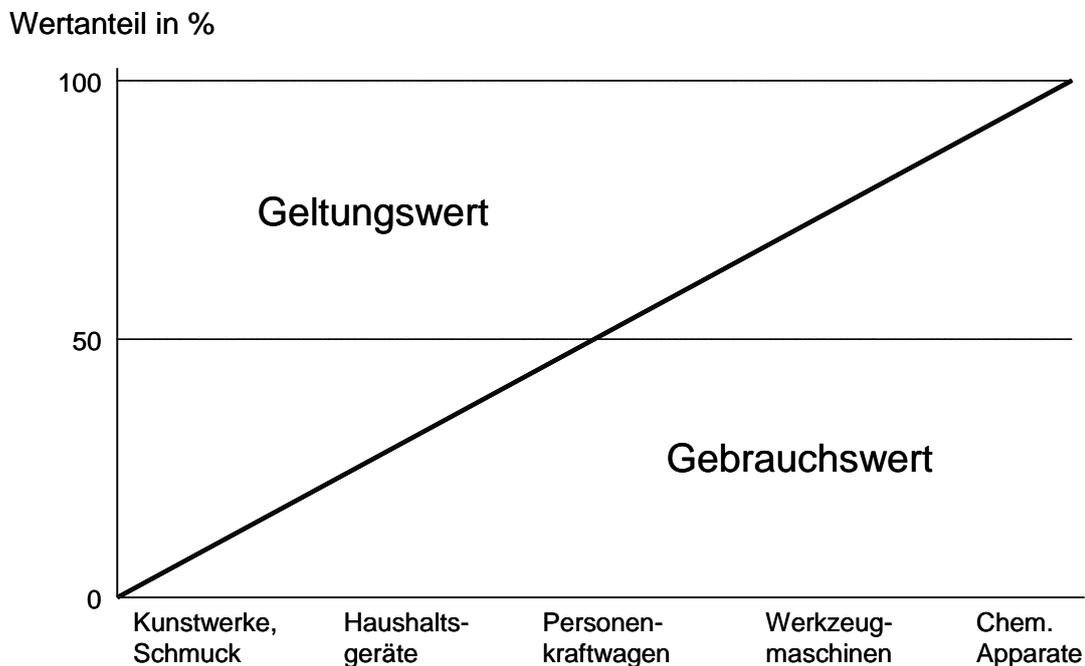
<sup>54</sup> Marchthaler et al., 2011, S.37

<sup>55</sup> Wiest, 2011, S.40

<sup>56</sup> Merten et al., 2011, S.104

<sup>57</sup> VDI-GSP, 1995, S.19

kommt es zu einer Unwahrheit, da zum Beispiel beim Schmuck, der Wert des Produktes mit dem Preis steigt<sup>58</sup>.



**Abbildung 5.2:** Gebrauchs- und Geltungswert von verschiedenen Konsumgütern<sup>59</sup>

Unter Gebrauchswert ist jener Wert zu verstehen, der dadurch entsteht, wenn die Gebrauchsfunktionen (u.a. technische und wirtschaftliche Funktionen) erfüllt sind und dadurch die Kundenbedürfnisse befriedigt werden. Unter Geltungswert ist jener Wert zu verstehen, der dadurch entsteht, wenn die Geltungsfunktionen (u.a. Prestige, Ästhetik, Status) erfüllt sind und dadurch die Kundenbedürfnisse befriedigt werden. Die Kombination von Gebrauchs- und Geltungswert eines WA-Objektes ergeben den Nutzwert.<sup>60</sup>

Haushaltsgeräte weisen dementsprechend einen hohen Geltungswert und einen geringen Gebrauchswert auf. Beim Kompressor hingegen ist es umgekehrt. Da der Endkunde ihn nicht direkt sieht und somit auch nicht wahrnimmt, ist sein Geltungswert sehr gering und dadurch der Gebrauchswert sehr hoch.

<sup>58</sup> Pauwels, 2011, S.6

<sup>59</sup> Bronner & Herr, 2006, S.9

<sup>60</sup> Bronner & Herr, 2006, S.8f

Dieser Umstand führte zu einer genauen Definition dieses Begriffes, welcher laut Norm wie folgt formuliert wurde:

*„Wert ist die Beziehung zwischen dem Beitrag der Funktion (oder des WA-Objektes) zur Bedürfnisbefriedigung und den Kosten der Funktion (oder des WA-Objektes).“<sup>61</sup>*

Eine besonders wertvolle Funktion mit vergleichsweise geringen Funktionenkosten besitzt also einen hohen Wert, da einerseits der Kunde sie als sehr wichtig empfindet und andererseits der Hersteller einen geringen Aufwand dafür erbringen muss. Um eine Wertsteigerung von Funktionen zu realisieren, kann man entweder die Bedürfnisbefriedigung erhöhen oder die Funktionenkosten (Ressourceneinsatz) reduzieren. Grundsätzlich gibt es aber unterschiedliche Arten den Wert zu steigern<sup>62</sup>:

- Bedürfnisbefriedigung: sehr hoch & Ressourceneinsatz: etwas höher
- Bedürfnisbefriedigung: hoch & Ressourceneinsatz: gleich
- Bedürfnisbefriedigung: etwas höher & Ressourceneinsatz: etwas kleiner
- Bedürfnisbefriedigung: gleich & Ressourceneinsatz: klein
- Bedürfnisbefriedigung: etwas kleiner & Ressourceneinsatz: sehr klein

Diese unterschiedlichen Möglichkeiten sind auch in der Norm DIN EN 12973 2000 festgehalten. Also auch bei einer Erhöhung des Ressourceneinsatzes kann der Wert sich steigern, wenn die Bedürfnisbefriedigung überproportional zunimmt.

### **5.3 Funktionenanalyse**

Wie bereits erwähnt, gehört eine Funktionenanalyse zu den Grundelementen einer WA und ist dem 4. Schritt des WA-Arbeitsplanes VDI 2800 (2010) zugeordnet. Laut Norm ist die Funktionenanalyse *„ein Prozess, der die Funktionen und deren Beziehungen, welche systematisch dargestellt, klassifiziert und bewertet sind, vollständig beschreibt“<sup>63</sup>*. Innerhalb der Funktionenanalyse werden also die Funktionen eines WA-Objektes ermittelt, gegliedert und analysiert bzw. bewertet.

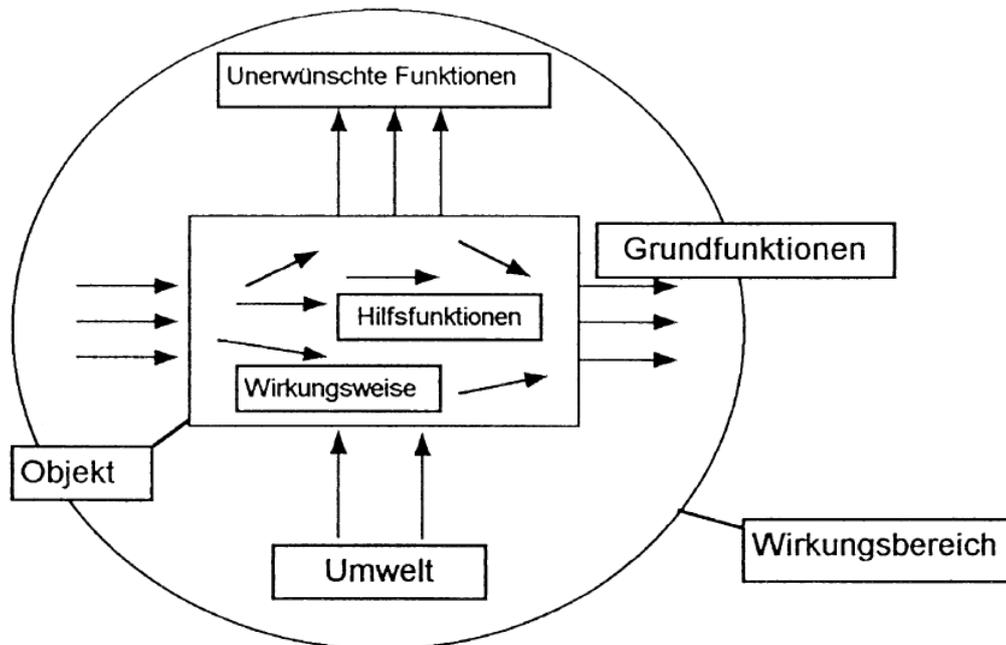
---

<sup>61</sup> Bronner & Herr, 2006, S.5

<sup>62</sup> Marchthaler et al., 2011, S.16

<sup>63</sup> Bronner & Herr, 2006, S.13

Der Grundgedanke der dahinter steckt ist die Tatsache, dass der Kunde meistens an Funktionen, die das Objekt erfüllt, interessiert ist und kauft. Das Objekt selbst steht dabei nicht im Vordergrund.<sup>64</sup> Dieser wertanalytische Ansatz soll innerhalb dieser Arbeit dazu dienen, Parameter (Teilfunktionen) für den morphologischen Kasten leichter zu identifizieren.



**Abbildung 5.3:** Der Begriff Funktion innerhalb der WA<sup>65</sup>

In Abbildung 5.3 ist das WA-Objekt ersichtlich, bestehend aus den Grundfunktionen, die das Objekt haben muss. Dazu gibt es noch Hilfsfunktionen und deren Wirkungsweise, um die Grundfunktionen zu erfüllen, und so genannte unnötige, unerwünschte Funktionen und Einflüsse aus der Umwelt bzw. Umgebung. Ausgehend von dieser Abbildung lässt sich folgende Definition ableiten: „Funktionen im Sinne der Wertanalyse sind Zwecke, Aufgaben und Wirkungen von Objekten in einem abgegrenzten Wirkungsbereich“<sup>66</sup>.

Das Objekt wird nicht als solches betrachtet, was es darstellt, sondern als das was es macht bzw. wofür es ist. Ein Objekt besteht in der Regel aus vielen Funktionen, die anhand gewisser Kriterien gegliedert werden.

<sup>64</sup> Pauwels, 2011, S.5

<sup>65</sup> Bronner & Herr, 2006, S.12

<sup>66</sup> Bronner & Herr, 2006, S.13

### 5.3.1 Gliederung der Funktionen<sup>67</sup>

Unterschieden wird einerseits zwischen Funktionenarten und andererseits zwischen Funktionenklassen. Bei den Funktionenarten werden die Funktionen nach ihrem Wert unterschieden, also ob die Funktion einen Gebrauchs- oder Geltungswert für den Kunden haben. Daher gibt es 2 Funktionenarten:

- **Gebrauchsfunktionen:** Es handelt sich hierbei um eine Funktion, die einen technischen/wirtschaftlichen Nutzen für den Kunden bereitstellt. Gebrauchsfunktionen sind im Normalfall quantifizierbar, wie bspw. „Email senden“.
- **Geltungsfunktionen:** Alle Funktionen, welche nicht der technischen/wirtschaftlichen Nutzung des Objektes dienen, werden als Geltungsfunktionen bezeichnet. Darunter versteht man vor allem Funktionen welche die Optik, Image, Sicherheit usw. betreffen. Ein Beispiel dafür könnte „Status verleihen“ heißen. Daher ist die Quantifizierung sehr subjektiv und nur durch Meinungsforschungen und Trends ermittelbar<sup>68</sup>.

Bei Objekten, die im Blickpunkt stehen und einen gewissen Status repräsentieren, sind Geltungsfunktionen mindestens genauso wichtig wie Gebrauchsfunktionen. Es reicht nicht aus, nur die Gebrauchsfunktionen zu erfüllen wenn diese nicht dementsprechend „verpackt“ sind.

Die zweite Einteilung der Funktionen erfolgt nach ihrer Wichtigkeit. Hier lassen sich 3 Funktionenklassen unterscheiden:

- **Hauptfunktionen:** Lassen sich keiner anderen Funktion unterordnen. Das zu untersuchende Objekt kann aus einer oder mehreren Hauptfunktionen bestehen.
- **Nebenfunktionen:** Lassen sich zu anderen Funktionen unterordnen, d.h. sie sind notwendig, damit die jeweilige Hauptfunktion erfüllt werden kann. Es kann auch durchaus möglich sein, dass eine Nebenfunktion selbst aus Nebenfunktionen besteht.

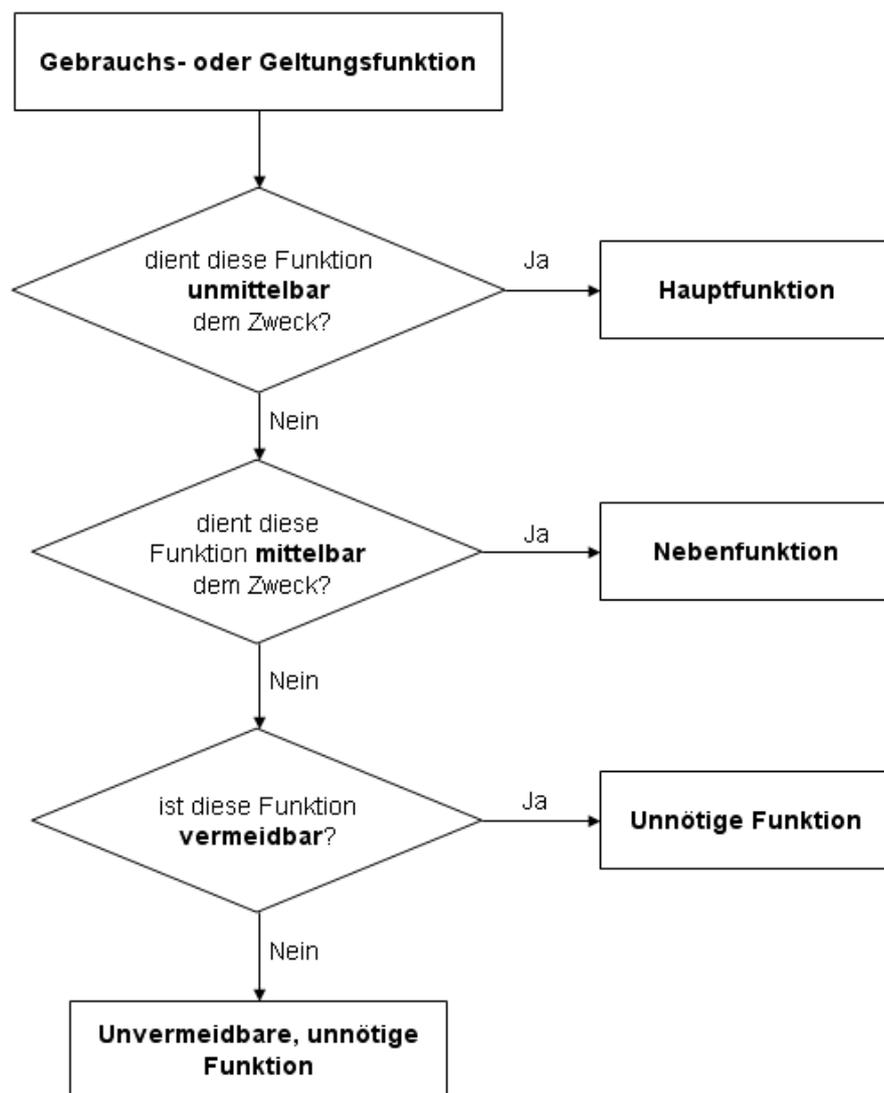
---

<sup>67</sup> Ammann, 2011, S.60f

<sup>68</sup> VDI-GSP, 1995, S.19

- **Unnötige Funktionen:** Sie leisten keinen bemerkenswerten Beitrag zur Kundenbefriedigung, d.h. der Nutzen ist geringer als der Schaden. Nach EN 12973 gibt es vermeidbare und unvermeidbare, unnötige Funktionen. Die vermeidbaren, unnötigen Funktionen sollten nach der Funktionsanalyse eliminiert werden.

Es gibt also noch die Möglichkeit, die Gebrauchs- und Geltungsfunktionen in Haupt-, Neben- und unnötige Funktionen zu gliedern. Abbildung 5.4 sollte die Klassifizierung der Funktionen in Funktionsklassen erleichtern.



**Abbildung 5.4:** Gliederung in Haupt-, Neben- und unnötige Funktion<sup>69</sup>

<sup>69</sup> Vgl. Ammann, 2011, S.61

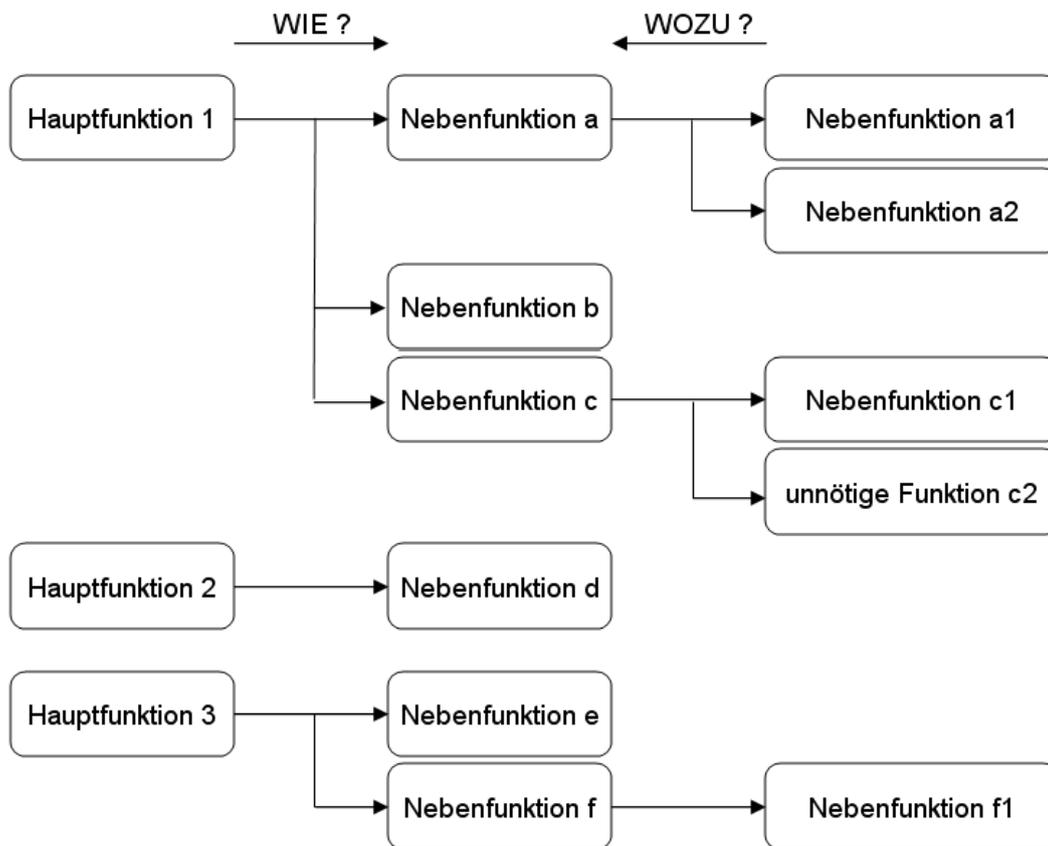
Für die Darstellung einer Funktionenanalyse dienen im wesentlichen zwei Darstellungsarten: Der Funktionenbaum und das FAST-Diagramm, welche in den nächsten beiden Unterkapiteln erklärt werden.

### 5.3.2 Funktionenbaum

Zur grafischen Darstellung einer Funktionenanalyse dient der Funktionenbaum (siehe Abbildung 5.5). Zunächst werden alle Funktionen auf einen blanken Zettel oder ähnliches geschrieben. Kreativitätstechniken wie z.B. Brainstorming können die Suche nach den Funktionen erleichtern. Dabei ist darauf zu achten, dass die Funktion aus einem Hauptwort (Substantiv) und einem Zeitwort (Verb) besteht. Bspw. „*Heißwasser bereitstellen*“ beschreibt eine Hauptfunktion eines Wasserkochers. Danach erfolgt die Einteilung in Hauptfunktionen und Nebenfunktionen. Zum Abschluss wird eine Plausibilitätsprüfung mit den beiden Fragewörtern „Wie“ und „Wozu“ durchgeführt, um die Sinnhaftigkeit der Gliederung zu überprüfen.<sup>70</sup>

---

<sup>70</sup> Lingohr & Kruschel, 2011, S.35

Abbildung 5.5: Funktionsbaum<sup>71</sup>

Diese schematische Darstellung des Funktionsbaumes soll zum besseren Verständnis beitragen. Erfolgt die Plausibilitätsprüfung von links nach rechts, dann geschieht das mit dem Fragewort „WIE?“. In umgekehrter Richtung, also von rechts nach links, wird mit dem Fragewort „WOZU?“ die Plausibilität überprüft.

Die Fragestellungen könnten lauten:

- Wie wird die Hauptfunktion 1 erfüllt?
  - Antwort: Durch die Nebenfunktionen a, b und c.
- Wie wird die Nebenfunktion a erfüllt?
  - Antwort: Durch die Nebenfunktionen a1 und a2.

oder

- Wozu dient die Nebenfunktion f1?

<sup>71</sup> Vgl. Ammann, 2011, S.63

- Antwort: Um die Nebenfunktion f zu erfüllen.
- Wozu dient die Nebenfunktion f?
  - Antwort: Um die Hauptfunktion 3 zu erfüllen.

Prinzipiell ist der Funktionenbaum so aufgebaut, dass er von links nach rechts ins Detail geht, er könnte auch von oben nach unten gegliedert werden<sup>72</sup>.

So ein Funktionenbaum dient einerseits zum besseren Verständnis und andererseits kann schnell gesagt werden, welche Funktionen den Wert eines Objektes erhöhen und welche unwichtig erscheinen.

### 5.3.3 FAST-Diagramm

FAST bedeutet Funktionen-Analyse-System-Technik. Der Unterschied zum Funktionenbaum besteht darin, dass hier eine Technik angewendet wird, bei der die Abhängigkeiten und Beziehungen der Funktionen sichtbar gemacht werden.<sup>73</sup> In Abbildung 5.6 wird beispielhaft gezeigt, wie das FAST-Diagramm aussieht.

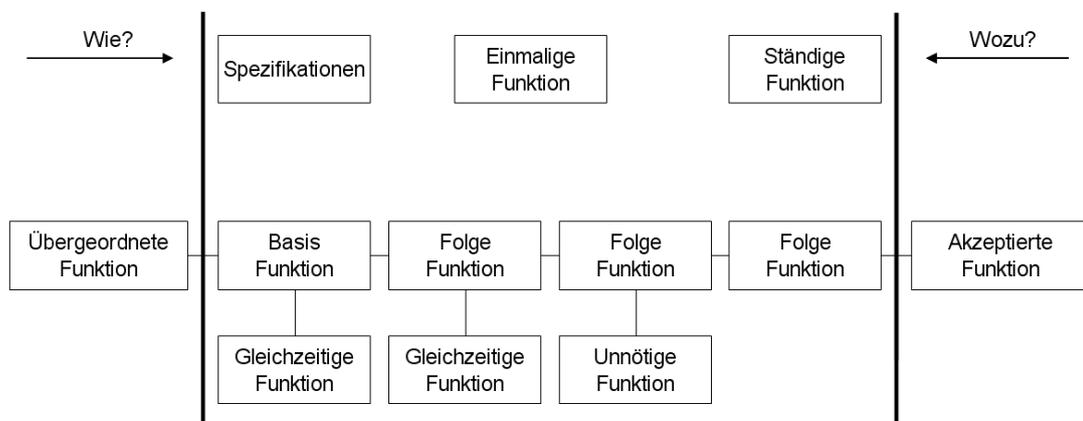


Abbildung 5.6: FAST-Diagramm<sup>74</sup>

Es gibt eine „Übergeordnete Funktion“ auf der einen Seite und eine „Akzeptierte Funktion“ auf der anderen Seite des Anwendungsbereiches. Die „Übergeordnete Funktion“ ist die eigentliche Zielsetzung, für die eine Basisfunktion benötigt wird. Die „Akzeptierte Funktion“ wird als vorhanden angenommen. Der Zwischenraum

<sup>72</sup>Lingohr & Kruschel, 2011, S.35

<sup>73</sup> Ammann, 2011, S.64

<sup>74</sup> Vgl. Ammann, 2011, S.64

besteht aus Funktionen (u.a. Basis- und Folge-Funktionen) die notwendig sind, um von der „Übergeordneten Funktion“ zur „Akzeptierten Funktion“ zu gelangen. Darüber hinaus werden noch „Einmalige Funktionen“, „Ständige Funktionen“ und „Spezifikationen“ berücksichtigt. Gleich wie beim Funktionenbaum erfolgt durch die Fragewörter „Wie“ und „Wozu“ die Plausibilitätsprüfung. Als Spezifikationen sind hier Anforderungen, Randbedingungen, Vorschriften und Leistungsdaten gemeint.<sup>75</sup>

## **5.4 Funktionenanalyse innerhalb der ACC**

Die Entscheidung: eine Funktionenanalyse durchzuführen, entstand im Laufe dieser Arbeit und sollte eine Hilfestellung für die Gestaltung des morphologischen Kastens sein.

Zuerst galt es die Rahmenbedingungen festzulegen. Soll eine Funktionenanalyse vom Kompressor als Gesamtprodukt gemacht werden oder eine Funktionenanalyse von den einzelnen Baugruppen (Untersystemen), aus die der Kompressor besteht? Schnell wurde beschlossen, eine Funktionenanalyse von den einzelnen Untersystemen zu gestalten, um mehr ins Detail gehen zu können. Dadurch soll vermieden werden, dass nicht alle Funktionen berücksichtigt werden. Des Weiteren könnte für den Aufbau des morphologischen Kastens diese Funktionenanalysen dazu dienen, die bestimmenden Teilfunktionen zu identifizieren. Das Denken in Funktionen hat den weiteren Vorteil, dass nicht das Bauteil im Vordergrund steht sondern die Funktion, die dieses Bauteil erfüllt. Dadurch ist es später leichter, alternative, innovative Lösungskonzepte zu finden, da man nicht länger an ein Bauteil gebunden ist sondern die Funktion erfüllt werden muss, egal mit welchem Bauteil bzw. System.

### **5.4.1 Festlegung der Untersysteme**

Aufbauend auf die vorangegangenen Arbeiten wurden die Untersysteme des Kompressors erweitert. Da bereits eine bestehende Verteilung der Aufgabebereiche des Kompressors existiert, wurden diese übernommen, da innerhalb der Abteilung eine bereits verständliche und vor allem bekannte Aufteilung vorteilhaft ist. Darüber hinaus gibt es schon eine gewisse Zugehörigkeit der einzelnen F&E-

---

<sup>75</sup> Ammann, 2011, S.65

Mitarbeiter zu den einzelnen Untersystemen, womit sich das Teambuilding für die einzelnen Workshops zur Gestaltung der Funktionenanalyse der verschiedenen Untersystemen erleichtert. Derzeit existieren 10 Untersysteme.

Das Untersystem „Overall System“ inkludiert alle weiteren Untersysteme und findet somit keine Beachtung in der Funktionenanalyse, da durch die Funktionenanalyse der Untersysteme indirekt die Funktionen des „Overall System“ ermittelt werden.

Das Untersystem „Mechanical Integration“ hat noch zu wenig Bestand und wird dem nahe liegendem Untersystem „Casing“ hinzugefügt.

Die Untersysteme „Suction System“, „Head Group“ und „Discharge System“ werden als Untersystem „Gaslinie“ zusammengefasst.

Nach diesen Zusammenlegungen ergeben sich somit sechs zu untersuchende Untersysteme:

- Casing (inkl. Mechanical Integration)
- Kinematics
- Gaslinie (Saug-, Druckstrecke und Kopfgruppe)
- Power Unit
- Motor Control
- Communication System

#### **5.4.2 Festlegung der Teams und Vorgehensweise**

Um ein möglichst konstruktives Ergebnis zu erzielen wurde eine Teamgröße von 7 bis 9 Teilnehmern bestimmt. Die Zusammensetzung besteht aus 3 Teilnehmern, die bei jedem Workshop dabei sind (Abteilungsleiter, Moderator, Organisator) und 4 bis 6 Teilnehmern die mit dem jeweiligen Untersystem vertraut sind.

Die Vorgehensweise, die dabei gewählt wurde, sieht folgendermaßen aus:

1. Aufteilung des Teams in 2 Gruppen.
2. Jede Gruppe versucht mit Hilfe von Brainstorming alle Funktionen des jeweiligen Untersystems zu ermitteln und schreibt diese auf ein Flipchart.
3. Austausch der beiden Gruppenergebnisse und Überführen in ein gemeinsames Ergebnis.

4. Ausgehend von diesem gemeinsamen Ergebnis wird nun die Gliederung vorgenommen (Hauptfunktionen, Nebenfunktionen, unnötige Funktionen). Wieder zuerst von beiden Gruppen getrennt und anschließend Zusammenführen auf ein gemeinsames Teamergebnis.
5. Überprüfung der Plausibilität: Falls hier eventuelle Fehler auftreten, werden gemeinsam im Team die nötigen Korrekturen vorgenommen.
6. Darstellung des Teamergebnisses in Form eines Funktionenbaumes.

## **5.5 Anwendung der Funktionenanalyse**

Nachdem die zu betrachtenden Untersysteme des Kompressors und die Teams definiert worden sind, wurden die einzelnen Funktionenanalysen durchgeführt. Die jeweiligen Teamergebnisse sind auf den nächsten Seiten ersichtlich.

### **Funktionenanalyse „Casing“**

Abhaltungstermin: Dienstag, 10. 12. 2013

Teamgröße: 9 Teammitglieder (Bk, Gm, Am, Sm, Ej, Re, Mn, We, St)

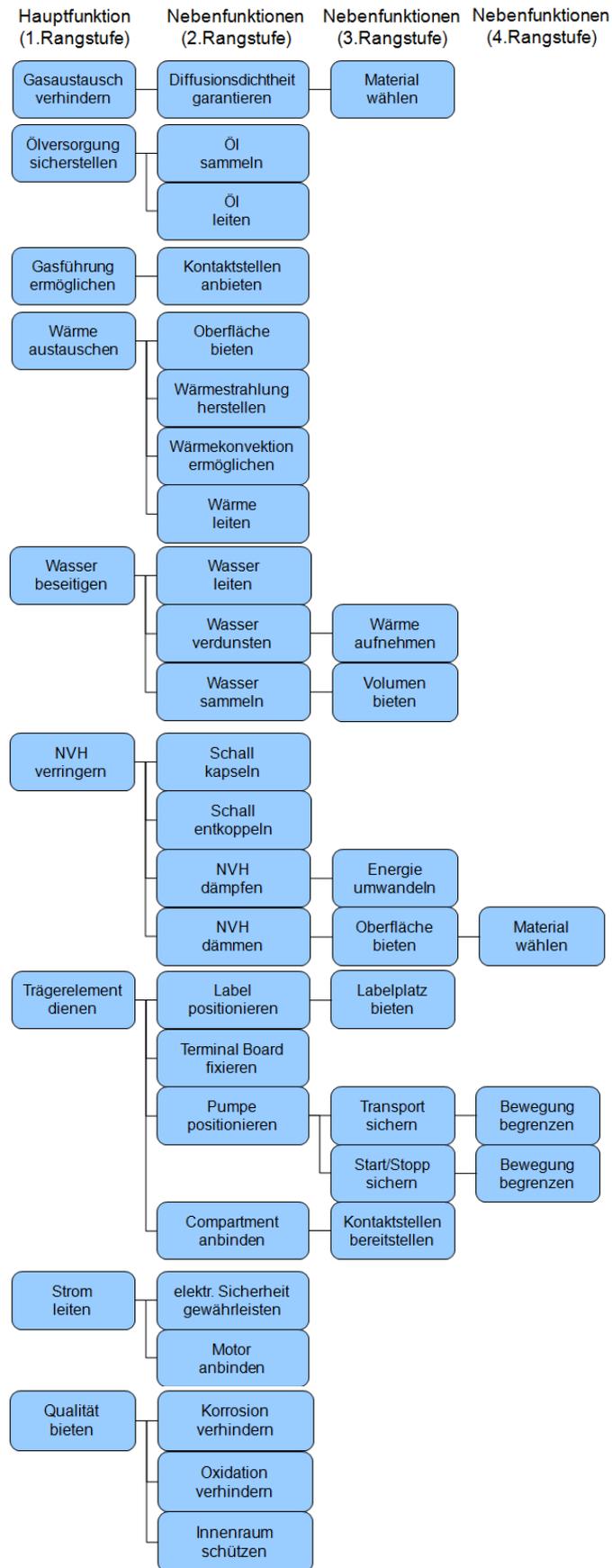


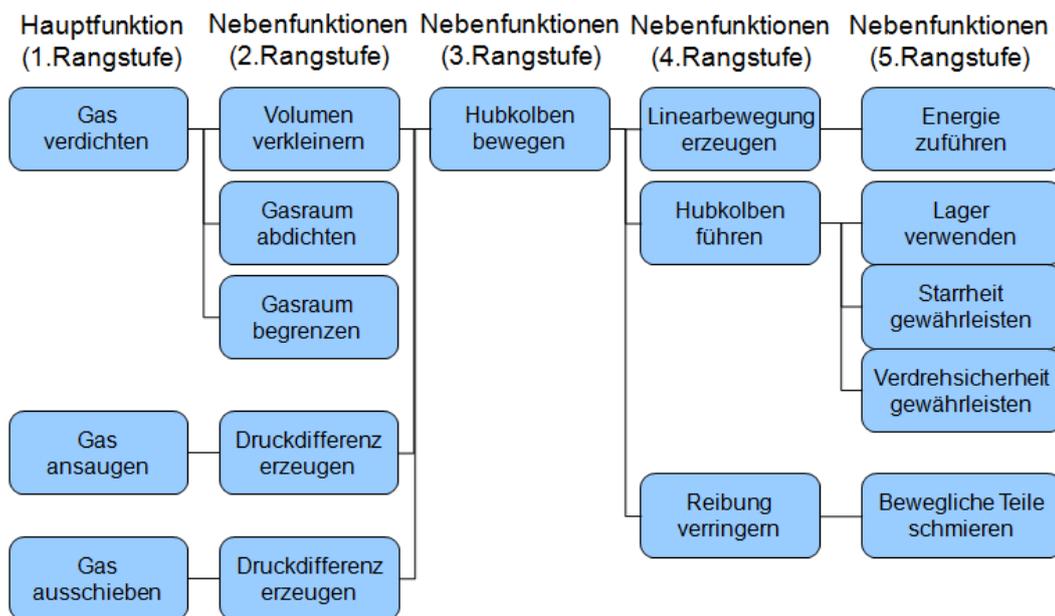
Abbildung 5.7: Funktionenbaum: „Casing“

Wie bereits in der Vorgehensweise erwähnt, wurden zuerst alle Funktionen ermittelt, klassifiziert in Haupt- und Nebenfunktionen und anschließend die Plausibilität überprüft. Das Gehäuse umfasst viele unterschiedliche Aufgabenbereiche, daher gibt es auch, im Gegensatz zu den anderen Funktionenanalysen, viele Hauptfunktionen.

## Funktionsanalyse „Kinematics“

Abhaltungstermin: Dienstag, 10. 12. 2013

Teamgröße: 7 Teammitglieder (Bk, Gm, Am, Zd, Sp, Ls, Kw)



**Abbildung 5.8:** Funktionsbaum: „Kinematics“

Bei dieser Funktionsanalyse ergaben sich drei Hauptfunktionen, die sich aus ein, oder mehreren Nebenfunktionen zusammensetzen. Bemerkenswert ist hier die Tatsache, dass alle drei Hauptfunktionen die gleiche Nebenfunktion „Hubkolben bewegen“ beinhaltet.

## Funktionsanalyse „Gaslinie“

Abhaltungstermin: Donnerstag, 16. 01. 2014

Teamgröße: 4 Teammitglieder (Am, Pt, Zp, Mn)

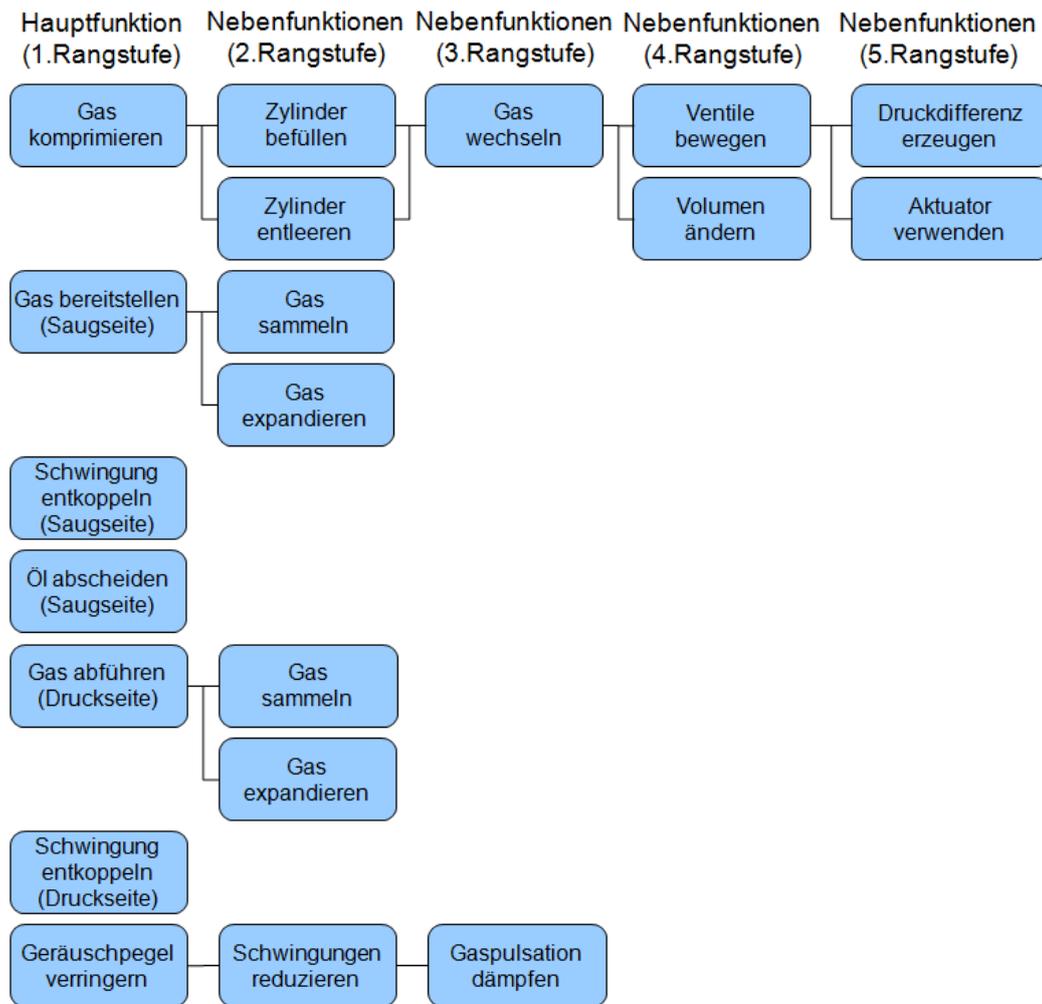


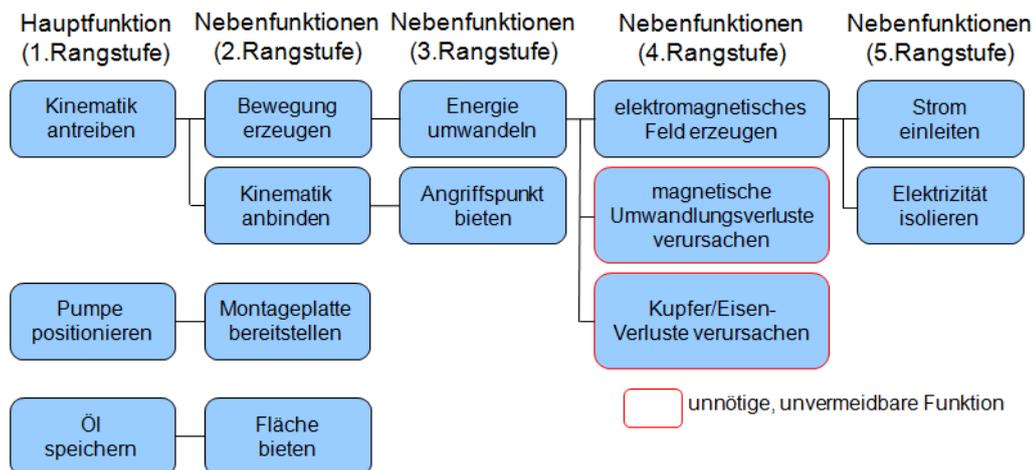
Abbildung 5.9: Funktionsbaum: „Gaslinie“

Die Gaslinie besteht aus den Untersystemen Saug-, Druckstrecke und Kopfgruppe. Daher ist in dieser Funktionsanalyse zusätzlich ersichtlich, welcher Seite die Funktion zugeordnet ist. Die Funktion „Geräuschpegel verringern“ betrifft die komplette Gaslinie.

## Funktionsanalyse „Power Unit“

Abhaltungstermin: Freitag, 06. 12. 2013

Teamgröße: 8 Teammitglieder (Bk, Gm, Am, Ks, Si, Sc, Wb, St)



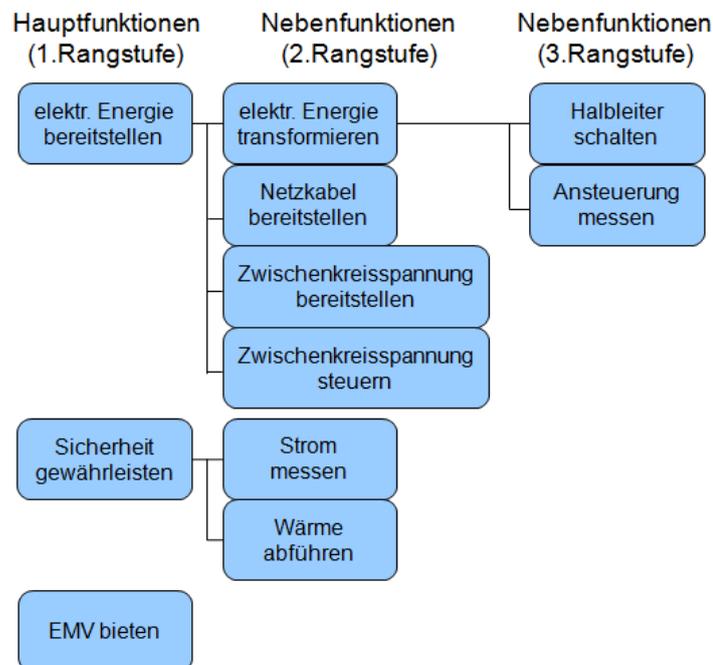
**Abbildung 5.10:** Funktionsbaum: „Power Unit“

Hier konnten drei Hauptfunktionen gefunden werden, wobei sie sich in ihrer Wertigkeit sehr unterscheiden, denn die Funktion „Kinematik antreiben“ verursacht rund 95% der Kosten. Bei einer Funktionsanalyse können auch unnötige Funktionen vorkommen, wie hier in rot hervorgehoben. Hier gilt es zu hinterfragen, ist diese Funktion vermeidbar oder unvermeidbar. Ist sie vermeidbar, sollte sie eliminiert werden.

## Funktionsanalyse „Motor Control“

Abhaltungstermin: Freitag, 06. 12. 2013

Teamgröße: 8 Teammitglieder (Bk, Gm, Am, Ks, Si, Sc, Wb, St)



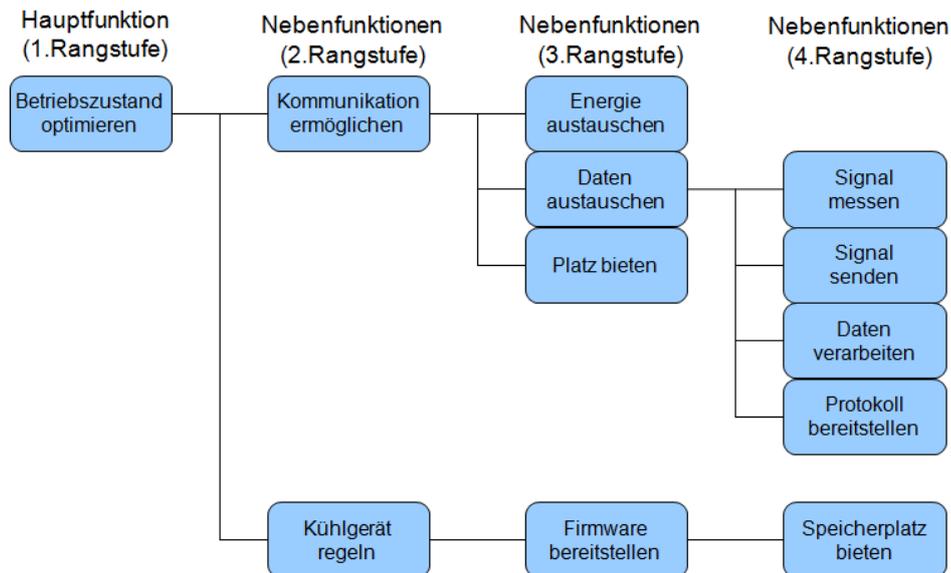
**Abbildung 5.11:** Funktionsbaum: „Motor Control“

Die Motor Control ist sozusagen das Bindeglied zwischen der Kommunikationseinheit und dem Motor. Sie stellt einerseits die elektrische Energie für den Motor zur Verfügung und andererseits sorgt sie für die nötige Sicherheit und Zuverlässigkeit. Daher ließen sich drei Hauptfunktionen ableiten, welche zusätzlich Nebenfunktionen benötigen, sodass die Funktionalität gewährleistet wird.

## Funktionsanalyse „Communication System“

Abhaltungstermin: Freitag, 06. 12. 2013

Teamgröße: 8 Teammitglieder (Bk, Gm, Am, Ks, Si, Sc, Wb, St)



**Abbildung 5.12:** Funktionsbaum: „Communication System“

Bei dieser Funktionsanalyse ließen sich die zwei Nebenfunktionen „Kommunikation ermöglichen“ und „Kühlgerät regeln“ noch auf eine übergeordnete Funktion zurückführen und somit gibt es genau eine Hauptfunktion, nämlich den Betriebszustand zu optimieren.

## 5.6 TRIZ innerhalb der Wertanalyse

TRIZ kann als ergänzendes Instrument sehr hilfreich für eine erfolgreiche WA sein. So macht es in diversen Schritten des Arbeitsplanes VDI 2800 (2010) durchaus Sinn, gewisse Techniken, so genannte TRIZ-Werkzeuge, anzuwenden. In diesem Kapitel wird zunächst die TRIZ-Methodik erklärt und anschließend erläutert in welchen Schritten des Arbeitsplanes (Abbildung 5.1) TRIZ zur Anwendung kommen kann. Anschließend wird die TRIZ-Methodik „Widersprüche“ in dieser Arbeit neu aufgegriffen und bezüglich den Änderungen der letzten Jahren angepasst.

### 5.6.1 TRIZ

TRIZ wurde in der Mitte des 20. Jahrhunderts von Genrich Saulowitsch Altschuller (1926 – 1998), ein russischer Ingenieur, der als Sekretär im Patentamt arbeitete, entwickelt. Die russische Abkürzung „TRIZ“ steht für „*Teorija Reschenija Izobretatel'skich Zadač*“; englische Übersetzung: „*Theory of Inventive Problem Solving*“; deutsche Übersetzung: „*Theorie des erfinderischen Problemlösens*“. Altschuller erkannte bei seinen Studien von Patentanmeldungen, dass es gewisse Muster und Regeln gibt, welche bei Erfindungen immer wieder auftreten und war davon überzeugt, dass man erfinderische Kreativität erlernen kann.<sup>76</sup>

Die Vorgehensweise bei TRIZ erfolgt grundsätzlich in 4 Schritten. Zunächst wird die Problemstellung genau beschrieben und definiert. Im zweiten Schritt erfolgt eine Abstraktion des Problems in ein abstrahiertes Problem. Danach sucht man nach bereits bekannten Lösungen für das abstrahierte Problem. Im letzten Schritt erfolgt die Rücktransformation der Lösung auf das konkrete Problem.<sup>77</sup>

Altschuller generierte eine Vielzahl an Methoden und Werkzeugen, welche zur Anwendung kommen können, um innovative Ideen zu generieren.

Diese sind...<sup>78</sup>

...bezogen auf die Aufgabenstellung:

- Evolutionsgesetze

---

<sup>76</sup> Orloff, 2006, S. 3

<sup>77</sup> Gundlach & Nähler, 2006, S. 15f

<sup>78</sup> Klein, 2007, S.2

- Innovations-Checkliste
- Idealität
- produktive Kreativität

...bezogen auf wissensbasierte Techniken:

- Widersprüche
- Widerspruchsmatrix
- Separationsprinzipien
- Standardlösungen
- physikalischer Effektkatalog

...bezogen auf analytische Techniken:

- Funktionsmodelle
- WEPOL-Analyse

...bezogen auf Lösungsverfahren:

- ARIZ

TRIZ findet bereits seit einigen Jahren Anwendung innerhalb der F&E-Abteilung der Firma ACC Austria GmbH. Allein schon die Tatsache, dass man sich in mehrtägigen Workshops bewusst mit einigen TRIZ-Techniken beschäftigt, fördert nicht nur die Zusammenarbeit und Kommunikation innerhalb der Abteilung, sondern auch jeder einzelne Workshop-Teilnehmer hat die Möglichkeit, seine eigenen Visionen und Ideen zur Aussprache zu bringen.

### 5.6.2 Anwendung von TRIZ-Werkzeugen

TRIZ-Werkzeuge können in folgenden Schritten des WA-Arbeitsplanes eingesetzt werden:<sup>79</sup>

**Schritt 3.):** Im dritten Schritt werden umfassende Daten über das WA-Objekt gesammelt. Hier können TRIZ-Methoden zur Technologieprognose und -bewertung eingesetzt werden, damit Technologietrends und Potentialbewertungen durchgeführt werden können.

---

<sup>79</sup> Lingohr & Kruschel, 2011, S.39

**Schritt 4.):** In diesem Schritt werden Funktionen, Kosten und Detailziele festgelegt. Bei der WA kommt eine Funktionenanalyse zur Anwendung, die mittels Funktionenbaum oder FAST-Diagramm dargestellt wird. Bei der TRIZ-Funktionenmodellierung wird verstärkt auf die Problemformulierung mittels Widersprüchen eingegangen. Zur Problemformulierung kann ein Einsatz der Innovationscheckliste hilfreich sein. Diese TRIZ-Methodik fand innerhalb der ACC bereits Anwendung und soll in dieser Arbeit neu aufgegriffen werden.

Der Grund für diese Neubewertung der Widersprüche innerhalb dieser Arbeit ist folgender: Es existieren bereits verschiedene Lösungskonzepte zu den einzelnen Widersprüchen, welche zum Befüllen des morphologischen Kastens herangezogen werden können. Außerdem lassen sich die Widersprüche quantifizieren und geben das Einsparungspotential wieder. Das Einsparungspotential und die Anzahl der Widersprüche haben sich aber verändert und sind nicht mehr „up-to-date“, deswegen erfolgte eine Aktualisierung im Sinne einer Neubewertung der Widersprüche.

**Schritt 5.):** Zum Sammeln und Finden von Lösungsideen kommen im fünften Schritt des Arbeitsplanes Methoden wie bspw. Brainstorming, Morphologie, Bionik oder Synektik zur Anwendung. TRIZ kann diese typischen Methoden der WA ideal mit den Werkzeugen „die Gesetze der Evolution technischer Systeme“ und die „Widerspruchsmatrix“ ergänzen.

**Schritt 7.):** Bei der Entwicklung ganzheitlicher Vorschläge im siebten Schritt des Arbeitsplanes, könnte anstelle der Failure mode and effects analysis (FMEA) auch das TRIZ-Werkzeug „Antizipierende Fehlererkennung“ zur Anwendung kommen, sodass Fehler bereits im Vorhinein ermittelt werden.

### 5.6.3 Neubewertung der Widersprüche

Um ein Produkt weiter bzw. neu zu entwickeln (KK2018) wurde bereits im Jahr 2008 die Möglichkeit wahrgenommen, mit Hilfe von Widerspruchsmatrizen Lösungsideen zu generieren. Dies geschah im Rahmen eines TRIZ-Workshops moderiert von dem TRIZ-Experten Darrell Mann. Das Resultat waren in Summe 26 Widersprüche<sup>80</sup>, verteilt auf die Untersysteme des Kompressors.

---

<sup>80</sup> Sorger, 2008, S.81ff

Im Jahr 2010 erfolgte eine Eurobewertung<sup>81</sup> dieser 26 Widersprüche, bei der zuerst das gesamte Einsparungspotential ermittelt und danach dieses Potential auf die Widersprüche verteilt wurde. Berücksichtigt wurde dabei auch die Anzahl der Einflüsse und Auswirkungen der einzelnen Widersprüche auf die anderen Widersprüche.

In Bezug auf die Widersprüche, die Untersysteme und das Einsparungspotential gibt es folgende Änderungen:

1. Die Anzahl der Untersysteme stieg von 8 auf 10 (siehe Abbildung 5.13).
2. Die Anzahl der Widersprüche stieg von 26 auf 37.
3. Das Einsparungspotential veränderte sich aufgrund der Systemkostenanalyse (Kapitel 4).

Daher ist es notwendig, diese Bewertung in Geldeinheiten neu durchzuführen, sodass die Widersprüche und die daraus resultierenden Lösungskonzepte in den morphologischen Kästen mit eingebunden werden können.

## Untersysteme

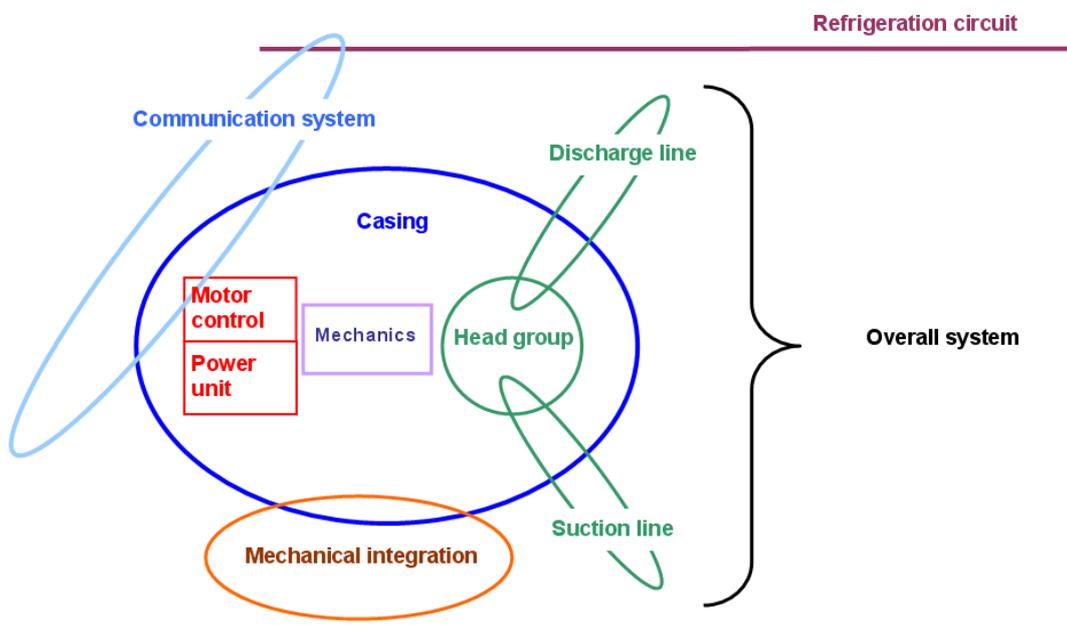


Abbildung 5.13: Untersysteme des Kompressors<sup>82</sup>

<sup>81</sup> Bilek, 2010, S.40ff

<sup>82</sup> ACC, 2013j, S.3

## Widerspruchsliste

Die neu dazugekommenen Widersprüche (WS) und Untersysteme (in blau hervorgehoben) lauten wie folgt:<sup>83</sup>

### Overall System Compressor (Gesamtsystem)

- 1) diversification vs. standardization (one for all)
- 2) high integrated electronics (master) vs. compressor “slave” (low compressor intelligence)

### Casing (Gehäuse)

- 3) small size vs. high heat exchange
- 4) no heat exchange between suction and discharge line vs. low noise
- 5) high heat exchange vs. low noise
- 6) small size vs. low noise

### Mechanical Integration (Mechanische Integration)

- 7) small size vs. high evaporation
- 8) high universality vs. high evaporation
- 9) high universality vs. low noise
- 10) high universality vs. low complexity

### Head Group (Kopfgruppe)

- 11) low suction/discharge work vs. high cost
- 12) selective heat conductivity vs. current material
- 13) self adjusting dead volume vs. current material
- 14) low minimum rpm vs. small size

### Discharge System (Druckstrecke)

- 15) low pulsation vs. small size
- 16) lower starting torque vs. small size
- 17) low temperature vs. big size

### Suction System (Saugstrecke)

- 18) low noise vs. small size
- 19) low pressure loss vs. small size
- 20) low temperature vs. big size

---

<sup>83</sup> ACC, 2013j, S.1f

**Power Unit (Antrieb)**

- 21) speed control vs. low cost
- 22) high efficiency vs. low cost
- 23) high efficiency vs. small size
- 24) low minimum rpm vs. small size

**Motor Control (Steuerung)**

- 25) low cost vs. high functionality
- 26) many interfaces vs. low complexity
- 27) speed control vs. low complexity
- 28) easy approbation vs. high complexity

**Communication System (Kommunikationssystem)**

- 29) low cost vs. high functionality
- 30) low cost vs. low energy consumption
- 31) high market acceptance vs. high standardization
- 32) high standardization vs. high flexibility
- 33) high flexibility vs. low complexity

**Kinematics (Kinematik, früher Hubkolben & Kurbelwelle genannt)**

- 34) insulate temperature vs. conduct temperature
- 35) large range of rpm vs. low costs
- 36) low friction vs. low costs
- 37) low friction vs. big tolerances

Die englische Erklärung der einzelnen Widersprüche ist im Anhang A einsehbar.

**Vorgehensweise bei der Bewertung in Geldeinheiten****1.Schritt: Erhebung des Einsparungspotentials**

In der Arbeit von Bilek ergab sich ein Einsparungspotential von €26,6<sup>84</sup>, welches auf die 26 Widersprüche verteilt wurde. Das Einsparungspotential ergibt sich aus der Differenz der Systemkosten des RPM-Delta Kompressors und des Kompressors im Jahre 2018. Berücksichtigt wurden bei den Systemkosten die DM, Losses, Lärm, Bauraum und Zusatzfunktionen, da dies die Kostenstellen sind, welche von den Widersprüchen beeinflusst werden. In der Tabelle 5.1 ist

---

<sup>84</sup> Bilek, 2010, S.47

das aktuelle Einsparungspotential, die Grundlage für die Neubewertung der Widersprüche, ersichtlich.

	RPM-Delta [€]	KK2018 [€]	Einsparungspotential [€]
DM	28,49	17,9	10,59
Losses	20,81	14,06	6,75
Bauraum	0,57	0	0,57
Lärm	1,8	0,6	1,2
ZF	0,8	0	0,8
Summe	58,36	32,56	19,91

**Tabelle 5.1:** Ermittlung des gesamten Einsparungspotentials<sup>85</sup>

Da die Widersprüche in Untersysteme eingeteilt sind, werden auch die DM auf die Untersysteme (Tabelle 5.2 und Tabelle 5.3) verteilt, damit die Aufteilung auf die einzelnen Widersprüche leichter umsetzbar ist.

	RPM-Delta [€]	KK2018 [€]	Einsparungspotential [€]	Untersysteme
Kinematik	2,59	1,2	1,39	Kinematics
Gaslinie	1,69	1,2	0,49	Suction-, Discharge Line & Head Group
Externe Komponenten	3,65	2	1,65	Casing & Mech. Integration
Motor	5,56	3,5	2,06	Power Unit
Steuerung & Kommunikation	15	10	5	Motor Control & Communication System
Summe	28,49	17,9	10,59	

**Tabelle 5.2:** Verteilung des Einsparungspotentials DM

<sup>85</sup> siehe Kapitel 4.4

	RPM-Delta [€]	KK2018 [€]	Einsparungs- potential [€]	Untersysteme
Druckstrecke	0,755	0,5	0,255	Discharge System
Saugstrecke	0,36	0,3	0,06	Suction System
Kopfgruppe	0,576	0,4	0,176	Head Group
Summe	1,69	1,2	0,49	

**Tabelle 5.3:** Verteilung des Einsparungspotentials Gaslinie

Das Einsparungspotential für Motor Control & Communication System mit €5 ergibt sich aufgrund des Mittelwertes von €10 für die Steuerung & Kommunikation des KK2018. Wie aus der Tabelle 3.5 ersichtlich beträgt die Spannweite für die Steuerung & Kommunikation €8 bis €12. Unter der Annahme, dass durch das Lösen der Widersprüche das untere Limit erreicht werden kann, ergibt sich ein **verändertes Einsparungspotential von €7 für die Steuerung & Kommunikation**. Dies ist der Grund, warum in der Widerspruchsbewertung anstelle von €5 mit €7 gerechnet wurde.

## 2. Schritt: Verteilung des Einsparungspotentials auf die Widersprüche

Das Einsparungspotential der DM wurde auf die einzelnen Untersysteme verteilt. Das gleiche Prinzip wurde auch auf die anderen Kostenstellen (Losses, Lärm, Bauraum und Zusatzfunktionen) angewandt. Somit ergibt sich folgende Neuverteilung des gesamten Einsparungspotentials der Widersprüche:

Widerspruchspotential in EUR								
WS	COP	COP Sub-system	Lärm	Bauraum	ZF	DM	DM - Untersystem	Summe
1	0	0	0	0	0,4	0	0	<b>0,40</b>
2	0		0	0	0,4	0		<b>0,40</b>
3	0	0,589519651	0	0	0	0	1,65	<b>0,00</b>
4	0,295		0,4	0	0	0,1		<b>0,79</b>
5	0,295		0,2	0	0	0,13		<b>0,62</b>
6	0		0,2	0	0	1		<b>1,20</b>
7	0	0	0	0	0	0	0,176	<b>0,00</b>
8	0		0	0	0	0,22		<b>0,22</b>
9	0		0	0	0	0,1		<b>0,10</b>
10	0		0	0	0	0,1		<b>0,10</b>
11	0,141	0,265283843	0	0	0	0	0,255	<b>0,14</b>
12	0,071		0	0	0	0,12		<b>0,19</b>
13	0,053		0	0	0	0		<b>0,05</b>
14	0		0	0	0	0,056		<b>0,06</b>
15	0,206	0,589519651	0,2	0,09	0	0,09	0,060	<b>0,59</b>
16	0		0	0,06	0	0,085		<b>0,15</b>
17	0,383		0	0	0	0,08		<b>0,46</b>
18	0	1,179039301	0,2	0,072	0	0,02	2,06	<b>0,29</b>
19	0,825		0	0,063	0	0,02		<b>0,91</b>
20	0,354		0	0,072	0	0,02		<b>0,45</b>
21	0	1,473799127	0	0	0	0,7	2,06	<b>0,70</b>
22	0,737		0	0	0	0		<b>0,74</b>
23	0,737		0	0,18	0	0		<b>0,92</b>
24	0		0	0,033	0	1,36		<b>1,39</b>

Abbildung 5.14: Ausschnitt der Widerspruchsbewertung

### 3. Schritt: Einflussfaktoren

Bei der Eurobewertung von Bilek wurden auch die Einflüsse und Auswirkung berücksichtigt und dazu so genannte Korrekturfaktoren ermittelt. Unter Einflüsse wird verstanden, von welchen Widerständen der eine Widerstand beeinflusst wird. Unter Auswirkungen wird verstanden, auf welche Widerstände der eine Widerstand eine direkte Auswirkung hat. Da die Auswirkungen stärker zu berücksichtigen sind als die Einflüsse wurde festgelegt, dass der Korrekturfaktor der Auswirkungen drei Mal so stark ist. Die Korrekturfaktoren wurden nach Expertenbefragungen auf 0,025 für einen Einfluss und auf 0,075 für eine Auswirkung gesetzt.<sup>86</sup>

<sup>86</sup> Bilek, 2010, S.68

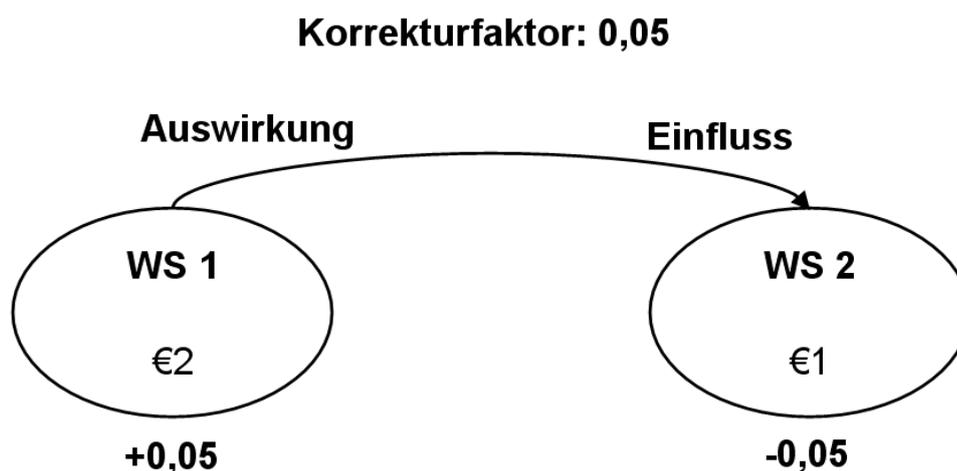
### Kritische Hinterfragung dieses Ansatzes

Besitzt also ein Widerspruch ein Einsparungspotential von bspw. €2 und weist 3 Einflüsse und 4 Auswirkungen auf, dann errechnet sich das Einsparungspotential wie folgt:

$$2 + 3 \cdot 0,025 + 4 \cdot 0,075 = \mathbf{€2,375}$$

Demnach vergrößert sich das Einsparungspotential von jedem Widerspruch, sobald er einen Einfluss oder eine Auswirkung auf einen anderen Widerspruch hat. Somit vergrößert sich das ursprünglich ermittelte gesamte Einsparungspotential und stimmt nicht mehr mit der Aussage überein, dass „das gesamte Einsparungspotential der Rahmen ist, in den die WS eingepasst werden müssen“<sup>87</sup>.

Damit das Einsparungspotential in Summe nicht verändert wird, wäre ein Ansatz, welcher zwar die Einflüsse und Auswirkungen berücksichtigt, aber das gesamte Einsparungspotential nicht verändert, besser geeignet. Dies führte zur Überlegung, dass die Auswirkung die ein WS auf einen anderen hat, addiert wird und der gleiche Betrag beim beeinflussten WS subtrahiert wird. Zum besseren Verständnis soll die Abbildung 5.15 dienen, bei der ein Korrekturfaktor von 0,05 als Beispielwert dient.



**Abbildung 5.15:** Berücksichtigung der Auswirkungen und Einflüsse

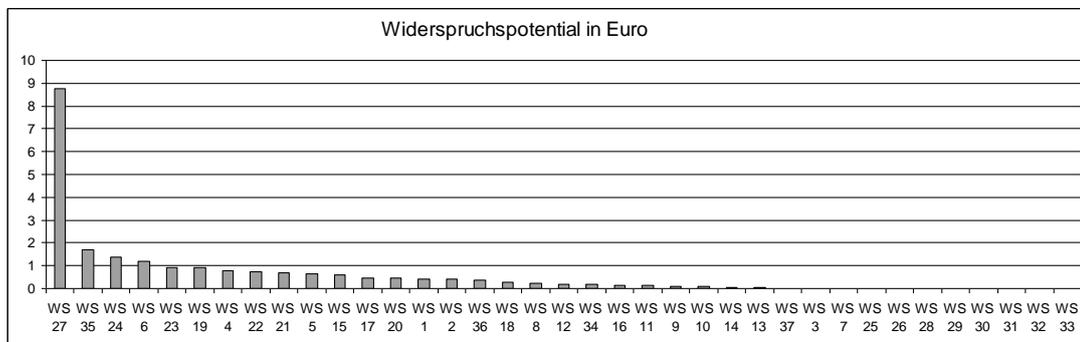
<sup>87</sup> Bilek, 2010, S.47

Somit gewinnt ein WS an Wert, wenn er mehr Auswirkungen als Einflüsse besitzt und umgekehrt verliert ein WS an Wert, wenn er mehr Einflüsse als Auswirkungen hat. Das Einsparungspotential der einzelnen WS ist somit in sich veränderbar, aber das gesamte Einsparungspotential bleibt unverändert.

Damit der Korrekturfaktor berücksichtigt werden kann, muss zuerst festgestellt werden, wie hoch die Anzahl der Einflüsse und Auswirkungen der verschiedenen WS sind. Um dies feststellen zu können, werden die WS in Form eines Netzplanes dargestellt, um ihre Zusammenhänge sichtbar zu machen. Die neuen WS fanden diesbezüglich noch keine Integration in dem vom Jahr 2010 erarbeiteten Netzplan<sup>88</sup>. Dies könnte eventuell in einer weiteren Arbeit umgesetzt werden, weswegen der neue Ansatz hier nur als Anregung dienen sollte aber keine Berücksichtigung findet.

### Grafische Darstellung der Widerspruchsbewertung

Die im 2. Schritt erarbeitete neue Widerspruchsbewertung wird in Abbildung 5.16 grafisch dargestellt, ohne Berücksichtigung eines Korrekturfaktors.



**Abbildung 5.16:** Bewertung der Widersprüche in Geldeinheiten

Aus dieser Abbildung geht hervor, dass der WS 27 (früher der WS 14) zwar immer noch den anderen WS überlegen, aber nicht mehr so stark ausgeprägt ist. Das ist damit zu begründen, weil das Einsparungspotentials der DM für das Untersystem Motor Control, in der sich dieser WS befindet, deutlich geringer geworden ist und dadurch das verfügbare Potential fast halbiert wurde. Dennoch liefert dieser WS27 „*speed control vs. low complexity*“ mit 40% (siehe Abbildung 5.17) des gesamten Einsparungspotentials das größte Potential und stellt

<sup>88</sup> Bilek, 2010, S.53

zugleich die größte Herausforderung dar wenn es darum geht, die Drehzahlregelung so kompakt und einfach als möglich zu gestalten, sodass die Komplexität und somit die Kosten gesenkt werden können.

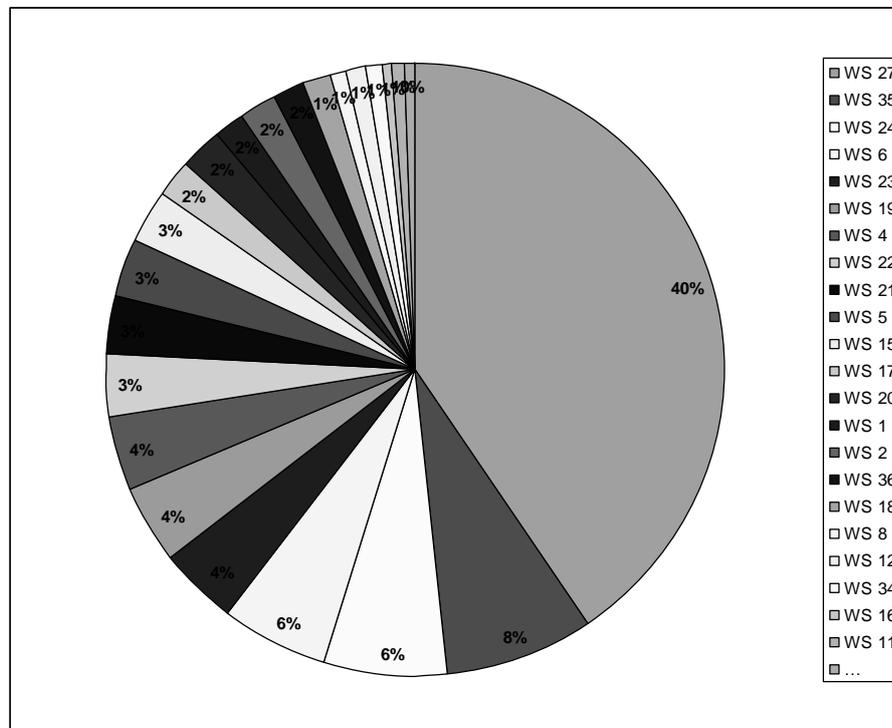


Abbildung 5.17: Prozentuale Darstellung der Widerspruchsbewertung

## 5.7 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde zunächst näher auf den theoretischen Hintergrund der WA eingegangen und der Ursprung, Entwicklung und die bestimmenden Begriffe erläutert. Da die Funktionenanalyse ein wichtiger Bestandteil der WA und dieser Arbeit ist, wird auch dieser wertanalytischer Ansatz genauer durchleuchtet und die Funktionenarten und die Darstellungsmöglichkeiten einer Funktionenanalyse beschrieben. Danach erfolgt die praktische Anwendung der Funktionenanalyse auf die verschiedenen Untersysteme eines Kompressors. Die Vorgehensweise, Durchführung und Darstellung der Funktionenanalysen sind in diesem Kapitel ersichtlich.

Die Durchführung der Funktionenanalysen fand innerhalb der F&E-Abteilung durchaus positive Zustimmung. Am Anfang war es noch nicht einfach die

Zweiwortidentifikation (Hauptwort und Verb) einzuhalten, aber mit Fortdauer des Workshops zur Erstellung einer Funktionenanalyse funktionierte es immer besser in Funktionen zu denken.

Abschließend wurde in diesem Kapitel die Widerspruchsbewertung auf Basis der Systemkostenanalyse durchgeführt.

## 6 Morphologischer Kasten

Der Begriff „Morphologie“ stammt ursprünglich aus der griechischen Sprache und bedeutet übersetzt: *„Lehre der Gestaltung, Strukturierung, Formung“*. Als Morphologie wird jedes bestimmte Verfahren bezeichnet, das zur Herstellung der Ordnung dient, daher wird auch oft von der *„Lehre vom geordneten Denken“* gesprochen.<sup>89</sup>

Der morphologische Kasten ist eine Kreativitätstechnik, mit welcher ein betrachtetes Problem als Ganzes in Teilprobleme zerlegt wird. Für jedes Teilproblem werden Lösungsvorschläge gesucht. Durch Kombination der problemspezifischen Teillösungen soll das Gesamtproblem gelöst werden.<sup>90</sup> Somit eignet sich der morphologische Kasten hervorragend für die Darstellung von Ideen bzw. Lösungskonzepten, um neue und eventuell innovative Gesamtlösungen zu finden und dadurch Wettbewerbsvorteile zu erlangen.

Diese Kreativitätstechnik gehört zu den systematisch-analytischen Methoden zur Ideenfindung und wurde vom Schweizer Astrophysiker Fritz Zwicky (1898 – 1974) entwickelt. Er wandte die Morphologie systematisch an und entwickelte sie weiter.<sup>91</sup>

Da die systematisch-analytischen Methoden zur Ideenfindung auch andere Kreativitätstechniken als den morphologischen Kasten beinhalten, werden diese kurz vorgestellt und erläutert.

### 6.1 Systematisch-analytische Methoden

Die Besonderheiten dieser systematisch-analytischen Methoden ist die *systematische Ausrichtung des Denkprozesses* sowie die systematische Kombination von Lösungen. Daher wird der Fokus auf die *Spezifizierung, Formulierung und Strukturierung* eines Problems gelegt.<sup>92</sup>

---

<sup>89</sup> Backerra et al., 2007, S.75

<sup>90</sup> Schawel & Billing, 2012, S.174

<sup>91</sup> Wiegand, 2004, S.447

<sup>92</sup> Gundlach & Nähler, 2006, S.245f

### 6.1.1 Morphologische Matrix

Die morphologische Matrix ähnelt dem morphologischen Kasten sehr stark und unterscheidet sich durch die Anzahl der Parameter (zwei bis drei). Damit eignet sie sich gut für die Auswahl der optimalen Kombination zweier Parameter. Die morphologische Matrix ist sehr problemlösungsorientiert, da jedes Element der Matrix eine Kombination der Ausprägungen entspricht. Der Aufbau ist meistens 2-dimensional, kann aber auch 3-dimensional sein, dann spricht man von einem morphologischen Würfel.<sup>93</sup>

### 6.1.2 Attribute-Listing

Attribute-Listing wurde auch von Fritz Zwicky im Jahr 1971 entwickelt und ist ein ähnliches Verfahren wie der morphologische Kasten. Auch hier ist das Grundprinzip die Zerlegung eines Problems in seine Bestandteile.<sup>94</sup> Der Unterschied besteht in der Anwendung, denn diese Methode wird meistens dann verwendet, wenn ein bereits vorhandenes Produkt oder Verfahren verbessert bzw. weiterentwickelt werden soll.<sup>95</sup> Somit ist diese Methode gut geeignet für die Verlängerung von Produktlebenszyklen.

Die Vorgehensweise läuft in der Regel folgendermaßen ab:<sup>96</sup>

- das Produkt, Verfahren oder die Leistung wird in seine Merkmale zerlegt.
- die derzeitige Ausführung der Merkmale wird beschrieben (Ist-Zustand).
- alternative Variationsmöglichkeiten der Merkmale werden gesucht.
- interessante Variationen werden ausgewählt und realisiert.

### 6.1.3 Mind-Mapping

Tony Buzan entwickelte die Mind-Mapping Methode mit dem Ziel, *ein gehirngerechtes Denkwerkzeug* zu kreieren. Bei seiner intensiven Studie über das Denken in der Antike und der Renaissance erkannte Buzan, dass das Denksystem auf Fantasie und Assoziationen beruht.<sup>97</sup>

---

<sup>93</sup> Holzbauer, 2007, S.73

<sup>94</sup> Kollmann, 2011, S.129

<sup>95</sup> Schlick, 1995, S.125

<sup>96</sup> Kollmann, 2011, S.129

<sup>97</sup> Müller, 2008, S.14

Informationen über ein Problem bzw. eine Lösung oder Konzept werden bei dieser Technik nicht in Form von Fließtext dargestellt sondern als Bildnis, das meistens freihändig gezeichnet wird und der Kreativität bei der Gestaltung keine Grenzen setzt. Durch diese bildhafte Darstellung eines Problems werden beide Gehirnhälften angesprochen und verankert so das Problem besonders stark im Gedächtnis. Angewendet wird diese Methode in der frühen Ideenfindungsphase und kann aufgrund der Einfachheit in vielen Bereichen eingesetzt werden.<sup>98</sup>

#### 6.1.4 Clustering

Bei dieser kreativen Methode werden Assoziationsketten, ausgehend von einem Kernwort, gebildet. Dadurch bekommt man einen guten Überblick darüber, wie die einzelnen Gedanken miteinander verbunden sind. Entwickelt wurde diese Methodik von Gabrielle Lusser Rico (1937 - 2013) und war Basis für die Mind-Mapping Methode. Zur Anwendung kommt das Clustering vor allem dann, wenn ein bereits vorhandenes Gedankengut neu verknüpft werden soll um daraus neue Ideen zu generieren.<sup>99</sup>

#### 6.1.5 Progressive Abstraktion

Die Progressive Abstraktion zielt darauf ab, die ursprünglich formulierte Problemstellung, auf das eigentliche Kernproblem zurück zu führen. Dies geschieht in der Regel durch mehrere Abstraktionsstufen, in der eine definierte Fragetechnik zur Anwendung kommt:<sup>100</sup>

- 1.) Zuerst werden Lösungen für das Problem in der Ausgangsformulierung gesucht
- 2.) Danach hinterfragt man diese Lösungen mit der Frage: „*Worauf kommt es eigentlich an?*“
- 3.) Der nächste Schritt ist die Beantwortung der Frage mit: „*Es kommt darauf an, dass...*“
- 4.) Aufgrund der Antworten wird das Problem neu definiert

Danach erfolgt die zweite Abstraktionsstufe mit der gleichen Fragetechnik, bis das Kernproblem und neue Lösungsansätze dazu gefunden wurden. Dadurch wird der

---

<sup>98</sup> Kniess, 2006, S.76

<sup>99</sup> Disselkamp, 2012, S.158f

<sup>100</sup> Schlick, 1995, S.131

zu enge Betrachtungswinkel am Anfang erweitert. Demnach wird diese Methode dann verwendet, wenn das Problem noch sehr unklar ist und die Lösungen noch nicht klar ersichtlich sind.

### **6.1.6 KJ-Methode**

Die Buchstaben „KJ“ beziehen sich auf den japanischen Professor „Kawakita Jiro“, der diese Methodik entwickelt hat. Diese Methode dient zur analytischen Durchdringung komplexer Probleme und findet Anwendung u.a. bei der Lösung technischer Probleme, beim Entwurf neuer Konzepte oder bei der Formulierung von wissenschaftlichen Hypothesen. Die Vorgehensweise beginnt zuerst damit, möglichst viele Informationen zum Problem auf Kärtchen zu schreiben. Danach platziert man alle Kärtchen auf einer freien Fläche und gruppiert sie nach der Ähnlichkeit der Informationen. Aus z.B. 200 Kärtchen mit je einer Information entstehen danach z.B. 30 Kärtchenstapel. Danach formuliert man einen Oberbegriff für jeden Stapel, welcher den Inhalt der darunter liegenden Informationskärtchen am besten beschreibt. Dieser Vorgang wiederholt sich erneut mit den Stapeln. Das Resultat ist dann eine überschaubare Zahl an Stapel mit wiederum neu formulierten Oberbegriffen. Als nächstes werden Beziehungen und Abhängigkeiten zwischen den restlich verbliebenen Stapel gesucht. Basierend auf den gefundenen Beziehungen zwischen zwei Stapel greift man nun auf die Einzelkärtchen der zwei Stapel zurück. Auf diese Art und Weise können neue Erkenntnisse und Lösungsideen gewonnen werden.<sup>101</sup>

### **6.1.7 Problemlösungsbaum**

Der Problemlösungsbaum ist eine stufenweise, grafische Darstellung aller möglichen Alternativen zu einem Problem. Die Gestalt ähnelt, wie der Name schon erahnen lässt, einer Baumstruktur mit mehreren Ästen, die analog für die unterschiedlichen Alternativen stehen. Um so einen Problemlösungsbaum erstellen zu können, ist eine gewisse fachliche Kompetenz erforderlich. Deswegen ist es sinnvoll, diese Methode von einer fachlich qualifizierten Person oder einer fachlich qualifizierten Kleingruppe von 2 bis 3 Teilnehmern durchführen zu lassen. Ein Problemlösungsbaum ist gut mit Bewertungsverfahren kombinierbar, indem die unterschiedlichen Verzweigungen mit Parametern (z.B.: Wirtschaftlichkeit, Aufwand, Realisierungszeit, technische Durchführbarkeit,

---

<sup>101</sup> Schröder, 2005, S.239f

Bedarf, etc.) bewertet werden. Die Anwendung kann sehr vielseitig sein, jedoch sollte auf die Anzahl der Gliederungsstufen geachtet werden, damit es nicht zu unüberschaubar wird.<sup>102</sup>

## **6.2 Vorgehensweise zur Erstellung eines morphologischen Kastens**

Grundsätzlich gibt es 5 Schritte zur Erstellung eines Morphologischen Kastens:<sup>103</sup>

### **Erster Schritt: Analyse und Definition des Problems**

Hier erfolgt die genaue Beschreibung und Definition des Problems bzw. eine zweckmäßige Verallgemeinerung des Problems, falls nötig. Das ist ein sehr wichtiger Punkt, um eine Basis zu schaffen, damit alle am morphologischen Kasten beteiligten Personen die gleiche Ausgangssituation haben.

### **Zweiter Schritt: Bestimmung der Parameter**

Das Finden der bestimmenden Parameter (Merkmale, Teilfunktionen) ist wohl der schwierigste Schritt bei der Erstellung, daher sollten die folgenden Punkte unbedingt eingehalten werden.

Die Parameter sollten:<sup>104</sup>

- unabhängig voneinander sein, ansonsten kann die Kombination der Ausprägungen zu widersinnigen Ergebnissen führen.
- für alle Lösungsideen gelten, sodass keine Lösungsidee ausgeschlossen wird.
- wesentlich bzw. bestimmend sein, damit nicht nebensächliche Parameter die Anzahl unnötig erhöhen.
- vollständig sein, um die Totalität der Gesamtlösung zu gewährleisten.

Um diese Parameter leichter zu finden, gibt es hilfreiche Fragestellungen wie bspw.:<sup>105</sup>

---

<sup>102</sup> Schlick, 1995, S.128f

<sup>103</sup> Backerra et al., 2007, S.76

<sup>104</sup> Rau, 2004, S.23f

<sup>105</sup> Wastian et al., 2011, S.277

- Worin können sich Lösungen unterscheiden (Merkmale, Eigenschaften, Komponenten, Material, Energieverbrauch usw.)?
- Welche Lösungsvarianten lassen unterschiedliche Gestaltungen zu?

Des Weiteren kann eine zuvor gemachte Funktionenanalyse (siehe Kapitel 5.5) sehr hilfreich sein, um die bestimmenden Parameter bzw. Teilfunktionen leichter zu identifizieren. Die Anzahl der Parameter sollte überschaubar bleiben, um die Übersichtlichkeit nicht zu verlieren. Daher sind maximal bis zu zehn Parameter die Regel.<sup>106</sup>

Konnten die bestimmenden Parameter definiert werden, werden diese links untereinander in die Tabelle geschrieben.

### Dritter Schritt: Bestimmung der möglichen Ausprägungen

Hat man die geeigneten Parameter definiert lautet der nächste Schritt alle Ausprägungen, die theoretisch und praktisch möglich sind, zu finden. Diese werden dann rechts neben dem entsprechenden Parameter eingetragen. Um den Überblick nicht zu verlieren kann es sinnvoll sein, bei einer großen Anzahl an Ausprägungen diese in Teilmatrizen zu zerlegen.<sup>107</sup>

Wurden zu jedem Parameter mindestens zwei oder mehr Ausprägungen gefunden, kann somit das Grundgerüst des morphologischen Kastens schemenhaft in der Abbildung 6.1 dargestellt werden.

Parameter	Ausprägungen			
	1	2	3	4
P 1				
P 2				
P 3				
P 4				
P 5				
P 6				
P 7				

**Abbildung 6.1:** Grundgerüst des Morphologischen Kastens

<sup>106</sup> Wiegand, 2004, S.450-454

<sup>107</sup> Koch, 2011, S.226

Hierzu gibt es auch eine Reihe von Kreativitätsmethoden, die zur Anwendung kommen können, wie z.B. Brainstorming oder die Methode-635. Die 635-Methode kann bei der Suche nach geeigneten Ausprägungen sehr hilfreich sein, weswegen sie näher erläutert wird.

### **635-Methode**

Diese bekannteste Brainwriting Methode, welche als eigenständige Kreativitätstechnik gehandhabt wird, wurde von B. Rohrbach entwickelt. Die Bedeutung der Zahlenkombination 6-3-5 ist:<sup>108</sup>

- 6 Teilnehmer schreiben je
- 3 Lösungsvorschläge nieder, und geben diese
- 5 mal im Uhrzeigersinn weiter

Legt man eine Zeitdauer von 5 Minuten pro Zyklus fest, lassen sich somit in 30 Minuten viele interessante Entwicklungen von Ideen realisieren. Dabei wird folgende Vorgehensweise angestrebt:

Jeder Teilnehmer hat 5 Minuten Zeit, um sich 3 Ideen einfallen zu lassen. Danach wandern alle 5 Minuten diese 3 Ideen von Teilnehmer zu Teilnehmer reihum weiter. Jeder Teilnehmer hat wiederum 5 Minuten Zeit die Ideen der anderen Teilnehmer weiter zu spinnen und eigene Gedanken mit einzubringen. Hat Teilnehmer 1 wieder seine eigenen 3 Ideen vor sich liegen, ist diese Methode abgeschlossen und danach erfolgt die Auswertung. In Abbildung 6.2 ist das Prinzip dieser Methode dargestellt.<sup>109</sup>

---

<sup>108</sup> Schlick, 1995, S.112

<sup>109</sup> Schlick, 1995, S.113

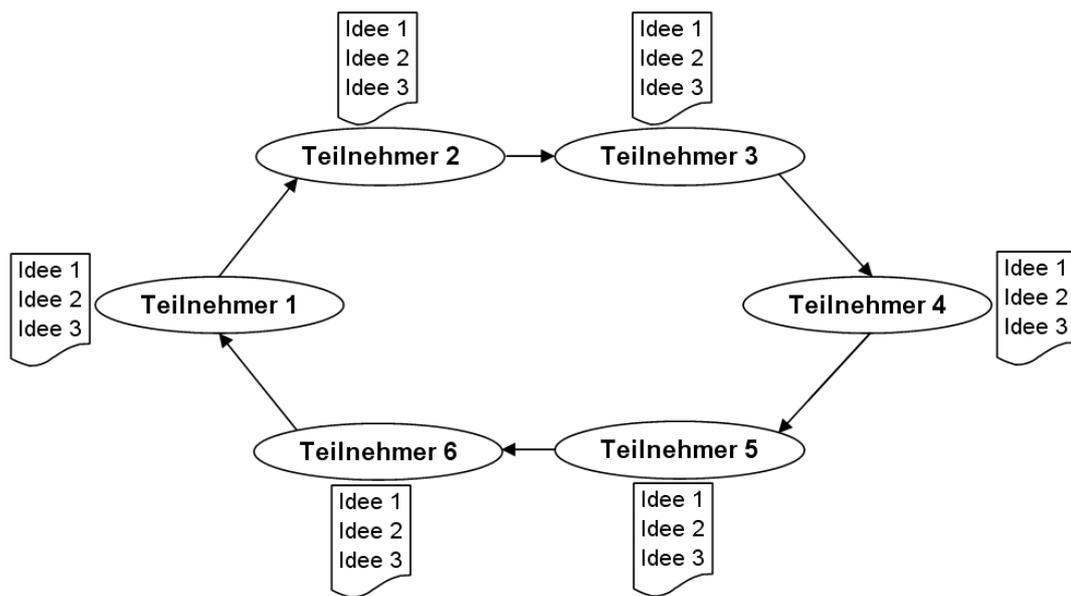


Abbildung 6.2: 635-Methode<sup>110</sup>

#### Vierter Schritt: Kombination der Ausprägungen

In diesem Schritt wird von jedem Parameter eine Ausprägung gewählt, wodurch eine Kombination der Ausprägungen zu Stande kommt. Mehr Informationen zu diesem Schritt befinden sich im siebten Kapitel.

#### Fünfter Schritt: Das Herausfinden von geeigneten Lösungsvarianten

Zuletzt wird die große Anzahl an Kombinationen systematisch hinsichtlich ihrer technischen und wirtschaftlichen Realisierbarkeit analysiert, sodass sich eine überschaubare Anzahl an geeigneten Lösungsvarianten ergibt, die anschließend bewertet werden. Mehr zu diesem Thema gibt es im 7. Kapitel.

### 6.3 Wichtige Anwendungshinweise

Wird der morphologische Kasten bei einem komplexen Problem angewandt, ist eine Gruppenarbeit vorteilhaft, damit vielseitige Lösungen kreiert werden. Bei der Bestimmung der möglichen Ausprägungen (Lösungsprinzipien) können auch

<sup>110</sup> Vgl. Schlick, 1995, S.113

Personen teilnehmen, welche die übergeordnete Aufgabenstellung nicht kennen und somit unvoreingenommen nach Ausprägungen suchen.<sup>111</sup>

Auf der Suche nach Ausprägungen ist eine vorzeitige Bewertung und Kritik zu vermeiden, da auch nicht optimale Ausprägungen durch die Kombination mit den anderen Ausprägungen zu hervorragenden Gesamtlösungen führen kann.<sup>112</sup>

Es sei nochmals erwähnt, dass der morphologische Kasten vor allem übersichtlich sein muss, daher sollte er das Wesentliche beinhalten und nicht darüber hinausragen. Die maximale Anzahl an Parameter (zehn) und Ausprägungen (ebenfalls zehn, aber besser deutlich weniger) sollte daher eingehalten werden. Des Weiteren sollten Zeilen für zusätzliche Parameter und Felder für zusätzliche Ausprägungen offen gehalten werden, um der Kreativität freie Flächen zu bieten.<sup>113</sup>

### **Vor- und Nachteile des morphologischen Kastens:<sup>114 115</sup>**

- ➊ Komplexe Probleme können gut behandelt und Lösungen ermittelt werden.
- ➋ Nicht offensichtliche Lösungsvarianten können gefunden werden.
- ➌ Durch die systematische Zerlegung des Gesamtproblems wird die Erkennung der Problemstruktur gefördert.
- ➍ Mängel der bisherigen Lösungen werden rasch erkannt.
- ➎ Für Personen gut geeignet, welche es gewohnt sind, technisch und analytisch zu denken.
- ➏ Automatische Dokumentation der Ergebnisse.
  
- ➐ Der Schwierigkeitsgrad ist relativ hoch, dadurch sollten Experten für die Erstellung des morphologischen Kastens beauftragt werden.

---

<sup>111</sup> Koch, 2011, S.227

<sup>112</sup> Backerra et al., 2007, S.78

<sup>113</sup> Wiegand, 2004, S.455f

<sup>114</sup> Backerra et al., 2007, S.75f

<sup>115</sup> Koch, 2011, S.227

- ⤿ Die hohe Anzahl an Kombinationsmöglichkeiten kann abschreckend wirken und den Aufwand für die spätere Bewertung erhöhen.
- ⤿ Bei der Erstellung innerhalb einer Gruppe sind hohe Anforderungen an den Moderator gefragt.

## 6.4 Morphologischer Kasten bei ACC

Bisweilen wurde diese Kreativitätsmethode bei ACC noch nicht in Betracht gezogen. Durch die Anwendung dieser Methode erhofft man sich neue Erkenntnisse hinsichtlich des Projektes KK2018. Dieser morphologische Kasten soll bei der Entscheidungsfindung zur Auswahl der Kompressorkomponenten dienen.

Aufbauend auf die Funktionenanalysen im fünften Kapitel sollen nun die bestimmenden Teilfunktionen für den morphologischen Kasten der einzelnen Untersysteme abgeleitet werden. Als Parameter wurde der Begriff „Teilfunktionen“ und als Ausprägungen der Begriff „Lösungsprinzipien“ gewählt. Des Weiteren gibt es eine Untergliederung der Lösungsprinzipien in „aktuell“ und „alternativ“. Dadurch soll auf den ersten Blick ersichtlich gemacht werden, was derzeit verwendet wird und welche Möglichkeiten es diesbezüglich noch gibt.

In den nächsten Seiten sind die Ergebnisse und Darstellungen des morphologischen Kastens ersichtlich. In Summe wurden sechs morphologische Kästen erstellt, wobei nur auf das Untersystem „Casing“ näher eingegangen wird. Damit die Übersichtlichkeit dieser Arbeit erhalten bleibt, sind die restlichen morphologischen Kästen im Anhang B ersichtlich.

### „Casing“

Für das Untersystem „Casing“ wurden in Summe 9 Haupt- und 37 Nebenfunktionen gefunden. Nach Rücksprache mit dem Casing-Gruppenleiter wurden die Funktionen nach ihrer Wichtigkeit beurteilt. Das Ergebnis (siehe Abbildung 6.3) war eine überschaubare Anzahl von 9 Teilfunktionen.

Alle weiteren morphologischen Kästen der jeweiligen Untersysteme wurden nach dem gleichen Prinzip, unter Rücksprache mit dem jeweiligen Gruppenverantwortlichen, erstellt.

Casing				
Teilfunktionen (Parameter)	Lösungsprinzipien (Ausprägungen)			
	aktuell	alternativen		
Gasaustausch verhindern				
NVH dämpfen (Suspension)				
Gasführung ermöglichen				
Wärme austauschen				
geeignetes Material wählen				
Kondenswasser beseitigen				
Compartment anbinden				
Gehäuseausprägungen wählen				
Pumpe positionieren				

Abbildung 6.3: Morphologischer Kasten für das Untersystem „Casing“

### Gasaustausch verhindern

Der Kompressor für Haushaltskühlgeräte muss ein hermetisch, geschlossenes System darstellen, damit der Gasaustausch mit der Umgebung verhindert wird (siehe Kapitel 3.2.2). Dies ist eine absolute MUSS-Funktion, damit ein Kompressor für die Anwendung in Frage kommt.

### **NVH dämpfen (Suspension)**

Damit die immer höheren Kundenwünsche an den Geräuschpegel erfüllt werden, muss der Kompressor möglichst Vibrations- und Geräuscharm arbeiten. NVH (engl. Noise Vibration Harshness) sollte daher möglichst klein gehalten werden.

### **Gasführung ermöglichen**

Das Gas fließt in einem zirkulierenden System in das Gehäuse ein und aus. Damit dies ermöglicht wird, müssen Kontaktstellen für den Ein- und Ausgang (Suction Tube und Discharge Tube), sowie für den Service (Service Tube) bereitgestellt werden. Diese Anbindungsstellen müssen ebenfalls den Gasaustausch mit der Umgebung verhindern.

### **Wärme austauschen**

Nach dem Verdampfen tritt das Gas in den Kompressor ein. Diese Wärme die das Gas besitzt, sollte über die Leitungen und das Gehäuse mit der Umgebung ausgetauscht werden, damit das Gas nicht mit zu hoher Temperatur angesaugt wird.

### **Geeignetes Material wählen**

Es gibt bestimmte Anforderungen, welche das Material erfüllen muss. Dazu gibt es verschiedene Auswahlmöglichkeiten.

### **Kondenswasser beseitigen**

Innerhalb des Kühlkreislaufes entsteht Kondenswasser, dass in irgendeiner Form gesammelt und verdunstet wird.

### **Compartment anbinden**

Diese Funktion beschreibt die Anbindung des Kompressors an den Kühlschranks, bei der es unterschiedliche Anschlussmöglichkeiten gibt.

### **Gehäuseausprägungen wählen**

Hier gibt es verschiedene Möglichkeiten. Bspw. wird das Gehäuse rechteckig oder oval ausgeführt, wobei die weiteren Komponenten (Muffler) entweder im oder außen am Gehäuse angebracht werden können.

### **Pumpe positionieren**

Auch hier stehen verschiedene Möglichkeiten zur Auswahl.

## **7 Anleitung zur Erstellung von Lösungsvarianten**

Die Anleitung zur Erstellung von Lösungsvarianten soll später dazu dienen, die Kombination von Lösungsprinzipien, das Finden von geeigneten Lösungsvarianten und die anschließende Bewertung der Lösungsvarianten zu erleichtern. Diese Anleitung lehnt sich sehr stark an die in der Literatur vorkommende Methodik an. Zu Beginn der Anleitung werden zunächst noch die Rahmenbedingungen für die Lösungsprinzipien genauer festgelegt.

### **7.1 Richtlinien für Lösungsprinzipien**

Zu Beginn werden zunächst viele Ideen gesammelt, welche als Lösungsprinzipien einer Teilfunktion herangezogen werden können. Damit ein Lösungsprinzip als solches in den morphologischen Kasten aufgenommen wird, gelten bestimmte Richtlinien.

#### **Realisierbarkeit**

Da der morphologische Kasten Teil des Gesamtprojektes KK2018 ist, welches an einen definierten Zeitplan gebunden ist, sollte daher die technische und wirtschaftliche Realisierbarkeit innerhalb der nächsten vier Jahre möglich sein. Somit wird gewährleistet, dass spätere Lösungsvarianten, welche sich aus den einzelnen Lösungsprinzipien zusammensetzen, keine Ideen beinhalten, bei denen die Realisierbarkeit außerhalb des Zeitplans liegen.

#### **Quantifizierbarkeit**

Damit die Lösungsvarianten später durch quantifizierbare Kriterien bewertet werden können ist es sinnvoll, dass die einzelnen Lösungsprinzipien quantifizierbar sind. Eine grobe Kostenabschätzung sollte zumindest möglich sein.

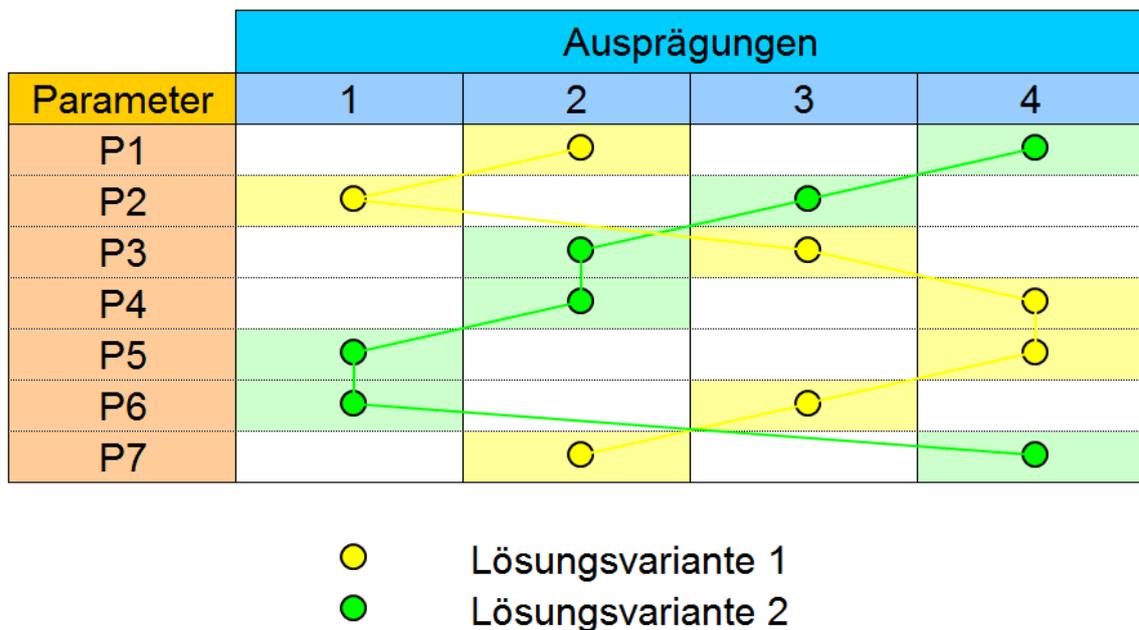
#### **Unabhängigkeit**

Wie schon bei den Teilfunktionen ist es wichtig, dass die Lösungsprinzipien der verschiedenen Teilfunktionen unabhängig voneinander sind, damit eine

Kombination aller gefundenen Lösungsprinzipien, durch „nicht-zusammenpassende“ Lösungsprinzipien, nicht eingeschränkt wird.

## 7.2 Kombination der Ausprägungen

Hat man alle möglichen Lösungsprinzipien (Ausprägungen) gefunden, ist der nächste Schritt, diese miteinander zu kombinieren, durch z.B. einen Linienzug wie in der Abbildung 7.1 schemenhaft dargestellt. Jede Kombination stellt eine Lösungsvariante des Gesamtproblems dar. Hierbei sei gleich erwähnt, dass auch ein „nicht-optimaler“ Lösungsweg durch Kombinationsvorteile zu einer guten Gesamtlösung führen kann<sup>116</sup>.



**Abbildung 7.1:** Bildung von Lösungsvarianten durch Kombination der Ausprägungen

Hierbei können unterschiedliche Farben oder Symbole zum Unterscheiden der einzelnen Lösungsvarianten angewandt werden. Wichtig ist, dass auf den ersten Blick ersichtlich ist, aus welchen Lösungsprinzipien die verschiedenen Lösungsvarianten bestehen. Auf diese Weise lassen sich unzählige Lösungsvarianten ableiten. Ein morphologischer Kasten mit bspw.  $k = 7$  Parameter mit je  $n = 4$  Ausprägungen liefert genau  $k^n = 2401$  theoretisch mögliche Lösungsvarianten. Diese hohe Zahl an Lösungsvarianten erscheint im

<sup>116</sup> Backerra et al., 2007, S.76ff

ersten Augenblick erschreckend, aber wenn die unzweckmäßigen, ähnlichen und nicht relevanten Lösungsvarianten weggelassen werden, wird die Anzahl meistens überschaubar.<sup>117</sup>

### 7.3 Herausfiltern von geeigneten Lösungsvarianten

Die ermittelten Lösungsalternativen werden nun analysiert und die technisch-, und wirtschaftlich-uninteressanten Lösungsvarianten eliminiert<sup>118</sup>. Das Resultat sollte eine kleine Anzahl an Lösungsvarianten ergeben, welche dann anschließend durch Experten bewertet werden können<sup>119</sup>. Bis maximal fünf Lösungsvarianten sind für die spätere Bewertung vertretbar.

Es kommt also in diesem Schritt nicht darauf an gleich die „optimale Lösung“ zu ermitteln, sondern vielmehr um den Informationsgehalt durch verschiedene Lösungsvarianten zu erhöhen.<sup>120</sup>

Dabei können unterschiedliche Lösungsvarianten unterschiedliche Strategien bedeuten, wie z.B.:

- kostengünstigste Lösung
- exklusivste Lösung
- umweltfreundlichste Lösung
- geringster Energieverbrauch
- kleinster Geräuschpegel

### 7.4 Bewertung der Lösungsvarianten

Die aus dem Kapitel 7.3 ermittelten Lösungsvarianten werden nun durch Experten bewertet, um die optimale Lösungsvariante zu finden<sup>121</sup>. Um die unterschiedlichen Lösungsvarianten untereinander bewerten zu können, kann man spezifische Kriterien den einzelnen Ausprägungen hinzufügen, wie z.B. Kosten, Wirkungsgrad

---

<sup>117</sup> Rau, 2004, S.23

<sup>118</sup> Backerra et al., 2007, S.76

<sup>119</sup> Pepels, 2013, S.20

<sup>120</sup> Wiegand, 2004, S.455

<sup>121</sup> Pepels, 2013, S.20

oder Risiko. Des Weiteren besteht auch die Möglichkeit, Technologietrends oder die Miteinbeziehung der Kunden zu berücksichtigen.

### 7.4.1 Nutzwertanalyse

Die wohl bekannteste und weitverbreitetste Bewertungsmethode ist die Nutzwertanalyse (NWA). Die in den 1970er Jahren von Zangenmeister entwickelte NWA definierte er folgendermaßen: *„Nutzwertanalyse ist die Analyse einer Menge komplexer Handlungsalternativen mit dem Zweck, die Elemente dieser Menge entsprechend den Präferenzen des Entscheidungsträgers bezüglich eines multidimensionalen Zielsystems zu ordnen. Die Abbildung dieser Ordnung erfolgt durch die Angabe der Nutzwerte (Gesamtwerte) der Alternativen“*.<sup>122</sup>

Wie der Name schon sagt, handelt es sich hier um Werte und wie gut die Lösungsvarianten diesen Werten entsprechen. Die Nutzwertanalyse eignet sich für die anschließende Bewertung der Lösungsvarianten besonders gut, weil:<sup>123</sup>

- sie auch für nicht quantitative Kriterien verwendet werden kann.
- eine logische und nachvollziehbare Entscheidung bei der Bewertung von Lösungsvarianten mit Hilfe von Zahlen ermöglicht wird.
- dadurch eine direkte Messung der Zielerfüllung erlaubt ist.

### 7.4.2 Vorgehensweise der NWA

Die Vorgehensweise der NWA erfolgt in der Regel in 5 Schritten:<sup>124</sup>

#### 1. Schritt: Bestimmung der Zielkriterien

Zuerst werden die Zielkriterien festgelegt, an denen die Lösungsvarianten bewertet werden. Diese Kriterien sollten möglichst unabhängig voneinander sein, sie sollten sich nicht überschneiden und die Messbarkeit der Zielerreichung sollte

---

<sup>122</sup> Zangenmeister, 1976, S.45

<sup>123</sup> Wiegand, 2004, S.456f

<sup>124</sup> Jung, 2007, S.134f

gewährleistet sein.<sup>125</sup> Bei einer Vielzahl an Lösungskriterien macht es auch Sinn, diese zu gruppieren und für jede Gruppe einen Oberbegriff zu definieren.<sup>126</sup>

## 2. Schritt: Gewichtung der Zielkriterien

Da nicht alle Kriterien gleich wichtig sind, erfolgt eine Gewichtung der Zielkriterien und der Gruppen, in denen die Zielkriterien eingeteilt worden sind. Die Summe der Gewichtung ergibt immer 100%. Wurden die Gruppen und Zielkriterien unabhängig voneinander gewichtet, werden die beiden Gewichtungen miteinander multipliziert und ergeben das schlussendliche Zielkriteriengewicht unter Berücksichtigung der Gruppengewichtung. Zum besseren Verständnis soll die Tabelle 7.1 beitragen.

Gruppe	Zielkriterium	Gruppen- gewichtung (0 - 1)	Gewichtung der Zielkriterien (0 - 100)	Zielkriteriengewicht unter Berücksichtigung der Gruppengewichtung
1	1.1	0,5	70	35
	1.2		10	5
	1.3		20	10
$\Sigma 100$				
2	2.1	0,3	40	12
	2.2		15	4,5
	2.3		20	6
	2.4		25	7,5
$\Sigma 100$				
3	3.1	0,2	40	8
	3.2		60	12
		$\Sigma 1$	$\Sigma 100$	$\Sigma 100$

Tabelle 7.1: Gewichtung der Zielkriterien<sup>127</sup>

## 3. Schritt: Ermittlung des Teilnutzens

Jede Lösungsvariante wird nun hinsichtlich der Zielkriterien beurteilt, um den Zielerfüllungsgrad zu bestimmen. Mögliche Skalierungsmethoden, die hier zur Anwendung kommen können, sind:<sup>128</sup>

- Nominalskalen: „vorhanden = 1“, „nicht vorhanden = 0“

<sup>125</sup> Schulte, 2001, S.235

<sup>126</sup> Jung, 2007, S.134

<sup>127</sup> Vgl. Schulte, 2001, S.240

<sup>128</sup> Jung, 2007, S.135

- Ordinalskalen: „gut = 3“, „befriedigend = 1“, „unbefriedigend = 0“
- Kardinalskalen: Punkteskala von bspw. 1 bis 10

Die Kardinalskalen (= Intervall- oder Verhältnisskalen) eignen sich besonders gut für die Ermittlung der Zielerfüllung. Die Skala die gewählt wird, sollte dann einheitlich für alle Zielerfüllungsgrade angewandt werden.

Der Teilnutzen ergibt sich dann durch die Multiplikation des Zielerfüllungsgrades und der Zielkriteriengewichtung, wie die Tabelle 7.2 zeigt:

Zielkriteriengewicht unter Berücksichtigung der Gruppengewichtung	Lösungsvariante A		Lösungsvariante B	
	Zielerfüllungs- grad (0 - 10)	Teilnutzen	Zielerfüllungs- grad (0 - 10)	Teilnutzen
35	3	105	6	210
5	8	40	7	35
10	3	30	6	60
12	6	72	7	84
4,5	5	22,5	2	9
6	4	24	4	24
7,5	8	60	5	37,5
8	9	72	3	24
12	10	120	4	48
$\Sigma 100$	<b>Nutzwert</b>	<b>546</b>	<b>Nutzwert</b>	<b>532</b>

**Tabelle 7.2:** Ermittlung des Teilnutzens und des Nutzwertes<sup>129</sup>

#### 4. Schritt: Ermittlung des Nutzwertes (Gesamtwertes)

Die Summe der Teilnutzen ergibt den so genannten Nutzwert einer Lösungsvariante. Aufgrund des Nutzwertes kann nun gesagt werden, welche Lösungsvariante hinsichtlich der Zielkriterien am besten geeignet ist.

<sup>129</sup> Vgl. Schulte, 2001, S.239

## 5. Schritt: Vorteilhaftigkeitsbewertung

Direkt aus der Ermittlung des Nutzwertes lässt sich die Vorteilhaftigkeitsbewertung ableiten. Die Lösungsvariante mit dem größten Nutzwert wird dabei gewählt.<sup>130</sup> In der Tabelle 7.2 ist bspw. die Lösungsvariante A zu bevorzugen.

### Allgemeine Hinweise

Die NWA sollte grundsätzlich in einer Gruppe durchgeführt werden um die Objektivität zu erhöhen, da die Gewichtung der Zielkriterien und die Bewertung des Zielerfüllungsgrades der einzelnen Lösungsvarianten sehr subjektiv geprägt sind.<sup>131</sup>

Des Weiteren sei hier erwähnt, dass die NWA keine rein objektive Entscheidung für eine Lösungsvariante liefert. Das Ziel ist vielmehr die Möglichkeit, die Entscheidung nach außen hin transparent zu machen, da die Gewichtungen und Zielkriterien nachvollziehbar sind.<sup>132</sup>

---

<sup>130</sup> Jung, 2007, S.135

<sup>131</sup> Jung, 2007, S.134

<sup>132</sup> Schulte, 2001, S.244

## 8 Fazit und Ausblick

Die ACC Austria hat es mit der Systemkostenbetrachtung geschafft, neben Material- und Fertigungskosten auch andere Parameter wie bspw. den COP, Bauraum oder Lärm in Kosten umzurechnen und somit eine verbesserte Gesamtkostendarstellung der Produkte erreicht. Des Weiteren waren TRIZ-Werkzeuge stets ein enger Begleiter in der Technologieentwicklung, mit denen unzählige Ideen für den zukünftigen Kompressor generiert wurden.

In dieser Diplomarbeit wurden zuerst die Systemkosten aktualisiert und mit den bereits definierten Zielwerten verglichen, um die Potentiale für die Zukunft abschätzen zu können und Entwicklungsschwerpunkte zu setzen. Es ist ein wichtiger strategischer Ausgangspunkt zu wissen, wo man derzeit steht und wo man in Zukunft sein möchte, um eine vernünftige Entscheidungsgrundlage zu schaffen. Basierend auf den Ergebnissen dieser Untersuchung wurden dann zum einen die Widersprüche neu bewertet und zum anderen kann sie als Ausgangsbasis für die spätere Bewertung der Funktionen dienen.

Anschließend wurde die Wertanalyse näher durchleuchtet und der wohl wichtigste wertanalytische Ansatz, die Funktionenanalyse gewählt und auf den derzeitigen Kompressor angewandt. Mit der Durchführung der Funktionenanalysen auf die einzelnen Untersysteme des Kompressors wurde der Grundstein für die Erstellung der morphologischen Kästen gelegt. Dazu wurde unter Absprache mit den jeweiligen Verantwortlichen der Untersysteme die bestimmenden Funktionen ermittelt und als Parameter in dem jeweiligen morphologischen Kasten berücksichtigt.

Aufgrund der Auswahlmöglichkeiten der Teilfunktionen und Lösungsprinzipien lässt sich ableiten, dass man einen tiefen technischen und wirtschaftlichen Einblick für die Erstellung eines morphologischen Kastens benötigt. Ebenso für die anschließende Bewertung bzw. Auswertung der Lösungsvarianten. Abhängig von der firmeninternen Verwendung und der zukünftigen Position des Produktes am Markt kann diese Methode eine sehr wichtige strategische Entscheidungshilfe für das Management sein, da sie einen guten Überblick über sämtliche Möglichkeiten beinhaltet.

Abschließend wurde eine Anleitung zur Erstellung von Lösungsvarianten mit anschließender Bewertung erstellt. Dabei stellte sich heraus, dass die

Nutzwertanalyse die gängigste und auch geeignetste Methode darstellt, die Lösungsvarianten untereinander zu vergleichen, um die bestmögliche Variante zu bestimmen.

Als nächste Schritte könnte man lt. VDI 2800 (2010) (siehe Abbildung 5.1) neben der Nutzwertanalyse eine Machbarkeits–Untersuchung und eine Wirtschaftlichkeits-Analyse durchführen. Damit die Entscheidung auf eine Gesamtlösung aus unterschiedlichen Blickwinkeln erfolgt und somit ein besseres Ergebnis erzielt wird.

Des Weiteren ist es sinnvoll, die ermittelten Funktionen mit so genannten Funktionenkosten zu beschreiben. Ein möglicher Ansatz könnte die Ermittlung der Systemkosten sein, indem man die Kosten für Material, COP, Lärm, Bauraum und Zusatzfunktionen auf die einzelnen Untersysteme aufteilt und danach diese Kosten prozentuell auf die Funktionen aufteilt. Zur Veranschaulichung dieses Ansatzes wird das Untersystem „Kinematics“ gewählt (siehe Abbildung 8.1).

Das Untersystem „Kinematics“ besitzt einerseits Verlustkosten, da bei der Übertragung der Leistung von der Kurbelwelle auf den Kolben mechanische Verluste auftreten ( $COP_{\text{mechanisch}} = 0,93^{133}$ ) und andererseits Materialkosten, aus denen die einzelnen Komponenten bestehen. Ein geringfügiger Kostenanteil von Lärm und Bauraum wird hier vernachlässigt. Daraus ergeben sich die Kosten für Losses = €3,5 (entsprechen 100% Losses) und DM = €2,59<sup>134</sup> (entsprechen 100% DM). Diese 100% werden nun auf die Funktionen verteilt. Das Ergebnis dieser Bewertung ist somit eine prozentuale Aufteilung der einzelnen Systemkosten, die das jeweilige Untersystem verursacht.

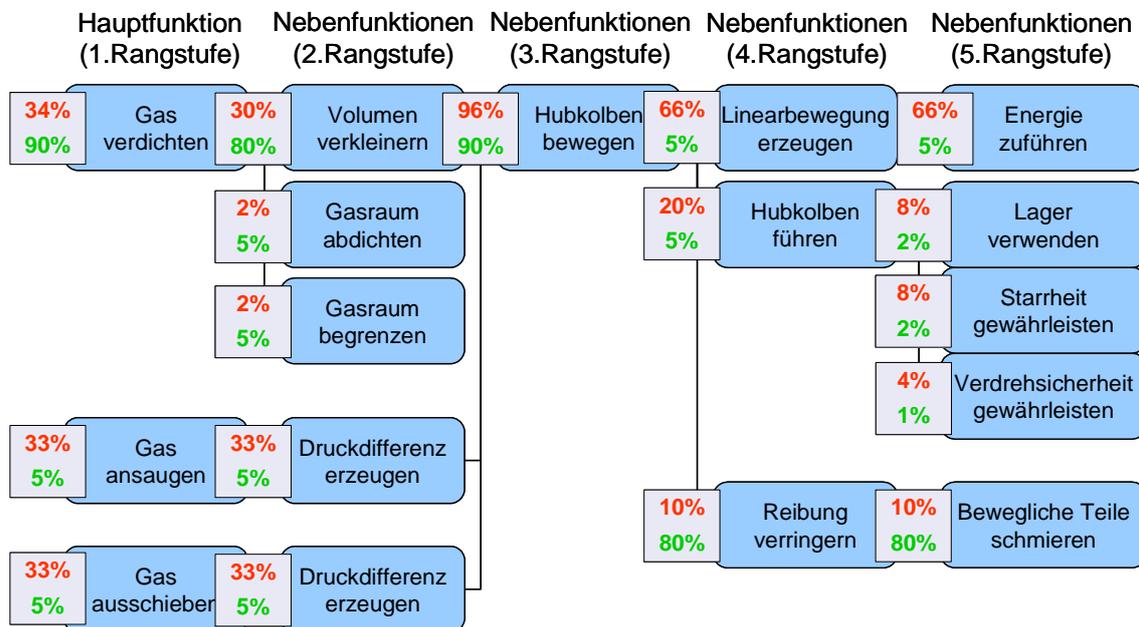
---

<sup>133</sup> siehe Tabelle 4.17

<sup>134</sup> siehe Tabelle 4.11

**Ausgangsbasis: DM = €2,59 = 100%**

**Losses = €3,5 = 100%**



**Abbildung 8.1:** Funktionenkosten „Kinematics“

Die prozentualen Einschätzungen wurden gemeinsam mit dem Kinematik-Verantwortlichen getroffen. Diese Vorgehensweise könnte nun auf alle anderen Funktionenanalysen angewendet werden.

Die Funktionenanalyse lässt sich auch gut mit der Anforderungsanalyse der Kunden verknüpfen, um das Produkt noch besser auf die Markt- bzw. Kundenanforderungen anzupassen.<sup>135</sup>

<sup>135</sup> Pauwels, 2011, S3

# Literaturverzeichnis

- ACC, 2013a:** *PDE – Product Development*, ACC Austria, firmeninternes Dokument KBD-00-023798-H
- ACC, 2013a:** *Our Product Portfolio*, <http://www.acc-austria.at/index.php/products>, Zugriff: 27.11.2013
- ACC, 2013b:** *Future Cooling System CC2018*, firmeninternes Dokument KBD-00-043772
- ACC, 2013c:** *Delta*, <http://www.acc-austria.at/index.php/products/delta>, Zugriff: 27.11.2013
- ACC, 2013d:** *Delta Explosion Drawing*, firmeninternes Dokument KBD-00-016675-E
- ACC, 2013e:** *ASHRAE-CECOMAF*, firmeninternes Dokument KBD-00-040828-A
- ACC, 2013f:** *system costs CC2018*, firmeninternes Dokument KBD-00-025237-D
- ACC, 2013g:** *Delta Bill of Material*, firmeninternes Dokument KBD-00-005278-BN
- ACC, 2013h:** *Future Cooling System CC2018*, firmeninternes Dokument KBD-00-043772-A
- ACC, 2013i:** *Verlustleistung des Kältekompressors*, firmeninternes Dokument KBD-00-041779-A-W
- ACC, 2013j:** *ACT Advanced Cooling Technologies*, firmeninternes Dokument KBD-00-043450-A
- Ammann J. M., 2011:** *Wertanalyse – das Tool im Value Management*, 6., völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
- Backerra H., Malorny C., Schwarz W., 2007:** *Kreativitätstechniken*, 3.Auflage, Carl Hanser Verlag, München

**Bilek F., 2010:** *Strukturierung von Technologieentwicklungsprojekten unter Einsatz von TRIZ*, Institut für Industriebetriebslehre und Innovationsforschung, Technische Universität Graz, Diplomarbeit

**Bronner A., Herr S., 2006:** *Vereinfachte Wertanalyse*, 4., Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg

**DIN EN 1325-1, 1996:** *Value Management, Wertanalyse, Funktionenanalyse Wörterbuch – Teil 1: Wertanalyse und Funktionenanalyse*, Beuth-Verlag

**Disselkamp M., 2012:** *Innovationsmanagement: Instrumente und Methoden zur Umsetzung im Unternehmen*, 2. Auflage, Springer Gabler Verlag, Wiesbaden

**Gundlach C., Nähler H. T., 2006:** *Innovation mit TRIZ: Konzepte, Werkzeuge, Praxisanwendungen*, 1. Auflage, Symposion Publishing GmbH, Düsseldorf

**Haberfellner R., de Weck O., Fricke E., Vössner S., 2012:** *Systems Engineering: Grundlagen und Anwendung*, 12. völlig neu bearbeitete Auflage, Orell Füssli Verlag AG, Zürich

**Holzbauer U., 2007:** *Entwicklungsmanagement: Mit hervorragenden Produkten zum Markterfolg*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg

**Jung H., 2007:** *Controlling*, 2. Auflage, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, München

**Klein B., 2007:** *TRIZ/TIPS: Methoden des erfinderischen Problemlösens*, 2. Auflage, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, München

**Kniess M., 2006:** *Kreativitätstechniken: Methoden und Übungen*, Deutscher Taschenbuch Verlag, München

**Koch S., 2011:** *Einführung in das Management von Geschäftsprozessen*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg

**Kollmann T., 2011:** *E-Entrepreneurship: Grundlagen der Unternehmensgründung in der Net Economy*, 4. Auflage, Gabler Verlag, Wiesbaden

**Lingohr T., Kruschel M., 2011:** *Best Practices im Value Management*, 1. Auflage, Gabler Verlag, Wiesbaden

- Marchthaler J., Wigger T., Lohe R., 2011:** *Wertanalyse – das Tool im Value Management*, 6., völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
- Merten S., Marchthaler J., Wigger T., Lohe R., 2011:** *Wertanalyse – das Tool im Value Management*, 6., völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
- Müller H., 2008:** *Mind Mapping*, 3., überarbeitete Auflage, Rudolf Haufe Verlag, Planegg/München
- Orloff M. A., 2006:** *Grundlagen der klassischen TRIZ*, 3. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
- Pauwels M., 2011:** *Wertanalyse – das Tool im Value Management*, 6., völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
- Pepels W., 2013:** *Produktmanagement: Produktinnovation-Markenpolitik-Programmplanung-Prozessorganisation*, 6. Auflage, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, München
- Rau T., 2004:** *Planung, Statistik und Entscheidung: Betriebswirtschaftliche Instrumente für die Kommunalverwaltung*, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, München
- Schawel C., Billing F., 2012:** *Top 100 Management Tools*, 4. Auflage, Gabler Verlag, Wiesbaden
- Schlick G. H., 1995:** *Innovationen von A-Z*, expert Verlag, Renningen-Malmsheim
- Schögler H. P., 1997:** *Der Verdichter*, firmeninternes Dokument
- Schröder M., 2005:** *Heureka, ich hab's gefunden! Kreativitätstechniken, Problemlösung & Ideenfindung*, W3L GmbH, Bochum
- Schulte G., 2001:** *Material- und Logistikmanagement*, 2. Auflage, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, München
- Sorger M., 2008:** *Identifizierung von Potentialen sowie von Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkten am Beispiel des Kältemittelaggregates*, Institut für Unternehmungsführung und Organisation, Technische Universität Graz, Diplomarbeit

**Steven M., 2012:** *BWL für Ingenieure*, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, München

**VDI-GSP, 1995:** *Wertanalyse: Idee - Methode - System*, 5., überarbeitete Auflage, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf

**Verordnung (EG), 2006:** *Nr. 842/2006 des europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über bestimmte fluorierte Treibhausgase*

**Wastian M., Braumandl I., Rosenstiel L., 2011:** *Angewandte Psychologie für das Projektmanagement*, 2.Auflage, Springer-Verlag GmbH, Berlin Heidelberg

**Wiegand J., 2004:** *Handbuch Planungserfolg: Methoden, Zusammenarbeit und Management als integraler Prozess*, vdf Hochschulverlag AG, Zürich

**Wiest R., 2011:** *Wertanalyse – das Tool im Value Management*, 6., völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg

**Wirtschaftsblatt, 2013:** *Insolvente ACC Austria bei Aurelius gelandet*, <http://wirtschaftsblatt.at/home/nachrichten/oesterreich/steiermark/1393984/Insolvente-ACC-Austria-bei-Aurelius-gelandet>, Zugriff: 07.10.2013

**Zangenmeister C., 1976:** *Nutzwertanalyse in der Systemtechnik - Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen*, 4. Auflage, Wittemannsche Buchhandlung, München

# Anhang

## A Contradiction List

### Overall System Compressor

#### 1.) **diversification vs. standardization (one for all)**

The more different companies we want to supply with our product the more different varieties of products and supplements you need. But the goal is to create one product that fits for all and doesn't need any further additional parts.

#### 2.) **high integrated electronics (master) vs. compressor "slave"(low compressor intelligence)**

We want to have a compressor with high integrated electronics to be the master of the cooling system and not as it is at the moment that the controlling part is part of the cooling circuit. At the moment we are a slave of the system. But the market might have difficulties to accept the intelligent one for different reasons. We have to make sure that "master" is good enough to convince the buyers.

### Casing

#### 3.) **small size vs. high heat exchange**

A big surface improves the heat dissipation to the environment but a smaller shell would help to save material and space.

#### 4.) **no heat exchange between suction and discharge line vs. low noise**

Minimal heat transmission should be transferred from discharge line to the suction line. A possibility could be an alignment of the two lines outside the shell but this would cause a higher noise level.

#### 5.) **high heat exchange vs. low noise**

A big surface improves the heat dissipation to the environment but big surface oscillate better and emit the Noise better.

**6.) small size vs. low noise**

A smaller shell and or shell wall would help to save material and space but this would also worsen the sound isolation/damping.

**Mechanical integration****7.) small size vs. high evaporation**

A big surface improves the heat dissipation to the environment but a smaller shell would help to save material and space.

**8.) high universality vs. high evaporation**

With a high Universality (standardization) it becomes more difficult to be flexible and support different customer requests and it becomes more difficult to create a high evaporation (rate).

**9.) high universality vs. low noise**

Higher Universality results in more parts or highly integrated parts, which could increase the total complexity of the system and it becomes more difficult to optimize noise requirements.

**10.) high universality vs. low complexity**

Higher Universality results in more parts or highly integrated parts, which could increase the total complexity (costs) of the system. With a high Universality (standardization) it becomes more difficult to be flexible and support customer requests.

**Head group****11.) low suction/discharge work vs. high cost**

If we optimize the internal and external tubes and the valve seats, we would reduce the gas exchanging losses. But this is too complex.

**12.) selective heat conductivity vs. current material**

The head group has a compact construction. We want good heat outflow on the discharge line and no heat intake on the suction line. A strict separation of the two systems with materials which regulate the heat flow only in one direction is desirable.

**13.) self adjusting dead volume vs. current material**

Dead volumes in the working space of the compressor cause cooling capacity losses but it can't be avoid because of the tolerances. Adaptive material could minimize the dead volume.

**14.) low minimum rpm vs. small size****Discharge line****15.) low pulsation vs. small size**

The volume of the discharge muffler serves as a buffering for the pulsation of the cooling fluid. This pulsation is caused by the (Das Volumen des Druckmufflers fungiert als Puffer für die Pulsation des Kühlmediums, die von der stoßweisen Ausschlebearbeit des Kolbens verursacht wird.) The bigger the muffler the smaller the pulsation. But the maximum shell size limits the extension of the discharge line.

**16.) lower starting torque vs. small size**

The counter pressure at the starting point of the compressor produces a big transmission torque that has to be overcome. To achieve that we would need a big motor but the big motor won't meet the claim of a small compressor.

**17.) low temperature vs. big size**

For better damping of the pulsation we would need a bigger muffler but big surface bring more heat on the outside which influence our system negatively.

## **Suction line**

### **18.) low noise vs. small size**

The suction muffler is also used to damp the cavity resonance. The bigger the muffler the better it is damping. But the compressor size should be as small as possible.

### **19.) low pressure loss vs. small size**

Tight tube diameters have negative affection on the flow velocity. If we make them bigger to minimize the negative affect the system would grow.

### **20.) low temperature vs. big size**

If we make the suction line bigger we will have a big surface where we will bring more heat in to the in-coming fluid. This reaction would worse the COP.

## **Power Unit**

### **21.) speed control vs. low cost**

A speed-controlled compressor needs more intricate drive concept with expensive permanent magnets and stuff.

### **22.) high efficiency vs. low cost**

A high copper percentage in the rotor winding makes the motor more efficient but copper is quite expensive. Variable speed causes higher load for the bearings and the piston. So there will be a need of more solid bearings and piston, which causes higher costs.

### **23.) high efficiency vs. small size**

A Motor with bigger magnets and a lot of copper windings needs more space.

### **24.) low minimum rpm vs small size**

Motors can be smaller if the run at higher rpm, but the loses in other parts of the compressor get bigger.

## **Motor Control**

### **25.) low cost vs. high functionality**

Higher functionality results in more parts or highly integrated parts, which could increase the total costs of the part system.

### **26.) many interfaces vs. low complexity**

Interfaces for different standards results in more parts which could increase the complexity of the system.

### **27.) speed control vs, low complexity**

Precise speed control needs high complexity.

### **28.) easy approbation vs. high complexity**

High accepting on market requires high complexity.

## **Communication system**

### **29.) low cost vs. high functionality**

Higher functionality results in more part or highly integrated parts, which could increase the total costs of the part system.

### **30.) low cost vs. low energy consumption**

The costs for most parts are increasing with the energy efficiency. Over a certain point of energy efficiency the costs for the part are heavily increasing.

### **31.) high market acceptance vs. high standardization**

An own ACC standard can cause problems because of the following facts:

Because of the lack of alternative suppliers the customer has to buy our compressor, if he has his appliance prepared for the use of the CC2018.

Today the customer is getting a “customized compressor” in case of tubes, terminal boards, evaporation tray, etc. This doesn't have to be a contradiction because of the possibilities of the electronic board and the programmability.

**32.) high standardization vs. high flexibility**

With a high standardisation it becomes more difficult to be flexible and support customer requests.

**33.) high flexibility vs. low complexity**

With a higher flexibility the number of system elements is increasing, which results in an increased complexity.

**Kinematics**

**34.) insulate temperature vs. conduct temperature**

The incoming gas shouldn't be heated by the piston or the crankcase. But on the other hand the compression heat should be transformed through the walls.

**35.) large range of rpm vs. low costs**

variable speed mode causes higher load for the bearings and the piston. So there will be a need of more solid bearings and piston, which causes higher costs.

**36.) low friction vs. low costs**

To reduce the friction special materials or a coating can be used but this will lead to higher costs.

**37.) low friction vs. big tolerances**

On the one hand big tolerances can reduce the friction and the mechanical losses, but on the other hand big tolerances increase the leakage losses.

## B Morphologische Kästen

<b>Kinematics</b>				
<b>Teilfunktionen (Parameter)</b>	<b>Lösungsprinzipien (Ausprägungen)</b>			
	aktuell	alternativen		
Linearbewegung erzeugen				
Hubkolben führen				
Reibung verringern (Lager)				
Reibung verringern (Kolben/Zylinder)				
Lager verwenden				
Gasraum abdichten				
Gas ansaugen				
Gas ausschieben				

**Abbildung B.1:** Morphologischer Kasten für das Untersystem „Kinematics“

<b>Gaslinie</b>				
<b>Teilfunktionen (Parameter)</b>	<b>Lösungsprinzipien (Ausprägungen)</b>			
	aktuell	alternativen		
Gas bereitstellen (Saugseite)				
Schwingung entkoppeln (Saugseite)				
Öl abscheiden (Saugseite)				
Zylinder befüllen				
Zylinder entleeren				
Ventile bewegen				
Gas abführen (Druckseite)				
Schwingung entkoppeln (Druckseite)				
Gaspulsation dämpfen				

**Abbildung B.2:** Morphologischer Kasten für das Untersystem „Gaslinie“

<b>Power Unit</b>				
<b>Teilfunktionen (Parameter)</b>	<b>Lösungsprinzipien (Ausprägungen)</b>			
	aktuell	alternativen		
Bewegung erzeugen				
Kinematik anbinden				
Pumpe positionieren				
Öl speichern				

**Abbildung B.3:** Morphologischer Kasten für das Untersystem „Power Unit“

<b>Motor Control</b>				
<b>Teilfunktionen (Parameter)</b>	<b>Lösungsprinzipien (Ausprägungen)</b>			
	aktuell	alternativen		
elektr. Energie transformieren				
elektr. Energie übertragen				
Zwischenkreis- spannung bereitstellen				
Zwischenkreis- spannung steuern				
Strom messen				
Wärme abführen				
EMV bieten				

**Abbildung B.4:** Morphologischer Kasten für das Untersystem „Motor Control“

### **EMV bieten (Elektromagnetische Verträglichkeit)**

Damit keine Störsignale nach außen gelangen und somit andere Elektrogeräte beeinflusst werden (TV fängt an zu flattern) und umgekehrt, damit die Motor Control unempfindlich gegen von außen kommende Signale ist (Betrieb von einem TV beeinträchtigt die Funktionsweise der Motor Control).

<b>Communication System</b>				
<b>Teilfunktionen (Parameter)</b>	<b>Lösungsprinzipien (Ausprägungen)</b>			
	aktuell	alternativen		
Energie austauschen				
Signal messen				
Signal senden				
Daten verarbeiten				
Protokoll bereitstellen				
Kühlgerät regeln				

**Abbildung B.5:** Morphologischer Kasten für das Untersystem „Communication System“

## C Ermittlung der Umformungskosten

Ermittlung der Umformungskosten						
Untersysteme / Komponenten		Kosten [€]	Rohmaterial			externe
			[g]	[€/kg]	[€]	Umformungskosten [€]
<b>Crankcase</b>	Crankcase casted	0,52	460,00	0,65	0,30	0,22
	<i>crankcase scrap</i>	-0,03	-160,00			
	<b>Total</b>	<b>0,49</b>				
<b>Crankshaft</b>	Crankshaft cast	0,36	130,00	1,00	0,13	0,23
	Crankshaft premachined	0,70				
	Oil pick up assembled	0,02	3,00	0,65	0,00	0,02
	Ball Bearing	0,22				
<b>Total</b>	<b>1,30</b>					
<b>Conrod</b>	Conrod (sintered-scrap)	0,23	8,50	1,80	0,02	0,21
	cost for calibration	0,11				
	<b>Total</b>	<b>0,34</b>				
<b>Piston</b>	Piston (sintered-scrap)	0,09	11,10	1,80	0,02	0,07
	<b>Total</b>	<b>0,09</b>				
<b>Piston Pin</b>	Piston Pin	0,12	2,20	1,80	0,00	0,12
	Clamping Sleeve / Elastic Pin	0,09	0,04	0,65	0,00	0,09
	<b>Total</b>	<b>0,21</b>				
<b>Oil</b>	Oil	0,16	68,00	2,30	0,16	
	<b>Total</b>	<b>0,16</b>				
<b>Kinematic</b>		<b>2,58</b>				
<b>Cylinder Head &amp; Gasket</b>	Valve Plate Gasket	0,03				
	Cylinder Head Gasket	0,03				
	Clamping Element	0,30	6,80	0,65	0,00	0,30
	Fixing Element	0,08	6,20	0,65	0,00	0,08
	<b>Total</b>	<b>0,43</b>				
<b>Z-Valve Plate</b>	Suction Valve	0,04	0,14	1,80	0,00	0,04
	Valve Plate	0,08	5,50	1,80	0,01	0,07
	Discharge Valve	0,03	0,09	1,80	0,00	0,03
	<b>Total</b>	<b>0,15</b>				
<b>Suction</b>	Muffler	0,21	37,00	3,10	0,11	0,10
	Direct Suction Element	0,15	1,30	2,65	0,00	0,15
	<b>Total</b>	<b>0,36</b>				
<b>Discharge System</b>	Internal Discharge Tube	0,35	1,00	3,10	0,00	0,35
	Connection Element	0,00				
	o-Ring	0,01				
	Discharge muffler	0,40	26,50	3,10	0,08	0,32
	<b>Total</b>	<b>0,76</b>				
<b>Gaslinie</b>		<b>1,69</b>				

Abbildung C.1: Ermittlung der Umformungskosten - Teil 1

<b>Suspension</b>	Spring Pin Stator	0,02	0,80	3,10	0,00	0,02
	Suspension Spring	0,07	4,20	1,80	0,01	0,06
	Statorscrew	0,06	14,50	0,65	0,01	0,05
	Statorbracket	0,07	4,30	3,10	0,01	0,06
	<b>Total</b>	<b>0,22</b>				
<b>Shell / Cover</b>	Shell Pressed	0,53	540,00	0,65	0,35	0,18
	<i>shell crap</i>	-0,05	-280,00			
	Cover	0,89	535,00	0,65	0,35	0,54
	<b>Total</b>	<b>1,37</b>				
<b>Shell Assembly</b>	Spring Pin for Shell	0,05	12,30	0,65	0,01	0,04
	Discharge Tube (incl. Sleeve)					
	Delta FE	0,23	18,60	1,80	0,03	0,20
	Suction Tube (incl. Sleeve)	0,29	14,90	1,80	0,03	0,26
	Service Tube long	0,21	12,20	1,80	0,02	0,19
	Footstrap/Steel Pin for Rubber	0,04	3,40	0,65	0,00	0,04
	Terminal Fence/ Herm. Term.	0,08	35,50	0,65	0,02	0,06
	Plug for terminal fence	0,01				
Hermetic Terminal	0,25					
	<b>Total</b>	<b>1,16</b>				
<b>Ext. Components</b>	Label	0,01				
	Varnish	0,02				
	Transparentpaste (80%)	0,02				
	Pigmentpaste (20%)	0,01				
	Welding Wire	0,05				
	Evaporation Tray	0,55	200,00	0,65	0,13	0,42
	Damping Element	0,06	8,00	2,65	0,02	0,04
	Glue for damping element	0,02				
Corrosion Protection	0,10					
	<b>Total</b>	<b>0,83</b>				
<b>Ext. Rubber Parts</b>	Rubber Plugs for tubes	0,03	1,89	2,65	0,01	0,02
	Rubber Grommet (Ext. Susp.)	0,04	5,10	2,65	0,01	0,03
	<b>Total</b>	<b>0,07</b>				
<b>Ext. Components</b>		<b>3,65</b>				
<b>Rotor</b>	Rotor Lamination	0,35	395,00	0,85	0,34	0,01
	Aluminium	0,25				
	<b>Total</b>	<b>0,60</b>				
<b>Stator</b>	Copper	3,43	410,00	7,00	2,87	0,56
	Slot Key	0,01				
	Lamination with scrap	1,54	1795,00	0,85	1,53	0,01
	<i>Scrap</i>	-0,23	-760,00			
	Slot Insulation / Isolation Layer	0,03	5,40	3,10	0,02	0,01
	Insulation Plate	0,03	2,30	3,10	0,01	0,02
	Statorconnector	0,01				
	Splice	0,01				
Cluster + Cable	0,13					
	<b>Total</b>	<b>4,96</b>				
<b>Motor</b>		<b>5,56</b>				
<b>Electrical Components</b>	PTC (Murata Typ X55))	0,14				
	EST (incl. Arclux + BDG ass.)	0,70				
	Terminal Board (incl. Motorprotector)	1,39				
	Screws for Cable Clamp	0,01	1,00	0,65	0,00	0,01
	Capacitor (Delta: Ducati 2µF)	0,51				
<b>Electrical Components</b>		<b>2,75</b>				

Abbildung C.2: Ermittlung der Umformungskosten - Teil 2