

Martin Bloder, BSc, Ing.  
1331938

# Erstellung eines Konzeptes für einen datenbankbasierten Systementwicklungs-Baukasten

## Diplomarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades  
Diplom Ingenieur  
der Studienrichtung Maschinenbau

eingereicht an der  
**Technischen Universität Graz**

Betreuer  
Assoc.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Michael Bader

Institut für Maschinenelemente und Entwicklungsmethodik  
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Hannes Hick

Graz, Juni 2021

This document is set in Palatino, compiled with pdfL<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X<sub>2</sub> $\epsilon$  and Biber.

The L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X template from Karl Voit is based on KOMA script and can be found online:  
<https://github.com/novoid/LaTeX-KOMA-template>

## 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. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Diplomarbeit identisch.

Graz, am \_\_\_\_\_

Datum

\_\_\_\_\_

Unterschrift

## Affidavit

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

Graz, \_\_\_\_\_

Date

\_\_\_\_\_

Signature



# Kurzfassung

Die Arbeit befasst sich mit der *Erstellung eines Konzeptes für einen datenbankbasierten Systementwicklungs-Baukasten*, welcher in verschiedenen Bereichen der technischen Produktentwicklung eingesetzt werden soll. Mithilfe eines solchen Baukastens sollen die von Unsicherheiten gekennzeichneten Phasen der Lösungssynthese und Analyse, welche in allen Produktentwicklungsprozessen vorkommen, effektiver und effizienter durchgeführt werden können. Vor dem Hintergrund der zunehmenden Zentralisierung und Digitalisierung des menschlichen Wissens hat ein solcher, interaktiver Lösungskatalog das Potential die klassische Fachliteratur zunehmend zu ersetzen, wie z.B. Wikipedia dies im Bereich der Universallexika getan hat. Im Rahmen dieser Arbeit wird eine mögliche Ausgestaltung eines solchen interaktiven Lösungskataloges hinsichtlich seiner Funktionen und dahinter liegenden Datenstruktur entwickelt.

Nach der Analyse einiger in der maschinenbaulichen Entwicklung häufig eingesetzter Produktentwicklungsprozesse und der darin zum Einsatz kommenden Wissenquellen und Werkzeuge wurde die Ausrichtung des Systementwicklungs-Baukastens auf eine fachkundige, technische Systementwicklung festgelegt. Anschließend wurden die für die Lösungsentwicklung und Bewertung hilfreichen Funktionalitäten aus Sicht des Benutzers herausgearbeitet, bevor mögliche Umsetzungsweisen für eben diese ausgewählt wurden. Basierend auf diesen Funktionalitäten wurden mögliche Workflows durch den Baukasten aufgezeigt, und anschließend anhand von zwei Beispielen probeweise durchlaufen.

In der abschließenden Evaluierung des Konzeptes wurde dessen Wirksamkeit hinsichtlich der Unterstützung bei der Lösungssuche und Bewertung untersucht. Ein mit den hier entwickelten Funktionalitäten umgesetzter und mit ausreichend Daten befüllter Systementwicklungsbaukasten verspricht zahlreiche Vorteile gegenüber dem klassischen Vorgehen in der Entwicklung. Relevantes Wissen muss nicht erst aus verschiedensten Quellen gesammelt werden, um im Anschluss daran manuell verschiedene Lösungskonzepte zu generieren, welche in Folge ebenfalls wieder manuell analysiert und bewertet werden. Stattdessen befinden sich sowohl das Wissen um bekannte Lösungsmöglichkeiten als auch die Werkzeuge zur Erstellung und Bewertung von Lösungsvarianten in einer interaktiven, die einzelnen Bereiche nahtlos miteinander verknüpfenden Benutzeroberfläche.



# Abstract

This master's thesis deals with the *creation of a concept for a database-based system development kit*, which is to be used universally in technical product development. With the help of such a modular system database, the high-risk phases of solution synthesis and analysis, which occur in almost all product development processes, should be able to be carried out more effectively and efficiently. Against the background of the increasing centralization and digitization of human knowledge, such an interactive catalogue of solutions has the potential to increasingly replace the classic specialist literature, as e.g. Wikipedia has done in the field of universal lexicons. Within the scope of this work, a possible design of such an interactive solution catalog is developed with regard to its functions and underlying data structure.

After the analysis of some product development processes frequently used in mechanical engineering development and the knowledge sources and tools used therein, the orientation of the system development kit towards professional, technical system development was determined. Subsequently, the functionalities helpful for solution development and evaluation were worked out from the user's point of view before possible implementation methods for these were selected. Based on these functionalities, possible workflows were identified by the modular system, and then run through on a trial basis using two examples.

In the final evaluation of the concept, its effectiveness to support in the search for solutions and evaluation was examined. A system development kit that implements the functionalities developed in the course of this thesis and that is also filled with sufficient data promises numerous advantages over the classic approach in technical system development. Relevant knowledge does not have to be collected piece by piece in order to then manually generate various solution concepts, which are then also manually analyzed and evaluated again in succession. Instead, both the knowledge of known possible solutions and the tools for creating and evaluating solution variants are located in an interactive user interface that seamlessly links the individual areas of concept development.



# Vorwort

Die hier vorliegende Diplomarbeit entstand als Abschluss meines Masterstudiums Maschinenbau in den Jahren 2020 und 2021 am Institut für Maschinenelemente und Entwicklungsmethodik (IME) an der TU Graz.

Bereits im Zuge meiner Bachelorarbeit am IME konnte ich tief in die methodische Entwicklung moderner mechatronischer Systeme eintauchen, und mein Wissen darüber im Anschluss in einigen weiteren Projekten vertiefen. Im Zuge dieser Projekte stellten sich mir immer wieder die selben Fragen: *Welche bekannten Möglichkeiten gibt es die gewünschte Funktion umzusetzen? Welche Eigenschaften haben die in Frage kommenden Lösungsmöglichkeiten?* In der Praxis erwies sich die zufriedenstellende Beantwortung dieser Fragen leider immer als ein sehr zeitintensives Unterfangen, und eine nahezu unendlich große Zahl an Wissensquellen musste dazu abgefragt werden. Inspiriert vom großen Erfolg Wikipedias und dem hohen Informationsgehalt klassischer Konstruktionskataloge kam mir die Idee eines für Crowd-Sourcing offenen, interaktiven Konstruktionskataloges, welcher neben der strukturierten Speicherung technischer Detailinformationen außerdem noch verschiedene Methoden zur Erstellung und Bewertung möglicher Lösungswege zur Verfügung stellt. Ein derartiges Werkzeug hätte das Potential zahlreichen Entwicklungsteams die Arbeit zu erleichtern und neue Wege aufzuzeigen.

Diese noch recht einfache Grundidee wurde von mir Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Hannes Hick vorgestellt, welcher das große Potential eines solchen datenbankbasierten Systementwicklungsbaukastens sofort erkannte und diese Idee seit dem unterstützt. An dieser Stelle möchte ich ihm dafür meinen großen Dank aussprechen, aber auch für die mittlerweile mehrere Jahre dauernde Förderung meiner Person und meiner Ideen wie z.B. dem Disconnect-Differential. Meinen herzlichsten Dank möchte ich auch Assoc.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Michael Bader gegenüber ausdrücken, der sich nicht nur bereit erklärt hat diese Diplomarbeit zu betreuen, sondern auch in meinen anderen Projekten trotz sehr strapazierter Ressourcen immer sehr wertvolle Beiträge in verschiedensten Bereichen geliefert hat.

Zu guter Letzt möchte ich mich noch beim gesamten Team des IME für das hervorragende Klima und die überaus angenehme Zusammenarbeit bedanken. Insbesondere bei Dipl. Ing. Matthias Bajzek, BSc der mich auf die eine oder andere Inkonsistenz in dieser Arbeit hingewiesen hat und außerdem immer sicher stellte, dass diese Arbeit sich im Einklang mit der Systems-Engineering-Welt am IME entwickelt.

Martin Bloder

Sinabelkirchen, am 18.6.2021



# Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	v
Abstract	vii
Vorwort	ix
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Die Evolution der technischen Systementwicklung	2
1.3 Zielsetzung der Arbeit	4
1.4 Aufbau der Arbeit	4
<b>2 Grundlagen</b>	<b>7</b>
2.1 Begriffsdefinitionen	7
2.1.1 Element	7
2.1.2 System	8
2.1.3 Anforderung	9
2.1.4 Funktion	9
2.1.5 Funktions-Spezifikationen	10
2.1.6 Eigenschaft	11
2.1.7 Zusammenfassung der Begriffsdefinition	11
2.2 Übersicht bekannter Produktentwicklungsprozesse	12
2.2.1 Grundlegende Vorgehensweisen	12
2.2.2 Methodik zur Entwicklung und Konstruktion nach VDI 2221	14
2.2.3 Der Produktentstehungsprozess nach Pahl/Beitz	16
2.2.4 Wasserfallmodell	17
2.2.5 Vorgehensmodell nach VDI 2206	17
2.2.6 Wertanalyse nach EN 12973	20
2.2.7 Zusammenfassung der bekannten Entwicklungsprozesse	20
<b>3 Wissensquellen und Werkzeuge in der Systementwicklung</b>	<b>23</b>
3.1 Wissensquellen	23
3.1.1 Anforderungsliste	23
3.1.2 Ausbildungswissen	32
3.1.3 Erfahrungswissen	32
3.1.4 Fachliteratur	33
3.1.5 Internetquellen	39

## Inhaltsverzeichnis

3.2	Werkzeuge . . . . .	41
3.2.1	Funktionsanalyse . . . . .	42
3.2.2	Nutzwertanalyse . . . . .	43
3.2.3	Morphologische Analyse . . . . .	46
3.2.4	TRIZ-Methode . . . . .	47
3.2.5	Model-Based Systems Engineering . . . . .	47
3.2.6	Ansys GRANTA Selector . . . . .	48
3.2.7	Designpilot . . . . .	49
3.3	Fazit . . . . .	49
<b>4</b>	<b>Anforderungen an den Systementwicklungsbaukasten</b>	<b>51</b>
4.1	Festlegung des Verwendungsbereiches des Systementwicklungsbaukastens	52
4.1.1	Positionierung des Systementwicklungsbaukastens im Produktentwicklungsprozess . . . . .	52
4.1.2	Charakterisierung der Nutzerzielgruppe . . . . .	54
4.2	Ermittlung der Funktionalitäten des Systementwicklungsbaukastens . . .	55
4.2.1	Funktionalitäten der Lösungsfindung . . . . .	55
4.2.2	Funktionalitäten der Lösungsbewertung . . . . .	57
4.3	Anforderungen an die Funktionalitäten des Systementwicklungsbaukastens	57
4.3.1	Auflisten bekannter Lösungselemente . . . . .	58
4.3.2	Auswahl und Verknüpfung von Lösungselementen . . . . .	61
4.3.3	Darstellung und Beschreibung möglicher Lösungsvarianten . . . . .	63
4.3.4	Überführung der Spezifikationen in Bewertungskriterien . . . . .	63
4.3.5	Bewertung der Lösungsvarianten anhand der Kriterien . . . . .	65
4.3.6	Darstellung der Bewertungsergebnisse . . . . .	66
<b>5</b>	<b>Definition der Methoden zur Umsetzung der Anforderungen</b>	<b>67</b>
5.1	Auflisten bekannter Lösungselemente . . . . .	67
5.1.1	Suchen nach Schlagwörtern / Tags . . . . .	67
5.1.2	Manuelles Durchsuchen des Datenbankinhalts . . . . .	67
5.1.3	Darstellung der Element-Eigenschaften . . . . .	68
5.1.4	Vergleichen von Lösungselementen . . . . .	68
5.1.5	Hinzufügen und Bearbeiten von Funktions- und Lösungselementen	70
5.1.6	Übersicht der Methoden für die Auflistung von Lösungselementen	71
5.2	Auswahl und Verknüpfung von Lösungselementen . . . . .	71
5.2.1	Festlegung der benötigten Funktion(en) . . . . .	71
5.2.2	Auswahl zu verwendender Lösungselemente . . . . .	72
5.2.3	Verknüpfung der Lösungselemente zu Lösungsvarianten . . . . .	73
5.2.4	Gewichtung der Eigenschaften der Lösungselemente . . . . .	73
5.2.5	Übersicht der Methoden für die Auswahl und Verknüpfung von Lösungselementen . . . . .	74
5.3	Darstellung und Beschreibung möglicher Lösungsvarianten . . . . .	74
5.4	Überführung der Spezifikationen in Bewertungskriterien . . . . .	75
5.4.1	Import von Spezifikationen . . . . .	76
5.4.2	Manuelle Eingabe von Anforderungen . . . . .	76

5.4.3	Definition der Bewertungskriterien . . . . .	76
5.4.4	Gewichtung der Bewertungskriterien . . . . .	77
5.4.5	Übersicht der Methoden für die Überführung von Spezifikationen in Bewertungskriterien . . . . .	77
5.5	Bewertung der Lösungsvarianten anhand der Kriterien . . . . .	77
5.5.1	Manuelle Bewertung der Lösungsvarianten . . . . .	78
5.5.2	Automatisierte Bewertung der Lösungsvarianten . . . . .	78
5.5.3	Abschätzen der Bewertungsqualität . . . . .	79
5.5.4	Übersicht der Methoden für die Bewertung von Lösungsvarianten . . . . .	79
5.6	Darstellung der Bewertungsergebnisse . . . . .	79
5.7	Entwicklung zweier Workflows . . . . .	80
5.7.1	Schneller Informations-Workflow . . . . .	80
5.7.2	Detaillierter Systementwicklungs-Workflow . . . . .	81
<b>6</b>	<b>Systemanalyse und Konzeption</b>	<b>85</b>
6.1	Analyse der Software-Funktionen . . . . .	85
6.1.1	Analyse der Funktionen der Datenverwaltung . . . . .	85
6.1.2	Analyse der Operations-Funktionen . . . . .	97
6.2	Anwendung der entwickelten Workflows . . . . .	103
6.2.1	Konzeptentwicklung für einen elektrischen Fahrzeugantrieb . . . . .	103
6.2.2	Auswahl der Lagerbauart einer hochdrehenden E-Maschine in einer Fahrzeuganwendung . . . . .	113
<b>7</b>	<b>Evaluierung und Ausblick</b>	<b>119</b>
7.1	Evaluierung des entwickelten Konzeptes . . . . .	119
7.1.1	Auflisten und Vergleichen bekannter Lösungselemente . . . . .	120
7.1.2	Auswahl und Verknüpfung von Lösungselementen . . . . .	120
7.1.3	Darstellung und Beschreibung möglicher Lösungsvarianten . . . . .	120
7.1.4	Überführung der Anforderungen in Bewertungskriterien . . . . .	121
7.1.5	Bewertung der Lösungsvarianten anhand der Kriterien . . . . .	121
7.1.6	Darstellung der Bewertungsergebnisse . . . . .	121
7.1.7	Zusammenfassung der Evaluierung . . . . .	122
7.2	Ausblick . . . . .	122
7.2.1	Offene Themen . . . . .	122
7.2.2	Nächste Schritte . . . . .	124
7.2.3	Potential des Systementwicklungsbaukastens . . . . .	125
7.2.4	Markenbildung . . . . .	126
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>127</b>
	<b>Abkürzungen</b>	<b>129</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>131</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>135</b>

Inhaltsverzeichnis

**Literatur**

**137**

# 1 Einleitung

Beginnend mit einer Analyse des derzeitigen Status quo in Sachen technischer Systementwicklung werden Möglichkeiten, Chancen und Risiken der Weiterentwicklung kurz erläutert. Anschließend wird ein neuer Ansatz für datenbankbasiertes Werkzeug zur technischen Systementwicklung vorgestellt und der vorgesehene Ablauf zur Erstellung eines Konzeptes für eben dieses Werkzeug beschrieben.

## 1.1 Ausgangssituation

Das 21. Jahrhundert ist in technisch-wirtschaftlicher Sicht von einem rasanten technischen Fortschritt geprägt, viele Dinge die noch vor wenigen Jahrzehnten undenkbar waren oder bestenfalls in der Science-Fiction angesiedelt wurden, sind heute alltägliche, selbstverständliche Realität. Zum Beispiel die Möglichkeit nahezu überall, jederzeit mittels eines in jeder gewöhnlichen Hosentasche Platz findenden Kommunikationsgerätes (Smartphone) per Videotelefonie zu Menschen auf der entgegengesetzten Seite der Erde in Kontakt zu treten. Viele neue, immer effizientere Möglichkeiten zur Kollaboration, zum Wissensaustausch und der Ausbildung von Fachkräften befeuern die technische Entwicklung immer weiter. Neben den Fortschritten im Bereich des Wissensmanagements hat aber auch der starke, globale Wettbewerbsdruck zu immer kürzeren Produktlebenszyklen und einer nie dagewesenen Vielfalt an technischen Lösungen für unterschiedlichste Kundenwünsche geführt.

Inkrementelle Innovation und der Mut zu neuartigen, disruptiven Lösungen haben sich dabei als unverzichtbare Wettbewerbsvorteile herausgestellt. War es im 20. Jahrhundert in vielen Branchen absolut ausreichend eine funktionierende technische Lösung für eine bestimmte Aufgabenstellung anbieten zu können um diese dann auch zu verkaufen, ist es heute nötig die passendste, die kostengünstigste oder im Idealfall die passendste Lösung zum günstigsten Preis anbieten zu können. Immer öfter sind auch passgenau auf die Bedürfnisse der Kunden maßgeschneiderte Geschäftsmodelle (mieten statt kaufen, flexible Abrechnung nach tatsächlicher Verwendung, usw.) Voraussetzung für geschäftlichen Erfolg. Die ständige Weiterentwicklung und das stetig wachsende Know-How in allen Bereichen hat zu immer leistungsfähigeren technischen Systemen bei gleichzeitig sinkenden Produktionskosten geführt. Ermöglicht wurde dies in vielen Bereichen nur durch die Loslösung von bekannten, traditionellen Prozessen hin zu neuen Abläufen, die entweder selbst entwickelt wurden oder von fremden Branchen übernommen/adaptiert wurden.

## 1 Einleitung

Eine in vielen Bereichen bereits etablierte Methode, technische Entwicklungsprozesse aller Art möglichst innovativ zu gestalten, ist die „lösungsneutrale“ Betrachtung der gewünschten Funktionen des zu entwickelnden Systems. Dabei wird die tatsächliche Ausgestaltung des Systems erst festgelegt, wenn alle bekannten Varianten die geforderte Funktion zu erfüllen anhand möglichst objektiver Kriterien gegeneinander abgewogen wurden und die „am besten geeignete“ Ausführung bestimmt werden konnte (Variantenbildung und Bewertung). Diese Herangehensweise birgt jedoch auch Risiken, z.B. führt das „richtige“ Definieren der geforderten Funktionen subjektiv oft zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen, wirklich unkonventionelle Möglichkeiten eine Aufgabenstellung zu lösen werden von den mit der Lösungsfindung beauftragten „Experten“ oft nicht in Betracht gezogen oder sogar abgelehnt, und die möglichst objektive Bewertung der Varianten birgt einiges an Aufwand und ist immer auch mit mehr oder weniger groben Annahmen und Unschärfen verbunden. Im Zuge dieser Arbeit sollen Methoden, welche den Prozess der Variantenbildung und Bewertung effizienter und zielgerichteter gestalten können, untersucht und erarbeitet werden.

## 1.2 Die Evolution der technischen Systementwicklung

Es ist davon auszugehen, dass die zunehmende Verbreitung inhaltlich stets aktueller, einfach und kostenfrei zugänglicher Online-Datenbanken und Wissensportale noch länger anhalten wird. So vergingen z.B. vom Start der Wikipedia auf Deutsch (März 2001 [55]) bis zur letzten Veröffentlichung eines gedruckten Brockhaus Bandes (September 2006 [37]) gerade einmal fünf Jahre, und kaum jemand würde heute bei der Suche nach Informationen als erstes daran denken ein gedrucktes, mehrbändiges Nachschlagewerk zu Rate zu ziehen. Vielmehr sind verschiedene, internetbasierte Suchmaschinen zur allerersten Anlaufstelle für die Recherche vielfältiger Sachverhalte geworden. Dieser veränderte Fokus findet sich natürlich auch in der technischen Produktentwicklung wieder, Informationsquellen außerhalb der klassischen, die bekannten Elemente starr aufzählenden Fachliteratur gewinnen auch hier zunehmend an Bedeutung. Von interaktiven Produktkatalogen über fachspezifische Know-How Datenbanken bis hin zu aktuellen Fotos und Videos bietet sich ein sehr breites Spektrum an online verfügbaren Quellen. Wenn die gesuchten Informationen jedoch sehr tief in einer Nische eines Fachbereiches angesiedelt sind ist es dennoch auch heute oft unumgänglich, physische Fachbücher auszuwerten. Ebenso ist bei online gefundenen Informationen grundsätzlich ein etwas höheres inhaltliches Misstrauen angebracht, da durch die unaufwendige, digitale Publikation einige der in klassischen Wissensquellen üblichen inhaltlichen Überprüfungsinstanzen ersatzlos wegfallen können und dadurch vermehrt nicht ausreichend belegte, möglicherweise irreführende Informationen publiziert werden.

Neben der einfachen, schnellen Auffindbarkeit unterschiedlichsten Wissens bringen vor allem die vielfältigen Methoden Inhalte miteinander zu verknüpfen und zu verbinden großen Mehrwert für den Benutzer digitaler Medien. Schon immer fanden sich viele Beispiele „verknüpften Wissens“ in der täglichen Arbeit von Wissenschaftlern und

## 1.2 Die Evolution der technischen Systementwicklung

Produktentwicklern, nur war es früher bedeutend mühsamer aus einer großen Anzahl verschiedenster Quellen die gesuchte Information zu extrahieren. Wenn es auch durch die rasche online Verfügbarkeit zahlloser Patente, wissenschaftlicher Publikationen und anderer Fachliteratur einfacher geworden ist, umfassendes Wissen zu einem Sachgebiet aufzubauen, ist es aufgrund der schier unüberblickbaren Menge an Dokumenten zunehmend schwierig und zeitaufwändig Relevantes von der Masse an Nebensächlichem und Irreführenden zu unterscheiden. Des Weiteren liegen diese Informationen oft in uneinheitlicher, nicht vergleichbarer Form vor und es muss einiges an Arbeitszeit investiert werden um diese für das jeweilige Projekt nutzbar zu machen. Ein Werkzeug, welches dabei unterstützt diese unterschiedlichsten Informationen zu clustern und darauf aufbauend effiziente Hilfestellung bei der Auswahl und Bewertung der möglichen Lösungsvarianten gibt hätte also großes Potential den Entwicklungsprozess zielgerichteter und schneller zu machen.

Um die aufwändige Wissensbeschaffung effektiver zu gestalten und wiederkehrende Fehler in ähnlichen Projekten zu vermeiden setzen viele Organisationen schon seit längerem auf den Aufbau interner „Know-How“ und „Lessons Learned“ - Wissensdatenbanken [43]. Auch wenn die Erstellung und das Betreiben einer solchen Datenbank durch die vom Internet angestoßenen Entwicklungen im Bereich der textbasierten Datenbanken heute einfach wie noch nie ist, erweisen sich diese, aufgrund Ihrer nach außen geschlossenen, ausschließlich auf das organisationsinterne Wissen zugreifenden Art, jedoch oft als wenig geeignet um wirklich innovative Lösungen für bekannte Aufgabenstellungen zu finden. Außerdem erfordert die Pflege dieser Datenbanken einen erheblichen Aufwand für die meist ohnehin unter hohem Zeitdruck arbeitenden Nutzer des Systems, was für dessen Akzeptanz und effektive Nutzung unvorteilhaft ist [57].

Sogenannte „Konstruktionskataloge“ (z.B. von Karlheinz Roth [40]) stellen eine Möglichkeit dar, vorhandenes Wissen über verschiedenste bekannte und bewährte Lösungen zu nutzen um methodisch zu einer zielführenden Ausgestaltung von Komponenten und Systemen zu gelangen. Diese ermöglichen es branchenübergreifend „einen Blick über den Tellerrand“ zu werfen und basierend auf den gewünschten (Teil-) Funktionen des Systems verschiedenste Ansätze zur Erfüllung der Anforderungen zu entwickeln. Leider erweist sich die Arbeit mit den bekannten Lösungskatalogen in der Praxis als relativ mühsam, da die Informationen in diesen meist in starren, gedruckten oder schwierig weiter zu verarbeitenden digitalen Formaten („PDF“) enthalten sind, und zur weiteren Verwendung entsprechend aus diesen heraus gelöst und weiter verarbeitet werden müssen. Außerdem ist es praktisch kaum möglich, diese Kataloge mit eigenem Wissen zu ergänzen bzw. diese immer aktuell auf dem letzten Stand der Technik zu halten.

Es zeigt sich, dass bereits einige Ansätze existieren um die Herausforderungen komplexer, anspruchsvoller Systementwicklung leichter beherrschbar zu machen, diese erweisen sich in der Praxis jedoch oft als sehr zeitintensiv in ihrer Benutzung und verfügen kaum über intelligente, automatisierte Verknüpfungen welche den Arbeitsablauf beschleunigen und übersichtlicher gestalten könnten.

### 1.3 Zielsetzung der Arbeit

In der hier vorliegenden Arbeit soll ein Konzept für einen modernen, datenbankbasierten Systementwicklungsbaukasten entstehen, welcher basierend auf den im Laufe der Arbeit definierten Anforderungen und den gewünschten Funktionen des Zielsystems bekannte Methoden der Variantenbildung implementiert, und diese um benutzerfreundliche, interaktive Möglichkeiten des Inhaltsmanagements und der Bewertung/Auswahl erweitert.

Je nach Branche, Projektumfang und Vorwissen zu der jeweiligen Thematik werden unterschiedliche Entwicklungsprozesse angewandt, welche trotz ihrer Verschiedenheit immer den eigentlichen Systementwurf als elementaren Bestandteil beinhalten. Um den Rahmen dieser Arbeit bewusst eng zu fassen, wird auf eine Betrachtung des gesamtgesellschaftlichen Systementwicklungsprozesses verzichtet, und der Fokus auf das Generieren, Vergleichen und Bewerten möglicher Lösungen für die zuvor definierte(n) Funktion(en) des Systems gelegt. Dieser Lösungsfindungsprozess ist fixer Bestandteil vieler Entwicklungsprozessmodelle, einige Beispiele dafür werden in Abschnitt 3.2 näher beleuchtet.

Der Systementwicklungsbaukasten soll es dem Nutzer ermöglichen, mit sehr geringem Zeitaufwand verschiedene Varianten zur Erfüllung der gewünschten Funktion zu erstellen, und diese dann auch anhand verschiedener Kriterien möglichst objektiv miteinander zu vergleichen. Ähnlich wie z.B. bei Wikipedia soll es dabei möglich sein fehlende Elemente unmittelbar zu ergänzen, falsche oder für den betrachteten Anwendungsfall unpassende Informationen zu editieren und diese dann auch für eine spätere Wiederverwendung bzw. für andere Nutzer zu speichern. So kann es gelingen, vorhandenes Wissen branchen- und kontinentsübergreifend nutzbar zu machen und zu vermehren, um schrittweise, kontinuierlich („Element für Element“) zu besseren, innovativeren Lösungen zu gelangen.

### 1.4 Aufbau der Arbeit

In Anlehnung an einen allgemeinen Problemlösungszyklus (siehe Abschnitt 2.2.1) wird die eigentliche Arbeit wie in Abb. 1.1 illustriert in fünf Blöcke unterteilt. Diese decken den gesamten Problemlösungszyklus von der Problemanalyse bis hin zur Beurteilung und Entscheidung der entwickelten Lösung ab.

Zuerst wird das Problem analysiert, indem einige derzeit gebräuchliche Systementwicklungsmethodiken und ihre Begrifflichkeiten näher beleuchtet werden. Um den aktuellen Stand der technischen Lösungsfindung abzubilden, werden aktuell bekannte und relevante Datenquellen und Werkzeuge in der mechatronischen Systementwicklung näher betrachtet.

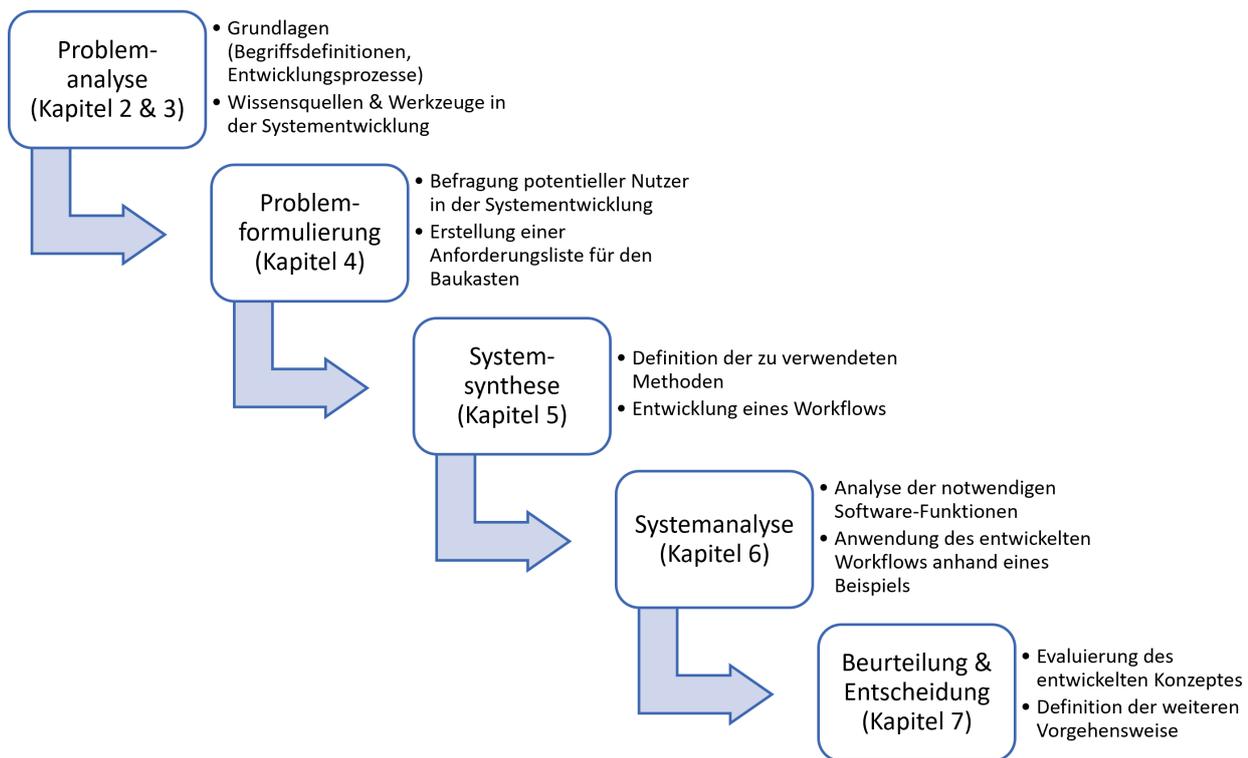


Abbildung 1.1: Der für diese Arbeit angepasste Problemlösungszyklus

Zur präzisen Formulierung des Problems werden die Wünsche und Erfahrungen einiger potentieller Nutzer in verschiedenen Branchen erhoben und ausgewertet, bevor eine ausführliche Anforderungsliste für den zu entwickelnden Baukasten erstellt wird.

Im Zuge der Systemsynthese werden die zu implementierenden Methoden der Variantenbildung und Bewertung ausgewählt sowie ein oder mehrere Wege (Workflows) um die Funktionen und Methodiken des Baukastens zu nutzen entwickelt.

In der anschließenden Systemanalyse werden die notwendigen Softwarefunktionen zur Abbildung der zuvor festgelegten Funktionalitäten ermittelt. Des Weiteren werden die zuvor entwickelten digitalen Arbeitsabläufe anhand einer einfachen Beispiel-Entwicklungsaufgabe exemplarisch durchlaufen.

Zuletzt wird das entwickelte Konzept anhand der Anforderungen und der Ergebnisse des exemplarischen Durchlaufs evaluiert um anschließend die Möglichkeiten des weiteren Vorgehens zu diskutieren.

## 1 Einleitung

## 2 Grundlagen

Durch eine Erläuterung der häufig verwendeten Begriffe und einen Überblick über gängige Produktentwicklungsprozesse wird hier das Fundament für alle weiteren Untersuchungen gelegt.

### 2.1 Begriffsdefinitionen

Um zu einem einheitlichen Verständnis über die häufig verwendeten Begriffe wie „Funktion“, „System“, „Anforderung“ und „Eigenschaft“ zu kommen, werden diese etwas näher umrissen. Dies ist umso wichtiger, da diese Begriffe häufig in verschiedensten Zusammenhängen verwendet werden und ihre Bedeutung je nach Umfeld unterschiedlich interpretiert werden kann. Auch in der Fachliteratur (z.B. [1], [2], [15], [19], [23], [24], [58], [31]) sind häufig verschiedene Interpretationen dieser Begriffe zu finden, weswegen es nötig ist diese im Rahmen dieser Arbeit klar abzugrenzen, auch wenn die hier verwendeten Definitionen zum Teil im Widerspruch zu anderen Literaturquellen stehen.

#### 2.1.1 Element

Als Element werden in weiterer Folge physische oder gedachte Objekte bezeichnet, die sich nicht sinnvoll in weitere Bestandteile zerlegen lassen, oder deren weitere Detaillierung in Unterelemente für die aktuelle Betrachtung keinen Mehrwert bringt. So kann z.B. eine Schraube durchaus noch in weitere Unterelemente wie das eigentliche Gewinde, den gewindelosen Schaft, den Schraubenkopf usw. aufgeteilt werden, jedoch führt eine zu detaillierte Fragmentierung in den meisten Entwicklungsaufgaben nur zu einer unnötigen, Ressourcen verbrauchenden Reduktion der Übersichtlichkeit. Wenn die Entwicklungsaufgabe jedoch lautet, eine neues, hochfestes, hochelastisches und zugleich möglichst leichtes Schraubverbindungselement z.B. für eine Raumfahrtanwendung zu konzipieren ist es wohl unumgänglich in allen Details einer Schraube nach Potentialen zur Verbesserung der Eigenschaften zu suchen. In vielen Entwicklungsstadien oder bei bewusst oberflächlichen Betrachtungen kann sogar die Verwendung des Elements „Schraube“ schon zu ausführlich sein und die Lösungsfindung unnötig einschränken. Hier kann es vorteilhaft sein einfach nur ein „Verbindungselement“ vorzusehen, und in

## 2 Grundlagen

einer späteren Detaillierungsphase zwischen den verschiedenen bekannten Möglichkeiten z.B. der Niet- oder Schraubverbindung die für den betrachteten Anwendungsfall am besten geeignetste auszuwählen.

### 2.1.2 System

Unter einem System wird ein funktionsfähiger Verbund von Elementen verstanden, welche gemeinsam eine von Einzelementen nicht erfüllbare Aufgabe bewältigen können. Diese werden mithilfe einer sinnstiftenden Abgrenzung zur Umgebung zu einer Gruppe zusammengefasst, und stehen über eine gedachte Systemgrenze mit ihrer Umgebung im Austausch. Eine solche Gruppe wird in weiterer Folge oft als Subsystem bezeichnet, und kann wiederum im Verbund mit anderen Subsystemen zu einem Gesamtsystem zusammengefasst werden. Der Austausch mit der Umgebung des Systems kann dabei stofflicher, energetischer und/oder informations-basierter Natur sein, und kann weiter in Eingangs- und Ausgangsgrößen des Systems unterteilt werden. Typische Eingangsgrößen für eine Verbrennungskraftmaschine (VKM) wären z.B. Kraftstoff und Umgebungsluft (stofflicher Eingang) sowie das vom Nutzer gewünschte Drehmoment (Informationseingang), die dazu gehörigen Ausgangsgrößen wären Abgase (stofflich), mechanische Leistung, Vibrationen, Schallwellen und Abwärme (energetisch), sowie die aktuelle Drehzahl (Information). Je nach Aufgabenstellung der Betrachtung, können die Systemgrenze und die über deren Grenze fließenden Übertragungen nahezu beliebig festgelegt werden, so könnte man z.B. den Kühlkreislauf bei entsprechend oberflächlicher Betrachtung als Element des Systems VKM behandeln, oder aber als eigenständiges System mit separaten Elementen und entsprechenden Schnittstellengrößen benennen. Wie in vielen analytischen Betrachtungen gilt auch bei der Definition des Zielsystems und seiner Ein- und Ausgangsgrößen: So grob wie möglich, so genau wie nötig.

Das Verhalten von technischen Systemen kann wie folgt beschrieben werden: Durch das abgestimmte Zusammenspiel der verschiedenen Systemelemente sollen die gewünschten Ausgangsgrößen basierend auf den vorhandenen Eingangsgrößen generiert werden. Der Zusammenhang zwischen Systeminput und Output ist dabei sehr oft komplex, und kann nur durch entsprechende Anordnung und Verknüpfung der einzelnen Elemente im Inneren des Systems erreicht werden. Von außen betrachtet werden (Sub)Systeme gerne als „Black Box“ vereinfacht dargestellt, und können in weiterer Folge wie ein einzelnes Element mit entsprechenden Schnittstellen behandelt werden. Dabei ist es von großer Bedeutung, auch unbeabsichtigte Ausgangsgrößen und Auswirkungen des Systemverhaltens gezielt zu beachten. So sind z.B. Abgase und Lärm/Vibrationen meist keine gewünschten Ausgangsgrößen, dennoch müssen sie bei der Analyse der Auswirkungen des Systems VKM auf seine Umgebung unbedingt Berücksichtigung finden.

### 2.1.3 Anforderung

Anforderungen beschreiben die Gesamtheit aller an das zu entwickelnde System gestellten Erwartungen und Ansprüche. Eine *Anforderungsliste* ist eine formalisierte, möglichst lösungsneutrale, unmissverständlich und objektiv quantifizierbare Ansammlung von Merkmalen und Ausprägungen die das Zielsystem erfüllen soll. Diese bildet die Grundlage heutiger Entwicklungsaufgaben. Um die Lösungsfindung nicht unnötig einzuschränken ist es jedoch vorteilhaft, diese Kriterien vor allem zu Beginn der Entwicklung nicht zu eng und zu detailliert zu setzen. In Abschnitt 3.1.1 wird näher auf die Erstellung und Inhalte dieses zentralen Dokumentes eingegangen.

Innerhalb der Anforderungen können verschiedene Unterscheidungen vorgenommen werden, und zwar beispielsweise einerseits hinsichtlich des Stellenwerts der Anforderungen, und andererseits hinsichtlich deren Quantifizier- und Verifizierbarkeit. Die Bedeutung der Anforderungen kann z.B. von unbedingt notwendigen Kriterien bis hin zu optionalen, nur ohne Mehraufwand umzusetzenden Wünschen reichen. Auch die Möglichkeiten diese Anforderungen in einfach überprüfbar Zahlen auszudrücken kann häufig sehr stark variieren. So können diese, um beim System VKM zu bleiben, von eindeutig, objektiv überprüfbar Leistungskennwerten wie z.B. dem maximalen Drehmoment bei einer bestimmten Motorendrehzahl bis hin zu schwer validierbaren, sehr auf subjektivem Empfinden beruhenden Wünschen wie „der Motor soll sich sportlich-spritzig anfühlen“ reichen.

Eine weitere Möglichkeit innerhalb der Anforderungen eine Unterteilung vorzunehmen ist die Gliederung in zu erfüllende Funktionen (siehe Abschnitt 2.1.4) und in diese näher beschreibende Funktions-Spezifikationen (siehe Abschnitt 2.1.5). Dabei beschreibt die Funktion wertfrei „was zu tun ist“ während die Spezifikation dieses „was“ konkretisiert und quantifiziert.

### 2.1.4 Funktion

Im technischen Kontext versteht man unter einer Funktion die Aufgabe oder den Zweck eines Elements, eines Subsystems oder des Gesamtsystems. Meist können Funktionen ähnlich wie mathematische Funktionen als der Zusammenhang einer oder mehrerer Eingangsgrößen mit der oder den sich daraus ergebenden Ausgangsgröße(n) beschrieben werden. Die Ein- und Ausgangsgrößen können dabei ebenso wie bei Systemen/Elementen stofflicher, energetischer und/oder informations-basierter Natur sein (siehe dazu auch Abb. 2.1). Funktionen werden häufig aus einer Kombination von Nomen und Verben beschrieben, z.B. „Energie wandeln“, oder anhand des Beispiels VKM unter der Einbeziehung von Adjektiven: „chemische Energie in mechanische Energie wandeln“.

Wie auch bei Systemen und Elementen kann die Betrachtung der Funktionen auf verschiedensten Ebenen vom Groben bis ins Detail erfolgen und die sinnvolle Auflösung der Betrachtung hängt stark vom Zweck der Untersuchung ab. Der Zusammenhang

## 2 Grundlagen

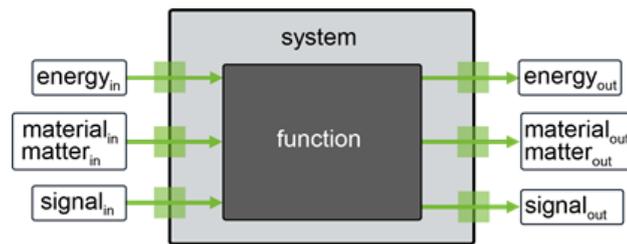


Abbildung 2.1: In einem System eingebettete Funktion mit Ein- und Ausgangsgrößen [24]

zwischen Funktionen und Systemen/Elementen kann auf vielfältiger Art und Weise gegeben sein, so kann eine Funktion oft wahlweise von mehreren, verschiedenartigen Elementen unabhängig voneinander übernommen werden, oder aber es sind mehrere zu einem (Sub)System zusammengefasste Elemente nötig um diese zu erfüllen. Von der anderen Seite betrachtet, kann ein Element in seinem System ebenso nur eine, oder aber mehrere Funktionen zugleich übernehmen.

Je nach gewählter Betrachtungsweise und Ebene der Systemhierarchie kann außerdem eine Unterscheidung in Haupt-, Neben- oder Teilfunktionen getroffen werden, wobei es für einen erfolgreichen Entwicklungsprozess essentiell ist auch unerwünschte Nebenfunktionen wie z.B. das Erzeugen von Vibrationen und Schallwellen in seine Überlegungen miteinzubeziehen. Viele technische Innovationen fußen darauf, entweder zusätzliche Funktionen kostenneutral von bereits vorhandenen Elementen mit erfüllen zu lassen, oder aber darauf eine komplexe Funktion auf mehrere sehr einfache, kostengünstige Elemente aufzuteilen. Die Funktionsbetrachtung (siehe auch 3.2.1) von Elementen und ihrer (möglichen) Funktionen ist also immer sehr stark von dem sie umgebenden System bzw. dessen Funktionen und Eigenschaften abhängig und sollte keinesfalls als starr und unveränderlich behandelt werden.

### 2.1.5 Funktions-Spezifikationen

Funktions-Spezifikationen liefern zusätzliche Information darüber, wie die gewünschten Funktionen des Zielsystems zu erfüllen sind. Sie dienen der Konkretisierung und Quantifizierung der zu erfüllenden Aufgabe und setzen sich meist aus einem Merkmal und der gewünschten Ausprägung dieses Merkmals zusammen. So können Spezifikationen des Systems VKM z.B. lauten, dass die maximal abgegebene mechanische Leistung (Merkmal) mindestens 100 kW (Ausprägung) betragen muss und die ausgestoßenen Abgase (Merkmal) den gesetzlichen Anforderungen entsprechen (Ausprägung). Spezifikationen lassen sich meist auf Kundenwünsche, gesetzliche Vorgaben oder intern festgelegte Entwicklungsziele zurückführen und werden auch im weiteren Entwicklungsprozess als Referenz für die Verifizierung und Validierung des entstehenden Systems herangezogen.

### 2.1.6 Eigenschaft

Die Eigenschaften eines Elementes oder Systems geben Auskunft über dessen Beschaffenheit bzw. definieren sie sein Verhalten, also wie es seine Funktion(en) erfüllt. Auch sie setzen sich aus Merkmalen und entsprechenden Ausprägungen zusammen. Mögliche Merkmale einer VKM wären z.B. deren Leistung, deren Abgasemissionen, deren Produktionskosten und so weiter. Vielfach finden sich hier die selben Parameter wie in den Funktions-Spezifikationen, welche im Prinzip die „Soll-Eigenschaften“ darstellen, während die Eigenschaften entweder das erwartete oder das tatsächlich vorhandene Verhalten des Elements/Systems beschreiben. In frühen Phasen eines Entwicklungsprozesses ist häufig noch wenig über das tatsächliche Systemverhalten bekannt, während dank der Anforderungen ein relativ gutes Verständnis davon vorhanden ist, wie es am Ende der Entwicklung sein sollte. Im Laufe des Entwicklungsprozesses kehrt sich dieses Verhältnis meist um. Mit fortschreitender Konkretisierung des Systems werden immer mehr Eigenschaften der gewählten Systembausteine bekannt, bis das Wissen über das tatsächlich ausgeführte System jenes über das gewünschte Systemverhalten bei weitem übersteigt. Deshalb ist es unabdingbar, die erwarteten Systemeigenschaften kontinuierlich während des Entwicklungsprozesses mit den Spezifikationen zu vergleichen um etwaige Abweichungen frühest möglich zu erkennen und entsprechend gegensteuern zu können.

Wie Anforderungen, können auch Eigenschaften sich hinsichtlich ihrer Wichtigkeit und Quantifizierbarkeit stark unterscheiden. So kann z.B. die Energie-Effizienz für einen Rennmotor von eher untergeordneter Bedeutung sein, während diese für einen stationären Stromgenerator von sehr großer Bedeutung ist. Genau umgekehrt verhält es sich bei den beiden zuvor genannten Beispielen mit der Leistungsdichte des Motors.

### 2.1.7 Zusammenfassung der Begriffsdefinition

- **Elemente** sind physische oder gedachte, eine Funktion erfüllende Einheiten, deren weitere Unterteilung für die aktuelle Betrachtung keinen Mehrwert bringt.
- **Systeme** sind gegenüber ihrer Umgebung abgrenzbare Ansammlungen von Elementen, deren Gesamtverhalten durch das Zusammenspiel seiner Elemente bestimmt wird.
- **Anforderungen** beschreiben die Gesamtheit der an das System gestellten Erwartungen und Ansprüche.
- **Funktionen** beschreiben was das Element/System bezweckt oder bezwecken soll.
- **Funktions-Spezifikationen** konkretisieren und quantifizieren die zu erfüllenden Funktionen.
- **Eigenschaften** beschreiben wie das Elemente/System sich tatsächlich verhält, häufig durch eine Kombination von Merkmalen und Ausprägungen.

# 2.2 Übersicht bekannter Produktentwicklungsprozesse

Auch wenn der Fokus dieser Arbeit auf der Variantenbildung und deren Bewertung liegen soll, ist es notwendig ein Grundverständnis für den Gesamt Ablauf eines Entwicklungsprozesses zu haben. Deshalb werden hier einige der im Maschinenbau verbreiteten Methodiken und die zugrunde liegenden Gedankengänge beispielhaft näher beleuchtet, ohne auf die tatsächlich zum Einsatz gebrachten Werkzeuge in den einzelnen Phasen einzugehen. Einige der für diese Arbeit relevanten Werkzeuge in der Systementwicklung werden in Abschnitt 3.2 näher beleuchtet.

## 2.2.1 Grundlegende Vorgehensweisen

Da einige grundlegende Betrachtungsweisen und Vorgehensweisen in verschiedenen Produktentwicklungsprozessen entweder direkt oder in angepasster Form zur Anwendung kommen, werden diese hier kurz näher umrissen.

### Problemlösungszyklus

Im Zuge eines Entwicklungsprozesses muss stets auch eine Vielzahl an unterschiedlichsten Problemstellungen gelöst werden. Dies lässt die Anwendung oder Anpassung eines allgemeinen Problemlösungsprozesses in der Systementwicklung naheliegend erscheinen. Nach Haberfellner et al. [23] besteht dieser im wesentlichen aus sechs Phasen, welche das methodische und strukturierte Lösen verschiedenster Aufgaben ermöglichen:

- **Problemanalyse:** Beschaffung möglichst vieler Zusatzinformationen über Aufgabe, Umgebungsbedingungen, mögliche Lösungen, etc.
- **Problemformulierung:** Präzisieren des eigentlichen Problems, Fokus auf den eigentlichen Wesenskern der Aufgabe
- **Systemsynthese:** Erarbeiten möglicher Lösungswege und Konkretisieren vorhandener Lösungsideen, Fokus auf Vielfalt möglicher Lösungen
- **Systemanalyse:** Analysieren der Lösungsansätze hinsichtlich ihrer Eigenschaften, Fokus auf wertfreies Verständnis
- **Beurteilung:** Bewertung der Lösungsansätze unter Berücksichtigung der an das System gestellten Anforderungen
- **Entscheidung:** Festlegen des weiteren Vorgehens: Wahl einer weiter zu verfolgenden Variante, Neustart des Zyklus mithilfe der zusätzlich gewonnenen Informationen, oder gar Abbruch des Vorhabens

Eine leicht abgewandelte und erweiterte Variante des allgemeinen Problemlösungszyklus findet wie in Abb. 2.2 dargestellt unter anderem in der VDI 2206 Verwendung.

## 2.2 Übersicht bekannter Produktentwicklungsprozesse

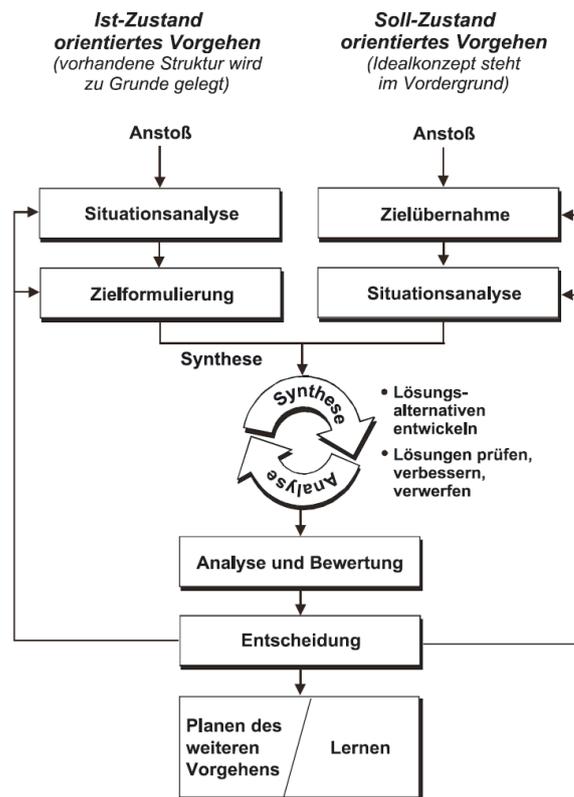


Abbildung 2.2: Problemlösungszyklus der VDI 2206 [1]

### Strukturierung und Aufgliederung

Um große und komplexe Aufgabenstellungen effizient und zielgerichtet lösen zu können, ist es unumgänglich sie möglichst früh in überschaubare Teil- und Einzelprobleme zu zerteilen. Auf diese Weise ist es möglich zeitsparend parallel an mehreren Teilproblemen zu arbeiten, um anschließend die Teillösungen wieder zu einem System zusammenzuführen. Dieses Prinzip wird in der der VDI 2221 mithilfe der in Abb. 2.3 dargestellten Grafik verdeutlicht.

### Vom Groben ins Detail

Für sehr viele Aufgabenstellungen und Probleme hat sich das Vorgehen „Vom Groben ins Detail“ als nützliche Herangehensweise herausgestellt. Dabei werden anfangs bewusst abstrakt und oberflächlich die allgemeinen Zusammenhänge geklärt, bevor in den danach folgenden Phasen immer tiefer liegende Aspekte des Systems konkretisiert und im Detail ausgearbeitet werden. Häufig wird diese Herangehensweise mit der „Bottom-Up“ Methode kombiniert, welche das System in entgegengesetzter Richtung von einfachen, grundlegenden Elementen aufbauend hin zu größeren und komplexeren Strukturen entstehen lässt.

## 2 Grundlagen

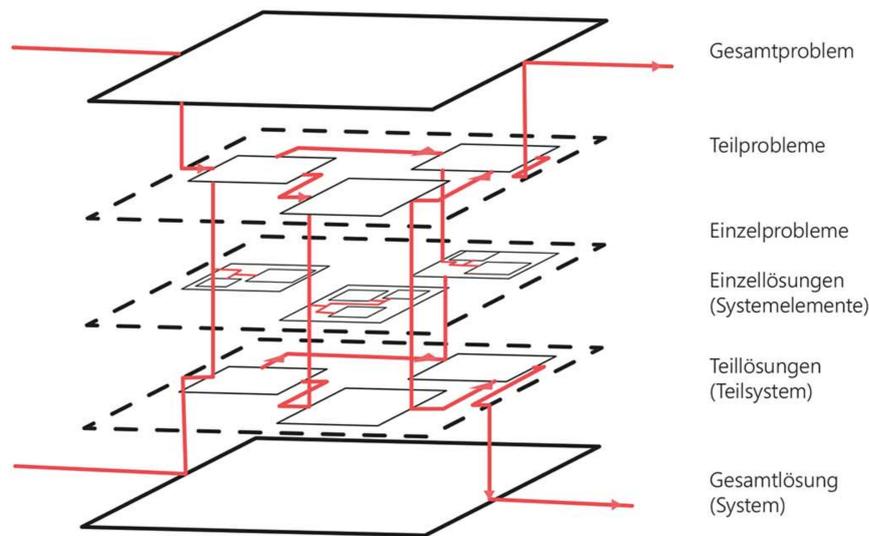


Abbildung 2.3: Methode der Aufgliederung und Verknüpfung zur Problem- und Systemstrukturierung nach VDI 2221 [2]

### 2.2.2 Methodik zur Entwicklung und Konstruktion nach VDI 2221

Die Methodik der VDI Richtlinie 2221 beinhaltet Elemente aller drei zuvor genannten grundlegenden Vorgehensweisen und verbindet diese in einer allgemein anwendbaren Struktur. Das Vorgehen wird dabei wie in Abb. 2.4 dargestellt in sieben Abschnitte gegliedert, welche je nach Aufgabenstellung teilweise, vollständig, oder auch mehrmals durchlaufen werden. In jedem der sieben Abschnitte kommen Auswahl- und Entscheidungsprozesse zur Anwendung, welche bei unüberwindbaren Abweichungen von den Entwicklungszielen ein Zurückspringen zu einem der vorigen Abschnitte erfordern.

1. Das Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung liefert als Arbeitsergebnis eine *Anforderungsliste*, welche für das gesamte nachfolgende Projekt als Referenz dient und stets aktuell zu halten ist.
2. Die Ermittlung der Funktionen und ihrer Strukturen ermöglicht deren Kombination und Gliederung in nachvollziehbare *Funktionsstrukturen*, diese werden entweder in Textform, in formaler Sprache oder in Form eines Schaltplanes beschrieben.
3. Die Suche möglicher Lösungsprinzipien auf Basis physikalischer, chemischer oder anderer Effekte liefert die Grundlage zur entsprechenden Anordnung und Verknüpfung der Lösungsmöglichkeiten. Für die einzelnen Teilfunktionen des Systems ergeben sich unterschiedliche *prinzipielle Lösungen*. Diese können als Prinzipskizzen, graphische Modelle, oder in Textform dargestellt werden.
4. Um das System in realisierbare Strukturen zu gliedern werden die Prinziplösungen anschließend in *modulare Strukturen* zerteilt, welche die tatsächlichen Lösungselemente mit ihren Verbindungen und Schnittstellen zueinander abbilden.
5. Durch die prinzipielle Gestaltung der maßgebenden Module entstehen *Vorentwürfe*, welche mittels grober maßstäblicher Zeichnungen, 3D-Modellen, Stromlaufplänen oder anderen zweckmäßigen Methoden dargestellt werden.

## 2.2 Übersicht bekannter Produktentwicklungsprozesse

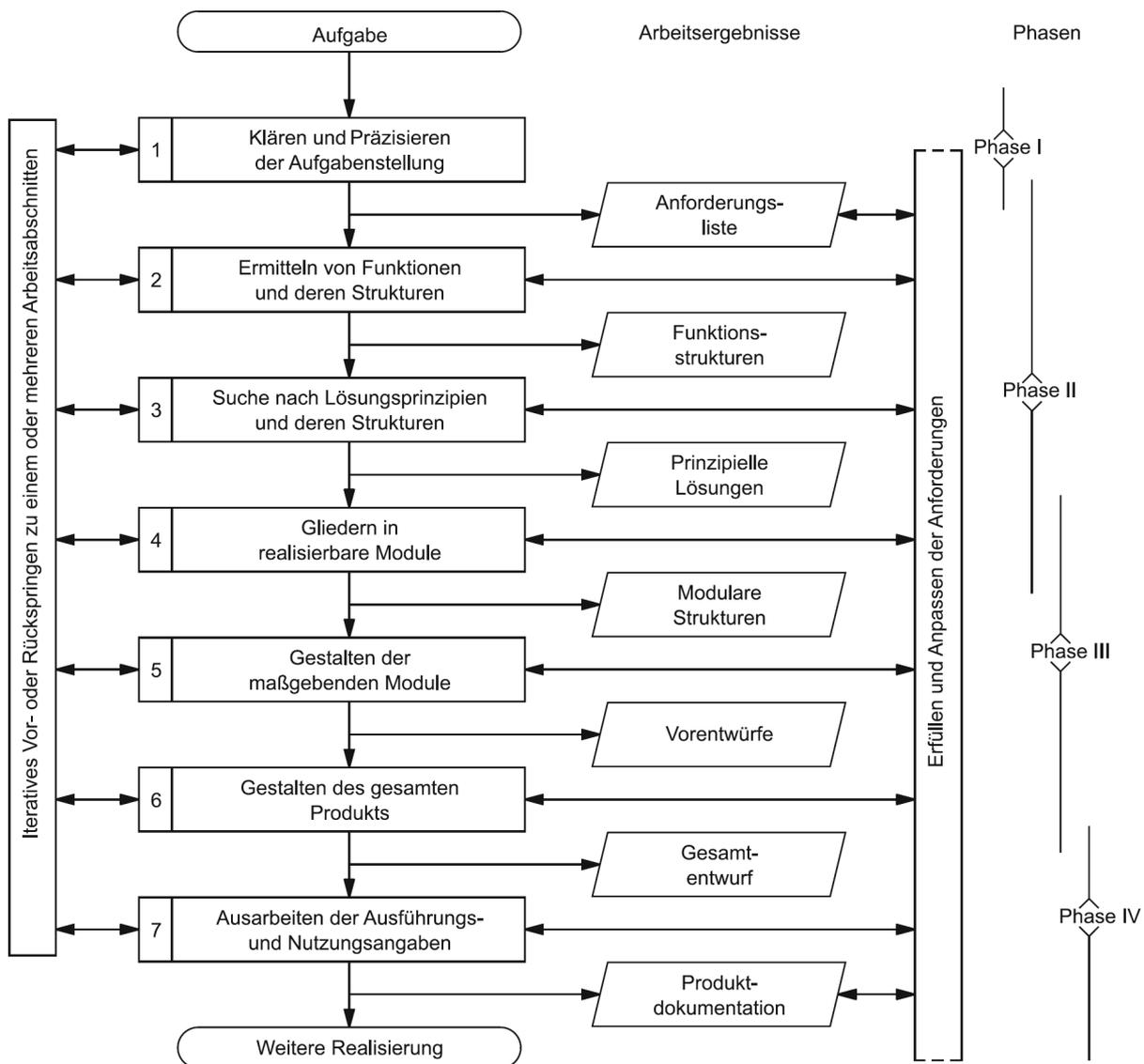


Abbildung 2.4: Generelles Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren nach VDI 2221 [2]

6. Der **Gesamtentwurf** entsteht danach durch detailliertes Ausarbeiten aller Lösungsdetails, erforderlicher Schnittstellen etc. und liegt meistens in der Form von maßstäblichen Zeichnungen, 3D-Modellen, Schaltplänen und Stücklisten vor.
7. Mit dem Erstellen der Ausführungs- und Nutzungsangaben entsteht schließlich die **Produktdokumentation**, welche Hinweise zu Inbetriebnahme, Bedienung, Wartung, Sicherheit usw. beinhaltet.

In jedem der sieben Abschnitte kommt es zur Bildung von Varianten und einer Bewertung der bekannten Möglichkeiten um die jeweilige Aufgabe zu lösen. Sollte keine der bekannten Varianten in der Lage sein die Anforderungen zu erfüllen, können einzelne oder mehrere Abschnitte bei Bedarf öfter durchlaufen werden, um sich den gewünschten Systemeigenschaften iterativ anzunähern.

## 2 Grundlagen

Außerdem beinhaltet die VDI 2221 Beispiele detaillierterer Vorgehensmodelle für Entwicklungsaufgaben mit hoher Komplexität oder auch für bestimmte Zielanwendungen, das Grundprinzip der häufigen Variantenbildung und Bewertung in flexibel aufeinander folgenden oder sich auch wiederholenden Abschnitten kommt in diesen ebenfalls zur Anwendung.

### 2.2.3 Der Produktentstehungsprozess nach Pahl/Beitz

Der Produktentstehungsprozess (PEP) nach Pahl/Beitz [19] besteht ähnlich wie Methodik der VDI 2221 aus einer Reihe von nacheinander ablaufenden Phasen. Da diese Abschnitte sich inhaltlich zu großen Teilen mit den Abschnitten der VDI 2221 überschneiden, wird auf diese hier nicht näher eingegangen. In Abb. 2.5 sind diese Phasen gemeinsam mit den sie häufig begleitenden weiteren Prozessen zur Steuerung und Absicherung des PEP dargestellt. Auch hier sind Wiederholungen und Iterationsschleifen möglich, um auch bei anspruchsvollen Aufgaben die Projektziele zu erreichen.

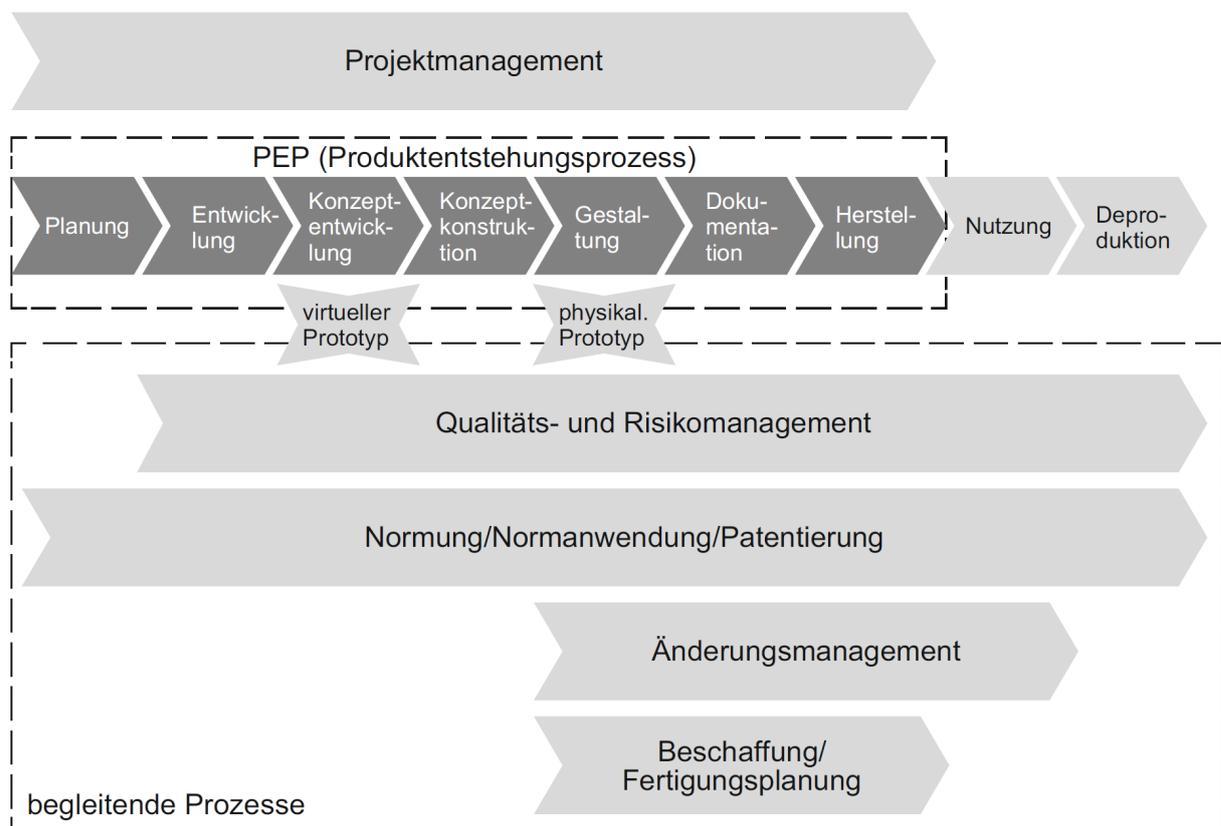


Abbildung 2.5: Der PEP mit begleitenden Prozessen nach Pahl/Beitz [19]

Eine weitere von Pahl/Beitz beschriebene Sichtweise auf den PEP gliedert diesen in drei Hauptabschnitte:

## 2.2 Übersicht bekannter Produktentwicklungsprozesse

1. Die Festlegung des **Was**: Beschreibung und Konkretisierung der Aufgabe
2. Die Festlegung des **Wie**: Festlegung der zu nutzenden physikalischen Effekte, Systemelemente und Verbindungen
3. Die Festlegung des **Womit**: Makro- und Mikrogestaltung des Systems und aller Komponenten

Obwohl der PEP nach Pahl/Beitz also ein sehr hohes Maß an Flexibilität und verschiedene mögliche Betrachtungsweisen unterstützt, sind auch hier die Variantenbildung und Bewertung immer unverzichtbare, regelmäßig wiederkehrende Prozessschritte.

### 2.2.4 Wasserfallmodell

Das Wasserfallmodell ist eines der ältesten Vorgehensmodelle in der Systementwicklung, sein Name wurde von der einem Wasserfall ähnelnden, kaskadierten Anordnung der Projektphasen abgeleitet. Das Ergebnis einer Phase ist jeweils die Grundlage für die darauf folgende Phase, sodass sich ein linear verlaufender „Top Down“ Entwicklungsprozess ergibt. Um diese starre Prozessführung flexibler und leistungsfähiger zu gestalten, wurde das Modell wie in Abb. 2.6 gezeigt um die Möglichkeiten des Zurückspringens zu einer beliebigen vorherigen Phase ergänzt. Die dadurch durchführbaren Iterationsschritte können zu einer besseren Lösung führen, oder das Erreichen der Projektziele überhaupt erst möglich machen.

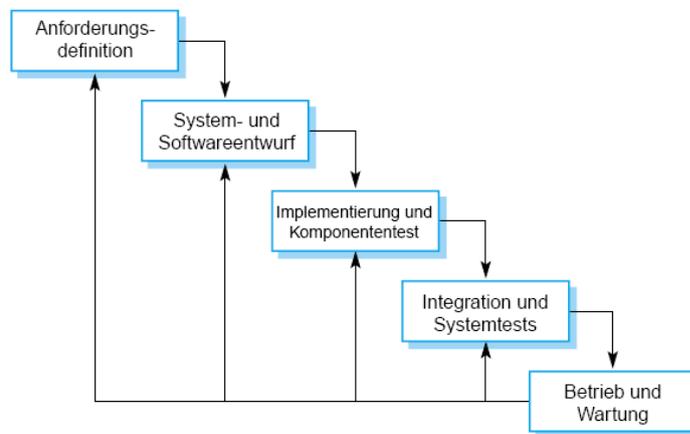


Abbildung 2.6: Das erweiterte Wasserfallmodell mit Iterationen [47]

### 2.2.5 Vorgehensmodell nach VDI 2206

Das flexible Vorgehensmodell der VDI Richtlinie 2206 [1] stützt sich im Wesentlichen auf drei Säulen:

1. Ein allgemeiner Problemlösungszyklus in der Mikroebene

## 2 Grundlagen

2. Das V-Modell auf der Makroebene
3. Vordefinierte Prozessbausteine für wiederkehrende Schritte

Da der allgemeine Problemlösungszyklus bereits in Abschnitt 2.2.1 vorgestellt wurde, wird auf diesen hier nicht nochmals näher eingegangen. Dieser findet in vielen Detail-Fragestellungen seine Anwendung.

### Das V-Modell

Das V-Modell kann als ein erweitertes Wasserfallmodell betrachtet werden, bei dem die Entwicklungsphasen des Wasserfallmodells um die zeitlich nachfolgenden Phasen der Systemintegration und Absicherung ergänzt wurden. Auf dem linken Ast des V-Modelles steigt mit zunehmender Tiefe auch die Auflösung der Betrachtung, vom Gesamtsystem und dessen Anforderung hin zu Subsystemen und deren spezifischer Anforderungen bis hin zur einzelnen Komponente und deren Aufgaben. Sind auf der domänenspezifischen Ebene dann geeignete Lösungsbausteine gefunden, werden diese auf dem rechten Ast des „V“ von Komponente zu Subsystem hin zum Gesamtsystem zusammengefügt. Hierbei werden auf jeder Ebene laufend Maßnahmen zur Absicherung der Eigenschaften getroffen, was bedeutet die tatsächlichen Eigenschaften der Komponenten/Subsysteme oder des Gesamtsystems mit den Anforderungen gegenüber zu stellen.

In der VDI 2206 wurde, wie in Abb. 2.7 ersichtlich, des weiteren noch der begleitend ablaufende Prozess der Modellbildung und Analyse vorgesehen, welcher die immer größere Bedeutung rechnergestützter Modelle und Simulationen berücksichtigt.

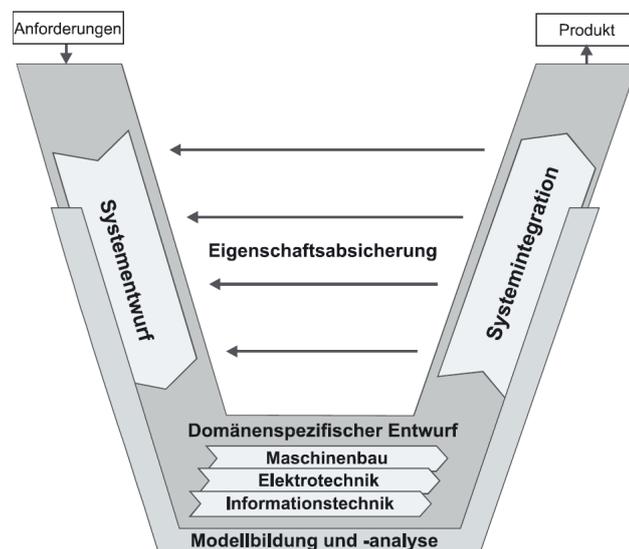


Abbildung 2.7: Das V-Modell als Makrozyklus gemäß VDI 2206 [1]

In umfangreichen Projekten wird der Makrozyklus des V-Modells nicht nur einmal, sondern wie in Abb. 2.8 dargestellt mehrfach mit zunehmendem Konkretisierungsgrad durchlaufen. Das Ergebnis des ersten Durchlaufes kann daher oft auch nur ein theoretisch

## 2.2 Übersicht bekannter Produktentwicklungsprozesse

taugliches Gesamtkonzept sein, welches in darauf folgenden Durchläufen zunehmend verfeinert wird bis am Ende ein produktionsreifes und ausreichend abgesichertes System entsteht.

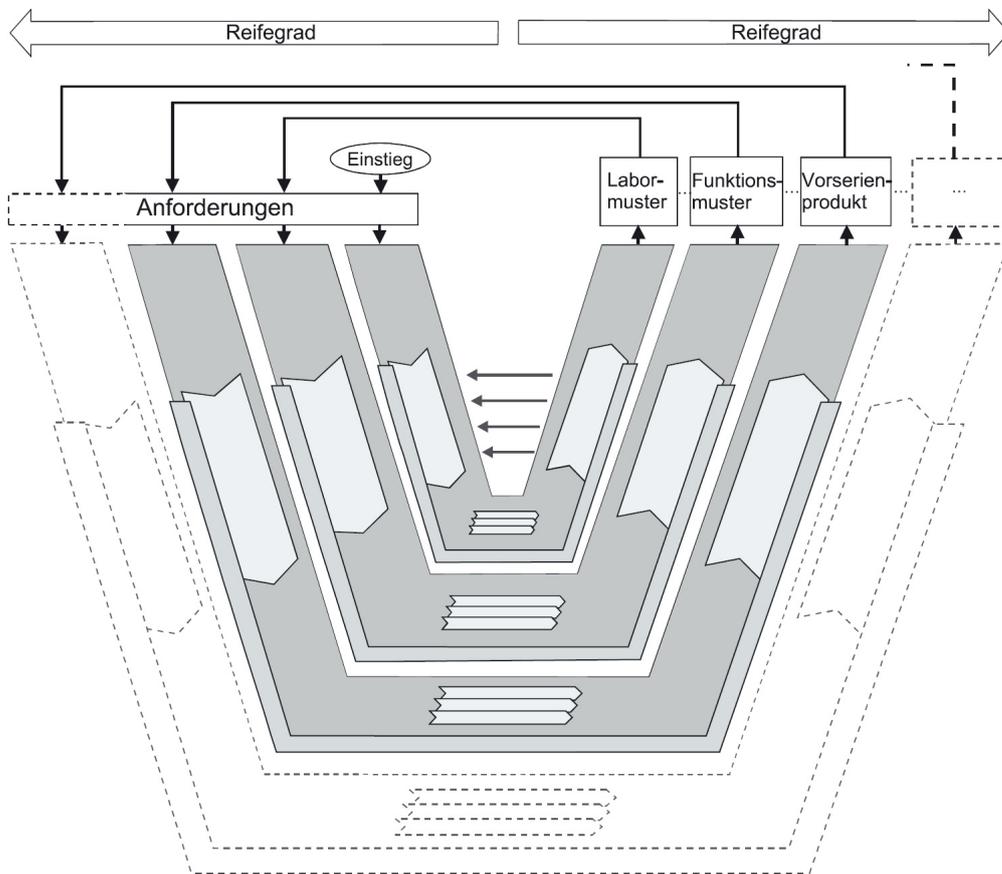


Abbildung 2.8: Das mehrmalige Durchlaufen des Modells mit zunehmender Produktreife nach VDI 2206 [1]

Die alle Phasen begleitende Eigenschaftsabsicherung (Vergleich der bisher bekannten Systemeigenschaften mit den Anforderungen) ist auch in diesem Vorgehensmodell integral, um das Erreichen der Projektziele sicherzustellen. Sollten die Anforderungen an das System zu irgendeinem Zeitpunkt des Entwicklungsprozesses nicht mehr erreichbar erscheinen, kann auch hier in frühere Abschnitte zurück gesprungen werden um sich iterativ an eine taugliche Lösung heranzutasten.

### Prozessbausteine

Die VDI 2206 enthält folgende vordefinierte Prozessbausteine zur Bearbeitung wiederkehrend auftretender Teilschritte in der Entwicklung mechatronischer Systeme:

- Systementwurf
- Modellbildung und -analyse

## 2 Grundlagen

- Domänenspezifischer Entwurf
- Systemintegration
- Eigenschaftsabsicherung

Diese Prozessbausteine enthalten ihrerseits definierte Vorgehensmodelle um die jeweilige Aufgabenstellung methodisch und strukturiert zu bearbeiten. Einige der dabei zur Anwendung kommenden Techniken wurden in den vorangegangenen Prozessbeschreibungen bereits umrissen, oder werden noch in Abschnitt 3.2 näher erläutert. Darum wird an dieser Stelle auf eine detaillierte Darstellung der Bausteine verzichtet.

Es zeigt sich, dass auch die VDI 2206 an vielen Stellen eine Bildung von Varianten und eine Bewertung eben dieser erfordert, ähnlich wie es bereits in den zuvor besprochenen Produktentwicklungsprozessen der Fall war.

### 2.2.6 Wertanalyse nach EN 12973

Ähnlich wie die zuvor genannten Vorgehensmodelle, teilt auch der Wertanalyse-Arbeitsplan nach EN 12973 [15] den Entwicklungsprozess in nacheinander ablaufende Phasen ein:

0. Vorbereitungsphase
1. Projektdefinition
2. Planung
3. Datensammlung
4. Funktionenanalyse
5. Ideensammlung
6. Bewertung von Lösungen
7. Entwicklung von Vorschlägen
8. Präsentation der Vorschläge
9. Realisierung

Auch diese Phasen haben inhaltlich große Überdeckungen mit den in der VDI 2221 ablaufenden Abschnitten, sind jedoch erweitert um einige Elemente des Projektmanagements (Projektdefinition, Planung, usw.). Die Bildung von Varianten findet hier vor allem in der fünften Phase statt, gefolgt von der Bewertung in der sechsten Phase.

### 2.2.7 Zusammenfassung der bekannten Entwicklungsprozesse

Die für moderne mechatronische Entwicklungsprojekte relevanten Vorgehensmodelle wie zum Beispiel der Entwicklungs- und Konstruktionsprozess (EKP) von Pahl/Beitz [19] beinhalten meist folgende Teilaufgabenstellungen in leicht unterschiedlichen Ausprägungen:

1. Präzisieren der Aufgabenstellung, Bestimmung der Anforderungen
2. Funktionale Betrachtung, Gliederung in realisierbare (Teil-)Systeme

## 2.2 Übersicht bekannter Produktentwicklungsprozesse

3. Erarbeitung plausibler, möglichst vielfältiger Lösungsansätze
4. Bewertung vorhandener Konzepte und Entscheidung des weiteren Vorgehens

Die tatsächliche Ausgestaltung des Systems wird dabei vor allem in der dritten und vierten Teilaufgabenstellung festgelegt, dementsprechend sind diese maßgeblich für den Erfolg des Produktes. Gleichzeitig beinhalten jedoch auch diese Phasen die größten Unsicherheiten und werden bisher kaum von entsprechenden Softwarelösungen unterstützt. Ein "Funktionsbaukasten", welcher für viele der im Maschinenbau typischen Funktionen prinzipielle Lösungsbausteine mit ihren relevanten Eigenschaften enthält, könnte also sowohl die Varianten-Diversität erhöhen als auch die Qualität der Bewertung verbessern. Des weiteren könnte im Entwicklungsprozess auch noch Recherche- und Daten-Aufbereitungszeit eingespart werden, um so in kürzerer Zeit zu besseren Lösungen zu führen.

## 2 Grundlagen

## 3 Wissensquellen und Werkzeuge in der Systementwicklung

In diesem Kapitel wird ein Überblick der am weitesten verbreiteten und gebräuchlichsten Bestandteile technischer Systementwicklung geschaffen. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der Variantenbildung und Bewertung komplexer mechatronischer Systeme. Je nach Branche und Komplexität der Aufgabenstellung werden unterschiedlichste Werkzeuge und Wissensquellen verwendet um zu den gewünschten Ziel-Systemeigenschaften zu gelangen. Dabei ist das Ergebnis einer jeden Entwicklung sehr stark von dem im Projekt verwertbaren Wissen und den verwendeten Werkzeugen abhängig. Ungleiche Teams mit unterschiedlichem Vorwissen und verschiedenen Werkzeugen werden eine identische Entwicklungsaufgabe mit großer Wahrscheinlichkeit auf verschiedene Art lösen. Welches Wissen im Entwicklungsprozess zur Verfügung steht, und auf welche Art und Weise dieses Wissen genutzt und erweitert wird ist also entscheidend für das Zielsystem. Zum Teil ist eine klare Unterscheidung zwischen Werkzeug und Wissensquelle nicht möglich, so beinhalten z.B. Konstruktionskataloge sowohl umfassende Daten zu möglichen Ausführungen als auch Vorgehensmodelle um diese sinnvoll zu verwenden. Die hier vorgenommene Einteilung ist daher subjektiv, und bemüht sich das jeweilige Element gemäß seines Schwerpunktes in Bezug zu dieser Arbeit zuzuordnen.

### 3.1 Wissensquellen

Waren in der Vergangenheit häufig Ausbildungswissen, Erfahrungswissen und Fachliteratur die einzigen Quellen relevanter Informationen für den Entwicklungsprozess, haben sich durch die Digitalisierung und zunehmende Vernetzung der Welt unzählige neue Informationsquellen aufgetan. Im folgenden Abschnitt werden die relevantesten und bekanntesten Wissens- und Informationsquellen für Entwicklungsprojekte im Maschinenbau etwas näher beleuchtet.

#### 3.1.1 Anforderungsliste

Da die Anforderungen an das System (siehe Abschnitt 2.1.3) häufig der Ausgangspunkt vieler Entwicklungsaufgaben sind, und diese die Grundlage für alle weiteren Aktivitäten im Entwicklungsprozess bilden, ist eine sorgfältige Erfassung und laufende Pflege dieser

### 3 Wissensquellen und Werkzeuge in der Systementwicklung

von großer Bedeutung. Des Weiteren hat jede Bewertung möglicher Lösungsoptionen hinsichtlich ihrer Vereinbarkeit mit der Anforderungsliste zu erfolgen, daher soll hier etwas näher auf den Aufbau und die Inhalte dieses zentralen Dokumentes eingegangen werden.

#### Aufbau einer Anforderungsliste

Unabhängig von dem verwendeten Werkzeug zum Festhalten der Anforderungen (Word-Dokument, Excel-Liste, spezielle Software, ...) sollte jede Anforderungsliste die in Abb. 3.1 dargestellten vier Kernbereiche enthalten [19].

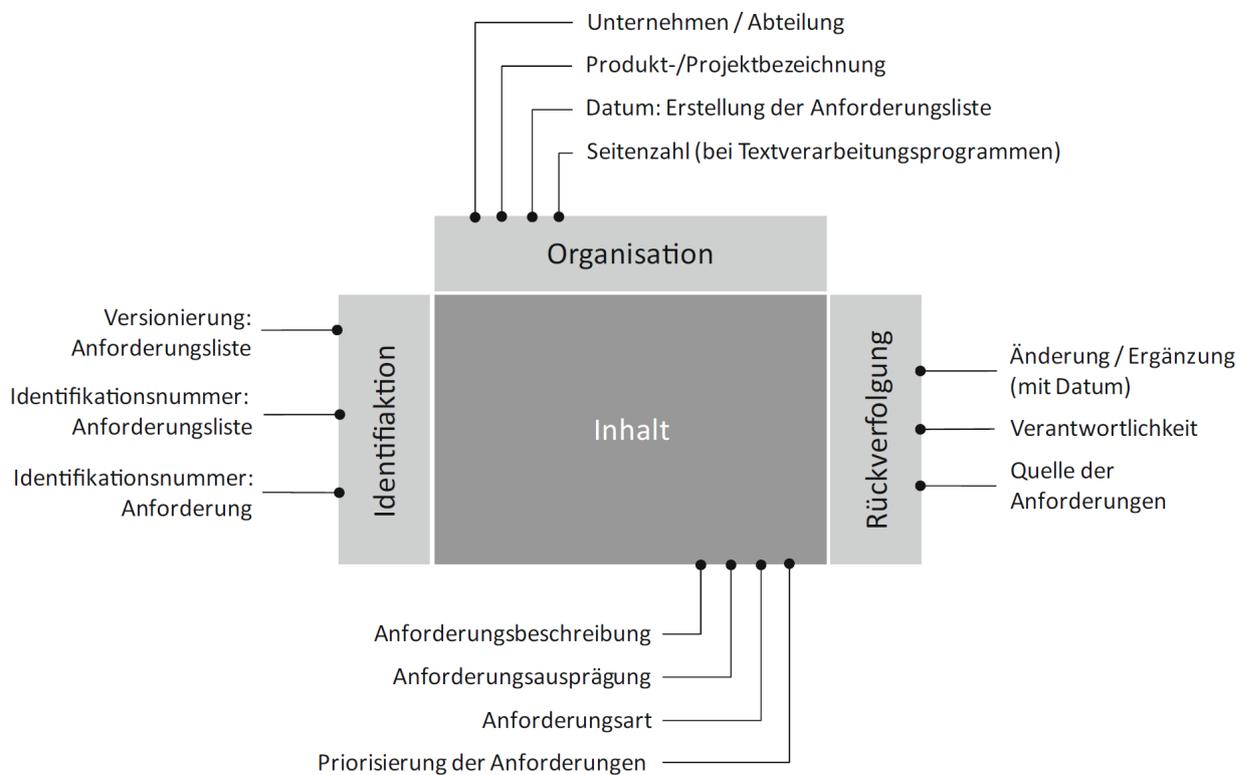


Abbildung 3.1: Aufbau einer Anforderungsliste nach Pahl/Beitz [19]

Die drei Säulen **Organisation**, **Identifikation** und **Rückverfolgung** dienen vor allem der Verwaltung der Anforderungen, und können je nach Branche, Organisationsgröße usw. von unterschiedlich großer Bedeutung sein. Einige dieser Informationen, wie z.B. die Projektbezeichnung, Anforderungsquellen und Versionsverwaltung (mit Datum) sollten jedoch zwingend in allen professionellen Anforderungslisten vorhanden sein.

Der eigentliche **Inhalt** enthält schließlich die tatsächlichen Anforderungen an das zu entwickelnde System. Diese sollten möglichst unmissverständlich und überprüfbar formuliert werden, siehe dazu auch Abschnitt 2.1.3.

Um die Liste zu strukturieren und die Übersichtlichkeit zu erhöhen, können die Anforderungen noch weiter unterteilt werden, z.B. in *Rahmenbedingungen*, *Funktionalanforderungen* und *Qualitätsanforderungen*.

Die vorhandenen *Rahmenbedingungen* können im allgemeinen kaum beeinflusst werden, ihre gewissenhafte Berücksichtigung ist daher um so wichtiger. Ihr Ursprung kann sowohl externer (z.B. geltende Umweltschutzgesetze) als auch interner Natur (vorhandene Fertigungsanlagen oder zu verwendende Technologiebausteine) sein.

Die *Funktionalanforderungen* (siehe dazu auch Abschnitt 2.1.4) definieren den Zweck des zu entwickelnden Systems, diese werden meist von konkreten Kundenwünschen, der Marktforschung oder anderen Stakeholdern vorgegeben. Im Gegensatz zu Rahmenbedingungen können diese bei Zielkonflikten nach Rücksprache mit den Interessensvertretern meist ein wenig angepasst werden.

*Qualitätsanforderungen* beziehen sich meist auf nicht unmittelbar messbare Kriterien wie z.B. „Zuverlässigkeit“ oder „hochwertige Verarbeitung“ und können oft erst relativ spät im Entwicklungsprozess bewertet werden, und auch dann meist nur mit einer gewissen Unschärfe.

Eine weitere Möglichkeit der Einteilung ergibt sich aus der Bedeutsamkeit der Anforderung, diese kann von unbedingt zu erfüllenden Mindestkriterien bis hin zu rein optionalen, nur ohne Mehraufwand umzusetzenden Premium-Zielen reichen. Vor allem im Fall der häufig vorkommenden Zielkonflikte kann eine eindeutige Priorisierung tatsächlich notwendiger Funktionen zu einem erfolgreichen, schlanken und hoch funktionalem Ergebnis führen.

Um eine effiziente Verwendbarkeit der der Anforderungsliste sicherzustellen, muss diese folgende Voraussetzungen erfüllen:

- **Lesbarkeit:** Sicherstellung sprachlicher Klarheit und übersichtlicher Gestaltung
- **Vollständigkeit:** Berücksichtigung aller für den aktuellen Entwicklungsschritt relevanten Anforderungen
- **Konsistenz:** Vermeidung/Aufklärung widersprüchlicher Anforderungen (Zielkonflikte)
- **Änderungsfreundlichkeit:** Nachvollziehbarkeit und Dokumentation aller Änderungen

### Erstellung der Anforderungsliste

Um alle geforderten Merkmale und Ausprägungen möglichst vollständig und nachvollziehbar zu erfassen, ist ein methodisches Vorgehen, z.B. wie in Abb. 3.2 dargestellt, sehr hilfreich.

### 3 Wissensquellen und Werkzeuge in der Systementwicklung

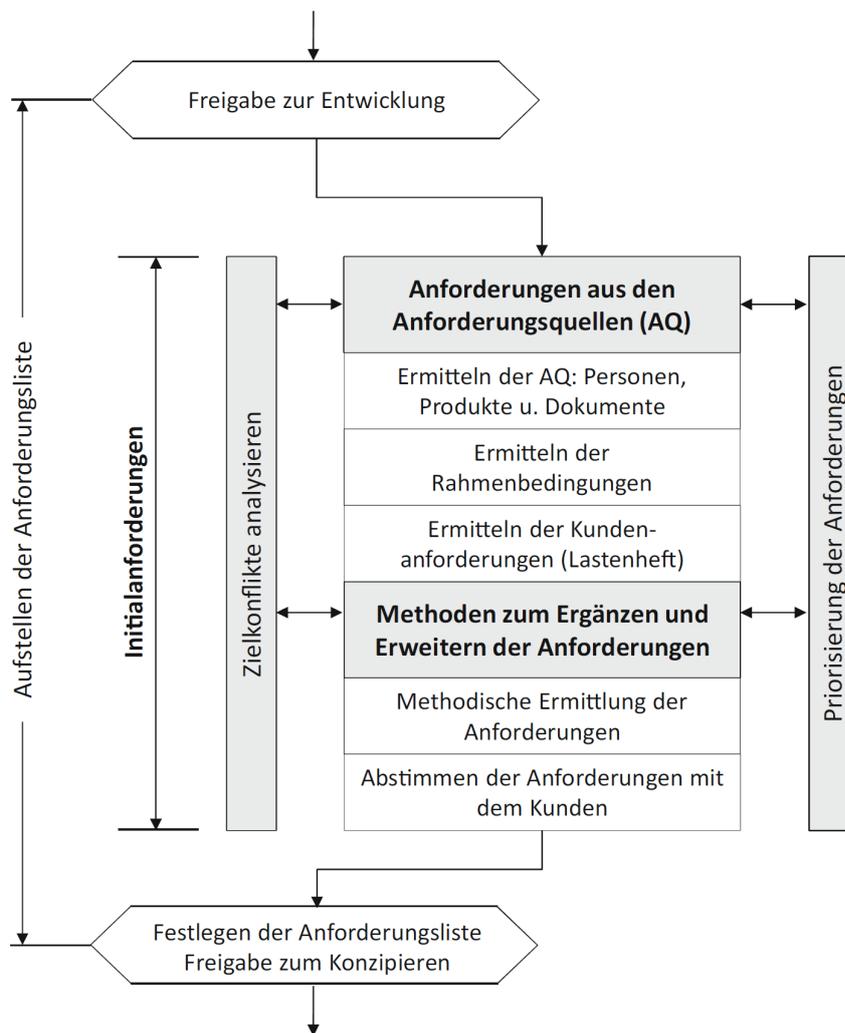


Abbildung 3.2: Hauptschritte zur Erstellung einer Anforderungsliste nach Pahl/Beitz [19]

**Anforderungsquellen** Als erstes sollten alle bereits bekannten Anforderungsquellen (Kundenwünsche, Rahmenbedingungen, Erfahrungswerte, ...) sorgfältig ausgewertet werden um konkrete Merkmale und Ausprägungen des Zielsystems zu extrahieren. Auch wenn diese erste Ermittlung von Anforderungen sehr gewissenhaft und ausführlich stattfindet, werden im weiteren Verlauf des Entwicklungsprozesses mit zunehmendem Konkretisierungsgrad meist noch weitere (Detail)Anforderungen an (Teil)Systeme ersichtlich. Es ist jedoch von großer Bedeutung, die tatsächlich maßgebenden und limitierenden Merkmale so früh als möglich festzustellen, da eine spätere Veränderung grundlegender Merkmale mitunter einen vollständigen Neustart der Entwicklung erfordert, oder aber zumindest hohe Entwicklungskosten und ein ungewollter Zeitverlust verursacht werden. Bevor also mit der tatsächlichen Konzeption des zu entwickelnden Systems begonnen wird, müssen diese „Initialanforderungen“ in ausreichendem Umfang erfasst und dokumentiert werden.

Dabei sind vor allem jene Anforderungen von Interessen, welche die folgenden Aspekte

des Systems beeinflussen:

- **Das Konzept:** Geforderte Leistungen, Energiearten, physikalische Effekte, Umweltbedingungen, ...
- **Die Gliederung:** Verpflichtend zu verwendende Teilsysteme, zulässige Transportabmessungen, Baukastenrichtlinien, ...
- **Die Gestalt:** Umgebungsbedingungen, Bauraumvorgaben, erforderliche Schnittstellen, ...

Diese Anforderungen können unterschiedlichsten Quellen entnommen werden, eine beispielhafte Auflistung lautet wie folgt:

- **Personen:** Wünsche und Forderungen aller Stakeholder, von Führungskräften über ausführende und anderweitig beteiligte Personen bis hin zum Kunden
- **Systeme:** Eigenschaften bekannter und artverwandter Systeme mit zumindest teilweise ähnlichen oder gar gleichen Funktionen
- **Dokumente:** Schriftlich dokumentierte Anforderungen wie Gesetzestexte, Werknormen, Lastenheft des Kunden, Mängelberichte, ...
- **Digitale Medien:** 3D-Modelle, Simulationsergebnisse, Computeranimationen, Videos, ...

Um diese Quellen effektiv zur Gewinnung relevanter Informationen zu nutzen, empfiehlt es sich auch dafür bewährte Methoden zu nutzen. Als Beispiele dafür beschreibt die Konstruktionlehre nach Pahl/Beitz [19] folgende Techniken:

- **Das Arbeiten nach einer Leitlinie mit einer Hauptmerkmalliste:** Strukturierte Feststellung weiterer Anforderungen durch Assoziationen ausgehend von bekannten Merkmalen einer Liste (siehe dazu auch Abb. 3.3).
- **Die Szenariotechnik:** Untersuchung der Wechselwirkungen des Produktes mit seiner Umgebung in allen Phasen (=Szenarien) seines Lebenszyklus.
- **Das perspektivenbasierte Lesen:** Zur Gewinnung neuer Erkenntnisse, werden die vorhandenen Dokumente z.B. aus der Perspektive des späteren Benutzers oder des Gesetzgebers gelesen. Die für die jeweilige Perspektive irrelevante Informationen werden dabei ausgeblendet, Relevantes kann dadurch einer detaillierteren Betrachtung unterzogen werden.
- **Die Detaillierungsmethode:** Überführung abstrakter und nicht eindeutig definierter Anforderungen in klar nachvollziehbare Merkmale über die Transformationsschritte Vertiefung und Präzisierung.
- **Die Prototypenbeobachtung:** Gewinn zusätzlicher Informationen durch den Kontakt von potentiellen Anwendern mit (frühen) Prototypen.

**Priorisierung** In der Praxis ist es aufgrund beschränkter Ressourcen sowie technischer und physikalischer Grenzen meist nicht möglich, alle vorstellbaren Anforderungen und Wünsche an technische Systeme zu erfüllen. Es ist daher von Vorteil, wenn die vorhandenen Zielkonflikte möglichst früh im Entwicklungsprozess erkannt und durch eine

### 3 Wissensquellen und Werkzeuge in der Systementwicklung

Konzept		Produktlebensphasen	
<p><b>Stoff</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Ein- und Ausgangsprodukte: <ul style="list-style-type: none"> <li>• chemische Eigenschaften</li> <li>• physikalische Eigenschaften</li> </ul> </li> <li>– Hilfsstoffe</li> <li>– vorgeschriebene Werkstoffe (Nahrungsmittelgesetz u. ä.)</li> <li>– Materialfluss und -transport</li> </ul>	<p><b>Elektrik / Elektronik</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Nennspannung</li> <li>– Nennströme</li> <li>– Netzschwankungen</li> <li>– Sicherung</li> <li>– Schirmung</li> <li>– Filterung</li> <li>– EMV</li> <li>– Anschluss</li> <li>– Verdrahtung</li> <li>– Isolation</li> <li>– Luft-/Kriechstrecken</li> <li>– Stecker</li> <li>– Modulordnung</li> <li>– Funktionsgruppen</li> <li>– SMD-Bauteile</li> <li>– Bauteilverfügbarkeit</li> <li>– Zugänglichkeit</li> <li>– Austausch</li> </ul>	<p><b>Einkauf</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Make-or-Buy-Strategie</li> <li>– A-Lieferanten</li> <li>– Local-Content</li> <li>– Katalogbaugruppen</li> <li>– operativer / strategischer Einkauf</li> <li>– Datenaustausch</li> </ul>	<p><b>Instandhaltung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Wartungsfreiheit bzw. Anzahl und Zeitbedarf der Wartung</li> <li>– Inspektion</li> <li>– Austausch und Instandsetzung</li> <li>– Reinigung</li> <li>– Schmierung</li> <li>– Einsatzort</li> </ul>
<p><b>Energie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Leistung</li> <li>– Verlust</li> <li>– Wirkungsgrad</li> <li>– Zustandsgrößen: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Druck</li> <li>• Temperatur</li> </ul> </li> <li>– Erwärmung</li> <li>– Kühlung</li> <li>– Anschlussenergie</li> <li>– Speicherung</li> <li>– Arbeitsaufnahme</li> <li>– Energieumformung</li> </ul>	<p><b>Software</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Integration</li> <li>– Schnittstellen</li> <li>– Updates</li> <li>– Hardware</li> <li>– Testbarkeit</li> <li>– Notbetrieb</li> </ul>	<p><b>Fertigung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Einschränkung durch Produktionsstätte</li> <li>– größte herstellbare Abmessung</li> <li>– bevorzugtes Fertigungsverfahren</li> <li>– Fertigungsmittel</li> <li>– mögliche Qualität und Toleranzen</li> </ul>	<p><b>Recycling</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Wiederverwendung</li> <li>– Entsorgung</li> <li>– Endlagerung</li> <li>– Beseitigung</li> <li>– Schad- und Gefahrstoffe</li> <li>– recyclingkritische Stoffe</li> <li>– Zugänglichkeit</li> <li>– Lösbarkeit</li> </ul>
<p><b>Signal</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Ein- und Ausgangssignale</li> <li>– Anzeigart</li> <li>– Betriebsgeräte</li> <li>– Überwachungsgeräte</li> <li>– Signalform</li> </ul>	<p><b>Sicherheit</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Unmittelbare Sicherheitstechnik</li> <li>– Mittelbare Sicherheitstechnik</li> <li>– Hinweisende Sicherheitstechnik</li> <li>– Betriebssicherheit</li> <li>– Arbeitssicherheit</li> <li>– Umweltsicherheit</li> <li>– Gefährdungspotential</li> <li>– Grenzkrisiko</li> <li>– Risikobewertung</li> </ul>	<p><b>Kontrolle</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Mess- und Prüfmöglichkeit</li> <li>– besondere Vorschriften (z. B. TÜV, DIN, ISO)</li> </ul>	<p><b>Transport</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Begrenzung durch Hebezeuge</li> <li>– Bahnprofil</li> <li>– Transportwege nach Größe und Gewicht</li> <li>– Versandart und -bedingungen</li> <li>– Lieferzeit</li> </ul>
<p><b>Geometrie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Abmaße / Dimensionen</li> <li>– Durchmesser</li> <li>– Bauraum</li> <li>– Anzahl</li> <li>– Anordnung</li> <li>– Anschluss</li> <li>– Erweiterung</li> </ul>	<p><b>Ergonomie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Mensch-Maschine-Beziehung</li> <li>– Anzeige und Bedienelemente: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bedienung</li> <li>• Bedienungsart</li> <li>• Übersichtlichkeit</li> <li>• Beleuchtung</li> </ul> </li> <li>– Anthropometrische Maße</li> <li>– Bedienkräfte</li> <li>– Taktile Kodierung</li> <li>– Haptik</li> </ul>	<p><b>Montage</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– besondere Montagevorschriften</li> <li>– Zusammenbau</li> <li>– Einbau</li> <li>– Baustellenmontage</li> <li>– Fundamentierung</li> <li>– Werkzeuge</li> <li>– Hilfsstoffe</li> <li>– Sicherheitsdatenblätter</li> </ul>	<p><b>Gebrauch</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Geräuscharm</li> <li>– Verschleißrate</li> <li>– Anwendung und Absatzgebiet</li> <li>– Einsatzort (z. B. schwefelige Atmosphäre, Tropen, ...)</li> <li>– Feuchtigkeit</li> <li>– Dienstleistung</li> </ul>
<p><b>Mechanik</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Gewicht</li> <li>– Last</li> <li>– Kräfte: <ul style="list-style-type: none"> <li>• statisch</li> <li>• dynamisch</li> </ul> </li> <li>– Reibung</li> <li>– Wärmespannung</li> <li>– Stabilität</li> <li>– Festigkeit: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verformung</li> <li>• Steifigkeit</li> </ul> </li> <li>– Kinematik: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bewegungsart und -richtung</li> <li>• Beschleunigung</li> <li>• Geschwindigkeit</li> </ul> </li> <li>– Kinetik: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Federeigenschaften</li> <li>• Resonanzen</li> </ul> </li> </ul>	<p><b>Industrial Design</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Bedeutung</li> <li>– Ästhetische Funktionen</li> <li>– Anzeichenfunktionen</li> <li>– Symbolfunktionen</li> <li>– Produktwiedererkennungswert</li> <li>– Farbgebung</li> <li>– Sinus-Milieu</li> </ul>	<p><b>Organisation</b></p>	
		<p><b>Planung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– max. zulässige Herstellkosten</li> <li>– Werkzeugkosten</li> <li>– Investition</li> <li>– Amortisation</li> <li>– Ende der Entwicklung</li> <li>– Liefertermin</li> <li>– Netzplan für Zwischenschritte</li> <li>– Pönalen</li> <li>– Unternehmens-Know-how</li> </ul>	<p><b>Nachhaltigkeit</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Öko-Bilanz</li> <li>– Energieeffizienz</li> <li>– Systemkosten</li> </ul>
		<p><b>Markt</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Wettbewerber</li> <li>– Kundensegmente</li> <li>– Kundenverhalten und -bedürfnisse</li> <li>– marktüblicher Standard</li> <li>– Verkaufszahlen</li> <li>– Trends</li> </ul>	

Abbildung 3.3: Hauptmerkmalliste nach Pahl/Beitz [19]

Wertung und Priorisierung der Anforderungen aufgelöst werden können. Im folgenden werden einige Methoden zur Kategorisierung der Prioritäten vorgestellt:

**Die MoSCoW-Priorisierung** wurde 1994 von Dai Clegg [13] erstmals entwickelt und angewendet, sie unterteilt die Anforderungen in Abhängigkeit ihrer Bedeutung für den Erfolg des Systems in vier Kategorien:

- **Must have:** Anforderungen, welche für ein erfolgreiches Projekt unbedingt vom zu entwickelnden System zu erfüllen sind. Z.B. die geforderte Traglast eines Brückenkranes.
- **Should have:** Anforderungen, welche zwar einen bedeutenden Mehrwert für das System bringen, deren Nichterfüllung dennoch kein automatisches Scheitern des Projektes bedeutet. Z.B. das maximale Eigengewicht des Kranes.
- **Could have:** Anforderungen, deren Erfüllung durchaus vorteilhaft wäre, welche bei Nichterfüllung jedoch keinen großen Attraktivitätsverlust verursachen. Z.B. ein hocheffizientes und dynamisches Hubwerk mit Energierückspeisung beim Senken der Last.
- **Won't have:** Anforderungen, welche sich kaum positiv auf den Erfolg des Systemes auswirken, und nur bei minimalem (Mehr)Aufwand auch tatsächlich umgesetzt werden. Z.B. drahtlose Kommunikation zur Systemdiagnose und Wartung.

Hierbei erweist sich die Einschätzung der Bedeutsamkeit eines Merkmales für den Erfolg des Systems oftmals als relativ schwierig, außerdem bietet es keine Lösung für Zielkonflikte welche sich innerhalb einer Priorisierungs-Kategorie befinden. Die Einteilung in diese Kategorien hat also in Abstimmung mit allen Stakeholdern des Entwicklungsprojektes zu geschehen, und kann sich im Verlauf eines Entstehungsprozesses auch ändern. Insbesondere bei Nichterreicherung eines „Must have“-Zieles könnte dieses mit dem Einverständnis aller Stakeholder in die „Should have“-Kategorie verschoben werden, um das Entwicklungsprojekt dennoch zu einem erfolgreichen Ende zu führen.

**Das Kano-Modell** wurde in den 1980ern von Noriaki Kano entwickelt, es bewertet die Merkmale eines Systems hinsichtlich ihres Beitrages zur Kundenzufriedenheit. Dabei werden fünf Arten, wie Merkmale die Zufriedenheit des Anwenders beeinflussen unterschieden:

- **Must-be quality:** Eigenschaften, welche der Kunde voraussetzt. Bei Erfüllung bringen sie keine ausdrückliche Freude, bei Nichterfüllung jedoch große Unzufriedenheit. Z.B. zuverlässiger Betrieb in allen normalen Umgebungsbedingungen.
- **One-dimensional quality:** Kundenwünsche, deren Erfüllung und Nichterfüllung sich direkt proportional in der Zufriedenheit widerspiegelt. Z.B. feinfühliges Dosierverhalten des Antriebes.
- **Attractive quality:** Eigenschaften, welche sich bei Vorhandensein stark positiv auf den Kunden auswirken, jedoch bei Abwesenheit keine negativen Emotionen verursachen. Z.B. kabellose Kranbedienung mit Informations-Anzeige.

### 3 Wissensquellen und Werkzeuge in der Systementwicklung

- **Indifferent quality:** Eigenschaften, welche vom Kunden kaum wahrgenommen werden, und sich folglich auch nur minimal auf die Zufriedenheit auswirken. Z.B. der Aufbau der Lackierung bei einer bevorzugt im Gebäudeinneren installierten Maschine ohne Korrosionsbelastung.
- **Reverse quality:** Beschreibt Eigenschaften, welche von Nutzern als störend und die Zufriedenheit herabsetzend empfunden werden können. Z.B. eine sehr repräsentative, jedoch schmutzanfällige und unvorteilhaft spiegelnde Hochglanz-Oberfläche an einem Bedienpult.

In Abb. 3.4 werden diese Eigenschaften und ihr Einfluss auf die Kundenzufriedenheit graphisch dargestellt. Sehr häufig kommt es im Verlauf der Zeit vor, dass ursprünglich „attraktive“ Eigenschaften von den Kunden aufgrund von Gewöhnungseffekten zunehmend als „muss“-Eigenschaften betrachtet werden. Ein Beispiel dafür könnte z.B. die Klimaanlage in PKWs sein, ursprünglich nur in hochpreisigen Luxusfahrzeugen verfügbar, ist sie heute in PKWs quasi Standard und auch in Arbeitsmaschinen wie Traktoren oder Baggern ab Werk konfigurierbar.

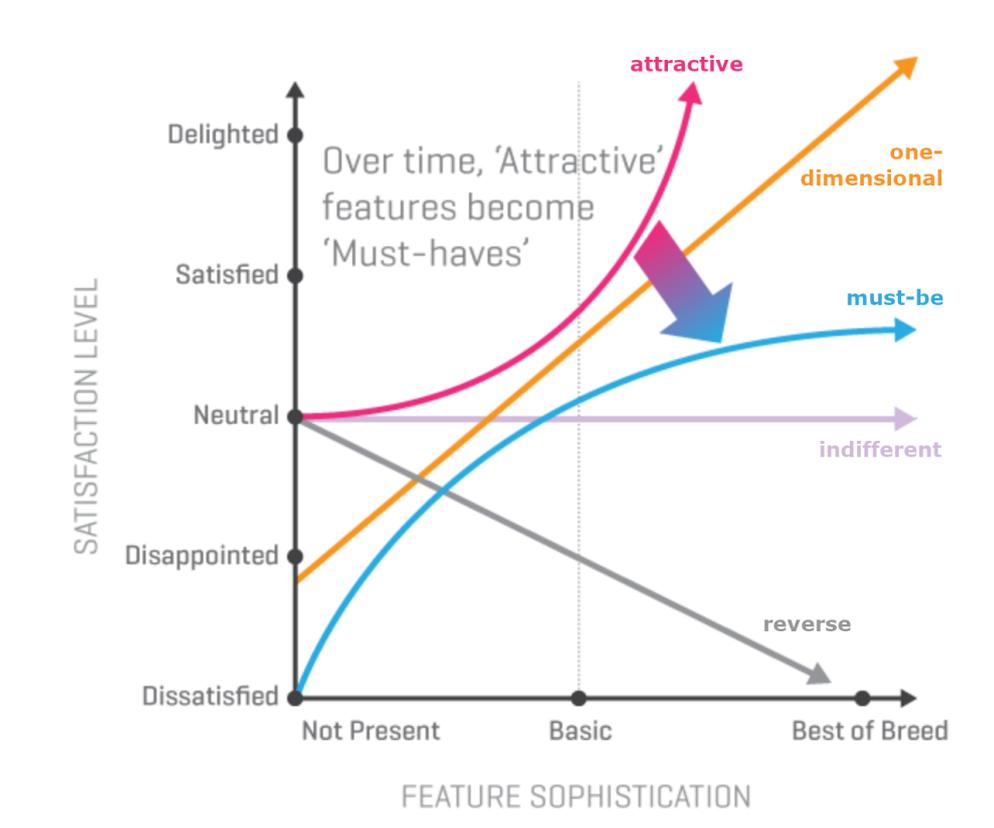


Abbildung 3.4: Das Kano Modell in Anlehnung an Jan Moorman [30]

### Pflegen der Anforderungsliste

Im Laufe eines Produktlebenszyklus sind Änderungen der Anforderungen meist unvermeidbar, diese können beispielsweise aus einem tiefer gehenden Verständnis der Aufgabenstellung im Laufe der Entwicklung, von sich ändernden Kundenwünschen, neuen unternehmensinternen oder gesetzlichen Richtlinien entstehen. Durch die oftmals große Dynamik sich verändernder Anforderungen, ist ein konsistentes und konsequentes Änderungsmanagement von großer Bedeutung und sollte zumindest folgende Punkte ermöglichen/sicherstellen:

- **Versionsverwaltung:** Übersichtliche Verfügbarkeit aller jemals erstellten Versionen.
- **Nachvollziehbarkeit:** Dokumentation aller Änderungen mit Begründung und verantwortlicher Person/Abteilung.
- **Zugänglichkeit:** Alle am Entwicklungsprozess Beteiligten haben Zugang zu der Liste und sind in der Lage sie zu überprüfen und gegebenenfalls zu ändern.

Da diese Aufgaben im Rahmen gängiger Office-Lösungen (Word, Excel, ...) meist nur unbefriedigend erfüllt werden können, sind einige Softwarelösungen zu dieser Thematik entstanden.

### Softwarelösungen rund um die Anforderungsliste

Mittlerweile gibt es eine Vielzahl an Programmen, welche bei der Erstellung und Verwaltung von Anforderungslisten unterstützen. Eine vollständige Übersicht würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen, daher werden zwei bedeutende Werkzeuge etwas näher beschrieben. Eine umfangreichere Beschreibung verschiedener Software-Tools zum Anforderungsmanagement von Ben Aston findet sich unter [50].

**IBM Rational DOORS** [53] ist ein Softwarewerkzeug zur effizienten Verwaltung verschiedenster Anforderungen, die Abkürzung DOORS steht dabei für „Dynamic Object-Oriented Requirements System“, was bereits einiges über die Idee dahinter aussagt. Alle Anforderungen werden darin als eigene Objekte behandelt, welche zueinander in Beziehung stehen und auf vielfältige Weise miteinander verknüpft und strukturiert werden können. Über verschiedene Schnittstellen und Oberflächen (unter anderem ist auch browserbasierter Zugriff möglich) können die Inhalte der Anforderungsdatenbank eingesehen, bearbeitet und auch exportiert werden. Die Durchführung von Änderungen wird dabei über ein Änderungsvorschlagssystem mit Diskussionsplattform strukturiert und dokumentiert, die Anforderungen bleiben damit ohne manuelle Versionsverwaltung stets nachvollziehbar und aktuell. Außerdem bietet es die Möglichkeit verschiedene Testszenarien mit den Anforderungen zu verbinden, um so auch die Verwaltung der Eigenschaftsabsicherung zu integrieren. Auch andere Softwarelösungen, wie z.B. „PTC Integrity“ bieten zum Teil einen ähnlichen Funktionsumfang.

**Requirements Interchange Format (ReqIF)** [4] ist ein standardisiertes XML-Dateiformat, welches unter anderem von der deutschen Automobilindustrie voran getrieben wurde, um den Austausch von Anforderungsdaten unabhängig von der verwendeten Software-Plattform zu ermöglichen. Unter anderem soll so eine bessere Einbindung aller am Produktentstehungsprozess beteiligten Personen erreicht werden, da diese oft in verschiedensten Organisationen (Auftraggeber, Auftragnehmer, Unterauftragsnehmer, Berater, wissenschaftliche Partner usw.) tätig sind und ein Datenaustausch zwischen den jeweiligen, häufig maßgeschneiderten Anforderungsmanagement-Werkzeugen zumeist nicht ohne Informationsverlust möglich ist. Auch Requirements Interchange Format (ReqIF) behandelt die einzelnen Anforderungen als Objekte, welchen eines oder mehrere Attribute in Form von Text, Zahlen, oder auch XHTML-Code zugewiesen werden. Des Weiteren werden auch Beziehungen und Hierarchien unterstützt.

#### 3.1.2 Ausbildungswissen

Auch wenn das Angebot an zum Teil hochspezialisierten Aus- und Weiterbildungen heute so groß wie noch nie zuvor ist, und es Bildungsprogramme für nahezu jede wirtschaftlich bedeutende Nische gibt, wird es niemals möglich sein, alle relevanten Systeme und Prinzipien im Zuge von Bildungsmaßnahmen in voller Tiefe zu beschreiben. Häufig hinkt das vermittelte Wissen der tatsächlich gelebten industriellen Praxis auch etwas hinterher, da Neuerungen sich erst beweisen und als anerkannter Standard am Markt etablieren müssen, bevor diese als relevant für die Ausbildung betrachtet werden. Des Weiteren können zwischen der Ausbildung und einer Anwendung des Gelernten oftmals mehrere Jahre vergehen, was die ohnehin immer vorhandenen Lücken des Wissens noch weiter wachsen lässt.

Ausbildungswissen im Systementwicklungskontext eignet sich also eher dazu grundlegende, allgemeingültige Mechanismen und Herangehensweisen zu vermitteln, als dazu direkt und unmittelbar zur Lösungsfindung und Bewertung beizutragen. In großen, anspruchsvollen Entwicklungsprojekten werden oft gezielt Mitarbeiter mit sehr unterschiedlichem Ausbildungshintergrund ausgewählt, um eine möglichst breite Basis an Grundlagenwissen verschiedener Disziplinen in der Lösungserarbeitung zu berücksichtigen. Abgesehen von der Auswahl der beteiligten Personen, ist es sehr schwierig das für eine Entwicklungsaufgabe zur Verfügung stehende Ausbildungswissen maßgeblich zu beeinflussen, da dafür zumindest Zeit, und meist auch Geld, vorhanden sein müssen, und beide sind meist knappe Güter.

#### 3.1.3 Erfahrungswissen

„Erfahrene Mitarbeiter“ werden gerne als Belege für besondere Kompetenz genannt, und wie von Werner Sauter in [41] ausführlich erläutert, bildet Erfahrungswissen tatsächlich die Basis für den Aufbau der notwendigen Kompetenzen um im harten Wettbewerb zu bestehen. Die Erfahrungen der beteiligten Personen in einem Entwicklungsprozess helfen

dabei kostspielige Sackgassen zu vermeiden, das Verhalten von Systemkomponenten richtig einzuschätzen, und sie ermöglichen es Schwächen eines Entwurfs frühzeitig zu erkennen um rechtzeitig gegenzusteuern. Daher werden immer wieder besonders erfahrene und erfolgreiche Entwickler gezielt von Mitbewerbern abgeworben.

Erfahrungswissen kann aber auch negative Auswirkungen auf den Verlauf eines Projektes haben, und zwar dann wenn sich aufgrund der langjährigen Tätigkeit mit bekannten Wirkprinzipien und Elementen eine geistige Haltung bei den beteiligten Personen eingestellt hat, welche es erschwert wenn nicht sogar verunmöglicht wirklich innovative Lösungen für bekannte Aufgabenstellungen zu finden. Ein Mobiltelefon, welches zur Bedienung kaum Tasten benötigt, oder ein PKW, der ohne Kraftstoff zu verbrennen hervorragende Fahrleistungen erzielt, ist von vielen Experten der jeweiligen Branchen lange als „nicht machbar“ gesehen worden. Erst der Markterfolg neuer, innovativer und professionell entwickelter Konkurrenzprodukte brachte die etablierten Technologieführer zum Umdenken.

Erfahrungswissen ist also sowohl von großem Vorteil, als auch überaus hinderlich in der innovativen Entwicklung von Systemen. Entwicklungsteams, die sowohl aus „alten Hasen“, wie auch aus jungen, unvoreingenommenen Personen bestehen, sind am ehesten in der Lage, den Spagat zwischen konservativer, zuverlässiger Ausarbeitung und innovativer, ergebnisoffener Konzeption ohne gröbere Pannen zu schaffen. Dabei ist es von großer Bedeutung, dass alle Beteiligten an einem offenen Dialog beteiligt sind um ihr Wissen möglichst umfassend zu teilen und auch fremde Sichtweisen kennen zu lernen und zu verstehen.

Abgesehen von der ausgewogenen Auswahl der Teammitglieder ist es sehr schwierig das vorhandene Erfahrungswissen in einem Projekt maßgeblich zu beeinflussen, es sei denn es handelt sich um ein geplanter oder ungeplanter Weise lang anhaltendes Projekt. In diesem Fall kann von den beteiligten Personen oftmals umfangreiches Expertenwissen aus den zahlreichen im Verlauf des Projektes gemachten Erfahrungen aufgebaut werden. Dieses Wissen mit dem Ausscheiden von Personen nicht aus der Organisation zu verlieren ist eines der Hauptziele modernen Wissensmanagements [41].

#### 3.1.4 Fachliteratur

Unter Fachliteratur versteht man im Allgemeinen speziell auf ein Fachpublikum zugeschnittene Veröffentlichungen, welche hauptsächlich dazu dienen neue Erkenntnisse und anwendungsorientiertes Wissen weiterzugeben. Häufig kommt Fachliteratur in der Ausbildung zum Einsatz, aber auch Texte welche rechtliche Ansprüche absichern sollen (z.B. Patente) können als Fachliteratur im weiteren Sinne verstanden werden.

#### Standardwerke

Für viele Branchen haben sich in den letzten Jahrzehnten sogenannte „Standardwerke“ etabliert, welche meist eine umfassende Sammlung grundlegenden Wissens ergänzt um Methoden zur Anwendung dieses Wissens beinhalten. Im Bereich des Maschinenbaus ist beispielsweise „der Dubbel“ [16] ein solches Standardwerk. Standardwerke haben oft den Anspruch, den aktuellen Stand der Erkenntnisse zu ihrem Erscheinungszeitpunkt wiederzugeben, was regelmäßige Überarbeitungen und Neuauflagen erfordert. Der Dubbel erschien erstmals 1914, und wurde zuletzt 2018 in seiner 25. Auflage neu veröffentlicht. Diese Kombination aus Tradition und regelmäßiger Aktualisierung macht Standardwerke sowohl zu einer sehr gut geeigneten Basis für die Ausbildung als auch zu relevanten Nachschlagewerken für den Praktiker.

Trotz ihrer großen Bedeutung für die jeweilige Branche, sind Standardwerke nur eingeschränkt zur Verwendung in der innovativen Lösungssynthese und Bewertung geeignet. Zum einen weil sie auch in ihrer aktuellsten Auflage jeweils bestenfalls den etablierten Stand der Technik widerspiegeln und damit keine wirklich innovativen und neuartigen Lösungen in ihnen vorkommen, zum anderen weil die meisten Entwicklungsaufgaben sich heute tief in ihrer jeweiligen Nische abspielen und entsprechend spezialisierte Informationen in den breit aufgestellten Werken nicht berücksichtigt werden können.

Ein weiterer Nachteil dieser Werke ist die meist unbefriedigende Umsetzung der digitalen Ausgabe, die Navigation in den mehrere hundert Seiten umfassenden PDF-Dateien erweist sich häufig als mühsam und Inhalte wie z.B. Formeln müssen oft händisch abgetippt werden um sie tatsächlich verwenden zu können. Auch wenn es bereits Versuche gab die digitalisierte Version mit zeitgemäßer Funktionalität auszustatten (z.B. Dubbel interaktiv [17]), wurde meist an der dem gedruckten Buch entspringenden Struktur festgehalten, und die Benutzbarkeit gegenüber dem einfachen PDF-Ebook kaum verbessert [26]. Insbesondere den Potentialen objektorientierter Datenbanken mit ihren zahlreichen Möglichkeiten der Strukturierung und Verknüpfung von Inhalten wurde in diesem Zusammenhang bislang kaum Aufmerksamkeit geschenkt.

#### Konstruktionskataloge

Unter Konstruktionskatalogen versteht man eine Sammlung bekannter Lösungen für verschiedene konstruktive Anwendungen. Neben einer großen Anzahl an Beispielen in verschiedenen Detaillierungsgraden verfügen diese meist auch über entsprechende Vorgehensmodelle um die Vielzahl an angebotenen Lösungswegen effektiv nutzbar zu machen. Die enthaltenen Lösungsmöglichkeiten werden dabei in Tabellen aufgelistet, welche zur Strukturierung in einen Gliederungsteil, einen Hauptteil, und einen Zugriffsteil gegliedert sind (siehe dazu auch Abb. 3.6 & 3.5). Im Gliederungsteil werden die Lösungsmöglichkeiten nach verschiedenen Gesichtspunkten (z.B. physikalisches Wirkprinzip) geordnet, im Hauptteil erfolgt die Bezeichnung und Beschreibung der Lösungsvariante (meist mit Skizzen) und im Zugriffsteil werden nähere, für den Einsatz der Variante relevante Informationen (z.B. Leistungskennwerte) bereit gehalten. In Abb.

3.5 ist beispielhaft ein Ausschnitt aus einer allgemeinen Auflistung bekannter Kraftübertragungsmöglichkeiten dargestellt, in Abb. 3.6 ein Ausschnitt aus den detaillierten Möglichkeiten eine Linearführung mittels kugelförmiger Wälzkörper herzustellen.

Aufgrund ihrer traditionellen Erscheinungsform als gedrucktes Buch sind diese in der konstruktiven Praxis jedoch eher umständlich zu Nutzen, und werden daher eher selten tatsächlich verwendet. Das Auffinden der gesuchten Informationen kann bereits einige Zeit in Anspruch nehmen, und die Bewertung und Auswahl möglicher Lösungsweisen muss in der Regel mit einem separaten Werkzeug erfolgen. Des Weiteren ist es für den Nutzer üblicherweise nicht möglich, schnell und unkompliziert Änderungen oder Erweiterungen vorzunehmen, was häufig ebenfalls als nachteilig empfunden wird. Nichtsdestotrotz können sie durch ihre oftmals sehr umfangreiche Sammlung an Lösungsmöglichkeiten ausschlaggebend für die Generierung von ungewöhnlichen, innovativen Varianten sein und ihr Wert in der methodischen Konstruktion ist unbestritten.

### Herstellerkataloge und Produktdatenblätter

In den Katalogen und Produktdatenblättern der Hersteller von Normteilen (z.B. Wälzlager) oder ganzen (Sub)Systemen (z.B. Getriebemotoren) finden sich neben den Leistungsdaten und anderen verschiedenen Eigenschaften häufig auch Informationen zur richtigen Verwendung und Auswahl des Produktes. Immer häufiger sind Kataloge auch interaktiv auf Internet-Seiten eingebettet, was die Auswahl der passenden Variante für die eigenen Anwendung im Idealfall stark vereinfacht. Häufig lassen sich auch CAD-Dateien aus gemäß Katalog konfigurierbaren Varianten erstellen, was die Integration von Subsystemen ins eigene System nennenswert erleichtert. Des öfteren finden sich im Umfeld der Produktauswahl auch einfache Berechnungswerkzeuge um z.B. die Lebensdauer oder Wirkungsgrade einer Komponente bei gegebener Belastung zu bestimmen. Die Rolle von Herstellerkatalogen und Produktdatenblättern geht also weg von einer reinen Auflistung der zum Verkauf stehenden Produkte, hin zu einer umfassenden, den Kunden aktiv bei der Auswahl und dem richtigen Einbau der Komponenten unterstützenden Begleitung im Entwicklungsprozess.

Im Bereich der Systementwicklung spielen Herstellerkataloge und Produktdatenblätter vor allem in der Detailentwicklung eine große Rolle. Kaum ein auch noch so hochspezialisiertes Entwicklungsprojekt kommt ohne standardisierte, in ihren Eigenschaften bekannte Zukaufteile aus. Durch ihre einfache Verfügbarkeit werden sie auch entsprechend häufig genutzt, spielen bei der Konzeptentwicklung, Variantenbildung und Bewertung jedoch eine eher untergeordnete Bedeutung. Wenn es darum geht, eine erdachte Variante überschlägig auf Plausibilität zu überprüfen (z.B. benötigte Tragzahl eines Wälzlagers in begrenztem Bauraum) können Kataloge und Produktdatenblätter schnelle, treffsichere Antworten liefern.

### 3 Wissensquellen und Werkzeuge in der Systementwicklung

#### 3. Konstruktionskatalog 11.2.1: Schlußarten (Blatt 1)

Gliederungsteil			Hauptteil		Zugriffsteil				Anhang		
Schließkraft vor Belastung	Gesamtschluß der Paarung	Schluß erzeugt durch (Effekt)	Beispiel		Begrenzung der übertragbaren Kraft	Mögliche Bewegung entgegen der Schlußkraft	Leistung erforderlich	Richtungs-sinne des Schlusses	Bedingungen, Hinweise		
1	2	3	1		Nr. 1	2	3	4	5		
Vorhanden (im Wirkraum)	Stoff-Schluß	Urformen			1 Festigkeit	2 ← 1 → 2 keine		2 ← 1 → 2 Stoffschluß	Kontinuierliche Stoffbrücke		
Nicht vorhanden	Form-Schluß	Festkörper-Flächenpaarung			2 Flächenpressung	1 → 2 keine		1 → 2 Formschluß	Berührung an den Wirkflächen		
		Fluid-Verdrängung			3 Fluiddruck				Fluid ist inkompressibel		
Vorhanden	Elastischer Kraft-Schluß	Festkörper-Elastizität			4 zulässige Federspannung	1 → 2 begrenzt	nein	1 → 2 Kraftschluß	— weitere Beispiele: Katalog Kraft erzeugen „Elastische Kräfte“		
		Fluid-Verdrängung			5 durch $p = p_{max}$				Fluid ist kompressibel		
	Feld-Kraft-Schluß	Schwerefeld	Gravitation			6 Flächenpressung	↑ unbegrenzt		↑ Schwere Formschl.	weitere Beispiele: Katalog Kraft erzeug. „Schwere Kräfte“	
		Magnetfeld	Permanentmagnet			7 Größe der magn. Kraft	Feld 7.8; 8.1 ← 1, 2 → unbegrenzt,		7.1; 8.1 ← 1, 2 → Feldschluß 1 ↔ 2 Formschluß	weitere Beispiele: Katalog Kraft erzeug. „Magnetische Kräfte“	
		Elektr. Feld	Kondensator			8 Ladung, Plattenabstand	Feld 7.2; 8.2 1 → 2 begrenzt		7.2; 8.2 1 ↔ 2 Feldschluß ← 1, 2 → Formschluß	weitere Beispiele: Katalog Kraft erzeug. „Elektrische Kräfte“	
		Molekularkräfte	Adhäsion			9 Oberflächenrauheit	← 1 2 → unbegrenzt		← 1 2 → Feldschluß 1 ↔ 2 Formschluß	weitere Beispiele: Katalog Kraft erzeug. „Molekulare Kräfte“	
	Impulsänderungsschluß	Trägheitskräfte	Reaktionsprinzip			10 Rückstoß	1 → unbegrenzt	ja	1 → Impulsänderungsschluß	weitere Beispiele: Katalog Kraft erzeug. „Trägheits Kräfte“ „Strahlungs Kräfte“	
			Fliehkraft			11 Masse, Radius, Winkelgeschwindigkeit	1 → 2 begrenzt	nein	Formschluß 2 ↔ 1		
		Trägheits- u. elastische Kräfte				12 Flächenpressung	2 → 1 unbegrenzt	ja (bei Dauerbetrieb)		weitere Beispiele: Katalog Kraft erzeug. „Elastizität und Trägheit“	

Abbildung 3.5: Verschiedene Schlussarten nach [40]

Detailkatalog 11.9.3: Geradföhrungen mit Wälzkörpern (Blatt 2)

Gliederungsteil				Hauptteil		Zugriffsteil			
Belastbarkeit 0 = Freiheit 1 = Beröhr.-Schluß	Art der Wälzkörper	Bewegungsbahn der Wälzkörper	Anzahl der trag. Wälzkörperreihen	Gebräuchliche Bezeichnung	Prinzipkizze		Hub (mm)	Abmessungen	
								Länge (mm)	Breite (mm)
1	2	3	4	1	2	Nr.	1	2	3
$\begin{pmatrix} 00 & 11 \\ 11 & 11 \\ 11 & 11 \end{pmatrix}$	Kugeln	Umlaufend	3	Kugelumlauf-schiebewelle		10	abhängig von der Schienenlänge	25-160 Böhse	14-120 $\phi$ Böhse 6-80 $\phi$ Welle
			4 Gestaltvarianten	Wälzföhrungs-system Hephaist		11		1000-2000 Schiene 67-110 Schlitten	23-45 Schiene 48-120 Schlitten
				Linear Lager		12		160-2600 Schiene 43-200 Schlitten	15-100 Schiene 34-275 Schlitten
				Linear Lager-System		13		bis 1500 Schiene 48-128 Schlitten	43-98 Schlitten
				5	Verdrehsichere Kugelumlauf-längsföhrung			14	300-6000 Welle 55-440 Umlaufkörper
			5-6	Drehmoment-Kugelböhse mit Profilverelle		15		400-600 Welle bis 900 auf Wunsch 72-160 Schlitten	32-83 Höhe Schlitten 36-90 Breite Schlitten
			6	Drehmoment-Kugelböhse		16		400-2000 Welle 40-224 Böhse	42-130 Breite Böhse 35-105 Höhe Böhse
				Keilwellenlager		17		40-200 Böhse	23-160 Außen $\phi$
			8	Quadrat-kugelböhsen		18		50-4000 Schiene 18-205 Böhse (kurz) 60-500 Böhse (lang)	7,6-99 Schiene 22-190 Böhse
			8 bis 12	Schlitten-föhrung mit Linear Kugel-lagern (offen)		19		300-700 (2500) Schiene 300-400 Schlitten	645-1150 Schiene 300-400 Schlitten
								90-500 od. länger Schiene 85-330 Schlitten	300-410 Schlitten 85-330 Schlitten

Abbildung 3.6: Verschiedene Möglichkeiten wälzgelagerter Linearföhrungen [40]

#### Patente

Auch wenn der vorrangige Zweck von Patenten der Schutz geistigen Eigentums ist, so stellen sie dennoch auch eine nahezu unerschöpfliche Quelle an aktueller, detaillierter technischer Informationen dar. Diese Informationen sind umso bedeutender, da die allermeisten Unternehmen kaum detaillierte technische Informationen über die von ihnen entwickelten Systeme veröffentlichen, und daher bis zu 80% des verschriftlichten, technischen Wissens in Patenten zu finden ist. [56]

Eine möglichst frühe, ausgiebige Patentrecherche in dem untersuchten Bereich hilft also nicht nur Patentverletzungen zu vermeiden, sondern kann auch wesentlich dazu beitragen, bisher unbekannte Lösungsprinzipien anderer Branchen zutage zu bringen. Die allermeisten der veröffentlichten Patente sind auch nicht länger gültig ([56]), sodass deren Inhalt ohne Einschränkung in die eigene Arbeit einfließen kann. Des Weiteren kann auch das Wissen um aktive Patente von Mitbewerbern zu sehr innovativen Lösungen führen, durch die intensive Suche nach sinnvollen Möglichkeiten die klar definierten Patentansprüche der Konkurrenz zu umgehen, können häufig auch technisch überlegene Systeme entstehen („Umgehungstheorie“ [7]).

Der größte Vorteil von Patenten als Wissensquellen ist zugleich auch ihr größter Nachteil: Die unglaubliche Menge an verfügbaren Informationen macht es für den Laien schwierig tatsächlich Relevantes zu finden, die Wahl der richtigen Suchbegriffe erfordert einiges an Erfahrung und analytischem Denkvermögen. Ein neuer Ansatz um effektiver zu relevanten Patenten zu finden ist „PatentFit“ von Springer Professional und Octimine [48]. Dieser Ansatz verknüpft mit Hilfe von künstlicher Intelligenz englischsprachige Fachliteratur mit relevanten Patenten und versucht so die Zugänglichkeit des in Patenten vorhandenen Wissens zu verbessern.

#### Fachzeitschriften

Fachzeitschriften sind meist regelmäßig erscheinende Ansammlungen von Artikeln aus verschiedensten Quellen, die sich thematisch einer bestimmten Profession zuordnen lassen. Im Unterschied zu anderen Zeitschriftengattungen sprechen Fachzeitschriften ein beruflich mit der Thematik verbundenes Publikum an und sind daher weniger an der Unterhaltung, als viel mehr an der Weiterbildung und Wissensvermittlung der Leser interessiert. Aufgrund der zunehmenden Digitalisierung des Wissens, verlieren die klassisch auf Papier gedruckten, meist per Abonnement vertriebenen Magazine jedoch zusehends an Bedeutung [36], und werden heute meist durch digitale Ausgaben im PDF-Format ergänzt bzw. parallel veröffentlicht.

Ihre große Stärke in Bezug auf die Konzeptentwicklung liegt in der geballten Ansammlung fachlich relevanter Informationen, wodurch es möglich ist Trends und Veränderungen der genutzten Technologien einer Branche zu erkennen und diese Erkenntnisse in der eigenen Arbeit zu nutzen. Weniger geeignet sind Fachzeitschriften, wenn es darum geht Anstöße für wirklich neuartige Lösungsideen zu bekannten Aufgabenstellungen zu

finden, da es sich bei den veröffentlichenden Autoren meist um anerkannte Experten handelt, welche sich wie in Abschnitt 3.1.3 erläutert meist auf bekannte und bewährte Methoden stützen.

### Konferenzpapiere

Konferenzpapiere erscheinen meist während bzw. im Anschluss an Fachkonferenzen zu verschiedensten Themen. Ähnlich wie Fachzeitschriften wenden sich Konferenzen an ein beruflich interessiertes Fachpublikum und sind vornehmlich an der Wissensvermittlung interessiert. Durch die Vielzahl an neuen, digitalen Möglichkeiten Erkenntnisse zu verbreiten und einem interessierten Fachpublikum nahezubringen hat ihre Bedeutung in den letzten Jahren jedoch abgenommen. Dennoch sind sie aufgrund des Neuigkeitsgrades ihres Inhaltes gut geeignet um innovative Lösungen anzustoßen, insbesondere da es sich bei den vorgestellten Ergebnissen des öfteren um noch unbekannte Prinzipierkenntnisse oder neue Ansätze zu bekannten Aufgaben handelt. In der Vergangenheit war es für nicht persönlich an der Konferenz Teilnehmende meist schwierig im Nachhinein Zugang zu den Inhalten der Veranstaltung zu bekommen, möglicherweise ergeben sich hier aufgrund der zunehmenden Digitalisierung solcher Veranstaltungen (insbesondere aufgrund der Corona-Maßnahmen 2020) hier in Zukunft neue, niedrigschwelligere Möglichkeiten des Zuganges.

### 3.1.5 Internetquellen

#### Wikipedia

Die bekannteste und auch inhaltlich umfangreichste Online-Enzyklopädie ist mittlerweile für viele Menschen zur ersten Anlaufstelle auf der Suche nach Informationen aller Art geworden. Viele Internet-Suchmaschinen platzieren den passenden Wikipedia Artikel zu verschiedensten Suchwörtern mittlerweile bevorzugt am Anfang ihrer Ergebnisseite, sodass man auch ohne gezielt Wikipedia zu befragen häufig darauf verwiesen wird. Als zuverlässige Quelle in der wissenschaftlichen Arbeit konnte sich Wikipedia jedoch bisher nicht etablieren, auch wenn einige Untersuchungen (z.B. [11], [44]) den Inhalt überprüfter Artikel durchaus positiv bewerteten, gibt es auch zahlreiche kritische Stellungnahmen. Vor allem bei nicht-naturwissenschaftlichen Themen, insbesondere bei aktuellen politischen Themen, ist die Objektivität oft mangelhaft [22].

Im Kontext der technischen Systementwicklung kann Wikipedia eine wertvolle Quelle sein, um verschiedenste Informationen schnell nachzuschlagen und einen groben Überblick zu vielen Sachgebieten zu erhalten. Meist ist jedoch die Informationstiefe nicht ausreichend um mit den gefundenen Informationen tatsächlich arbeiten zu können, und aufgrund der zweifelhaften Zuverlässigkeit der Inhalte empfiehlt es sich ohnehin weitere Quellen (welche häufig in Wikipedia angegeben sind) in die Untersuchungen einzubeziehen.

#### Allgemeine Internet-Suchmaschinen

Die meist auf den von Webcrawlern ([32]) gesammelten Informationen basierenden allgemeinen Internet-Suchmaschinen wie z.B. Google, Google Scholar, Bing oder DuckDuckGo sind aus dem Alltag nicht mehr wegzudenken und finden auch in akademischen und wissenschaftlichen Kreisen häufig Verwendung. Die größte Herausforderung in ihrer Benutzung liegt in der Wahl der richtigen Suchbegriffe bzw. in der Sichtung der meist sehr umfangreichen Ergebnisse. Um passendere Ergebnisse für den jeweiligen Nutzer zu erhalten, werden häufig die eingegebenen Suchbegriffe und die besuchten weiterführenden Links personenbezogen gespeichert um diese Daten bei späteren Suchen in eine verbesserte Ergebnisreihung einfließen zu lassen. Vor allem aufgrund der die personenbezogenen Daten betreffenden Bedenken erfreuen sich Suchmaschinen ohne Datenspeicherung (z.B. DuckDuckGo) in letzter Zeit zunehmender Beliebtheit ([45]). Diese können ohne den Suchenden und dessen Präferenzen zu kennen bei der Qualität der Ergebnisse jedoch meistens nicht mit dem Marktführer Google mithalten.

Aufgrund der mittlerweile unvorstellbar großen Vielfalt an im Internet verfügbaren Informationen sind sie aus der Recherche im Zuge von Produktentwicklungen kaum mehr wegzudenken. Die Bandbreite an beschaffbarem Wissen reicht von tatsächlichen Nutzererfahrungen mit am Markt verfügbaren Produkten in sogenannten Foren ([6]) bis hin zu veröffentlichten oder durchgesickerten Informationen über zukünftige, noch nicht erhältliche Konkurrenzprodukte. Des Weiteren lassen sich Hersteller, Leistungsdaten, Anwendungsbeispiele und weitere Eigenschaften verschiedenster technischer (Sub)Systeme ermitteln. Nicht zuletzt liefern auch die Bilder- oder Videosuche oft wichtige Hinweise zum Funktionsprinzip oder zu anderen aufschlussreichen Details erfolgreicher Produkte.

#### Spezialisierte Wissensplattformen

In den letzten Jahren haben sich viele verschiedene, mehr oder weniger auf Nischen beschränkte Wissensplattformen im Internet gebildet. Einige für Entwicklungsprojekte im Maschinenbau besonders relevante werden hier in alphabetischer Reihenfolge kurz vorgestellt.

**GrabCAD** ist die größte Online-Community [20] für CAD-Daten aus verschiedensten Konstruktionen/Branchen in unterschiedlichem Detaillierungsgrad. Zur Verfügung gestellt werden die Daten von Usern, welche ihre Arbeit aus freien Stücken teilen. Diese können entweder unverändert oder modifiziert in die eigene Konstruktion übernommen werden oder aber auch nur als Vergleichsobjekte dienen. In Abb. 3.7 ist ein kleiner Ausschnitt aus den beliebtesten, downloadbaren CAD-Modellen dargestellt.

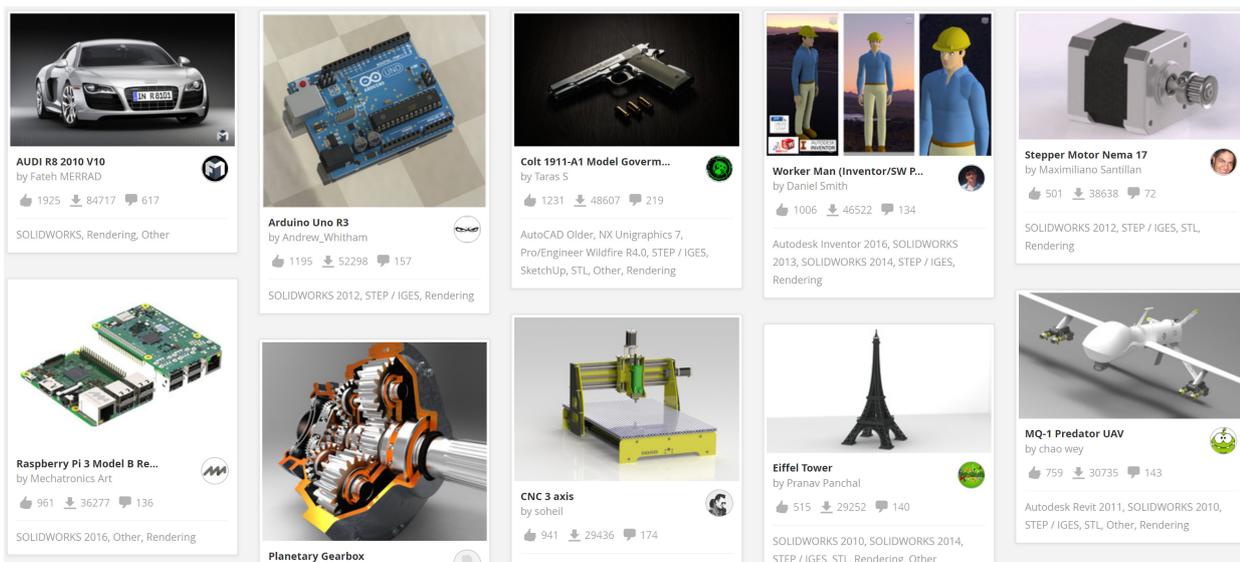


Abbildung 3.7: Die zehn am häufigsten heruntergeladenen CAD-Modelle des GrabCAD-Portals [20]

**ResearchGate** ist eine 2008 gegründete Internetplattform mit dem Ziel die wissenschaftliche Gemeinschaft rund um die Welt besser miteinander zu verknüpfen und die Ergebnisse wissenschaftlicher Arbeiten leichter zugänglich zu machen [3]. Mittlerweile finden sich dort Millionen von Veröffentlichungen aus aktuellen Forschungen verschiedener Disziplinen, viele davon können nach Registrierung im Volltext heruntergeladen werden.

**Traceparts** beinhaltet über 100 Millionen CAD-Modelle von Normteilen und anderen Zukaufsartikeln für den allgemeinen Maschinenbau [51]. Die Daten stammen dabei direkt von den jeweiligen Produzenten der Komponenten, Traceparts stellt dem Nutzer kostenlos einen herstellerübergreifenden CAD-Teilekatalog von Schrauben und Muttern bis hin zu kompletten Montagerobotereinheiten und vielen weiteren Baugruppen zur Verfügung.

## 3.2 Werkzeuge

Als Werkzeuge in der Systementwicklung versteht man Methoden und Vorgehensweisen, um das im Entwicklungsprojekt vorhandene Wissen gezielt, strukturiert und methodisch zur Anwendung zu bringen, und um dieses Wissen gegebenenfalls auch zu erweitern [19]. Mithilfe dieser Werkzeuge können die beschränkten Ressourcen (zeitlich, personell, finanziell) effizienter genutzt werden, und die Chancen für einen erfolgreichen Abschluss der des Projektes erhöht werden. Die in Abschnitt 2.2 bereits vorgestellten Produktentwicklungsprozesse bilden meist den Rahmen für die hier nur näher beschriebenen Methoden.

#### 3.2.1 Funktionsanalyse

Die lösungsneutrale, rein auf die funktionalen Anforderungen gerichtete Betrachtung von Entwicklungsaufgaben gewinnt auch im Maschinenbau immer mehr an Bedeutung (siehe auch Abschnitt 2.1.4, Funktion). Oft wird diese Betrachtungsweise von den im Zuge des Entwicklungsprozesses angewandten Methoden bereits explizit vorausgesetzt (z.B. in der Nutzwertanalyse), häufig werden jedoch auch kleine (Teil)Aufgabenstellungen ohne übergeordneten Prozess isoliert betrachtet, um schnell eine große Variantenvielfalt an möglichen Lösungen zu erhalten. Die möglichst offene Definition der gewünschten Funktion kann dabei entscheidend für das in Betracht ziehen von innovativen Ansätzen sein. „Chemische Energie in mechanische Energie umwandeln“ um die Funktion des Traktionsmotors eines Fahrzeuges zu beschreiben wäre ein Beispiel für eine möglicherweise zu eng definierte Funktion, besser könnte „Gespeicherte Energie in mechanische Energie umwandeln“ sein, was eine breiteres Spektrum an Umsetzungsmöglichkeiten zulässt. Die Abstraktion der Funktionen hilft dabei den Rahmen der denkbaren Lösungen zu erweitern (siehe Abb. 3.8), eine allgemeinere, weiter gefasste Definition der Aufgabenstellung ermöglicht es mehr und verschiedenartigere Varianten zu entwickeln.

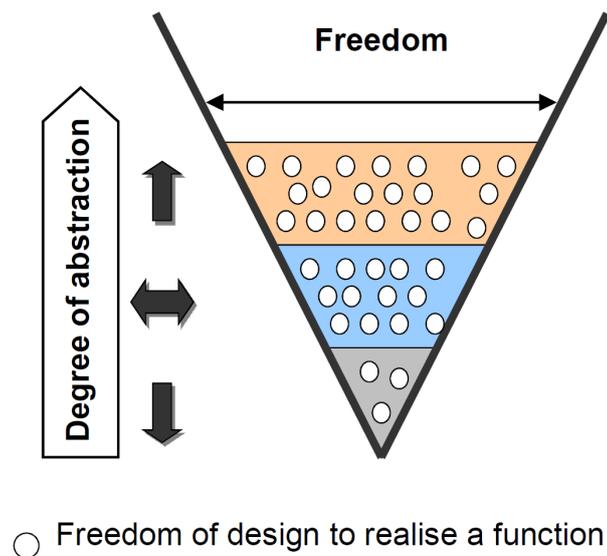


Abbildung 3.8: Zusammenhang zwischen Abstraktion und Freiheit in der Lösungsfindung [27]

Am Beginn einer funktionalen Betrachtung stehen meistens die von Kunden erwarteten bzw. geforderten Funktionen. Diese sind jedoch meist zu abstrakt und allgemein gehalten und daher nicht unmittelbar für technische Systementwicklungen verwendbar. Daher werden von den Kundenfunktionen technische Funktionen abgeleitet, welche in Summe die vom Kunden gewünschte Funktionalität ergeben sollen (siehe auch Abb. 3.9). Diese sind für den normalen Nutzer meist kaum sichtbar, sie haben vor allem in den Bereichen der Systementwicklung und Wartung große Bedeutung. Technische Funktionen werden je nach Größe des Projektes sehr häufig noch in zahlreiche Unterfunktionen auf verschiedensten Ebenen zerlegt (siehe dazu auch Abschnitt 2.2.1), um die Funktionserfüllung

ausreichend genau beschreiben und absichern zu können.

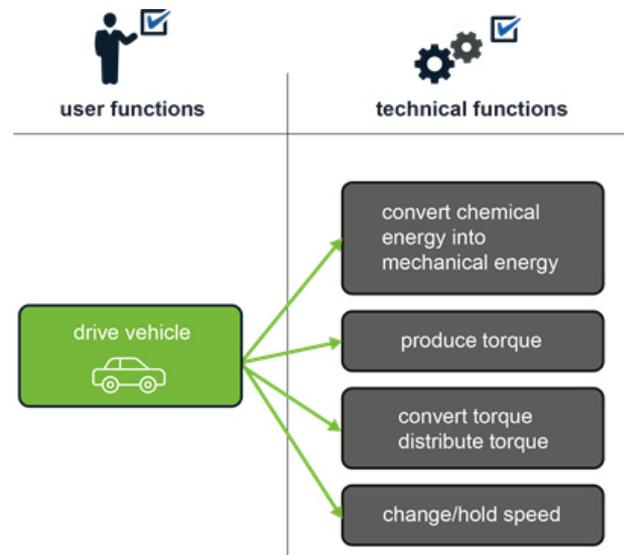


Abbildung 3.9: Die Ableitung technischer Funktionen aus den Kundenfunktionen [24]

Um zu möglichen technischen Umsetzungen der unterschiedlichen Funktionen zu kommen, können die in Abschnitt 3.1 genannten Wissensquellen gemeinsam mit den hier in weiterer Folge beschriebenen Werkzeugen eingesetzt werden.

### 3.2.2 Nutzwertanalyse

Die Nutzwertanalyse [58] ist ähnlich wie die VDI 2225 eine Methode, um mehrere zur Auswahl stehende Varianten hinsichtlich ihrer Tauglichkeit in Bezug auf definierte Ziele zu bewerten. In weiten Bereichen bildet die VDI 2225 eine ähnliche Vorgehensweise wie die Nutzwertanalyse ab, um Redundanzen ohne Informationsgewinn zu vermeiden wird aber in weiterer Folge die Nutzwertanalyse als Beispiel untersucht.

Im Zuge einer Nutzwertanalyse werden die verschiedenen Ausführungsmöglichkeiten in Bezug auf meist an die Anforderungsliste angelehnte Kriterien bewertet, also wie gut die Varianten jeweils geeignet sind, um die Anforderungen zu erfüllen. Durch die Nutzwertanalyse ist es möglich, komplexe Sachverhalte und Kenngrößen verschiedenster Art auf eine repräsentative Kennziffer zu verdichten, ohne dabei intransparent zu werden. Um die Genauigkeit der Untersuchung zu erhöhen, werden die Kriterien meist zusätzlich nach ihrer Bedeutung unterschiedlich gewichtet. In Abb. 3.10 wird als Beispiel die Nutzwertanalyse für ein Kegelrad-Differential mit neuartigem, integriertem Entkoppelungsmechanismus dargestellt. Hier werden die entwickelten Konzepte in Hinblick auf die sechs definierten und mittels paarweisem Vergleich vorab gewichteten Kriterien bewertet. Dabei sind prinzipiell zwei Vorgangsweisen möglich: Entweder es wird jedes Konzept für sich in Bezug auf alle Kriterien bewerten (konzeptorientiertes

### 3 Wissensquellen und Werkzeuge in der Systementwicklung

Vorgehen), oder es werden sukzessive alle Konzepte nacheinander bezüglich eines Kriteriums bewertet (kriterienorientiertes Vorgehen). Durch den unmittelbaren Vergleich aller Lösungsoptionen hinsichtlich eines Kriteriums beim kriterienorientierten Bewerten können relative Unterschiede zwischen den Optionen besser herausgearbeitet werden, dafür ist dieses Vorgehen durch das häufige Vergleichen zwischen den Varianten zeitintensiver als die konzeptorientierte Vorgehensweise.

Konzept	Gew.	Schaltring außen		Schaltring innen		"Oxhorn"		Schaltring rotierend		Schaltstifte bundgeführt		Schaltstifte bohrungsgeführt	
		Bew.	NW	Bew.	NW	Bew.	NW	Bew.	NW	Bew.	NW	Bew.	NW
Robustheit des Systems	35%	4	1,4	5	1,75	4	1,4	5	1,75	4	1,4	3	1,05
Einfluss auf Kegelradlebensdauer	35%	1	0,35	5	1,75	5	1,75	5	1,75	4	1,4	4	1,4
Benötigte Aktorleistung	10%	2	0,2	2	0,2	2	0,2	5	0,5	2	0,2	2	0,2
Fertigungskosten	5%	4	0,2	3	0,15	4	0,2	2	0,1	4	0,2	5	0,25
Gewicht	15%	3	0,45	3	0,45	3	0,45	2	0,3	3	0,45	4	0,6
<b>Summe</b>	<b>100%</b>		<b>2,6</b>		<b>4,3</b>		<b>4</b>		<b>4,40</b>		<b>3,65</b>		<b>3,50</b>

**Bewertung**  
 Sehr Gut ↑ 5  
 Gut ↑ 4  
 Befriedigend → 3  
 Ausreichend ↓ 2  
 Mangelhaft ↓ 1

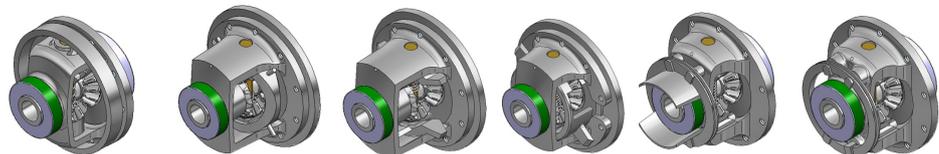


Abbildung 3.10: Nutzwertanalyse bei der Entwicklung eines entkoppelungsfähigen Differentials [54]

Um den Nutzwert der verschiedenen Variante zu ermitteln, werden die jeweils in Bezug auf die Kriterien vergebenen Punktezahlen mit dem Gewicht des Kriteriums multipliziert und aufsummiert. Das Ergebnis, der Nutzwert, ist eine abstrakte Kennziffer, welche die relative Eignung der Varianten gemäß der definierten Kriterien und Gewichte zueinander ausdrückt. Die Treffgenauigkeit dieser Bewertung hängt dabei maßgeblich von dem vorhandenen Wissen über die jeweiligen Varianten und den subjektiven Erfahrungen und Einschätzungen des Bewertenden ab. Werden sehr frühe Konzepte, über die noch nicht viel bekannt ist, miteinander verglichen ist die Analyse vergleichsweise ungenau, bei fertig entwickelten, für Tests zur Verfügung stehenden Betrachtungsobjekten kann sie vergleichsweise genau sein. Um ein möglichst valides Ergebnis zu erhalten, ist es daher ratsam, Varianten, über welche in etwa das selbe Wissen vorhanden ist, miteinander zu vergleichen.

Auch wenn die Ergebnisse als „exakte Zahlen“ mit nahezu beliebig vielen Kommastellen berechnet werden, ist diese aufgrund der zugrunde liegenden, abschätzenden Bewertungen auch bei aller Gewissenhaftigkeit immer mit einer gewissen Subjektivität verbunden. Besonders in frühen Phasen von Systementwicklungen, wo das vorhandene Wissen über die betrachteten Optionen noch gering ist, empfiehlt es sich daher nicht nur die bestbewertete Variante weiter zu verfolgen. Falls bei der näheren Ausarbeitung der ursprünglich favorisierten Variante unüberwindbare Hindernisse auftreten sollten, ist es von Vorteil mindestens ein oder zwei Alternativen ebenfalls näher untersucht zu haben.

## Gewichtung der Kriterien

Die Gewichtung der Kriterien kann dabei auf verschiedene Arten erfolgen, zwei der gebräuchlichsten Methoden werden hier in Folge grob umrissen.

**Direkte Gewichtung:** Die Gewichte werden von dem/der/den Durchführenden direkt vergeben. Aufgrund der fehlenden Methodik ist dies die schnellste, aber auch ungenaueste Gewichtung.

**Paarweiser Vergleich:** Die Gewichte werden durch paarweises Vergleichen der definierten Kriterien bestimmt. Dazu wird jedes Kriterium mit jedem anderen Kriterium gegenüber gestellt, und individuell entschieden welches der beiden Kriterien wichtiger ist, oder ob beide Kriterien gleich wichtig sind. Im Fall des in Abb. 3.11 dargestellten Vergleiches erhält das wichtigere Kriterium immer zwei Punkte, bei einem Gleichstand erhält es einen Punkt, bei minderer Bedeutung keinen. Die Gesamtpunktezahlen der Kriterien werden danach normiert um zu den prozentualen Gewichten der Kriterien wie in Abb. 3.10 zu kommen (Summe aller Gewichte = 100%). Um die Betrachtungsgenauigkeit des paarweisen Vergleiches zu erhöhen, ist es möglich eine breitere Punkteskala beim Vergleich zur Anwendung zu bringen, z.B. zehn Punkte für absolute Dominanz eines Kriteriums zu vergeben, sechs Punkte für eine etwas größere Bedeutung, fünf Punkte bei gleicher Bedeutung, usw. Des weiteren ist es auch möglich, den paarweisen Vergleich durch direktes Gegenüberstellen von Optionen in Bezug auf ein Kriterium direkt zur Bewertung von Lösungsvarianten einzusetzen.

	Robustheit des Systems	Einfluss auf Kegelradlebensdauer	Benötigte Akteurleistung	Fertigungskosten	Gewicht	Summe
Robustheit des Systems	x	1	2	2	2	<b>7</b>
Einfluss auf Kegelradlebensdauer	1	x	2	2	2	<b>7</b>
Benötigte Akteurleistung	0	0	x	2	0	<b>2</b>
Fertigungskosten	0	0	0	x	1	<b>1</b>
Gewicht	0	0	2	1	x	<b>3</b>

Abbildung 3.11: Paarweiser Vergleich der Bewertungskriterien einer Nutzwertanalyse [54]

### 3.2.3 Morphologische Analyse

Die morphologische Analyse hat das Ziel, einen möglichst vollständigen Überblick verschiedener Möglichkeiten eine bestimmte Aufgabenstellung zu lösen zu bieten. In deren Zentrum steht der morphologische Kasten, welcher die möglichen Lösungskombinationen in Form einer zwei- oder mehrdimensionalen Matrix beinhaltet. Dazu wird die Gesamtaufgabenstellung in mehrere voneinander möglichst unabhängige Merkmale (oder auch Funktionen) unterteilt, und für jedes dieser Merkmale werden alle denkbaren Lösungsoptionen ermittelt. Die Merkmale bilden dann die eine Achse einer Matrix, und ihre Lösungsmöglichkeiten die andere Achse. In Abb. 3.12 ist als Beispiel ein morphologischer Kasten mit den Hauptmerkmalen und den möglichen Ausführungsvarianten eines Rapid-Prototyping Technologiedemonstrators dargestellt. Die Auswahl und Bewertung der weiter zu verfolgenden Varianten kann dabei auf vielfältige Art und Weise geschehen, die in Abb. 3.12 blau markierten, gewählten Ausführungsvarianten wurden z.B. mit Hilfe einer Nutzwertanalyse unter Einbeziehung der jeweils relevanten Kriterien ausgewählt.

Funktionen	Ausführungsvarianten			
Fertigung Differentialbaugruppe	Spanende Bearbeitung (Metall)	Spanende Bearbeitung (Kunststoff)	3D-Druck (Kunststoff)	
Antriebsfunktion	Handkurbel	Schrittmotor	Servomotor	
Schaltfunktion	Handhebel	Gestänge	Zahnstange	Spindeltrieb
Trägerfunktion	MDF	Acrylglas	Aluprofile	
Steuerungsfunktion	Mensch	Arduino	Raspberry Pi	Mini - PC
Interaktionsfunktion	Notebook	LCD	Touchscreen	Tablet

Abbildung 3.12: Morphologischer Kasten mit Haupt-Systemmerkmalen (hier Funktionen genannt) [42]

Durch die Möglichkeit der grafischen Darstellung der Vielzahl an verschiedenen Lösungsmöglichkeiten soll die Vorstellungskraft für ungewöhnliche, innovative Elementkombinationen gestärkt werden. Die Abschätzung des Verhaltens der jeweiligen Kombinationen, bzw. das Finden besonders vorteilhafter Kompositionen erfordert jedoch auch hier viel Wissen über die zur Debatte stehenden Optionen. Der große Wert des morphologischen Kastens liegt in seiner Funktion als „Übersichtslandkarte“ von bekannten, denkbaren Lösungen und trägt damit zu einem besseren Verständnis der Aufgabenstellung bei.

### 3.2.4 TRIZ-Methode

Die TRIZ-Methode beruht auf Untersuchungen, welche das Ziel hatten allgemein gültige Gesetzmäßigkeiten und sich wiederholende Muster in Erfindungen durch die Analyse zahlreicher Patentschriften unterschiedlichster Disziplinen zu finden. TRIZ kommt aus dem Russischen und bedeutet übersetzt „Theorie zur Lösung von Aufgaben beim Erfinden“ [35], die Methode wurde von Genrich S. Altschuller in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts entwickelt, laufend erweitert und angepasst. Als Ergebnis seiner Forschungen wurden von ihm vor allem zwei Feststellungen gemacht:

- Erfindungen helfen einen Widerspruch zu überwinden
- Es lassen sich wesentliche Gemeinsamkeiten in zahlreichen Erfindungen finden

In weiterer Folge wurden acht Entwicklungsgesetze technischer Systeme aufgestellt, 40 Erfindungsprinzipien formuliert und zahlreiche weitere Werkzeuge zum „methodischen Erfinden“ entwickelt. TRIZ versteht sich jedoch nicht nur als ein Werkzeug um neue Ideen zu entwickeln, sondern auch als eine Art Denkschule, um die Qualität und Zielgerichtetheit der Gedanken der Systementwickler zu verbessern [35]. Sie erhebt den Anspruch gezielt und methodisch durch das Auflösen von Widersprüchen zu überlegenen, neuartigen technischen Lösungen zu führen, anstatt wie häufig üblich infolge einer lange Reihe von mehr oder weniger zufälligen Versuchen und Fehlschlägen langsam in die Nähe einer besseren Lösung zu kommen.

Da es sich bei TRIZ um eine sehr umfangreiche Sammlung von Entwicklungsgesetzen und Erfindungsprinzipien handelt, ist deren Handhabung in der Praxis mit Aufwand verbunden. Um die Nutzung von TRIZ zu erleichtern und zu vereinfachen sind mittlerweile auch Software-Lösungen wie z.B. 40IP [52] verfügbar, welche bei dem Erkennen und Überwinden von maßgebenden Widersprüchen in den Entwicklungszielen interaktiv unterstützen können.

### 3.2.5 Model-Based Systems Engineering

In Zeiten von immer größer und komplexer werdenden technischen Systemen ist die Verknüpfung der mannigfaltigen Systembausteine und deren Eigenschaften in der Form von Modellen schon heute oft unabdingbar für das Verständnis und die Beherrschung des zu entwickelnden Systems. Erste Ansätze dieses systemorientierten Denkens wurden bereits in den 1950er Jahren entwickelt und anfangs vor allem von der NASA und der US Airforce weiter getrieben [9]. Mittlerweile ist diese Betrachtungsweise neben der Luft- und Raumfahrt jedoch auch in der Fahrzeugindustrie und anderen hochkomplexen Aufgabenstellungen des Maschinenbaus in Anwendung.

Das modellbasierte Systems Engineering beruht auf drei Prinzipien [24]:

- Durchgängige Verwendung von Modellen zur Ablage von Informationen
- Das Aufstellen von System-Modellen um Beziehungen abzubilden

### 3 Wissensquellen und Werkzeuge in der Systementwicklung

- Die Nutzung einer zentralen „single source of truth“ für alle Daten

Diese drei Prinzipien sollen das Entwicklungsteam dabei unterstützen, das zu entwickelnde System möglichst ganzheitlich zu betrachten und keine relevanten Sichtweisen oder Informationen dabei auszulassen. Die verschiedenen, an großen Entwicklungsprozessen beteiligten Disziplinen (Mechanik, Elektrik, Software, ...) werden durch die modellbasierte Wissensablage darin unterstützt benachbarte Bereiche und deren spezifische Erfordernisse und Betrachtungsweisen besser zu verstehen, und Probleme aufgrund von Schnittstellen zwischen den Sichtweisen werden vermieden. Durch die vereinheitlichte, verknüpfte Speicherung aller Projektinformationen lässt sich die Nachvollziehbarkeit von Änderungen und die Wiederauffindbarkeit von Informationen über den gesamten Produktlebenszyklus im Vergleich zum klassischen, auf einer Vielzahl von verschiedenen Dokumenten beruhenden Datenablage verbessern.

Hinsichtlich der Variantenerstellung und -bewertung im Zuge eines Entwicklungsprozesses kann Model Based Systems Engineering (MBSE) aufgrund des umfangreichen Datenhintergrundes vor allem im Bereich der Bewertung der zur Verfügung stehenden Optionen wertvolle Informationen zu Bewertungskriterien, deren Wichtigkeit und den Eigenschaften der Optionen liefern. Da häufig auch das Anforderungsmanagement sowie Verifikation und Validierung in das Systemmodell eingebunden sind, können Zielkonflikte bereits früh im Entwicklungsprozess erkannt werden und qualitativ bessere Entwicklungsergebnisse erzielt werden.

#### 3.2.6 Ansys GRANTA Selector

Aus dem Cambridge Engineering Selector (CES) der bekannten britischen Universität hervorgegangen, bietet der Ansys GRANTA Selector ein umfangreiches Set an Hilfestellungen und Werkstoffdaten um für verschiedenste Anforderungen systematisch, objektiviert den richtigen Werkstoff auszuwählen. Besonders hilfreich dabei sind individuell erstellbare Diagramme, auf welchen die jeweils relevanten Eigenschaften verschiedener Werkstoffe dargestellt werden. In Abb. 3.13 ist z.B. eine Übersicht bekannter Materialien und ihrer Verhältnisse von Masse zu Steifigkeit und Volumen zu Steifigkeit angegeben. Die Palette der in Diagrammen darstellbaren Werkstoffeigenschaften reicht dabei von grundlegenden Eigenschaften wie Dichte, Zugfestigkeit, Bruchdehnung etc. über wirtschaftliche Kennzahlen wie typische Kosten pro Gewichtseinheit bis hin zu verarbeitungsrelevanten Merkmalen wie Schweißbarkeit oder Zerspanbarkeit. Durch den umfangreichen Datenhintergrund und die zahlreichen interaktiven Möglichkeiten der Filterung, Auswahl und Darstellung kann das Auffinden des optimal passenden Werkstoffes im Laufe eines EKP maßgebend erleichtert und beschleunigt werden.

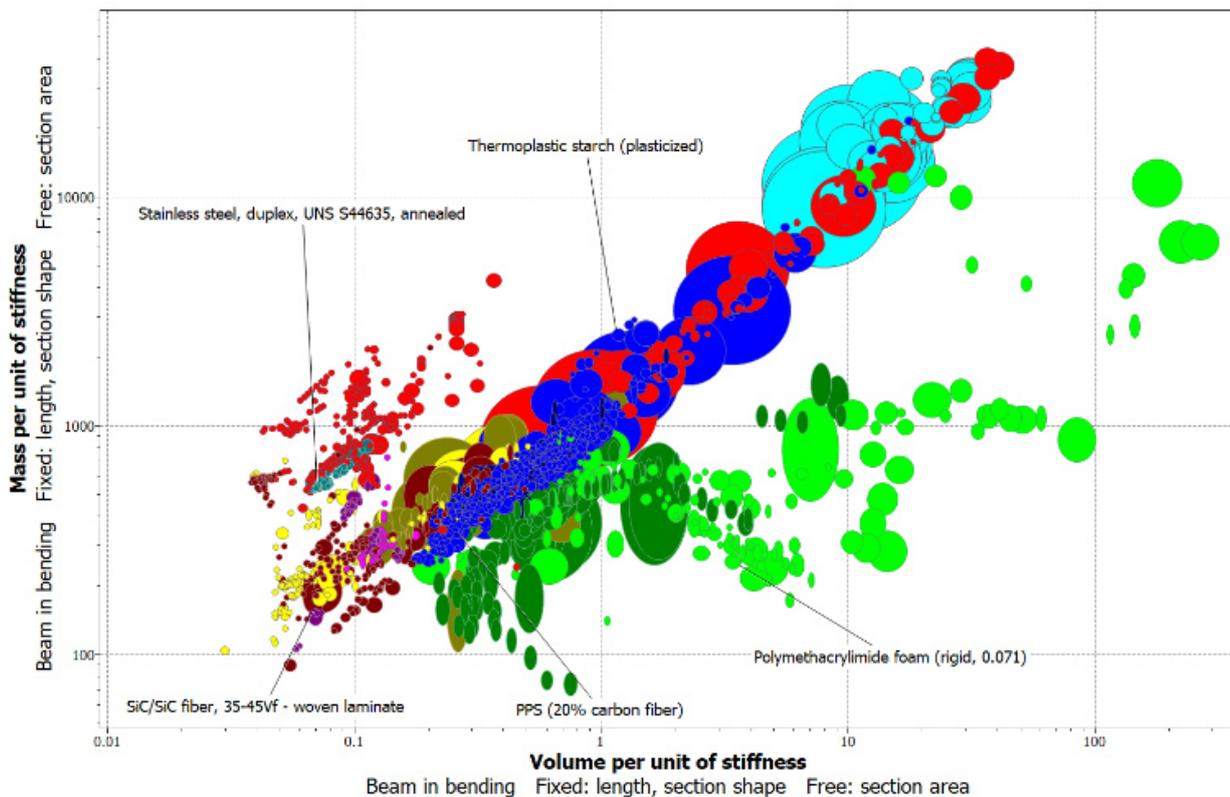


Abbildung 3.13: Werkstoffübersicht Masse/Steifigkeit über Volumen/Steifigkeit [21]

### 3.2.7 Designpilot

Der Designpilot der Hochschule Coburg ist eine web-basierte Software-Unterstützung für Design und Entwicklungsprozesse [14]. Er gliedert sich in zwei Hauptbausteine, der Toolbox und dem Projekt-Manager. Die Toolbox kann dabei als Leitfaden, welcher durch die verschiedenen Schritte eines Entwicklungsprozesses führt gesehen werden. Er beinhaltet eine Auswahl an bewährten Entwicklungstechniken, welche den jeweiligen Phasen zugeordnet aufgelistet und beschrieben werden. Für die tatsächliche Ausführung der dargestellten Techniken wird jedoch kaum Software-Unterstützung geboten. Nur im Projekt-Manager, welcher eine Art Kooperationsplattform für Entwicklungsprojekte darstellt, lassen sich gewisse Werkzeuge tatsächlich interaktiv nutzen. Im Vergleich zu klassischen Entwicklungsleitfäden ist hier vor allem die teilweise interaktive Benutzung der Inhalte ein Fortschritt für den Benutzer.

## 3.3 Fazit

Es zeigt sich, dass es bereits ein sehr großes Angebot an für die technische Systementwicklung relevanten Wissensquellen und Werkzeugen gibt. Da die allermeisten von Ihnen ihre Ursprünge im 20. Jahrhundert hatten, als vernetzte Computersysteme und

### 3 Wissensquellen und Werkzeuge in der Systementwicklung

Software-Lösungen noch keine weite Verbreitung hatten, ist es auch nicht verwunderlich das diese kaum die vielfältigen Möglichkeiten vernetzter, digitaler Workflows nutzen. Die Umsetzung wirtschaftlich relevanter Prozesse und Methoden mittels maßgeschneiderter Software hat in einigen Bereichen (z.B. Enterprise Resource Planning) den klassischen papier- und tabellenbasierten Unternehmensbetrieb bereits nahezu vollständig verdrängt, und auch im Bereich der Systementwicklung wird der Grad der Digitalisierung noch weiter zunehmen. Die weit gefassten Ansätze im Bereich des Anforderungsmanagements oder das MBSE zeigen, dass der Weg in Zukunft zu immer umfassenderen Softwarelösungen für alle Phasen des Systemlebenszyklus führt.

Ein datenbankbasierter Systementwicklungsbaukasten, der ähnlich der klassischen Konstruktionskataloge oder dem GRANTA Selector auf einer umfangreichen Datenbasis aufbaut und des weiteren intelligente Funktionen zur Variantenerstellung und -bewertung beinhaltet könnte in der Systementwicklung sowohl Zeit sparen als auch die Qualität des Ergebnisses verbessern. Im digitalen Systementwicklungsbaukasten könnten außerdem eigene Bausteine mit nahezu beliebigen Eigenschaften erstellt, und ebenso interaktiv zu (Sub)Systemen kombiniert werden. So können die voraussichtlichen Eigenschaften verschiedener Lösungskombinationen basierend auf bekannten Leistungsmerkmalen der einzelnen Bausteine automatisiert mit wenig Aufwand ermittelt werden und bereits früh in der Entwicklung zuverlässige Aussagen zu den erreichbaren Systemeigenschaften getroffen werden.

## 4 Anforderungen an den Systementwicklungsbaukasten

Der Fokus des Systementwicklungsbaukastens soll auf der Erstellung und Bewertung möglicher Lösungsvarianten für technische Aufgabenstellungen liegen. Eine umfangreiche Sammlung relevanter technischer Daten soll dabei die Basis für eine weitgehend durch Softwarefunktionen unterstützte und geführte Lösungssuche und Konzeptentwicklung bilden. Der Benutzer des Baukastens soll jedoch größtmögliche Freiheiten sowohl hinsichtlich der Benutzungsweise (Art, Anzahl und Reihenfolge der genutzten Baukasten-Funktionen) als auch in Bezug auf die zu Grunde liegende Datenbasis haben. Insbesondere soll der Nutzer eigene Sichtweisen in den Lösungsfindungsprozess einbringen und neu gewonnene Erkenntnisse oder bisher nicht berücksichtigte Informationen in den Baukasten einfließen lassen können. Im Zuge eines komplexen, mehrere Iterationsschleifen umfassenden Entwicklungsprozesses werden laufend neue Erkenntnisse gewonnen, durch Rückführung dieser in den Baukasten entsteht eine immer größere und aussagekräftigere Datenbasis, wodurch die Entwicklungsaktivitäten an Zielsicherheit gewinnen und Iterationsschleifen eingespart werden können.

Um die Funktionen, welche der Systementwicklungsbaukasten seinem Nutzer zur Verfügung stellt von den Funktionen, welche das zu entwickelnde technische System erfüllen soll klar zu unterscheiden, werden im Folgenden die Funktionen des Baukastens als „Funktionalitäten“ bezeichnet, und die geforderten Funktionen des Zielsystems weiterhin als „Funktionen“.

Um die Anforderungen an den Systementwicklungsbaukasten zu erarbeiten, werden die für potentielle Nutzer relevanten Funktionalitäten ermittelt und anschließend einer Bewertung und Priorisierung unterzogen. In diesem Kapitel werden zuerst die nötigen Funktionalitäten des Systementwicklungsbaukastens erarbeitet, bevor die Anforderungen an die ermittelten Funktionalitäten festgelegt werden. Die gesamte Ermittlung der Funktionalitäten und deren Anforderungen wird dabei mithilfe einer Excel-Tabelle, welche die in Abschnitt 3.1.1 erläuterten Vorgaben erfüllt, durchgeführt. Die finale Version dieser Auflistung befindet sich im Anhang der Arbeit.

### 4.1 Festlegung des Verwendungsbereiches des Systementwicklungsbaukastens

Um die Anforderungen und Funktionalitäten des Systementwicklungsbaukastens treffend formulieren zu können, ist es notwendig den Verwendungsbereich des Baukastens sowie den Ziel-Nutzer näher zu beschreiben / abzugrenzen.

#### 4.1.1 Positionierung des Systementwicklungsbaukastens im Produktentwicklungsprozess

Wie in Abschnitt 2.2 anhand mehrerer Beispiele gezeigt, beinhalten die im maschinenbaulichen Umfeld relevanten Produktentwicklungsprozesse (z.B. die VDI 2221, Phase 3) meist den Schritt der Variantenbildung, ohne detaillierte Vorgaben darüber zu machen, wie diese Variantenbildung zu erfolgen hat, bzw. auf welchem Wissen diese Variantenbildung aufbauen soll. Diese Lücke soll von dem Systementwicklungsbaukasten geschlossen werden, indem dieser sowohl das nötige Wissen über mögliche Lösungselemente, als auch Methoden zur Variantenbildung und Bewertung beinhaltet.

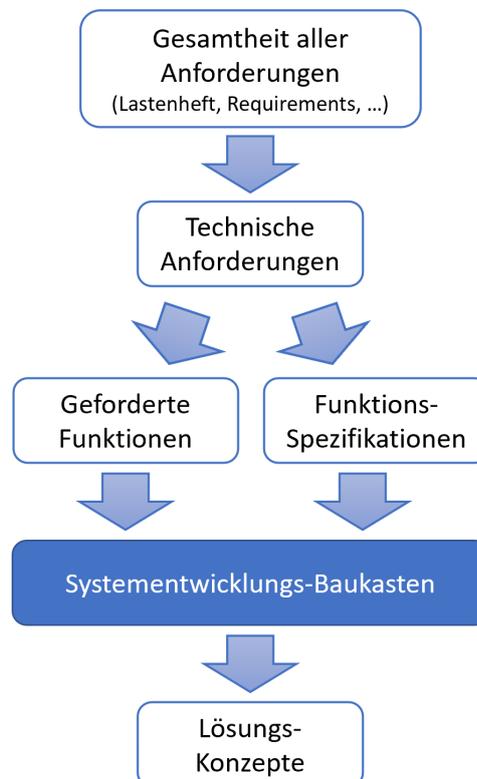


Abbildung 4.1: Die Positionierung des Systementwicklungsbaukastens im Informationsfluss des Entwicklungsprozesses

#### 4.1 Festlegung des Verwendungsbereiches des Systementwicklungsbaukastens

Basierend auf den allgemeinen Anforderungen an das zu entwickelnde technische System, werden die explizit technischen Anforderungen isoliert betrachtet. Mittels Funktionsanalyse werden diese abstrahiert und in eine Funktionsstruktur verwandelt sowie begleitende, möglichst quantifizierbare Funktions-Spezifikationen abgeleitet. Mithilfe der ermittelten Funktionen können im Systementwicklungsbaukasten schließlich prinzipiell taugliche Lösungen für die Aufgabe(n) gefunden werden. Anhand der Funktions-Spezifikationen können die gefundenen Lösungsvarianten schließlich auf ihre spezifische Eignung hinsichtlich der konkreten Aufgabenstellung untersucht werden. Das Ergebnis für den Nutzer des Systementwicklungsbaukastens soll schließlich eine betreffend ihrer Eignung für die Aufgabe bewertete Auflistung von möglichen Lösungskonzepten inklusive grober stofflicher und geometrischer Vergleichsgrößen sein. In Abbildung 4.1 ist der Fluss der Informationen von den Anforderungen bis hin zu den Lösungskonzepten symbolisch dargestellt.

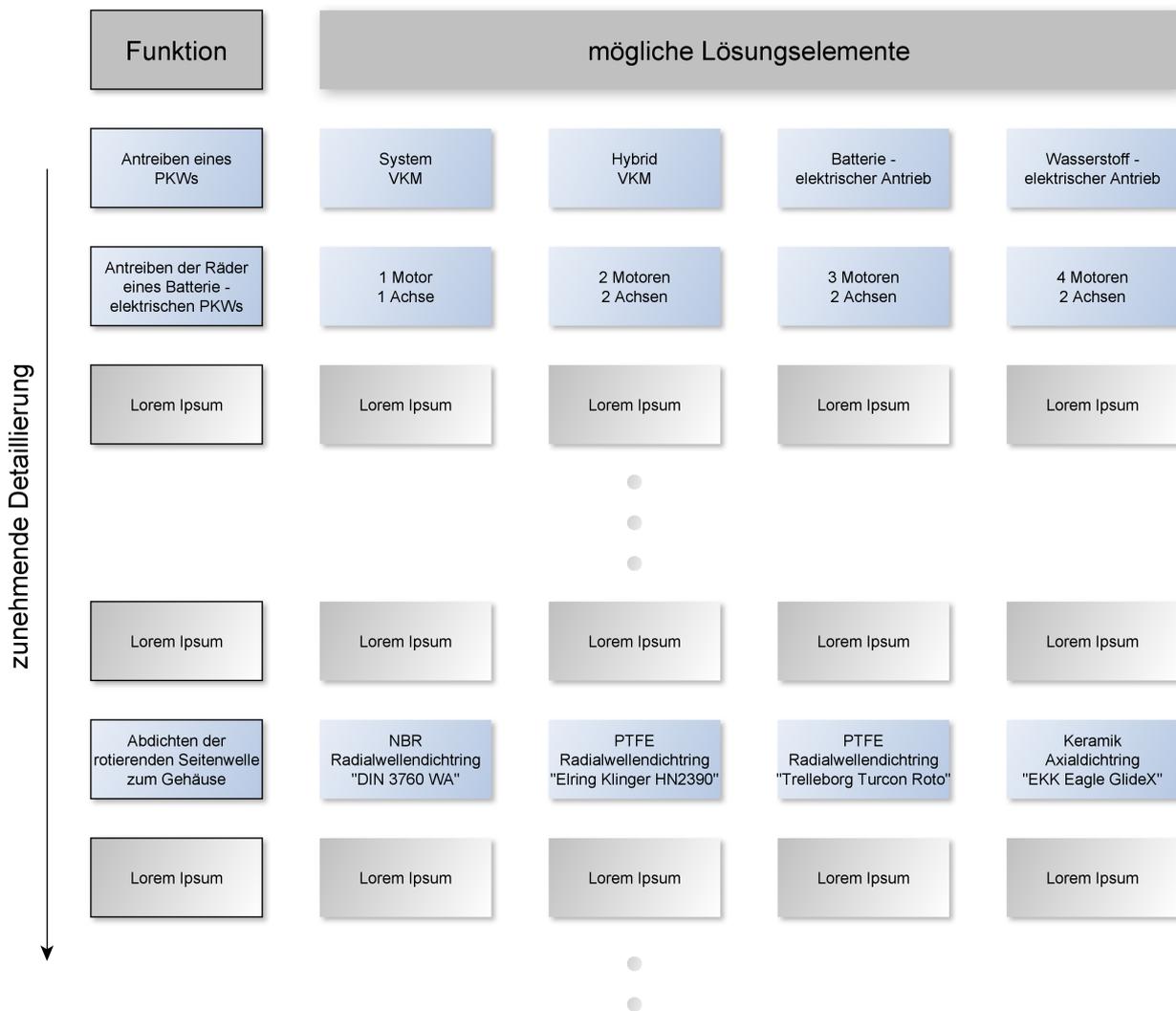


Abbildung 4.2: Beispielhafte Funktionen und mögliche Lösungselemente eines PKWs in verschiedenen Detaillierungsebenen

## 4 Anforderungen an den Systementwicklungsbaukasten

Da die meisten Entwicklungsprojekte wie in Abschnitt 2.2.1 beschrieben in Teilproblemstellungen auf verschiedenen Detaillierungsebenen aufgeteilt werden, soll auch der Systementwicklungsbaukasten wie in Abb. 4.2 dargestellt in unterschiedlichen Ebenen der Entwicklung angewandt werden können. Lösungselemente in höheren Ebenen können also von sehr allgemeiner, eher prinzipieller Natur sein, oder aber auch in der Tiefe im Detail verschiedene Möglichkeiten aufzeigen.

### 4.1.2 Charakterisierung der Nutzerzielgruppe

Um die typischen Nutzer des Systementwicklungsbaukastens zu charakterisieren, werden dieser mithilfe zweier fiktiver „Personas“ [5] beschrieben. Diese Personas sollen dazu dienen, die Bedürfnisse, Wünsche und Herangehensweisen der Zielgruppe besser zu verstehen und in der Konzeption des Systementwicklungsbaukastens zu berücksichtigen.

#### Persona: *Norbert Biene*, Entwicklungsingenieur



Quelle:  
[http://www.clipartpanda.com/clipart\\_images/engineer-45007542](http://www.clipartpanda.com/clipart_images/engineer-45007542)

~30 Jahre alt, männlich  
Technische Ausbildung  
(HTL, FH, TU)

**Interessiert sich für:**

Technik im Allgemeinen, (Motor-)Sport, digitale Medien

**Hat dieses Problem:**

Die tägliche Arbeit im Spannungsfeld zwischen Kostendruck, Termindruck Innovationszwang und Risikominimierung

**Benötigt Lösung für:**

Schnelle und praxisrelevante Informationen zu alternativen / innovativen Umsetzungsmöglichkeiten aktueller (Detail-)Aufgabenstellungen

**Folgen bei nicht-Lösung:**

Nur sehr langsame, inkrementelle Weiterentwicklung der bekannten Systeme bis hin zur vollständigen Stagnation der Innovation

**Was kann der Systementwicklungsbaukasten ihm bieten:**

Praxisrelevante Informationen zu verschiedensten Lösungsmöglichkeiten, Methoden zum schnellen Vergleichen und Bewerten der Möglichkeiten

Abbildung 4.3: Steckbrief der Persona „Entwicklungsingenieur“

Die erste Persona (siehe Abb. 4.3) charakterisiert den typischen Entwicklungsingenieur, der mit der detaillierten Ausarbeitung verschiedener Projekte betraut ist und häufig kleine Entscheidungen im Alleingang oder ohne große Diskussionen treffen muss. Die zweite Persona (siehe Abb. 4.4) beschreibt einen Teamleiter oder auch Produkmanager, welcher für mittel- und langfristige Strategie- und Grundsatzentscheidungen (mit)verantwortlich ist und diese unter Berücksichtigung aller Stakeholder Interessen erarbeiten und argumentieren muss.

### Persona: *Alexander Schäffer*: Teamleiter / Produktmanager



Quelle: <https://clipground.com/manager-clipart.html>

~45 Jahre alt, männlich  
Technische Ausbildung  
(HTL, FH, TU)

#### **Interessiert sich für:**

Technik im Allgemeinen, Industrietrends, (Motor-)Sport

#### **Hat dieses Problem:**

Weitreichende Strategieentscheidungen treffen zu müssen, während ein Großteil der Arbeitszeit vom administrativen Tagesgeschäft in Anspruch genommen wird

#### **Benötigt Lösung für:**

Treffgenaue qualitative Vergleiche zwischen möglichen Lösungsstrategien für die ihm anvertrauten Aufgabenstellungen

#### **Folgen bei nicht-Lösung:**

„Vom Markt abgehängt werden“ aufgrund zu konservativer Innovationsstrategien und/oder erfolglose, teure Entwicklungsprojekte bei falsch gewähltem Fokus

#### **Was kann der Systementwicklungsbaukasten ihm bieten:**

Allgemeine Informationen zu verschiedensten Lösungsstrategien, Methoden zum schnellen Vergleichen und Bewerten der Möglichkeiten

Abbildung 4.4: Steckbrief der Persona „Teamleiter / Produktmanager“

## 4.2 Ermittlung der Funktionalitäten des Systementwicklungsbaukastens

Basierend auf zahlreichen Gesprächen mit in der technischen Produktentwicklung tätigen Personen und den im Laufe dieser Arbeit gesammelten Erkenntnissen werden mögliche Funktionalitäten des Entwicklungsbaukastens in einem ersten Schritt aus der Sicht des Produktentwicklers (Nutzers) beschrieben. Hierbei wird zwischen den Bereichen Lösungsfindung und Lösungsbewertung unterschieden.

### 4.2.1 Funktionalitäten der Lösungsfindung

Wie in Abschnitt 2.2 näher ausgeführt, werden in den gebräuchlichsten Produktentwicklungsprozessen häufig möglichst viele Lösungsvarianten erarbeitet, um auch exotische, unter Umständen besonders vorteilhafte Varianten in die Überlegungen einzubeziehen. Dabei können für den Systementwickler auf Lösungssuche die folgenden *Nutzerfunktionalitäten* des Systementwicklungsbaukastens unterstützend wirken:

- Auflisten und Vergleichen bekannter Lösungselemente
- Auswahl und Verknüpfung von Lösungselementen
- Darstellung und Beschreibung möglicher Lösungsvarianten

In Abb. 4.5 ist eine mögliche Funktionsstruktur des Systementwicklungsbaukastens zur Bildung von Lösungsvarianten dargestellt. Ausgehend von einer oder mehrerer

#### 4 Anforderungen an den Systementwicklungsbaukasten

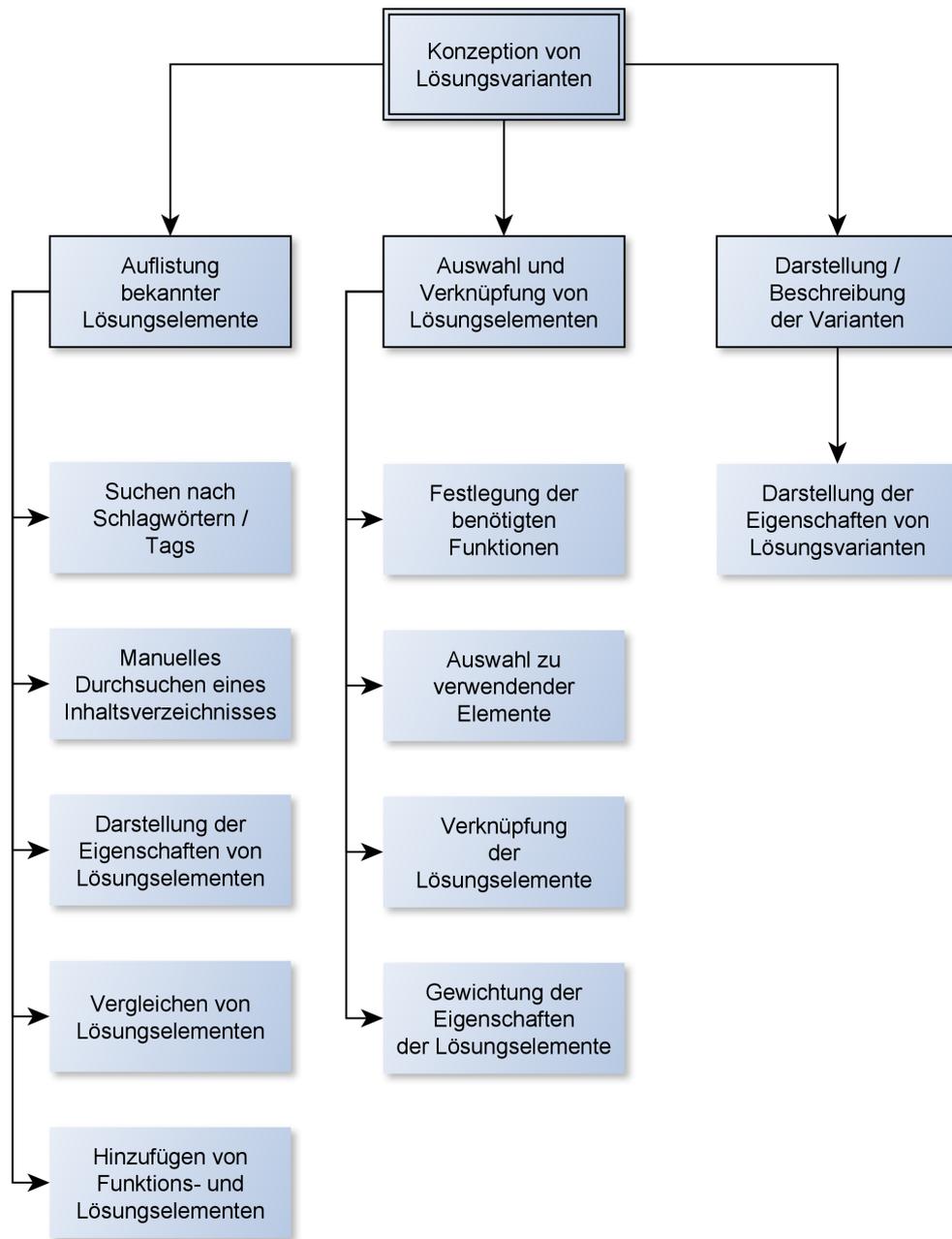


Abbildung 4.5: Gliederung der bei der Lösungsfindung unterstützenden Funktionalitäten (=Funktionen des Systementwicklungsbaukastens)

gewünschter Funktionen werden die im Baukasten hinterlegten, bekannten Lösungen für eben diese Funktionen aufgelistet. Sollten dem Nutzer bekannte Lösungs- oder Funktionen nicht, oder nur unvollständig im Baukasten vorhanden sein, soll es diesem möglich sein die relevanten Informationen hinzuzufügen. In einem nächsten Schritt wählt der Nutzer die für die jeweilige Aufgabenstellung in Frage kommenden Lösungen aus und unterteilt/verknüpft sie zu Lösungsvarianten. Um den Einfluss der einzelnen Lösungselemente auf die gesamte, erstellte Variante zu berücksichtigen, ist außerdem

### 4.3 Anforderungen an die Funktionalitäten des Systementwicklungsbaukastens

noch eine Gewichtung der in den Varianten enthaltenen Lösungselemente erforderlich, bevor die erstellten Lösungskonzepte mit ihren Details dargestellt werden.

Die den in Abb. 4.5 den *Nutzerfunktionalitäten* untergeordneten Teilfunktionalitäten werden in weiterer Folge den *Werkzeugfunktionalitäten* zugerechnet, da diese vom Werkzeug „Systementwicklungsbaukasten“ zur Verfügung gestellt werden müssen um dem Nutzer das Finden von möglichen Lösungen zu erleichtern.

#### 4.2.2 Funktionalitäten der Lösungsbewertung

Die Analyse und Bewertung der in Betracht kommenden Lösungsvarianten ist integraler Bestandteil des im Abschnitt 2.2.1 vorgestellten Problemlösungszyklus und wird auch in vielen anderen Vorgehensmodellen verwendet. Diese Analyse und Bewertung kann für den Systementwickler mithilfe folgender *Nutzerfunktionalitäten* unterstützt werden:

- Überführung der Anforderungen in Bewertungskriterien
- Bewertung der Lösungsvarianten anhand der Kriterien
- Darstellung der Bewertungsergebnisse

Um aus den zuvor erstellten Varianten diejenige(n) auszuwählen, welche voraussichtlich am Besten geeignet ist (sind) ist es notwendig die Anforderungen an das System zu kennen und davon Bewertungskriterien für die erstellten Varianten abzuleiten. Wie in Abb. 4.6 anhand einer möglichen Funktionsstruktur dargestellt, kann diese Bewertung manuell, auf der Erfahrung und Einschätzung von in der Entwicklung tätigen Personen geschehen, oder aber automatisiert auf Basis der im Baukasten hinterlegten Eigenschaften der Lösungselemente geschehen.

Die den in Abb. 4.6 den *Nutzerfunktionalitäten* untergeordneten Teilfunktionalitäten werden in weiterer Folge den *Werkzeugfunktionalitäten* zugerechnet, da diese vom Werkzeug „Systementwicklungsbaukasten“ zur Verfügung gestellt werden müssen um dem Nutzer das Bewerten von möglichen Lösungen zu erleichtern.

### 4.3 Anforderungen an die Funktionalitäten des Systementwicklungsbaukastens

Um die in Abschnitt 4.2 erarbeiteten Funktionalitäten des Systementwicklungsbaukastens genauer zu definieren, werden diese hier näher beschrieben und Anforderungen für ihre Umsetzung bestimmt. Zur zweifelsfreien Festlegung werden zu den jeweiligen Funktionen die Eingangs- und Ausgangsgrößen ermittelt sowie weitere Details zur Umsetzung der Funktionalitäten niedergeschrieben.

## 4 Anforderungen an den Systementwicklungsbaukasten

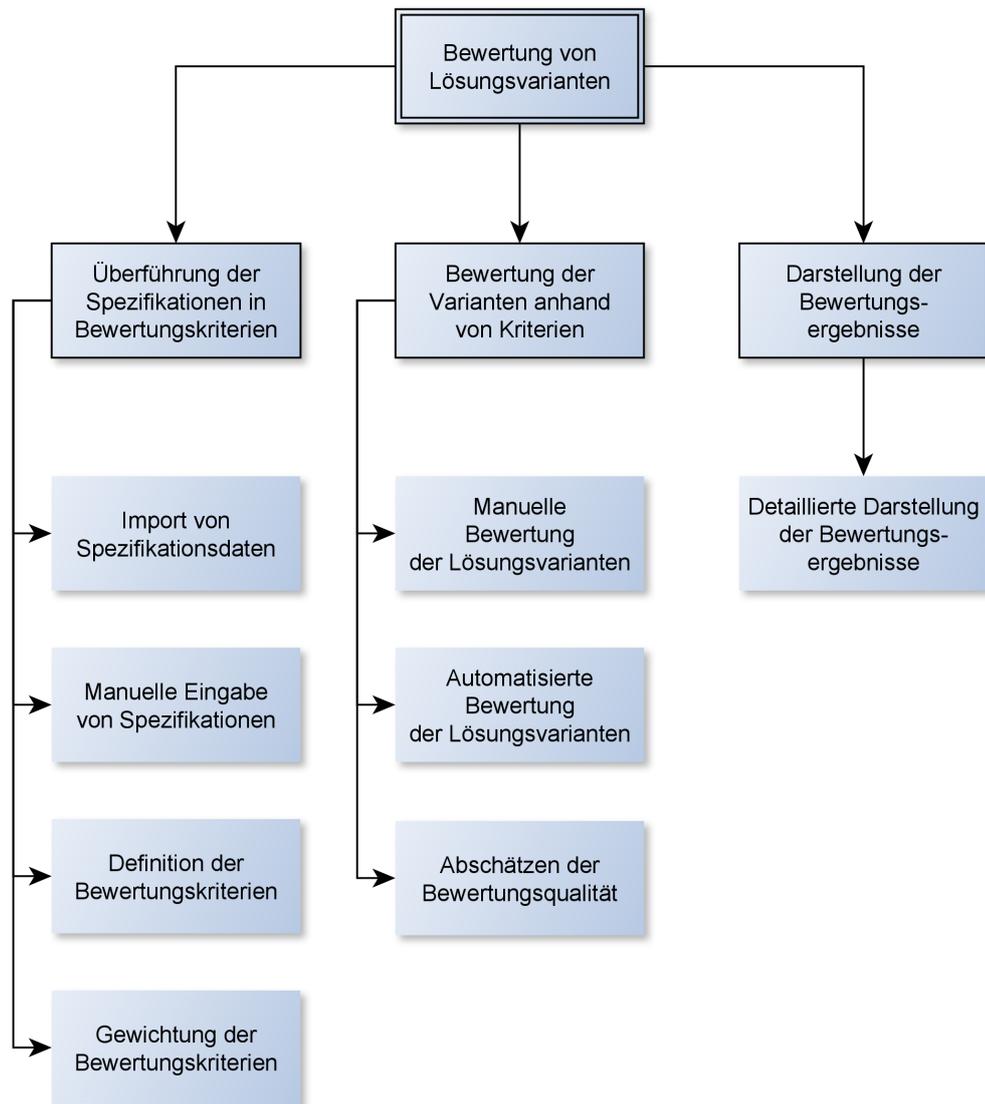


Abbildung 4.6: Gliederung der bei der Lösungsbewertung unterstützenden Funktionalitäten (=Funktionen des Systementwicklungsbaukastens)

### 4.3.1 Auflisten bekannter Lösungselemente

Je nach Wunsch des Nutzers soll es möglich sein sowohl direkt nach Lösungselementen zu suchen, als auch über eine zu erfüllende Funktion die passenden Lösungselemente zu finden. In dem Fall, in dem der Nutzer mögliche Lösungselemente zu einer bekannten Funktion sucht muss es also zuerst möglich sein, diese Funktion als solche zu suchen, um in einem nächsten Schritt die dieser Funktion zugeordneten möglichen Lösungselemente

### 4.3 Anforderungen an die Funktionalitäten des Systementwicklungsbaukastens

aufzulisten. Die in der Datenbank als Objekte hinterlegten Funktionen werden in weiterer Folge als „Funktionselemente“ bezeichnet.

Ähnlich wie z.B. in Online-Shops oder auf Wikipedia soll es möglich sein durch einfache Texteingabe die Datenbank zu durchsuchen um zum Suchbegriff passende Ergebnisse zu erhalten. Diese Auflistung sollte sich auch ohne großen Aufwand um neue Elemente erweitern lassen und ein Durchsuchen/Sortieren der Einträge nach verschiedenen Gliederungsmerkmalen sollte ebenfalls ermöglicht werden. Des Weiteren soll diese Funktionalität auch im Zuge einer umfangreicheren, mehrere gewünschte Funktionen umfassenden Konzeptentwicklung zur Lösungssuche wiederverwendet werden.

Von diesen Vorgaben lassen sich die im folgenden Abschnitt behandelten Unterfunktionalitäten ableiten. Die Anforderungen an diese Unterfunktionalitäten werden dabei mithilfe textbasierter Beschreibungen und den geforderten Ein- und Ausgangsgrößen dargestellt.

#### Suchen nach Schlagwörtern / Tags

Sowohl bei der Suche nach Lösungselementen als auch bei der Suche nach Funktionselementen sollte es ähnlich wie in Abb. 4.7 möglich sein die Suchergebnisse nach in den Lösungs- oder Ergebniselementen hinterlegten Eigenschaften zu filtern und / oder andere Gliederungsmerkmale zur Einschränkung der Ergebnisse zu nutzen (in Abb. 4.7 Auswahl eines „Bereiches“ genannt). Eine Sortierung der Ergebnisse sollte ebenso nach verschiedenen Gesichtspunkten wie z.B. Relevanz oder Detaillierungsgrad der Elemente möglich sein.

Ihre Suche nach "motor" ergab mehr als 10000 Ergebnisse

Wählen Sie zunächst einen Bereich aus:

The screenshot displays a search interface for an online shop. At the top, there are navigation arrows and a row of category buttons: Schaltechnik, Antriebstechnik, Befehls-, Meldegeräte, Industriesensoren, SPS, Signaltechnik, and Verteilerschranl. Below this is a grid of filter options, each with a dropdown arrow: Produkt-Art, Nennspannung, Anzahl Zähne, Bohrungs-Durchme..., Wellen-Ø, Marke, Nenndrehzahl, Preis, Nennleistung, Drehzahl, Nennstrom - gerun..., Kundenbewertung, Modul-Typ, Nenndrehmoment, Maßstab, Untersetzung, Anschluss, Inhalt, and Farbe. A 'Weniger Filter' button is located below the grid. At the bottom, there is a pagination indicator '1 - 30 von mehr als 10000 Ergebnissen', a sorting dropdown menu set to 'Relevanz', and two view options: 'Liste' and 'Tabelle'.

Abbildung 4.7: Auswahl und Filtermöglichkeiten eines Onlineshops [49]

Diese Funktionalität kann auch mithilfe der in Tabelle 4.1 dargestellten Ein- und Ausgangsgrößen beschrieben werden.

## 4 Anforderungen an den Systementwicklungsbaukasten

<i>Eingangsgröße</i>	Texteingabe des Nutzers sowie Datenbank der vorhandenen Elemente
<i>Ausgangsgröße</i>	nach Relevanz, Fachgebiet, etc. sortier- und filterbare Auflistung von Funktions- und Lösungselementen

Tabelle 4.1: Eingangs- und Ausgangsgrößen der Suchfunktionalität

### Manuelles Durchsuchen des Datenbankinhalts

Wie bei elektronischen Büchern (eBooks) oder vielen Homepages soll auch das manuelle Durchsuchen des Datenbankinhalts möglich sein, um eine „Top-Down“ Vorgehensweise bei der Lösungssuche zu ermöglichen und den gesamten Inhalt nach verschiedenen Gliederungsmerkmalen sortiert aufzulisten. Die nötigen Ein- und Ausgangsgrößen sind in Tabelle 4.2 dargestellt.

<i>Eingangsgröße</i>	Auswahl einer (Sub)Kategorie oder anderer Gliederungsmerkmale
<i>Ausgangsgröße</i>	nach Relevanz, Fachgebiet, etc. sortierbare Auflistung von Lösungselementen

Tabelle 4.2: Eingangs- und Ausgangsgrößen der manuellen Suchfunktionalität

### Darstellung der Element-Eigenschaften

Um mehr über die mittels Schlagwortsuche oder Inhaltsverzeichnis aufgefundenen Elemente zu erfahren, sollen die hinterlegten Eigenschaften der Elemente ebenso wie ihre Beziehungen zu anderen Elementen dargestellt werden. Dies kann mithilfe der in Tabelle 4.3 dargestellten Ein- und Ausgangsgrößen ermöglicht werden.

<i>Eingangsgröße</i>	relevante Funktionen
<i>Ausgangsgröße</i>	text-, tabellen- oder grafikbasierte Informationen zu Funktions- oder Lösungselementen

Tabelle 4.3: Eingangs- und Ausgangsgrößen der Element-Darstellungs-Funktionalität

### Vergleichen von Lösungselementen

Um die Unterschiede sowie Vor- und Nachteile der ausgewählten Lösungselemente besser herauszuarbeiten, soll es möglich sein die hinterlegten Eigenschaften mehrerer Lösungselemente unmittelbar miteinander auf eine schnelle und zugleich aussagekräftige Weise zu vergleichen. Auf Wunsch des Nutzers solle es auch möglich sein, die Funktions-Spezifikationen (Anforderungen) der aktuellen Aufgabenstellung ebenfalls im Vergleich darzustellen. Diese Funktionalität kann auch mithilfe der in Tabelle 4.4 dargestellten Ein- und Ausgangsgrößen beschrieben werden.

### 4.3 Anforderungen an die Funktionalitäten des Systementwicklungsbaukastens

<i>Eingangsgröße</i>	von Nutzer ausgewählte Lösungselemente, Funktions-Spezifikationen
<i>Ausgangsgröße</i>	text-, tabellen- oder grafikbasierte Informationen mehrerer Lösungselemente auf einen Blick

Tabelle 4.4: Eingangs- und Ausgangsgrößen der Vergleichs-Funktionalität

#### Hinzufügen und Bearbeiten von Funktions- und Lösungselementen

Sollte ein vom Nutzer benötigtes Element nicht vorhanden sein, oder sollte der Nutzer Wissen über weitere oder aktuellere Eigenschaften eines Elementes besitzen, sollte es möglich sein diese Informationen schnell und unkompliziert zur weiteren Nutzung zur Datenbank hinzuzufügen. Die nötigen Ein- und Ausgangsgrößen sind in Tabelle 4.5 dargestellt.

<i>Eingangsgröße</i>	(Zusatz-) Informationen zum (neuen) Element (text-, tabellen-, grafikbasiert)
<i>Ausgangsgröße</i>	verwendbares Element in der Datenbank

Tabelle 4.5: Eingangs- und Ausgangsgrößen der Hinzufügen und Bearbeiten-Funktionalität

#### 4.3.2 Auswahl und Verknüpfung von Lösungselementen

Um die für eine nähere Betrachtung in Frage kommenden Lösungselemente einzugrenzen und um Konzepte, welche mehrere zu erfüllende Funktionen umfassen, darstellen zu können ist es notwendig aus den aufgelisteten Lösungselementen eine Auswahl zu treffen und mehrere Lösungselemente zu einem Gesamt- oder Teilsystem zu verknüpfen. Dabei soll es zum einen möglich sein schnell und unkompliziert mehrere in Frage kommenden Lösungselemente für eine einzelne benötigte Funktion auszuwählen. Zum anderen soll auch die Konzeption von mehreren auf unterschiedlichen Lösungselementen beruhenden Lösungsvarianten, welche in Summe die gewünschte Gesamtfunktion bereit stellen, unterstützt werden.

Diese Vorgaben können mithilfe folgender Unterfunktionalitäten dargestellt werden:

##### Festlegung der benötigten Funktion(en)

Mithilfe der Suche nach Schlagwörtern/Tags oder durch manuelles Durchsuchen des Inhaltsverzeichnisses gefundene Funktionselemente sollen für die weitere Verwendung im Baukasten vorgemerkt werden. Dies kann mithilfe der in Tabelle 4.6 dargestellten Ein- und Ausgangsgrößen ermöglicht werden.

## 4 Anforderungen an den Systementwicklungsbaukasten

<i>Eingangsgröße</i>	Nutzereingaben
<i>Ausgangsgröße</i>	Sammlung von für aktuelle Betrachtung relevanten Funktionselemente

Tabelle 4.6: Eingangs- und Ausgangsgrößen der Funktions-Festlegungs-Funktionalität

### Auswahl zu verwendender Lösungselemente

Basierend auf der Liste der vorgemerkten Funktionselemente werden mögliche Lösungselemente für die jeweiligen Funktionen vorgeschlagen. Der Benutzer soll dann die Möglichkeit haben die für ihn zur weiteren Verwendung in Frage kommenden Lösungselemente auszuwählen. Diese Funktionalität kann auch mithilfe der in Tabelle 4.7 dargestellten Ein- und Ausgangsgrößen beschrieben werden.

<i>Eingangsgröße</i>	von Nutzer ausgewählte relevante Funktionselemente
<i>Ausgangsgröße</i>	unstrukturierter Pool von ausgewählten Lösungselementen

Tabelle 4.7: Eingangs- und Ausgangsgrößen der Lösungselement-Auswahl-Funktionalität

### Verknüpfung der Lösungselemente zu Lösungsvarianten

Um aus dem vorausgewählten Pool von Lösungselementen Varianten zu bilden, welche in Summe alle geforderten Funktionen erfüllen, ist es notwendig die Elemente entsprechend miteinander zu verknüpfen. Um eine Lösungsvariante zu erstellen, werden den erforderlichen Funktionen die jeweils für diese Lösungsvariante zu verwendende Lösungselemente zugewiesen. Dabei kann ein Lösungselement durchaus auch mehrere Funktionen erfüllen, z.B. kann das Gehäuse eines Getriebes problemlos die Funktionen „Reaktionskräfte aufnehmen“, „Ölaustritt verhindern“ sowie „thermische Energie an Umgebung abgeben“ gleichzeitig erfüllen. Sollte der umgekehrte Fall eintreten, nämlich dass mehrere Lösungselemente notwendig sind um eine gewünschte Funktion zu erfüllen, soll aus Gründen der Modularität und der Wiederverwendbarkeit ein übergeordnetes Lösungselement, welches als Teilelemente die nötigen Lösungselemente enthält, erstellt werden. Siehe dazu auch Abschnitt 2.2.1 bzw. 4.3.1. Die nötigen Ein- und Ausgangsgrößen sind in Tabelle 4.8 dargestellt.

<i>Eingangsgröße</i>	vorausgewählter Pool von Lösungselementen und Nutzereingaben
<i>Ausgangsgröße</i>	zu Lösungsvarianten verknüpfte Ansammlungen von Lösungselementen

Tabelle 4.8: Eingangs- und Ausgangsgrößen der Lösungselement-Verknüpfungs-Funktionalität

### Gewichtung der Eigenschaften der Lösungselemente

Um den unterschiedlich großen Einfluss der einzelnen Lösungselemente auf die Eigenschaften des Gesamtsystems zu erfassen, ist es notwendig die Größe des Einflusses

## 4.3 Anforderungen an die Funktionalitäten des Systementwicklungsbaukastens

des jeweiligen Elements auf die verschiedenen Eigenschaften des Gesamtsystems zu erfassen. So kann z.B. die Art der Lackierung einen sehr großen Einfluss auf die Korrosionsbeständigkeit eines Fahrzeuges haben, jedoch nur einen sehr geringen Einfluss auf das Gesamtgewicht. Dementsprechend hat diese Gewichtung der Eigenschaften jeweils projektspezifisch zu erfolgen, die entsprechenden Ein- und Ausgangsgrößen sind in Tabelle 4.9 dargestellt.

<i>Eingangsgröße</i>	Lösungsvarianten und Nutzereingaben
<i>Ausgangsgröße</i>	Lösungsvarianten mit in Bezug auf die Gesamteigenschaften gewichteten Elementen

Tabelle 4.9: Eingangs- und Ausgangsgrößen der Eigenschafts-Gewichtungs-Funktionalität

### 4.3.3 Darstellung und Beschreibung möglicher Lösungsvarianten

Die zuvor erstellten Lösungsvarianten sollen in einer übersichtlichen und möglichst informativen Art einander gegenüber gestellt werden. Dabei geht es zum einen darum einen Überblick der in Frage kommenden Lösungsvarianten bereit zu stellen, aber auch darum die jeweils Varianten-spezifischen Eigenschaften im Detail darzustellen.

Die Darstellung der Eigenschaften der vom Nutzer erstellten Lösungsvarianten kann mithilfe der in Tabelle 4.10 dargestellten Ein- und Ausgangsgrößen beschrieben werden und ähnelt der Darstellung der Elementeigenschaften, wie in Abschnitt 4.3.1 erläutert.

<i>Eingangsgröße</i>	von Nutzern erstellte (Teil-)Systeme
<i>Ausgangsgröße</i>	Text-, Tabellen- oder Grafikbasierte Informationen zu den erstellten Lösungsvarianten

Tabelle 4.10: Eingangs- und Ausgangsgrößen der Lösungsvarianten-Darstellungs-Funktionalität

### 4.3.4 Überführung der Spezifikationen in Bewertungskriterien

Eine Bewertung möglicher Lösungsvarianten hat wie in Abschnitt 3.2.2 erläutert in Abstimmung mit den an das System gestellten Anforderungen zu geschehen, wobei im Rahmen des Systementwicklungsbaukastens insbesondere die Funktions-Spezifikationen von Interesse sind. Meist sind diese Spezifikationen jedoch nicht unmittelbar als Bewertungskriterien darstellbar, und müssen daher möglichst ohne Informationsverlust in Bewertungskriterien überführt werden. Des Weiteren ist es von Vorteil, wenn die in den Lösungselementen und Varianten vorhandenen Eigenschaften sich in Korrelation mit den Bewertungskriterien bringen lassen. In den festgelegten Bewertungskriterien sollten sich also sowohl die Anforderungen an das Gesamtsystem als auch die Eigenschaften der Lösungsvarianten widerspiegeln.

## 4 Anforderungen an den Systementwicklungsbaukasten

### Import von Spezifikationen

Um die in den allermeisten Projekten in verschiedenen elektronischen Formen vorliegenden Spezifikationen des Gesamtsystems effizient für die Bewertung der möglichen Lösungsvarianten nutzen zu können, sollte es möglich sein diese Daten in den Systementwicklungsbaukasten zu importieren. Hier bieten sich z.B. MS Excel, .csv-Dateien sowie ReqIF (siehe auch Abschnitt 3.1.1) wie in Tabelle 4.11 aufgelistet als häufig für Anforderungslisten genutzte Dateiformate an.

<i>Eingangsgröße</i>	externe Datei, z.B. ReqIF, Excel, .csv, etc.
<i>Ausgangsgröße</i>	intern weiterverwendbare Spezifikationsliste

Tabelle 4.11: Eingangs- und Ausgangsgrößen der Spezifikations-Import-Funktionalität

### Manuelle Eingabe von Spezifikationen

Es soll auch möglich sein die Spezifikationen des zu entwickelnden Gesamtsystems manuell in den Baukasten einfließen zu lassen. Die entsprechenden Ein- und Ausgangsgrößen hierzu sind in Tabelle 4.12 aufgelistet.

<i>Eingangsgröße</i>	Text- und sonstige Eingaben des Nutzers
<i>Ausgangsgröße</i>	intern weiterverwendbare Spezifikationsliste

Tabelle 4.12: Eingangs- und Ausgangsgrößen der manuellen Spezifikations-Eingabe-Funktionalität

### Definition der Bewertungskriterien

Um eine möglichst klare und treffgenaue Bewertung zu ermöglichen, sollten die Bewertungskriterien sowohl mit den Spezifikationen des Gesamtsystems als auch mit den Eigenschaften der Lösungsvarianten in Beziehung stehen. Die Bewertungskriterien müssen einerseits die Erreichung der Funktions-Spezifikationen sicherstellen, und andererseits soll der Grad ihrer Erfüllung anhand der bekannten Lösungselement-Eigenschaften beurteilt werden können. Der Schritt der Definition der Bewertungskriterien soll also die Spezifikationen mit den Eigenschaften verbinden, sodass alle maßgeblichen Anforderungen in den Bewertungskriterien widerspiegelt werden und nach Möglichkeit möglichst viele der hinterlegten Eigenschaften der Lösungselemente sich ebenfalls zumindest zu gewissen Teilen den Kriterien zuordnen lassen. Dies kann mithilfe der in Tabelle 4.13 dargestellten Ein- und Ausgangsgrößen umgesetzt werden.

### 4.3 Anforderungen an die Funktionalitäten des Systementwicklungsbaukastens

<i>Eingangsgröße</i>	Anforderungsliste, hinterlegte Eigenschaften der Lösungsvarianten, Nutzereingaben
<i>Ausgangsgröße</i>	Bewertungskriterien

Tabelle 4.13: Eingangs- und Ausgangsgrößen der Bewertungskriterien-Definitions-Funktionalität

#### Gewichtung der Bewertungskriterien

Um die Aussagekraft der Bewertung zu erhöhen, soll die Möglichkeit bestehen, die Bewertungskriterien wie in Abschnitt 3.2.2 erläutert, die Kriterien nach ihrer Bedeutung zu gewichten. Die dazu nötigen Ein- und Ausgangskriterien sind in Tabelle 4.14 dargestellt.

<i>Eingangsgröße</i>	Bewertungskriterien
<i>Ausgangsgröße</i>	gewichtete Bewertungskriterien

Tabelle 4.14: Eingangs- und Ausgangsgrößen der Bewertungskriterien-Definitions-Funktionalität

#### 4.3.5 Bewertung der Lösungsvarianten anhand der Kriterien

Die abschließende Bewertung der möglichen Lösungsvarianten kann entweder manuell, auf den Erfahrungen und Einschätzungen der beteiligten Mitarbeiter basierend erfolgen, oder automatisiert auf Basis der in den Lösungsvarianten und deren Elementen hinterlegten Eigenschaften. Für die automatisierte Bewertung sind jedenfalls Verknüpfungen zwischen den Bewertungskriterien und den Eigenschaften der Elemente notwendig, für die manuelle Bewertung müssten theoretisch keinerlei Informationen in den Elementen hinterlegt sein, die verfügbaren Informationen zu den Varianten können die Qualität der Bewertung jedoch erhöhen.

#### Manuelle Bewertung der Lösungsvarianten

Die Lösungsvarianten sollen vom Nutzer mithilfe eines von der Software zur Verfügung gestellten Gerüsts schnell und unkompliziert hinsichtlich der definierten Kriterien bewertet werden können. Der Nutzer soll die Bewertungen mithilfe einer einfachen und verständlichen Eingabemaske vornehmen welche die erforderlichen Berechnungen zur Ermittlung von Gesamt-Bewertungs-Kennzahlen automatisch im Hintergrund durchführt. Siehe dazu auch Abschnitt 3.2.2 bzw. Tabelle 4.15.

<i>Eingangsgröße</i>	Bewertungskriterien, Lösungsvarianten (inkl. Eigenschaften) und Nutzereingaben
<i>Ausgangsgröße</i>	manuell bewertete Lösungsvarianten

Tabelle 4.15: Eingangs- und Ausgangsgrößen der manuellen Bewertungs-Funktionalität

## 4 Anforderungen an den Systementwicklungsbaukasten

### Automatisierte Bewertung der Lösungsvarianten

Wenn die gewichteten Bewertungskriterien in ausreichendem Maß mit den Eigenschaften der Lösungsvarianten in Verbindung stehen, soll es möglich sein eine (Vorab)-Bewertung automatisiert vom Systementwicklungsbaukasten erstellen zu lassen. Diese Funktionalität kann auch mithilfe der in Tabelle 4.16 dargestellten Ein- und Ausgangsgrößen erreicht werden.

<i>Eingangsgröße</i>	gewichtete Bewertungskriterien und Lösungsvarianten
<i>Ausgangsgröße</i>	automatisiert bewertete Lösungsvarianten

Tabelle 4.16: Eingangs- und Ausgangsgrößen der automatisierten Bewertungs-Funktionalität

### Abschätzen der Bewertungsqualität

Um dem Nutzer eine Aussage über die Qualität der erstellten Bewertung zu geben, sollen die Ergebnisse und ihr Zustand kommen automatisiert untersucht werden. Die entsprechenden Ein- und Ausgangsgrößen sind in Tabelle 4.17 dargestellt.

<i>Eingangsgröße</i>	Bewertungen der Lösungsvarianten
<i>Ausgangsgröße</i>	qualitative Aussage über Qualität der Bewertung

Tabelle 4.17: Eingangs- und Ausgangsgrößen der Bewertungs-Qualitäts-Überprüfungs-Funktionalität

### 4.3.6 Darstellung der Bewertungsergebnisse

Die zuvor durchgeführte Bewertung soll in einer übersichtlichen und informativen Weise zusammengefasst und visualisiert werden. Ähnlich wie bei dem Vergleichen von Lösungselementen (siehe Abschnitt 4.3.1) sollen auch die Bewertungsergebnisse der Varianten hinsichtlich der verschiedenen Bewertungskriterien übersichtlich dargestellt werden. Dies kann mithilfe der in Tabelle 4.18 dargestellten Ein- und Ausgangsgrößen ermöglicht werden.

<i>Eingangsgröße</i>	Bewertungsergebnisse
<i>Ausgangsgröße</i>	Text-, Tabellen- oder Grafikbasierte Informationen

Tabelle 4.18: Eingangs- und Ausgangsgrößen der Bewertungs-Qualitäts-Überprüfungs-Funktionalität

# 5 Definition der Methoden zur Umsetzung der Anforderungen

Ausgehend von den in Kapitel 4 erarbeiteten Anforderungen an den Systementwicklungsbaukasten werden in diesem Kapitel mögliche Umsetzungsweisen der jeweiligen Funktionalitäten und ihrer Anforderungen untersucht. Nachdem taugliche Lösungen für alle Funktionalitäten des Systementwicklungsbaukastens bestimmt wurden, wird auf diesen aufbauend ein typischer Workflow für die Verwendung des Baukastens ausgearbeitet.

Die einzelnen Funktionalitäten werden dabei in der Reihenfolge und Struktur des Kapitels 4 behandelt. Als Einstieg in die jeweilige Thematik dienen dabei die bereits definierten Ein- und Ausgangsgrößen.

## 5.1 Auflisten bekannter Lösungselemente

Für die in Abschnitt 4.3.1 beschriebenen Funktionalitäten werden in der folgenden Passage mögliche Umsetzungsweisen skizziert. Diese dienen der Auflistung bekannter Lösungselemente.

### 5.1.1 Suchen nach Schlagwörtern / Tags

Die dieser Funktionalität zugeordneten Ein- und Ausgangsgrößen wurden bereits in Tabelle 4.1 aufgelistet. Für die Funktionalität des Suchens nach Schlagwörtern und Tags bietet sich die Übernahme / Adaptierung eines Webshop-Suchalgorithmus an. Dieser sollte wie in manchen Webshops und vielen Suchmaschinen bereits umgesetzt eine gewisse Toleranz für Schreib- oder Tippfehler besitzen, und außerdem ähnlich wie in Abb. 4.7 dargestellt eine Sortierung und Filterung der Suchergebnisse ermöglichen.

### 5.1.2 Manuelles Durchsuchen des Datenbankinhalts

Die dieser Funktionalität zugeordneten Ein- und Ausgangsgrößen wurden bereits in Tabelle 4.2 aufgelistet. Das manuelle Durchsuchen des Datenbankinhalts soll auf einem

## 5 Definition der Methoden zur Umsetzung der Anforderungen

stets aktuellen Filterungs-Algorithmus beruhen, welcher es ermöglicht die hinterlegten Elemente nach verschiedenen Gliederungsmerkmalen (z.B. Branche, Fachgebiet, Teilgebiet, Wirkprinzip, usw.) schrittweise einzugrenzen.

### 5.1.3 Darstellung der Element-Eigenschaften

Die dieser Funktionalität zugeordneten Ein- und Ausgangsgrößen wurden bereits in Tabelle 4.3 aufgelistet. Die Darstellung der Eigenschaften eines Elements kann ähnlich wie die Darstellung von Artikelseiten in Webshops (z.B. Abb. 5.1) mittels einer eigenen, stets aktuellen Elementseite geschehen. Die Kenntnisse über das Element können dabei text-, tabellen- oder grafikbasiert hinterlegt werden. Die textbasierten Informationen dienen hauptsächlich der näheren Beschreibung und Erklärung des Elements, unter Umständen können hier auch Informationen zur Auslegung / Berechnung oder Links zu anderen Internetquellen mit Zusatzinformationen (z.B. Animationen, Videos, Veröffentlichungen aller Art) abgelegt werden. Die für den Systementwickler relevanten Kenngrößen oder typischen Leistungsmerkmale hingegen sollen in entsprechenden Tabellen abgelegt werden und in weiterer Folge zum Vergleich mit anderen Elementen verwendet werden. Grafikbasierte Informationen wie Fotos und Skizzen sollen der schnellen Identifizierung des Elements dienen, und können ebenfalls vertiefende Informationen zur Funktionsweise des Elements liefern.

### 5.1.4 Vergleichen von Lösungselementen

Die dieser Funktionalität zugeordneten Ein- und Ausgangsgrößen wurden bereits in Tabelle 4.4 aufgelistet. Die wohl am einfachsten umzusetzende Vergleichsmöglichkeit ist die der tabellenbasierten Übersicht, bei der wie in Abb. 5.2 die jeweiligen Ausprägungen von verschiedenen Eigenschaftskategorien in einer Zeile gegenüber gestellt werden. Wenn eine oder mehrere Eigenschaftsfelder nicht hinterlegt sind, soll stattdessen ein entsprechender Hinweis in der Tabelle erscheinen.

Netzdiagramme, wie in Abb. 5.3 beispielhaft dargestellt, sind eine weitere Möglichkeit um mehrere verschiedene Datensätze in Bezug auf eine gewisse Zahl von Parametern zu vergleichen. Diese können Unterschiede mehrerer Elemente in Bezug auf eine Vielzahl an Eigenschaften auf einen Blick visualisieren, bei zu vielen Parametern reduziert sich jedoch die Übersichtlichkeit, so dass die Aussagekraft bei fünf bis acht Ausprägungsachsen am besten ist.

Eine weitere Möglichkeit zum Vergleichen von Elementen ist die Darstellung in einem zweiachsigen Diagramm, wobei jede der Achsen für eine quantifizierbare Eigenschaft bzw. die Kombination mehrerer Eigenschaften steht und die Elemente gemäß der jeweiligen Eigenschaftsausprägung im zweidimensionalen Raum positioniert werden. Diese Darstellung hat insbesondere dann Vorteile, wenn die quantifizierbaren Eigenschaften über einen gewissen Streubereich je nach Detailausführung verfügen, da die prinzipiell

## 5.1 Auflisten bekannter Lösungselemente

Start > Werkzeug & Werkstatt > Zubehör für Elektrowerkzeuge > Trennscheiben, Reinigungsscheiben > Trennscheiben

Metabo 616359000 Trennscheibe gerade 125 mm 22.23 mm 10 St.

Bestell-Nr.: 466713 - 62 Hst.-Teile-Nr.: 616359000 EAN: 4007430166661



Varianten

125 mm

Merken

Vergleichen



Technische Daten

Ausführung

Wird oft zusammen gekauft

Zubehör

Bewertungen

Technische Daten



Artikel mit gleichen Werten anzeigen

Inhalt	10 St.	
Durchmesser	125 mm	<input type="checkbox"/>
Bohrungs-Durchmesser	22.23 mm	<input type="checkbox"/>
Dicke	1 mm	
Drehzahl (max.)	12200 U/min	
Material-Eignung	Stahl Edelstahl	<input type="checkbox"/>
Abm.	(Ø) 125 mm	
Produkt-Art	Trennscheibe gerade	<input type="checkbox"/>

Abbildung 5.1: Artikeldetailseite eines Onlineshops [34]

möglichen Ausprägungen dann als Fläche dargestellt werden können. Ein Beispiel für eine derartige Visualisierung von Daten findet sich in Abschnitt 3.2.6 in Abb. 3.13.

## 5 Definition der Methoden zur Umsetzung der Anforderungen

Produkt	 <p><b>NEC M403H</b>            Technologie DLP            Lichthelligkeit 4000 ANSI Lumen            Auflösung 1920 x 1080 Full HD            Format 16:9            Projektionsratio 1.2-2.1 : 1            Trapezkorrektur vertikal 30 °  <b>€ 811,00*</b>            inkl. 20% MwSt.            Versandkosten ab € 7,99</p> <p><b>In den Warenkorb</b></p> <p>50% </p>	 <p><b>InFocus IN138HDST</b>            Technologie DLP            Lichthelligkeit 4000 ANSI Lumen            Auflösung 1920 x 1080 Full HD            Format 16:9            Projektionsratio 0.499 : 1  <b>€ 773,99*</b>            inkl. 20% MwSt.            Versandkostenfrei</p> <p><b>In den Warenkorb</b></p> <p>50% </p>	 <p><b>BenQ ST4301K</b>            Auflösung 3840 x 2160 4K UHD            Displaytyp Display            Format 16:9            Diagonale (Zoll) 43,04 "  <b>€ 797,99*</b>            inkl. 20% MwSt.            Versandkosten ab € 7,99</p> <p><b>In den Warenkorb</b></p> <p><b>A</b>            Technische Daten</p>	 <p><b>Samsung QM32R</b>            Auflösung 1920 x 1080 Full HD            Displaytyp Display            Format 16:9            Diagonale (Zoll) 31,5 "  <b>€ 514,00*</b>            inkl. 20% MwSt.            Versandkosten ab € 7,99</p> <p><b>In den Warenkorb</b></p> <p><b>B</b>            Technische Daten</p>
<b>Weight</b>	5,42	6,8	14	8
<b>Hersteller</b>	Nec	InFocus	Benq	Samsung
<b>Produktgröße</b>	10,75	124,5	55,83	Nicht zutreffend
<b>Produktgewicht</b>	0	4,5	10,4	5,7
<b>Auflösung</b>	1920 x 1080 Full HD	1920 x 1080 Full HD	3840 x 2160 4K UHD	1920 x 1080 Full HD

Abbildung 5.2: Produktvergleichsfunktion eines Onlineshops [38]

### 5.1.5 Hinzufügen und Bearbeiten von Funktions- und Lösungselementen

Die dieser Funktionalität zugeordneten Ein- und Ausgangsgrößen wurden bereits in Tabelle 4.5 aufgelistet. Die Bearbeitung von bereits vorhandenen Elementen und die Erstellung neuer Bausteine soll für den Nutzer ähnlich unkompliziert wie z.B. bei Wikipedia möglich sein. Um dies umzusetzen soll die detaillierte Elementseite in einen „Bearbeitungsmodus“ umgeschaltet werden können, in dem die hinterlegten Eigenschaften ähnlich wie bei einem Wikipedia-Artikel bearbeitet und ergänzt werden können. Die Erstellung neuer Elemente soll in einer dem „Bearbeitungsmodus“ der Elementseite gleichartigen Maske sowohl von einem vollkommen leeren, neuen Element als auch durch das Kopieren und Modifizieren bereits vorhandener Elemente ermöglicht werden. Des weiteren wäre es vorteilhaft, eine Art „Redundanzüberprüfung“ zu implementieren, um das Erstellen mehrerer, gleichartiger Elemente zu vermeiden.

## 5.2 Auswahl und Verknüpfung von Lösungselementen

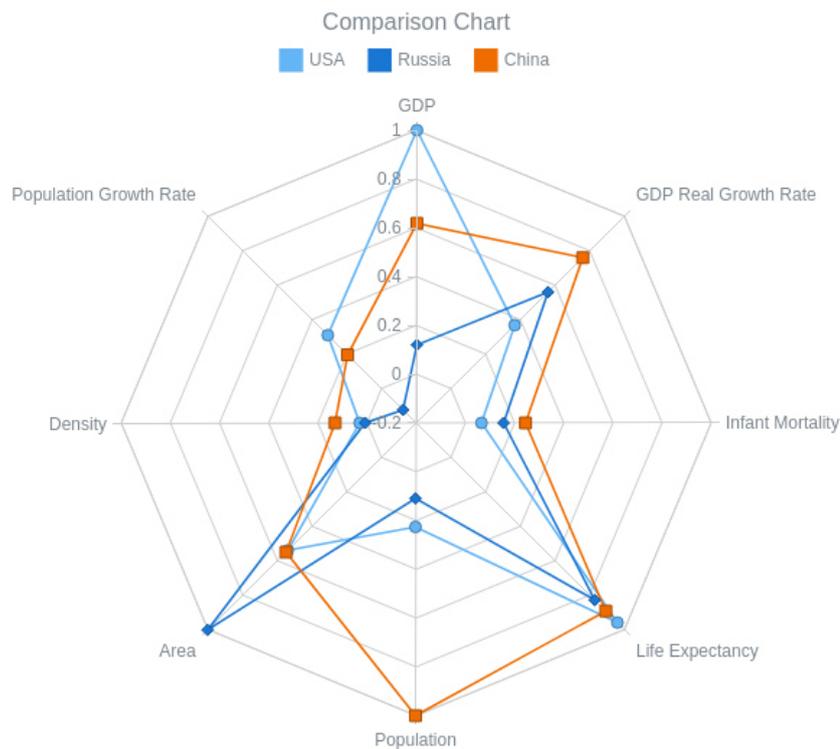


Abbildung 5.3: Netzdiagramm verschiedener Kennzahlen Chinas, Russlands und der USA [39]

### 5.1.6 Übersicht der Methoden für die Auflistung von Lösungselementen

In Abbildung 5.4 ist eine Übersicht der definierten Methoden für die Auflistung von Lösungselementen dargestellt.

## 5.2 Auswahl und Verknüpfung von Lösungselementen

Für die in Abschnitt 4.3.2 beschriebenen Funktionalitäten werden in der folgenden Passage mögliche Umsetzungsweisen skizziert. Diese dienen der Auswahl und Verknüpfung von Lösungselementen.

### 5.2.1 Festlegung der benötigten Funktion(en)

Die dieser Funktionalität zugeordneten Ein- und Ausgangsgrößen wurden bereits in Tabelle 4.6 aufgelistet. Unter Benutzung der zu Anfang dieses Kapitels beschriebenen Funktionalitäten *Suchen nach Schlagwörtern / Tags* bzw. *Manuelles Durchsuchen des Datenbankinhalts* sollen die benötigten Funktionselemente gefunden werden, und z.B. ähnlich

## 5 Definition der Methoden zur Umsetzung der Anforderungen

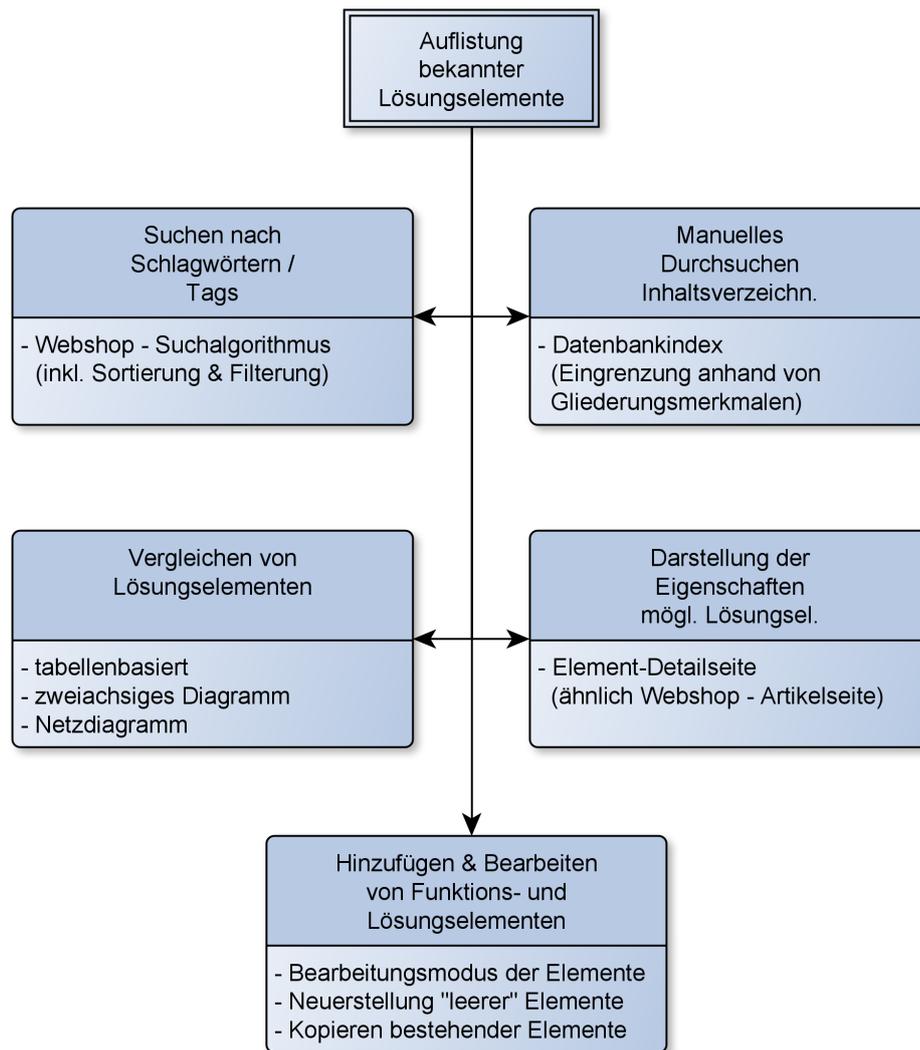


Abbildung 5.4: Übersicht der Unterfunktionalitäten und Methoden der Auflistung von Elementen

wie in einem Warenkorb eines Webshops zur weiteren Verwendung vorgemerkt werden können.

### 5.2.2 Auswahl zu verwendender Lösungselemente

Die dieser Funktionalität zugeordneten Ein- und Ausgangsgrößen wurden bereits in Tabelle 4.7 aufgelistet. Basierend auf den zuvor vorgemerkten Funktionselementen sollen alle die jeweiligen Funktionen erfüllenden Lösungselemente in einer sortier- und filterbaren Weise aufgelistet werden. Die Vormerkung der für den Nutzer für die weitere Betrachtung relevanten Elemente soll wiederum ähnlich wie das Hinzufügen von Produkten in einem Online-Warenkorb erfolgen.

### 5.2.3 Verknüpfung der Lösungselemente zu Lösungsvarianten

Die dieser Funktionalität zugeordneten Ein- und Ausgangsgrößen wurden bereits in Tabelle 4.8 aufgelistet. Um Lösungsvarianten zu erstellen, kann einerseits schrittweise manuell für jede neue Variante je erforderlicher Funktion je ein Lösungselement aus den bereits vorselektierten, den Funktionen zugeordneten Lösungselementen ausgewählt werden. Bei dieser Auswahl kann die in Abschnitt 5.1.4 vorgestellte Funktionalität des Vergleichens von Lösungselementen für jede einzelne Funktion unterstützend verwendet werden. Dies ermöglicht eine schrittweise Erstellung von Lösungsvarianten, welche zwar aufgrund ihrer jeweils sehr begrenzten Betrachtung des Sachverhalts einen detaillierten Einblick in die jeweiligen Optionen ermöglicht, jedoch keinen guten Gesamtüberblick bietet. Die zahlreichen Wege der Interaktion zwischen den einzelnen Komponenten bleiben hier aufgrund des sehr engen Fokus weitgehend unberücksichtigt. Das Erstellen einer Mehrzahl an möglichst unterschiedlichen Varianten auf diese Weise wird von den Nutzern vermutlich als relativ mühsam und zeitintensiv gesehen.

Die Nachteile der zuvor genannten Vorgehensweise vermeidend, kann andererseits auch ein morphologischer Kasten wie in Abschnitt 3.2.3 erläutert und in Abb. 3.12 beispielhaft dargestellt zur Erstellung von Lösungsvarianten genutzt werden. Dieser wird basierend auf den vorausgewählten Funktionen und Lösungselementen erstellt, und dem Nutzer ist es möglich auf einer übersichtlichen Landkarte aller Optionen durch einfaches Auswählen in kurzer Zeit verschiedenste Varianten zu erstellen. Auf Wunsch des Nutzers soll es auch möglich sein die Vergleichsfunktionalität (Abschnitt 5.1.4) als Entscheidungshilfe zu den für die jeweilige Funktion in Frage kommenden Lösungselemente zu benutzen.

### 5.2.4 Gewichtung der Eigenschaften der Lösungselemente

Die dieser Funktionalität zugeordneten Ein- und Ausgangsgrößen wurden bereits in Tabelle 4.9 aufgelistet. Basierend auf den in den Lösungselementen hinterlegten Eigenschafts-Merkmalen soll eine Liste der vermutlich relevanten Merkmale für die gesamte Lösungsvariante erstellt werden. Der Nutzer kann die für seine Betrachtung relevanten Merkmale zur weiteren Betrachtung auswählen, und falls nötig auch weitere Merkmale hinzufügen. Anschließend soll der Einfluss der jeweiligen Lösungselemente auf die jeweilige Gesamteigenschaft vom Nutzer abgeschätzt / definiert werden.

Aus Übersichts- und Zeitgründen ist hier eine tabellenbasierte Vorgehensweise zu bevorzugen, z.B. könnten ähnlich wie in Abbildung 5.5 die verschiedenen Funktionen mit den Eigenschaften der Lösungselemente auf den Tabellenzeilen abgebildet werden und die Eigenschaftsmerkmale der gesamten Lösungsvarianten (=Gesamteigenschaftsmerkmale) auf den Spalten. In der Zeile unter den Gesamteigenschaftsmerkmalen muss die Art der mathematischen Verknüpfung, mit welcher die Zahlenwerte der einzelnen Lösungselement-Eigenschaften zu einer Gesamtzahl verrechnet werden angegeben werden. So können sich die Eigenschaften z.B. wie das Gewicht der Elemente einfach nur

## 5 Definition der Methoden zur Umsetzung der Anforderungen

aufsummieren, oder so wie Wirkungsgrade über eine Multiplikation zu einem Gesamtwirkungsgrad führen. In der jeweiligen Schnittzelle der Funktion und des Merkmals soll vom Nutzer der Anteil der jeweiligen Funktion an dem jeweiligen Merkmal angegeben werden. Dabei steht „x“ für die in der jeweiligen Element-Eigenschaft hinterlegte Zahl, sodass mithilfe mathematischer Operatoren und Zahlen zahlreiche weitere Rechengänge zur Ermittlung des Gesamteigenschaftswerts durchgeführt werden können. Die Gesamteigenschaft 3 wird z.B. zu  $\frac{2}{3}$  von der ersten Funktion, und zu  $\frac{1}{3}$  von der zweiten Funktion bestimmt, was der Gesamtdichte zweier Elemente mit dem Mischungsverhältnis 2:1 entspricht. Die Gesamteigenschaft 4 könnte demnach z.B. dem Gesamtvolumen entsprechen, wenn in Summe 75 Gewichtseinheiten (50+25) der beiden Elemente benötigt werden.

		Gesamt-eigenschaft 1	Gesamt-eigenschaft 2	Gesamt-eigenschaft 3	Gesamt-eigenschaft 4
Mathematische Verknüpfung		+	*	+	+
Funktion 1	Eigenschaft 1	x	0	0	0
	Eigenschaft 2	0	x	0	0
	Eigenschaft 3	0	0	$0,67*x$	$50/x$
	Eigenschaft 4	0	0	0	0
Funktion 2	Eigenschaft 1	x	0	0	0
	Eigenschaft 2	0	x	0	0
	Eigenschaft 3	0	0	$0,33*x$	$25/x$

Abbildung 5.5: Mögliches, beispielhaftes Layout einer Tabelle zur Gewichtung der Eigenschaften von erstellten Konzepten

### 5.2.5 Übersicht der Methoden für die Auswahl und Verknüpfung von Lösungselementen

In Abbildung 5.6 ist eine Übersicht der definierten Methoden für die Auswahl und Verknüpfung von Lösungselementen dargestellt.

## 5.3 Darstellung und Beschreibung möglicher Lösungsvarianten

Die dieser Funktionalität zugeordneten Ein- und Ausgangsgrößen wurden bereits in Tabelle 4.10 aufgelistet. Die zuvor erstellten Lösungsvarianten mit ihren anhand der wie in Abschnitt 5.2.4 beschriebenen Eigenschaftsgewichtung definierten Eigenschaften können im Wesentlichen ebenso wie Lösungselemente für die Summe der gewünschten Funktionen betrachtet werden. Daher ist es möglich die zuvor bereits erläuterten Funktionalitäten der Darstellung von Elementen (Abschnitt 5.1.3) und des Vergleichens von Elementen (Abschnitt 5.1.4) hier wieder zu verwenden.

## 5.4 Überführung der Spezifikationen in Bewertungskriterien

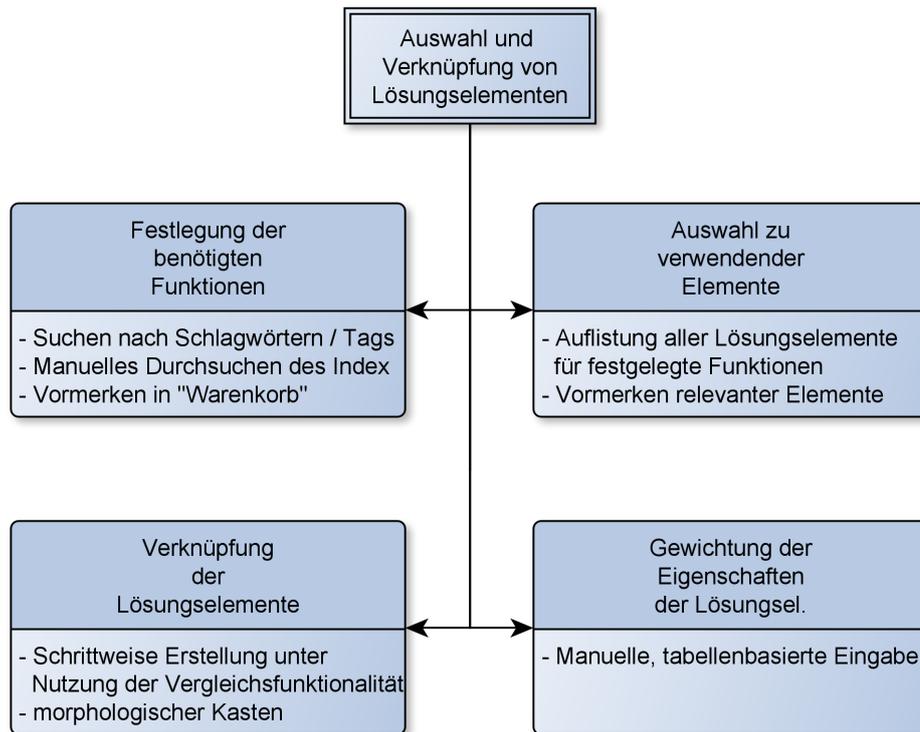


Abbildung 5.6: Übersicht der Unterfunktionalitäten und Methoden zur Auswahl von Elementen

## 5.4 Überführung der Spezifikationen in Bewertungskriterien

Die Spezifikationen des im Systementwicklungsbaukasten zu entwerfenden Systems sollen in einer tabellenbasierten Liste hinterlegt werden. Es wird davon ausgegangen, dass die Erstellung, Verwaltung und Pflege dieser Liste unter Erfüllung der in Abschnitt 3.1.1 beschriebenen Bedingungen an anderer Stelle geschieht, und aus dieser ein für die aktuelle Betrachtung relevanter Auszug in den Systementwicklungsbaukasten übernommen wird. Die im Baukasten verwendete Spezifikationsliste soll aus Gründen der Einfachheit also rein aus den in Tabelle 5.1 dargestellten Datenfeldern bestehen.

<i>Identifikation</i>	<i>Bezeichnung (Merkmal)</i>	<i>Ausprägung</i>	<i>Priorität</i>
Identifizier 1	Beispielsmerkmal 1	Ausprägungs-Zielwert 1	Prio 1
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.

Tabelle 5.1: Notwendige Datenfelder der internen Spezifikationsverwaltung

### 5.4.1 Import von Spezifikationen

Die dieser Funktionalität zugeordneten Ein- und Ausgangsgrößen wurden bereits in Tabelle 4.11 aufgelistet. Da die im Systementwicklungsbaukasten verwendete Spezifikationsliste weniger Datenfelder als die meisten in der Praxis verwendeten Spezifikationslisten besitzt, ist es notwendig die eigentliche, umfangreichere Anforderungsliste auf die im Baukasten relevanten Segmente zu beschneiden. Dies könnte einerseits direkt im Rahmen des Baukastens geschehen, oder aber der Benutzer bereitet die Informationen davor entsprechend auf, sodass nur die auch tatsächlich zu übernehmenden Informationen in der zu importierenden Datei vorhanden sind.

Da die Aufbereitung großer Anforderungsdokumente sehr aufwendig ist und je nach Dateiformat und Ursprung eine große Flexibilität der Software erfordert, sollen die zu importierenden Anforderungen vom Nutzer bereits in dessen Anforderungsmanagementumgebung entsprechend aufbereitet werden. Die akzeptierten Dateiformate sollen dabei fürs Erste CSV Dateien beschränkt sein, wobei in den Dateien bereits die zuvor definierten Spalten der Spezifikationsliste in der richtigen Reihenfolge vorkommen sollen um sie reibungsfrei übernehmen zu können. Die importierten Daten sollen aber jedenfalls auch nachträglich mittels der selben Funktionalität wie bei der manuellen Eingabe bearbeitet werden können.

### 5.4.2 Manuelle Eingabe von Anforderungen

Die dieser Funktionalität zugeordneten Ein- und Ausgangsgrößen wurden bereits in Tabelle 4.12 aufgelistet. Die manuelle Eingabe einer beliebigen Zahl von Spezifikationen soll direkt im Systementwicklungsbaukasten in einer Tabelle, welche die in Tabelle 5.1 dargestellten Spalten enthält, möglich sein.

### 5.4.3 Definition der Bewertungskriterien

Die dieser Funktionalität zugeordneten Ein- und Ausgangsgrößen wurden bereits in Tabelle 4.13 aufgelistet. In einem ersten Schritt sollen die Spezifikationen des Systems mit den hinterlegten Eigenschaften der Lösungsvarianten ähnlich wie in Abbildung 5.7 gegenüber gestellt werden. Dazu werden aus der internen Spezifikationsliste und der Liste der in den Lösungsvarianten hinterlegten Eigenschaften die Bezeichnungen (Merkmale) entnommen und dem Nutzer dargestellt. Basierend auf dieser Gegenüberstellung soll der Nutzer geeignete Bewertungskriterien, welche inhaltlich sowohl die Anforderungen an das System als nach Möglichkeit auch die bekannten Eigenschaften der Varianten abdecken, frei definieren. In dem in 5.7 dargestellten Beispiel kann aus der Forderung eines niedrigen Energieverbrauches und der Eigenschaft des Wirkungsgrades das Bewertungskriterium der Effizienz abgeleitet werden. Dieses steht sowohl im Zusammenhang mit dem Ziel des niedrigen Energieverbrauches als auch mit der bekannten Eigenschaft des erreichbaren Wirkungsgrades der fraglichen Lösungsoptionen. In einem

## 5.5 Bewertung der Lösungsvarianten anhand der Kriterien

nächsten Schritt könnte ähnlich wie in der Funktionalität der Gewichtung der Eigenschaften (Abschnitt 5.2.4) der Zusammenhang der Spezifikationen und der Kriterien ebenso wie der zwischen Kriterien und Eigenschaften festgelegt werden. Aufgrund der häufig sehr komplexen Zusammenhänge zwischen Spezifikationen, Bewertungskriterien und Element-Eigenschaften sind für eine produktive Implementation eben dieser Zusammenhänge weitere Untersuchungen nötig, welche den Rahmen dieser Arbeit sprengen würden.



Abbildung 5.7: Gegenüberstellung von Spezifikationen, Bewertungskriterien und Eigenschaften der Lösungselemente

### 5.4.4 Gewichtung der Bewertungskriterien

Die dieser Funktionalität zugeordneten Ein- und Ausgangsgrößen wurden bereits in Tabelle 4.14 aufgelistet. Für die Gewichtung der Bewertungskriterien soll neben der direkten Gewichtung durch den Nutzer auch ein paarweiser Vergleich zwischen den jeweiligen Kriterien, ähnlich wie am Ende des Abschnitt 3.2.2 in Abbildung 3.11 dargestellt, verwendet werden.

### 5.4.5 Übersicht der Methoden für die Überführung von Spezifikationen in Bewertungskriterien

In Abbildung 5.6 ist eine Übersicht der definierten Methoden für die Überführung von Spezifikationen in Bewertungskriterien dargestellt.

## 5.5 Bewertung der Lösungsvarianten anhand der Kriterien

Für die in Abschnitt 4.3.5 beschriebenen Funktionalitäten werden in der folgenden Passage mögliche Umsetzungsweisen vorgestellt. Hiermit wird die Bewertung der zuvor erstellten Lösungsvarianten dargestellt.

## 5 Definition der Methoden zur Umsetzung der Anforderungen

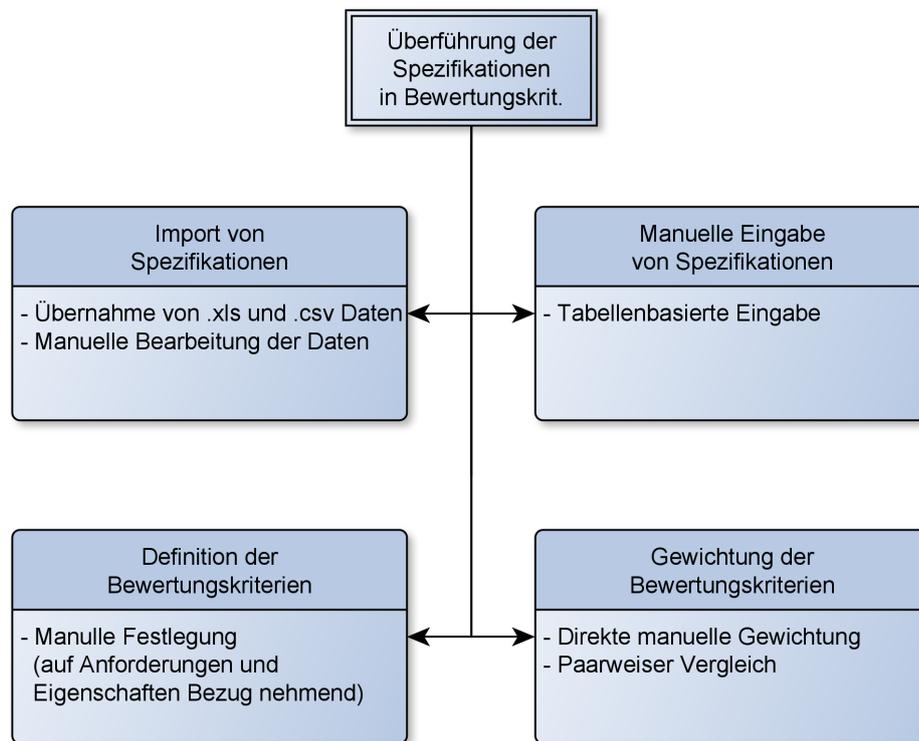


Abbildung 5.8: Übersicht der Unterfunktionalitäten und Methoden zur Ermittlung der Bewertungskriterien

### 5.5.1 Manuelle Bewertung der Lösungsvarianten

Die dieser Funktionalität zugeordneten Ein- und Ausgangsgrößen wurden bereits in Tabelle 4.15 aufgelistet. Die manuelle Bewertung soll mithilfe einer an die Nutzwertanalyse (siehe Abschnitt 3.2.2) angelehnten Methode ermöglicht werden. Dabei soll der Nutzer je nach Wunsch sowohl konzept- als auch kriterienorientiert vorgehen können. Die Anzahl der maximal vergebaren Punkte je Kriterium soll ausgehend von einer Empfehlung wiederum vom Nutzer selbst festgelegt werden können.

### 5.5.2 Automatisierte Bewertung der Lösungsvarianten

Die dieser Funktionalität zugeordneten Ein- und Ausgangsgrößen wurden bereits in Tabelle 4.16 aufgelistet. Basierend auf zuvor definierten Zusammenhängen zwischen den Eigenschaften der Lösungsvarianten und der Bewertungskriterien könnten die Varianten mit der selben, an die Nutzwertanalyse (Abschnitt 3.2.2) angelehnten Methodik wie in der manuellen Bewertung, automatisiert bewertet werden. Die Vergabe der Punkte könnte dabei kriterienorientiert, die Varianten relativ miteinander vergleichend erfolgen. Die Verhältnisse der vergebenen Punkte zueinander könnten dabei die relativen Verhältnisse der relevanten Eigenschaften widerspiegeln. Aufgrund der komplexen Zusammenhänge sollten vor der Umsetzung einer solchen Funktionalität jedoch noch weitere, detaillierte Betrachtungen dieser Thematik erfolgen.

### 5.5.3 Abschätzen der Bewertungsqualität

Die dieser Funktionalität zugeordneten Ein- und Ausgangsgrößen wurden bereits in Tabelle 4.17 aufgelistet. Aufgrund der niedrigen Priorität dieser Funktionalität soll diese erst in einem späteren Stadium näher untersucht und implementiert werden, hier bieten sich Methoden welche die Zielgrößenstreuung und die Nutzwertverteilung untersuchen an.

### 5.5.4 Übersicht der Methoden für die Bewertung von Lösungsvarianten

In Abbildung 5.6 ist eine Übersicht der definierten Methoden für die Bewertung von Lösungsvarianten dargestellt.

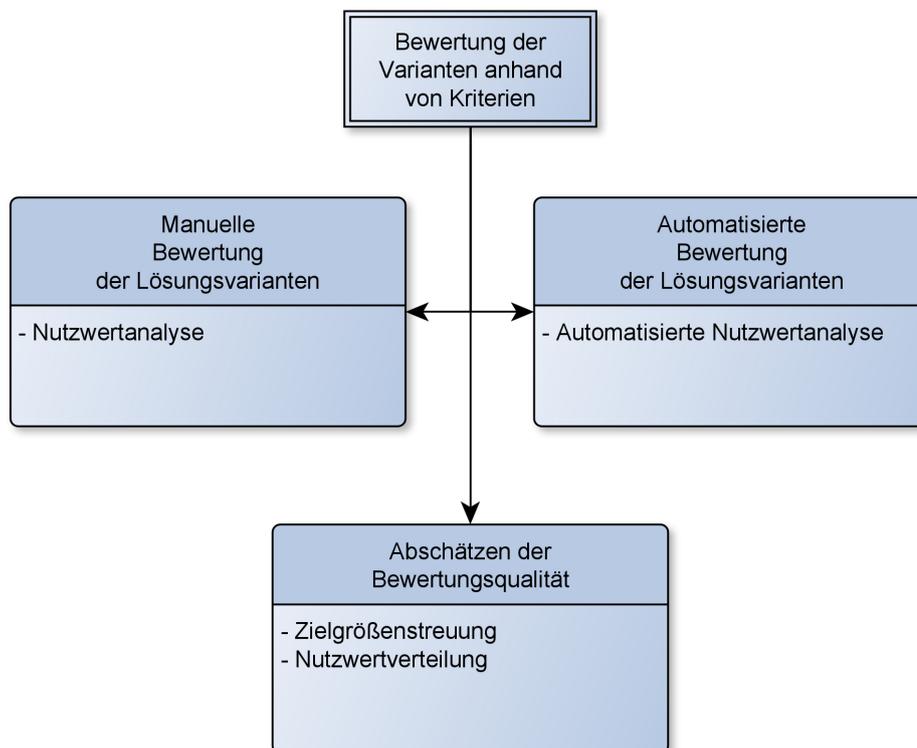


Abbildung 5.9: Übersicht der Unterfunktionalitäten und Methoden zur Bewertung der Lösungsvarianten

## 5.6 Darstellung der Bewertungsergebnisse

Die dieser Funktionalität zugeordneten Ein- und Ausgangsgrößen wurden bereits in Tabelle 4.18 aufgelistet. Die zum Vergleichen von Elementen (Abschnitt 5.1.4) erläuterten Methoden können auch hier wieder verwendet werden, wobei die Bewertungskriterien

## 5 Definition der Methoden zur Umsetzung der Anforderungen

mit den jeweils erreichten Punkten im Vergleich den Platz der Eigenschaften einnehmen.

### 5.7 Entwicklung zweier Workflows

Basierend auf den beiden in Abschnitt 4.1.2 definierten Personas werden hier zwei mögliche Wege den Systementwicklungsbaukasten zu nutzen aufgezeigt. Dabei wird zum einen der Weg zur schnellen Entnahme relevanter Informationen zur Erfüllung einer Funktion aufgezeigt, zum anderen ein etwas umfangreicherer Zugang, welcher die Erstellung von mehrere Funktionen umfassenden (Sub)Systemen ermöglicht. Natürlich sind auch Mischformen der beiden Workflows möglich, bei denen manche der Schritte übersprungen oder mit Standard-Annahmen ohne Nutzereingabe durchgeführt werden.

#### 5.7.1 Schneller Informations-Workflow

Der erste Workflow zielt darauf ab, schnell und unkompliziert entscheidungsrelevante Informationen zu einer konkreten Entwicklungs-Aufgabe bereit zu stellen und kann einer möglichen Aufgabe des des Teamleiters / Produkmanagers (siehe Abbildung 4.4) entsprechen.

Wie in Abbildung 5.10 dargestellt, beginnt der Einstieg in den Workflow mit der manuellen Extraktion der für die aktuellen Fragestellung relevanten Funktion und den maßgeblichen Entwicklungszielen aus den allgemeinen Anforderungen an die aktuelle Aufgabe. Je nach gewünschter Tiefe der Betrachtung werden aus den Entwicklungszielen detaillierte Funktions-Spezifikationen abgeleitet oder es werden nur die allgemeinen Entwicklungsziele als Referenz verwendet. Nach Eingabe der zu betrachtenden Funktion werden alle bekannten Lösungselemente für diese Funktion wie in Abschnitt 5.1 erläutert aufgelistet. Sollten dem Nutzer bekannte Möglichkeiten nicht aufgelistet sein, hat dieser die Möglichkeit sie hinzu zu fügen, um sie ohne Mehraufwand in die weitere Betrachtung mit ein zu beziehen. Sollte die Anzahl der gefundenen Lösungselemente so groß sein, dass ein übersichtlicher Vergleich nicht möglich ist, so kann der Nutzer die für ihn relevanten Elemente mittels Filterfunktion oder per manueller Auswahl eingrenzen. Im nächsten Schritt werden die hinterlegten Eigenschaften der in Frage kommenden Lösungselemente tabellenbasiert gegenüber gestellt, was bereits als Entscheidungshilfe bzw. als Informationsträger für eine Entscheidung dienen kann (siehe Abschnitt 5.1.3). Des weiteren besteht die Möglichkeit der Erstellung benutzerdefinierter Diagramme, wie in Abschnitt 5.1.4 beschrieben, um die Aussagekraft der vorhandenen Informationen zu erhöhen.

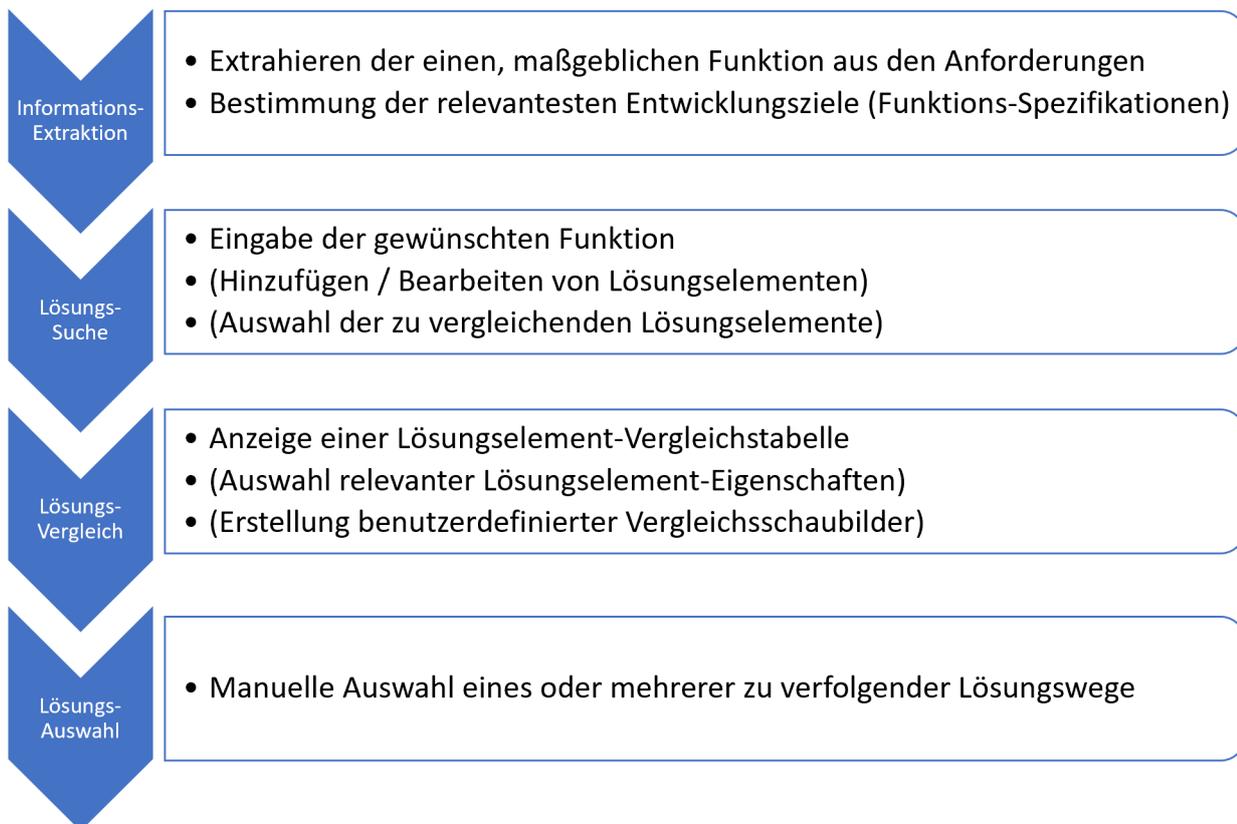


Abbildung 5.10: Symbolische Darstellung des Informations-Workflows

### 5.7.2 Detaillierter Systementwicklungs-Workflow

Der zweite Workflow dient einer umfassende (Sub)Systembetrachtung, welche zahlreiche verschiedene Lösungsoptionen für eine abgegrenzte Anzahl an gewünschten Funktionen beinhaltet und es ermöglicht diese in verschiedenen Kombinationen miteinander zu vergleichen. Dies kann einer der Aufgaben des Entwicklungsingenieurs (siehe Abbildung 4.3) entsprechen.

Wie in Abbildung 5.11 dargestellt, beginnt auch dieser Workflow mit der manuellen Extraktion der nötigen Eingangsgrößen für den Systementwicklungsbaukasten aus den allgemeinen Anforderungen an das zu entwickelnde System. Die für die Betrachtung relevanten Funktionen werden gemäß Abschnitt 5.2 nach Eingabe durch den Nutzer im Baukasten vorgemerkt, und mögliche Lösungselemente werden basierend auf den vorgemerkten Funktionen ermittelt und wie in Abschnitt 5.1 erläutert dargestellt. Sollten nötige, und dem Nutzer bekannte Funktions- oder Lösungselemente im Baukasten fehlen, ist es auch hier wie in Abschnitt 5.1.5 dargelegt möglich diese schnell und unkompliziert zu ergänzen. Um bei einer sehr großen Anzahl an möglichen Lösungselementen den Überblick zu behalten, ist es auch hier möglich, die Auswahl an weiter zu betrachtenden Elementen durch Filter oder manuelle Eingabe einzugrenzen (siehe Abschnitt 5.2.2). Im nächsten Schritt geht es darum, aus der Vielzahl an möglichen Kombinationen von

## 5 Definition der Methoden zur Umsetzung der Anforderungen

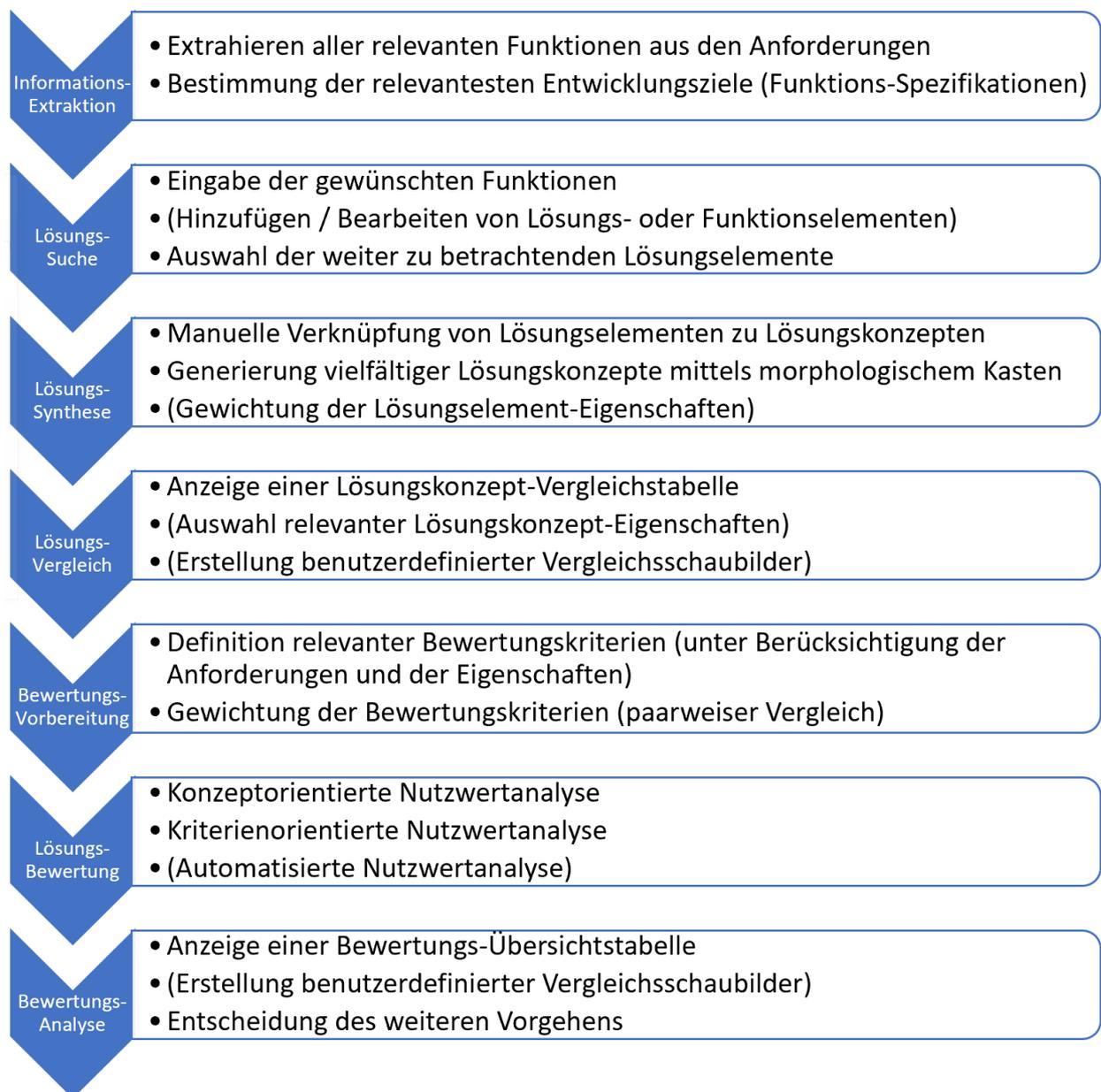


Abbildung 5.11: Symbolische Darstellung des Systementwicklungs-Workflows

verschiedenen Lösungselementen für die jeweiligen Funktionen Lösungskonzepte zu erstellen. Dies kann wie in Abschnitt 5.2.3 näher beschrieben entweder händisch für eine geringe Anzahl an Varianten oder mithilfe eines morphologischen Kastens für eine Vielzahl an Varianten geschehen. Um die aus dem Zusammenspiel der einzelnen Lösungselemente resultierenden Gesamteigenschaften der erstellten Lösungsvarianten möglichst gut zu beschreiben, kann die Größe des Einflusses der jeweiligen Elemente auf die Gesamteigenschaften wie in Abschnitt 5.2.4 beschrieben vom Nutzer beeinflusst werden. Die erstellten Lösungskonzepte können darauf hin wiederum mit den in Abschnitt 5.1.4 beschriebenen Methoden Tabellen- oder Diagramm-basiert miteinander

verglichen werden. Um die entstandenen Konzepte nicht nur miteinander zu vergleichen, sondern um sie methodisch hinsichtlich ihrer Eignung die Anforderungen betreffend zu untersuchen, ist es in einem nächsten Schritt notwendig, wie in Abschnitt 5.4 erläutert, geeignete Bewertungskriterien aus den Anforderungen zu definieren und zu gewichten. Mithilfe der Bewertungskriterien werden die entwickelten Konzepte schließlich wie in Abschnitt 5.5 dargelegt einer Nutzwertanalyse unterzogen, welche wahlweise kriterienorientiert oder konzeptorientiert durchgeführt werden kann (siehe auch Abschnitt 3.2.2). Wenn die in den Lösungskonzepten hinterlegten Eigenschaften ausreichend mit den Bewertungskriterien korrelieren, besteht außerdem die Möglichkeit einer automatisierten Bewertung. Abschließend werden die Bewertungsergebnisse wie in Abschnitt 5.6 umrissen dargestellt um eine möglichst umfassend informierte Entscheidung über das weitere Vorgehen zu ermöglichen.

## 5 Definition der Methoden zur Umsetzung der Anforderungen

# 6 Systemanalyse und Konzeption

Um weiteres Wissen zum Aufbau und der Funktionsweise des Systementwicklungsbaukastens zu generieren, werden im nun folgenden Kapitel die notwendigen, zugrunde liegenden Software-Funktionen untersucht und mögliche Ansätze zur Umsetzung skizziert. Anschließend werden die in Abschnitt 5.7 umrissenen Workflows anhand eines Beispiels durchlaufen.

## 6.1 Analyse der Software-Funktionen

Um die in Kapitel 5 umrissenen Methoden zu ermöglichen, müssen von der zugrunde liegenden Software gewissen Funktionalitäten bereit gestellt werden. Diese können in „Funktionen der Datenverwaltung“ und „Funktionen der Datenverarbeitung“ unterteilt werden. Die Funktionen der Datenverwaltung beschreiben dabei die Beschaffenheit der Elemente (sowohl Lösungs- als auch Funktionselemente) sowie die Verknüpfungen zwischen den Elementen des Baukastens, während die vom Nutzer durch seine Operationen angestoßenen Vorgänge in den Funktionen der Datenverarbeitung näher betrachtet werden. Da an dieser Stelle der späteren Software-Entwicklung keine die Lösungsfindung einschränkenden, zu engen Vorgaben gemacht werden sollen, beschränkt sich diese Analyse auf grundsätzliche Aspekte der Umsetzung.

### 6.1.1 Analyse der Funktionen der Datenverwaltung

Die im Systementwicklungsbaukasten vorhandenen Daten zu verschiedenen Funktions- und Lösungselementen müssen einerseits sinnvoll miteinander in Beziehung stehen, und andererseits alle für den Benutzer relevanten Informationen in interaktiv verwendbarer Art und Weise zur Verfügung stellen. Ausgehend von den Beziehungen der Elemente und den im Baukasten abzubildenden Hierarchien werden im folgenden Abschnitt zuerst die Beziehungen zwischen den Datenbankobjekten des Baukastens untersucht, bevor im Anschluss daran die Datenbankobjekte selbst analysiert werden.

#### Analyse der Beziehungen zwischen den Datenbankobjekten

Die in der Datenbank hinterlegten Funktions- und Lösungselemente stehen in vielfältiger Art und Weise miteinander in Beziehung. Funktionselemente sind hierbei Elemente

## 6 Systemanalyse und Konzeption

des Baukastens, welche eine technische Funktion wie z.B. „Drehmoment wandeln“ repräsentieren. Lösungselemente wiederum repräsentieren bekannte technische Lösungen für verschiedene Aufgabenstellungen wie z.B. „Stirnradgetriebe“ für die Funktion „Drehmoment wandeln“. Da Funktions- und Lösungselemente viele Gemeinsamkeiten haben, wird in weiterer Folge nur von „Elementen“ gesprochen wenn beide Arten von Datenbankobjekten gemeint sind.

Jedem Funktionselement können ein oder mehrere Lösungselemente zugewiesen sein, und auch jedem Lösungselement können ein oder mehrere Funktionselemente zugeordnet sein. Des Weiteren können sowohl Funktions- als auch Lösungselemente Verknüpfungen zu über- und untergeordneten Elementen der selben Gattung besitzen. Elemente können auch noch über gemeinsame Merkmale in Gruppen gegliedert werden, sodass sich über die Zugehörigkeit zu verschiedenen Gruppen ebenso Zusammenhänge zwischen den Elementen ergeben.

**Systemisch - Hierarchische Beziehungen** In Abbildung 6.1 werden die grundlegenden Beziehungen zwischen den verschiedenen Elementen ausgehend von dem Funktionselement „Bremsmoment an Fahrzeugrad erzeugen“ beispielhaft beschrieben. In Abbildung 6.2 wird die hierarchische Struktur ausgehend vom Lösungselement „Bremsattel“, welches eine Betrachtungsebene tiefer liegt, dargestellt.

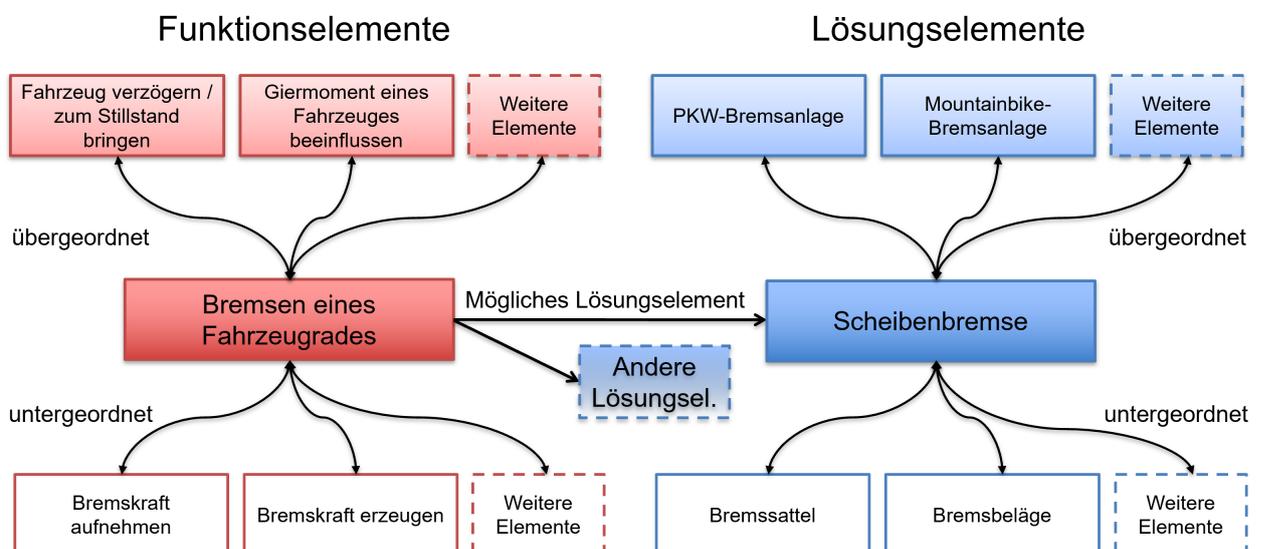


Abbildung 6.1: Struktur der Beziehungen aus Sicht einer Beispiel-Funktion

Da die Erstellung von Funktionsstrukturen im Allgemeinen nicht standardisiert vorgenommen werden kann, können diese sich je nach dem/den Bearbeitenden sogar im Rahmen der selben Aufgabenstellung maßgeblich unterscheiden. Wenn die selben Funktions- oder Lösungselemente in verschiedensten Zusammenhängen von sich jeweils stark unterscheidenden Standpunkten aus betrachtet werden, können sich deutliche Unterschiede in Bezug auf die sich in der Umgebung befindlichen Elemente ergeben.

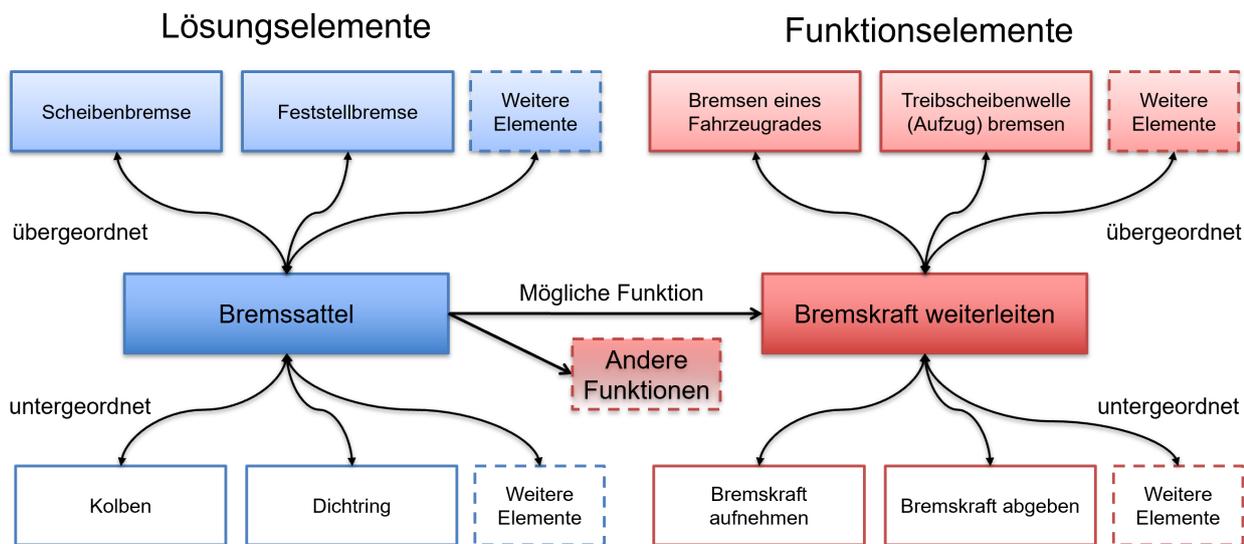


Abbildung 6.2: Struktur der Beziehungen aus Sicht eines Beispiel-Lösungselementes

Insbesondere hinsichtlich der Beziehungen zu über- oder untergeordneten, sowie sich auf der selben Betrachtungsebene befindlichen Elementen können sich je nach Nutzersicht große Differenzen betreffend der relativen Positionen der Elemente zueinander ergeben. Dadurch können, ähnlich wie in Abbildung 6.3 anhand einer optisch/räumlichen Illusion dargestellt praktisch unmögliche Kreisbeziehungen zwischen verschiedenen Ebenen der funktionalen Betrachtung entstehen. Die Datenbankverwaltung des Baukastens muss also derartigen Ungereimtheiten die Verknüpfung der Elemente betreffend gegenüber tolerant sein, und darf keine starr festgelegten Hierarchieebenen implementieren. Stattdessen sollen rein relative Beziehungen zwischen den Elementen eine universell verwendbare und an verschiedenste Gesichtspunkte anpassbare Datenbasis schaffen.

**Gliederungs Beziehungen** Neben der auf Betrachtungsebenen bezogenen Strukturierung der Datenbankobjekte soll auch die Verwendung von Gliederungs-Merkmalen zur Eingrenzung und Unterscheidung der verschiedenen Elemente ermöglicht werden. Anhand des in Abbildung 6.1 gezeigten Beispiels der Scheibenbremse lassen sich mehrere Merkmale bestimmen, welche in verschiedenen Kombinationen zu unterschiedlichen Ausführungsvarianten des Grundprinzips der Scheibenbremse führen:

- Beweglichkeit des Bremssattels (fest, schwimmend)
- Belüftung der Scheibe (keine, gelocht, innen durchströmt, etc.)
- Anzahl der Bremskolben (1, 2, 4, usw.)
- usw.

Die Scheibenbremse selbst kann ebenso als ein Spezialfall des grundlegenden Elements einer Bremse gesehen werden. Mögliche Gliederungsmerkmale einer allgemeinen Bremse wären:

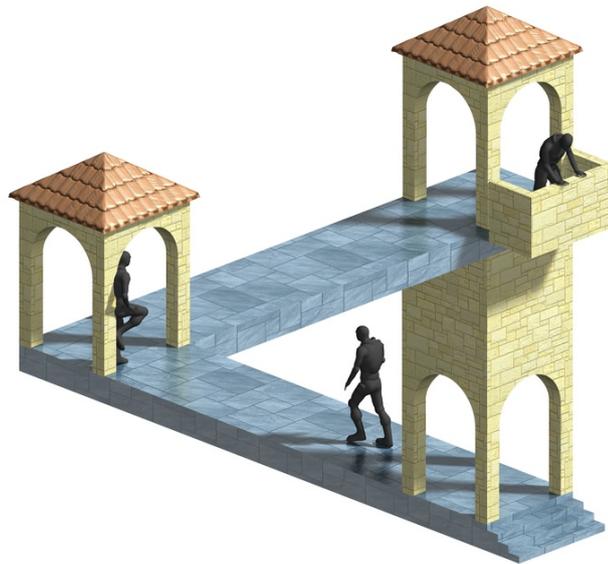


Abbildung 6.3: Optische Illusion einer real räumlich unmöglichen Anordnung [8]

- Wirkprinzip der Bremse (mechanisch, elektrisch, magnetisch, Fluid, etc.)
- Form der gebremsten Bewegung (Rotation, Translation, komplex, etc.)
- usw.

Eine mechanische Bremse wiederum kann hinsichtlich folgender Gliederungsmerkmale unterschieden werden:

- Art der Wärmeabfuhr (Umgebungsluft, Öl, Wasser, etc.)
- Geometrie der Bremsfläche (Zylinder innen, Zylinder außen, Scheibe, mehrere Scheiben (Lamellen), etc.)
- usw.

Eine mögliche, sich über mehrere Ebenen erstreckende Gliederungsstruktur vom Grundelement „Bremse“ bis hin zum konkreten Lösungselement der „Innen belüfteten 4-Kolben Festsattel-Scheibenbremse“ ist in Abbildung 6.4 beispielhaft dargestellt. Die Anzahl der betrachteten Gliederungsmerkmale wurde in dieser Darstellung bewusst klein (zwei bzw. drei Merkmale) gehalten, um die Übersichtlichkeit zum Verständnis des Grundprinzips sicher zu stellen. Je nach Art der betrachteten Elemente können sich auch mehrdimensionale Matrizen mit möglichen Ausführungsvarianten ergeben, von denen durchaus auch einige der theoretisch möglichen Kombinationen praktisch bedeutungslos sein können.

Analog zum gezeigten Beispiel der möglichen Gliederung von Lösungselementen, können auch Funktionselemente entsprechend gegliedert werden. Von der allgemeinen Funktion „Bremsen einer Bewegung“ lassen sich mit Hilfe von Merkmalen wie der Form der gebremsten Bewegung, der Betriebsart oder der räumlichen Mobilität entsprechende Unterscheidungen vornehmen. Wie in Abbildung 6.5 dargestellt, können sich auch die Gliederungen von Funktionselementen über mehrere Ebenen erstrecken.

Bremse		Wirkprinzip				
		Mechanisch	Elektrisch	Magnetisch	Fluid	Usw.
Bewegungsform	Rotierend	Mechanische Rotationsbremse				
	Linear					
	Usw.					

Mechanische Rotationsbremse		Bremsengeometrie				
		Zylinder innen	Zylinder außen	Scheibe	Mehrere Scheiben	Usw.
Wärmeabfuhr	Umgebungs-luft			Scheibenbremse		
	Öl					
	Wasser					
	Usw.					

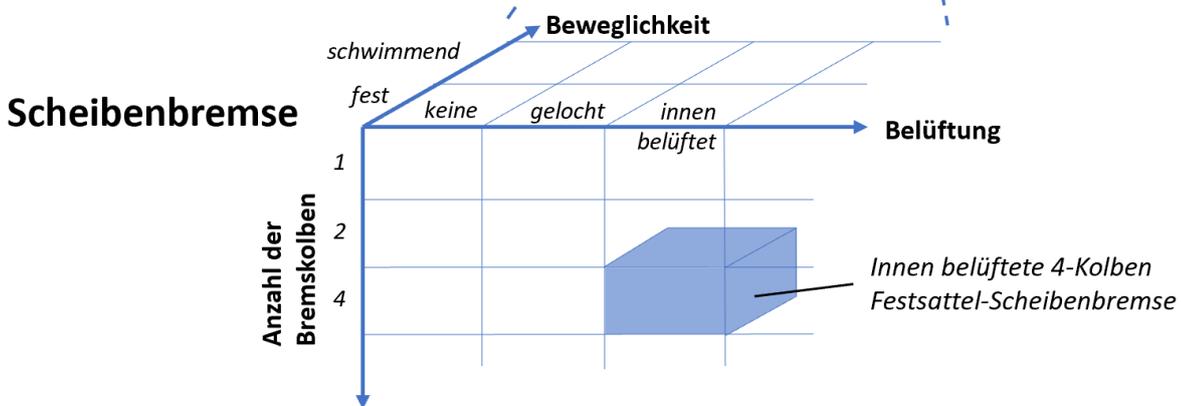


Abbildung 6.4: Mögliche Gliederungsstruktur rund um das Lösungselement „Scheibenbremse“

Dabei können sich die Gliederungsmerkmale der Funktions- und der Lösungselemente zum Teil überlappen, dies sollte jedoch eher die Ausnahme als die Regel sein. Funktionen sollen, wie in Abschnitt 2.1.4 erläutert, möglichst lösungsneutral definiert werden, und daher ist es nur konsequent auch die Gliederungsmerkmale der Funktionsbausteine lösungsneutral festzulegen. Lösungselemente hingegen lassen sich in erster Linie hinsichtlich ihrer konkreten Ausführung (siehe Abbildung 6.4) in verschiedene Kategorien gliedern, wodurch sich nur eine geringe Überschneidung der konkreten Gliederungsmerkmale zwischen den Funktions- und Lösungselementen ergibt. Am Beispiel der Bremse wäre z.B. die Form der gebremsten Bewegung (linear, komplex, rotierend) das

## 6 Systemanalyse und Konzeption

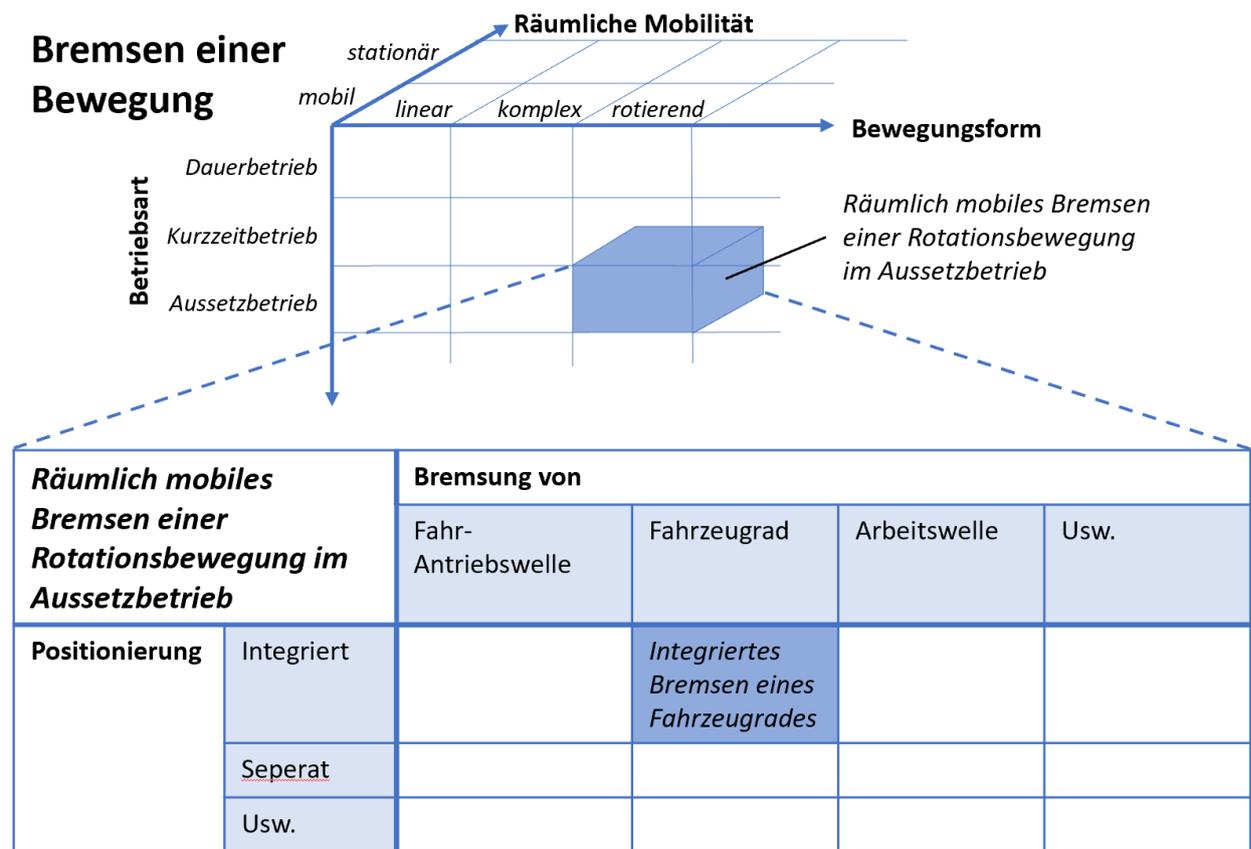


Abbildung 6.5: Mögliche Gliederungsstruktur rund um die Funktion „Integriertes Bremsen eines Fahrzeugrades“

einziges Gliederungsmerkmal, welches für beide Elementarten von Bedeutung ist.

### Analyse der Datenbankobjekte

Wie in Abschnitt 4.3 erarbeitet, befinden sich sowohl Funktions- als auch Lösungselemente in der Datenbank des Systementwicklungsbaukastens. Um die Erstellung und Verwaltung von Lösungskonzepten, welche wie in Abschnitt 5.7.2 gezeigt aus mehreren Lösungselementen bestehen, zu unterstützen, werden noch zusätzliche Datenbank-Objekte benötigt. Zur Verwaltung von Projekten, welche mehrere Lösungskonzepte enthalten sollen Projekt-Objekte, welche den Zugriff und die Verknüpfung der Lösungselemente zu Lösungsvarianten gewährleisten erstellt werden. Die Lösungsvarianten wiederum sollen mithilfe von Lösungskonzept-Objekte in der Datenbank gespeichert werden.

Neben einem einzigartigen Identifikationsschlüssel und einer Bezeichnung verfügen alle Elemente auch über verschiedenste Eigenschaften. Während diese Eigenschaften bei den Funktionselementen hauptsächlich der näheren Beschreibung und Abgrenzung gegenüber ähnlichen Funktionen dienen (z.B. Drehzahl oder Leistungsbereich einer

mechanischen Energieübertragung), stellen sie bei den Lösungselementen zusätzlich die Grundlage für viele der vom Benutzer durchgeführten Operationen (siehe auch Abschnitt 6.1.2) dar. Die im Folgenden näher beschriebenen Arten von Eigenschaften können also sowohl Inhalt von Funktions- als auch von Lösungselementen sein, wobei jedes Element prinzipiell jede Art von Eigenschaften besitzen kann, jedoch nur der Identifikationsschlüssel und die Bezeichnung auch tatsächlich in jedem Element vorkommen müssen. Des Weiteren empfiehlt es sich, auch für alle Elemente eine Historie der durchgeführten Änderungen abzulegen, um eine Nachvollziehbarkeit der Inhalte über einen längeren Zeitraum sicher zu stellen.

**Textbasierte Eigenschaften** In Textform vorliegende Informationen zu den Elementen wie z.B. eine schriftliche Erklärung oder Beschreibung des Elements sollen Teil jedes Elements sein. Aufgrund ihrer rechnergestützt sehr schwierig auszuwertenden Natur dienen diese Informationen in erster Linie direkt dem menschlichen Benutzer des Systementwicklungsbaukastens. Um bei großen Informationsmengen trotzdem eine gewisse Übersichtlichkeit zu bewahren, soll die Möglichkeit bestehen z.B. mittels HTML-Codierung Abschnitte fest zu legen und Grafiken sowie Videos direkt bei den relevanten Textpassagen einzubinden.

**Grafikbasierte Eigenschaften** In Form von Fotos, Diagrammen, Skizzen, Animationen oder Videos vorliegende Informationen zu den Elementen sollen ebenfalls als Bestandteile von Elementen in der Datenbank abgelegt werden können. Aufgrund ihrer rechnergestützt sehr schwierig auszuwertenden Natur dienen diese Informationen in erster Linie zur Unterstützung des Verständnisses der menschlichen Benutzer des Systementwicklungsbaukastens.

**Tabellenbasierte Eigenschaften** Sofern die Eigenschaften des Elements quantifizierbar sind, sollen diese zur Ermöglichung der weiteren Verwendung und Verarbeitung durch den Baukasten in Form einer Tabelle in den Elementen hinterlegt werden. Hier bietet es sich an, die bereits in Abschnitt 2.1.6 erläuterte Beschreibung mithilfe von Merkmalen und Ausprägungen in entsprechende Tabellenspalten und Zeilen umzusetzen. Da die Art und Menge der verfügbaren Informationen / Daten je nach Element sehr stark schwanken kann, sollen zwei Möglichkeiten der Verwaltung quantifizierbarer Informationen zur Verfügung gestellt werden:

- Hinterlegung *allgemeiner typischer Kenngrößen* für das betrachtete Element, z.B. typische Wirkungsgrade, Leistungsbereiche, etc., ähnlich wie in bekannten Konstruktionskatalogen [40].
- Hinterlegung *konkreter tatsächlicher Kenngrößen* von real ausgeführten (Sub)Systemen, z.B. Wirkungsgrade in verschiedenen Betriebspunkten, tatsächliche Leistung / Gewicht / etc. anhand von veröffentlichten Datenblättern / Katalogdaten oder anderweitig bekannten Quellen.

## 6 Systemanalyse und Konzeption

Um das oft sehr breite Spektrum an möglichen Ausführungen der jeweiligen Elemente abzudecken sollen die allgemeinen Kenngrößen in drei Bereichen angegeben werden. Diese drei Bereiche sollen es dem Nutzer erlauben anhand der Informationen zu typischen, minimal und maximal erreichbaren Kennzahlen das Potential und mögliche Einsatzgebiete des Lösungselements besser zu verstehen. In Tabelle 6.1 wird eine derartige Angabe von Kenndaten, bestehend aus Merkmalen und Ausprägungen, beispielhaft anhand des Lösungselements VKM gezeigt.

Merkmal	Einheit	Minimum	Typisch	Maximum
Spitzenwirkungsgrad	%	15	30-40	50
Maximalleistung	kW	1	10-500	85.000
Gewicht	kg	0,5	5-1000	2.600.000
...	...	...	...	...

Tabelle 6.1: Beispielhafte, allgemein gültige Kenngrößen des Systems VKM

Diese allgemeinen, typischen Kenngrößen liefern dem Nutzer einen guten Überblick über die möglichen Bereiche der verschiedenen Kennzahlen, können jedoch keine unmittelbare Aussage darüber geben, wie diese miteinander in Zusammenhang stehen. Anhand der in Tabelle 6.1 dargestellten Daten ist es z.B. nicht möglich heraus zu finden, ob der Spitzenwirkungsgrad von 50% bei kleinen oder großen Leistungen, oder im gesamten Leistungsspektrum erreichbar ist. Um hier Abhilfe zu schaffen, könnten einerseits die Kennwerte in der verschiedenen Merkmale miteinander verknüpft werden, was aufgrund der zum Teil sehr komplexen Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Kennzahlen jedoch nur aufwendig und nicht vereinfacht standardisiert umsetzbar wäre. Andererseits könnten jedoch auch die konkreten Leistungsdaten real ausgeführter Systeme / Komponenten als einzelne Datenpunkte erfasst werden, welche in sich bereits jeweils einen möglichen Zusammenhang zwischen den einzelnen Merkmalen abbilden. Bei einer entsprechend großen Anzahl an Datenpunkten, können diese wie in Abbildung 6.6 gezeigt den konkreten Zusammenhang zwischen den Kenngrößen Leistung und Gewicht verschiedener bekannter VKM-Systeme in einem großen Bereich in einer übersichtlichen Weise darstellen. Basierend auf diesen konkreten Datenpunkten lassen sich ähnlich wie im Ansys GRANTA Selector (siehe Abschnitt 3.2.6) auch benutzerdefinierte Diagramme mit nahezu beliebigen Kombinationen von Kennzahlen erstellen um die für die individuelle Aufgabestellung relevanten Aspekte heraus zu arbeiten. Diese Datenpunkte können bei entsprechend repräsentativer Verteilung außerdem genutzt werden, um die typischen Kennzahlen des jeweiligen Elementes automatisiert zur Verfügung zu stellen.

Wie in Abbildung 6.6 erkennbar, können innerhalb eines allgemein definierten Lösungselements („VKM“), wie bereits in Abschnitt 6.1.1 ausgeführt, häufig Unterscheidungs- oder Gliederungsmerkmale für verschiedene mögliche Ausführungen (hier Anzahl und Anordnung der Zylinder sowie Einsatzgebiet Automotive oder Marine) des grundsätzlichen Lösungsprinzips gefunden werden. Diese Gliederungsmerkmale können genutzt werden, um eine große Anzahl an konkreten Datenpunkten real ausgeführter (Sub)Systeme zu gruppieren und zu sortieren.

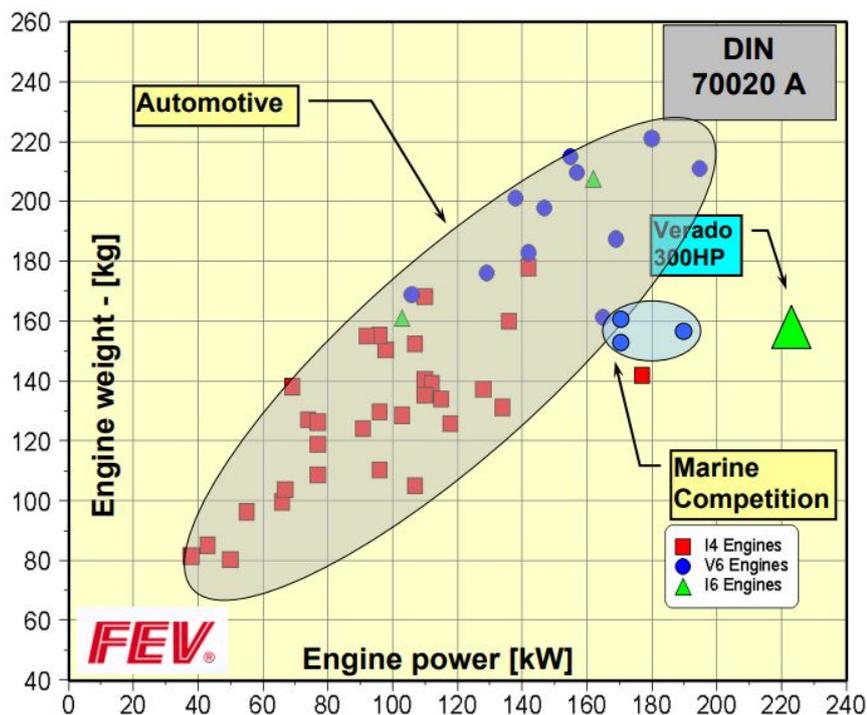


Abbildung 6.6: Leistung und Gewicht konkret ausgeführter VKM-Systeme [25]

**Andere Eigenschaften** Um auch Informationen, welche in keine der zuvor genannten Kategorien fallen im Baukasten aufnehmen und sie in weiterer Folge dem Benutzer zur Verfügung stellen zu können, sollen Dateien aller Art ähnlich wie bei einem E-Mail hinzugefügt werden können. Diese Dateien könnten z.B. Modelle aller Art wie CAD, Berechnungs- oder Simulationsmodelle sein, aber auch Software Code, Excel oder Matlab Dateien usw. sein.

### Analyse der Datenbankstruktur

Wie in Abschnitt 6.1.1 erläutert, sollen in der Datenbankstruktur die hierarchischen Beziehungen zwischen den Elementen abgebildet werden, und auch die Gliederung der Elemente nach verschiedensten Gesichtspunkten ermöglicht werden. Dies soll wie im Folgenden beschrieben mithilfe zweier in Datenbanksystemen üblicher Methoden umgesetzt werden.

**Objekt-Gliederung** Die objektorientierte Programmierung bietet mit dem System der Klassen, bzw. der abgeleiteten Klassen und davon erstellten Objekten [18] eine Möglichkeit die Gliederung der Datenbankobjekte nach verschiedenen Gesichtspunkten unmittelbar bei der Erstellung der Datenbankobjekte einfließen zu lassen. Wie in Abbildung 6.7 dargestellt, erben abgeleitete Klassen automatisch die Eigenschaftsfelder der ihr übergeordneten Klassen, was sich zur Gliederung der Objekte hinsichtlich verschiedener

Gesichtspunkte nutzen lässt. Eine Klasse selbst kann jedoch noch nicht unmittelbar als ein Objekt in einer Datenbank aufgenommen werden, sie muss vielmehr wie eine Art Dokumentenvorlage verstanden werden. In dieser Vorlage werden zwar die relevanten Datenfelder (z.B. Leistung, Gewicht, Wirkungsgrad, etc.) bereits vorgegeben, diese werden jedoch erst bei der Erstellung eines zu einer Klasse zugehörigen Objektes tatsächlich mit entsprechenden (Zahlen)Werten befüllt, und erst diese Objekte können tatsächlich in Datenbanken aufgenommen und entsprechend weiter verarbeitet werden.

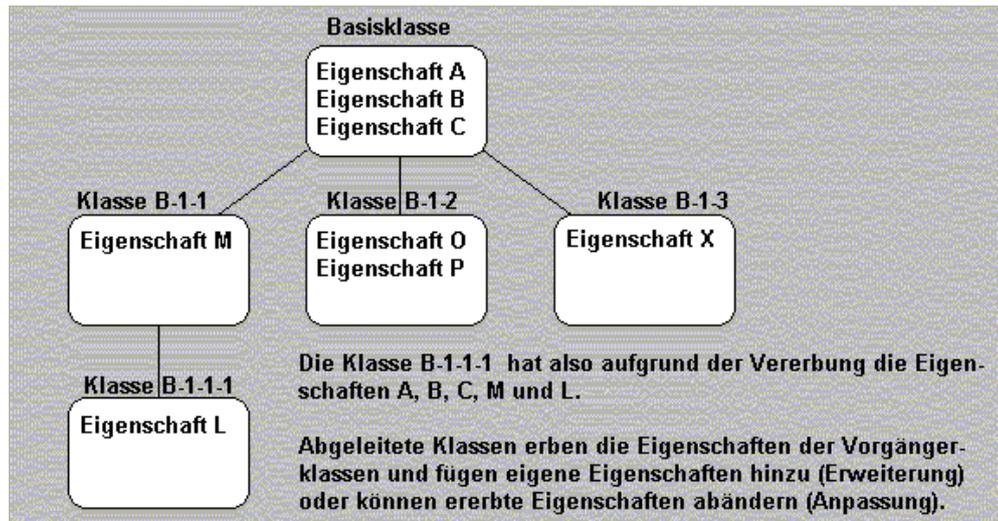


Abbildung 6.7: Abgeleitete Objekt-Klassen mit vererbten Eigenschaften [18]

Am Beispiel der in Abbildung 6.4 dargestellten Gliederung von Bremsen könnte die in Abbildung 6.8 dargestellte Klassenhierarchie eine flexible und auf verschiedenste Erfordernisse anpassbare Gliederungsstruktur vom abstrakten Grundprinzip der Bremse bis hin zu konkreten Ausführungsvarianten zur Verfügung stellen. Dabei werden verschiedene Eigenschaftsfelder wie z.B. das Gewicht von oben herab in alle davon abgeleiteten Klassen vererbt und in jeder das grundsätzliche Lösungselement präzisierenden Ableitung einer Klasse kommen weitere jeweils relevante Eigenschaftsfelder hinzu bzw. werden manche der von oben vererbten Eigenschaftsfelder mit festgelegten Werten befüllt. Tatsächlich real ausgeführte Systeme mit ihren Eigenschaften können in der Gliederungsstruktur der Klassen verankert als Instanzen der entsprechenden Klasse erstellt werden. Auf Basis dieser Klassenstruktur ist es möglich, verschiedenste vergleichende Grafiken ähnlich der Abbildung 6.6 zu erstellen, in welchen sowohl die Datenpunkte real ausgeführter Systeme dargestellt werden, als auch die Zugehörigkeit der Datenpunkte zu verschiedenen Gliederungsmerkmalen (=Klassen) ersichtlich ist.

Für den Systementwicklungsbaukasten könnte dieses Prinzip wie folgt adaptiert werden: Die (abgeleiteten) Klassen entsprechen den Funktions- und Lösungselementen, während Instanzen dieser Klassen den in Abschnitt 6.1.1 beschriebenen Datenpunkten entsprechen. Die Lösungselemente (in Form von Klassen) enthalten dabei bereits alle wesentlichen Informationen zur Beschreibung und Definition des jeweiligen Lösungsprinzips und können für sich alleine stehend bereits zur Lösungsfindung genutzt werden. Die In-

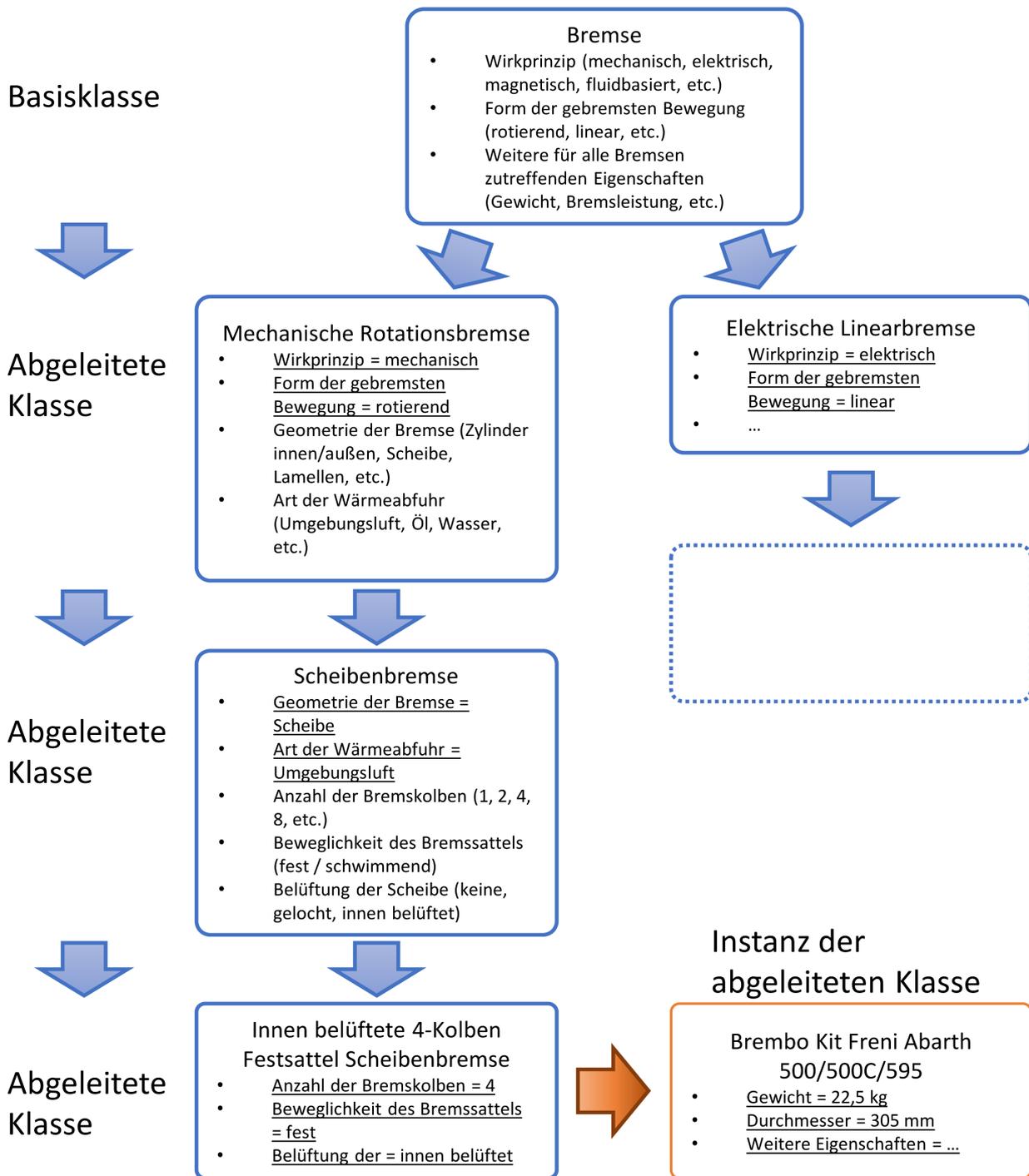


Abbildung 6.8: Gliederung mittels Objekt-Klassen am Beispiel der Scheibenbremse

stanzen der Lösungselemente stellen zusätzliche, quantifizierbare Informationen über in der Realität erreichbare Kennzahlen des Lösungsprinzips zur Verfügung, sind in ihrer Beschreibung und in ihren grundsätzlichen Eigenschaften jedoch bereits über das zugrunde liegende Lösungselement definiert. Für die verschiedenen Funktionalitäten

des Systementwicklungsbaukastens sind diese Instanzen nicht notwendig, sie dienen ausschließlich der Präzisierung des tatsächlichen, real erreichbaren Leistungsvermögens des Lösungselements. Aufgrund der allgemeinen und abstrakten Definition von Funktionselementen können diese nicht über real ausgeführte Instanzen verfügen, das Konzept der Präzisierung von Baukasten-Elementen durch real ausgeführte, in Instanzen abgebildete (Sub)Systeme kann also nur auf Funktionselemente angewandt werden.

Da die Hierarchie der Gliederungsmerkmale, und damit auch die der Klassen, nicht immer zweifelsfrei linear festlegbar ist, bzw. weil hier in der Praxis häufig unterschiedliche Gesichtspunkte mit unterschiedlicher Bedeutung gehandhabt werden, ist es auch hier notwendig die Abhängigkeiten zwischen den Klassen möglichst flexibel zu gestalten. Insbesondere soll es möglich sein die Gliederungsstruktur nachträglich zu verändern und zu erweitern um sie an neue Erkenntnisse oder technische Weiterentwicklungen anpassen zu können, aber auch die Zugehörigkeit eines Elementes zu mehreren Gliederungsmerkmalen soll darstellbar sein. So kann z.B. das allgemeine Lösungselement „Scheibenbremse“ mehreren Bereichen wie der Automobilbranche, der Schienenfahrzeugbranche oder auch allgemeinen, stationären Industrieanwendungen zugeordnet werden.

**Objekt-Beziehungen** Eine erster Einstiegspunkt auf dem das konkrete Datenmodell aufsetzen kann ist das sogenannte „Entity-Relationship-Modell (ERM)“ [12]. Dieses beinhaltet „Entitäten“ und „Relationen“, also Abbildungen digitaler Datenbank-Objekte und der Beziehungen zwischen diesen Objekten.

Wie in Abbildung 6.9 dargestellt lassen sich die im Systementwicklungsbaukasten vorkommenden Elemente in die beiden grundlegenden Kategorien der Funktionselemente und der Lösungselemente einteilen. Jedes Funktionselement kann hierbei über Verknüpfungen zu einem oder mehreren Lösungselementen verfügen, und auch jedes Lösungselement über Verknüpfungen zu einem oder mehreren Funktionen. Des weiteren können beide Arten von Elementen über ein oder mehrere Verbindungen zu über- und untergeordneten Elementen der gleichen Art verfügen. Die jeweilige Anzahl der verknüpften Elemente kann dabei vollkommen unabhängig voneinander variieren. So ist es z.B. möglich das einem Funktionselement eine Vielzahl an möglichen Lösungselementen zugeordnet ist, während z.B. einem dieser Lösungselemente nur diese eine Funktion zugeordnet ist, und wiederum anderen möglichen Lösungselementen der selben Funktion eine Vielzahl an erfüllbaren Funktionen zugeordnet ist. Ähnlich verhält es sich mit der Anzahl der Verknüpfungen zu über- und untergeordneten Elementen, dies ist im ERM mittels der m:n Relationen zwischen den verschiedenen Entitäten berücksichtigt. Lösungselemente können außerdem noch über ausgeführte Instanzen des jeweiligen prinzipiellen Lösungselements verfügen, wobei diese Instanzen rein zweifelsfrei nur einem Lösungselement zugeordnet sind (1:n Relation). Deren tabellenbasierte Eigenschaften werden hinsichtlich der darin vorkommenden Merkmale vom grundlegenden Lösungselement definiert, ihre jeweilige Ausprägung unterscheidet sich jedoch von Instanz zu Instanz.

Des weiteren können vom Nutzer im Rahmen des in Abschnitt 5.7.2 beschriebenen

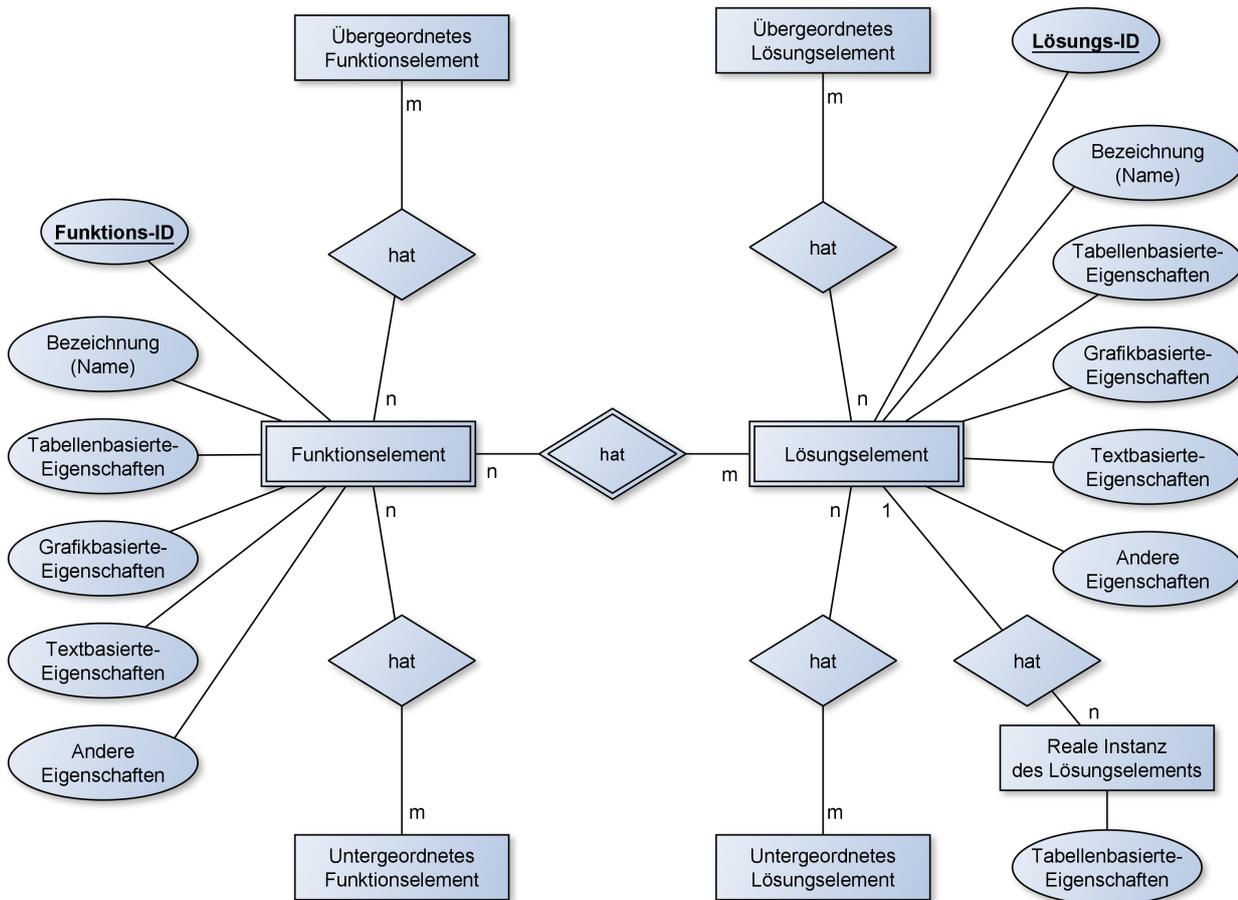


Abbildung 6.9: Entity-Relationship-Modell von Funktions- und Lösungselementen

Systementwicklungs-Workflow auch Lösungskonzepte erarbeitet werden, welche aus mehreren Unterelementen bestehen um die gewünschten Gesamt-Funktionen umsetzen zu können. Um diese Entwicklung von Lösungskonzepten im Systementwicklungsbaukasten abbilden zu können, sind weitere Datenbankobjekte, wie in Abbildung 6.10 dargestellt, nötig. Um mehrere Funktionen strukturiert bearbeiten zu können, ist es notwendig die entsprechenden Funktionselemente einem Projekt zuzuordnen. Die für den Nutzer grundsätzlich für die Aufgabenstellung in Frage kommenden Lösungselemente werden ebenfalls dem Projekt zugeordnet. Lösungskonzepte bestehen aus einer eingeschränkten Auswahl der bereits dem Projekt zugeordneten Lösungselemente, und sie verfügen neben einer Konzept-ID auch noch über eine Bezeichnung und tabellenbasierte Eigenschaften.

### 6.1.2 Analyse der Operations-Funktionen

Hier werden die im Kapitel 5 erarbeiteten Methoden zur Umsetzung der Funktionalitäten des Systementwicklungsbaukastens hinsichtlich ihrer tatsächlichen Umsetzung auf der

## 6 Systemanalyse und Konzeption

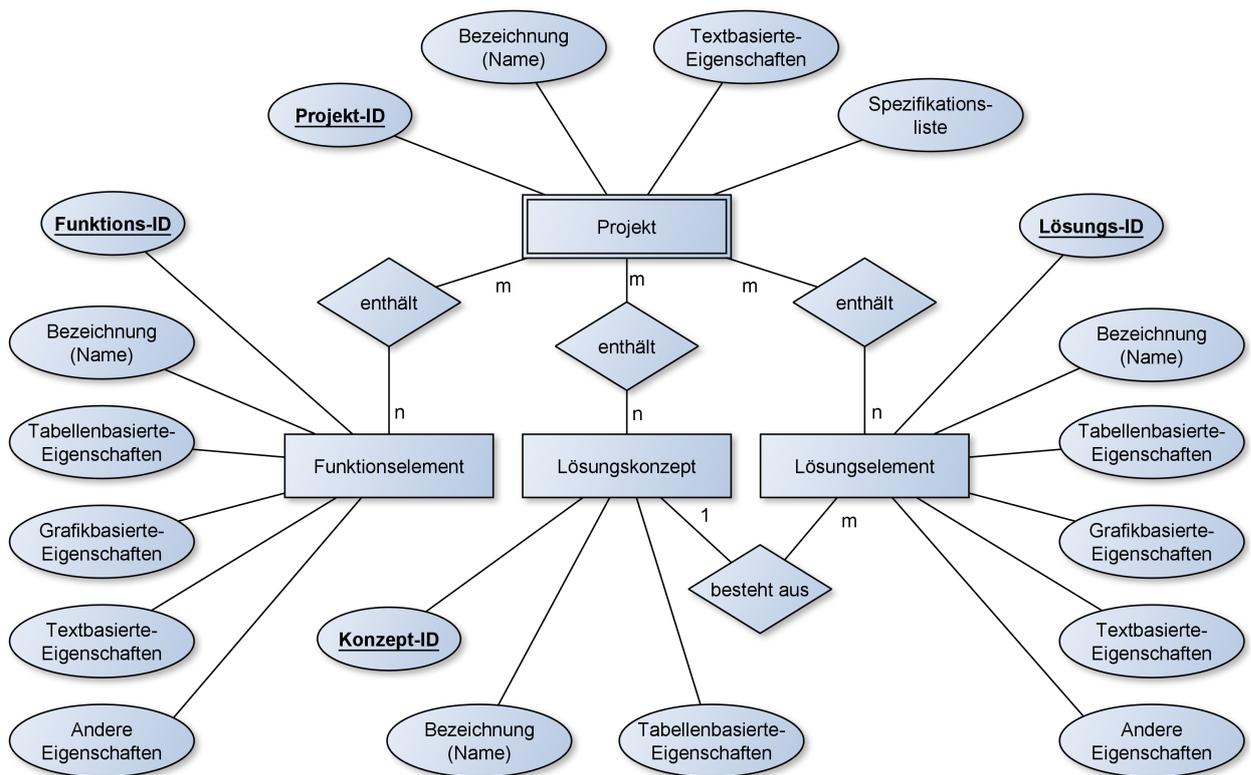


Abbildung 6.10: Entity-Relationship-Modell von Projekten und den darin enthaltenen Lösungskonzepten, Funktions- und Lösungselementen

Software Ebene untersucht. Da viele der Methoden ähnliche Software-Funktionen erfordern, werden diese im Folgenden teilweise unabhängig von der in Kapitel 5 getroffenen Gliederung gruppiert.

### Benutzung des Systementwicklungsbaukastens

Auch wenn der Zugang zu den Inhalten und Funktionalitäten, also das Benutzen des Systementwicklungsbaukastens, keine der in Kapitel 5 besprochenen Funktionalitäten ist, so ist die Art und Weise des Benutzerzuganges dennoch von essentieller, grundlegender Bedeutung für die Konzeptionierung und Umsetzung der Software. Um einen möglichst niederschweligen und plattformunabhängigen Zugang zu den Inhalten des Systementwicklungsbaukastens zur Verfügung zu stellen, empfiehlt sich eine Web-Browser-basierte Benutzeroberfläche welche dem Nutzer z.B. über eine Cloud-Computing Lösung [10] zur Verfügung gestellt wird. Die Vorteile eines solchen Zuganges sind einerseits, dass der Nutzer keine eigene Software auf seinem Endgerät installieren muss und von verschiedenen Geräten auf die selben Projektdaten zugreifen kann, und andererseits dass die in den Untersuchungen verwendeten Daten stets dem aktuellen Datenstand entsprechen.

Die Software soll also in der Lage sein, basierend auf den Nutzereingaben und der Datenbasis entsprechenden HTML bzw. PHP Code zu generieren, welcher dann von einem

Browser angezeigt werden kann und dem Nutzer die geforderten Interaktionsmöglichkeiten bietet. Auch das parallele Benutzen mehrerer Browserfenster / Tabs soll unterstützt werden, um zugleich mehrere Funktionalitäten des Systementwicklungsbaukastens ohne unerwünschten Wechselwirkungen zwischen den Fenstern nutzen zu können.

Um dem Nutzer ein personalisiertes Umfeld bieten zu können, bzw. um verschiedene Ebenen von Lese- und Schreibrechten in der Datenbank verwalten zu können, muss die Möglichkeit der Registrierung von Nutzern bestehen. Registrierte Nutzer sollen gegenüber nichtregistrierten Benutzern Vorteile z.B. in der Verwaltung der von Ihnen erstellten Elemente, Systeme und Bewertungen haben. Um die Zugänglichkeit des im Systementwicklungsbaukasten gespeicherten Wissens nicht zu erschweren und um neue Benutzer schnell und unkompliziert von der Nützlichkeit des Baukastens zu überzeugen, soll der Lese-Zugriff auf den Inhalt der Datenbank jedoch auch nicht registrierten Benutzern zur Verfügung stehen.

### Auflisten, Darstellen, Vergleichen und Hinzufügen / Bearbeiten von Elementen

Wie bereits in Abschnitt 5.1 kurz umrissen, bietet es sich an viele der grundlegenden Funktionen in Anlehnung an vorhandene Webshop-Software zu entwickeln bzw. vorhandene Webshop-Software entsprechend zu adaptieren und zu erweitern.

Folgende grundsätzliche Programmmasken bzw. Webseiten sollen generiert werden:

**Startseite** Ähnlich wie in vielen anderen Internetdiensten / Portalen soll eine Startseite bereits die Möglichkeit der unmittelbaren Eingabe von Suchbegriffen zum Durchsuchen der Datenbank bieten. Dabei soll gezielt sowohl nach Funktions- als auch nach Lösungselementen gesucht werden können. Des Weiteren soll die Startseite entsprechende Verweise zu Datenbankindizes, einer Einführung/Bedienungsanleitung sowie weiterführenden Funktionen des Systementwicklungsbaukastens enthalten.

**Ergebnisseite** Die Auflistung der Suchergebnisse soll neben umfangreichen Möglichkeiten der Sortierung und Filterung (siehe auch Abbildung 4.7) auch möglichst viele Informationen zu den gefundenen Elementen auf eine übersichtliche und flexible Art und Weise zur Verfügung stellen. Dies soll in Form einer tabellarischen Auflistung geschehen, in der ähnlich wie in Abbildung 6.11 sowohl bildliche als auch textliche Informationen ebenso wie Schaltflächen für verschiedene weitere Nutzer-Operationen (Vormerken des Elements für Vergleiche oder anderweitige Verwendung) vorkommen. Ähnlich wie im Windows Datei-Explorer im Ansichtsmodus „Details“ soll es außerdem möglich sein, Tabellenspalten und deren Inhalt zu definieren um z.B. bestimmte Eigenschaften der Ergebniselemente bereits auf der Ergebnisseite miteinander vergleichen zu können.

## 6 Systemanalyse und Konzeption

The image shows two product listings from an online shop. Each listing includes a product name, a star rating, technical specifications (Bestell-Nr., Hst.-Teile-Nr., EAN), the seller's name (Conrad Electronic GmbH & Co KG), a price with a discount tag, the Märklin logo, availability status, delivery date, a quantity selector, and buttons for 'Merken', 'Vergleichen', and 'In den Einkaufswagen'.

Product Name	Rating	Technical Specs	Price	Discount	Availability	Delivery	Quantity	Buttons
Märklin 60944 H0 Motor-Umbauset	★★★★★ (14)	Bestell-Nr.: 498004 - AW Hst.-Teile-Nr.: 60944 EAN: 4001883609447	€29,99	-6%	Online verfügbar (22 Stück)	Lieferung: 10.05. bis 12.05.2021	1 Stück	Merken, Vergleichen, In den Einkaufswagen
Märklin 60941 H0 Motor-Umbauset	★★★★★ (14)	Bestell-Nr.: 498001 - AW Hst.-Teile-Nr.: 60941 EAN: 4001883609416	€26,99	-10%	Online verfügbar (46 Stück)	Lieferung: 10.05. bis 12.05.2021	1 Stück	Merken, Vergleichen, In den Einkaufswagen

Abbildung 6.11: Ausschnitt aus der Ergebnisseite eines Onlineshops [49]

**Vergleichsseite** Die auf der Ergebnisseite für einen Vergleich vorgemerkten Elemente sollen einerseits ähnlich wie in Abbildung 5.2 dargestellt basierend auf ihren in Tabellen hinterlegten Eigenschaften direkt in einer HTML/PHP basierten Tabelle miteinander verglichen werden können, andererseits soll es jedoch auch möglich sein benutzerdefinierte Diagramme ähnlich zu Abbildung 5.3 zu erstellen. Mit Hilfe welcher Technologie sich eine derartige, schnelle Erstellung immer wieder neuer Diagramme auf Basis von in Tabellen hinterlegten Daten am besten umsetzen lässt soll Gegenstand weiterer, zukünftiger Untersuchungen sein. Auch eine Möglichkeit der Verwaltung der gerade zu vergleichenden Elemente soll gegeben sein, um z.B. eindeutig ausgeschlossene Elemente aus dem Vergleich zu entfernen und dafür andere, möglicherweise viel versprechende Elemente hinzufügen zu können.

**Elementseite** Ähnlich wie in Artikeldetailseiten von Webshops oder anderen Online-Datenbanken wie z.B. Wikipedia sollen sämtliche zum Element vorliegenden Informationen in einer übersichtlichen Weise dargestellt werden und ebenso Schaltflächen für weiterführende Operationen vorhanden sein. Diese weiterführenden Operationen können z.B. das Vergleichen dieses Elements mit anderen vorgemerkten Elementen sein, das Bearbeiten des Elements oder auch das Kopieren und Modifizieren des Elements um ein weiteres, dem Ausgangselement ähnliches Element schnell und effizient erstellen zu können.

**Editierseite** Um die in einem Element hinterlegten Informationen verändern und erweitern zu können, bzw. um neue Elemente zu erstellen muss es auch die Möglichkeit der Bearbeitung von Elementen geben. Ähnlich wie z.B. in Wikipedia sollen dazu die Elementseiten in einen Editiermodus umgeschaltet werden können, bei der Erstellung eines neuen Elements über eine Kopie sollen sämtliche Informationen vom Ausgangselement übernommen und dann bearbeitet werden können, bzw. soll auch die Möglichkeit der Erstellung eines neuen Elements von Grund auf möglich sein.

### Auswahl und Verknüpfung von Elementen

Um die in Abschnitt 5.2 erarbeiteten Methoden umzusetzen, sind neben den bereits erörterten Software Funktionen noch die folgenden zusätzliche Aufgaben zu erfüllen:

**Vormerken zu verwendender Elemente** Für die weitere Verwendung von mithilfe des Suchprozesses gefundenen Elementen (sowohl Funktions- als auch Lösungselemente) muss es eine entsprechende Ablagemöglichkeit geben, um die betreffenden Elemente schnell wieder auffinden und verknüpfen zu können. Um es dem Nutzer zu erlauben auch mehrere Aufgabenstellungen parallel bzw. abwechselnd zu bearbeiten, soll für jede Aufgabenstellung ein Projekt erstellt werden. Diese Projekte sollen ähnlich wie ein Einkaufskorb oder eine Merkliste in einem Webshop die entsprechenden Element-IDs aufnehmen, und auf Nutzerwunsch eine Übersicht der dem Projekt zugeordneten Elemente zur Verfügung stellen.

**Erstellung neuer Lösungskonzepte** Nachdem mithilfe der Suchfunktionalitäten alle für das aktuelle Projekt in Betracht kommenden Elemente vorgemerkt wurden, sollen diese miteinander zu Lösungskonzepten verknüpft werden. Um eine Mehrzahl an unterschiedlichen Element-Kombinationen, und damit Lösungsvarianten, zu erstellen sollen wie in Abschnitt 5.2.3 erläutert zwei Methoden von der Software unterstützt werden:

- *Schrittweise Erstellung:* Für jede der vorgemerkten Funktionen werden nacheinander alle jene vorgemerkten Lösungselemente, welche die jeweilige Funktion laut Verknüpfung erfüllen können, vergleichend gegenüber gestellt. Dafür soll für jede Funktion als erstes ein tabellenbasierter Vergleich (siehe Paragraph *Vergleichsseite* in Abschnitt 6.1.2) erstellt werden, in welchem man das für die aktuell erstellte Systemvariante bevorzugte Element direkt auswählen kann. Des Weiteren soll auch hier die Möglichkeit bestehen, auf Wunsch des Nutzers individualisierte Vergleichsdiagramme zu erstellen.
- *Morphologische Erstellung:* Alle vorgemerkten Funktionen sowie die dazu passenden Lösungselemente werden in einer morphologischen Tabelle (siehe auch Abschnitt 3.2.3) zusammengefasst dargestellt. Durch einfaches Auswählen (Anklicken) des für die jeweilige Funktion zu betrachtenden Lösungselements sollen verschiedene Systemvarianten generiert werden.

Diese neu erstellten Systeme sollen darauf hin ebenfalls wie eigenständige Lösungselemente, welche die zugrunde liegenden Elemente als untergeordnete Elemente enthalten (siehe Paragraph „Systemisch - Hierarchische Beziehungen“ in Abschnitt 6.1.1), behandelt werden. Dadurch können die Software Funktionen der Darstellung und des Vergleichens direkt genutzt werden. Auf Wunsch des Nutzers soll es außerdem möglich sein, die erstellten Systeme zur weiteren Verwendung als vollwertige Lösungselemente in die Datenbank des Systementwicklungsbaukastens aufzunehmen.

**Gewichtung der Eigenschaften** Die in den die erstellten Lösungskonzepte bildenden Lösungselementen hinterlegten Eigenschafts-Merkmale sollen hinsichtlich der Häufigkeit mit der sie in den Elementen vorkommen analysiert werden. Diese Eigenschafts-Merkmale sollen darauf hin automatisiert in abnehmender Häufigkeit geordnet in die Tabelle der Eigenschaften aller erstellten Lösungskonzepte des aktuellen Projekts übernommen werden. Im Anschluss daran soll der Nutzer die Möglichkeit haben, diese Liste der Merkmale zu bearbeiten und den Einfluss der jeweiligen Elemente auf das jeweilige Eigenschaftsmerkmal manuell in einer Matrix festzulegen. Dabei sollen als Standardeinstellung alle Elemente in denen das jeweilige Merkmal vorkommt gleich gewichtet werden, und Elemente welche nicht über das jeweilige Merkmal verfügen eine Gewichtung von 0% erhalten. Die Ausprägungen der verschiedenen Merkmale des erstellten Systems errechnen sich darauf hin automatisch aus dem aufsummierten Produkten der jeweiligen Ausprägungen und Gewichtungen. Eine nachträgliche Bearbeitung der errechneten Ausprägungswerte durch den Benutzer ist auch zu ermöglichen, um die Fehler dieses sehr einfachen Zuganges kompensieren zu können.

### Überführung der Spezifikationen in Bewertungskriterien

Die folgenden Software Funktionen sind notwendig, um die die in Abschnitt 5.4 erarbeiteten Funktionalitäten des Systementwicklungsbaukastens darzustellen.

**Spezifikationsliste** Die Software muss eine dem jeweiligen Projekt zugeordnete Spezifikationsliste gemäß Tabelle 5.1 unterstützen. Diese soll durch den Import einer Excel oder CSV Datei und/oder durch manuelle Nutzereingaben befüllt werden.

**Definition der Bewertungskriterien** Die Spezifikationen, Bewertungskriterien und Eigenschaften sollen ähnlich wie in 5.7 gezeigt nebeneinander dargestellt werden, wobei die Spalte der Bewertungskriterien vom Benutzer auszufüllen ist.

**Gewichtung der Bewertungskriterien** Neben der direkten, manuellen Gewichtung durch den Benutzer soll auch die Durchführung eines paarweisen Vergleichs unterstützt werden. Dazu sollen die zuvor definierten Bewertungskriterien wie in Abbildung 3.11 dargestellt angeordnet werden, und der Benutzer kann die jeweilige relative Bedeutung der Kriterien zueinander festlegen.

### Bewertung der Varianten

Zur Bewertung der Varianten soll sowohl die kriterienorientierte als auch die konzeptorientierte Nutzwertanalyse (siehe Abschnitt 3.2.2) unterstützt werden. Dazu soll einerseits eine bearbeitbare, tabellarische Darstellung ähnlich wie in Abbildung 3.10

erzeugt werden, und andererseits auch der Vergleich der erstellten Systeme wie in Paragraph „Vergleichsseite“ in Abschnitt 6.1.2 erläutert begleitend zur Bewertung ermöglicht werden.

## 6.2 Anwendung der entwickelten Workflows

Im nun folgenden Teil werden die in Abschnitt 5.7 entwickelten Workflows anhand von zwei Beispielen durchlaufen. Mit Hilfe dieser beiden Beispiele sollen die meisten der in den vorherigen Kapiteln ermittelten Funktionalitäten modellhaft durchlaufen werden, um damit das entwickelte Konzept des Systementwicklungsbaukastens hinsichtlich seiner Eignung zur Unterstützung bei der Lösungsfindung und Bewertung zu untersuchen.

### 6.2.1 Konzeptentwicklung für einen elektrischen Fahrzeugantrieb

Für die Entwicklung des Konzeptes wird der in Abschnitt 5.7.2 entwickelte „detaillierte Systementwicklungs-Workflow“ angewandt. Um diese Beispiel übersichtlich und nachvollziehbar zu halten, werden bewusst nur wenige Funktionen, mögliche Lösungselemente und Spezifikationen betrachtet. Die grundlegende Abfolge der zur Lösung führenden Schritte ist aber auch bei umfangreicheren Betrachtungen der selbe. Die in den Lösungselementen hinterlegten Eigenschaften können und sollen dabei im voll gefüllten Baukasten über die in diesem Beispiel angeführten, grundlegenden Merkmale hinaus gehen. Je mehr Informationen zu den jeweiligen Lösungselementen hinterlegt werden, desto detaillierter und umfassender werden die Möglichkeiten der Analyse und Bewertung der in Frage kommenden Elemente. Neben den im folgenden Beispiel verwendeten Merkmalen und Ausprägungen können z.B. noch die folgenden Eigenschaften zur Berücksichtigung verschiedener Gesichtspunkte verwendet werden:

- Bauform-Kenngrößen wie z.B. Länge zu Durchmesser - Verhältnis um für einen geometrisch definierten Bauraum eine passende Lösung zu finden
- Volumetrische Kenngrößen wie z.B. Dichte oder Leistungsdichte um volumetrische Leistungsziele zu erreichen
- Werkstoff-Zusammensetzungen um z.B. bestimmte begrenzt verfügbare Materialien zu vermeiden
- Emissionsverhalten des Elements um z.B. die Einhaltung gesetzlicher Vorgaben sicher zu stellen
- Produktions/Durchlaufzeiten um die Eignung für die geplante Produktion zu überprüfen
- Kosten des Elements in Abhängigkeit von Stückzahl, Baugröße, Losgröße und Zeitpunkt um die günstigste Lösung für die jeweiligen Rahmenbedingungen zu finden

## 6 Systemanalyse und Konzeption

- Wirkungsgrade und Schleppverluste in verschiedenen Betriebspunkten (Wirkungsgrad-Kennfeld) um die Effizienz des Lösungselements in allen relevanten Betriebszuständen abzuschätzen
- ...

### Informations-Extraktion

**Extrahieren der relevanten Funktionen aus den Anforderungen** In einer der Nutzung des Systementwicklungsbaukastens voraus gehenden Funktionsanalyse wurden die folgenden drei Funktionen zur näheren Untersuchung ausgewählt:

1. Umwandeln elektrischer Energie in mechanische Rotationsenergie
2. Mechanische Umwandlung von Rotationsenergie von hohen Drehzahlen / niedrigem Moment zu niedrigen Drehzahlen / hohem Moment
3. Aufteilen mechanischer Rotationsenergie auf zwei gleich große Anteile

**Bestimmung der relevantesten Entwicklungsziele (Funktions-Spezifikationen)** Die folgenden Funktions-Spezifikationen wurden als maßgebend für das zu entwickelnde System definiert und bereits in eine der Tabelle 5.1 entsprechende Form gebracht:

<i>Identifikation</i>	<i>Bezeichnung (Merkmal)</i>	<i>Ausprägung</i>	<i>Priorität</i>
Spezifikation 1	Spitzenleistung	> 150 kW	hoch
Spezifikation 2	Achsmoment	> 3000 Nm	hoch
Spezifikation 3	Energieverbrauch	möglichst niedrig	hoch
Spezifikation 4	Produktionskosten	möglichst niedrig	mittel
Spezifikation 5	Gesamtgewicht	< 75 kg	hoch

Tabelle 6.2: Funktions-Spezifikationen des elektrischen Fahrzeugantriebes

Um die Spezifikationen im Systementwicklungsbaukasten zu hinterlegen, wird in diesem ein neues Projekt mit den entsprechenden Informationen (Bezeichnung, Beschreibung) angelegt und die Spezifikationsliste manuell oder per Datei-Upload zum Projekt zugefügt.

### Lösungssuche

**Eingabe der gewünschten Funktionen** Die zuvor definierten Funktionen werden als Funktionselemente in der Datenbank gesucht und ebenfalls dem zuvor erstellten Projekt hinzugefügt.

**Auswahl der weiter zu betrachtenden Lösungselemente** Basierend auf den hinterlegten Funktionselementen werden alle im Baukasten gespeicherten und in Frage kommenden Lösungselemente angezeigt. Mit Hilfe der in Abschnitt 5.1.1 angesprochenen Auswahl-Funktionalitäten der Elementsuche wurden verschiedene Lösungselemente als für die weitere Betrachtung relevant ausgewählt. Dabei wurden im Vorhinein bereits einige grundsätzliche Entscheidungen getroffen, so kommen Reluktanzmaschinen als Antrieb aufgrund von Noise Vibration Harshness (NVH) Anforderungen nicht in Frage, und aus Package-Gründen können nur Getriebearchitekturen mit einer abtriebsachsparallelen Motoranordnung berücksichtigt werden.

Die für die Funktion „Umwandeln elektrischer Energie in mechanische Rotationsenergie“ vorgemerkten Lösungselemente werden in Abbildung 6.12 in einer Vergleichstabelle (siehe auch Abschnitt 5.1.4) dargestellt. Die mit einem „\*“ dargestellten Zahlenwerte handeln sich dabei um unmittelbar vom Nutzer eingegebene Daten, da entweder keine ausreichenden oder unpassende Daten im Baukasten hinterlegt waren. Die jeweils im Vergleich berücksichtigten Merkmale wurden dabei vom Benutzer entsprechend seiner Wünsche aus den vorhandenen Daten ausgewählt bzw. manuell hinzugefügt. Die Bewertung der typischen Kosten der jeweiligen Elemente beruht hier z.B. auf Erfahrungswerten die in ähnlichen Projekten gesammelt wurden.

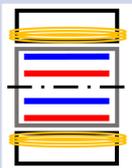
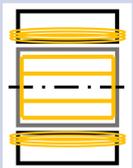
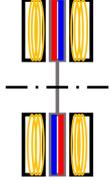
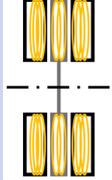
	Permanentmagneterregte Radialfluss Synchronmaschine	Radialfluss Asynchronmaschine	Permanentmagneterregte Axialfluss Synchronmaschine	Axialfluss Asynchronmaschine
Grafische Beschreibung				
Typische Spitzenleistung in kW	1 - 500	0,5 - 300	25 - 400	Nicht genügend Daten verfügbar
Typisches Spitzendrehmoment in Nm	2 - 1000	1,5 - 750	50 - 1100	Nicht genügend Daten verfügbar
Typischer Spitzenwirkungsgrad in %	95	93	96	93 *
Typisches Aktivteile Spitzenleistungsgewicht in kW/kg	3 - 7	2 - 5	5 - 10	3 - 6 *
Typische Kosten/Spitzenleistung in €/kW	5 *	4 *	8 *	6 *

Abbildung 6.12: Vergleichstabelle der vorgemerkten elektrisch-mechanischen Energiewandler

In Abbildung 6.13 werden die für die Funktion „Mechanische Umwandlung von Rotationsenergie von hohen Drehzahlen / niedrigem Moment zu niedrigen Drehzahlen / hohem Moment“ in Frage kommenden Getriebetopologien ebenfalls in einer Vergleichstabelle einander gegenüber gestellt.

Die beiden für die Funktion „Aufteilen mechanischer Rotationsenergie auf zwei gleich

## 6 Systemanalyse und Konzeption

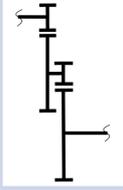
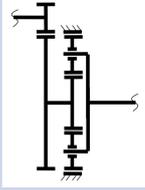
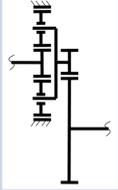
	Zweistufiges Stirnradgetriebe	Stirnrad- auf Planetengetriebe	Planeten- auf Stirnradgetriebe
Grafische Beschreibung			
Typischer Wirkungsgrad in %	<b>98</b>	<b>97,5</b>	<b>97,5</b>
Typisches Spitzenleistungsgewicht in kW/kg	<b>5 - 8</b>	<b>6 - 10</b>	<b>5,5 - 9</b>
Typische Kosten/Spitzenleistung in €/kW	<b>2 *</b>	<b>3 *</b>	<b>3,5 *</b>

Abbildung 6.13: Vergleichstabelle der vorgemerkten mechanischen Drehzahl/Drehmomentumwandler

große Anteile“ in Frage kommenden Elemente werden einander in Abbildung 6.14 gegenüber gestellt.

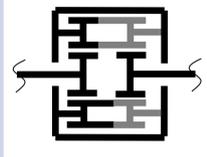
	Kegelrad-Differential	Stirnrad-Differential
Grafische Beschreibung		
Typisches Maximalleistungsgewicht in kW/kg	<b>25 - 100</b>	<b>40 - 150</b>
Typische Kosten in €/kW Maximalleistung	<b>0,65 *</b>	<b>0,95 *</b>

Abbildung 6.14: Vergleichstabelle der vorgemerkten mechanischen Leistungsverzweigungselemente

## Lösungs-Synthese

**Manuelle Verknüpfung von Lösungselementen zu Lösungskonzepten** Nach Auswahl der Option der manuellen, schrittweisen Verknüpfung (siehe auch Abschnitt 5.2.3) wird der Benutzer Funktion für Funktion durch die vorausgewählten Optionen an Lösungselementen geführt. So wird für die Funktion „Umwandeln elektrischer Energie in mechanische Rotationsenergie“ die in Abbildung 6.12 dargestellte Vergleichstabelle dargestellt

und der Nutzer wählt z.B. die Radialfluss-Asynchronmaschine aus, da ihm niedrige Kosten besonders wichtig sind. Für die beiden anderen Funktionen läuft der Auswahlprozess analog ab, und so wurde das erste Lösungskonzept erstellt.

Dieses erste Lösungskonzept besteht nun aus folgenden Elementen:

- Radialfluss-Asynchronmaschine
- Zweistufiges Stirnradgetriebe
- Kegelrad-Differential

**Generierung vielfältiger Lösungskonzepte mittels morphologischem Kasten** Um noch weitere Lösungskonzepte zu erstellen, entscheidet sich der Benutzer dazu einen morphologischen Kasten, welcher die zum Projekt hinzu gefügten Elemente enthält, anzeigen zu lassen. Die bereits in einem erstellten Lösungskonzept verwendeten Elemente werden dabei automatisch als dem Lösungskonzept zugehörig angezeigt, um eine mehrfach-Erstellung der selben Kombination von Elementen zu vermeiden. Durch Auswählen der jeweils für ein neues Konzept zu verwendenden Elemente aus dem morphologischen Kasten werden zwei weitere Konzepte erstellt. Der morphologische Kasten mit den für die drei Konzepte jeweils ausgewählten Lösungselementen ist in Abbildung 6.15 ersichtlich, die Zahl in der farbigen Ellipse gibt dabei Auskunft darüber, in welchem Konzept dieses Element bereits verwendet wurde.

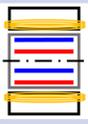
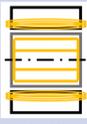
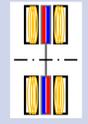
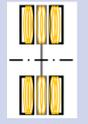
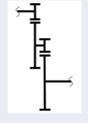
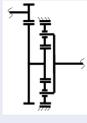
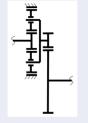
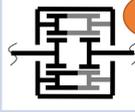
Funktion	Lösungselement 1	Lösungselement 2	Lösungselement 3	Lösungselement 4
1) Umwandeln elektrischer Energie in mechanische Rotationsenergie	 Magneterregte Radialfluss Synchronmaschine	 Radialfluss Asynchronmaschine	 Magneterregte Axialfluss Synchronmaschine	 Axialfluss Asynchronmaschine
2) Mechanische Umwandlung Rotationsenergie hohe Drehzahlen / niedriges Moment zu niedrigen Drehzahlen / hohem Moment	 Zweistufiges Stirnradgetriebe	 Stirnrad- auf Planetengetriebe	 Planeten- auf Stirnradgetriebe	
3) Aufteilen mechanischer Rotationsenergie auf zwei gleich große Anteile	 Kegelrad-Differential	 Stirnrad-Differential		

Abbildung 6.15: Morphologischer Kasten der vorausgewählten Lösungselemente des elektrischen Fahrzeugantriebes

Das zweite Lösungskonzept, besteht also aus folgenden Elementen:

## 6 Systemanalyse und Konzeption

- Permanent-magneterregte Radialfluss Synchronmaschine
- Zweistufiges Stirnradgetriebe
- Kegelrad-Differential

Das letzte erstellte Lösungskonzept beinhaltet die folgenden Elemente:

- Permanent-magneterregte Axialfluss Synchronmaschine
- Stirnrad- auf Planetengetriebe
- Stirnrad-Differential

**Gewichtung der Lösungselement-Eigenschaften** Wie in Abschnitt 5.2.4 beschrieben, wird dem Nutzer eine Tabelle mit allen relevanten Eigenschafts-Merkmalen der einzelnen Lösungselemente und des Gesamtsystems angezeigt. Der Nutzer entscheidet sich dazu, die in Abbildung 6.16 dargestellten Gesamt-Eigenschaften auszuwerten zu wollen, wobei das Gesamtgewicht und die Gesamtkosten von ihm manuell hinzugefügt wurden. Die anderen Gesamt-Eigenschaften wurden auf Basis der in den jeweiligen Elementen vorkommenden Eigenschaften bereits vom Systementwicklungsbaukasten vorgeschlagen. Der Einfluss der Eigenschaften der jeweiligen Lösungselemente auf die Gesamteigenschaften wurde vom Benutzer abgeschätzt, wobei für das Gesamtgewicht bzw. die Kosten ein gewisser Zuschlag (200 bzw. 175) zu der Bemessungsgrundlage von 150 kW gewählt wurde. Ebenso ergibt die Summe der Leistungsgewichtanteile keine 100%, da auch hier der Einfluss weiterer Faktoren anhand der Eigenschaftsgewichtung abgeschätzt wurde. Dadurch sollen die Zahlen der Gesamtmerkmale trotz einiger in dieser groben Konzeptanalyse nicht berücksichtigten Elemente wie z.B. dem Gehäuse dennoch nahe an den Zahlen des tatsächlich ausgeführten Gesamtsystems liegen. Dies muss jedoch nicht geschehen, wenn der Nutzer rein nur die Summe der Kosten der einzelnen Elemente für 150 kW ohne z.B. Gehäuse und Montagekosten erfahren möchte, würde in den entsprechenden Feldern der Zahlenwert 150 stehen.

Da für das in der Berechnung der Gesamteigenschaften verwendete Eigenschaftsmerkmal „Leistungsdichte“ jeweils ein Zahlenbereich anstatt einer konkreten Zahl hinterlegt war, wurde der Benutzer dazu aufgefordert, hier eine konkrete Zahl für seine persönliche Anwendung anzugeben. Diese kann der Benutzer entweder anhand eigener Erfahrungswerte oder anhand von in der Datenbank hinterlegten, konkreten Datenpunkten (ähnlich Abbildung 6.6) abschätzen. Die in diesem Fall vom Benutzer gewählten Zahlen werden zur Verdeutlichung des Vorganges gemeinsam mit den Zwischenergebnissen und den Gesamteigenschaften in den Abbildungen dargestellt. Diese Abbildungen sind nicht Teil des eigentlichen Konzeptentwicklungs-Workflows und werden dem Benutzer nur auf expliziten Wunsch hin angezeigt, in den meisten Fällen wird der Benutzer unmittelbar mit der im nächsten Abschnitt dargestellten Vergleichstabelle weiter arbeiten.

## 6.2 Anwendung der entwickelten Workflows

		Gesamt-Spitzen- wirkungsgrad	Gesamt-Spitzen- leistungsgewicht	Gesamt- Kosten/Spitzen- leistung	Gesamt- Gewicht	Gesamt- Kosten
		%	kW/kg	€/kW	kg	€
Mathematische Verknüpfung		$x_i * x_{i+1}$	$1/(x_i+x_{i+1})$	$x_i+x_{i+1}$	$x_i+x_{i+1}$	$x_i+x_{i+1}$
Elektrisch- Mechanische	Spitzenleistung	0	0	0	0	0
	Spitzenmoment	0	0	0	0	0
Energie- wandlung	Spitzenwirkungsgrad	x	0	0	0	0
	Spitzenleistungsgewicht	0	1/x	0	200/x	0
	Kosten/Leistung	0	0	x	0	175*x
Mechanische Energie- wandlung	Spitzenwirkungsgrad	x	0	0	0	0
	Spitzenleistungsgewicht	0	1/x	0	200/x	0
	Kosten/Leistung	0	0	x	0	175*x
Energie- Aufteilung	Spitzenleistungsgewicht	0	1/x	0	200/x	0
	Kosten/Leistung	0	0	x	0	175*x

Abbildung 6.16: Vollständig definierte Tabelle zur Gewichtung der Eigenschaften der einzelnen Lösungselemente

			Gesamt-Spitzen- wirkungsgrad	Gesamt-Spitzen- leistungsgewicht	Gesamt- Kosten/Spitzen- leistung	Gesamt- Gewicht	Gesamt- Kosten
			%	kW/kg	€/kW	kg	€
Mathematische Verknüpfung		Konzept 1	$x_i * x_{i+1}$	$1/(x_i+x_{i+1})$	$x_i+x_{i+1}$	$x_i+x_{i+1}$	$x_i+x_{i+1}$
Elektrisch- Mechanische	Spitzenleistung	0,5 - 300	0	0	0	0	0
	Spitzenmoment	1,5 - 750	0	0	0	0	0
Energie- wandlung	Spitzenwirkungsgrad	93	93	0	0	0	0
	Spitzenleistungsgewicht	4,25	0	0,24	0	47,06	0
	Kosten/Leistung	4	0	0	4	0	700
Mechanische Energie- wandlung	Spitzenwirkungsgrad	98	98	0	0	0	0
	Spitzenleistungsgewicht	7	0	0,14	0	28,57	0
	Kosten/Leistung	2	0	0	2	0	350
Energie- Aufteilung	Spitzenleistungsgewicht	60	0	0,02	0	3,33	0
	Kosten/Leistung	0,65	0	0	0,65	0	113,75
			<b>91,14</b>	<b>2,53</b>	<b>6,65</b>	<b>78,96</b>	<b>1163,75</b>

Abbildung 6.17: Berechnung der Gesamteigenschaften des ersten Lösungskonzeptes

### Lösungsvergleich

**Anzeige einer Lösungskonzept-Vergleichstabelle** Die in den vorhergehenden Arbeitsschritten erstellten Lösungskonzepte mit allen in ihnen hinterlegten Eigenschaftsmerkmalen werden einander mithilfe einer Vergleichstabelle, wie in Abbildung 6.20 dargestellt, gegenüber gestellt.

**Erstellung benutzerdefinierter Vergleichsbilder** Auf Wunsch des Nutzers hin ist es auch möglich weitere benutzerdefinierte Vergleichsschaubilder, wie in Abschnitt 5.1.4

## 6 Systemanalyse und Konzeption

			Gesamt-Spitzenwirkungsgrad	Gesamt-Spitzenleistungsgewicht	Gesamt-Kosten/Spitzenleistung	Gesamt-Gewicht	Gesamt-Kosten
			%	kW/kg	€/kW	kg	€
Mathematische Verknüpfung	Konzept 2		$x_i * x_{i+1}$	$1/(x_i+x_{i+1})$	$x_i+x_{i+1}$	$x_i+x_{i+1}$	$x_i+x_{i+1}$
Elektrisch-Mechanische	Spitzenleistung	1 - 500	0	0	0	0	0
	Spitzenmoment	2 - 1000	0	0	0	0	0
Energie-wandlung	Spitzenwirkungsgrad	95	95	0	0	0	0
	Spitzenleistungsgewicht	6	0	0,17	0	33,33	0
	Kosten/Leistung	5	0	0	5	0	875
Mechanische Energie-wandlung	Spitzenwirkungsgrad	98	98	0	0	0	0
	Spitzenleistungsgewicht	7	0	0,14	0	28,57	0
	Kosten/Leistung	2	0	0	2	0	350
Energie-Aufteilung	Spitzenleistungsgewicht	60	0	0,02	0	3,33	0
	Kosten/Leistung	0,65	0	0	0,65	0	113,75
			<b>93,1</b>	<b>3,07</b>	<b>7,65</b>	<b>65,24</b>	<b>1338,75</b>

Abbildung 6.18: Berechnung der Gesamteigenschaften des zweiten Lösungskonzeptes

			Gesamt-Spitzenwirkungsgrad	Gesamt-Spitzenleistungsgewicht	Gesamt-Kosten/Spitzenleistung	Gesamt-Gewicht	Gesamt-Kosten
			%	kW/kg	€/kW	kg	€
Mathematische Verknüpfung	Konzept 3		$x_i * x_{i+1}$	$1/(x_i+x_{i+1})$	$x_i+x_{i+1}$	$x_i+x_{i+1}$	$x_i+x_{i+1}$
Elektrisch-Mechanische	Spitzenleistung	25 - 400	0	0	0	0	0
	Spitzenmoment	50 - 1100	0	0	0	0	0
Energie-wandlung	Spitzenwirkungsgrad	96	96	0	0	0	0
	Spitzenleistungsgewicht	9	0	0,11	0	22,22	0
	Kosten/Leistung	8	0	0	8	0	1400
Mechanische Energie-wandlung	Spitzenwirkungsgrad	97,5	97,5	0	0	0	0
	Spitzenleistungsgewicht	9	0	0,11	0	22,22	0
	Kosten/Leistung	3	0	0	3	0	525
Energie-Aufteilung	Spitzenleistungsgewicht	90	0	0,01	0	2,22	0
	Kosten/Leistung	0,95	0	0	0,95	0	166,25
			<b>93,60</b>	<b>4,29</b>	<b>11,95</b>	<b>46,67</b>	<b>2091,25</b>

Abbildung 6.19: Berechnung der Gesamteigenschaften des dritten Lösungskonzeptes

beschrieben und in Abbildung 6.21 dargestellt, zu erstellen.

### Bewertungs-Vorbereitung

**Definition relevanter Bewertungskriterien** Wie in Abschnitt 5.4.3 beschrieben und in Abbildung 6.22 dargestellt, werden vom Benutzer relevante Bewertungskriterien für die Aufgabenstellung festgelegt. Da das Projekt sich in diesem Beispiel noch in einer sehr frühen Konzeptphase befindet, und davon ausgegangen wird, dass die Leistungs- und Drehmomentanforderungen im weiteren Entwicklungsprozess mit allen Varianten

## 6.2 Anwendung der entwickelten Workflows

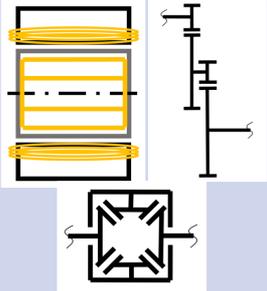
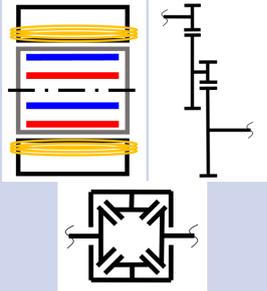
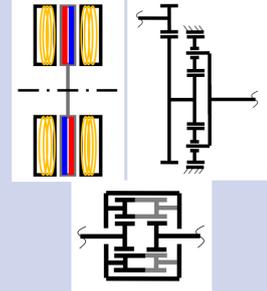
	Konzept 1 „low cost“	Konzept 2 „reasonable“	Konzept 3 „performance“
Grafische Beschreibung			
Gesamt-Spitzenwirkungsgrad in %	<b>91,14</b>	<b>93,1</b>	<b>93,6</b>
Gesamt-Spitzenleistungsgewicht in kW/kg	<b>2,53</b>	<b>3,07</b>	<b>4,29</b>
Gesamt-Kosten/Spitzenleistung in €/kW	<b>6,65</b>	<b>7,65</b>	<b>11,95</b>
Gesamtgewicht in kg	<b>78,96</b>	<b>65,24</b>	<b>46,67</b>
Gesamtkosten in €	<b>1163,75</b>	<b>1338,75</b>	<b>2091,25</b>

Abbildung 6.20: Vergleichstabelle der erstellten Lösungskonzepte

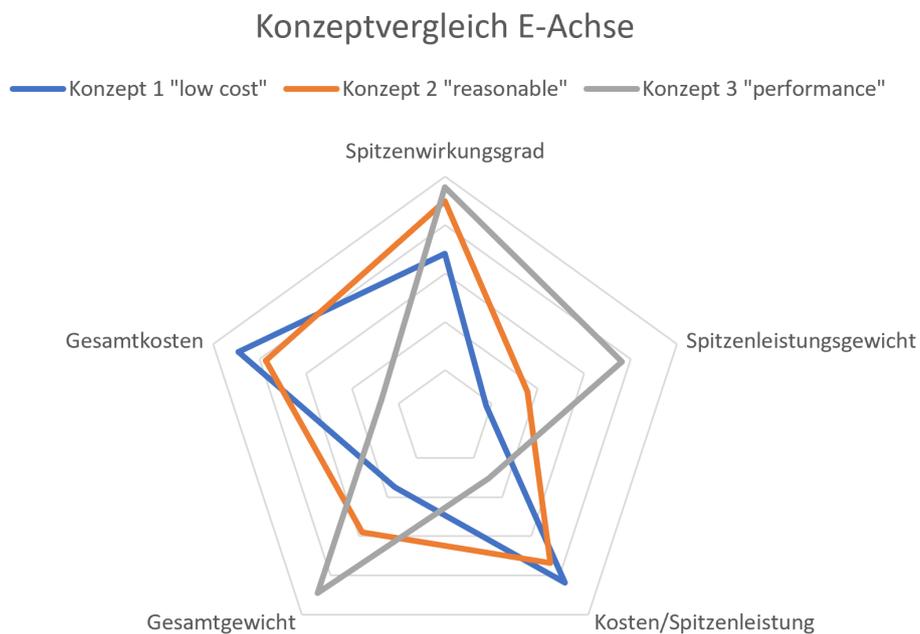


Abbildung 6.21: Vergleichendes Netzdiagramm der erstellten Lösungskonzepte

erreicht werden, wurde der Fokus der Bewertung bewusst auf die drei verbleibenden Anforderungen Energieverbrauch, Produktionskosten und Gewicht gelegt.

## 6 Systemanalyse und Konzeption



Abbildung 6.22: Definition der relevanten Bewertungskriterien für den elektrischen Achsantrieb

**Gewichtung der Bewertungskriterien** Die Bewertungskriterien werden wie in Abschnitt 5.4.4 beschrieben und in Abbildung 6.23 dargestellt mittels paarweisem Vergleich gewichtet. Es wurde eine Maximal-Punkteanzahl von fünf gewählt.

	Energieeffizienz	Kosten	Gewicht	Summe	Gewichtung
Energieeffizienz	x	3	4	7	46,7%
Kosten	2	x	3	5	33,3%
Gewicht	1	2	x	3	20,0%

Maximale Punkte: 5

Abbildung 6.23: Paarweiser Vergleich der Bewertungskriterien für den elektrischen Achsantrieb

### Lösungsbewertung

Die drei entwickelten Konzepte wurden wie in Abbildung 6.24 dargestellt einer kriterienorientierten Nutzwertanalyse (siehe Abschnitt 3.2.2) unterzogen. Die vergebenen Punkte entsprechen dabei jeweils der relativen Eignung eines Konzeptes das jeweilige Kriterium zu erfüllen.

### Bewertungsanalyse

Die Ergebnisse der Bewertung können in Abbildung 6.24 eingesehen werden. Auf Basis der gewählten Bewertungskriterien und deren Gewichtung ist das Konzept 2 das vielversprechendste. Bei einer entsprechend anderen Gewichtung (z.B. geringere Bedeutung der Kosten, höhere Bedeutung des Gewichts) würde das Ergebnis entsprechend anders aussehen und vermutlich das Konzept mit der Axialflussmaschine am besten bewertet

		Konzept 1 "low cost"		Konzept 2 "reasonable"		Konzept 3 "performance"	
<b>Bewertung</b> Sehr Gut <span style="color: green;">↑</span> 5 Gut <span style="color: green;">↑</span> 4 Befriedigend <span style="color: orange;">→</span> 3 Ausreichend <span style="color: red;">↓</span> 2 Mangelhaft <span style="color: red;">↓</span> 1							
Kriterium	Gew.	Bew.	NW	Bew.	NW	Bew.	NW
Energieeffizienz	47%	3	1,40	5	2,33	5	2,33
Kosten	33%	5	1,67	3	1,00	1	0,33
Gewicht	20%	3	0,60	4	0,80	5	1,00
Summe	100%		<b>3,67</b>		<b>4,13</b>		<b>3,67</b>

Abbildung 6.24: Nutzwertanalyse der Lösungskonzepte für den elektrischen Achsantrieb

werden. Weitere Bewertungskriterien wie z.B. der technologische Reifegrad der Komponenten könnten die Bewertung noch weiter Differenzieren um z.B. den Gleichstand zwischen Konzept 1 und Konzept 3 aufzuheben. Die Entscheidung über das weitere Vorgehen wie z.B. der Beginn der Detailentwicklung oder das Verfeinern der bisherigen Betrachtung liegt aber beim Benutzer.

### 6.2.2 Auswahl der Lagerbauart einer hochdrehenden E-Maschine in einer Fahrzeuganwendung

Für die Entwicklung der Lagerung wird der in Abschnitt 5.7.1 entwickelte „schnelle Informations-Workflow“ zur Auswahl eines Lagers für eine E-Maschinen Rotorlagerung verwendet. Für diese Aufgabenstellung gibt es zwar bereits Werkzeuge der etablierten Wälzlagerhersteller (z.B. der Lagerauswahlprozess von SKF [29] oder der Medias Lagerauswahl Assistent von Schaeffler [28]), anhand dieses Beispiels sollen jedoch die universellen Möglichkeiten des detaillierten Vergleichs verschiedener Lösungsmöglichkeiten innerhalb des Baukastens demonstriert werden. Die hier gezeigten Funktionalitäten könnten z.B. auch für die Auswahl einer Kupplung oder eines Maschinenantriebes aus einer Reihe von Möglichkeiten unverändert angewendet werden.

#### Informations-Extraktion

**Extrahieren der maßgeblichen Funktion** Aus verschiedenen Gründen wie z.B. aufgrund der großen Reibungsverluste bei hohen Drehzahlen kommen Gleitlager für diese

## 6 Systemanalyse und Konzeption

Aufgabenstellung nicht in Frage. Daher wird die gewünschte Funktion wie folgt definiert:  
*Wälzlagern einer Welle*

**Bestimmung der relevantesten Entwicklungsziele (Funktions-Spezifikationen)** Die folgenden Funktions-Spezifikationen wurden als maßgebend für das auszuwählende Lager definiert:

<i>Identifikation</i>	<i>Bezeichnung (Merkmal)</i>	<i>Ausprägung</i>	<i>Priorität</i>
Spezifikation 1	Maximaldrehzahl	18500 U/min	hoch
Spezifikation 2	Stat. Tragzahl	7,6 kN	hoch
Spezifikation 3	Dyn. Tragzahl	15,4 kN	hoch
Spezifikation 4	Kosten	möglichst niedrig	mittel
Spezifikation 5	Gewicht	möglichst niedrig	mittel

Tabelle 6.3: Funktions-Spezifikationen der E-Maschinen Lagerung

### Lösungssuche

Aufgrund der sehr allgemein definierten Funktion wird dem Benutzer eine Vielzahl an möglichen Lösungselementen vorgeschlagen. Um sich einen breiten Überblick über die Eigenschaften möglicher Lösungselemente zu verschaffen, werden die folgenden Lagertypen zur näheren Betrachtung ausgewählt:

- Rillenkugellager
- Pendelkugellager
- Nadellager
- Zylinderrollenlager

### Lösungsvergleich

Da bei allen Lagertypen die Daten zahlreicher real ausgeführter Systeme (=Normlager) hinterlegt sind, entscheidet sich der Nutzer dazu eine Reihe von Vergleichsschaubildern mit den Datenpunkten ausgewählter Lagerbaureihen erstellen zu lassen. Die in Abbildung 6.25 und 6.26 dargestellten Vergleichsschaubilder bilden jeweils die Grenzdrehzahlen und statischen bzw. dynamischen Tragzahlen der ausgewählten Lagerbaureihen ab.

Aus diesen beiden Diagrammen geht bereits hervor, dass nur ein Lager der Baureihe 63XX die Anforderungen hinsichtlich der Drehzahlfestigkeit und der Tragzahlen erfüllt. Um die Auswahl dieses Lagers auch hinsichtlich Gewicht und Kosten zu untersuchen, werden noch die in Abbildung 6.27 und 6.28 dargestellten Vergleichsschaubilder erstellt.

### GRENZDREHZAHL - STAT. TRAGZAHL

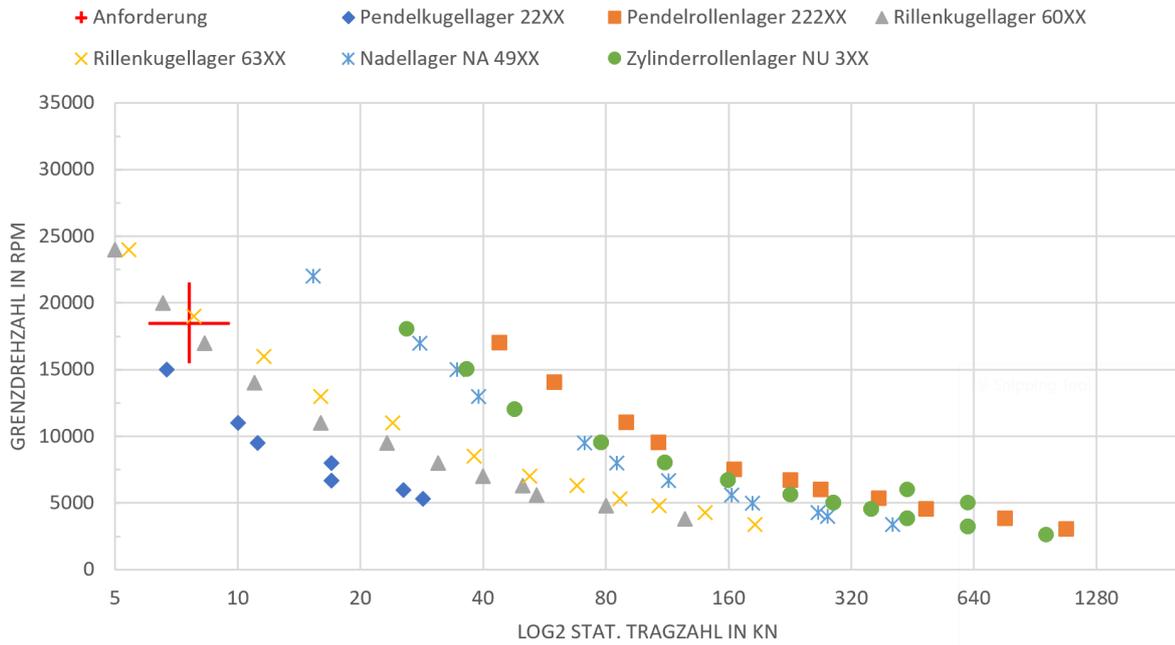


Abbildung 6.25: Vergleichsschaubild Grenzdrehzahl / stat. Tragzahl ausgewählter Lagertypen

### GRENZDREHZAHL - DYN. TRAGZAHL

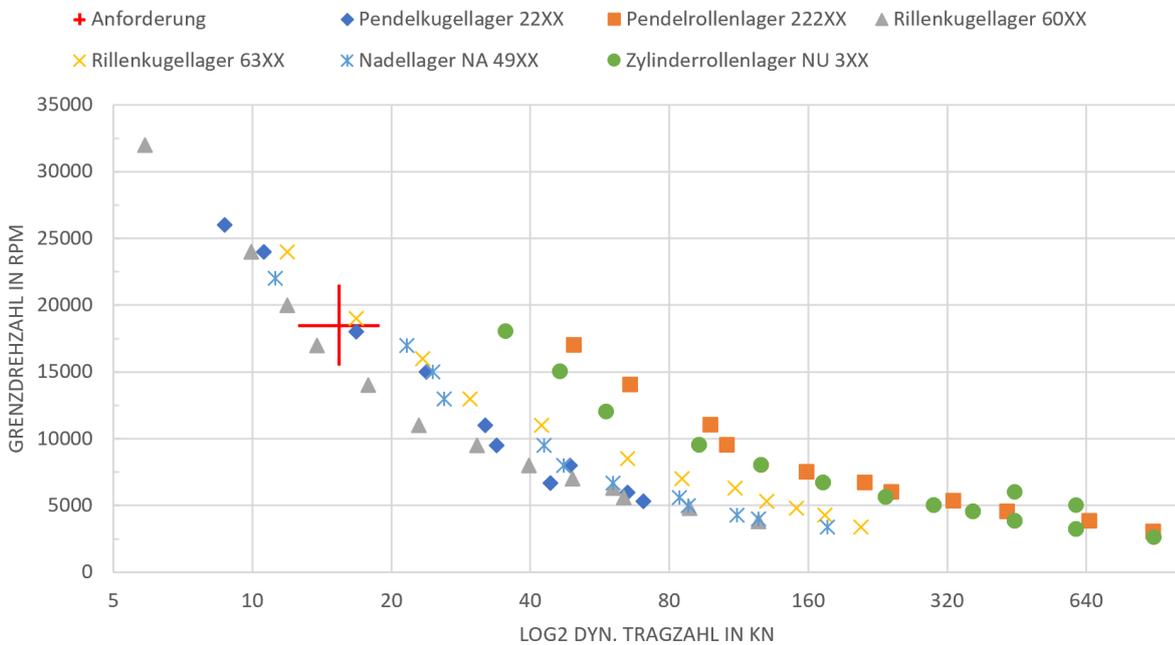


Abbildung 6.26: Vergleichsschaubild Grenzdrehzahl / dyn. Tragzahl ausgewählter Lagertypen

## 6 Systemanalyse und Konzeption

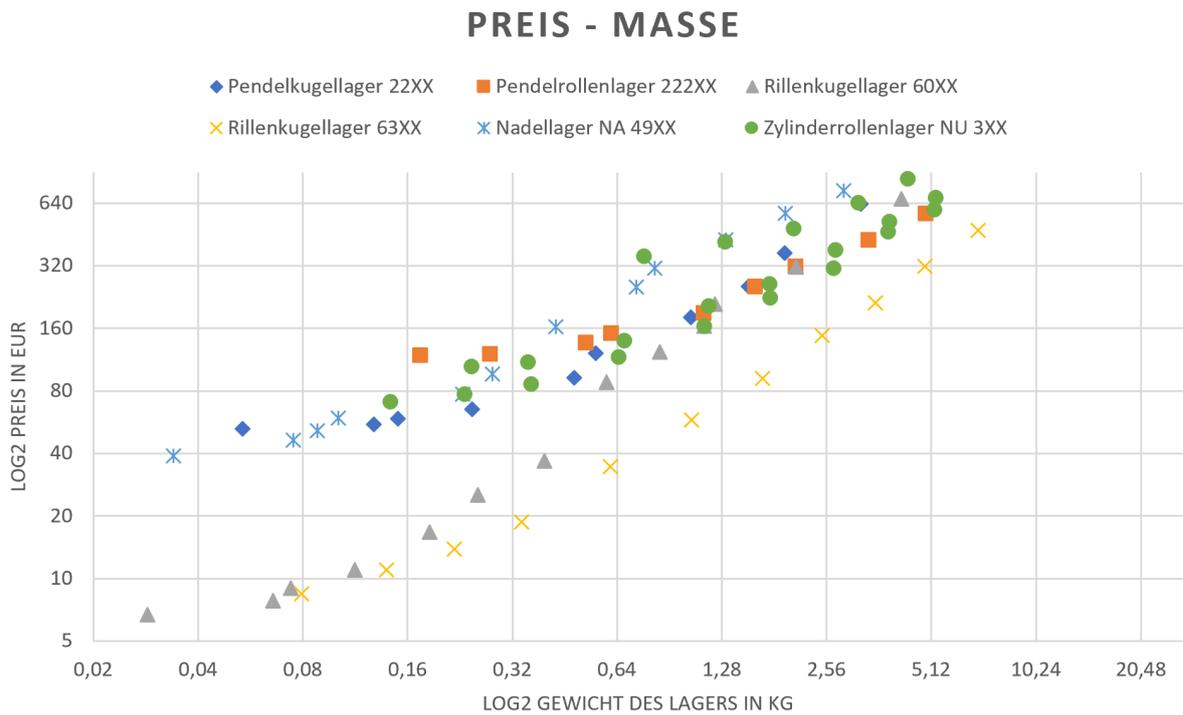


Abbildung 6.27: Vergleichsschaubild Preis [46] / Masse ausgewählter Lagertypen

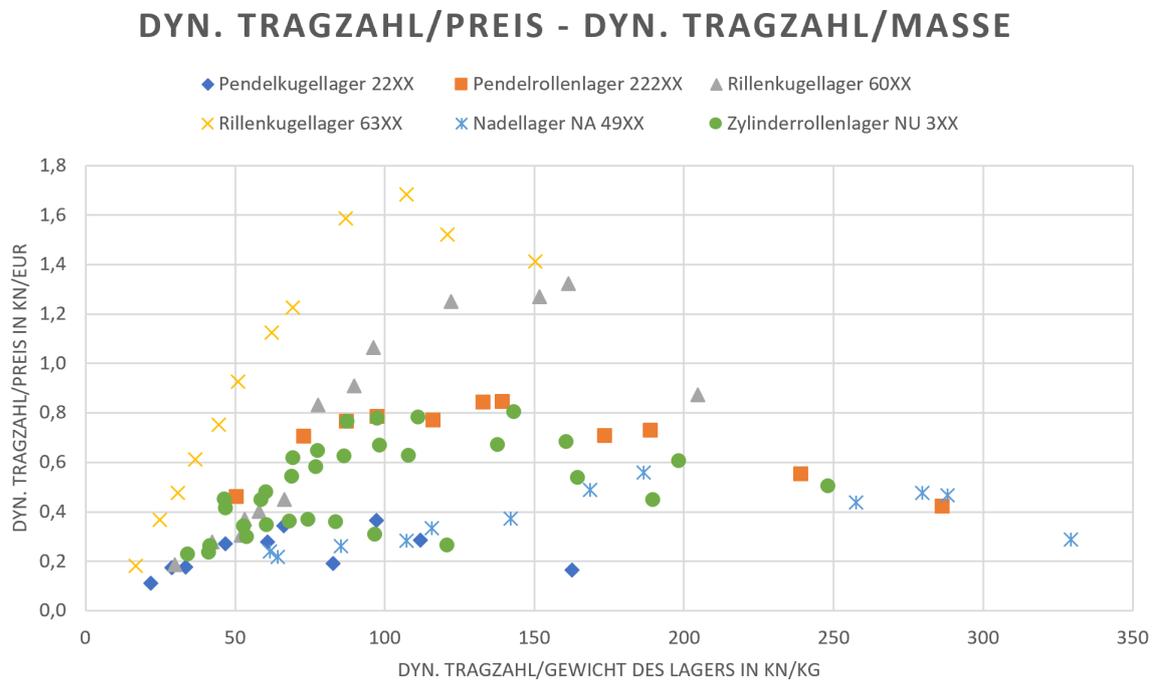


Abbildung 6.28: Vergleichsschaubild dyn. Tragzahl/Preis [46] / dyn. Tragzahl/Masse ausgewählter Lagertypen

Auch wenn die in diesem Beispiel verwendeten Kennzahlen prinzipiell auch aus Katalogen von Lagerherstellern entnommen werden könnten, bietet die Möglichkeit der Erstellung benutzerdefinierter Vergleichsschaubilder dem Benutzer einen Mehrwert für das Verständnis der Stärken und Schwächen der verschiedenen Lösungsmöglichkeiten. Des Weiteren können neben den bekannten Katalogdaten auch zahlreiche weitere Eigenschaften wie z.B. die radiale/axiale Steifigkeit, Verträglichkeit von Winkelfehlern usw. in die Datenbasis eingetragen und entsprechend weiter für die Konzeptentwicklung und Bewertung verwendet werden.

### Lösungsauswahl

Basierend auf den im vorherigen Schritt erstellten Vergleichsschaubildern kann der Nutzer eine gut begründete Entscheidung für das Rillenkugellager 6304 treffen. Es ist das einzige Standardlager, welches die funktionalen Spezifikationen der Lagerung erfüllen kann, und ist außerdem auch hinsichtlich der Kosten und des Gewichts eine gute Wahl.

## 6 Systemanalyse und Konzeption

# 7 Evaluierung und Ausblick

Im folgenden Kapitel wird zuerst das entwickelte Konzept anhand der in Abschnitt 6.2 durchlaufenen Aufgabenstellungen hinsichtlich seiner Eignung zur Unterstützung der Lösungssynthese und Bewertung in technischen Systementwicklungen untersucht. Im Anschluss daran werden noch offene Punkte sowie mögliche Wege zum tatsächlich funktionsfähigen, einsetzbaren Systementwicklungsbaukasten skizziert.

## 7.1 Evaluierung des entwickelten Konzeptes

Die Evaluierung soll auf Basis der in Kapitel 4 erarbeiteten Anforderungen stattfinden. Das Ziel des entwickelten Konzeptes ist nicht der Ersatz bekannter Vorgehensmodelle für die Systementwicklung wie z.B. der VDI 2221 oder dem V-Modell (siehe auch Abschnitt 2.2). Vielmehr soll der Systementwicklungsbaukasten in verschiedensten Entwicklungsprozessen immer dann zur Anwendung gebracht werden können, wenn die Schritte der Lösungs-Synthese und Analyse durchzuführen sind.

Ausgehend von der grundsätzlichen Forderung die Erstellung und die Bewertung möglicher Lösungsvarianten für verschiedene technische Aufgabenstellungen zu erleichtern wurden sechs für den Nutzer relevante Funktionen des Systementwicklungsbaukastens herausgearbeitet. Diese Arbeitsschritte können unabhängig vom angewandten Entwicklungsprozess und der technischen Domäne universell für technische Systementwicklungen aller Art begleitend und unterstützend durchgeführt werden:

- Auflisten und Vergleichen bekannter Lösungselemente
- Auswahl und Verknüpfung von Lösungselementen
- Darstellung und Beschreibung möglicher Lösungsvarianten
- Überführung der Anforderungen in Bewertungskriterien
- Bewertung der Lösungsvarianten anhand der Kriterien
- Darstellung der Bewertungsergebnisse

Im Folgenden wird für jede dieser Funktionalitäten (=Funktionen des Systementwicklungsbaukastens) die Umsetzung im Konzept für den Systementwicklungsbaukasten untersucht und seine Wirksamkeit in Bezug auf die Ziele der Variantenbildung und Bewertung beurteilt. Es wurde dabei angenommen, dass ausreichend passende und für die jeweilige Aufgabenstellung relevante Daten im Baukasten hinterlegt sind, um das Potential des entwickelten Konzeptes in einer voll funktionsfähigen Phase des Baukastens abzuschätzen.

### 7.1.1 Auflisten und Vergleichen bekannter Lösungselemente

Für die Auflistung, Filterung und Darstellung der im Systementwicklungsbaukasten vorhandenen Bausteine (=Elemente) wurde eine an übliche Webshop-Funktionalitäten angelehnte Benutzeroberfläche angedacht. Zum Vergleichen der Elemente kann der Benutzer einerseits Element-Detailseiten aufrufen, oder aber auch vergleichende Tabellen und Schaubilder erstellen lassen.

Aufgrund der intuitiven, einem Webshop ähnlichen Bedienbarkeit kann der Benutzer hier in kurzer Zeit aus einer großen Menge an Informationen die für ihn relevanten Elemente und Daten extrahieren. Diese Daten und personalisiert erstellte Vergleichsschaubilder helfen dem Benutzer dabei passende Lösungen für seine Aufgabenstellung zu finden und richtig zu beurteilen.

### 7.1.2 Auswahl und Verknüpfung von Lösungselementen

Um attraktive Lösungselemente für die spätere Verwendung vorzumerken, können die Elemente des Baukastens ähnlich wie in einem Webshop-Einkaufswagen abgelegt werden. Die Benutzeroberfläche des Baukastens bietet darauf hin die Möglichkeit die vorgemerkten Elemente entweder manuell, oder mittels morphologischem Kasten zu Lösungsvarianten zu verknüpfen. Dem Nutzer wird des weiteren eine Möglichkeit geboten, die Gesamteigenschaften der erstellten Varianten aus den Eigenschaften der zugrunde liegenden Elemente errechnen zu lassen.

Aufgrund der einfachen Verständlichkeit und Bedienbarkeit sowohl des Warenkorbs als auch des morphologischen Kastens gelingt es dem Benutzer sehr schnell verschiedene Lösungskonzepte für seine Aufgabenstellung zu erstellen. Durch die Verknüpfung der Eigenschaften der zu einem Lösungskonzept verbundenen Elemente lassen sich außerdem die zu erwartenden Eigenschaften der erstellten Lösungskonzepte bereits früh abschätzen, was deren Bewertung erheblich erleichtert.

### 7.1.3 Darstellung und Beschreibung möglicher Lösungsvarianten

Die möglichen Lösungsvarianten mit ihren errechneten Gesamt-Eigenschaften werden in einer Tabelle dargestellt. Des weiteren bieten auch hier personalisiert erstellte Schaubilder eine weitere Informationsquelle.

Die vergleichende Darstellung der erarbeiteten Lösungsvarianten mitsamt ihrer Gesamt-Eigenschaften in Tabellenform und in Form von Vergleichsschaubildern bietet dem Benutzer eine gute Basis für die Bewertung der Varianten. Dadurch ist es möglich neu erstellte Konzepte direkt nach ihrer Entstehung bereits auf realistischen Daten basierend miteinander zu vergleichen.

### 7.1.4 Überführung der Anforderungen in Bewertungskriterien

Die Benutzeroberfläche stellt die Funktions-Spezifikationen und die bekannten Eigenschaften der zu Bewertenden Varianten gegenüber. Dies dient dem Nutzer als Unterstützung für die freie Definition von Bewertungskriterien, welche bestenfalls sowohl die Spezifikationen als auch die bekannten Eigenschaften berücksichtigen.

Die Gegenüberstellung bekannter Eigenschaftsmerkmale und gewünschter Spezifikationen hilft dem Nutzer dabei sowohl anhand der Eigenschaften überprüfbare, als auch für die Aufgabenstellung relevante Bewertungskriterien zu definieren. Hier wird dem Nutzer sehr viel Spielraum für freie Entscheidungen gelassen, inwiefern sich dieser Vorgang mit Software unterstützen lässt könnte Gegenstand weiter führender Untersuchungen sein.

### 7.1.5 Bewertung der Lösungsvarianten anhand der Kriterien

Vom Systementwicklungsbaukasten werden sowohl die Gewichtung der Bewertungskriterien als auch die Durchführung einer Nutzwertanalyse softwaremäßig unterstützt. Mit der Anwendung dieser beiden Werkzeuge kann der Benutzer die Lösungsvarianten effizient hinsichtlich ihrer Eignung für die Aufgabenstellung bewerten.

Durch die bereits vordefinierten Eingabemasken und die automatisierte Übernahme und Verarbeitung der vom Nutzer eingegebenen Werte ergibt sich ein Zeitersparnis im Vergleich zu einer manuell durchgeführten Gewichtung und Nutzwertanalyse. Der Vorteil liegt hier in der nahtlosen Übergabe verschiedener Daten zwischen den Bereichen des Systementwicklungsbaukastens, sodass z.B. die Anzahl und die Namen der zu bewertenden Konzepte automatisch in die Nutzwertanalyse übernommen werden.

### 7.1.6 Darstellung der Bewertungsergebnisse

Die Darstellung der Bewertungsergebnisse erfolgt in Form einer Tabelle, welche die Nutzwertanalyse enthält. Aus dieser lässt sich ablesen, wie gut die Konzepte jeweils in Summe und in Bezug auf die einzelnen Bewertungskriterien bewertet wurden.

Durch die übersichtliche Darstellung aller Bewertungsergebnisse können Stärken und Schwächen der einzelnen Varianten herausgearbeitet werden. Dies verbessert einerseits das Verständnis der jeweiligen Varianten, und regt außerdem dazu an die nun bekannten Varianten zu verbessern und/oder zu kombinieren um zu einer noch besser geeigneten Lösung zu kommen.

### 7.1.7 Zusammenfassung der Evaluierung

Unter der Annahme, dass ausreichend Informationen zu verschiedensten relevanten Lösungselementen im Baukasten hinterlegt sind, erweist sich das erstellte Konzept als sehr hilfreich bei der Suche nach Lösungen und auch bei der Bewertung eben dieser. Wenn für die Aufgabenstellung welche gerade von Interesse ist jedoch kaum Informationen hinterlegt sind, hält sich der Vorteil der Benutzung des Systementwicklungsbaukastens zumindest bei der ersten Betrachtung der Aufgabenstellung in Grenzen. Wenn die selbe oder eine ähnliche Aufgabenstellung jedoch wieder untersucht werden, können die zuvor eingegebenen Daten erneut genutzt werden. Durch Nutzung des Baukastens wächst also die Datenbasis, und damit auch der Nutzen des Systementwicklungsbaukastens. Für eine dem Nutzer Vorteile bringende Benutzung ist also zuerst der Aufbau einer Datenbasis nötig, welche z.B. halb-automatisiert aus verschiedenen frei verfügbaren Quellen wie Herstellerkatalogen erfolgen könnte.

## 7.2 Ausblick

Das vorliegende Konzept wurde mit einem Fokus auf die jeweils in den verschiedenen Phasen der Lösungsfindung und Bewertung zum Einsatz kommenden Methoden entwickelt. Auch wenn die gefundenen Methoden bereits den gesamten Prozess der Lösungsfindung und Bewertung begleiten, gibt es dennoch einige Themengebiete die noch näherer Betrachtung bedürfen. Insbesondere die tatsächliche Umsetzung als Software/Datenbanklösung wird noch zahlreiche weitere Fragestellungen aufwerfen.

### 7.2.1 Offene Themen

Obwohl in der vorliegenden Arbeit alle relevanten Aspekte der Lösungsfindung und Bewertung beleuchtet wurden und mögliche Umsetzungen für alle nötigen Funktionalitäten skizziert wurden, konnten einige Bereiche nur oberflächlich betrachtet werden. Diese Bereiche und ihre offenen Themen werden im folgenden noch angesprochen.

#### Befüllung der Datenbank

Um tatsächlich einen großen Nutzen aus dem Systementwicklungsbaukasten ziehen zu können, ist eine umfangreiche Datenbasis notwendig. Denn nur, wenn bereits zumindest ein Großteil der für eine Lösungssuche und Bewertung notwendigen Daten im Baukasten vorliegt, wird der Anwender diesen effizient nutzen können. Wenn ein großer Teil der im Baukasten zugebrachten Arbeitszeit mit der Dateneingabe belegt ist um überhaupt nützliche Ergebnisse zu erhalten, wird der Baukasten nur einen sehr eingeschränkten Nutzen haben. Daher ist es von großer Bedeutung, dem Nutzer bereits möglichst früh

eine breite Datenbasis zur Verfügung zu stellen, sodass die Benutzung des Baukastens seine Vorteile für den Nutzer klar ersichtlich macht.

Es ist denkbar, dass eine gewisse Datenbasis im Rahmen von praktischen Lehrveranstaltungen im universitären Umfeld geschaffen werden könnte. Allerdings würde es wohl viele Jahre dauern bis auf diese Art und Weise eine kritische Masse an breit nutzbaren Informationen zustande kommt. Daher sollten auch automatisierte Wege des Datenimports untersucht werden, um mit vergleichsweise wenig Aufwand schnell eine breite Datenbasis zu schaffen. Insbesondere die Nutzung künstlicher Intelligenz um relevante Informationen aus Produktkatalogen und Fachbüchern zu extrahieren sollte untersucht werden.

### Gliederung / Strukturierung der Daten

Für eine effiziente und zufriedenstellende Benutzung des Systementwicklungsbaukastens ist eine übersichtliche, verständliche und einfach zu nutzende Gliederung der Daten unerlässlich. Wie in Abschnitt 6.1.1 beschrieben sollen die im Baukasten vorhandenen Lösungselemente sowohl nach systemisch-hierarchischen als auch nach funktionalen Ähnlichkeitsmerkmalen gegliedert werden. Da der Systementwicklungsbaukasten für eine Vielzahl an Elementen und Systemen eine effiziente Verknüpfung und Verwaltung ermöglichen soll, ist diesem Gesichtspunkt noch besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Von grundsätzlichen Prinzipialösungen niedrigen Detailgrades bis hin zu tatsächlich ausgeführten Beispielsystemen sollen verschiedenste Elemente in verschiedenen Hierarchieebenen nachvollziehbar gespeichert und verwaltet werden.

Auch wenn mit dem System der (abgeleiteten) Klassen der objektorientierten Programmierung in Abschnitt 6.1.1 bereits ein Ansatz zur Umsetzung der Gliederung der Elemente erörtert wurde, sollten hierfür noch weitere Möglichkeiten gesucht und evaluiert werden. Hier bietet es sich an bereits vorhandene Gliederungsstrukturen großer Datenmengen wie z.B. von ERP-Systemen, besonders umfangreichen Onlineshops, oder „Knowledge Graphs“ [33] zu untersuchen.

### Lese- und Schreibrechte, Kuratierung von Inhalten

Um den Inhalt der Datenbank stets aktuell zu halten und das Wissen der Nutzer auch in den Systementwicklungsbaukasten einfließen zu lassen, sollen die von Nutzern ergänzten und veränderten Daten auch anderen Nutzern zugänglich gemacht werden. Aufgrund der komplexen Verknüpfungen und Zusammenhänge zwischen den Elementen des Baukastens kann bei unbedarfter Veränderung des Inhalts jedoch auch großer Schaden angerichtet werden. Deshalb sollten gewisse Bearbeitungsrechte und Funktionen nur bestimmten, entsprechend geschulten Nutzern zur Verfügung stehen, ohne dabei das Potential einfacher Nutzer den Baukasten zu verwenden und auch zur Datenbasis beizutragen zu sehr einzuschränken.

## 7 Evaluierung und Ausblick

Eine denkbare Möglichkeit um eine hohe Zuverlässigkeit der Daten sicherzustellen, wäre die Kuratierung ausgewählter Bereiche z.B. durch Universitäten oder andere Experten des jeweiligen Fachgebietes. Eine Änderung der kuratierten Daten würde dann die Zustimmung des Kurators bedingen, wodurch falsche oder irreführende Informationen vermieden werden und außerdem die Vertrauenswürdigkeit des Systementwicklungsbaukastens sicher gestellt wird.

Des Weiteren sind auch Aspekte der Vertraulichkeit hinsichtlich der von den Nutzern eingegebenen Informationen zu berücksichtigen. Wenn es sich bei diesen Daten um frei verfügbares, allgemeines „Stand der Technik“-Wissen handelt, soll dieses möglichst unmittelbar in die Datenbasis übernommen werden um auch anderen Benutzern zur Verfügung zu stehen. Wenn es sich jedoch um vertrauliche, nicht öffentlich zugängliche Daten aus aktuellen Forschungs- und Entwicklungsprojekten handelt, muss sichergestellt werden, dass nur berechtigte Personen auf diese Daten Zugriff haben. Um auch hochsensible Daten nahtlos im Baukasten verwenden zu können, muss für den Nutzer ein absolutes Vertrauen in die Datensicherheit des Systementwicklungsbaukastens z.B. mit Hilfe einer verschlüsselten und nur von Berechtigten abrufbaren Datenablage sichergestellt werden.

Es sind also noch umfangreiche Untersuchungen hinsichtlich der Abgrenzung verschiedener Nutzergruppen und Datenbereiche erforderlich. Neben der Sinnhaftigkeit und Nachvollziehbarkeit der getroffenen Unterteilungen muss hier vor allem auch die technische Umsetzbarkeit und Zuverlässigkeit des Schutzes genauestens untersucht werden.

### 7.2.2 Nächste Schritte

Da die softwaremäßige Umsetzung des konzipierten Systementwicklungsbaukastens eine überaus komplexe und umfangreiche Aufgabe darstellt, ist eine Umsetzung ohne Software- und Datenbankspezialisten weder sinnvoll noch möglich. Daher sollen in einem nächsten Schritt Partner für das Projekt des Systementwicklungsbaukastens gewonnen werden, welche über entsprechende Kompetenzen verfügen und das weltweite und branchenübergreifende Potential in der technischen Lösungsentwicklung des Baukastens erkennen.

Gemeinsam mit dem oder den Partner(n) sollen dann die in Abschnitt 7.2.1 angesprochenen offenen Themen bearbeitet werden, bevor mit der Programmierung einer Basisversion des Baukastens mit grundlegenden Funktionen begonnen werden kann. Begleitend von laufenden Evaluierungen soll diese Basisversion dann Schritt für Schritt zur in dieser Arbeit konzipierten Funktionalität geführt werden.

Ein weiterer wichtiger Schritt für die Zukunft des Systementwicklungsbaukastens ist der Schutz des geistigen Eigentums, also der Rechte an dem entwickelten Konzept. Hierzu soll untersucht werden inwiefern die aufgebaute Methodik, der Workflow bzw. die Art der Elemente und deren Verknüpfungen untereinander patentrechtlich oder auf andere Art und Weise vor Nachahmung bzw. Kopie geschützt werden können. Dies sollte

bereits vor detaillierten Gesprächen mit potentiellen Partnern geschehen, da ansonsten die Gefahr einer unkontrollierten Übernahme der Grundidee und der Umsetzungsweise durch Dritte besteht.

### 7.2.3 Potential des Systementwicklungsbaukastens

Es ist absehbar, dass flexible und gut strukturierte Datenbanken mit fachlich relevanten Detailinformationen die klassische Fachliteratur ebenso verdrängen werden, wie z.B. Wikipedia zahlreiche etablierte Lexika verdrängt hat. Das hier entwickelte Konzept bietet bei erfolgreicher Umsetzung neben der reinen Bereitstellung von Informationen noch zusätzlichen Nutzen durch die softwaremäßige Begleitung und Strukturierung der kritischen Entwicklungsphasen der Variantenbildung und Bewertung. Aufgrund seiner grundsätzlich branchenneutralen Ausrichtung können die entwickelten Workflows und integrierten Methoden in unterschiedlichsten Bereichen zur technischen Lösungsentwicklung zum Einsatz gebracht werden. Im Prinzip kann jede Art von technisch-funktionaler Aufgabenstellung mit Hilfe des Systementwicklungsbaukastens bearbeitet und gelöst werden. Dabei spielt es keine Rolle, ob die Aufgabenstellung eine mechanische, elektrische oder eine Software-Lösung bedingt. In einigen Fällen ist es durchaus auch denkbar, dass für ein und die selbe Aufgabenstellung verschiedene Lösungen in mehreren Technikdomänen in Frage kommen. So kann z.B. für die grundlegende Funktion der Regelung einer Drehzahl sowohl ein mechanischer, ein elektrischer, als auch ein softwarebasierter Umsetzungsweg gefunden werden.

Durch die Implementation lösungsneutraler Funktionsbeschreibungen als Ausgangspunkt für die Suche technischer Lösungen bietet der Systementwicklungsbaukasten einen innovativen Zugang zu den Datenbankinhalten. Während herkömmliche Fachliteratur die in ihr vorhandenen Informationen meist nur auf Basis der Beschaffenheit und Eigenschaften der in ihr verzeichneten Lösungswege strukturiert und gliedert, bietet der Systementwicklungsbaukasten die Möglichkeit Lösungen auch anhand der von ihnen erfüllten Funktionen zu ordnen und zu finden. Dies ermöglicht dem Nutzer mit wenig Aufwand ein weitaus umfangreicheres Lösungsspektrum für seine jeweilige Aufgabenstellung zu erfassen, als es mit herkömmlicher Recherche und Fachliteratur möglich ist.

In Anbetracht des großen Zeit- und Kostendrucks, unter dem die meisten technischen Entwicklungsprojekte im 21. Jahrhundert stattfinden, kann das entwickelte Konzept seine Vorteile gegenüber der klassischen, manuellen Lösungssuche und Bewertung zur Geltung bringen. Mit Hilfe einer breiten Datenbasis lässt sich nicht nur Zeit sparen, sondern auch die Zielgenauigkeit der Entwicklung erhöhen, da sich mögliche Abweichungen von Projektzielen bereits frühzeitig erkennen lassen.

Die genannten Vorteile des datenbankbasierten Systementwicklungsbaukastens lassen auf eine sehr breite und intensive weltweite Nutzung durch Entwicklungsteams verschiedenster Branchen hoffen. Bei entsprechender Qualität und Verfügbarkeit der Informationen in der Datenbank, könnte dieser Baukasten den Status eines universellen technischen

## 7 Evaluierung und Ausblick

Standardwerks erlangen, ähnlich wie es z.B. der Dubbel im Bereich des klassischen Maschinenbaus oder Wikipedia im Bereich der Universallexika. Durch seine einfache und strukturierte Verfügbarkeit verschiedenster technischer Informationen könnte der Baukasten nachhaltigen Einfluss auf Ablauf und Ergebnisse unterschiedlichster technischer Entwicklungen haben und die gesamte technische Entwicklung der Menschheit beschleunigen wie es nur wenige Technologien und Werkzeuge davor getan haben.

### 7.2.4 Markenbildung

Um das Potential des Systementwicklungsbaukastens voll auszureizen ist neben einer intuitiven und benutzerfreundlichen Oberfläche auch eine entsprechende Markenbildung und zielgerichtete Kommunikation mit potentiellen Nutzern notwendig. Da „datenbankbasierter Systementwicklungsbaukasten“ kein kurzer, prägnanter Begriff mit Wiedererkennungswert ist, wird der Name „Grazer Funktions Baukasten“, kurz „GraFuBa“ für die Zukunft des Projektes vorgeschlagen. Dieser Name beinhaltet neben dem Ursprungsort des Werkzeuges auch bereits den Hinweis auf das Alleinstellungsmerkmal der funktionsbasierten Lösungsentwicklung aus einem umfangreichen Baukasten heraus. Des weiteren steht die deutschsprachige Ingenieurskunst weltweit nach wie vor für Qualität, Durchdachtheit und Zuverlässigkeit, weshalb bewusst kein englischer Name für den Baukasten gewählt wurde. Der Suchbegriff „GraFuBa“ liefert außerdem in den gängigen Internet-Suchmaschinen keine buchstäblich übereinstimmenden Ergebnisse, was das Aufbauen einer entsprechenden Marke und deren Auffindbarkeit vereinfachen sollte. Da der Baukasten in erster Linie aus Funktions- und Lösungselementen besteht, bietet sich außerdem der Slogan „GraFuBa - Element für Element zur besseren Lösung“ an. In Anlehnung an das Logo der TU Graz und das Periodensystem der Elemente wurde schließlich wie in Abbildung ersichtlich noch ein Vorschlag für ein Logo des Baukastens entwickelt.

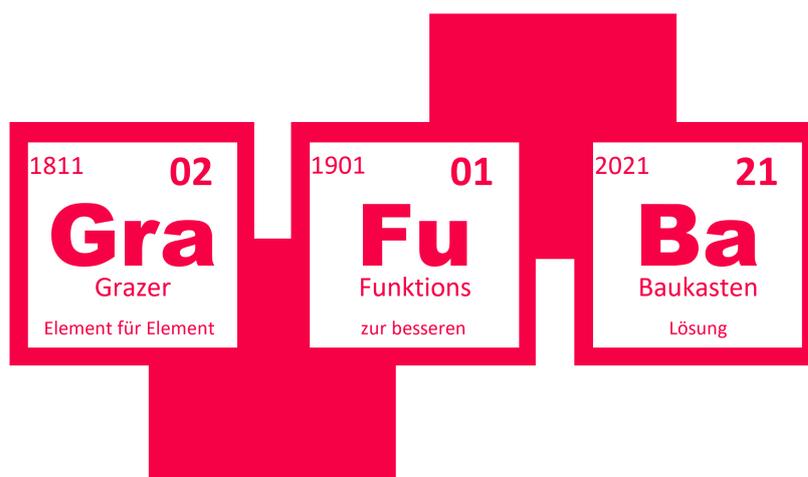


Abbildung 7.1: Mögliches Logo des konzeptionierten Systementwicklungsbaukastens

## 8 Zusammenfassung

Die hier vorliegende Diplomarbeit hatte das Ziel, ein Konzept für einen datenbankbasierten Systementwicklungsbaukasten zu erarbeiten, welches Entwicklungsteams verschiedenster technischer Disziplinen in den kritischen Phasen der Lösungssuche und Bewertung unterstützen soll. Diese beiden Phasen, welche in nahezu jeder Produktentwicklung vorkommen, haben einen sehr großen Einfluss auf den späteren Verlauf und Erfolg des Entwicklungsprojektes. Jedoch sind gerade diese beiden frühen Phasen häufig von großen Unsicherheiten und einem Mangel an Informationen geprägt, wodurch oft mehrmalige, zeit- und kostspielige Entwicklungsschleifen bis zum Erreichen der Entwicklungsziele durchgeführt werden müssen. Analog zur Verdrängung gedruckter Lexika durch Wikipedia werden vermutlich auch die heute noch sehr fragmentiert in verschiedenster Fachliteratur abgelegten technischen Informationen in absehbarer Zeit in zentralisierten, leicht zugänglichen und gut strukturierten Datenbanken auffindbar sein. Eine interaktive Datenbank, welche neben der Bereitstellung relevanter Informationen zusätzlich ein Gerüst zur Entwicklung und Bewertung von Lösungsvarianten bietet hat also großes Potential technische Systementwicklungen aller Art schneller und effizienter zum Ziel zu führen.

Im Sinne einer methodischen Bearbeitung der Aufgabenstellung wurde ein allgemeiner Problemlösungszyklus für diesen Zweck angepasst. Der Verlauf der Arbeit führt daher von der Problemanalyse, über die Problemformulierung zur Systemsynthese, welche gefolgt von der Systemanalyse schließlich in der Evaluierung des entwickelten Konzeptes endet.

Im Zuge der Problemanalyse wurden einige in der Systementwicklung häufig genutzte Begriffe wie z.B. Funktion oder Anforderung klar definiert und beschrieben, um im Anschluss einige der im maschinenbaulichen Umfeld häufig genutzten Produktentwicklungsprozesse wie z.B. die VDI 2221 hinsichtlich ihres Ablaufs zu untersuchen. Im nächsten Schritt wurden die typischerweise im Zuge von Entwicklungsprojekten genutzten Wissensquellen und Werkzeuge hinsichtlich ihrer Rolle bei der Erstellung und Bewertung von Lösungsvarianten durchleuchtet. Das Spektrum der untersuchten Wissensquellen reichte dabei von Ausbildungs- und Erfahrungswissen über Fachliteratur bis hin zu verschiedenen digitalen Quellen im Internet. Die betrachteten Werkzeuge umfassten neben klassischen Werkzeugen wie der Nutzwertanalyse und der morphologischen Analyse auch moderne und umfassendere Herangehensweisen wie das Model Based Systems Engineering.

Zur zielgerichteten Problemformulierung wurde zuerst der Verwendungsbereich des Systementwicklungsbaukastens definiert, bevor die aus Sicht der potentiellen Nutzer

## 8 Zusammenfassung

hilfreichen Funktionalitäten zur Lösungsfindung und Bewertung ermittelt wurden. Diese reichen von der Auflistung bekannter Lösungselemente über den Vergleich der bekannten Optionen bis hin zur Bewertung der gefundenen Lösungsvarianten anhand festgelegter Kriterien. Im Anschluss daran wurden die jeweiligen Anforderungen an die gefundenen Funktionalitäten im Detail analysiert.

Im Rahmen der Systemsynthese wurden verschiedene Methoden zur Umsetzung der gewünschten Funktionalitäten untersucht und ausgewählt. So soll sich z.B. die Suche und Filterung der im Baukasten enthaltenen Elemente an den Such- und Sortierfunktionen umfangreicher, technischer Webshops orientieren und die Lösungsbewertung mithilfe eines im Baukasten verankerten Gerüsts für eine Nutzwertanalyse erfolgen. Nachfolgend wurden noch zwei beispielhafte Workflows für die Nutzung des Systementwicklungsbaukastens entwickelt, welche sowohl das schnelle und unkomplizierte Auffinden relevanter Informationen als auch eine umfangreichere Entwicklung eines aus mehreren Elementen bestehenden Systems abbilden.

Das entwickelte Konzept wurde schließlich hinsichtlich seiner softwaremäßigen Umsetzung analysiert. Dabei wurde besonderes Augenmerk auf die zahlreichen Verknüpfungen und Klassifizierungen der im Baukasten hinterlegten Elemente gelegt, und außerdem auch die Basis der Umsetzung der für den Nutzer relevanten Funktionalitäten beleuchtet. Des Weiteren wurde das entwickelte Konzept anhand zweier Beispiele probeweise durchlaufen. Im Zuge dessen wurden eine mehrere Elemente umfassende Entwicklung eines Konzeptes für einen elektrischen Fahrzeugantrieb und die Auswahl einer Lagerung für eine hochdrehende E-Maschine betrachtet.

Die abschließende Evaluierung des Konzeptes widmete sich der Frage, in wie fern die vom Systementwicklungsbaukasten zur Verfügung gestellten Funktionalitäten dem Nutzer bei der Suche und Bewertung von Lösungen tatsächlich unterstützen könnten. Unter der Prämisse, dass die im Zuge dieser Arbeit definierten Funktionalitäten erfolgreich umgesetzt werden und auch eine zufriedenstellende Datenbasis im Baukasten hinterlegt ist, hat das entwickelte Konzept tatsächlich großes Potential die technische Systementwicklung nachhaltig zu unterstützen.

# Abkürzungen

<b>CES</b>	Cambridge Engineering Selector 48
<b>EKP</b>	Entwicklungs- und Konstruktionsprozess 20, 48
<b>ERM</b>	Entity-Relationship-Modell 96
<b>IME</b>	Institut für Maschinenelemente und Entwicklungsmethodik ix
<b>MBSE</b>	Model Based Systems Engineering 48, 50
<b>NVH</b>	Noise Vibration Harshness 105
<b>PEP</b>	Produktentstehungsprozess 16, 17, 131
<b>ReqIF</b>	Requirements Interchange Format 32
<b>VKM</b>	Verbrennungskraftmaschine 8, 9, 10, 11, 92, 93, 132, 135

## Abkürzungen

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Der für diese Arbeit angepasste Problemlösungszyklus . . . . .	5
2.1	In einem System eingebettete Funktion mit Ein- und Ausgangsgrößen [24]	10
2.2	Problemlösungszyklus der VDI 2206 [1] . . . . .	13
2.3	Methode der Aufgliederung und Verknüpfung zur Problem- und Systemstrukturierung nach VDI 2221 [2] . . . . .	14
2.4	Generelles Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren nach VDI 2221 [2]	15
2.5	Der PEP mit begleitenden Prozessen nach Pahl/Beitz [19] . . . . .	16
2.6	Das erweiterte Wasserfallmodell mit Iterationen [47] . . . . .	17
2.7	Das V-Modell als Makrozyklus gemäß VDI 2206 [1] . . . . .	18
2.8	Das mehrmalige Durchlaufen des Modells mit zunehmender Produktreife nach VDI 2206 [1] . . . . .	19
3.1	Aufbau einer Anforderungsliste nach Pahl/Beitz [19] . . . . .	24
3.2	Hauptschritte zur Erstellung einer Anforderungsliste nach Pahl/Beitz [19]	26
3.3	Hauptmerkmalliste nach Pahl/Beitz [19] . . . . .	28
3.4	Das Kano Modell in Anlehnung an Jan Moorman [30] . . . . .	30
3.5	Verschiedene Schlussarten nach [40] . . . . .	36
3.6	Verschiedene Möglichkeiten wälzgelagerter Linearführungen [40] . . . . .	37
3.7	Die zehn am häufigsten heruntergeladenen CAD-Modelle des GrabCAD-Portals [20] . . . . .	41
3.8	Zusammenhang zwischen Abstraktion und Freiheit in der Lösungsfindung [27] . . . . .	42
3.9	Die Ableitung technischer Funktionen aus den Kundenfunktionen [24] .	43
3.10	Nutzwertanalyse bei der Entwicklung eines entkoppelungsfähigen Differentials [54] . . . . .	44
3.11	Paarweiser Vergleich der Bewertungskriterien einer Nutzwertanalyse [54]	45
3.12	Morphologischer Kasten mit Haupt-Systemmerkmalen (hier Funktionen genannt) [42] . . . . .	46
3.13	Werkstoffübersicht Masse/Steifigkeit über Volumen/Steifigkeit [21] . . .	49
4.1	Die Positionierung des Systementwicklungsbaukastens im Informationsfluss des Entwicklungsprozesses . . . . .	52
4.2	Beispielhafte Funktionen und mögliche Lösungselemente eines PKWs in verschiedenen Detaillierungsebenen . . . . .	53
4.3	Steckbrief der Persona „Entwicklungsingenieur“ . . . . .	54
4.4	Steckbrief der Persona „Teamleiter / Produktmanager“ . . . . .	55

## Abbildungsverzeichnis

4.5	Gliederung der bei der Lösungsfindung unterstützenden Funktionalitäten (=Funktionen des Systementwicklungsbaukastens) . . . . .	56
4.6	Gliederung der bei der Lösungsbewertung unterstützenden Funktionalitäten (=Funktionen des Systementwicklungsbaukastens) . . . . .	58
4.7	Auswahl und Filtermöglichkeiten eines Onlineshops [49] . . . . .	59
5.1	Artikeldetailseite eines Onlineshops [34] . . . . .	69
5.2	Produktvergleichsfunktion eines Onlineshops [38] . . . . .	70
5.3	Netzdiagramm verschiedener Kennzahlen Chinas, Russlands und der USA [39] . . . . .	71
5.4	Übersicht der Unterfunktionalitäten und Methoden der Auflistung von Elementen . . . . .	72
5.5	Mögliches, beispielhaftes Layout einer Tabelle zur Gewichtung der Eigenschaften von erstellten Konzepten . . . . .	74
5.6	Übersicht der Unterfunktionalitäten und Methoden zur Auswahl von Elementen . . . . .	75
5.7	Gegenüberstellung von Spezifikationen, Bewertungskriterien und Eigenschaften der Lösungselemente . . . . .	77
5.8	Übersicht der Unterfunktionalitäten und Methoden zur Ermittlung der Bewertungskriterien . . . . .	78
5.9	Übersicht der Unterfunktionalitäten und Methoden zur Bewertung der Lösungsvarianten . . . . .	79
5.10	Symbolische Darstellung des Informations-Workflows . . . . .	81
5.11	Symbolische Darstellung des Systementwicklungs-Workflows . . . . .	82
6.1	Struktur der Beziehungen aus Sicht einer Beispiel-Funktion . . . . .	86
6.2	Struktur der Beziehungen aus Sicht eines Beispiel-Lösungselementes . . . . .	87
6.3	Optische Illusion einer real räumlich unmöglichen Anordnung [8] . . . . .	88
6.4	Mögliche Gliederungsstruktur rund um das Lösungselement „Scheibenbremse“ . . . . .	89
6.5	Mögliche Gliederungsstruktur rund um die Funktion „Integriertes Bremsen eines Fahrzeugrades“ . . . . .	90
6.6	Leistung und Gewicht konkret ausgeführter VKM-Systeme [25] . . . . .	93
6.7	Abgeleitete Objekt-Klassen mit vererbten Eigenschaften [18] . . . . .	94
6.8	Gliederung mittels Objekt-Klassen am Beispiel der Scheibenbremse . . . . .	95
6.9	Entity-Relationship-Modell von Funktions- und Lösungselementen . . . . .	97
6.10	Entity-Relationship-Modell von Projekten und den darin enthaltenen Lösungskonzepten, Funktions- und Lösungselementen . . . . .	98
6.11	Ausschnitt aus der Ergebnisseite eines Onlineshops [49] . . . . .	100
6.12	Vergleichstabelle der vorgemerkten elektrisch-mechanischen Energiewandler	105
6.13	Vergleichstabelle der vorgemerkten mechanischen Drehzahl/Drehmomentumwandler	106
6.14	Vergleichstabelle der vorgemerkten mechanischen Leistungsverzweigungselemente . . . . .	106
6.15	Morphologischer Kasten der vorausgewählten Lösungselemente des elektrischen Fahrzeugantriebes . . . . .	107

6.16	Vollständig definierte Tabelle zur Gewichtung der Eigenschaften der einzelnen Lösungselemente . . . . .	109
6.17	Berechnung der Gesamteigenschaften des ersten Lösungskonzeptes . . .	109
6.18	Berechnung der Gesamteigenschaften des zweiten Lösungskonzeptes . .	110
6.19	Berechnung der Gesamteigenschaften des dritten Lösungskonzeptes . . .	110
6.20	Vergleichstabelle der erstellten Lösungskonzepte . . . . .	111
6.21	Vergleichendes Netzdiagramm der erstellten Lösungskonzepte . . . . .	111
6.22	Definition der relevanten Bewertungskriterien für den elektrischen Achsantrieb . . . . .	112
6.23	Paarweiser Vergleich der Bewertungskriterien für den elektrischen Achsantrieb . . . . .	112
6.24	Nutzwertanalyse der Lösungskonzepte für den elektrischen Achsantrieb	113
6.25	Vergleichsschaubild Grenzdrehzahl / stat. Tragzahl ausgewählter Lagertypen	115
6.26	Vergleichsschaubild Grenzdrehzahl / dyn. Tragzahl ausgewählter Lagertypen . . . . .	115
6.27	Vergleichsschaubild Preis [46] / Masse ausgewählter Lagertypen . . . . .	116
6.28	Vergleichsschaubild dyn. Tragzahl/Preis [46] / dyn. Tragzahl/Masse ausgewählter Lagertypen . . . . .	116
7.1	Mögliches Logo des konzeptionierten Systementwicklungsbaukastens . .	126

## Abbildungsverzeichnis

# Tabellenverzeichnis

4.1	Eingangs- und Ausgangsgrößen der Suchfunktionalität . . . . .	60
4.2	Eingangs- und Ausgangsgrößen der manuellen Suchfunktionalität . . . . .	60
4.3	Eingangs- und Ausgangsgrößen der Element-Darstellungs-Funktionalität	60
4.4	Eingangs- und Ausgangsgrößen der Vergleichs-Funktionalität . . . . .	61
4.5	Eingangs- und Ausgangsgrößen der Hinzufügen und Bearbeiten-Funktionalität	61
4.6	Eingangs- und Ausgangsgrößen der Funktions-Festlegungs-Funktionalität	62
4.7	Eingangs- und Ausgangsgrößen der Lösungselement-Auswahl-Funktionalität	62
4.8	Eingangs- und Ausgangsgrößen der Lösungselement-Verknüpfungs-Funktionalität	62
4.9	Eingangs- und Ausgangsgrößen der Eigenschafts-Gewichtung-Funktionalität	63
4.10	Eingangs- und Ausgangsgrößen der Lösungsvarianten-Darstellungs-Funktionalität	63
4.11	Eingangs- und Ausgangsgrößen der Spezifikations-Import-Funktionalität	64
4.12	Eingangs- und Ausgangsgrößen der manuellen Spezifikations-Eingabe-Funktionalität . . . . .	64
4.13	Eingangs- und Ausgangsgrößen der Bewertungskriterien-Definitions-Funktionalität	65
4.14	Eingangs- und Ausgangsgrößen der Bewertungskriterien-Definitions-Funktionalität	65
4.15	Eingangs- und Ausgangsgrößen der manuellen Bewertungs-Funktionalität	65
4.16	Eingangs- und Ausgangsgrößen der automatisierten Bewertungs-Funktionalität	66
4.17	Eingangs- und Ausgangsgrößen der Bewertungs-Qualitäts-Überprüfungs-Funktionalität . . . . .	66
4.18	Eingangs- und Ausgangsgrößen der Bewertungs-Qualitäts-Überprüfungs-Funktionalität . . . . .	66
5.1	Notwendige Datenfelder der internen Spezifikationsverwaltung . . . . .	75
6.1	Beispielhafte, allgemein gültige Kenngrößen des Systems VKM . . . . .	92
6.2	Funktions-Spezifikationen des elektrischen Fahrzeugantriebes . . . . .	104
6.3	Funktions-Spezifikationen der E-Maschinen Lagerung . . . . .	114

## Tabellenverzeichnis

# Literatur

- [1] VDI 2206. *Design methodology for mechatronic systems*. Verein deutscher Ingenieure, 2004 (siehe S. 7, 13, 17–19).
- [2] VDI 2221. *Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*. Verein deutscher Ingenieure, 1993 (siehe S. 7, 14, 15).
- [3] *About ResearchGate*. URL: <https://www.researchgate.net/about> (besucht am 23. 10. 2020) (siehe S. 41).
- [4] *ABOUT THE REQUIREMENTS INTERCHANGE FORMAT SPECIFICATION VERSION 1.2*. URL: <https://www.omg.org/spec/ReqIF/1.2/> (besucht am 18. 08. 2020) (siehe S. 32).
- [5] Tamara Adlin. *The essential persona lifecycle : your guide to building and using personas*. eng. 1st edition. Burlington, Mass.: Morgan Kaufmann, 2010. ISBN: 1-282-73806-2 (siehe S. 54).
- [6] Tim Aschermann. *Was ist ein Forum? Einfach erklärt*. 7. Juni 2005. URL: [https://praxistipps.chip.de/was-ist-ein-forum-einfach-erklart\\_41375](https://praxistipps.chip.de/was-ist-ein-forum-einfach-erklart_41375) (besucht am 23. 10. 2020) (siehe S. 40).
- [7] Manfred Balz. *Eigentumsordnung Und Technologiepolitik: Eine Systemvergleichende Studie Zum Sowjetischen Patent- Und Technologierecht*. ger. 1980. ISBN: 3166414029 (siehe S. 38).
- [8] Ivo Brezina. *illusion - 3D render*. 12. März 2021. URL: <https://stock.adobe.com/images/illusion-3d-render/18986164> (besucht am 12. 03. 2021) (siehe S. 88).
- [9] James H. Brill. »Systems engineering— A retrospective view«. In: *Systems Engineering* 1 (4 9. Feb. 1999), S. 258–266 (siehe S. 47).
- [10] James Broberg, Rajkumar Buyya und Andrzej Goscinski. *Cloud Computing: Principles and Paradigms*. eng. Wiley, 2011. ISBN: 0470887990 (siehe S. 98).
- [11] Imogen Casebourne u. a. *Assessing the accuracy and quality of Wikipedia entries compared to popular online encyclopaedias*. study. University of Oxford, Epic, 2012. URL: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/29/EPIC\\_Oxford\\_report.pdf](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/29/EPIC_Oxford_report.pdf) (siehe S. 39).
- [12] Peter Pin-Shan Chen. »The entity-relationship model—toward a unified view of data«. In: *ACM Transactions on Database Systems* 1 (1), S. 9–36 (siehe S. 96).
- [13] Dai Clegg und Richard Barker. *Case Method Fast-Track: A Rad Approach*. USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1994. ISBN: 020162432X (siehe S. 29).

## Literatur

- [14] *Designpilot*. URL: <https://www.designpilot.io> (besucht am 09.11.2020) (siehe S. 49).
- [15] *EN 12973 Value Management*. 2020 (siehe S. 7, 20).
- [16] *Dubbel : Taschenbuch für den Maschinenbau*. ger. 25., neu bearbeitete und aktualisierte Auflage. 2018. ISBN: 9783662548042 (siehe S. 34).
- [17] *Dubbel interaktiv 2.0*. URL: <https://www.springer.com/engineering/dubbel?SGWID=0-195-6-410009-0> (besucht am 27.08.2020) (siehe S. 34).
- [18] Förderverein Ada Deutschland e.V. *Objektorientierte Programmierung*. 2003. URL: [https://www.ada-deutschland.de/sites/default/files/AdaTourCD/AdaTourCD2004/ada\\_dokumentation/objektorientierte\\_programmierung/8\\_1\\_a\\_allg\\_einfuehrung.html](https://www.ada-deutschland.de/sites/default/files/AdaTourCD/AdaTourCD2004/ada_dokumentation/objektorientierte_programmierung/8_1_a_allg_einfuehrung.html) (besucht am 23.04.2021) (siehe S. 93, 94).
- [19] Jörg Feldhusen und Karl-Heinrich Grote. *Pahl/Beitz Konstruktionslehre : Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung*. ger. 8., vollst. überarb. Aufl. 2013.. 2013. ISBN: 3-642-29569-X (siehe S. 7, 16, 20, 24, 26–28, 41).
- [20] *GrabCAD design community*. URL: <https://grabcad.com> (besucht am 23.10.2020) (siehe S. 40, 41).
- [21] *GRANTA Selector*. URL: <https://www.ansys.com/products/materials/granta-selector> (besucht am 09.11.2020) (siehe S. 49).
- [22] Shane Greenstein und Feng Zhu. »Is Wikipedia Biased?« In: *American Economic Review: Papers and Proceedings* 102 (3 Mai 2012), S. 343–348 (siehe S. 39).
- [23] Reinhard Haberfellner und Walter Daenzer. *Systems engineering : Methodik und Praxis*. ger. 10., durchges. Aufl.. 1999. ISBN: 385743998X (siehe S. 7, 12).
- [24] Hannes Hick, Klaus Küpper und Helfried Sorger. *Systems Engineering for Automotive Powertrain Development*. eng. 1. Aufl. 2021. ISBN: 978-3-319-99628-8 (siehe S. 7, 10, 43, 47).
- [25] David Hilbert. *High Ethanol Fuel Endurance*. study. Mercury Marine Product Development und Engineering, 2011. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/193266137.pdf> (siehe S. 93).
- [26] *Installationsprobleme und kein Gewinn gegenüber der Papierversion*. URL: [https://www.amazon.de/gp/customer-reviews/RCL62R5R60USU/ref=cm\\_cr\\_dp\\_d\\_rvw\\_ttl?ie=UTF8&ASIN=3540149449](https://www.amazon.de/gp/customer-reviews/RCL62R5R60USU/ref=cm_cr_dp_d_rvw_ttl?ie=UTF8&ASIN=3540149449) (besucht am 27.08.2020) (siehe S. 34).
- [27] Andreas Kohlweiss und Thomas Wildbolz. *Value Management 1*. Präsentation. Institute of Innovation und Industrial Management Graz University of Technology, 2019 (siehe S. 42).
- [28] *Lagerauswahl Assistent*. 25. Juni 2021. URL: <https://medias.schaeffler.de/de/selectionassistant?sort=name-asc> (besucht am 25.06.2021) (siehe S. 113).
- [29] *Lagerauswahlprozess*. 25. Juni 2021. URL: <https://www.skf.com/at/products/rolling-bearings/principles-of-rolling-bearing-selection/bearing-selection-process> (besucht am 25.06.2021) (siehe S. 113).

- [30] *Leveraging the Kano Model for Optimal Results*. 9. Okt. 2012. URL: <https://uxmag.com/articles/leveraging-the-kano-model-for-optimal-results> (besucht am 05.08.2020) (siehe S. 30).
- [31] Udo Lindemann. *Methodische Entwicklung technischer Produkte : Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden*. ger. VDI-Buch. 2009. ISBN: 9783642014222 (siehe S. 7).
- [32] Dipl.-Ing. (FH) Stefan Luber und Nico Litzel. *Was ist ein Webcrawler?* 12. Apr. 2018. URL: <https://www.bigdata-insider.de/was-ist-ein-webcrawler-a-704217/> (besucht am 21.10.2020) (siehe S. 40).
- [33] Sean Martin, Ben Szekely und Dean Allemang. *Rise of the Knowledge Graph*. eng. O'Reilly Media Inc., 2021. ISBN: 1-0981-0040-9 (siehe S. 123).
- [34] *Metabo 616359000 Trennscheibe gerade 125 mm 22.23 mm 10 St.* 21. Jan. 2021. URL: <https://www.conrad.at/de/p/metabo-616359000-trennscheibe-gerade-125-mm-22-23-mm-10-st-466713.html> (besucht am 21.01.2021) (siehe S. 69).
- [35] Michael A Orloff. *Grundlagen der Klassischen TRIZ: Ein Praktisches Lehrbuch des Erfinderischen Denkens Für Ingenieure*. eng. VDI-Buch. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin / Heidelberg, 2006. ISBN: 9783540240181 (siehe S. 47).
- [36] Karlheinz Pape. *Die Rolle von Fachzeitschriften heute und morgen*. URL: <https://khpape.blog/wordpress/die-rolle-von-fachzeitschriften-heute-und-morgen-2/> (besucht am 18.09.2020) (siehe S. 38).
- [37] ANDREAS PLATTHAUS. *Der Untergang des Lexikons*. 6. Juli 2014. URL: <https://www.faz.net/aktuell/feuilleton/buecher/themen/wikipedia-hat-brockhaus-beerbt-13028236.html> (besucht am 14.12.2020) (siehe S. 2).
- [38] *Produkt Vergleichsliste*. 21. Jan. 2021. URL: [https://www.visunext.at/de/catalog/product\\_compare/index/](https://www.visunext.at/de/catalog/product_compare/index/) (besucht am 21.01.2021) (siehe S. 70).
- [39] *Radar Charts (Spiderweb)*. 21. Jan. 2021. URL: [https://www.anychart.com/products/anychart/gallery/Radar\\_Charts\\_\(Spiderweb\)/](https://www.anychart.com/products/anychart/gallery/Radar_Charts_(Spiderweb)/) (besucht am 21.01.2021) (siehe S. 71).
- [40] Karlheinz Roth. *Konstruieren mit Konstruktionskatalogen : Band II Konstruktionskataloge*. ger. 2001. ISBN: 3-540-67026-2 (siehe S. 3, 36, 37, 91).
- [41] Werner Sauter. *Kompetenzorientiertes Wissensmanagement : Gesteigerte Performance mit dem Erfahrungswissen aller Mitarbeiter*. ger. 2015. ISBN: 9783658105358 (siehe S. 32, 33).
- [42] Andreas Schett. »Entwicklung und Bau eines Demonstrators für ein Kegelrad-Differential mit neuartiger, integrierter Entkopplungsfunktion (Disconnect-Differential)«. Bachelorarbeit. Institut für Maschinenelemente und Entwicklungsmethodik, TU Graz, 2020 (siehe S. 46).
- [43] Rita Schmid. »Idee und Detailkonzept einer Know-How-Datenbank für international operierende Industriebetriebe, dargestellt an einem Unternehmen des Maschinen- und Apparatebaus«. Dissertation. F. Alexander Universität, 1986 (siehe S. 3).

## Literatur

- [44] Ulf Schönert und Horst Güntheroth. *WIKIPEDIA Wissen für alle*. 25. Dez. 2007. URL: <https://www.stern.de/digital/online/wikipedia-wissen-fuer-alle-3217272.html> (besucht am 21. 10. 2020) (siehe S. 39).
- [45] *Sichere Suchmaschinen: 3 gute Anbieter im Vergleich*. URL: [https://praxistipps.chip.de/sichere-suchmaschinen-3-gute-anbieter-im-vergleich\\_42721](https://praxistipps.chip.de/sichere-suchmaschinen-3-gute-anbieter-im-vergleich_42721) (besucht am 21. 10. 2020) (siehe S. 40).
- [46] *SKF Brotto-Preisliste*. 1. Jan. 2021. URL: [https://www.kull-laube.ch/index.cfm?action=act\\_getfile&doc\\_id=106117&](https://www.kull-laube.ch/index.cfm?action=act_getfile&doc_id=106117&) (besucht am 31. 05. 2021) (siehe S. 116).
- [47] *Softwareengineering (SWE)*. URL: <http://www.tim-christmann.de/studium/SWE.html> (besucht am 03. 07. 2020) (siehe S. 17).
- [48] *Springer Professional und Octimine starten PatentFit*. URL: <https://www.springer.com/de/springer-professional-und-octimine-starten-patentfit/17973938> (besucht am 27. 08. 2020) (siehe S. 38).
- [49] *Suchergebnisse*. 14. Jan. 2021. URL: <https://www.conrad.at/de/search.html?search=motor> (besucht am 14. 01. 2021) (siehe S. 59, 100).
- [50] *The Best Requirements Management Tools Of 2020*. URL: <https://thedigitalprojectmanager.com/requirements-management-tools/> (besucht am 18. 08. 2020) (siehe S. 31).
- [51] *Traceparts Bauteile-Bibliothek*. URL: <https://www.traceparts.com/> (besucht am 23. 10. 2020) (siehe S. 41).
- [52] *TRIZ*. URL: <https://stat-design.com/Software/TRIZ.php> (besucht am 09. 11. 2020) (siehe S. 47).
- [53] *Übersicht über Rational DOORS*. URL: [https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/de/SSYQBZ\\_9.6.1/com.ibm.doors.requirements.doc/topics/c\\_welcome.html](https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/de/SSYQBZ_9.6.1/com.ibm.doors.requirements.doc/topics/c_welcome.html) (besucht am 18. 08. 2020) (siehe S. 31).
- [54] Christoph Vallant. »Mechanische Entwicklung eines Kegelrad-Differentials mit neuartiger, integrierter Entkopplungsfunktion (Disconnect-Differential)«. Bachelorarbeit. Institut für Maschinenelemente und Entwicklungsmethodik, TU Graz, 2020 (siehe S. 44, 45).
- [55] Jimmy Wales. *Deutschsprachige Wikipedia*. URL: [https://de.wikipedia.org/wiki/Deutschsprachige\\_Wikipedia](https://de.wikipedia.org/wiki/Deutschsprachige_Wikipedia) (besucht am 05. 05. 2020) (siehe S. 2).
- [56] *Why researchers should care about patents*. URL: [https://ec.europa.eu/invest-in-research/pdf/download\\_en/patents\\_for\\_researchers.pdf](https://ec.europa.eu/invest-in-research/pdf/download_en/patents_for_researchers.pdf) (besucht am 27. 08. 2020) (siehe S. 38).
- [57] *Wissensdatenbank: Know-how sammeln und wiederverwenden*. URL: <https://www.konstruktionspraxis.vogel.de/wissensdatenbank-know-how-sammeln-und-wiederverwenden-a-398707/> (besucht am 06. 05. 2020) (siehe S. 3).
- [58] Christof Zangemeister. *Nutzwertanalyse in der Systemtechnik : eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen*. ger. 3. Aufl.. 1973. ISBN: 3923264003 (siehe S. 7, 43).

# Anhang

<b>Projekt:</b> Datenbankbasierter Systementwicklungsbaukasten	<b>Version:</b> 1.0
<b>Ersteller:</b> Martin Bloder	<b>Erstellungsdatum:</b> 18.12.2020

Nr.	Bezeichnung der Funktionalität	Beschreibung (Eingangs- & Ausgangsgrößen)	(Kano) Art der Anforderung	Priorität	Ursprung/ Erläuterung	Anlage	Ersteller	Datum	Änderungsverfolgung	
									Was	Wer
1.0	Konzeption möglicher Lösungsvarianten	E: geforderte (Teil-)Funktionen; A: funktionserfüllende(s) Element(e)	must-be	maximal	aus Diplomarbeit		MaBlo	04.01.2021		
1.1	Auflisten bekannter Lösungselemente	E: geforderte Funktion; A: funktionserfüllende(s) Element(e)	must-be	maximal			MaBlo	04.01.2021		
1.2	Auswahl & Verknüpfung von Lösungselementen	E: Nutzerauswahl; A: zu (Teil-)System verknüpfte Elemente	must-be	maximal			MaBlo	04.01.2021		
1.3	Darstellung / Beschreibung der Varianten	E: von Nutzern erstellte (Teil-)Systeme; A: informative Übersicht der möglichen Lösungsvarianten	must-be	maximal			MaBlo	04.01.2021		
2.0	Bewertung möglicher Lösungsvarianten	E: (Teil-)Systeme & deren Anforderungen; A: qualitative Bewertung der Varianten	must-be	maximal	aus Diplomarbeit		MaBlo	04.01.2021		
2.1	Überführung der Spezifikationen in Bewertungskriterien	E: Anforderungen an das System; A: geeignete und gewichtete Bewertungskriterien	must-be	maximal			MaBlo	04.01.2021		
2.2	Bewertung der Lösungsvarianten anhand der Kriterien	E: (Teil-)Systeme & gewichtete Bewertungskriterien; A: detailliert bewertete Lösungsvarianten	must-be	maximal			MaBlo	04.01.2021		
2.3	Darstellung der Bewertungsergebnisse	E: bewertete Lösungsvarianten; A: informative Übersicht der Bewertungsergebnisse	must-be	maximal			MaBlo	04.01.2021		

<b>Projekt:</b> Datenbankbasierter Systementwicklungsbaukasten	<b>Version:</b> 1.0
<b>Ersteller:</b> Martin Bloder	<b>Erstellungsdatum:</b> 04.01.2021

Nr.	Bezeichnung der Funktionalität	Beschreibung (Eingangs- & Ausgangsgrößen)	(Kano) Art der Anforderung	Priorität	Ursprung / Erläuterung / Anlage	Ersteller	Datum	Änderungsverfolgung	
								Was	Warum
1.1	Auflisten bekannter Lösungselemente	E: geforderte Funktion; A: funktionserfüllende(s) Element(e) E: Texteingabe des Nutzers; A: nach Relevanz, Fachgebiet, etc. sortierbare Auflistung von Lösungselementen	must-be	maximal	aus Diplomarbeit	MaBlo	04.01.2021		
1.1.1	Suchen nach Schlagwörtern / Tags	E: Auswahl einer (Sub)Kategorie oder anderer Gliederungsmerkmale; A: sortierbare Auflistung	must-be	maximal	gängiger Standard gut für Übersicht der Elemente	MaBlo	05.01.2021		
1.1.2	Manuelles Durchsuchen des Datenbankinhalts	E: relevante Funktionen; A: Text-, Tabellen- oder Grafkbasierte Informationen zu Elementen	one-dimensional	hoch	essentiell für Auswahl schnelle, informierte Entscheidungen	MaBlo	05.01.2021		
1.1.3	Darstellung der Element-Eigenschaften	E: Zusatz-Informationen zum (neuen) Element; A: veränderbares Element in der Datenbank	must-be	maximal	unverzichtbar in Aufbauphase	MaBlo	14.01.2021		
1.1.4	Vergleichen von Lösungselementen	E: Nutzerauswahl; A: für aktuelle Betrachtung relevante Funktionselemente	must-be	maximal	aus Diplomarbeit	MaBlo	04.01.2021		
1.1.5	Hinzufügen & Bearbeiten von Funktions- & Lösungsel.	E: von Nutzer ausgewählte Elemente; A: unstrukturierter Pool von ausgewählten Elementen	must-be	maximal	essentiell für Auswahl um Umfang betrachter Elemente zu reduzieren	MaBlo	05.01.2021		
1.2	Auswahl & Verknüpfung von Lösungselementen	E: vorabgewählter Pool von Elementen & Nutzereingaben; A: funktionstfähige Lösungsvarianten	must-be	maximal	um Lösungsvarianten weiter behandeln zu können	MaBlo	05.01.2021		
1.2.1	Festlegung der benötigten Funktion(en)	E: von Nutzern erstellte (Teil-)Systeme; A: informative Übersicht der möglichen Lösungsvarianten	must-be	hoch	Gesamteigenschaften	MaBlo	05.01.2021		
1.2.2	Auswahl zu verwendender Elemente	E: von Nutzern erstellte (Teil-)Systeme; A: Text-, Tabellen- oder Grafkbasierte Informationen	must-be	maximal	aus Diplomarbeit	MaBlo	04.01.2021		
1.2.3	Verknüpfung der Lösungselemente zu Varianten	E: Anforderungen an das System; A: geeignete und gewichtete Bewertungskriterien	must-be	maximal	Zur Übersicht und weiterer Verwendung	MaBlo	05.01.2021		
1.2.4	Gewichtung der Eigenschaften der Lösungselemente	E: externe Datei, z.B. ReqIF, Excel, etc.; A: intern weiterverwendbare Anforderungsliste	must-be	maximal	aus Diplomarbeit	MaBlo	04.01.2021		
1.3	Darstellung / Beschreibung der Varianten	E: Text- und sonstige Eingaben des Nutzers; A: intern weiterverwendbare Anforderungsliste	attractive	niedrig	"nice to have" zur Definition der Bewertungskriterien	MaBlo	05.01.2021		
1.3.1	Darstellung der Eigenschaften der Lösungsvarianten	E: Anforderungsliste, hinterlegte Eigenschaften der Lösungsvarianten, Nutzereingaben; A: Bewertungskriterien; A: gewichtete Bewertungskriterien	must-be	maximal	zur Bewertung uneingeschränkt	MaBlo	05.01.2021		
2.1	Überführung der Spezifikationen in Bewertungskriterien	E: (Teil-)Systeme & gewichtete Bewertungskriterien; A: detailliert bewertete Lösungsvarianten	must-be	maximal	aus Diplomarbeit	MaBlo	04.01.2021		
2.1.1	Import von Spezifikationsdaten	E: Bewertungskriterien, Lösungsvarianten & Nutzereingaben; A: manuell bewertete Lösungsvarianten	must-be	maximal	solite unbedringt möglich sein	MaBlo	05.01.2021		
2.1.2	Manuelle Eingabe von Spezifikationen	E: gewichtete Bewertungskriterien & Lösungsvarianten; A: automatisiert bewertete Lösungsvarianten	attractive	mittel	"nice to have"	MaBlo	05.01.2021		
2.1.3	Definition der Bewertungskriterien	E: Bewertungen der Lösungsvarianten; A: qualitative Aussage über Qualität der Bewertung	must-be	niedrig	"nice to have"	MaBlo	14.01.2021		
2.1.4	Gewichtung der Bewertungskriterien	E: bewertete Lösungsvarianten; A: informative Übersicht der Bewertungsergebnisse	attractive	niedrig	"nice to have"	MaBlo	14.01.2021		
2.2	Bewertung der Lösungsvarianten anhand der Kriterien	E: Bewertungsergebnisse (inkl. A: Text-, Tabellen- oder Grafkbasierte Informationen)	must-be	maximal	Zur Übersicht und weiterer Verwendung	MaBlo	04.01.2021		
2.2.1	Manuelle Bewertung der Lösungsvarianten		must-be	maximal		MaBlo	05.01.2021		
2.2.2	Automatisierte Bewertung der Lösungsvarianten		attractive	mittel		MaBlo	05.01.2021		
2.2.3	Abschätzen der Bewertungsqualität		attractive	niedrig		MaBlo	14.01.2021		
2.3	Darstellung der Bewertungsergebnisse		must-be	maximal		MaBlo	04.01.2021		
2.3.1	Detaillierte Darstellung der Bewertungsergebnisse		must-be	maximal		MaBlo	05.01.2021		